

Een koelbatterij in niet-ontwerpcondities

ISSO47 'Ontwerp van hydraulische schakelingen voor koelen' geeft de huidige kennis weer van de waterzijdige prestaties van een koelbatterij in deellast, gecombineerd met een hydraulische module. Een enkele term omschrijft de prestaties of eigenschappen. Het beeld van waterzijdige prestaties in deellast is daardoor onvolledig. Dit artikel beschrijft een nieuwe weergave om het deellastgedrag van een koelbatterij in niet-ontwerpcondities beter inzichtelijk te maken. Conclusie is dat er geen eenvoudig verband is tussen vermogen, waterzijdig debiet en waterzijdig temperatuurverschil. Ook is de weergave uit ISSO47 maar gedeeltelijk correct. Een voorbeeld van deze nieuwe weergave is de invloed van een constantdebietklep op de waterzijdige prestaties.

Ir. A.H.T.M. (Alet) van den Brink, Kropman Installatietechniek; ir. G. (Gert) Boxem, dr.ir. A.W.M. (Jos) van Schijndel, Technische Universiteit Eindhoven

Het belang van koelen van gebouwen is over de laatste decennia toegenomen. De koelbehoefte is gestegen door betere isolatie in combinatie met de interne warmtelast. Het is belangrijk dat deze koelbehoefte op economisch en energetisch efficiënte wijze wordt ingevuld. Het hydraulische ontwerp van het koelcircuit is een belangrijke voorwaarde voor een goede energetische prestatie van het gehele koelsysteem. ISSO publicatie 47 [1] geeft de handvatten voor het ontwerp van de hydraulische schakelingen, waarbij de prestaties in deellast worden weergegeven. Toch komen er in de praktijk situaties voor waarin de verwachte prestaties achterblijven en het waterzijdig temperatuurverschil in deellast onvoldoende of niet wordt gerealiseerd. De capaciteit van de opgestelde koelmachines wordt dan slecht benut en veel WKO-installaties functioneren niet meer naar verwachting. Dit leidt tot een hoger energie-

gebruik. Naast algemeen bekende oorzaken, bijvoorbeeld niet of verkeerd inregelen, is het huidige inzicht in het deellastgedrag nog onvoldoende om het verminderde waterzijdig temperatuurverschil in deellast sluitend te verklaren.

■ NIEUWE PRESENTATIEMETHODE

Voor koelbatterijen is de vollaast- of ontwerpconditie goed gedefinieerd voor de primaire zijde (water) en de secundaire zijde (lucht). Koelbatterijen in luchtbehandelingskasten worden namelijk voor deze nominale conditie geselecteerd. Hierbij zijn de vereiste prestaties op basis van lucht- en waterzijdige gegevens de invoer voor de selectie. De uitvoer is een koelbatterij met een kA-waarde [W/K] die de prestaties levert onder ontwerpcondities. De kA-waarde kan voorgesteld worden als de capaciteit van de warmtewisselaar. Door de

combinatie van voelbare en latente koeling is het moeilijk om voor niet-ontwerpcondities de water- en luchtzijdige gegevens goed te bepalen. Dit wordt verder gecompliceerd doordat deze combinatie ook afhankelijk is van de watersnelheid en de waterintredetemperatuur van de koelbatterij. De waterzijdige eigenschappen van koelbatterijen in deellast zijn mede afhankelijk van de gekozen hydraulische module. De huidige kennis hierover is weergegeven in ISSO47.

In dit artikel worden de waterzijdige prestaties van een koelbatterij voor niet-ontwerpcondities op een nieuwe wijze weergegeven, zodat er meer inzicht wordt verkregen in het deellastgedrag van de combinatie koelbatterij en

Dit artikel maakt deel uit van een serie artikelen die de huidige kennis van waterzijdige systemen aanvult.

hydraulische module. Voor deze nieuwe presentatiemethode wordt de debiet- of smoorregeling gebruikt, module 6 uit ISSO47 [1]. Deze wordt in de klimaattechniek veel toegepast en is in figuur 1 [1] links weergegeven.

