

**Begeleidingsonderzoek toepassing
absorptiekoelmachine bij GEB Rotterdam,
fase 1**

Referentienummer 93-275
Dossiernummer 112325-23917
Datum juli 1993
NP

Auteur
Ir. J.B. de Wit

Met medewerking van
E.J. Ligtenberg

Trefwoorden
– absorptiekoeltechniek
– stadsverwarming
– demonstratieproject
– energiebesparing

Bestemd voor
Novem B.V.
Ter attentie van Ir. G.W. Boxem
Postbus 17
6130 AA Sittard

Abstract

For cooling of the computer rooms in the new head office of the GEB at Rotterdam, the Netherlands, an absorption chiller was installed. The generator of this absorption chiller is heated by district hot water of 90 °C. The Dutch Ministry of Economic Affairs supports this so called Demonstration Project for Energy Conservation in the Netherlands. This report gives the main results of Phase 1 of the evaluation project of this cooling system, carried out by the department of Heat and Refrigeration technology of the TNO Institute of Environmental and Energy Technology. Novem B.V. is the Principal of this project.

The most important results of this first phase are:

- The cooling load is constant and is very slightly influenced by the outdoor climate.
- The maximum cooling load is 50% of the design capacity of the absorption chiller.
- A substantial extension of the free cooling is possible.
- The average COP is lower in part load than in full load situations. This contra-intuitive effect is possibly introduced by the control system.
- At low generator temperatures, the capacity is reduced proportional. The COP is nevertheless rather constant.

In phase 2 of this evaluation project, the measurements at this system will be continued to achieve a definitive insight in the energetic and economic aspects of this application of absorption chillers.

Samenvatting

Om in de koelbehoefte van de computerruimte van het nieuwe hoofdkantoor van het GEB-Rotterdam te voorzien wordt een absorptiekoelmachine toegepast. De absorptiekoelmachine wordt aangedreven met warmte uit het stadsverwarmingsnet. Het ministerie van Economische Zaken verleende steun aan dit zogenaamde demonstratieproject in het kader van de steunregeling energiebesparing en stromingsenergie. Dit rapport geeft de resultaten van de eerste fase van het door IMET-TNO uitgevoerde begeleidingsonderzoek van dit project. Novem B.V. is opdrachtgever voor dit begeleidingsonderzoek. De belangrijkste resultaten van deze eerste fase zijn:

- De koellast is zeer constant en wordt nauwelijks beïnvloed door het buitenklimaat.
- De maximaal optredende koellast bedraagt circa 50% van de ontwerpcapaciteit.
- De inzet van vrije koeling kan drastisch uitgebreid worden.
- De gemiddelde koudefactor is in deellast lager dan in vollast. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de aard van de capaciteitsregeling.
- Bij lage generatortemperaturen is de capaciteit van de koelmachine uiteraard proportioneel lager. De koudefactor blijft echter op een behoorlijk peil.

In fase 2 van dit begeleidingsonderzoek zullen de metingen worden voortgezet om een definitieve energetische en economische evaluatie te kunnen uitvoeren.

Inhoudsopgave

	Abstract	2
	Samenvatting	3
1	Inleiding	5
2	De absorptiekoelmachine	7
3	Het koelsysteem	9
4	De meetapparatuur en het meetprogramma	12
5	Meetresultaten	14
	5.1 Algemeen.....	14
	5.2 'Kortsluiting' in het koelcircuit.....	14
	5.3 De optredende condities rond de absorptiekoelmachine.....	15
	5.4 De koudefactor als functie van de belasting	15
	5.5 Inzet vrije koeling	16
6	Economie, energiebesparing en milieu-effecten van absorptiekoeling	17
	6.1 Energiebesparing en milieu-effecten	17
	6.2 Economie	17
7	Conclusies	19
8	Discussie	20
9	Literatuur	21
10	Verantwoording	22

Figuren

Bijlagen

1 Inleiding

In dit Demonstratieproject Energiebesparing wordt een absorptiekoelmachine toegepast om te voorzien in de koelbehoefte van de computerruimten van het nieuw gebouwde hoofdkantoor van het Gemeentelijk Energie Bedrijf (GEB) te Rotterdam. Het bijzondere van de toepassing is, dat de absorptiekoelmachine wordt aangedreven met warmte uit het stadsverwarmingsnet. Omdat deze warmte afkomstig is uit een grootschalige warmtekrachtinstallatie wordt zij met een lage inzet aan fossiele energie gegenereerd. Er wordt overigens gedurende een deel van het jaar (bij een natte bol temperatuur beneden de 4 °C) ook gebruik gemaakt van zogenaamde vrije koeling, waarbij de warmte uit de computerruimten wordt afgevoerd via een koeltoren, waarmee ook de condensorwarmte/absorberwarmte van de absorptiekoeling wordt afgevoerd.

De hier toegepaste absorptietechniek is zeker niet nieuw. Voor Nederland is het 'stoken' van dit soort installaties met stadsverwarmingswarmte echter wel nieuw. De toepassing van absorptie koeling is vooral ook interessant voor het gebruik van kleinschaliger warmtekrachtinstallaties. De relatief hoge investeringen van absorptiesystemen worden voor een groot deel veroorzaakt door de kleine aantallen ten opzichte van de algemeen toegepaste compressiesystemen die het nadeel van een hoger primair energieverbruik hebben maar het voordeel van flexibeler inzet (elektriciteit in plaats van goedkope warmte) en lagere kosten per kW door massaproductie. Op die plaatsen waarbij de grote hoeveelheden warmte die bij opwekking van elektriciteit vrijkomt ook daadwerkelijk beschikbaar is, zoals bij toepassing van stadsverwarming, is absorptiekoeling in ieder geval energiebesparend, mits de koeling plaatsvindt op uren waarop de stadsverwarmingswarmte niet nuttig ingezet kan worden voor verwarmingsdoeleinden.

Het doel van dit begeleidingsonderzoek is:

- Het vaststellen van de koudefactor, zowel momentaan (fase 1) als op jaarbasis (fase 2).
- Het evalueren van het gedrag van de absorptiekoelmachine in de praktijk (capaciteit, alternatieven, regeling)
- Het vaststellen van het aandeel van de vrije koeling via de koeltoren in de totale koudevraag.
- Een beoordeling van de regeling van het systeem, in het bijzonder de realisering van de aansluiting van koudevraag en koude-aanbod en de omschakeling van vrije koeling op absorptiekoeling.
- Een economische beoordeling van het gebruik van een absorptiekoelmachine in relatie tot de meerinvestering.

