

Auteur ir. A.H.T.M. (Alet) van den Brink, Kropman Installatietechniek B.V.

De invloed van niet-constante luchtuitrede- en wateraanvoertemperaturen

De huidige kennis op het gebied van de warmteafgifte-karakteristiek is gebaseerd op de veronderstelling en vereenvoudiging dat de luchtuitredetemperatuur en de wateraanvoertemperatuur constant zijn. Deze aannames zijn ook gehanteerd bij de eerder gepresenteerde afleiding in [1]. Echter, in veel installaties in de gebouwde omgeving worden deze temperaturen (zowel lucht als water) aangepast op basis van de buitenluchttemperatuur (compensatie). Beide temperaturen zijn daardoor niet meer constant. Wat is de invloed van deze zogenaamde weersafhankelijke compensaties en wat betekent dit voor de selectie van de regelklep en klepkarakteristiek? In dit artikel worden nieuwe vergelijkingen gepresenteerd, waarbij de eerder gepresenteerde warmteoverdrachtsfactor of richtingscoëfficiënt a [1] uitgebreid wordt naar een integrale waarde a^ . In deze a^* wordt rekening gehouden met het effect van de weersafhankelijke luchtuitredetemperatuur en wateraanvoertemperatuur. Het voordeel is dat de oorspronkelijke grafiek [3] voor het bepalen van de combinatie autoriteit A en de klepkarakteristiek nog steeds gebruikt kan worden met deze a^* .*

De afleiding en bepaling van deze a^* is de vierde en vóórlaatste afleiding over warmteafgiftekarakteristieken van lucht/water batterijen. In de eerste drie artikelen is ingegaan op eigenschappen van warmtewisselaars. Deze eigenschappen zijn in hoofdzaak het temperatuurverschil in deellast [1], de gecombineerde warmteafgifte-karakteristiek [2] en de keuze van de ideale autoriteit [3]. Zie resp. TM 02-2017, TM 04-2017 en TM.. Voor het leesgemak en als introductie volgt hieronder een korte samenvattingen van deze artikelen.

In het eerste artikel [1] is een afleiding gepresenteerd waarmee het waterzijdig-? temperatuurverschil in deellast voorspeld

kan worden. Deze wordt volledig gedefinieerd door de richtingscoëfficiënt of warmteoverdrachtsfactor a , die ook de vorm van de warmteafgiftekarakteristiek van de voorcoeler bepaald. Bij een voorcoeler is de luchtuitredetemperatuur constant. Merk op dat deze a (a cursief) een andere waarde van a is dan in de literatuur wordt tegengekomen [4]. Een negatieve waarde van a (de luchtuitredetemperatuur is *hoger* dan de wateruitredetemperatuur in de ontwerpsituatie) resulteert in een stijgend temperatuurverschil in deellast en in een boven-lineaire warmteafgiftekarakteristiek. Een positieve waarde van a (de luchtuitredetemperatuur is *lager* dan de wateruitredetemperatuur in de ontwerpsituatie) resulteert in een dalend temperatuurverschil in deellast en in een onder-lineaire warmteafgiftekarakteristiek. Een waarde van $a=0$ (de luchtuitrede-temperatuur is *gelijk* aan de wateruitredetemperatuur in de ontwerpsituatie) resulteert in een constant temperatuurverschil in deellast en in een zuiver lineaire warmteafgiftekarakteristiek.

In het tweede artikel [2] zijn beide warmteafgiftekarakteristieken van de voorcoeler (constante luchtuitredetemperatuur) en de nakoeler (constante luchtintredetemperatuur) in 1 grafiek gepresenteerd. Het is nu mogelijk de vermogensafgifte voor het gehele inzetbereik van de warmtewisselaar voor elk waterdebiet weer te geven in één enkele grafiek.