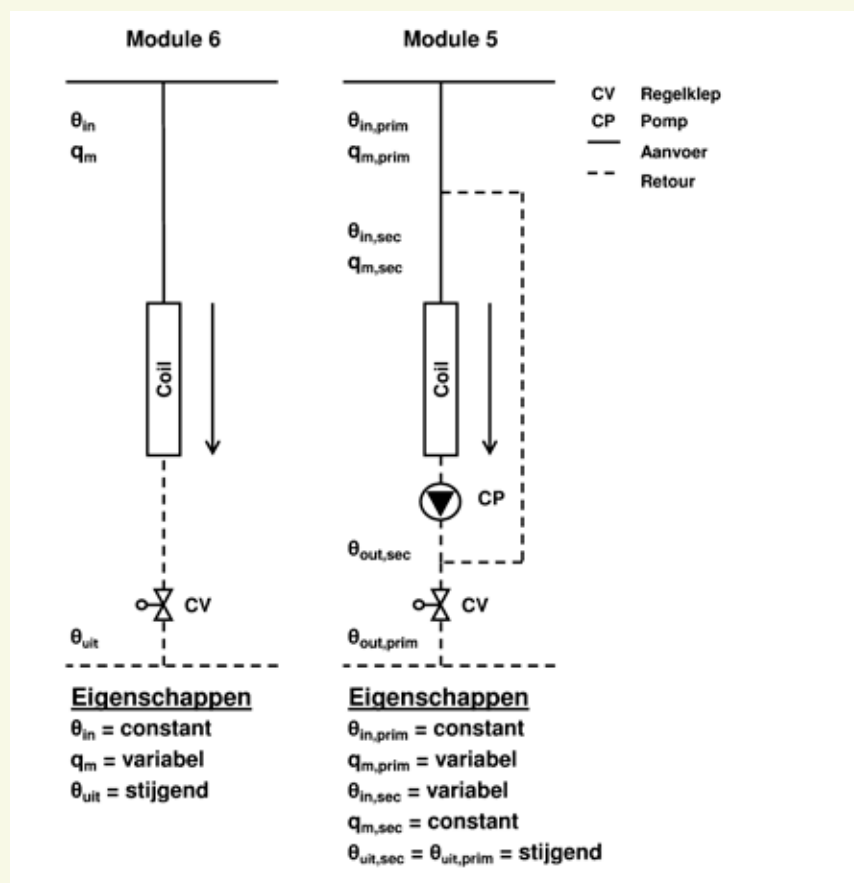
Bij deze wijze van regelen is het wenselijk dat de retourwatertemperatuur stijgt bij een dalend vermogen, waardoor de transportenergie daalt. Een eigenschap van deze module is dat het debiet in deellast daalt. Hierdoor daalt de waterzijdige warmteoverdrachtscoëfficiënt van water-op-buis waardoor de kA -waarde van de koelbatterij ook afneemt.

Een tweede veel toegepaste module is de zogenaamde meng- en smoorschakeling, module 5 [1]. Deze module is vereenvoudigd rechts weergegeven in figuur 1. De primaire temperatuur $\theta_{in,prim}$ [°C] blijft gelijk en het vermogen wordt geregeld door het debiet $q_{m,prim}$ [kg/s] te reduceren. De pomp CP zorgt voor een constant debiet $q_{m,sec}$ [kg/s] over de koelbatterij, waardoor het vermogen geregeld wordt door een hogere mengtemperatuur $\theta_{in,sec}$ [°C] aan de koelbatterij toe te voeren. Hierdoor blijft de kA -waarde constant. Deze regeling wordt vaak gebruikt om de secundaire temperatuur $\theta_{in,sec}$ te verhogen om bijvoorbeeld condensatie te voorkomen (droge koeling). De waterzijdige kenmerken zijn in figuur 1 met een enkele term weergegeven en het stijgend waterzijdig temperatuurverschil in deellast is een eigenschap van beide modules [1]. Deze enkele term geeft geen volledig beeld van de prestaties in deellast.

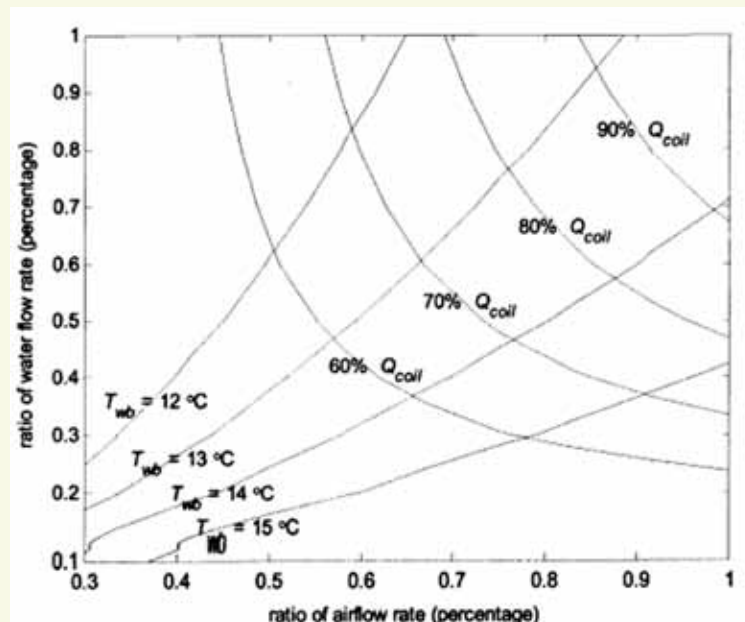
De documentatie van standaard koelbatterijen van leveranciers geven in tabellen op wat de prestaties voor afwijkende condities ten opzichte van de ontwerpconditie zijn. In [2] worden op basis van deze data de wijzigende prestaties van de koelbatterij weergegeven, zie figuur 2.

