

Bepaling van de 'ideale' autoriteit

In de eerste 2 delen van deze artikelreeks respectievelijk verschenen in het februari en aprilnummer van TVVL Magazine 2017, is ingegaan op de warmteafgiftekaracteristiek, waarbij voor de voorverwarmer en/of voorcoeler naast de (over)bekende bovenlineaire, ook de bovenlineaire en de onderlineaire afgiftekaracteristiek voorkomen. Dit heeft invloed op de selectie van de combinatie van de klepkarakteristiek en de autoriteit. In dit artikel wordt ingegaan op de "ideale" klepautoriteit en hoe deze beïnvloed wordt door de keuze van de ontwerptemperaturen. Specifiek voor lage temperatuur (LT) verwarming en hoge temperatuur (HT) koeling kortom, duurzame hedendaagse opwekkers. Het blijkt dat een autoriteit van 1 niet in alle gevallen dé ideale situatie is. Uitgangspunt is één warmteoverdrachtsfactor of richtingscoëfficiënt a [1], welke het verloop van de retourtemperatuur in deellast, de vorm van de warmteafgiftekaracteristiek en, in dit artikel, de combinatie van de klepkarakteristiek en "ideale" autoriteit bepaald.

Ir. A.H.T.M. (Alet) van den Brink, Kropman Installatietechniek BV, afdeling O&T

Bij het ontwerp en de selectie van de regelkleppen in het waterzijdig deel, dienen voor onder andere de autoriteit A [-] en de klepkarakteristiek keuzes gemaakt te worden. Vaak worden regelkleppen geselecteerd met een equiprocentuele of lineaire grondkarakteristiek, maar vooral met een zo hoog mogelijk autoriteit. Dit laatste wordt regelmatig aangeduid als een doel op zich. Hierbij worden doel en middel verwisseld. Het doel is niet een zo hoog

mogelijk autoriteit, maar een zo goed mogelijk regelgedrag. Een van de middelen om dit te bereiken, is een goede combinatie van autoriteit en klepkarakteristiek. Dit resulteert in een (benaderd) lineair verband tussen aansturing en vermogensafgifte.

Om te starten het bekende plaatje in figuur 1, enigszins aangepast, die weergeeft hoe de verhouding tussen aansturing, autoriteit en

warmteafgiftekaracteristiek veelal worden gepresenteerd. De warmteafgiftekaracteristiek (rode lijn) is berekend met enigszins aangepast vergelijking (1) uit [1] en geeft het afgegeven vermogen P^* [-] als functie van de massastroom van het water q_{m^*} [-]:

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

Met:

$$a = \frac{\Theta_{w,uit,prim,nom} - \Theta_{a,uit,nom}}{\Theta_{w,uit,prim,nom} - \Theta_{w,in,prim,nom}} \quad (2)$$

De oorspronkelijke vergelijking was:

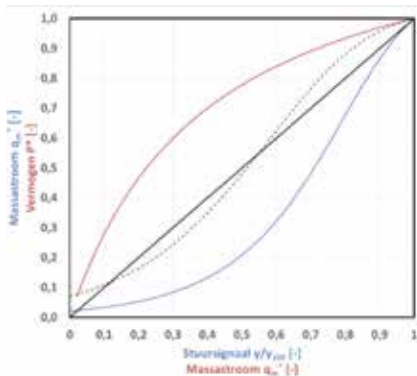
$$P^*(q_m^*) = \frac{q_m^* \cdot b}{1 - q_m^* \cdot a} \quad (3)$$

Omdat alle lijnen van vergelijking (3) voor alle waarden van a en b altijd door het punt $T^*(P^*) = (1,1)$ gaan, kan b ook geschreven worden als:

$$b = (1-a) \quad (4)$$

Het punt (1,1) is namelijk het waterzijdig ontwerp-temperatuurverschil bij het ontwerpvermogen. Hiermee is zondermeer duidelijk dat de warmteafgifte karakteristiek alleen afhankelijk van de constante a. De massastroom (blauwe lijn, $A=1$) is uit het stuursignaal y/y_{100} , de waarde kv_0/kvs en autoriteit $A [-]$ berekend voor een equiprocentuele grondkarakteristiek. Hiervoor is de vergelijking D.3.a [2] gebruikt (met voor de teller de waarde 1) en de vergelijking bij Figuur C.4 [2] met een theoretische regelverhouding $SVO=100$. Op deze wijze wordt uit het stuursignaal het afgegeven vermogen berekend. Hierbij wordt uitgegaan van een 1 op 1 verband tussen enerzijds het stuursignaal en anderzijds de lichthoogte van de klepzitting.