Dit project zal in twee fasen uitgevoerd worden. Fase 1 is gericht op de juiste werking van het koelsysteem in het algemeen en de absorptiekoelmachine in het bijzonder, terwijl fase 2 als doel heeft om de energetische en economische resultaten van de absorptiekoelmachine op jaarbasis te evalueren. Hoewel dit rapport de resultaten van fase 1

Begeleidingsonderzoek toepassing absorptiekoelmachine bij GEB Rotterdam, fase 1

behandelt is ook al voorlopig en globaal aandacht besteed aan de economische en energetische beoordeling.

In hoofdstuk 2 wordt de werking van de absorptiekoelmachine uiteengezet. In hoofdstuk drie wordt vervolgens het gehele koelsysteem - dat bestaat uit koelmachine, koeltoren, verdeelsysteem en koelunits computerruimte - behandeld.

In hoofdstuk vier worden de gebruikte meetapparatuur en het meetprogramma behandeld, terwijl de meetresultaten in hoofdstuk vijf aan de orde komen.

De energiebesparing, de milieu-effecten en de economie van absorptie koeling komt in hoofdstuk zes aan de orde. De conclusies staan in hoofdstuk zeven, terwijl in hoofdstuk acht wordt gediscussieerd over een ruimere inzet van de absorptie (koel)-techniek.

Op dit moment worden de metingen voor het jaarrendement (economisch en energetisch) uitgevoerd. Deze metingen eindigen op 1 april 1994. De resultaten van deze metingen zullen in het rapport van fase 2 worden behandeld.

2 De absorptiekoelmachine

Zoals bij de meeste andere koelmachines heeft de absorptiekoeling een condensor, een smoorventiel en een verdamper. In de condensor wordt hoge druk koudemiddeldamp (in dit geval: water) vloeibaar gemaakt, waarbij de condensatiewarmte wordt afgevoerd, in dit geval aan de omgeving middels een koeltoren. De hoge druk koudemiddelvloeistof wordt in het smoorventiel in druk verlaagd, zodat verdamping kan plaatsvinden bij veel lagere temperatuur. De taak van de overige componenten is ervoor te zorgen dat de lage druk koudemiddeldamp uit de verdamper wordt gecomprimeerd tot hoge druk koudemiddeldamp aan de ingang van de condensor. In de absorptiekoelmachine gebeurt dit in een aantal stappen. De lage druk damp wordt eerst in de absorber geabsorbeerd in een daarvoor geschikt absorbens (in dit geval Lithium Bromide). Om dit proces in stand te houden moet deze oplossing gekoeld worden. De hierbij vrijkomende warmte dient, te zamen met de condensorwarmte, afgevoerd te worden. De met koudemiddel verrijkte oplossing wordt vervolgens door een hoge druk vloeistofpomp naar de desorber (meestal generator genoemd) gevoerd, waar de (hoge) condensordruk heerst. In de generator wordt door verwarming het koudemiddel weer uit de oplossing gedreven. Voor deze verwarming wordt de (thermische) aandrijfenergie gebruikt. De gedeeltelijk van koudemiddel ontdane oplossing stroomt via een smoorventiel terug naar de absorber. Foto 1 toont de absorptiekoelmachine.

Omdat de absorptiekoelmachine bijna geen bewegende delen bevat, zal de geluidsproductie laag, de slijtage gering en de levensduur lang zijn. De prestatie van een koelmachine - en dus ook van een absorptiekoelmachine - wordt uitgedrukt door de verhouding van de aandrijvende warmte ten opzichte van de geleverde koude:

$$\frac{Q_o}{Q_g}$$

Dit wordt de koudefactor genoemd. Theoretisch wordt de waarde van de koudefactor begrensd door de interne verdampertemperatuur, de condensor en generatortemperatuur:

$$\frac{Q_o}{Q_g} = \frac{T_g - T_v}{T_g} \cdot \frac{T_c}{T_c - T_o}$$

De temperatuur van de condensor ligt steeds tussen de temperatuur van de verdamper en de generator. In de praktijk is voor eentraps standaard absorptiekoelmachines maximaal een koudefactor van circa 0,7 à 0,8 haalbaar. Dit betekent dat de aandrijfwarmte steeds groter is dan de geleverde koude. De absorptiekoelmachine 'zet veel warmte om', zie bijgaand plaatje. Alle warmte wordt uiteindelijk afgezet aan de omgeving middels de koeltoren, die de condensor koelt. De absorptiekoelmachine zal

3 Het koelsysteem

Het totale koelsysteem kan worden ingedeeld in vier subsystemen:

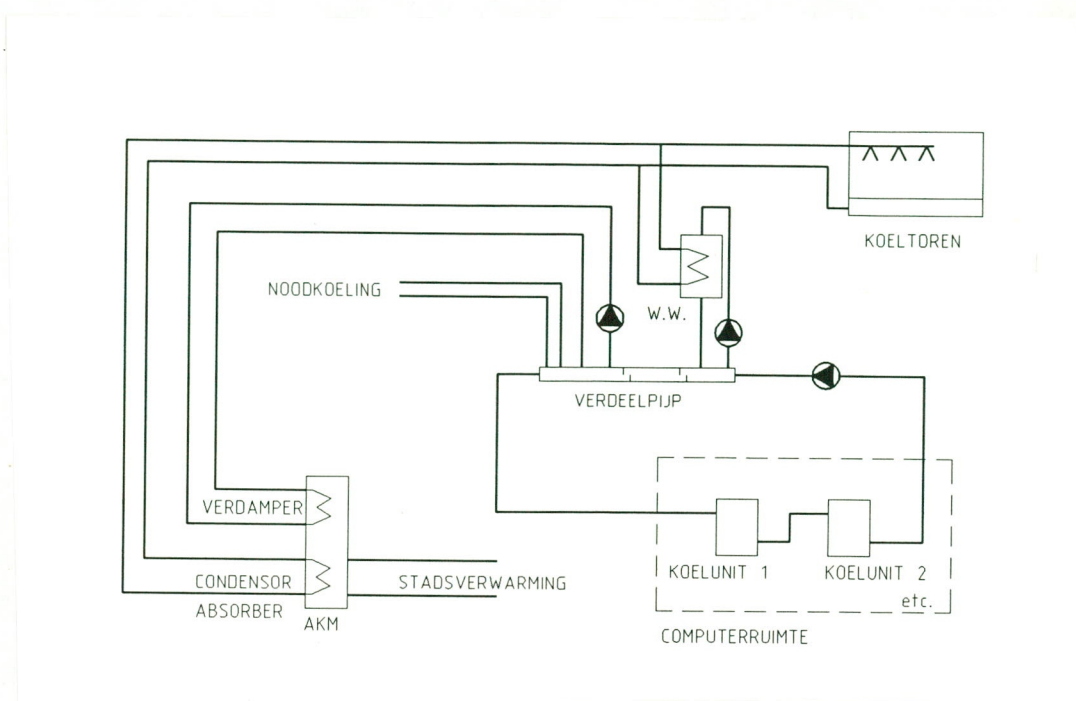
1. De koelunits in de computerruimte
2. Het verdeelsysteem
3. De absorptiekoelmachine
4. De koeltoren