De genoemde data zijn uitsluitend gebaseerd op de vollast inredeconditie, waarbij vermogens beneden 60% van het ontwerpvermogen niet zijn weergegeven. Tevens zijn de waterzijdige temperaturen en de toegepaste hydraulische module niet vermeld.

Het is wenselijk om ook de waterzijdige prestaties van de geselecteerde koelbatterij onder niet-ontwerpcondities in een eenvoudige en herkenbare achtergrond te hebben. Deze prestaties worden beïnvloed door de stijgende warmteweerstand van water-op-buis als gevolg van het dalend debiet in de buis van de koelbatterij. Omdat veel koelbatterijen worden geregeld door middel van een smoorregeling en de achterblijvende waterzijdige prestaties met de huidige kennis niet verklaarbaar zijn, is het van belang dat de waterzijdige



-Figuur 1- Hydraulische inpassing met een smoorschakeling (links) en een smoor- en mengschakeling (rechts) [1]



-Figuur 2- Deellastprestaties van een koelbatterij voor koeling in een luchtbehandelingskast [2]

temperaturen en debieten van deze combinatie van koelbatterij en hydraulische module beter bekend worden.

Het doel van dit artikel is om meer inzicht te geven in de waterzijdige prestaties van de combinatie koelbatterij en gebruiker module 6. Met behulp van een model van de koelbatterij worden de prestaties berekend en grafisch gepresenteerd in een achtergrond die eenvoudig te gebruiken is binnen het vakgebied. Het resultaat is dat de ontwerper de prestaties van de combinatie van koelbatterij en gebruiksmodule in vol- en deellast beter kan beoordelen.

■ TOELICHTING EN UITLEG

Om de prestaties van de koelbatterij in deellast weer te geven, worden deze voor niet-ontwerpcondities berekend. Het gebruikte theoretisch model is gebaseerd op het werk van Elmahdy en Mitalas, 'A simple model for cooling and dehumidifying coils for use in calculating energy' [3] en vindt haar basis in het werk van Threlkeld, 'Thermal Environmental Engineering' [4]. Dit model formuleert aan de hand van de afzonderlijke warmteweerstanden aan de binnenzijde (waterzijdig) en aan de buitenzijde (luchtzijdig) van de koelbatterij, en de warmteweerstand van de buis de totale warmtedoorgangscoefficient k [$W/m^2 \cdot K$] van de wisselaar. Hierbij wordt gebruik gemaakt van experimentele correlaties om de waterzijdige en luchtzijdige warmteoverdrachtscoëfficiënten te berekenen. De warmteweerstand van de buis zelf is gering [4]. Voor een uitgebreide beschrijving van het model wordt verwezen naar [5].

Het model van Elmahdy en Mitalas is op vier punten verbeterd. In de eerste plaats is de Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD) vervangen door de ϵ NTU-methode (resp. effectiveness en Number of Transfer Units), waardoor de deellastprestaties direct berekend kunnen worden. Bij een constant luchtdebiet en een dalend waterdebiet stijgt de waterzijdige warmteweerstand en krijgt deze een groter aandeel in de totale warmteweerstand van de koelbatterij. Het model is uitgebreid met laminaire en overgangsstroming op basis van het werk van Brandemuehl et al [7]. De tweede verbetering is dat de invloed van bochten (U-bends) bij laminaire stroming is meegenomen op basis van het werk van Haglund Stignor et al [8]. Na elke bocht wordt de laminaire stroming verstoord en treedt er een verschijnsel op vergelijkbaar met het intredeverschijnsel, waardoor de warmteoverdrachtscoëfficiënt groter wordt. De derde verbetering is dat in de originele publicatie en in [7] een term uit een vergelijking is weggefallen [9]. Dit is alsnog aan het model toegevoegd. In de vierde plaats,

ten slotte, is de invoerwijze ten opzichte van [7] gewijzigd. Door de invoer van fysieke afmetingen van de koelbatterij en door enkele variabelen constant te veronderstellen, is het aantal invoerparameters van de koelbatterij gereduceerd van 18 naar 10. Het model is geprogrammeerd in Matlab.

Het model is in staat om droge, natte en gedeeltelijk natte koeling weer te geven. De publicaties van Elmahdy zijn voorzien van meetwaarden en fysieke afmetingen van twee koelbatterijen [3], [6]. Voor turbulente stroming is de hoogste gemiddelde afwijking $\leq 5\%$. Het is nu mogelijk om voor elke luchtintredeconditie het waterzijdig debiet en temperatuurverschil te bepalen en de resultaten te presenteren. Bij het koelen van vochtige lucht kan naast het verlagen van de temperatuur ook het absoluut vochtgehalte dalen. Dit proces wordt weergegeven in het Mollier-diagram. Dit diagram wordt veel gebruikt in de klimaattechniek en is daarom geschikt als achtergrond om de resultaten van de koelbatterij onder niet-ontwerpcondities weer te geven.