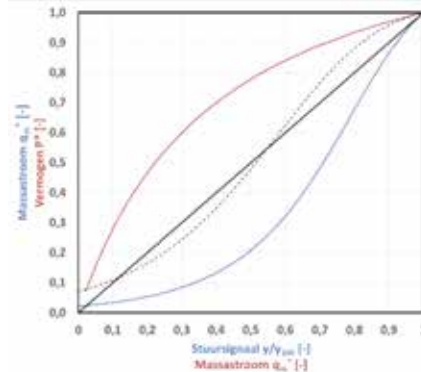
Bewust is hier gekozen voor de klassieke watertemperaturen van $90^\circ\text{C}/70^\circ\text{C}$ om een zo bovenlineair mogelijke warmteafgifte karakteristiek te creëren. Samen met de stuursignaal y/y_{100} vormt dit het gewenste lineaire verband (zwarte lijn) tussen aansturing en afgegeven vermogen. Althans, zo wordt dit veelal gepresenteerd. In de figuur is gerekend met een autoriteit van $A=1$ en het werkelijke verband tussen stuursignaal



Figuur 1: Het verband tussen I) aansturing y/y_{100} en massastroom q_m^* (blauwe lijn en teksten, $A=1$, $SVO=100$), II) tussen massastroom q_m^* en afgegeven vermogen P^* (warmteafgifte karakteristiek, rode lijn en teksten, $90^\circ\text{C}/70^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$, $a=-2,5$), III) het gewenst lineaire verband (zwarte lijn) en IV) het gerealiseerde verband (zwarte gestippelde lijn) tussen aansturing y/y_{100} en afgegeven vermogen P^* .

en afgegeven vermogen is weergegeven door de zwart gestippelde lijn. Door een correcte selectie van de combinatie klepkarakteristiek en autoriteit, tracht men deze zwarte lijn zo goed mogelijk te benaderen. Echter, de berekening geeft een resultaat dat overeenkomt met de gestippelde lijn. Er is dus een verschil tussen beide. Vooropgesteld, op basis van de huidige rekenregels is de selectie van de combinatie klepkarakteristiek en "ideale" autoriteit reeds mogelijk. Tevens dient in gedachte te worden gehouden dat veel installaties naar tevredenheid of voldoende tot goed functioneren met de ontwerprichtlijnen zoals deze zijn verzameld in [2][3]. Nieuw is dat op basis van één warmteoverdrachtsfactor of richtingscoëfficiënt a de diverse onderdelen met elkaar worden verbonden. Er is nu één warmteoverdrachtsfactor of richtingscoëfficiënt a die het waterzijdig temperatuurverschil in de last voorspelt [1], de vorm van de warmteafgifte karakteristiek definieert [1] en nu wordt gebruikt om een combinatie autoriteit A en klepkarakteristiek te bepalen. Met dit laatste wordt het doel, een zo lineair mogelijk verband tussen aansturing en vermogensafgifte, gerealiseerd. Tevens is dit een opmaat naar verdere uitwerkingen zoals aan het einde van dit artikel is toegelicht. In figuur 2 zijn diverse verschillende warmteafgifte karakteristieken gepresenteerd voor traditionele ontwerp-temperaturen (b.v. $90^\circ\text{C}/70^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ en $6^\circ\text{C}/12^\circ\text{C}/15^\circ\text{C}$) voor ontwerpen van CV-ketels en koelmachines en voor de huidige ontwerp-temperaturen in duurzame toepassingen (b.v. $50^\circ\text{C}/40^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ en $10^\circ\text{C}/18^\circ\text{C}/15^\circ\text{C}$) voor warmtepompen en bodemenergiesystemen. Tevens zijn de berekende warmteoverdrachtsfactoren a berekend en vermeld.

In deze figuur is te zien dat de warmteafgifte karakteristieken steeds minder bovenlineair ('bol', $a < 0$) lopen en via lineair ($a=0$) een onderlineair verband ('hol', $a > 0$) krijgen. Blijft de vraag welke combinatie van klepkarakteristiek en autoriteit het meest 'ideaal' is.



Figuur 2: Diverse warmteafgifte karakteristieken en warmteoverdrachtsfactoren a, voor verschillende ontwerp-temperaturen.

METHODE

De in deel 1 van de artikelreeks genoemde randvoorwaarden blijven hier gelijk [1]. Om vast te stellen wat de ideale autoriteit is, is het noodzakelijk om eerst vast te stellen wat een 'ideale' autoriteit is. 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.

Hierbij 3 korte toelichtingen.