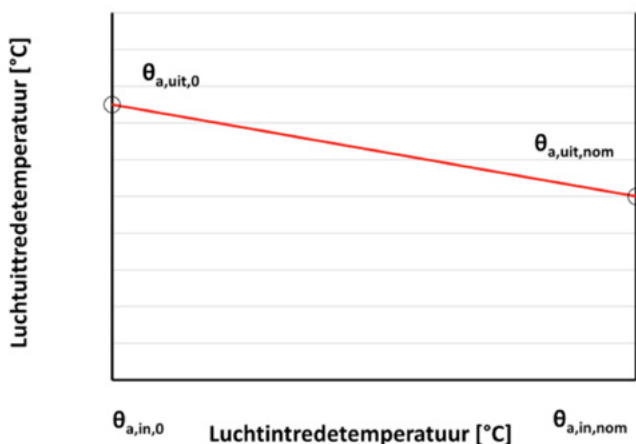
In het derde artikel [3] zijn de mogelijke warmteafgifte-karakteristieken van de voorcoeler, uitgedrukt in a , gecombineerd met de mogelijke keuzes van de autoriteit A . Hieruit is de ideale autoriteit bepaald voor elke waarde van a en wordt de meest aangewezen grondkarakteristiek, lineaire of een equiprocentuele, bepaald. Het resultaat is weergegeven in een grafiek. Bovengenoemde kenmerken zijn nu bekend en af te lezen op basis van 1 kengetal: a . De resultaten van de warmteafgiftekarakteristiek en de keuze voor de klepkarakteristiek komen overeen met bestaande figuren uit de literatuur [4][6]. Hieruit volgt ook direct een vraag ten opzichte van de dagelijkse praktijk. De huidige kennis is gebaseerd op een aantal randvoorwaarden. De eerste rand-voorwaarde is een constante wateraanvoertemperatuur.

In de gebouwde omgeving is deze water-aanvoertemperatuur vaak juist niet constant. Bij een daling van de vermogensvraag (koeling en/of verwarming) wordt de aanvoertemperatuur vaak weersafhankelijk gecompenseerd. Een dergelijke correctie kan ook plaatsvinden bij de luchtuitredetemperatuur en daarmee is dit de tweede randvoorwaarde die afwijkt van de dagelijkse praktijk. Maar wat betekent dit nu, welke effecten heeft dit en hoe kunnen we hier rekening mee houden? Moeten we hier überhaupt rekening mee houden?

In dit artikel wordt ingegaan op de effecten van de niet-constante waterintredetemperatuur en de niet-constante luchtuitredetemperatuur op de retourwatertemperatuur, de warmteafgifte-karakteristiek en de keuze van de regelklep. Hiervoor worden de benodigde formules afgeleid en gepresenteerd.

Invloed niet-constante luchtuitredetemperatuur

De rekenregels voor een constante luchtuitredetemperatuur $\theta_{a,uit,nom}$ [°C] zijn bekend. Indien we willen weten wat de invloed van een niet-constante luchtuitredetemperatuur is, dan moet er een correctie plaatsvinden. Om dit kwantificeren, dan is het noodzakelijk om hiervoor een vergelijking ter beschikking te hebben. Ter illustratie is in Figuur 1 de weerafhankelijke luchtuitredetemperatuur weergegeven.



Figuur 1: Weergave van de weerafhankelijke luchtuitredetemperatuur $\theta_{a,uit}$

De retourwatertemperatuur kan als een functie van het vermogen P^* berekend kan worden met (1)

$$T^*(P^*) = a_l \cdot P^* + b_l \quad (1)$$

met a_l [-] de gecorrigeerde richtingscoëfficiënt en b_l [-] de gecorrigeerde constante, beide op basis van een weersafhankelijke luchtuitredetemperatuur, met:

$$a_l = \frac{a}{(1-\alpha)} + \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \frac{(\theta_{a,in,nom} - \theta_{w,uit,prim,nom})}{(\theta_{w,uit,prim,nom} - \theta_{w,in,prim,nom})} \quad (2)$$

en

$$b_l = \frac{b}{(1-\alpha)} + \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \frac{(\theta_{w,in,prim,nom} - \theta_{a,in,nom})}{(\theta_{w,uit,prim,nom} - \theta_{w,in,prim,nom})} \quad (3)$$

Hierin is:

$$\alpha = \frac{\theta_{a,uit,0} - \theta_{a,uit,nom}}{\theta_{a,uit,0} - \theta_{a,in,nom}} \quad (4)$$