De resultaten worden genormaliseerd met behulp van het nominale vermogen P_{nom} [W], het nominale waterzijdig temperatuurverschil $(\theta_{uit,nom} - \theta_{in,nom})$ [K] en het nominale waterzijdig debiet $q_{m,nom}$ [kg/s], alle bij de ontwerpconditie. Deze genormaliseerde of procentuele grootheden worden als volgt berekend:

$$P^* = P / P_{nom}$$

P^* [-] is het genormaliseerde vermogen, P [W] het berekende totaal vermogen van de luchtin-

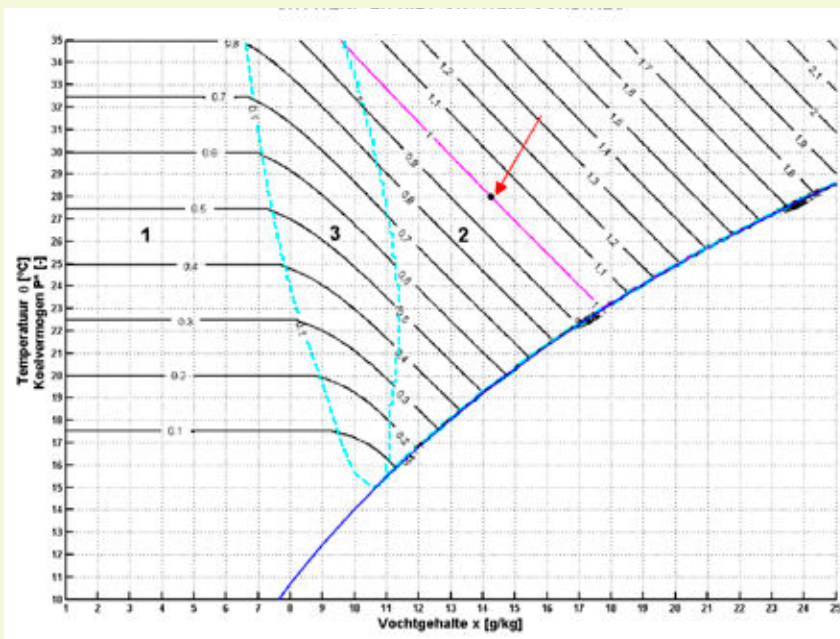
tredeconditie en P_{nom} [W] het totaal vermogen onder ontwerpcondities:

$$T^* = \theta_{uit} - \theta_{in} / \theta_{uit,nom} - \theta_{in,nom}$$

T^* [-] is het genormaliseerde waterzijdige temperatuurverschil, θ_{uit} [°C] de wateruit- en θ_{in} [°C] de waterintredetemperatuur bij de luchtintredeconditie, $\theta_{in,nom}$ [°C] de waterin- en $\theta_{uit,nom}$ [°C] de wateruittredetemperatuur onder ontwerpcondities:

$$q_m^* = q_m / q_{m,nom}$$

Hierin is q_m^* [-] het genormaliseerde waterzijdige debiet, q_m [kg/s] het berekende debiet en $q_{m,nom}$ [kg/s] het debiet onder ontwerpcondities. De ontwerpintredeconditie van 28°C/60% ($x_{in,nom} = 14,3g/kg$), wordt weergegeven door een stip in het diagram. De resultaten zijn berekend met een stapgrootte voor het vochtigheidsgehalte van 0,1g/kg en voor het temperatuurverschil van 0,1K bij een constante luchtdruk van 101,325 kPa. Een aantal grafieken geeft de resultaten van de koelbatterij met module 6 als vermogensregeling (variabele warmteoverdracht) met een onbeperkt debiet. Daarna wordt een voorbeeld gegeven van de toepassing van deze presentatiemethode, waarbij het maximum debiet wordt begrensd. Op vergelijkbare wijze kunnen ook de Voelbare Warmte Factor (VWF) [-], het uittredend vochtgehalte [g/kg] en het aandeel van het uitwendige oppervlak van de koelbatterij waar condensatie optreedt F_{wet} [-] worden weergegeven. Deze zijn hier niet weergegeven. In de weergegeven afbeeldingen



-Figuur 3- Lijnen van constant vermogen P^* van een koelbatterij voor ontwerp en niet-ontwerpcondities, module 6

worden de luchthoeveelheid, wateraanvoer en de luchtuitredetemperatuur constant gehouden, tenzij expliciet aangegeven.

■ CONSTANT VERMOGEN

In figuur 3 zijn de (contour)lijnen van totaal constant vermogen P^* weergegeven in het Mollier-diagram voor ontwerp (stip, aangegeven door de rode pijl) en niet-ontwerpcondities. De grafiek is horizontaal verdeeld in twee delen, waarbij voor elke luchtintredeconditie het dimensieloos vermogen afgelezen kan worden.