1. De 'lineaire sturing' is een beperking die met de moderne regelstrategie eenvoudig te corrigeren is. Door deze term toe te voegen kan met de huidige rekenregels de correctie bepaald worden. Het kunnen wijzigen is één, op welke wijze is twee. Zo kan de sturing bijvoorbeeld meer bovenlineair of onderlineair geprogrammeerd worden ter compensatie. Dit wordt in dit artikel buiten beschouwing gelaten.
2. Een ideale autoriteit kan niet los worden gezien van de keuze van de klepkarakteristiek. Zo zal blijken dat voor lineaire en equiprocentuele klepkarakteristieken verschillende "beste" autoriteiten mogelijk zijn. Zo zal er altijd een 'beste' keuze zijn maar niet altijd een 'ideale' zijn.
3. De kwalificatie 'zo lineair mogelijk' betekent dat per gelijke stapgrootte in de aansturing, dit resulteert in een constante stapgrootte in de vermogensafgifte.

Als alle stapgrootten gelijk zijn, is ook het gemiddelde van alle stapgrootten gelijk. In dat geval is er geen verschil tussen het gemiddelde en elke afzonderlijke stapgrootte. Met behulp van de standaard deviatie s kan dit worden gekwalificeerd in één enkele waarde. In het geval van de ideale autoriteit A, is de waarde van de standaard deviatie 0. Indien dit niet mogelijk blijkt te zijn, is de best mogelijke keuze die autoriteit A welke resulteert in een minimum van de standaarddeviatie s. In dat geval is er geen sprake van een ideale autoriteit maar van een best mogelijke autoriteit.

De huidige set rekenregels is gebaseerd op een constante pompdruk. Soms wordt er correctiefactor van 1,3 toegevoegd in verband met de pompkarakteristiek bij toepassing van een constant toerental van de waaier [2]. De rekenmethode en presentatie zijn gebaseerd op [4][6].

I) IDEALE AUTORITEIT BIJ DE EQUIPROCENTUELE KLEP

Voor het bepalen van de ideale of beste autoriteitskeuze bij een equiprocentuele grondkarakteristiek, worden voor de variabelen a, b en c, de volgende vier berekeningen uitgevoerd.

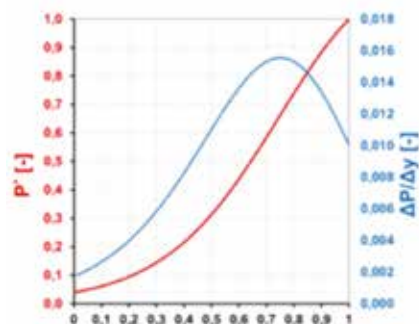
- Voor elke warmteoverdrachtsfactor a [1].
- Voor alle autoriteiten A tussen 0 tot en met 1.
- Voor een equiprocentuele grondkarakteristiek.

- Bereken $\Delta P/\Delta y$ per stap.
 - Bereken de standaard deviatie s van reeks $\Delta P/\Delta y$.
 - Bepaal voor elke a de autoriteit A waarvan de standaard deviatie s het minimum is.
 - Maak een grafische weergave.
- Deze grafische weergave geeft de lijn van de keuze van de meest ideale autoriteit voor een equiprocentuele klepkarakteristiek.

Voorbeeld

Voor een autoriteit van $A=0,75$, een equiprocentuele grondkarakteristiek met $kv_0/kvs=1/100$, een a -waarde van $-2,5$ ($90/70/20^\circ\text{C}$) en 100 stappen van de servomotor zijn het afgegeven vermogen P^* (rode lijn) en de stapgrootten $\Delta P/\Delta y$ (blauwe lijn) weergegeven in Figuur 3. De berekende waarde voor de standaard deviatie van de blauwe lijn, bedraagt $s=0,005$. De rode lijn geeft de benadering van het gewenste lineair verband tussen aansturing en afgegeven vermogen. De blauwe lijn geeft de vermogenssprongen per stapgrootte.