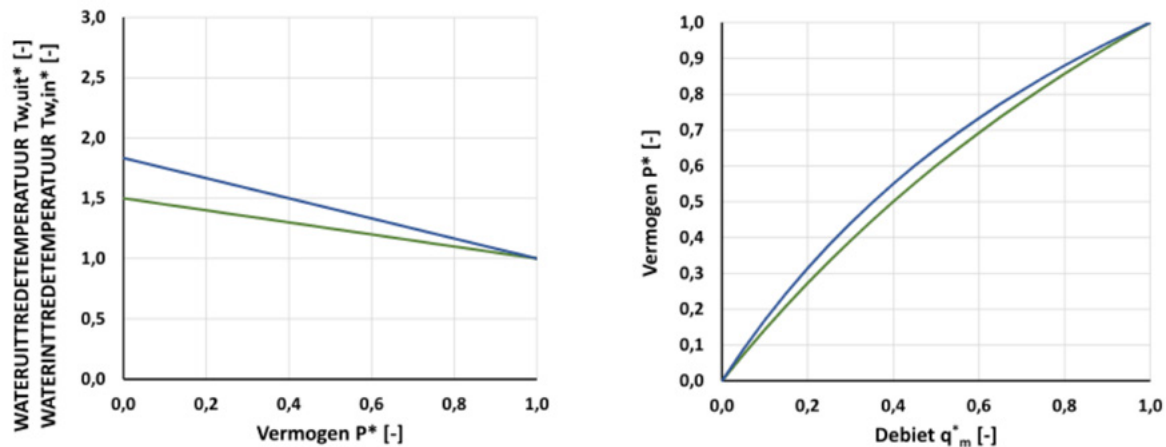
Als de luchtuitredetemperatuur constant is, wordt met (4) voor α een waarde van 0 gevonden omdat $\theta_{a,uit,0}$ gelijk is aan $\theta_{a,uit,nom}$ en daarmee de teller 0 wordt:

$$\alpha = \frac{\theta_{a,uit,0} - \theta_{a,uit,nom}}{\theta_{a,uit,0} - \theta_{a,in,nom}} = \frac{\theta_{a,uit,nom} - \theta_{a,uit,nom}}{\theta_{a,uit,0} - \theta_{a,in,nom}} = 0 \quad (5)$$

en vereenvoudigt vergelijking (1) met (2) en (3) tot:

$$T^* = \left[\frac{a+0}{1-0} \right] P^* + \left[\frac{b+0}{1-0} \right] = a \cdot P^* + b \quad (6)$$

Dit is dezelfde vergelijking zoals ook gevonden in [1] en is een bevestiging dat dit correct is. Het doel is om de invloed van een niet-constante luchtuitredetemperatuur inzichtelijk te maken. Dus, indien een hogere waarde voor $\theta_{a,uit,0}$ wordt ingevoerd dan $\theta_{a,uit,nom}$, dan daalt de waarde van α . Het gevolg is dat a ook daalt en de retourtemperatuur van het water stijgt. Dit is in Figuur 2, linker afbeelding, weergegeven door middel van de blauwe lijn (constante luchtuitredetemperatuur) en de groene lijn (stijgende luchtuitredetemperatuur bij een dalend koelvermogen). Weergegeven grafieken zijn berekend voor een watertraject 6-12°C waarbij het setpoint van de luchtuitredetemperatuur stijgt van 15°C naar 17°C in de nullast-situatie. Duidelijk is te zien dat de wateruitredetemperatuur stijgt in deellast.



Figuur 2: Waterzijdige uittredetemperaatur $T_{w,uit}^*$ (links) en warmteafgiftekarakteristiek (rechts) van een koelbatterij bij een constante (groene lijn) en een stijgende luchtuitredetemperaatur (blauwe lijn); $a = -0,5$; $a_l = -0,83$

Vervolgens kan ook de warmteafgifte-karakteristiek, gecorrigeerd voor een niet-constante luchtuitredetemperaatur, berekend worden:

$$P^*(q_m^*) = \frac{q_m^* \cdot b_l}{1 - q_m^* \cdot a_l} \quad (7)$$

De warmteafgiftekarakteristiek wordt ten gevolge van een hogere luchtuitredetemperaatur (bij koeling) méér bovenlineair. Dit is in Figuur 2, rechter afbeelding door middel van de blauwe lijn (constante luchtuitredetemperaatur) en de groene (onderste) lijn (stijgende luchtuitredetemperaatur bij een dalend vermogen) afgebeeld. Dit is intuïtief te verklaren doordat het temperatuurverschil tussen de (constante) waterintredetemperaatur en de luchtuitredetemperaatur stijgt. Hierdoor stijgt de drijvende kracht achter de vermogensafgifte waardoor er bij een lager vermogen sneller meer vermogen wordt afgegeven indien er meer water wordt toegevoerd. Het resultaat is dat door de niet-constante luchtuitredetemperaatur de waarde van a_l daalt. Hierdoor stijgt de wateruitredetemperaatur en wordt de warmteafgiftekarakteristiek meer boven-lineair. Door vervolgens niet a maar a_l te gebruiken voor de selectie van de combinatie klepkarakteristiek en autoriteit, kan de invloed van een niet-constante luchtuitredetemperaatur op een juiste wijze worden verwerkt.