Bij elke luchtintredeconditie op de lijn $P^*=1$ (paarse lijn) is het lucht en waterzijdig vermogen P gelijk aan het ontwerpvermogen P_{nom} . Deze lijn loopt door de ontwerpconditie (=stip). Onder deze lijn neemt het vermogen af en is er sprake van deellast bedrijf: $P^*<1$. Boven deze lijn neemt het vermogen toe: $P^*>1$.

Daarnaast wordt de grafiek verticaal verdeeld in drie delen door twee (lichtblauwe) lijnen.

In het eerste en linkerdeel van de grafiek lopen de lijnen van gelijk vermogen horizontaal en op gelijke afstand van elkaar. Het betreft hier droge koeling en de afstand is alleen afhankelijk van het temperatuurverschil tussen de luchtin- en luchtuitredetemperatuur.

In het tweede en rechterdeel lopen de lijnen van gelijk vermogen niet meer horizontaal en treedt er ontvochtiging op. Deze lijnen lopen nagenoeg gelijk met de enthalpielijnen.

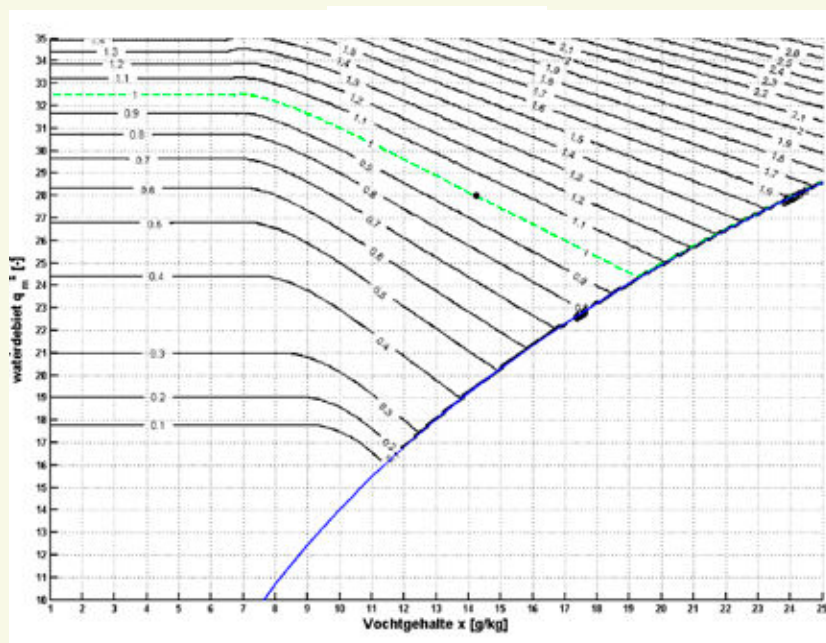
Het derde deel is het overgangsgebied van volledig droge naar volledig natte koeling en ligt tussen beide gebieden. Hier zijn de lijnen gebogen en is er sprake van een gedeeltelijk natte koelbatterij.

Uit de grafiek is af te lezen dat het absoluut vochtgehalte waar de condensatie start, niet constant is. Bij een stijgende luchttemperatuur treedt condensatie op bij een dalend absoluut vochtgehalte op en het startpunt verschuift naar links. Door het stijgend waterdebiet daalt de overgangswaerstand en daalt de oppervlaktetemperatuur van de koelbatterij.

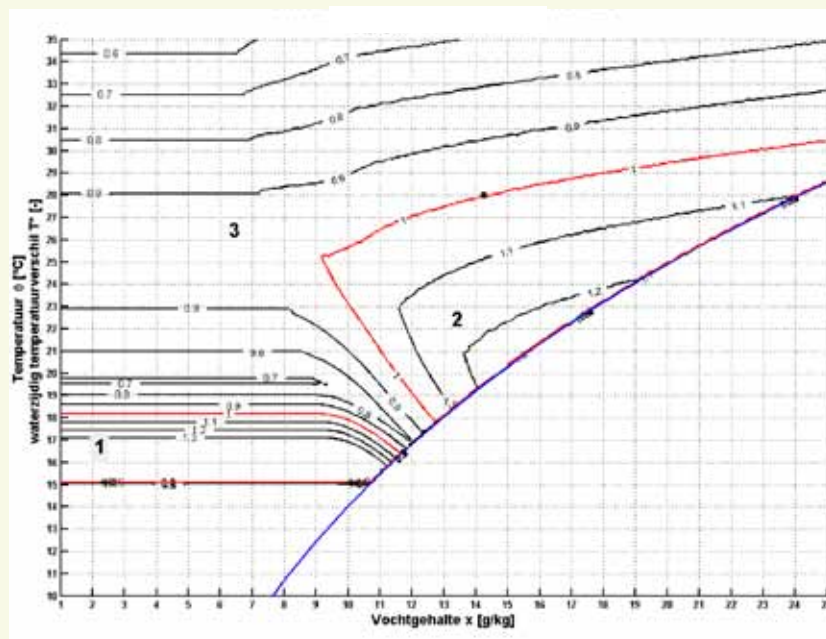
Het punt waar de ontvochtiging start is dus niet alleen afhankelijk van de watertemperatuur, maar ook van de watersnelheid in de batterij.