De resultaten van de mate waarin de aansturing en de vermogensafgifte gelijkmatig zijn, zijn weergegeven in figuur 4. In deze figuur staat op de horizontale as de warmteoverdrachtsfactor a [-] of richtingscoëfficiënt a [1]. Deze richtingscoëfficiënt geeft aan of het waterzijdig temperatuurverschil in deellast daalt ($a>0$), stijgt ($a<0$) of constant is ($a=0$). Omdat de warmteoverdrachtsfactor vanuit eerdere publicaties [2] [3] [4] [5] [6] ook worden weergegeven als a [-] en er zowel een verband als een onderscheid is, is gekozen om a cursief weer te geven bij de nieuwe toepassing. De grafiek loopt van waarde $a=-7$ olopend tot $a=+1$. Deze waarde van $a=+1$ is een limietsituatie, waarvoor geldt dat in de ontwerpconditie de luchtuitredetemperatuur gelijk is aan de waterintredetemperatuur. Dit is in de praktijk niet mogelijk. Bij deze waarde van



Figuur 3: Vermogensafgifte P^* (rode lijn) en de bijbehorende stapgrootten $\Delta P/\Delta y$ (blauwe lijn) beide als functie van stuursignaal y/y_{100} .

$a=+1$ loopt de lijn van het waterzijdig temperatuurverschil T^* door het punt $(P^*, T^*) = (0,0)$.

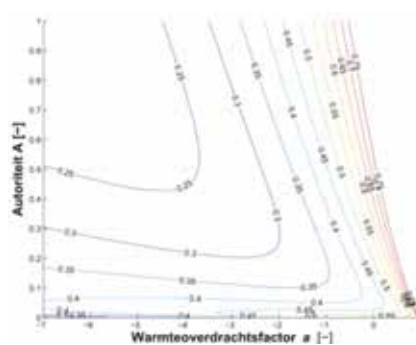
Toelichting

Een koelbatterij met een luchtuitredetemperatuur van 10°C wordt aangevraagd bij een watertraject van $10-16^\circ\text{C}$. Let wel, een dergelijk selectie is niet mogelijk. De waarde van a is nu:

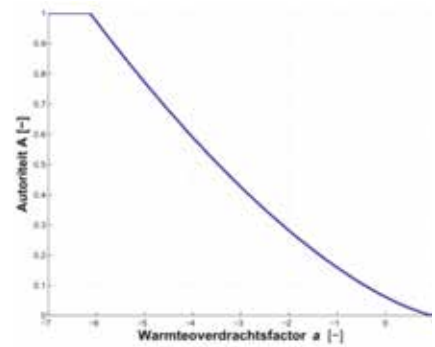
$$a = \frac{\Theta_{w,uit,prim,nom} - \Theta_{a,uit,nom}}{\Theta_{w,uit,nom} - \Theta_{w,in,nom}} = \frac{16^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}}{16^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}} = +1 \quad (4)$$

Merk op dat voor elke hogere waarde van de luchtuitredetemperatuur, de waarde van a zal dalen.

De motivatie achter de keuze van $a=-7$ wordt verderop in deze paragraaf gegeven. Op de verticale as staat de autoriteit A [-] weergegeven. Deze loopt van een waarde 0 tot en met 1. Deze figuur is een zogenaamde contourplot. Op elke lijn is de mate van gelijkmatigheid of standaard deviatie constant voor elke combinatie van a en A . Het valt direct op dat de optimale waarde van $s=0$ niet voorkomt. Hieruit kan maar één conclusie worden getrokken en dat is dat een zuiver lineair verband tussen aansturing en vermogensafgifte niet mogelijk is. Oftewel, de gedefinieerde 'ideale' autoriteit is niet mogelijk. Dit betekent dat dit gewenste zuiver lineair verband alleen zo goed mogelijk benaderd kan worden, de zogenaamde 'beste' autoriteit. Deze zo goed mogelijke benadering wordt gevonden door voor elke waarde van a op de horizontale as, de minimumwaarde van de standaard deviatie te selecteren. De lijn door deze punten geeft de autoriteit A voor de waarde van a , waarbij het meeste lineaire verband wordt gevonden voor een equiprocentuele klep. Volledigheidshalve, in de grafiek zijn contourlijnen afgebeeld tot en met een maximumwaarde van $s=0,75$. Bij een dalende waarde van a zal de standaard deviatie s snel stijgen tot hogere waarden. Deze geven geen toegevoegde waarde, zoals bij de lineaire klep verder zal worden toegelicht.



Figuur 4: Weergave standaard deviatie s voor combinatie warmteoverdrachtfactor a en autoriteit A met weergegeven de lijn van het meest lineair verband tussen aansturing en vermogensafgifte voor een equiprocentuele klep, waarden weergegeven tussen 0,25 en 0,75.



Figuur 5: Lijn van het meest lineair verband tussen aansturing en vermogensafgifte voor een equiprocentuele klep combinatie warmteoverdrachtfactor a en autoriteit A .