Invloed niet-constante waterintredetemperaatur

De methode om een combinatie van klepkarakteristiek en autoriteit te selecteren bij een constante waterintredetemperaatur, is bekend en omschreven in onder andere [4]. In het vorige hoofdstuk is de invloed van de weersafhankelijke luchtuitredetemperaatur inzichtelijk gemaakt. In aanvulling hierop wordt in dit hoofdstuk de invloed van de weersafhankelijke waterintredetemperaatur inzichtelijk gemaakt. Voordat u verder leest is het goed te realiseren dat hier twee randvoorwaarden van toepassing zijn. De eerste is het toepassen van constante debieten (water- en luchtzijdig) en de tweede is de toepassing van droge koeling. Hierdoor wordt het koelvermogen geschreven als een luchtzijdig temperatuurverschil en niet in een enthalpieverschil (zoals bij toepassing van natte koeling). Het voordeel van deze vereenvoudiging is dat alle variabelen in een temperatuur worden uitgedrukt. Het resultaat is dat de wateraanvoertemperatuur $\theta_{w,in}$ [°C] wordt geschreven als een functie van het vermogen P^* [-] en vervolgens kan worden uitgedrukt in waterzijdig temperatuurverschil.

De wateruitredetemperaatur varieert niet ten gevolge van de weersafhankelijke compensatie. Dit komt omdat bij de afleiding gebruikt is gemaakt van module 5 [4]. Bij deze schakeling varieert de klepstand en daarmee de waterintredetemperaatur van de koelbatterij. Een variatie van de primaire waterintredetemperaatur resulteert in dezelfde secundaire wateraanvoertemperatuur, echter met een andere klepstand. Het resultaat is dat de gewenste luchtuitredetemperaatur wordt gerealiseerd. De warmteafgiftekarakteristiek varieert wel ten gevolge

van de weersafhankelijke compensatie. Voor het berekenen van de warmteafgifte karakteristiek wordt vergelijking (23) uit [1] gebruikt:

$$P^* = q_m^* \cdot (T_{w,uit}^* - T_{w,in}^*) \quad (8)$$

Het vermogen wordt geschreven worden als het verschil tussen de waterintrede- en wateruit-tredetemperatuur en dit verschil vervolgens te vermenigvuldigen met het waterdebiet. De integrale warmteafgifte karakteristiek wordt nu gevonden met de volgende vergelijking, waarbij de weersafhankelijke waterintredetemperatuur en luchtuitredetemperatuur, indien van toepassing, zijn verwerkt:

$$P^*(q_m^*) = \frac{q_m^* \cdot (b_l - b_w)}{1 - q_m^* \cdot (a_l - a_w)} \quad (9)$$

Hierin zijn a_w [-] de gecorrigeerde richtingscoëfficiënt en b_w [-] de gecorrigeerde constante op basis van een weersafhankelijke wateraanvoertemperatuur, met:

$$a_w = \frac{\theta_{w,in,nom} - \theta_{w,in,0}}{\theta_{w,uit,nom} - \theta_{w,in,nom}} \quad (10)$$

en

$$b_w = \frac{\theta_{w,in,0} - \theta_{w,in,nom}}{\theta_{w,uit,nom} - \theta_{w,in,nom}} \quad (11)$$

Voor een constante wateraanvoertemperatuur $\theta_{w,in,nom} = \theta_{w,in,0}$ worden beide tellers 0 en daarmee ook a_w en b_w beide 0.

Met deze vergelijking is het mogelijk om de warmteafgifte karakteristiek te berekenen voor:

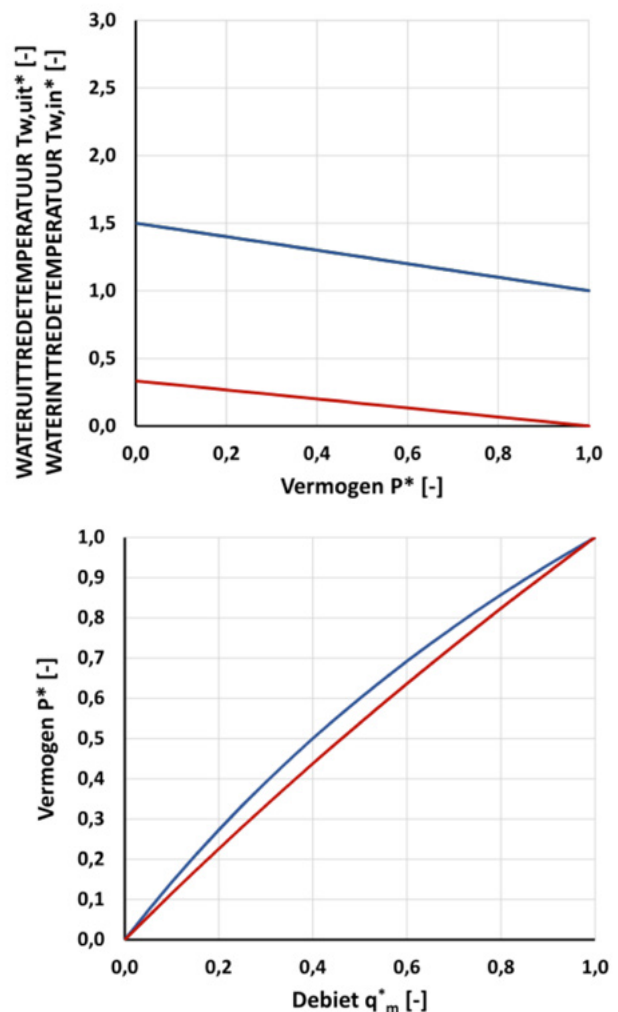
- I) een constante luchtuitrede- en waterintredetemperatuur,
- II) een constante luchtuitrede- en een variabele waterintredetemperatuur,
- III) een variabele luchtuitrede- en een constante waterintredetemperatuur en
- IV) een variabele luchtuitrede- en waterintredetemperatuur.

De genoemde vergelijking heeft daarnaast nog een ander voordeel. Wordt de waarde van $a_l - a_w$

uitgedrukt in a^* , dan komt deze a^* 1-op-1 overeen met de waarde a uit [3]. Door gelijk $b_l - b_w$ te vervangen door b^* en deze vervolgens te vervangen $(1 - a^*)$, kan vergelijking (9) als volgt verkort geschreven worden:

$$P^*(q_m^*) = \frac{q_m^* \cdot (1 - a^*)}{1 - q_m^* \cdot a^*} \quad (12)$$

Nu kan voor elke waarde a^* , de combinatie afgelezen worden waarbij een lineaire aansturing resulteert in de meest lineaire vermogensafgifte. Hierdoor kan dezelfde grafiek gebruikt worden wat de eenvoud ten goede komt. Weergegeven grafieken zijn berekend voor een watertraject 6-12°C, waarbij het setpoint van de waterintredetemperatuur stijgt van 6°C naar 8°C in de nullast-situatie, dit bij een constante luchtuitredetemperatuur. In Figuur 3, links, is te zien dat de wateruitredetemperatuur niet

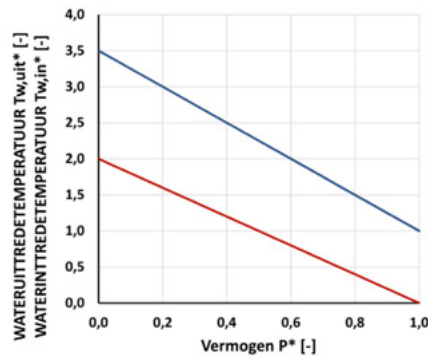
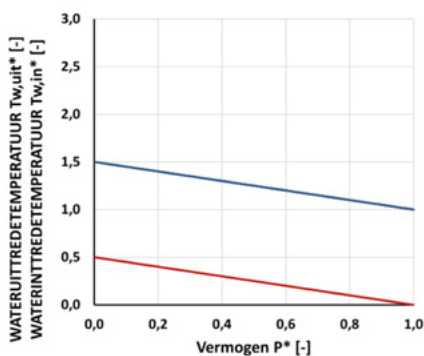


Figuur 3: Waterzijdige uitredetemperatuur $T_{w,uit}^*$ (links, blauw) en waterintredetemperatuur $T_{w,in}^*$ (links, rood) en de corresponderende warmteafgifte karakteristieken (rechts) van een koelbatterij bij een constante (blauwe lijn) en een stijgende waterintredetemperatuur (rode lijn); $a = -0,5$; $a_w = -0,33$

wijzigt ten gevolge van een stijgende waterintredetemperatuur. Merk hierbij wel op dat er sprake is van een mengregeling met een constant debiet. Deze afleiding geldt niet voor een 2-weg of smoorregeling (module 6) [4]. In Figuur 3, rechts, is te zien dat ten gevolge van de stijgende waterintredetemperatuur de warmteafgiftekaracteristiek daalt. Dit betekent dat het "sterke" bovenlineaire karakter van een lucht/water warmtewisselaar afneemt door toepassing van een weersafhankelijke regeling. Ter illustratie, in Figuur 4 is deze invloed weergegeven voor de verwarmingsbatterij (90°C/70°C /20°C, $\theta_{w,in,0}=50^\circ\text{C}$). Hierbij is bij de ontwerpsituatie de wateraanvoertemperatuur 90°C en bij 20°C buiten is de wateraanvoertemperatuur 50°C.