Figuur 2 toont het globale schema van het koelsysteem, terwijl figuur 2.1 een uitgebreid schema van het koelsysteem geeft. De koelunits in de computerruimte zijn fan-coil units die de warmte aan de lucht van de computerruimte onttrekken. Het debiet door deze units wordt door middel van een temperatuur gestuurde drieweg verdeelklep geregeld. Bij ontwerpcondities is de aanvoertemperatuur 10 °C en de retourtemperatuur 15 °C. Bij lagere benutting van het koelsysteem is de retourtemperatuur lager: een deel van het koelwater wordt zonder warmte-opname buiten de fancoil unit omgeleid. De aanvoer van het koelwater wordt gerealiseerd vanuit de centrale verdeelpijp. Hierop zijn drie koel 'bronnen' aangesloten, namelijk de compressie(nood)-koeling, de vrije koeling en de absorptiekoeling. De drukverdeling in de verdeelpijp is bij goede inregeling zodanig, dat het kortsluitdebiet - dit is het debiet door de verdeelpijp tussen aanvoer en retour van de ingeschakelde koudebron - gering is.

Afhankelijk van de buitentemperatuur wordt de absorptiekoelmachine of de vrije koeling ingezet. De compressiekoeling van de kantoren van de laagbouw wordt alleen bij storing van een van de andere koelsystemen ingezet.

De omschakeling vindt plaats bij 4 °C natte boltemperatuur van de buitenlucht. Hierboven wordt de absorptiekoelmachine ingezet, daaronder de vrije koeling. Voor een standaard referentie jaar is er circa 2750 uur vrije koeling beschikbaar, zie bijlage 1. Omdat de koellast bij geen enkele weersomstandigheid onder de circa 170 kW komt is deze vrije koeling ook daadwerkelijk actief gedurende deze uren.

De koeltoren wordt zowel gebruikt voor de koeling van de condensor van de absorptiekoelmachine als voor de vrije koeling. De koeltoren is hiertoe via een warmtewisselaar aangesloten op de verdeelpijp.



Figuur 2 Principeschema koelsysteem

1. De koelunits in de computerruimten

Op het koudwatersysteem zijn 9 stuks fancoil units aangesloten met een gezamenlijk vermogen van 427.5 kW. Deze units zijn verdeeld opgesteld en individueel geregeld op (lucht)temperatuur. De relatieve vochtigheid wordt met behulp van stoombevochtiging geregeld. De grootste units (7 stuks met een koelcapaciteit van 52 kW) zijn opgesteld in de computerruimten en de ruimten voor printers en tape recording.

2. Het verdeelsysteem

De kern van het verdeelsysteem wordt gevormd door de verdeelpijp. Hierop zijn drie koelunits aangesloten, namelijk:

- De absorptie koelmachine
- De mechanische (nood)koeling van het laagbouwdeel.
- De vrije koeling via een koeltoren

Zoals gesteld treden in de mengpijp lekdebieten op die kunnen veroorzaken dat de geleverde koudwatertemperatuur iets hoger is dan de door de koelmachine afgeleverde temperatuur en dus in een lagere verdampingstemperatuur dan strikt noodzakelijk is. Dit effect blijkt in de praktijk echter vrij gering te zijn. Verlopen van inregelingen moeten echter goed in de gaten gehouden worden. Ook hiervoor zijn de geïnstalleerde warmtemeters nuttig, omdat hiermee ook de debieten van koelmachines en verdeelpijp en hun onderlinge verschillen waaruit het lekdebet kan worden bepaald, vastgesteld kan worden. Het nominale debiet naar de computerruimte bedraagt 77.4 m³/h (ontwerp) het werkelijke debiet was variërend rond de 81 m³/h.

3. De koelmachine

De absorptiekoelmachine is reeds uitvoerig in het vorige hoofdstuk behandeld. Het debiet door de verdamper bedraagt 77.4 m³/h (ontwerp) in werkelijkheid circa 75 m³/h, terwijl het debiet door de generator in werkelijkheid circa 7 m³/h bedraagt, bij een ontwerpdebiet van 27 m³/h.

Het temperatuurverschil aanvoer/retour bedraagt circa tweemaal het ontwerp temperatuurverschil. De aanvoer bedraagt typisch 91-94 °C, de retour zit tussen 51 en 62 °C. De pompen van condensor en verdampercircuit worden gelijktijdig met de absorptiekoelmachine aangestuurd.

4. De koeltoren (afvoer condensorwarmte en vrije koeling)

Deze koeltoren koelt de absorber/condensor bij koelmachinebedrijf boven de 4 °C natte boltemperatuur met een ontwerpdebiet van 206 m³/h en de ontwerptemperaturen 31.4 °C (in) en 27 °C (uit) bij een natte boltemperatuur van 21 °C (koelcapaciteit 1053 kW). Beneden de 4 °C natte bol wordt deze koeltoren voor vrije koeling gebruikt. Een platenwarmtewisselaar zorgt dat mengpijpcircuit en koeltorencircuit hydraulisch gescheiden blijven. De koelcapaciteit van de koeltoren als vrije koelunit bedraagt (ontwerp) 450 kW bij 77.4 m³/h en een ingaande temperatuur van 13 °C en een uitgaande temperatuur van 8 °C bij de buitenluchtconditie: 4 °C natte bol. Deze hydraulische scheiding brengt met zich mee dat de koudwatertemperatuur hoger wordt dan noodzakelijk. Vermijding van de platenwisselaar vergroot het potentieel voor vrije koeling aanmerkelijk. Nagegaan moet worden of deze warmtewisselaar niet vermeden kan worden. Dit heeft naast koeltechnische voordelen (meer vrije koeling, minder energieverbruik) ook het voordeel van lagere investeringen.