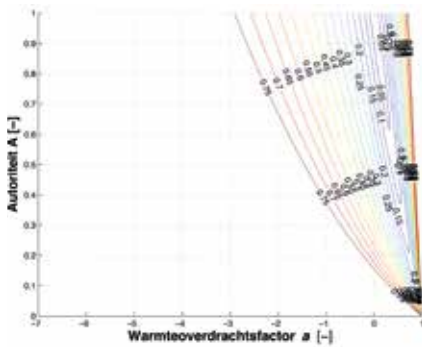
De lijn die haaks op de contourlijnen staat, is weergegeven in figuur 5 en geeft het minimum weer per warmteoverdrachtsfactor a op de horizontale as. Voor elke waarde van a kan nu de ideale autoriteit A afgelezen worden. Zo is voor waarden van $a=-6$ en lager, een autoriteit van 1 de beste keuze. De grafiek is daarom begrenst tot de waarde van $a=-7$. Vanaf de waarde $a=-6$ en hoger is het meeste lineaire verband tussen aansturing en vermogensafgifte te vinden bij een dalende autoriteit en dus lager dan 1. Dit staat haaks op de veronderstelling dat een autoriteit van 1 'ideaal' is.

II) IDEALE AUTORITEIT BIJ DE LINEAIRE KLEP

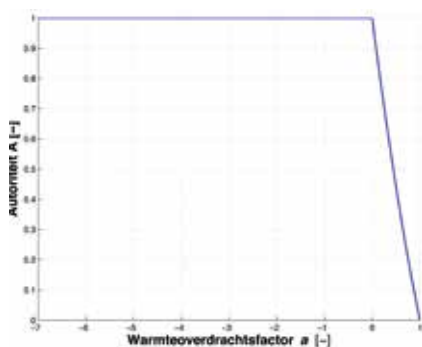
Voor het bepalen van de ideale of beste autoriteitskeuze bij een lineaire grondkarakteristiek, worden voor de variabelen a / m c ,

- Voor elke warmteoverdrachtsfactor a [1].
 - Voor alle autoriteiten A tussen 0 en 1.
 - Voor een lineaire grondkarakteristiek.
- de volgende vier berekeningen uitgevoerd:
- Bereken $\Delta P/\Delta y$ per stap.
 - Bereken de standaard deviatie s van reeks $\Delta P/\Delta y$.
 - Bepaal voor elke a een autoriteit A waarvan de standaard deviatie s het minimum is.
 - Maak een grafische weergave.

Deze grafische weergave geeft de lijn van de keuze van de meest ideale autoriteit voor een lineaire klepkarakteristiek. De contourplot hiervan is afgebeeld in Figuur 6. Ook hier is mate van gelijkmatigheid begrensd op de waarde van $s=0,75$. Verder valt op dat waarden van s veel kleiner worden dan bij de equiprocentuele klep mogelijk was. Bij een zuiver lineaire klep (dus zonder kv sprong), wordt voor een waarde van de warmteafgifte karakteristiek van $a=0$ en een autoriteit van $A=1$ een zuiver lineair verband gevonden tussen aansturing en vermogensafgifte. Dus hier en alleen hier is een zuiver lineair verband te vinden en is er sprake van een "ideale" autoriteit. Hieruit volgt dus ook dat een lineaire klep mét kv sprong niet resulteert in



Figuur 6: Weergave standaard deviatie s voor combinatie warmteoverdrachtfactor a en autoriteit A met weergegeven de lijn van het meest lineair verband tussen aansturing en vermogensafgifte voor een lineaire klep, waarden weergegeven tussen 0,05 en 0,75.



Figuur 7: Lijn van het meest lineair verband tussen aansturing en vermogensafgifte voor een lineaire klep combinatie warmteoverdrachtfactor a en autoriteit A .

een zuiver lineair verband tussen aansturing en vermogensafgifte.

Met de nieuw gedefinieerde waarde van $a=0$, waarbij er een constant waterzijdig temperatuurverschil T^* is en een lineaire warmteafgifte karakteristiek, is het mogelijk om een zuiver lineair verband te realiseren tussen aansturing en vermogensafgifte. Voor een warmteoverdrachtsfactor $a=1$ en $A=1$ geldt dat standaard deviatie 0 is. Ook hier kan een lijn haaks op de contourlijnen worden weergegeven wat resulteert in de beste klepautoriteit. Dit is weergegeven in Figuur 7. Zo is te zien dat voor een waarde van $a < 0$ een autoriteit van 1 resulteert in de meest gelijkmatige vermogensafgifte. In Figuur 4 is ook een bovenwaarde van 0,75 gekozen. Wordt deze Figuur 4 vergeleken met Figuur 6, dan valt op dat waar de standaard deviatie van de equiprocentuele klep oploopt bij stijgende waarde van a terwijl deze daalt bij een lineaire klep. Beide grafieken lopen dus in elkaar over en er is dus een waarde waar de standaard deviatie van de equiprocentuele klep en de lineaire klep aan elkaar gelijk zijn. Dit is

de scheidslijn tussen de equiprocentuele en de lineaire klepkarakteristiek.