Duidelijk is te zien dat de sterk bovenlineaire "klassieke" grafiek nagenoeg een lineair karakter krijgt en de "standaard" toepassing van een equiprocentuele klep niet per definitie de meest ideale is. Ook niet voor traditioneel hoog gestookte installaties. Waar een niet-constante luchtuitredetemperatuur een beperkt effect heeft, heeft een niet-constante wateraanvoertemperatuur een aanzienlijk effect. Het verdient dus aanbeveling om hier rekening mee te houden.

Bijzonder geval 1

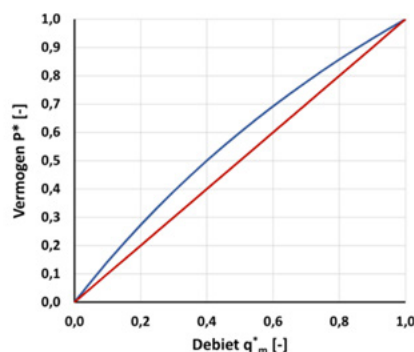


Figuur 4: Waterzijdige uittredetemperatuur $T_{w,uit}^*$ (links, blauw) en waterintredetemperatuur $T_{w,in}^*$ (links, rood) en de corresponderende warmteafgiftekaracteristieken (rechts) van een verwarmingsbatterij bij een constante (blauwe lijn) en een dalende waterintredetemperatuur (rode lijn); $a = -2,5$; $a_w = -2$

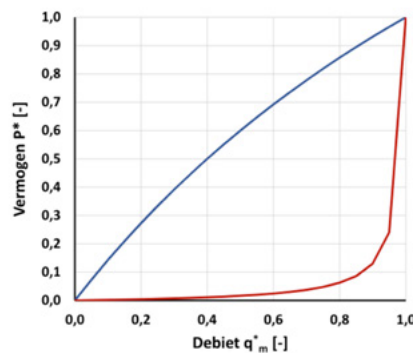
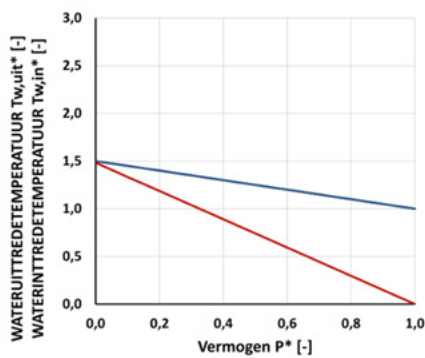
Met deze nieuwe kennis zijn er 2 bijzondere gevallen te construeren. In de eerste plaats is het mogelijk om het "ideale" overdrachtsgedrag te construeren met een willekeurige warmtewisselaar via de weersafhankelijke waterzijdige regeling. Hierbij resulteert een lineaire aansturing in een lineaire vermogensafgifte. Dit wordt gerealiseerd indien de richtingscoëfficiënt $a_l - a_w = a^* = 0$. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 5.

Links zijn de waterzijdige in- (rood) en uittredetemperatuur (blauw) weergegeven en deze lopen parallel aan elkaar. Hierdoor wijzigt ook de warmteafgiftekaracteristiek. De oorspronkelijke warmteafgiftekaracteristiek (rechts, blauw) wijzigt in een zuiver lineair warmteafgiftekaracteristiek (rechts, rood). Door nu een lineaire klep toe te passen met een autoriteit van 1, wordt de meest lineaire vermogensafgifte bij een lineaire aansturing gerealiseerd [3].

Bijzonder geval 2



Figuur 5: Waterzijdige uittredetemperatuur- $T_{w,uit}^*$ (links, blauw) en waterintredetemperatuur $T_{w,in}^*$ (links, rood) en de corresponderende warmteafgiftekaracteristieken (rechts) van een batterij bij een constante (blauwe lijn) en een ideale waterintredetemperatuur (rode lijn); $a = -0,5$; $a_w = -0,5$



Figuur 6: Waterzijdige uittredetempera-
tuur- $T_{w,uit}^*$ (links, blauw) en waterintredetempera-
tuur $T_{w,in}^*$ (links, rood) en de corresponderende warmteafgiftekar-
acteristieken (rechts) van een batterij bij een constante
(blauwe lijn) en een ideale waterintredetempera-
tuur (rode lijn); $a = -0,5$; $a_w = -0,5$