4 De meetapparatuur en het meetprogramma

De metingen zijn gestart in juli 1992. De meetinstallatie bestaat in grote lijnen uit:

- Drie zeer nauwkeurige warmtemeters
- Drie status detectoren voor de drie koelmogelijkheden (absorptiekoeling, vrije koeling en compressie(nood) koeling).
- Een Personal computer waarmee - middels het TNO programma VADAS - de metgegevens worden geregistreerd.

De warmtemeters bestaan uit twee PT 500 temperatuurvoelers, een flowmeter en een zogenaamde integrator, waarmee de hoeveelheid warmte die via een watersysteem (zoals de aanvoer van warmte naar de generator en de warmte afvoer naar de verdamper) wordt opgenomen of afgegeven wordt berekend.

De PT 500 temperatuurelementen zijn geleverd met een maximale afwijking van $\pm 0,05$ °C van het temperatuurverschil. Deze fout is door calibratie overigens nog verder verminderd.

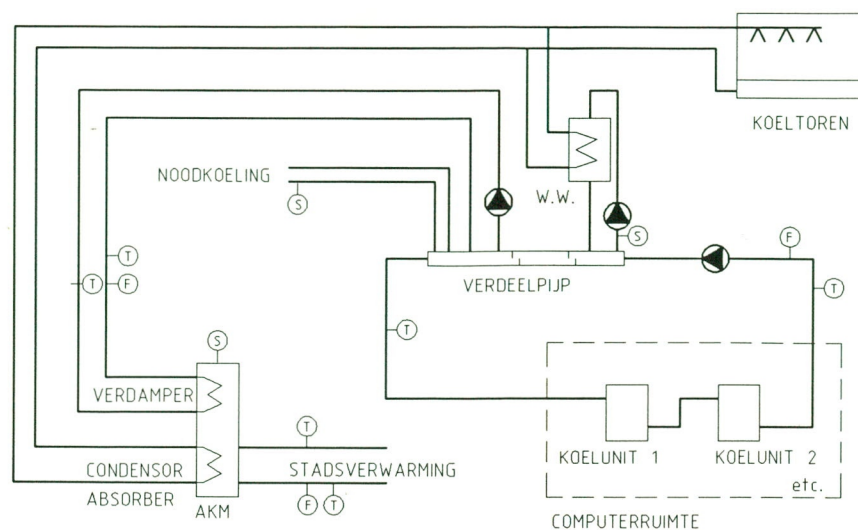
Via deze integrator worden, naast deze warmtehoeveelheden, ook het debiet, de aanvoer- en retourtemperatuur, het temperatuurverschil en het cumulatieve debiet via RS 232 doorgegeven aan de PC. Het data acquisitie programma VADAS zorgt voor opslag van deze gegevens. Bijlage 4 geeft een beeld hoe zo'n meetfile (na verwerking met het pakket SYMPHONY) er uit ziet. Met deze gegevens zijn ook de koelvermogens, de vermogens die werden onttrokken aan het stadsverwarmingsnet, de koudefactoren en de benuttingsgraden van de koelmachine te berekenen. Op deze wijze is het zeer goed mogelijk om een nauwkeurig beeld op te bouwen van het gedrag van de koelinstallatie, zie de meetresultaten in hoofdstuk 5.

In dit rapport wordt onderscheid gemaakt tussen de primaire koudefactor en de secundaire koudefactor. De primaire koudefactor is de verhouding tussen geleverde koude aan de verdamperzijde en de geleverde warmte aan de generatorzijde

$$\frac{Q_o}{Q_g}$$

terwijl de secundaire koudefactor de verhouding is tussen de aan de computerruimte geleverde koude en de geleverde warmte aan de generatorzijde

$$\frac{Q_{\text{verdeelpijp}}}{Q_g}$$



T = TEMPERATUURMEETPUNT (°C)
 F = DEBIETMEETPUNT (m³ /h)
 S = STATUSMEETPUNT
 TWEE TEMPERATUURMEETPUNTEN EN EEN DEBIET-
 MEETPUNT WORDEN GECOMBINEERD TOT EEN WARMTEMETER

Figuur 3 Schema aangebrachte meetpunten

Met het PC VADAS meetsysteem worden de volgende grootheden geregistreerd:

- Het debiet van het stadsverwarmingswater door de generator (momentaan en cumulatief).
- Het debiet van het water door de verdamper (momentaan en cumulatief).
- Het koelwaterdebiet naar de computerruimte (momentaan en cumulatief).
- De aanvoer- en retourtemperatuur van het stadsverwarmingswater.
- De aanvoer- en retourtemperatuur van het water door de verdamper (het primaire koelwater).
- De aanvoer- en retourtemperatuur van het koelwater naar de computerruimte (het secundaire koelwater).
- De status van iedere koelbron (ingeschakeld/niet ingeschakeld).
- De warmte stromen naar de generator, de verdamper en uit de computerruimte.

De buitentemperaturen worden betrokken van het KNMI (station IJpenburg). Uit deze grootheden kunnen de primaire en de secundaire koudefactor alsmede de benuttingsgraad van de koelmachine worden afgeleid.

5 Meetresultaten

5.1 Algemeen

De meetresultaten zullen aan de hand van een aantal figuren worden gepresenteerd. Met nadruk wordt hier gesteld, dat er nog geen conclusies getrokken kunnen worden met betrekking tot de resultaten op jaarbasis.

Helaas zijn de condities in het condensorcircuit niet middels metingen vastgesteld. Geconstateerd is namelijk dat de retourtemperaturen ten gevolge van de regeling in de stadsverwarmingsstroom door de generator wordt geregeld middels ingrijpen op dit debiet. Hierdoor kunnen lage temperaturen optreden. De temperatuur van de generator ligt tenminste beneden de retourtemperatuur van het stadsverwarmingscircuit.