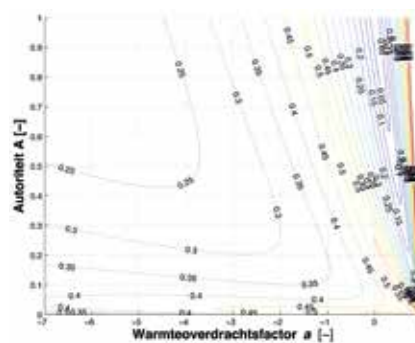
III) VERDELING EQUIPROCENTUEEL EN LINEAIR

Uit de voorgaande resultaten kan bepaald worden waar of equiprocentuele of de lineaire klepkarakteristiek het meest lineair verband geeft. De keuze wordt als volgt bepaald:

- Voor elke warmteoverdrachtsfactor a .
- Voor elke autoriteit A .
- Bepaal het minimum van de standaard deviatie s van de equiprocentuele klepkarakteristiek en lineaire klepkarakteristiek per combinatie van a en A .
- Maak grafische weergave van dit minimum. Wordt er gekeken naar de waarde van de contourlijnen van figuur 4 en figuur 6, dan valt op dat op een gegeven moment de waarde van equiprocentuele klepkarakteristiek gelijk is aan de waarde van de lineaire klepkarakteristiek. Worden van figuur 4 en figuur 6 de minimumwaarde genomen, dan resulteert dit in Figuur 8. Voor de linkerhelft is nu een equiprocentuele klepkarakteristiek aangewezen terwijl voor de rechterhelft een lineaire klepkarakteristiek is aangewezen voor de selectie.

De scheidslijn tussen beide gebieden is weergegeven in figuur 9 door de rood gestippelde lijn. Deze lijn is in figuur 8 terug te vinden ter plaatse van de contourlijnen met de waarde van 0,5...0,55. Deze lijn wordt vaak gebruikt voor de keuze van de klepkarakteristiek en heeft daarmee de functie van een scheidslijn [4]. Op deze scheidslijn is de mate van gelijkmatigheid voor een equiprocentuele en een lineaire klepkarakteristiek precies gelijk.

Naast scheidslijn is dit ook de lijn van de te vermijden autoriteit. Dit is als volgt te verklaren. Op deze lijn is de mate van gelijkmatigheid



Figuur 8: Weergave standaard deviatie s voor combinatie warmteoverdrachtfactor a en autoriteit A met weergegeven de lijn van het meest lineair verband tussen aansturing en vermogensafgifte voor een lineaire en een equiprocentuele klepkarakteristiek, waarden weergegeven tussen 0,05 en 0,75.

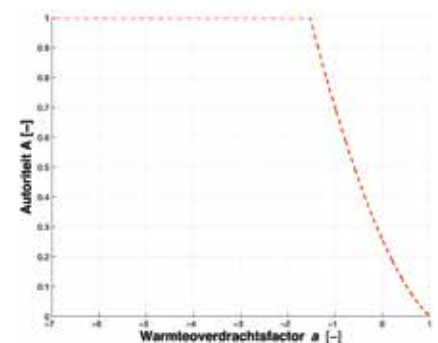
het laagste, het verband tussen aansturing en vermogensafgifte is het minst lineair. Dus een combinatie van a en een autoriteit die op deze lijn ligt, met een lineaire of een equiprocentuele klepkarakteristiek, resulteert in de minst evenwichtige vermogensafgifte. Op deze lijn zal een lineaire of equiprocentuele klep beide even goed of even slecht presteren. Merk op dat voor de warmteoverdrachtsfactor $a = -1,5$ een autoriteit wordt gevonden van 1. De 'ideale' autoriteit resulteert dus in het minst lineair verband tussen lineaire aansturing en warmteafgifte. Daarmee is de autoriteit van 1 juist de 'minste ideale' selectie.

IV) VERDELING KEUZE EQUIPROCENTUEEL EN LINEAIR

Ten slotte wordt bepaald voor welke warmteoverdrachtsfactor a , de best mogelijke waarde van de standaarddeviatie voor een equiprocentuele klep (van resultaat I, figuur 5) gelijk is aan de best mogelijke waarde van de lineaire klepkarakteristiek (van resultaat II, figuur 7):

- Voor welke warmteoverdrachtsfactor a .
- Bepaal waar de standaard deviatie van het minimum van de equiprocentuele klepkarakteristiek gelijk is aan de standaard deviatie van het minimum lineaire van de klepkarakteristiek.
- Maak grafische weergave.

De scheidslijn van Figuur 9 resulteert in de literatuur voor het linker gebied in een equiprocentuele klepkarakteristiek en voor het rechter gebied in een lineaire klepkarakteristiek. Echter, soms zijn er meerdere mogelijkheden. Voor een warmteoverdrachtsfactor a van bijvoorbeeld circa -0,5, is er een keuze voor een lineaire klep, te selecteren met een hoge autoriteit (boven de scheidslijn) of een keuze voor een equiprocentuele klep met een lage autoriteit (onder de scheidslijn). Nu is er maar 1 selectie mogelijk met een beste klepautoriteit welke resulteert in de meest gelijkmatige verband tussen aansturing en vermogensafgifte. Wordt de grafiek



Figuur 9: Scheidslijn voor keuze equiprocentuele klep (links) en de lineaire klep (rechts).

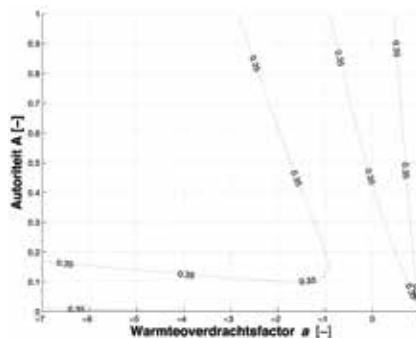
van figuur 8 van links naar rechts gelezen, dan is op een moment de mate van gelijkmatigheid, voor een warmteoverdrachtsfactor a , voor de equiprocentuele en de lineaire klepkarakteristiek gelijk. Deze gelijke contourlijnen van beide klepkarakteristieken zijn geïsoleerd weergegeven in figuur 10.

Van een warmteoverdrachtsfactor a van -7 tot circa -1 resulteert een equiprocentuele klepkarakteristiek in de meest gelijkmatige vermogensafgifte. Van -1 tot $+1$ resulteert een lineaire klepkarakteristiek in de meest gelijkmatige vermogensafgifte.

V) DE IDEALE OF BESTE KLEPAUTORITEIT

Uit voorgaande resultaten kan nu de ideale of beste klepautoriteit samengesteld worden en in grafisch weergegeven worden. Nemen we voor het linkerdeel de grafiek van figuur 5 ($a=-7$ tot $a=-1$), voor het rechterdeel de grafiek van figuur 7 ($a=-1$ tot $a=+1$) en voor de sprong de warmteoverdrachtsfactor a uit figuur 10, dan resulteren deze beide grafieken samen in Figuur 11. In het linkerdeel is het mogelijk om met een equiprocentuele klepkarakteristiek het meest lineair verband te realiseren. In het rechterdeel is dit mogelijk met een lineaire klepkarakteristiek. Omdat beide lijnen met elkaar verbonden worden maar niet naadloos in elkaar overlopen, ontstaat hier een sprong voor een zekere waarde van a . Deze sprong wordt weergegeven door een verticale lijn. 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 . Deze sprong van equiprocentuele naar de lineaire klep is bij beste weten van de auteur nieuw.

Op basis van figuur 11 zijn een aantal conclusies te trekken. Bij een goed geselecteerde klep, zal bij een warmteoverdrachtsfactor a van circa -1 de minst gelijkmatige vermogensafgifte optreden. Dit is onafhankelijk van de combinatie van klepkarakteristiek en/of autoriteit. Immers, de standaard deviatie kan niet lager worden dan $0,35$ (zie figuur 10). Dit kan verslechterd worden door een autoriteit van $A=0,65$ te selecteren waardoor deze oploopt tot circa $0,5 \dots 0,55$ (zie figuur 8). Verder resulteert de keuze van een equiprocentuele klep niet standaard in een lineair verband tussen aansturing en vermogensafgifte. Ook moet in gedachte worden gehouden, dat veel basisonderzoek is gedaan in de jaren '60 tot begin jaren '80, waarbij hoog gestookte installaties de norm waren. Bij moderne, duurzame toepassingen met lagere watertemperaturen bij verwarming en vooral hogere watertemperaturen bij koeling is er



Figuur 10: Lijnen van constante standaard deviatie waar de waarde van $a=-1$ bij een equiprocentuele en een lineaire grondkarakteristiek beide resulteert in een gelijke standaard deviatie.

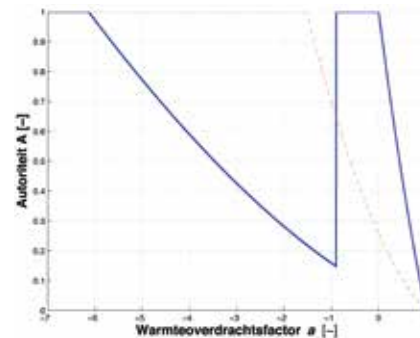
een verschuiving zichtbaar van de warmteoverdrachtsfactor van lagere naar juist hogere waarden van a . Dit betekent dat in de dagelijkse praktijk, ons werkgebied van figuur 11 naar rechts verschuift. Hierbij is de selectie van een regelklep met equiprocentuele grondkarakteristiek niet langer de norm maar zal dit getoetst moeten worden.

DISCUSSIE

De selectie van de autoriteit is vaak goed voor een discussie. Welke waarde is ideaal en tot welke waarden (van hier de standaard deviatie) is een klepselectie acceptabel? Op basis van bestaande kennis en literatuur worden dagelijks diverse selecties gemaakt en toegepast die in de praktijk door diverse effecten en aanpassingen toch voldoende presenteren. Belangrijk is wel in het achterhoofd te houden dat opwekkers en ontwerptemperaturen in de loop van de afgelopen decennia zijn gewijzigd en dat bekende vuistregels niet tot in lengte van dagen houdbaar zijn. En dat er ook andere "ideale" voorwaarden te benoemen zijn. Zo is het bijvoorbeeld de kleinst regelbare stap of een maximale stap per verstelling te benoemen. Dit is hier buiten beschouwing gelaten.

CONCLUSIE

Op basis van een combinatie van de nieuwe rekenmethode en de bestaande rekenregels, is voor de diverse warmteafgiftekarakteristieken de 'ideale' of beste klepautoriteit bepaald. Deze ideale klepautoriteit is niet altijd gelijk aan 1, zoals vaak wordt verkondigd of wordt aangenomen. Bij een correcte toepassing van reeds bestaande rekenregels wordt binnen marges hetzelfde resultaat gevonden. Nieuw is dat de verbinding tussen I) het waterzijdig temperatuurverschil in deellast, II) de vorm van de warmteafgiftekarakteristiek en III) de keuze van de klepkarakteristiek, die op basis van één warmteoverdrachtsfactor of richtingscoëfficiënt a gedefinieerd worden.



Figuur 11: De ideale autoriteit A voor een warmteoverdrachtsfactor a (blauwe lijn) en de te vermijden autoriteit voor beide grondkarakteristieken (rood gestippelde lijn).

VERVOLG

De kritische lezer zal constateren dat dit artikel deels bekende informatie weergeeft met een andere presentatie. Dit is noodzakelijk om een schakel te vormen tussen eerdere artikelen en het volgende artikel. De kern van dit artikel was de ideale of beste klepautoriteit bij een zekere grondkarakteristiek. Echter, deze is net als de bestaande rekenregels, gebaseerd op een constante wateraanvoertemperatuur [1], een constante luchtuitredetemperatuur [1] en een constante pompdruk [2]. In veel installaties wordt een vorm van weersafhankelijk regeling toegepast. Deze weerafhankelijke correctie heeft invloed op de retourwatertemperatuur, de warmteafgiftekarakteristiek en daarmee op de keuze van de combinatie klepkarakteristiek en autoriteit. Ook "moderne" pompregelingen hebben effect op deze vermogensafgifte. In een volgend artikel wordt hier op ingegaan. Vanuit de gepresenteerde afleidingen en het lineaire verband, is het nu mogelijk om door te rekenen en de effecten van deze correcties in beeld te brengen.

LITERAATUUR:

- Brink, A.H.T.M. van den, Rekenen met warmte-wisselaars (1), TVVL Magazine 02-2017
- ISSO-publicatie 44, Ontwerp van hydraulische schakelingen voor verwarmen, ISBN 90-5044-064-9, 1998
- ISSO-publicatie 47, Ontwerp van hydraulische schakelingen voor koelen, ISBN 90-5044-112-2, 2005
- Recknagel, H., Schramek, E.R., Sprenger, E., Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik
- Würstlin, D., Das Regeln heizungs-, lüftungs- und haustechnischer Anlagen. Dynamische Strukturen und Eigenschaften, VDI-verlag, 1974
- VDI/VDE 3525, Regelung von Raumlufttechnischen Anlagen, Grundlagen, 1982