Het tweede geval is meer bijzonder. In praktijksituaties wordt regelmatig gebruik gemaakt van een zogenaamde aanvoertemperatuur correctie op basis van de klepstand. Bij warmtepompen kan zo de aanvoertemperatuur lager ingesteld worden waardoor het rendement stijgt en het energieverbruik daalt. In deze (theoretisch) ideale situatie geldt dat de primaire aanvoertemperatuur gelijk is aan de gewenste secundaire aanvoertemperatuur. Dit is weergegeven in Figuur 6, links. Ter verduidelijking is de primaire temperatuur iets lager ingesteld dan de secundaire temperatuur. Links is te zien dat de waterintredetempera-
tuur bij $P^*=0$ nagenoeg gelijk is aan de wateruittredetempera-
tuur. De verticale afstand tussen beide lijnen is de gelijk aan het afgenomen vermogen, weergegeven op de x-as. Dit betekent ook dat het waterzijdig temperatuurverschil daalt. Voor opwekkers waarbij een lage (LT-verwarming), of juist hoge (HT-koeling), retourwatertemperatuur noodzakelijk is om een hoger rendement te halen, dient een dergelijke regelstrategie weloverwogen ingezet te worden.

In de rechter figuur is te zien dat de warmteafgifte-
karakteristiek een extreme vorm krijgt. Met andere woorden, de klep staat nagenoeg volledig open om het gewenste vermogen te leveren. Merk op dat het debiet altijd 80% van de ontwerpwaarde of hoger is bij een vermogen vanaf circa 10% van het ontwerpvermogen. Echter, hoe dient de grafiek nu geïnterpreteerd te worden? Het debiet q_m^* is het debiet dat door de regelklep stroomt. Het resultaat is dat deze klep effectief weinig meer hoeft te regelen of te smoren, de aangeboden watertemperatuur en het debiet zijn nagenoeg identiek aan de vraag om de gewenste luchtuitredetempera-
tuur te realiseren. Wordt de wateraanvoertemperatuur identiek aan de gewenste wateraanvoertemperatuur, dan geldt $a^* = +1$. In dat geval heeft de klep geen functie, er valt niets meer te regelen. In dat geval blijft het waterzijdig debiet gelijk aan 1 en worden hiermee

alle vermogens tussen 0 en de ontwerpwaarde van 1 gerealiseerd. In dat geval heeft de weersafhankelijke voorregeling de waterzijdige regeling vervangen.

Dé ideale of beste klepautoriteit

De ideale of beste autoriteit is gedefinieerd als [3]:

De ideale klepautoriteit A wordt gedefinieerd als die waarde bij een warmteafgifte karakteristiek a waarbij de combinatie van een lineaire sturing en een gedefinieerde klepkarakteristiek, resulteert in een zo lineair mogelijke vermogensafgifte.

Een meer uitgebreide toelichting staat in [3], deze worden kort herhaald:

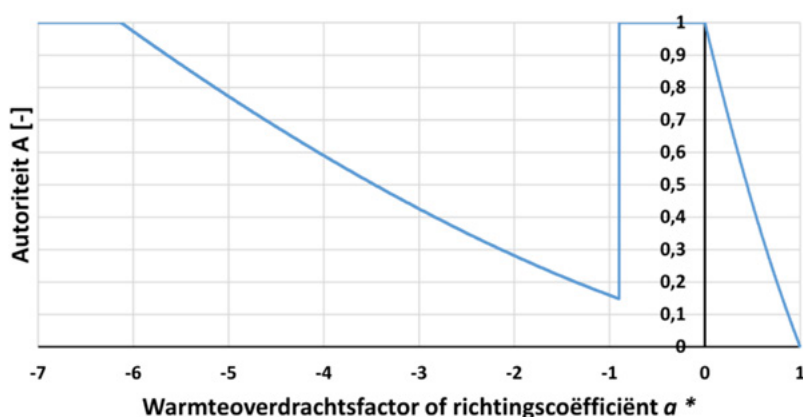
1. De "lineaire sturing" is een beperking die met de moderne digitale aansturing eenvoudig te corrigeren is [3].
2. Een ideale autoriteit kan niet los worden gezien van de keuze van de klepkarakteristiek. Er is een altijd een "beste" keuze dat is niet altijd een "ideale" zoals hierboven gedefinieerd.
3. De kwalificatie "zo lineair mogelijk" betekent dat per gelijke stapgrootte in de aansturing, dit resulteert in een constante stapgrootte in de vermogensafgifte [3].