Allereerst zullen echter een aantal algemene conclusies worden getrokken uit de metingen:

- De gevraagde koelcapaciteit is maximaal circa 50% (220 kW) van de capaciteit van de absorptie koelmachine (450 kW).
- De koudevraag varieert nauwelijks: In de zomer komt hij nooit boven de 220 kW en in de winter nooit beneden de 180 kW. De koellast wordt vrijwel volledig bepaald door de interne warmtebronnen.
- De koudefactor lijkt - bij constante generator- en verdampercondities - nauwelijks afhankelijk te zijn van de condensorcondities. Dit vereist nader onderzoek.

5.2 'Kortsluiting' in het koelcircuit

In oktober 1992, toen de installatie voor het eerst op de vrije koeling ging draaien, werd via de meetregistraties geconstateerd dat de absorptiekoelmachine in bedrijf bleef. Dit veroorzaakte, dat de condensorwarmte in het koelcircuit werd geloosd. De koelmachine ging hierdoor op vollast draaien om de uitgaande koelwater-temperatuur op 10 °C te handhaven. De primaire koudefactor wordt relatief hoog, terwijl de secundaire koudefactor heel laag wordt, hetgeen betekent dat de ingezette stadsverwarming slecht wordt benut voor nuttige koude, zie de figuren 5.2.1 en 5.2.2. De noodzakelijke koeling werd echter steeds geleverd, zodat er geen klachten over het klimaat kwamen. Het warmteverbruik van de absorptiekoelmachine was echter gedurende een behoorlijke periode veel te hoog. In Januari 1993 werd deze storing opgeheven door een wijziging in het besturingssysteem. Het laat echter zien dat het nuttig is dat warmtemeters in dit soort installaties worden geïnstalleerd - waarin zeer kleine temperatuurverschillen optreden doch waarin heel eenvoudig grote hoeveelheden warmte worden weggekoeld.

5.3 De optredende condities rond de absorptiekoelmachine

Figuur 5.3.1 geeft de condities (temperaturen, debieten) rond de absorptiekoelmachine aan op een warme dag. De belasting van de machine bedraagt 280 kW. Dit is overigens een hogere belasting dan op vergelijkbare dagen een jaar later optreedt. De oorzaak hiervan is niet bekend.

De koudefactor bedraagt circa .7, zie figuur 5.3.2.

De temperaturen van het koud water circuit zijn in de zomer en de winter vrijwel gelijk, zie figuur 5.3.3. Het debiet van het koud water circuit is overigens constant. De bijbehorende onttrokken vermogens verschillen overigens ook weinig, zie figuur 5.3.4. De figuren 5.3.5 en 5.3.6 geven de debieten en temperaturen van de generator en de verdampers weer op een warme dag en een - voor de absorptiekoeling - koude dag. Opvallend zijn de zeer geringe verschillen, ook in de koudefactor.

5.4 De koudefactor als functie van de belasting

Door constante koudevraag op slechts een deel van de capaciteit van de machine kan geen goed beeld gevormd worden van het functioneren van de installaties onder ontwerp omstandigheden, zie ook de figuren 5.4.1 en 5.4.2.

Er zijn vier 'extreme' situaties denkbaar:

1. Lage buitentemperatuur, hoge belasting.
2. Hoge buitentemperatuur, hoge belasting.
3. Lage buitentemperatuur, lage belasting.
4. Hoge buitentemperatuur, lage belasting.

Het gedrag van situatie twee is niet bekend. De overgang van situatie drie naar situatie een in oktober 1992 toont aan dat de koudefactor gunstig wordt beïnvloed door een belasting. Een verklaring kan gelegen zijn in het feit dat - door de aard van de capaciteitsregeling (via het debiet door de generator) de generatortemperatuur stijgt bij stijgende belasting, terwijl de verdampertemperatuur nauwelijks daalt omdat de gemiddelde temperatuur aan de koudwaterkant iets stijgt bij toenemende belasting. De condensor wordt zwaarder belast, doch hiervan is het ook aannemelijk dat de temperatuur niet of nauwelijks stijgt.

Als de buitentemperatuur gelijk heeft en de belasting neemt toe, dan ontstaat het beeld van een stijgende koudefactor. Situatie twee is dus wel enigszins voorgekomen. De voorzichtige en voorlopige conclusie is dan, dat deellast niet gunstig is voor deze machine, hetgeen haaks staat op de algemene kennis van en ervaringen met deze machines. (De V.O's zijn relatief groter bij lage belasting). Er zal nagedacht moeten worden over een regeling waarbij de generatortemperatuur niet verlaagd wordt om de capaciteit te verminderen. Mogelijk kan dit gebeuren door het debiet door de oplossingspomp te verminderen. Hierdoor stijgt de interne generatortemperatuur bij gelijke warmtestroom vanuit het stadsverwarmingsnet, waardoor de koudefactor vermoedelijk zal verbeteren. Dit vereist nader onderzoek.

De andere kant van deze zaak is dat met relatief lage generatortemperaturen toch nog een redelijke koudefactor behaald kan worden onder de bij comfortkoeling optredende temperaturen in verdampers en (lucht)condensoren.

Er zijn dan wel hoge debieten vereist aan de kant van het aandrijfvermogen. Deze situatie is interessant voor absorptiekoeling als vervanging voor grondwaterkoeling in die bedrijfsomstandigheden waarin warmte-overschotten op circa 50 - 60 °C bestaan.

5.5 Inzet vrije koeling

De koelwatertemperatuur zou enigzins verhoogd kunnen worden. Dit levert een aanmerkelijk grotere inzet (ten minste 50%) van de vrije koeling, juist in die uren waarin de stadsverwarmingswarmte beter elders ingezet kan worden. Het laten vervallen van de warmtewisselaar kan de inzet van vrije koeling verder vergroten.

6 Economie, energiebesparing en milieu-effecten van absorptiekoeling

Hoewel economische evaluatie pas in fase 2 van dit project aan de orde zal komen wordt hier toch voorlopig en globaal enige aandacht aan geschonken.

6.1 Energiebesparing en milieu-effecten

De energiebesparing die ontstaat door inzet van absorptiemachines is berekend in het aan dit demonstratieproject ten grondslag liggende zogenaamd pre-advies. Deze berekening ging uit van:

- 5000 vollasturen.
- Een bijstookfactor van 0,2¹⁾.
- Een koudefactor van .71.

Het aantal geconstateerde vollasturen op jaarbasis kan uit de metingen tot nu toe vastgesteld worden op 2800 uur, dus aanmerkelijk minder dan aangenomen. De resulterende koudevraag bedraagt nu 4536 GJ. Met een bijstookfactor van 0,2 en een koudefactor van .6 is het primaire energieverbruik: 1512 GJ per jaar. De extra elektrische energie van de oplossingspomp (7.5 kW), de condensorpomp (circa 11 kW meer dan voor de vergelijkbare mechanische koelinrichting) en de ventilatoren op de koeltoren (circa 8 kW) veroorzaken een extra primair energieverbruik van 1065 GJ per jaar. Het totale primaire energieverbruik van de absorptiekoel- machine bedraagt dus: 2577 GJ per jaar.

De mechanische koelinstallatie zou 3912.4 GJ aan primaire energie per jaar verbruikt hebben. De besparing door absorptiekoeling bedraagt derhalve 1335 GJ/jr. Dit komt overeen met 37.958 aardgasequivalenten per jaar en een reductie van CO₂ uitstoot van 69 ton/jaar. Deze getallen zijn aanmerkelijk lager dan in het pre-advies berekend. Dit wordt veroorzaakt door:

- De aanmerkelijk lagere gem. koudevraag dan aangenomen.
- De slechtere koudefactor.
- Het hogere elektriciteitsverbruik van - wel op vollast draaiende-circulatiepompen.

6.2 Economie

Als referentie voor de absorptiekoeling is de conventionele compressiekoeling aangehouden. De meerkosten van absorptiekoeling ten opzichte van compressiekoeling bedragen fl 145.000,--.

Door over te gaan op absorptiekoeling wordt 205.250 kWh elektriciteit bespaard. De totale kostenbesparing ten gevolge van absorptiekoeling bedraagt:

¹⁾ De bijstookfactor is de verhouding van de geleverde stadsverwarmingswarmte (noemer) en de verbrandingswarmte van de extra hiervoor te verstoken brandstof in de warmtekrachtcentrale. Zonder dit bijstoken zou het temperatuurniveau van de stadsverwarmingswarmte onvoldoende hoog zijn in de zomer en in de winter zou te weinig warmte vrijkomen ten behoeve van de stadsverwarming.

$$205.250 \text{ kWh} * \text{fl } 0.128 = \text{fl } 26.272,--$$

De meerkosten aan warmte ten gevolge van de absorptiekoeling bedragen:
 $7560 \text{ GJ} * \text{fl } 9.81 \text{ (FL/GJ)} = \text{fl } 74163,60-$

De totale meerkosten aan energie veroorzaakt door absorptiekoeling bedragen derhalve fl 47.891,60 per jaar.

Dit verschil wordt uiteraard mede veroorzaakt door de hoge warmtetarieven. Zoals reeds in de inleiding gesteld, is absorptiekoeling alleen aantrekkelijk bij gratis of zeer goedkope warmte. De energiekosten van beide systemen zijn gelijk bij een warmteprijs van fl 3.43/GJ.

Aangezien de meerinvestering van de absorptiekoeling circa 145.000,-- bedraagt, is de simpele terugverdientijd van de absorptiekoelmachine bij gratis warmte nog altijd 5.5 jaar. Hierbij moeten echter drie zaken nadrukkelijk in het oog worden gehouden:

- Bij juiste dimensionering en het hanteren van een reële warmteprijs van circa fl 2.50/GJ zou de terugverdientijd circa 3.6 jaar kunnen bedragen.
- Door de plaatselijke situatie zijn de meerkosten van absorptiekoeling relatief hoog.
- Bij warmtekrachtinstallaties kan gedurende een belangrijk deel van het zomerseizoen met gratis warmte worden gerekend, vooral wanneer de absorptiemachine met relatief lage generatortemperaturen (70 °C) kan werken.

7 Conclusies

- Het benodigde koelvermogen van de computerruimten van het hoofdgebouw van het Gemeentelijk Energiebedrijf (GEB) te Rotterdam blijkt aanmerkelijk lager te zijn dan berekend. Dit beïnvloedt de terugverdientijd en de koudefactor (en daarmee het primaire energieverbruik) ongunstig.
- De absorptiekoelmachine levert een jaarlijkse energiebesparing van circa 38.000 nm³/jr. Omdat de warmteprijs veel hoger is dan op basis van de bijstookfactor in de centrale verwacht zou mogen worden is absorptiekoeling op basis van de gehanteerde warmteprijs (fl 9.81/GJ) niet rendabel.
- De koudevraag wordt nauwelijks beïnvloed door het buiten-klimaat doch wordt vrijwel volledig bepaald door de interne warmtelast.
- Voor een rendabele toepassing van absorptiekoeling dienen de warmte prijzen laag te zijn (fl 2.50/GJ of lager)
- Zeer grote besparingen, zowel financieel als op primair energieverbruik, zijn te bereiken door het vermijden van koellast. In dit geval circa fl 3.000,— per kW aan investering en jaarlijks fl 1500 per kW aan opwekking en koeling.
- Het aandeel van de vrije koeling is drastisch uit te breiden door vermindering van de hydraulische scheiding middels een warmtewisselaar en het verhogen van de koelwatertemperatuur bij gelijke warmte-onttrekking. Het aantal uren dat de vrije koeling in bedrijf is zou hierdoor uitgebreid kunnen worden van circa 2500 uur/jaar tot circa 4500 uur/jaar. Ook dit verlaagt zowel de investering als het primaire energieverbruik (10.000 nm³ aardgas per jaar minderverbruik)
- De koudefactor lijkt ongunstig beïnvloed te worden door deellastbedrijf. Dit vereist nader onderzoek, omdat op theoretische gronden juist een stijging van de koudefactor verwacht mag worden omdat de VO's van alle warmtewisselaars toeneemt. De toegepaste capaciteitsregeling veroorzaakt een daling van de generatortemperatuur bij overigens gelijke verdamper en condensorcondities. Dit is vermoedelijk de oorzaak van de daling van de koudefactor.
- Door het feit dat de absorptiekoeling en de vrije koeling van dezelfde koeltoren gebruik maken veroorzaakte het gelijktijdig aanstaan van de absorptiekoelmachine en de vrije koeling een zeer hoog warmteverbruik van de absorptiekoelmachine. Secundair kon de gevraagde koude echter geleverd worden, zodat er geen klachten ontstonden. Deze kortsluiting kon door de aanwezigheid van de in het kader van dit onderzoek aangebrachte warmtemeters snel ontdekt worden.
- De absorptiemachine zou gedurende een groot deel van het koelseizoen met lagere aanvoertemperaturen kunnen functioneren. Dit zou de bijstookfactor kunnen verlagen. De besparing aan primaire energie zou hierdoor kunnen toenemen.
- Mogelijk kan de absorptiekoeling in cascade worden geschakeld met andere gebruikers van stadsverwarmingswarmte in de zomer, zoals indirect gestookte boilers.

8 Discussie

Een van de meest opvallende zaken bij dit project is dat de koellast nauwelijks wordt beïnvloed door het buitenklimaat. Een ander opmerkelijk resultaat is het feit dat het terugregelen van de absorptiekoeling gepaard gaat met een vermindering van de koudefactor. Bovendien blijkt de absorptiekoelmachine ook bij relatief lage generatortemperaturen (circa 50 °C) goed te functioneren. Globaal zou het gehele koelprobleem bij GEB (en bij toekomstige andere toepassingen!) in de volgende volgorde onder de loop genomen moeten worden:

- Probeer koellast zoveel mogelijk te vermijden. Dit levert grote besparingen op. De kosten per vermeden kW mogen in het geval van GEB circa 10.000,— per kW zijn (bij een “terugverdien” tijd van circa 5 jaar). Meerinvesteringen in weinig dissiperende computersystemen of systemen die onder alle omstandigheden met vrije koeling kunnen werken zijn op deze wijze wellicht sneller terugverdiend dan men algemeen aanneemt.
- Maximaliseer de inzet van vrije koeling door ruime dimensionering van koelunits en koeltoren en door een regeling die een eventuele koelmachine niet onnodig inschakelt. In de praktijk komt dat er op neer dat het warmte-uitwisselend oppervlak in de koelunits en in de koeltoren volledig wordt benut. Bovendien kan de beschikbare stadsverwarmingswarmte in deze uren van vrije koeling beter ingezet worden voor verwarmingsdoeleinden!
- Zorg voor een goed gedimensioneerde koelmachine met een zo laag mogelijk primair energieverbruik. Als de drijvende warmte slechts voor een gering deel ten koste van primaire energie wordt opgewekt dan is een absorptiekoelmachine energiebesparend. Als de warmteprijs ook laag is (maximaal circa fl 2.50 /GJ) kan de absorptiekoeling bovendien economisch verantwoord zijn. Als bovendien de uitnutting van het stadsverwarmingswater wordt beloond (lagere retourtemperatuur betekent betere uitnutting) dan kan cascadering warm tapwater opwekking dit economisch rendement nog verder verbeteren.

Daarnaast zou het wellicht zinvol zijn na te denken over de toepassing van een absorptiesysteem dat zowel als koelmachine en als warmtepomp kan werken. Als het mogelijk is de generator zowel bij relatief lage temperatuur met gebruik van stadsverwarmingswarmte als met relatief hoge temperatuur (direct gestookt) te verwarmen (waarbij de koelmachine gaat functioneren als warmtepomp en waarbij de absorber/condensor warmte als nuttige warmte voor de verwarmingsinstallatie wordt gebruikt) dan kan het economische rendement van absorptiesystemen verder opgevoerd worden. Dit is uiteraard vooral daar interessant waar een gecombineerde koudevraag en warmtevraag (zoals bij het GEB) voorkomt.

9 Literatuur

- [1] Recknagel, Sprenger, Honmann,
Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik,
R. Olednbourg Verlag Munchen Wien, 66e uitgave.

- [2] Niebergall W.,
Sorptions Kaltemaschinen,
Handbuch der Kaltetechnik siebenter band, Springer Verlag 1959.

10 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Novem B.V.

Postbus 17

6130 AA Sittard

Namen en functies van de medewerkers

Ir. J.B. de Wit - onderzoeker

E.J. Ligtenberg - researchmedewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Niet van toepassing

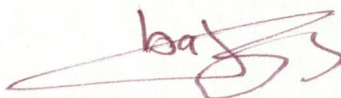
Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

Ondertekening



Ir. J.B. de Wit
onderzoeker

Goedgekeurd door



Ir. P.A. Oostendorp
werkgroep leider

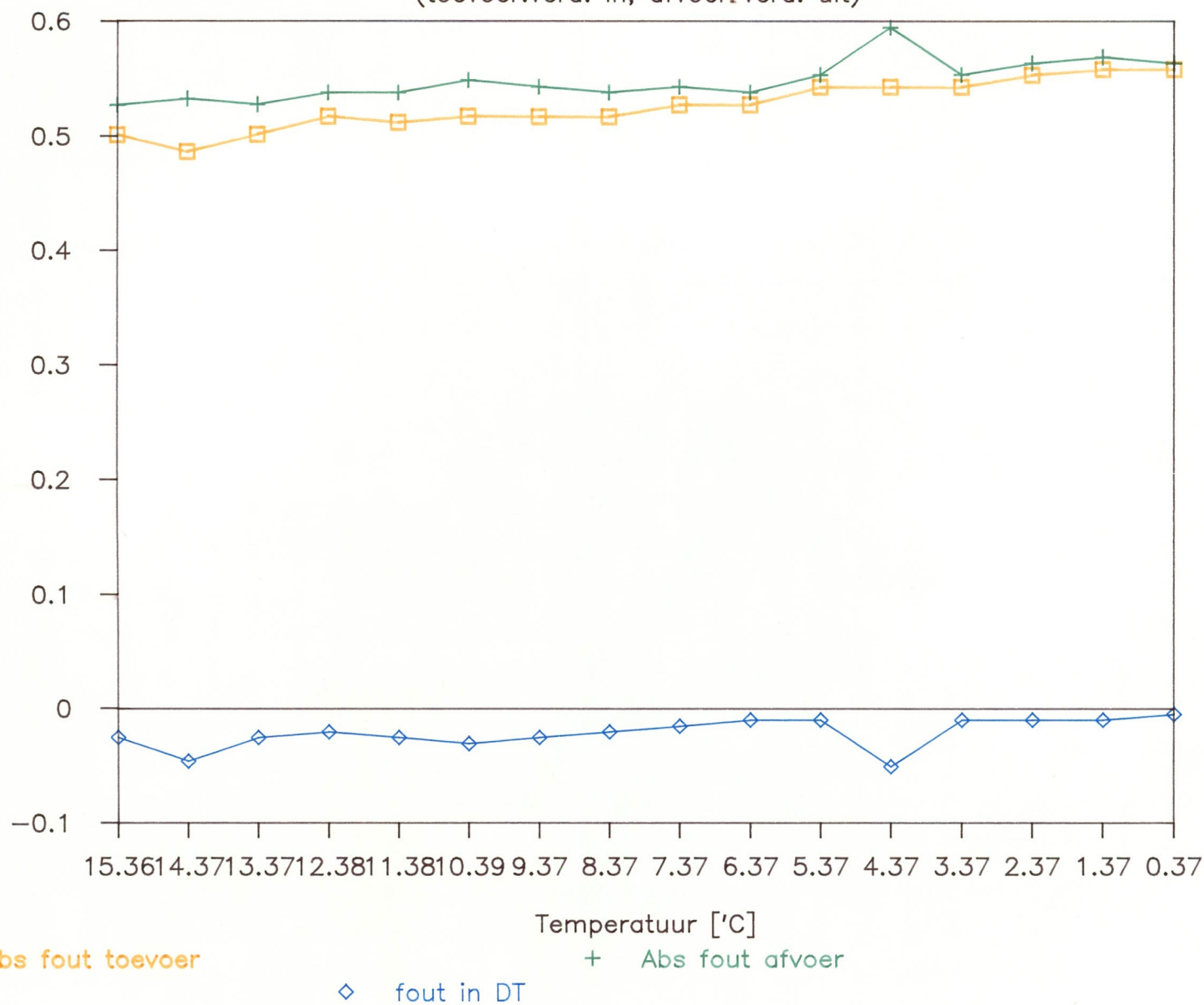
Figuren

FIGUUR 4.1

Calibratie PT 500 set verdamper A.K.M.

(toevoer:verd. in, afvoer:verd. uit)

temperatuurafw. absoluut en DT [°C]

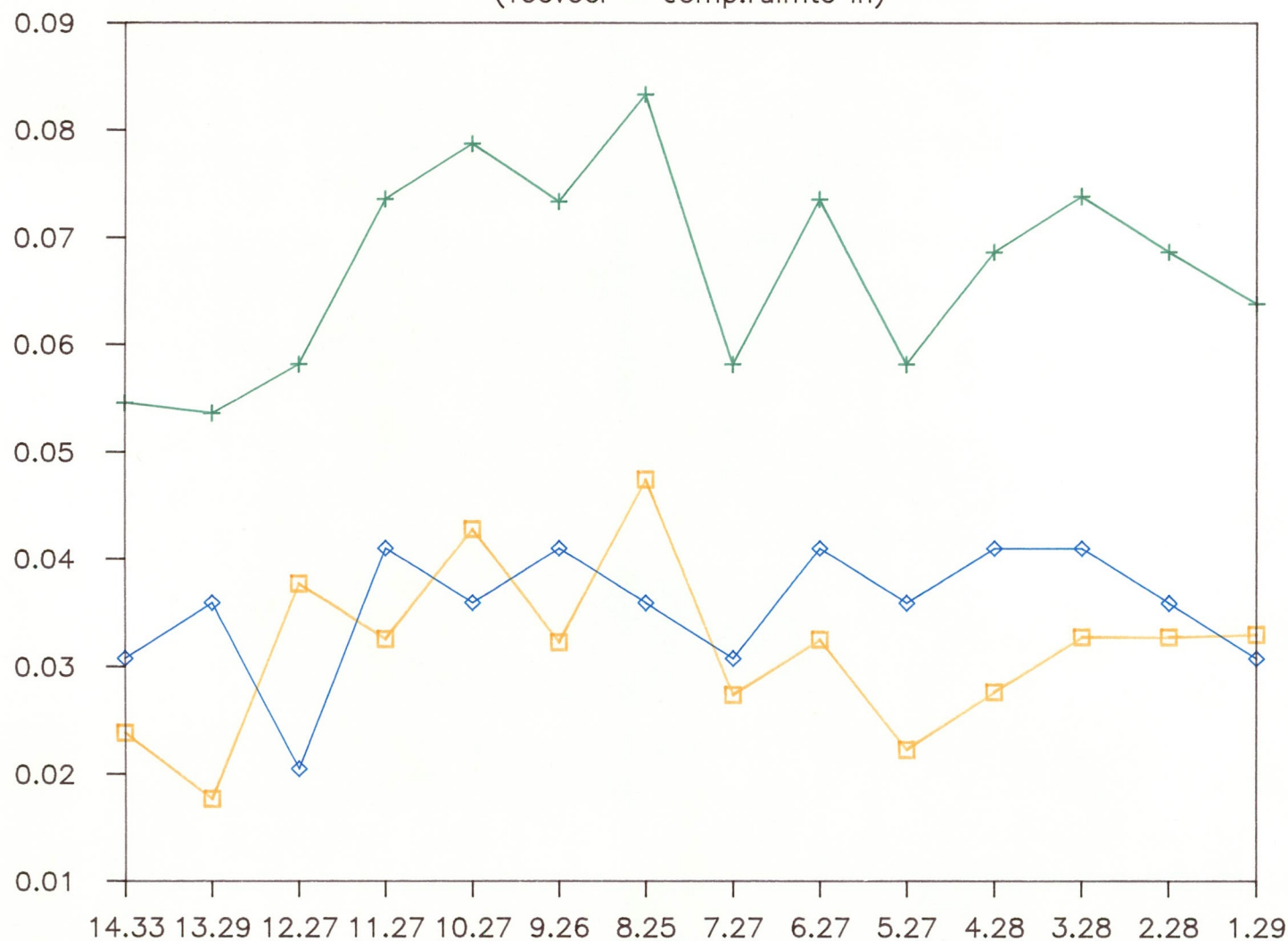


FIGUUR 4.2

Calibratie PT 500 set computerruimte

(Toevoer = comp.ruimte in)

Temperatuurafwijking abs. en DT [°C]



□ Abs fout toevoer

◇ fout DT

+ Abs fout afvoer

Bijlage 1 Verdeling van temperaturen en relatieve vochtigheden in het standaardjaar

Bijlage 2 Beschrijving warmtekrachtcentrale EZH

**Bijlage 3 Beschrijving CARRIER absorptiekoelmachine
16 JB/JE**

**Bijlage 4 Voorbeeld uitdraai meetfile, aangemaakt met
ASYST-VADAS**

**Bijlage 5 Documentatieblad demonstratieproject
Absorptiekoelmachine**