■ CONSTANT WATERDEBIET

In figuur 4 zijn de lijnen van constant debiet q_m^* weergegeven. Deze grafiek is al complexer doordat het waterdebiet niet regelmatig stijgt met het stijgen van het vermogen. Dit is met name bij de droge koeling goed te zien. Hier is een toename van het debiet van 0,2 naar 0,3 goed voor een temperatuurdaling van ongeveer 2K. Echter, een toename van het debiet 0,7 naar 0,8 resulteert in een daling van



-Figuur 4- Lijnen van constant waterdebiet q_m^* van een koelbatterij voor ontwerp- en niet-ontwerpcondities, module 6



-Figuur 5- Lijnen van constante waterzijdige temperatuurverschillen T^* van een koelbatterij voor ontwerp- en niet-ontwerpcondities, module 6

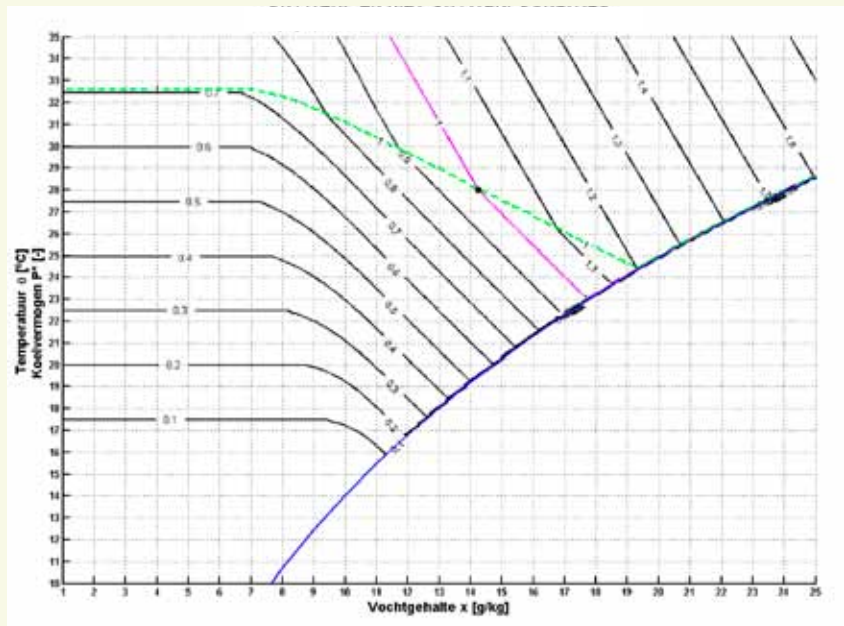
1K. Indien het debiet stijgt tot een waarde >1 (de groene lijn), resulteert een lichte verhoging van het vermogen in een niet te verwaarlozen hoger waterdebiet. Dit betekent dat meer vermogen al snel resulteert in veel meer debiet. Dit heeft als gevolg dat het waterzijdig temperatuurverschil daalt (figuur 5).

■ CONSTANT WATERZIJDIG TEMPERatuurVERSCHIL

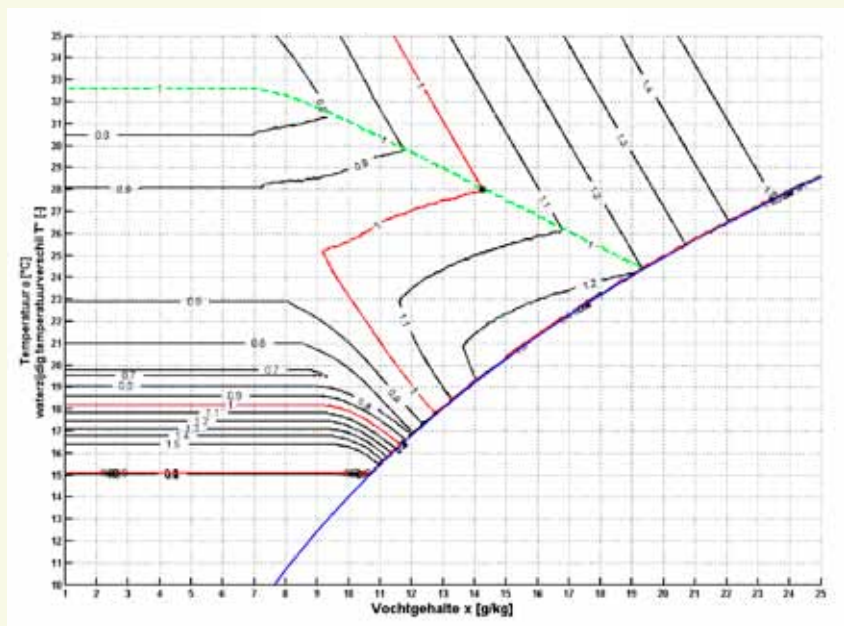
In figuur 5 zijn de lijnen van constante waterzijdige temperatuurverschillen T^* weergegeven en vormen ze het verband tussen het vermogen P^* en het waterdebiet q_m^* . Deze figuur geeft een goed beeld van het complexe gedrag van het waterzijdig temperatuurverschil. De eerste conclusie is dat er geen eenvoudig verband is tussen het koelvermogen en het waterzijdig temperatuurverschil. Zo zijn er twee (rode) lijnen van intredecondities, waarbij het waterzijdig temperatuurverschil gelijk is aan het ontwerp temperatuurverschil: $T^*=1$. De eerste lijn loopt door de ontwerpconditie (stip) en de tweede lijn start bij een luchtintredetemperatuur van $\pm 18^\circ\text{C}$. Deze twee lijnen verdelen het Mollier-diagram in drie delen. In de eerste twee delen stijgt het temperatuurverschil in deellast in overeenstemming met ISSO47. Echter, in het tussenliggende derde deel daalt het temperatuurverschil in deellast. De tweede conclusie is dat het waterzijdig temperatuurverschil in deellast niet uitsluitend stijgt, zoals in ISSO47 wordt weergegeven.

■ WATERZIJDIG DEBIETBEGRENZING

De toegevoegde waarde van deze methode wordt duidelijk wanneer het maximum debiet wordt begrensd op de ontwerpwaarde: $q_m^* \leq 1$. Het doel is om inzicht te geven in de invloed van een dergelijke maatregel op de waterzijdige prestaties van de koelbatterij. In het voorgaande is uitgegaan van een ongelimiteerd debiet. Hierdoor bestaat het risico van een hydraulische onbalans wat resulteert in een ongelijkmatige verdeling van de debieten tussen de verbruikers. Om deze onbalans te voorkomen wordt de installatie ingeregeld, waarbij het ontwerpdebiet q_m^* van de koelbatterij wordt ingesteld op de waarde $q_m^*=1$ bij een volledig geopend regelventiel. Dit inregelen wordt traditioneel gedaan door middel van het inregelventiel met een vaste, instelbare weerstand. Het nadeel is dat een hoger drukverschil een debiet $q_m^* > 1$ veroorzaakt. Een maatregel om dit te verhelpen is de constantdebietregelaar. Hierbij worden de inregelafsluiter en het regelventiel vaak geïntegreerd, waarbij deze wordt ingesteld op het ontwerpdebiet van $q_m^*=1$. Onafhankelijk van de (hogere) voordruk is nu het debiet begrensd



-Figuur 6- Lijnen van constant vermogen P^* van een koelbatterij voor ontwerp en niet-ontwerprichties, module 6 met debietbegrenzing



-Figuur 7- Lijnen van constant waterzijdige temperatuurverschillen T^* van een koelbatterij voor ontwerp en niet-ontwerprichties, module 6 met debietbegrenzing

op de ontwerpwaarde.

In figuur 6 zijn de lijnen van het totaal constant vermogen P^* weergegeven, waarbij het debiet is begrensd op $q_m^*=1$. De figuur is identiek aan figuur 3 tot de lijnen van constant debiet $q_m^*=1$ (groene lijn). Boven deze lijn stijgt het vermogen minder sterk, doordat deze alleen wordt gerealiseerd door de verhoging van de temperatuur van het retourwater. Als gevolg daarvan daalt het vermogen en stijgt de luchtuitredetemperatuur ten opzichte van de ingestelde waarde van 15°C (niet weergegeven).

Het waterzijdig debiet blijft gelijk aan figuur 4, waarbij het maximum debiet is begrensd tot $q_m^*=1$. In figuur 7 zijn de lijnen van constante waterzijdige temperatuurverschillen T^* weergegeven. In deze figuur is te zien dat bij de ontwerpconditie (stip) het temperatuurverschil een buigpunt heeft. De lijn door deze buigpunten vormen de lijn $q_m^*=1$ (groen lijn). Het waterzijdig temperatuurverschil voor het debiet is ten opzichte van figuur 5 ongewijzigd tot $q_m^*=1$ en blijft vervolgens constant. De derde conclusie is dat een regelklep met debietbegrenzing geen verschil laat zien met de onbegrensd situatie totdat het waterzijdig debiet de ontwerpwaarde heeft bereikt. Het belang deze conclusie wordt in een vervolgartikel toegelicht.

CONCLUSIE

In dit artikel is een nieuwe wijze gepresenteerd om het deellast gedrag van een koelbatterij voor niet-ontwerpcondities weer te geven,

waarbij de samenhang tussen het vermogen, het waterzijdig debiet en temperatuurverschil inzichtelijk is gemaakt. Er blijkt geen eenvoudig verband te zijn tussen het vermogen enerzijds en het waterzijdige debiet en temperatuurverschil anderzijds.

De conclusie is dat het toepassen van een waterzijdig smoorregeling (module 6) in tegenstelling de huidige kennis, in deellast niet uitsluitend resulteert in een stijgende retourwatertemperatuur. Er is een gebied met luchtintredecondities waarin het waterzijdig temperatuurverschil in deellast daalt ten opzichte van de ontwerpconditie. Dit veroorzaakt lagere retourtemperaturen in de gekoeldwaterinstallatie dan bij de ontwerpconditie.

Ten slotte, de constantdebietklep geeft geen verschil in het waterzijdig gedrag totdat het ontwerpdebiet is bereikt.

VERVOLGARTIKEL

Dit eerste artikel heeft een nieuwe wijze gepresenteerd om de waterzijdige prestaties van een koelbatterij in niet-ontwerpcondities weer te geven. In het tweede artikel wordt de specifieke waterzijdige prestaties van module 6 voor een Nederlands klimaatjaar weergegeven. Immers, het huidige diagram geeft algemeen inzicht maar de relevante luchtcondities en de frequentie ervan blijven onderbelicht. De mate waarin het gebied met de lagere retourwatertemperaturen een rol spelen wordt hierin behandeld.

LITERATUURLIJST

1. ISSO-publicatie 47, Ontwerp van hydraulische schakelingen voor koelen, ISBN 90-5044-112-2, 2005
2. Lu. L., Cai, W., Xie, L., Li, S., S, Y.C., HVAC system optimization – in building sections, 2005
3. Elmahdy, A.H., Mitalas, G.P., (1977) 'A simple model for cooling and dehumidifying coils for use in calculating energy', ASHRAE Annual Meeting, pp. 103-117
4. Threlkeld, J.L., 'Thermal Environmental Engineering', 2nd edition, 1970
5. Brink, A.H.T.M., van den, Waterzijdige prestaties van een koelbatterij in niet-ontwerpcondities, afstudeerscriptie TU/e, 2012
6. Elmahdy, A.H. 1979, Biggs, R.C., Finned tube heat exchanger: correlation of dry surface heat transfer data, 1979
7. Brandemuehl, M.J., Gabel, S., 'Toolkit for HVAC System Energy Calculation', Subroutine type 73, 1993
8. Haglund Stignor C., Sundén, B., Fahlén, P., Liquid side heat transfer and pressure drop in finned-tube cooling-coils operated with secondary refrigerants, 2007
9. Persoonlijke correspondentie met Elmahdy, 2011

NOMENCLATUUR

A	Oppervlakte	m ²	Debiet (water)	$q_{m,nom}$	1,15 kg/s
k	Warmtedoorgangscoefficient van de koelbatterij	W/m ² .K	Luchtintredetemperatuur	$\theta_{a,in}$	28°C
P	Vermogen	W	Luchtuitredetemperatuur	$\theta_{a,uit}$	15°C
q_m	Debiet	kg/s	Vermogen	P_{nom}	27.980 W
T	Temperatuurverschil	K	Vochtgehalte, uitrede	$x_{a,uit}$	9,6 g/kg
v	Luchtdebiet	m ³ /s	Vochtgehalte, intrede	$x_{a,in}$	14,3 g/kg
V	Luchtsnelheid	m/s	Waterintredetemperatuur	$\theta_{in,nom}$	6°C
x	Vochtgehalte	g/kg	Wateruitredetemperatuur	$\theta_{uit,nom}$	11,8°C
θ	Temperatuur	°C			

Fysieke afmetingen koelbatterij

Breedte koelbatterij	0,61 m
Hoogte koelbatterij	0,61 m
Aantal rijen	4
Rijafstand	32,8 mm
Aantal circuits	20
Buitendiameter buis	7 mm
Binnendiameter buis	6 mm
Aantal vinnen	433 m ⁻¹
Dikte vin	0,165 mm
Vervuilingweerstand	0 m ² .K/W
Materiaal buis	koper
Materiaal vinnen	aluminium

Sub-/superscripts

a	air (lucht)
in	intrede
nom	ontwerpconditie
prim	primaire zijde
sec	secundaire zijde
set	setpoint (luchtzijdig)
uit	uitrede
*	genormaliseerde waarde

Ontwerp koelbatterij

Debiet (lucht)	V_a	0,93 m ³ /s
----------------	-------	------------------------