In het genoemde artikel is de keuze voor deze ideale klepautoriteit en klepkarakteristiek bepaald. De hoofdconclusie kan als volgt worden samengevat. Voor een warmteoverdrachtsfactor a van -7 tot circa $-0,9$ resulteert een equiprocentuele klepkarakteristiek in de meest gelijkmatige vermogensafgifte. Van $-0,9$ tot $+1$ resulteert een lineaire klepkarakteristiek in

de meest gelijkmatige vermogensafgifte. Dit resultaat is weergegeven in Figuur 7. Hierin is af te lezen wat de beste autoriteit is bij de keuze van de meest gunstige klepkarakteristiek voor de waarden van de warmteoverdrachtsfactor a .

Maar welke invloed heeft de weersafhankelijke compensatie op de waterintrede- en luchtuitredetemperatuur op de selectie van de combinatie van autoriteit en de klepkarakteristiek? De invloed op de waarde a wordt via de waarden a_l en a_w verwerkt in een nieuw, enkel kengetal a^* . Hierdoor kan dezelfde figuur worden gebruikt, door voor a de waarde van a^* te gebruiken.

In [3] is aangegeven dat door de wijziging van traditionele temperaturen naar temperaturen



Figuur 7: De ideale autoriteit A [-] voor een warmteoverdrachtsfactor a^* [-]

behorende bij temperatuurtrajecten van hoog temperatuur koelinstallatie (bijvoorbeeld WKO) en laag temperatuur verwarmingsinstallatie, de waarde van a daalt waardoor de keuze voor een equiprocentuele klepkarakteristiek steeds minder de standaard wordt. Ten opzichte van de constante luchtuitredetemperatuur en waterintredetemperatuur, hebben een niet-constante luchtuitredetemperatuur en waterintredetemperatuur de volgende invloed.

Door de toepassing van de niet-constante luchtuitredetemperatuur daalt de waarde van a^* en schuift de selectie in Figuur 7 iets naar links. Door de toepassing van de niet-constante waterintredetemperatuur, stijgt de waarde van a^* en schuift de selectie naar rechts. Zoals eerder vermeldt, is de invloed van de luchtzijdige compensatie in de meeste gevallen gering terwijl de invloed van de waterzijdige compensatie aanzienlijk kan zijn.

Conclusie

In dit artikel is de invloed van de niet-constante luchtuitredetemperatuur en niet-constante waterintredetemperatuur weergegeven.

Deze situatie doet zich in de praktijk veel voor bij installaties waar de belasting afhankelijk is van de buitenluchttemperatuur. Bijvoorbeeld in een kantooromgeving of een woonhuis. De toepassing van een niet-constante luchtuitredetemperatuur (verhoging) resulteert in een versterking van het bovenlineaire karakter van de warmteafgifte karakteristiek en in een verhoging van de retourwatertemperatuur. De toepassing van een niet-constante waterintredetemperatuur resulteert juist

in een minder boven-lineair gedrag. Is de invloed van de luchtuitredetemperatuur veelal te verwaarlozen, de invloed van de waterintredetemperatuur is veel groter. Het is theoretisch door een belastingcompensatie van de waterintredetemperatuur en de luchtintredetemperatuur een zuiver lineaire warmteafgifte karakteristiek te construeren waarmee het gewenste lineaire verband tussen aansturing en vermogensafgifte gerealiseerd kan worden. Door toepassing van de nieuw gepresenteerde constanten a_l en a_w die samen resulteren in a^* , kan met dit kengetal de klepkarakteristiek en autoriteit geselecteerd

worden met een en dezelfde grafiek.

Afronding en vooruitblik

Het voordeel van deze volledige set rekenregels, gepresenteerd in de vier artikelen is dat deze enerzijds aansluiten bij de huidige kennis [4][6] en anderzijds relatief eenvoudig zijn uit te breiden. De volgende uitbreiding is de invloed van de niet-constante pompdruk.

Literatuur

1. Brink, A.H.T.M. van den, Rekenen met warmtewisselaars (1), TVVL Magazine 02-2017
2. Brink, A.H.T.M. van den, Rekenen met warmtewisselaars (2), TVVL Magazine 04-2017
3. Brink, A.H.T.M. van den, Rekenen met warmtewisselaars (3), TVVL Magazine xx-xxxx

4. ISSO-publikatie 44, Ontwerp van hydraulische schakelingen voor verwarmen, ISBN 90-5044-064-9, 1998
5. ISSO-publikatie 47, Ontwerp van hydraulische schakelingen voor koelen, ISBN 90-5044-112-2, 2005
6. Recknagel, H., Schramek, E.R., Sprenger, E., Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik