

Technisch Rapport ST -46

Warmtapwatercirculatie- systemen





INHOUDSOPGAVE	Blz.
HOOFDSTUK 1 - SAMENVATTING	2
HOOFDSTUK 2 - Inleiding	3
HOOFDSTUK 3 - Uitgangspunten	4
3.1 Ontwerpuitgangspunten.....	4
3.2 Gangbare ontwerpmethodiek circulatiesysteem	5
3.3 Componenten	6
3.3.1 Warmtapwaterbereider	6
3.3.2 Leidingen en leidingisolatie.....	6
3.3.3 Statische inregelafsluiter (IRAst)	6
3.3.4 Thermostatische inregelafsluiter (IRAth)	9
3.3.5 Circulatiepomp (niet toerengeregeld).....	12
3.3.6 Toerengeregelde circulatiepomp.....	13
3.4 Inregelen	14
3.4.1 Inregelen met IRAst.....	14
3.4.2 Inregelen met IRAth	15
3.4.3 Geen Tichelmann!	15
3.5 Referentiesysteem	16
3.6 Onderzoeksvragen	19
HOOFDSTUK 4 - Rekenmodel	21
HOOFDSTUK 5 - Onderzoek Circulatiebedrijf en inregelen	24
5.1 Warmteverliezen (1)	24
5.2 Bandbreedte toevoertemperatuur (2).....	25
5.3 Onjuiste instelling IRAst (3).....	30
5.4 Inregelen en volumestromen (4)	33
5.5 Moment van inregelen (5)	34
5.6 'Eenvoudige' instelling IRAth (6).....	35
HOOFDSTUK 6 - Onderzoek Tapbedrijf	37
6.1 Plaats van afnamepunten (1).....	37
6.2 Continu tappen (2).....	38
6.3 Stagnatie in circulatieleidingen (3, 4).....	39
6.4 Wachttijden (5)	43
6.5 Toerengeregelde pomp (6)	44
6.6 Steilte pompkromme (7).....	46
HOOFDSTUK 7 - Conclusies en aanbevelingen.....	48
7.1 Algemene conclusies en aanbevelingen	48
HOOFDSTUK 8 - Bijlage 1: afkoeling leidingen	51



HOOFDSTUK 1 -

HOOFDSTUK 1 - SAMENVATTING

Warmtapwatercirculatiesystemen worden gebruikt om binnen een acceptabele wachttijd warmwater aan een tappunt te krijgen dat ver van de warmtapwaterbereider verwijderd is. Voor een comfortabel, veilig en duurzaam gebruik van het warmtapwatercirculatiesysteem zijn er een paar belangrijke randvoorwaarden die betrekking hebben op de watertemperatuur en de stroomsnelheid.

Op basis van bijeenkomsten met deskundigen op het gebied van ontwerp en realisatie van warmtapwatercirculatiesystemen is een aantal onderzoeksvragen opgesteld. Veel van deze vragen hebben betrekking op het precieze (hydraulische) gedrag van het circulatiesysteem onder verschillende omstandigheden en bij toepassing van specifieke producten zoals thermostatische inregelafsluiters en toerengeregelde circulatiepompen.

In deze rapportage zijn deze onderzoeksvragen, veelal met behulp van een voor dit project ontwikkeld rekenmodel, nader bestudeerd.

De resultaten van het onderzoek geven handreikingen voor het ontwerp van warmtapwatercirculatiesystemen, bijvoorbeeld met betrekking tot warmteverliezen door thermische lekken, toepassing van thermostatische inregelafsluiters en toerengeregelde pompen.

De resultaten van dit onderzoek zullen worden opgenomen in de herzieningen van ISSO publicatie 55 leidingwaterinstallaties voor woon- en utiliteitsgebouwen.



HOOFDSTUK 2 - INLEIDING

Bij warmtapwatercirculatiesystemen worden regelmatig problemen geconstateerd. Dit zijn bijvoorbeeld te grote warmteverliezen, een te groot temperatuurverschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur, problemen met de hydraulische balans (en dus volumestroomverdeling) over deelringen en problemen met de taptemperatuur. Hierdoor kunnen onder andere te lage temperaturen optreden in het circulatiesysteem.

Voor warmtapwatercirculatiesystemen zijn componenten op de markt gekomen, zoals thermostatische inregelafsluiters en toerengeregelde warmtapwatercirculatiepompen met regelmodi, waarop de huidige ontwerprichtlijnen niet zijn afgestemd. Het ontbreekt aan kennis over het gedrag van deze componenten in de warmtapwatercirculatiesystemen.

Omdat ieder onderdeel invloed heeft op het functioneren van het totale warmtapwatercirculatiesysteem, is het nodig het totale systeem te beschouwen om gefundeerde uitspraken te kunnen doen over de exacte werking van deze componenten.

In dit project worden diverse onderzoeksvragen met behulp van scenario's onderzocht.

Op basis van de resultaten wordt inzicht gekregen in de werking van warmtapwatersystemen met de diverse componenten en worden aanbevelingen gedaan over ontwerprichtlijnen, het in gebruik nemen en het gebruiken van warmtapwatercirculatiesystemen.

Deze studie is tot stand gekomen dankzij TVVL met een financiële bijdrage van Techniek Nederland. TVVL bedankt de volgende mensen, die actief hebben bijgedragen aan de realisatie van deze studie.

Walter van der Schee	Croonwolter&dros, TVVL ST Expertgroep, voorzitter
Oscar Nuijten	Edu4Install, verslaglegging
Michiel van Bruggen	De Energiemanager, rapporteur
Arie van Dommelen	TVVL ST Expertgroep
Henk-Jan Rijneveld	Sanitaire Installatie Hoogendoorn, TVVL ST Expertgroep
Eric van der Blom	Techniek Nederland, TVVL ST Expertgroep
Stefan Druijf	Kemper
Dennis van den Pol	Oventrop
Marco Munnik	Danfoss
Hans Klopper	Wilo
Wim Julsing	Biral
Patrick Reijns	Beck & vd Kroef
Wilco Oudshoorn	Engie
Ronald Batenburg	A.O. Smith
Jurgen Feller	Delta-P
Gerrit Hofman	IMI-Aero-dynamiek
Corresponderende leden	
Will Scheffer	TVVL ST Expertgroep
Hans van Wolferen	TVVL ST Expertgroep
Hans Reijerink	Croonwolter&dros
Bart Bleys	WTCB-Laboratorium Watertechnieken (België)



HOOFDSTUK 3 - UITGANGSPUNTEN

Deze studie heeft betrekking op warmtapwatercirculatiesystemen. Een warmtapwatercirculatiesysteem wordt gebruikt om er voor te zorgen dat op warmwatertappunten binnen een acceptabele tijd warm tapwater beschikbaar is.

3.1 Ontwerputgangspunten

Enkele ontwerputgangspunten voor warmtapwater-circulatiesystemen zijn via Bouwbesluit (door aanwijzing in NEN1006) en het drinkwaterbesluit (Regeling Legionellapreventie in drinkwater en warmtapwater) wettelijk verankerd:

- De temperatuur aan het mengtoestel of aan het tappunt in een woninginstallatie met circulatie en in een collectief leidingnet moet bij gebruik conform de ontwerpcondities ten minste 60 °C zijn (NEN 1006 par 4.4.2.2).
- Bij warmtapwatervoorzieningen en warmtapwaterinstallaties met circulatie moet de temperatuur van het water in de retourleiding(en) bij gebruik conform de ontwerpcondities ten minste 60 °C zijn (NEN 1006 par 4.4.2.3).
- Voor warmtapwatervoorraadtoestellen gelden eisen aan de temperatuur in relatie tot de standtijd. Als in een warmtapwatervoorraadtoestel niet continu op alle plaatsen een temperatuur van ten minste 60 °C heerst, dan moet deze ter voorkoming van bacteriologische nagroei minimaal wekelijks thermisch worden gedesinfecteerd (NEN 1006 par 4.4.2.4).

Ten aanzien van dit laatste punt kan worden opgemerkt dat het in de praktijk niet nodig is om in het warmtapwatervoorraadtoestel continu overal minimaal 60°C te realiseren.

Verdere richtlijnen of uitwerkingen van de wettelijke eisen zijn te vinden in de waterwerkbladen¹ en in ISSO publicatie 55:

- Watertemperatuur in een boiler is bij voorkeur niet hoger dan 70 °C (Waterwerkblad 4.4A par 5.5.1). Als ontwerputgangspunt wordt meestal 65 °C gehanteerd.
- Als ontwerputgangspunt wordt een maximale afkoeling van 5 °C in circulatiebedrijf aangehouden.
- De isolatie van circulatieleidingen en leidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem heeft een minimale dikte van 35 mm bij een lambda-waarde van 0,04 (W/(m·K)).
- De maximale ontwerp-circulatiestroomsnelheid is 0,7 m/s (Waterwerkblad 4.4A par 5.2.1).
- De ontwerp-circulatiestroomsnelheid is ("zo veel mogelijk") niet lager dan 0,5 m/s (Waterwerkblad 4.4A par 5.1.2) zodat lucht in het systeem afgevoerd kan worden.
- De stroomsnelheid in warmtapwaterleidingen is maximaal 2 m/s (Waterwerkblad 4.4A par 5.2.1). Als ontwerputgangspunt wordt meestal 1,5 m/s aangehouden.
- De maximale (leiding)wachtijd² is 20 seconden (Waterwerkblad 4.4 par 4.1).

¹ www.infodwi.nl

² De wachtijd is de tijd die verloopt tussen het opendraaien van het warmtapwater tappunt en het bereiken van een temperatuurverhoging die 70% bedraagt van de maximaal te bereiken temperatuursverhoging. In de praktijk komt dit neer op een temperatuur van 45°C aan het tappunt.



- De ontwerp volumestromen ten behoeve van de dimensionering van de warmtapwaterleidingen worden in overleg met de opdrachtgever vastgesteld. Hiervoor worden doorgaans de in ISSO 55 beschreven ontwerpmethodieken gebruikt (rekenregels en de $q\sqrt{\Sigma TE}$ methode).

Ten aanzien van deze bestaande richtlijnen wordt het volgende opgemerkt:

- De richtlijn met betrekking tot de leidingisolatie met een dikte van minimaal 35 mm is niet reëel omdat 35 mm geen handelsmaat is. Aanbevolen wordt dit te wijzigen naar 30 mm.
- De richtlijn met betrekking tot de in Waterwerkblad 4.4A genoemde minimale stroomsnelheid van 0,5 m/s in circulatieleidingen is in de praktijk niet haalbaar. Aanbevolen wordt deze richtlijn achterwege te laten.

3.2 Gangbare ontwerpmethodiek circulatiesysteem

Warmtapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem worden ontworpen op basis van de te verwachten maximale moment volumestroom en een maximale stroomsnelheid van 1,5 m/s.

Het circulatiesysteem wordt ontworpen op basis van een minimale retourtemperatuur van 60 °C, een maximale stroomsnelheid van 0,7 m/s. Het warmteverlies in het hele circulatiesysteem is een bepalende factor. Hoe groter het warmteverlies, hoe groter de circulatievolumestroom.

In grote lijnen komt de ontwerpmethodiek voor het bepalen van de leidingdiameters van de circulatieleidingen en de benodigde leidingisolatie neer op het doorlopen van de volgende stappen:

1. Kies een eerste uitgangspunt voor leidingen (diameters) en isolatie van de circulatieleidingen;
2. Bereken de totale circulatievolumestromen op basis van de maximale afkoeling (doorgaans een afkoeling van 5 °C op basis van 65 °C toevoerwatertemperatuur en 60 °C retourtemperatuur) en het warmteverlies van de leidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem;
3. Bepaal de deelringvolumestromen op basis van de toelaatbare afkoeling in de deelringcirculatieleiding;
4. Kies, indien mogelijk op basis van de maximale circulatiestroomsnelheid van 0,7 m/s, een leiding met een kleinere diameter dan in stap 1 gekozen;
5. Begin weer bij stap 2 en herhaal de stappen 3 en 4 totdat er in stap 4 geen andere leiding meer gekozen wordt;
6. Bepaal de stand van de inregelafsluiters zodat de berekende (deelring)volumestromen gerealiseerd worden.

De ontwerpmethodiek is in detail beschreven in ISSO 55. In de praktijk wordt er in Nederland bij toepassing van thermostatische inregelafsluiters (IRAth) geen andere ontwerpmethodiek gehanteerd. De selectie van de IRAth is dan gebaseerd op de standaard berekening (die uitgaat van IRAst).

Verder worden er in het circulatiesysteem nog de volgende appendages aangebracht:

- Een keerklep in de retourleiding, zodat er geen water vanuit het voorraadvat de circulatieleiding in kan stromen;
- Een inregelafsluiter per deelring in de warmtapwaterleidingen, zodat de deelring apart afgesloten kan worden. Bijvoorbeeld ten behoeve van onderhoud. De functies van afsluiter en inregelafsluiter kunnen gecombineerd zijn in één appendage.



Binnen het project is aan verschillende leveranciers van inregelafsluiters gevraagd de referentiesystemen door te rekenen. Hieruit bleek dat deze berekeningen niet uitgevoerd kon worden conform de Nederlandse berekeningsmethodiek (ISSO 55).

3.3 Componenten

3.3.1 *Warmtapwaterbereider*

In relatie tot warmtapwatercirculatiesystemen in combinatie met het gebruik van thermostatische inregelafsluiters is met name de stabiliteit van de toevoertemperatuur van de warmtapwaterbereider van belang.

Alle grotere warmtapwaterbereiders worden gekenmerkt door een zekere bandbreedte van de toevoertemperatuur. De bandbreedte is in circulatiebedrijf kleiner dan in tapbedrijf en de bandbreedte is bij directgestookte toestellen kleiner dan bij indirect gestookte toestellen en oplaadsystemen. De grootte van deze bandbreedte en de duur van de onderschrijding van de ontwerp temperatuur is onbekend. Het is wenselijk dat daar beter inzicht in komt.

3.3.2 *Leidingen en leidingisolatie*

De leidingen die gebruikt worden in warmtapwatercirculatiesystemen moeten geschikt zijn voor warmtapwater. Dit houdt onder andere in dat (ook kunststof) leidingen langdurig bestand moeten zijn tegen hogere temperaturen (zie BRL K536 D en E). Ook de gebruikte leidingisolatie moet goede isolerende eigenschappen behouden en mag niet degraderen bij langdurige hogere temperaturen.

Hoe beter de leidingen en andere onderdelen van het circulatiesysteem geïsoleerd zijn, hoe kleiner de benodigde circulatievolumestroom bij de maximale afkoeling van het circulatiewater. Speciale aandacht verdient ook het voorkomen van onderbrekingen van de leidingisolatie bij vloer- en muurdoorvoeren en het isoleren van appendages.

Bij tapbedrijf kan er (tijdelijk) stagnatie ontstaan in circulatieleidingen. Hoe beter de isolatie van de leidingen, hoe langzamer de afkoeling in de leidingen en hoe minder stagnatie zal leiden tot ongewenste afkoeling. In bijlage 1 zijn gegevens opgenomen over de afkoelsnelheid in geïsoleerde leidingen.

3.3.3 *Statische inregelafsluiter (IRAst)*

Een statische inregelafsluiter (zie Figuur 1) zorgt voor een instelbaar dynamisch drukverlies. De toepassingen van de statische inregelafsluiter in warmtapwatercirculatiesystemen zijn:

- Statische inregelafsluiters in deelringen. De statische inregelafsluiters zorgen er voor dat bij de gewenste volumestromen het drukverlies over alle deelringen gelijk is, zodat er een hydraulische evenwicht is. Doorgaans wordt de inregelafsluiter in de maatgevende deelring (deelring met het grootste drukverlies) in de open stand gezet. Het drukverlies in de overige deelringen kan dan niet groter worden dan het drukverlies in het maatgevende tracé. Ten behoeve van de inregelbaarheid wordt een minimaal drukverschil over de inregelafsluiter van 3 kPa aanbevolen.
- Bij systemen met thermostatische inregelafsluiters wordt in de maatgevende deelring een statische inregelafsluiter in de open stand geplaatst. Als het drukverschil in de open stand onder ontwerpcondities kleiner dan 3 kPa is, dan wordt de instelling van deze inregelafsluiter aangepast zodat het drukverlies minimaal 3 kPa is.
- In de retourleiding, na de pomp kan eventueel een statische inregelafsluiter geplaatst worden op basis van de volgende overwegingen:



- De inregelafsluiter kan gebruikt worden om de ontwerpcirculatievolumestroom in te stellen. Dit kan nodig zijn als bijvoorbeeld de geselecteerde pomp een te grote opvoerdruck levert.
- Bij een groter drukverlies in de circulatieleidingen (inclusief de inregelafsluiter nabij de pomp) en dus een pomp met een grotere opvoerdruck, blijft er ook bij tappen met grotere tapvolumes, een circulatievolumestroom aanwezig. Hierdoor wordt een te sterke afkoeling door vertragende of stagnerende circulatievolumestroom voorkomen.



Figuur 1: Statische inregelafsluiters (Kemper, Oventrop en Viega)

Bij inregelafsluiters speelt de grootte K_v een belangrijke rol. De K_v -waarde is een getal dat staat voor relatie tussen volumestroom en drukverlies. De K_v -waarde als karakteristiek getal voor het drukverlies geeft de mogelijkheid om bij elke volumestroom het drukverlies te bepalen. De eenheid van K_v -waarde is de volumestroom in m^3/h bij een drukverlies van 1 bar (100 kPa). Dus, hoe groter de K_v waarde, hoe kleiner het drukverlies. Op basis van de K_v -waarde kan bij elke volumestroom het drukverlies benaderd worden met de formule:

$$\Delta p = 100 \cdot \left(\frac{3,6 \cdot q_v}{K_v} \right)^2 \quad [\text{kPa}]$$

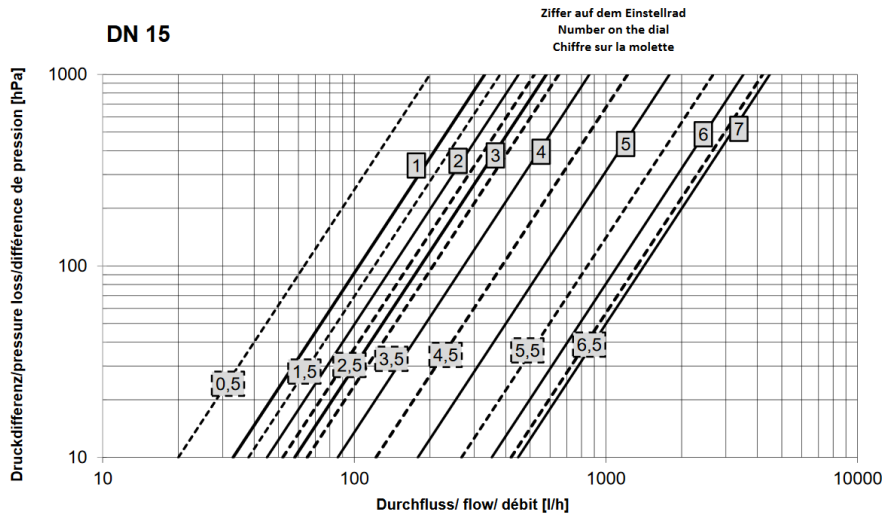
Waarin:

Δp	Dynamisch drukverlies bij de volumestroom	kPa
q_v	Volumestroom	l/s
K_v	Kengetal van de appendage	m^3/h (bij drukverlies van 1 bar)

Een op een appendage ingestelde K_v waarde wordt weergegeven als $K_{v,i}$.

Een (statische) inregelafsluiter wordt als volgt gekozen:

1. Kies de kleinst mogelijke inregelafsluiter waarbij de gewenste combinatie van volumestroom en drukverlies in het regelbereik ligt.
2. Lees in een *volumestroom-drukverlies* diagram (zie Figuur 2) de instelwaarde af waarbij de combinatie van volumestroom en drukverlies het best overeenkomt met de gewenste waarden.



Figuur 2: Voorbeeld drukverliesdiagram van een statische inregelafsluiter (Kemper).

Voorbeeld

Uit de inregelstaat (afkomstig uit rekensoftware) is af te lezen dat een drukverlies van 14,2 kPa bij een volumestroom van 0,038 l/s nodig is ($K_{v,i}$ van 0,36), zie derde regel in Figuur 3.

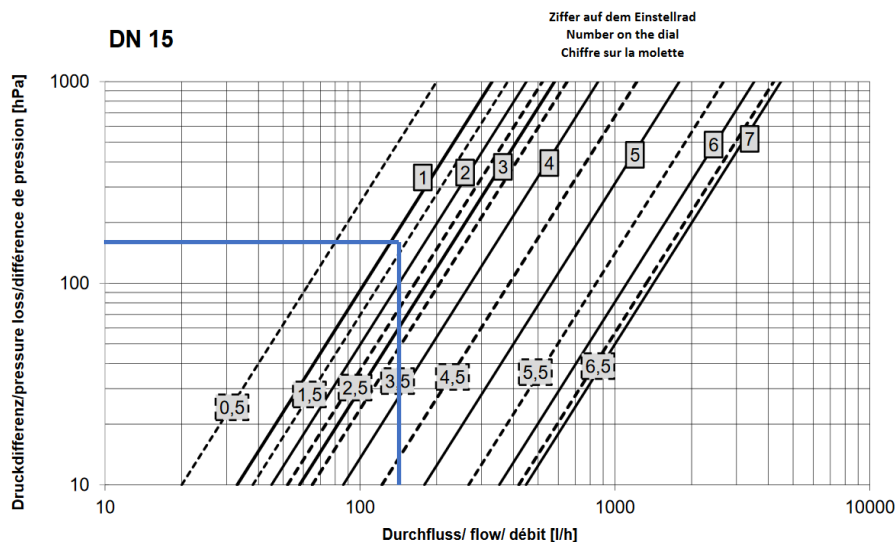
Circulatie inregelstaat

Tracé	Omschrijving	Afmeting	qm;circ [kg/s]	qv;circ [l/s]	Kv(s) [m ³ /h]	dp;open [kPa]	dp;smoor [kPa]	dp;inr [kPa]	auto. [-]	Kv [m ³ /h]
0	Multi-Fix, Recht (DN	0,049	0,050	1,20	2,178	0,000	2,178	0,04	1,20	
0	Multi-Fix, Recht (DN	0,148	0,150	1,20	19,950	0,000	19,950	0,36	1,20	
1	Multi-Fix, Recht (DN	0,037	0,038	1,20	1,257	12,955	14,212	0,26	0,36	
1	Multi-Fix, Recht (DN	0,148	0,150	1,20	19,950	0,000	19,950	0,36	1,20	
2	Multi-Fix, Recht (DN	0,032	0,033	1,20	0,964	19,368	20,332	0,37	0,26	
2	Multi-Fix, Recht (DN	0,148	0,150	1,20	19,950	0,000	19,950	0,36	1,20	
3	Multi-Fix, Recht (DN	0,029	0,030	1,20	0,791	21,948	22,738	0,41	0,22	
3	Multi-Fix, Recht (DN	0,148	0,150	1,20	19,950	0,000	19,950	0,36	1,20	

Figuur 3: Circulatie-inregelstaat (Software BINK), zie de kolommen qv;circ, dp;inr en Kv. Voor de betekenis van de overige kolommen wordt verwezen naar de documentatie van de software³.

De gegeven circulatievolumestroom en weg te regelen drukverschil zijn 0,038 l/s en respectievelijk 14,212 kPa. Omgerekend naar de juiste eenheden wordt dit 137 l/h respectievelijk 142 hPa. Dit is weergegeven in Figuur 4.

³ In de inregelstaat is niet de berekende temperatuur ter plekke van de inregelafsluiter gegeven. Ten behoeve van het inregelen zou deze waarde praktisch zijn.



Figuur 4: Drukverliesdiagram met daarin ingetekend de gewenste instelling.

De lijn boven dit punt geeft een iets kleinere volumestroom, de lijn onder dit punt geeft een iets grotere volumestroom. De keuze voor de instelling hangt of met deze keuze de kritische waarden van de stroomsnelheid over- of onderschreden worden. Op basis van Figuur 4 wordt gekozen voor een instelwaarde van 1,5.

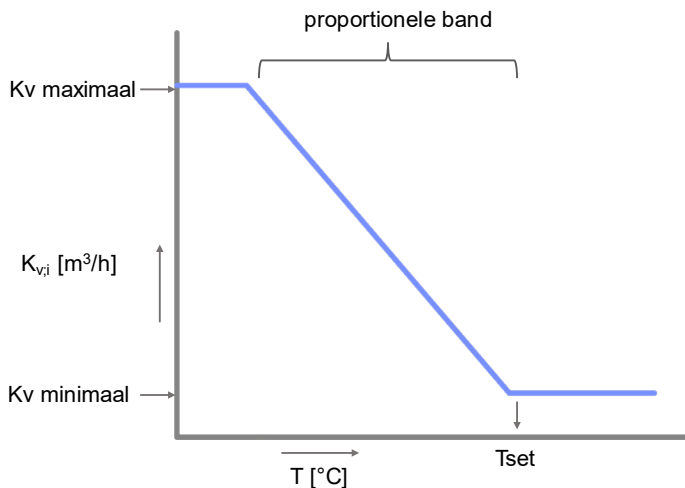
Bij de referentiesystemen is nabij de pomp een inregelafsluiter met stand ($K_{v,i}=1,2$) opgenomen. In de berekende situatie komt dit overeen met een circulatievolumestroom van 0,15 l/s bij een drukverlies van 19,95 kPa.

3.3.4 *Thermostatische inregelafsluiter (IRAth)*

Bij een thermostatische inregelafsluiter (zie Figuur 5) is het drukverlies afhankelijk van de watertemperatuur. De thermostatische inregelafsluiter (IRAth) wordt gekenmerkt door een Temperatuur- K_v karakteristiek, zie Figuur 6.



Figuur 5: Thermostatische inregelafsluiters (Kemper, Danfoss, Oventropp)



Figuur 6: T-K_v karakteristiek van een IRAth.

Als de huidige K_{v,i}-waarde bij een specifieke watertemperatuur hoger is dan de waarde op de karakteristiek, dan zal de inregelafsluiter verder dicht gaan. Als de huidige K_{v,i}-waarde bij een specifieke watertemperatuur lager is dan de waarde op de karakteristiek, dan zal de inregelafsluiter verder open gaan. Uiteindelijk zal de inregelafsluiter stabiliseren bij een combinatie van watertemperatuur en K_{v,i} op de karakteristiek.

Thermostatische inregelafsluiters (IRAth) worden alleen toegepast bij warmtapwatercirculatiesysteem met meerdere deelringen. Ook bij IRAth wordt er een statische inregelafsluiter in de maatgevende ring geplaatst. Hierbij moet er op gelet worden dat:

- de maatgevende ring ook met de IRAst maatgevend blijft;
- het drukverschil over deze statische inregelafsluiter bij de ontwerp volumestroom groter dan of gelijk is aan 3 kPa.

Een IRAth heeft ook vaak een desinfectiestand. Deze zorgt er voor dat bij hogere temperaturen (bijvoorbeeld > 70 °C) de regelklep zich weer iets opent. Deze voorziening is met name gericht op de Duitse markt. Door de in Nederland gehanteerde hogere circulatietemperatuur is extra desinfectie doorgaans niet nodig. Door de relatief hoge circulatietemperaturen (ten opzichte van Duitsland) is ten gevolge van de desinfectiestand de instelbaarheid van de IRAth naar hogere temperaturen beperkt.

De desinfectiestand kan onregelend werken als de levertemperatuur van de warmtapwaterbereider regelmatig deze kritische temperatuurgrens overschrijdt.

Een IRAth regelt niet precies naar de ingestelde temperatuur, maar naar een temperatuur op de karakteristiek. Deze temperatuur op de karakteristiek is lager dan de ingestelde temperatuur T_{set}. Hoe hoger de K_v-waarde en hoe vlakker de karakteristiek (grotere proportionele band), hoe groter de afwijking van T_{set}.

Om exact de gewenste temperatuur bij de berekende volumestroom te krijgen moet T_{set} zodanig worden ingesteld dat de gewenste combinatie van temperatuur en K_v op de karakteristiek ligt. De in te stellen waarde van T_{set} kan berekend worden met de formule:

$$T_{set} = T_i + \frac{P_{band} \cdot (K_{v,i} - K_{v,min})}{K_{v,max} - K_{v,min}} \quad [^{\circ}\text{C}]$$



Waarin:

T_{set}	De op de inregelafsluiter in te stellen temperatuur	°C
T_i	Gewenste temperatuur bij inregelafsluiter	°C
P_{band}	Grootte van proportionele band	K
K_{vi}	(berekende) waarde van $K_{v,i}$ waarbij gewenste temperatuur gerealiseerd wordt	m^3/h
$K_{v;min}$	Minimale $K_{v,i}$ waarde van de inregelafsluiter	m^3/h
$K_{v;max}$	Maximale $K_{v,i}$ waarde van de inregelafsluiter	m^3/h

Er wordt een thermostatische inregelafsluiter gekozen waarbij de gewenste $K_{v,i}$ waarde in het regelbereik ligt en waarbij de proportionele regelafwijking niet groot is. Voor de instelling van de inregelafsluiter kan gekozen worden uit een eenvoudige methode en een theoretische methode.

Bij de eenvoudige methode (die overeenkomt met de huidige praktijk) wordt de setpointtemperatuur van de inregelafsluiters op bijvoorbeeld 61 °C, 62 °C of 63 °C ingesteld. Aangezien de bij de inregelafsluiter gerealiseerde temperatuur (meestal) lager is dan de ingestelde temperatuur zou op voorhand onderzocht moeten worden of de gerealiseerde temperatuur niet lager zal worden dan 60 °C. De gangbare softwareprogramma's voor het berekenen van warmtapwatercirculatiesystemen geven niet als resultaat de hydraulische balans die ontstaat als een bepaalde temperatuursetpoint gekozen wordt. Het is op voorhand dan ook onbekend hoe de volumestromen, stroomsnelheden en circulatiewatertemperaturen zullen zijn als de temperatuur op deze manier ingesteld wordt. Eventuele te grote (of te kleine) stroomsnelheden of te lage circulatietemperaturen kunnen op basis van naregelen in stationaire circulatiebedrijf meestal weer gecorrigeerd worden. Door variërende toevoertemperaturen van de warmtapwaterbereider blijft het gedrag van de thermostatische inregelafsluiters en de invloed daarvan op stroomsnelheden en circulatiewatertemperaturen niet geheel voorspelbaar.

Bij de theoretische methode wordt de setpointtemperatuur berekend op basis van de door de computer berekende temperatuur aan het einde van de deelring en de karakteristiek van de IRath zodat de berekende temperatuur en berekende $K_{v,i}$ op de karakteristiek van de thermostatische inregelafsluiter ligt. Daarvoor kan de hierboven gegeven formule gebruikt worden.

De instelling van een setpointtemperatuur op de inregelafsluiter heeft een beperkte nauwkeurigheid (circa ± 1 °C) waardoor het lastig is exact de gewenste temperatuur in te stellen. De waarde van een theoretische methode is daardoor beperkt.

Voorbeeld theoretisch (op basis van referentiesysteem 1, zie par 3.5)

Gegeven, uit de softwareberekening, circulatievolumestroom en drukverlies door inregelafsluiter.

	$q_{v,circ}$ [l/s]	v [m/s]	Δp [kPa]	$K_{v,i}$ [$m^3/h \cdot 100$ kPa]	T [°C]
Deelring 1	0,031	0,40 ⁴	26,1	0,22	60,51
Deelring 2	0,035	0,44 ⁴	23,1	0,26	60,69
Deelring 3	0,040	0,51	15,8	0,36	60,89
Deelring 4	0,052	0,66	2,4	1,20	60,82

Gegeven toepassing van IRath met de volgende kenmerken:

⁴ De stroomsnelheid is hier lager dan de aanbevolen minimale snelheid. De gebruikte leiding heeft een inwendige diameter van 10 mm. Het toepassen van leidingen met een kleinere inwendige diameter is niet gangbaar.



$K_{v,max}$: 1,3
 $K_{v,min}$: 0,1
P-band: 5

Met de formule kan bepaald worden welke insteltemperatuur T_{set} nodig is om het gewenste drukevenwicht te realiseren.

		T_{set} [°C]
Deelring 1	$T_{set} = 60,51 + \frac{5 \cdot (0,22 - 0,1)}{1,3 - 0,1}$	61,0
Deelring 2	$T_{set} = 60,69 + \frac{5 \cdot (0,26 - 0,1)}{1,3 - 0,1}$	61,4
Deelring 3	$T_{set} = 60,89 + \frac{5 \cdot (0,36 - 0,1)}{1,3 - 0,1}$	62,0
Deelring 4	Statisch	

Voorbeeld eenvoudig

Gegeven, als voorgaande voorbeeld. Alle IRATH worden ingesteld op 62 °C. het resulterende hydraulische evenwicht met bijhorende temperaturen⁵ is dan:

	$q_{v,circ}$ [l/s]	v [m/s]	Δp [kPa]	$K_{v,i}$ [m ³ /h]	T [°C]
Deelring 1	0,037	0,47 ⁴	20,0	0,30	61,18
Deelring 2	0,038	0,49 ⁴	18,5	0,32	61,04
Deelring 3	0,039	0,50	13,9	0,38	60,86
Deelring 4	0,05	0,63	2,2	1,20	60,71

Te zien is dat in deze situatie ook bij het gebruik van de thermostatische inregelafsluiter de circulatietemperaturen en stroomsnelheden binnen de ontwerprandvoorwaarden vallen.

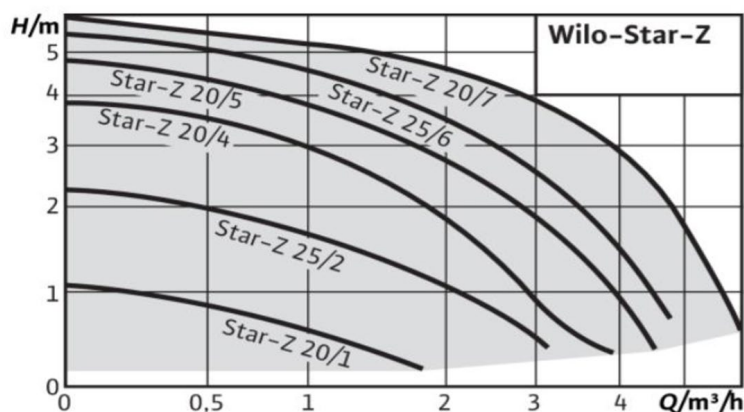
De thermostatische inregelafsluiter wordt ook gekenmerkt door een hysteresis. Hysteresis wil zeggen dat de relatie tussen temperatuur en K_v niet eenduidig is, omdat deze ook afhankelijk is van de richting waarin de klep beweegt (openen of sluiten). De afsluitklep moet vanuit een stabiele situatie een zekere weerstand overwinnen voordat het regelen begint. Hierdoor kan de gerealiseerde temperatuur anders zijn dan verwacht op basis van de karakteristiek.

In de documentatie van de meeste fabrikanten is deze hysteresis niet beschreven.

3.3.5 Circulatiepomp (niet toerengeregeld)

Een circulatiepomp met vast toerental wordt gekenmerkt door de pompkarakteristiek. De pompkarakteristiek geeft de relatie tussen de volumestroom en de drukverhoging, Figuur 7.

⁵ Berekend met het voor dit project ontwikkelde rekenmodel.



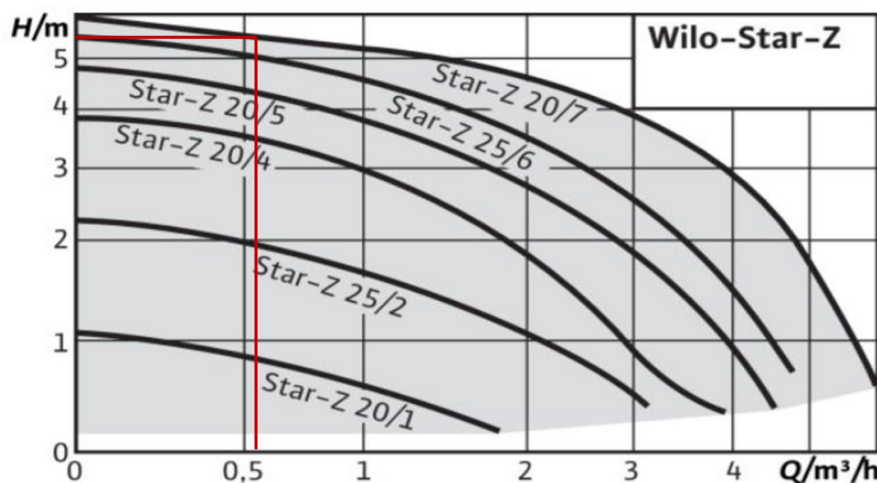
Figuur 7: Pompkarakteristiek van diverse pompen (WILO)

Een pomp wordt zo gekozen dat bij de circulatievolumestroom het benodigde drukverschil gerealiseerd wordt. Bij voorkeur ligt dit punt op de pompkromme zodanig dat het rendement van de pomp goed is. Door het plaatsen van een statische inregelafsluiter in de retourleiding is eventueel te regelen naar het gewenste werkpunt op de pompkromme. In ieder geval moet minimaal de berekende circulatievolumestroom gerealiseerd kunnen worden.

De steilte van de pompkarakteristiek kan ook een rol spelen bij een keuze voor een pomp. Een pomp met een steilere pompkarakteristiek zal bij toenemende tapvolumes in tapbedrijf een zekere mate van circulatie iets langer in stand houden dan een pomp met een vlakke pompkarakteristiek, zie paragraaf 6.6.

Voorbeeld

Gegeven: circulatievolumestroom: 0,15 l/s. Drukverlies totaal: 54,85 kPa. Ingetekend in pompkarakteristieken (na omzetting van eenheden 0,54 m³/h-5,5 mwk), zie Figuur 8.



Figuur 8: Werkpunt ingetekend in pompkromme.

De op basis van deze pompkarakteristieken te kiezen pomp zou dan de Star-Z 20/7 zijn.

3.3.6 Toerengeregelde circulatiepomp

Het toepassen van toerenregeling is voor het continu regelen van de volumestroom doorgaans niet zinvol, zie ook paragraaf 6.5. Een toerengeregelde pomp kan zinvol zijn bij het inregelen van de installatie omdat er dan de mogelijkheid is om de totale circulatievolumestroom te regelen op de gewenste waarde. C.v. circulatiepompen moeten in het kader de Europese Ecodesign



regeling voldoen aan efficiëntie-eisen die alleen gerealiseerd kunnen worden met toerengeregelde pompen. Warmtapwatercirculatiepompen vallen voornamelijk buiten de Ecodesign regeling. De hoogrendement circulatiepompen voor warmtapwatercirculatie zijn wel beschikbaar. Als een toerengeregelde pomp wordt gebruikt, fixeert deze dan op een vast toerental.

3.4 Inregelen

3.4.1 Inregelen met IRAs

Het inregelen van een warmtapwatercirculatiesysteem met statische inregelafsluiters volgens de *voorinstelmethode* gebeurt op de volgende wijze:

1. De $K_{v,i}$ van de IRAs wordt berekend, doorgaans met een computerprogramma.
2. De bij de $K_{v,i}$ horende (dichtst bijliggende hogere) instelwaarde van de betreffende inregelafsluiter wordt bepaald met behulp van $qv-\Delta p$ diagram van de inregelafsluiter.
3. De betreffende instelwaarde wordt op de IRA ingesteld.
4. De retourtemperatuur⁶ ($>60\text{ °C}$ bij een boiler temperatuur van 65 °C) of afkoeling ($\leq 5\text{ °C}$) nabij de warmtapwatervoorziening wordt gecontroleerd.
5. Bij elke strang wordt gecontroleerd of de temperatuur hoger is dan 60 °C ⁶.

Bij het inregelen doen zich een aantal problemen voor:

- Het instellen van de juiste instelwaarde van de inregelafsluiter is lastig. Het computerprogramma berekent deze waarde met een nauwkeurigheid van twee decimalen. De handmatige instelling heeft een beperkte nauwkeurigheid
- Het computerprogramma geeft in de inregelstaat niet de te realiseren temperatuur per deelstrang, het controleren van de temperatuur is dus eigenlijk niet mogelijk. In de huidige praktijk wordt gekeken of de temperatuur niet lager is dan 60 °C . Het controleren van de temperatuur in de retour en in deelringen moet altijd in samenhang gezien worden met de levert temperatuur van de warmtapwaterbereider. Voor de retourtemperatuur is dit vaak goed te doen omdat de retour en de levering fysiek dicht bij elkaar geplaatst zijn. Bij de deelringen is dit lastiger.

Een juiste inregeling kan alleen plaats vinden bij circulatiebedrijf. Bij tapbedrijf kunnen de gemeten retourtemperaturen zowel hoger als lager zijn dan bij circulatiebedrijf. Bij bepaalde gebouwfuncties kan dat lastig zijn.

Een circulatiesysteem wordt minder gevoelig voor foutief inregelen als:

- Als het drukverlies in alle deelringen relatief groot is zal de circulatievolumestroom zich min of meer automatisch verdelen over de deelringen. 'Kortsluiting' zal dan niet snel optreden. Het drukverlies in de deelringen kan verhoogd worden door de IRAs in de

⁶ In de praktijk wordt de volumestroom of de stroomsnelheid niet gecontroleerd. De volumestroom kan niet gecontroleerd worden doordat de meetvoorziening hiervoor ontbreekt op de IRA. Voor het meten van de stroomsnelheid, bijvoorbeeld met een ultrasoon meter, is extra apparatuur nodig die in de huidige praktijk niet gangbaar is.



maatgevende strang niet helemaal open te zetten, de andere IRA's moeten dan natuurlijk ook dichter staan.

- Door zeer goede leidingisolatie zal het water in de leiding minder snel afkoelen. Als de stroomsnelheid lager is dan de ontwerpwaarde is de extra afkoeling hierdoor niet zo snel problematisch.

3.4.2 **Inregelen met IRAth**

Het inregelen van een systeem met thermostatische inregelafsluiters gebeurt op volgende wijze:

1. De setpointtemperatuur van de inregelafsluiter wordt ingesteld op een waarde van bijvoorbeeld 61 °C, 62 °C of 63 °C;
2. De retourtemperatuur⁶ (>60 °C) nabij de warmtapwatervoorziening wordt gecontroleerd;
3. Bij elke strang wordt gecontroleerd of de temperatuur hoger is dan 60 °C⁶

Bij het inregelen met een IRAth doen zich een aantal problemen voor:

- Omdat het vaak om Duitse producten gaat is de temperatuurinstelling bij levering veel lager dan de gebruikte temperatuurinstelling in Nederland. Als verzuimd wordt in te regelen zullen te lage temperaturen optreden.
- Het instellen van de juiste instelwaarde van de inregelafsluiter is lastig. De handmatige instelling heeft een beperkte nauwkeurigheid.
- Er is geen regel om een goede setpointtemperatuur voor de IRAth vast te stellen.
- Als de ingestelde setpointtemperaturen zorgen voor andere drukverliezen dan in de ontwerpberekening, dan is de verdeling van de volumestromen (dus ook stroomsnelheden en temperaturen) anders dan uit de ontwerpberekening volgt.
- De ingestelde setpointtemperatuur is, als gevolg van de proportionele regelafwijking, niet de temperatuur die uiteindelijk gerealiseerd wordt, in de meeste gevallen zal de gerealiseerde temperatuur lager zijn dan de setpointtemperatuur.
- Controle op retourtemperatuur bij de warmtapwaterbereider of op de temperatuur nabij de inregelafsluiters kan niet los gezien worden van de levertemperatuur van de warmtapwaterbereider.
- Met het variëren van de levertemperatuur van de warmtapwaterbereider is het gedrag van de IRAth onvoorspelbaar. Zo kan er, als de levertemperatuur lager wordt kortsluiting ontstaan over de eerste strangen. Hierdoor dalen de stroomsnelheid en circulatiewatertemperatuur in de verder weg gelegen strangen.

3.4.3 **Geen Tichelmann!**

Een warmtapwatercirculatiesysteem leent zich niet voor een evenwichtige drukverdeling volgens het Tichelmann principe. Bij de tapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem zal (bij circulatiebedrijf) er sprake zijn van een zeer klein (verwaarloosbaar) drukverlies vanwege de relatief grote diameters. Het Tichelmann principe zal dus alleen betrekking hebben op de recirculatieleidingen. Het realiseren van gelijke drukverliezen door gelijke leidingdiameters en gelijke lengtes in alle strangen met alleen de circulatieleidingen, is vanwege de lay-out van het systeem doorgaans niet realistisch.



3.5 Referentiesysteem

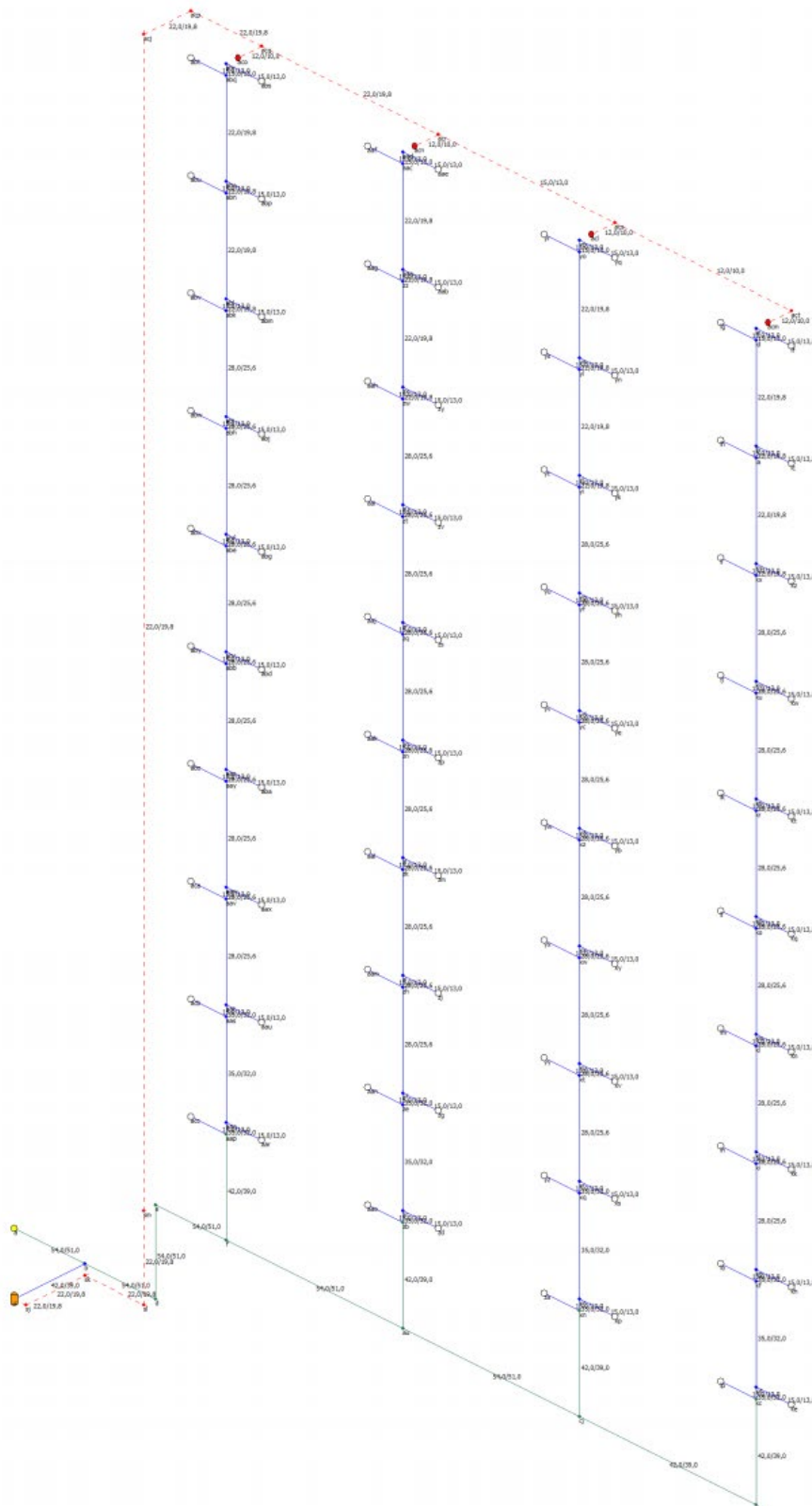
De onderzoeksvragen worden onderzocht aan de hand van twee referentiesystemen. Deze referentiesystemen zijn ontworpen met het rekenprogramma *BINK tapwaterberekening*.

Gebruiksfunctie	Toeristisch hotel met douche Klasse III (0,19 l/s)
Circulatiesysteem	Vier deelringen, elk 20 hotelkamers
Ontwerpmethode	Maximale momentvolumestromen op basis van rekenregels
Leidingisolatie	Dikte 30 mm, λ van 0,035 W/mK en een aluminium afwerking
Toeslagfactor warmteverlies	50%

De twee referentiesystemen onderscheiden zich in de leidinglayout van de circulatieleidingen. Dit is geïllustreerd in Figuur 9 en Figuur 10.



Figuur 9: Leidinglayout referentiesysteem 1, lange deelringcirculatieleidingen met een laag gelegen circulatieverzamelleiding.



Figuur 10: Leidinglayout referentiesysteem 2, korte deelringcirculatieleidingen met een hoog gelegen circulatieverzamelleiding.

Het relevante verschil tussen de twee systemen is dat er bij referentiesysteem 1 veel drukverlies is in de deelringcirculatieleidingen en in referentiesysteem 2 er weinig drukverlies is in de deelringcirculatieleidingen. Dit onderscheid is gemaakt omdat bij een systeem met relatief veel drukverlies in de deelringcirculatieleiding de invloed van de inregelafsluiters veel kleiner is.



Aangezien juist de werking van de inregelafsluiters een belangrijk onderwerp van onderzoek is, is ook referentiesysteem 2 opgesteld.

In de referentiesituaties is in de retourleiding een inregelafsluiter geplaatst met $K_{v,i}=1,2$. Deze inregelafsluiter zorgt voor relatief veel drukverlies. Omdat bij sommige onderzoeksvragen het drukverlies in het circulatiesysteem relevant is, zijn ook referentie 1A en 2A opgenomen, waarbij deze inregelafsluiter volledig in de open stand staat ($K_{v,i}=6,2$).

Tabel 1: Enkele kenmerken van de referentiesystemen

	Referentie 1	1A	Referentie 2	2A
MMVww	1,47		1,47	
MMVww per deelring	0,93		0,93	
Circulatievolumestroom $q_{v,circ}$ [l/s]	0,15	0,15	0,13	0,13
Drukverlies bij $q_{v,circ}$ [kPa]	54,85	38	33,71	22,4
kvi IRA deelring 1 [m ³ /h]	0,22		0,23	
kvi IRA deelring 2 [m ³ /h]	0,26		0,27	
kvi IRA deelring 3 [m ³ /h]	0,36		0,4	
kvi IRA deelring 4 [m ³ /h]	1,2		1,2	

Bij de referentiesystemen zorgt de IRAst in de maatgevende deelring (4) met een $K_{v,i}$ van 1,2 voor een drukverlies dat lager is dan 3 kPa. Idealiter zou hier het drukverlies door de IRAst verhoogd moeten worden (bijvoorbeeld $K_{v,i}=1$) om er voor te zorgen dat het drukverlies groter is dan 3 kPa. Voor de in deze rapportage beschreven analyses is verder gerekend met de hier beschreven referentiesystemen.

In de referentiesystemen komen in verschillende circulatieleidingen stroomsnelheden voor die lager zijn dan de in de huidige richtlijnen aanbevolen minimale stroomsnelheid van 0,5 m/s.

3.6 Onderzoeksvragen

Op basis van bijeenkomsten met deskundigen op het gebied van ontwerp en realisatie van warmtapwatercirculatiesystemen is een aantal onderzoeksvragen opgesteld.

Onderzoeksvragen die betrekking hebben op circulatiebedrijf en inregelen:

1. Wat is de invloed van grotere warmteverliezen in het leidingsysteem (door beugelwerk en onvolkomen afwerking van de isolatie) op de minimaal benodigde circulatiestroomsnelheid?
2. Op basis van welke criteria wordt een (stationaire) circulatiepomp gekozen? Met name met betrekking tot de vorm van de pompkromme.
3. Hoe is de werking van thermostatische inregelafsluiters als rekening gehouden wordt met:
 - o variatie van drukverlies in het leidingsysteem;
 - o variatie van de warmtapwatertemperatuur (bijvoorbeeld door laden/ontladen voorraadvat);
4. Hoe kan ingeregeld worden als de inregelafsluiter geen drukmeetnippels heeft?
5. Op welk moment kan het best nageregeld worden als gekeken wordt naar het afnamepatroon?
6. Moet een warmtapwatercirculatiesysteem met thermostatische inregelafsluiters op een andere wijze ingeregeld worden dan een warmtapwatercirculatiesysteem met statische inregelafsluiters?
7. Wat is de werkelijke nauwkeurigheid van de temperatuurinstelling en wat is het gevolg van onnauwkeurige temperatuurinstelling?



Onderzoeksvragen die betrekking hebben op tapbedrijf:

1. Wat is de invloed van de plaats van afnamepunten met specifieke afnameduur en afnamegrote in het leidingsysteem, in relatie tot de plaats van de voeding en in relatie tot de overige tappunten?
2. Hoe moet omgegaan worden met warmtapwatersystemen waar vrijwel continu warmtapwaterafname is?
3. Wat gebeurt er met de circulatievolumestromen, circulatiestroomsnelheden en de circulatiewatertemperaturen bij toenemende warmtapwaterafname?
4. Wat is, in relatie tot (1), de invloed van beperking van het dynamische drukverlies in de warmtapwaterleidingen?
5. Welke maximale wachttijd kan aangehouden worden bij warmtapwater uittapleidingen bij warmtapwatercirculatiesystemen? Wat heeft energetisch de voorkeur, langere warmtapwater uittapleidingen of meer circulatieleiding?
6. Is het toepassen van een toerengeregelde circulatiepomp zinvol? op basis van welke criteria moet de toerengeregelde circulatiepomp dan geregeld worden?
7. Wat is de relevantie van de steilte van de pompkromme in relatie tot tapbedrijf?

Om deze onderzoeksvragen te kunnen onderzoeken is een rekenmodel ontwikkeld waarmee bij gegeven karakteristieken van leidingen, de pomp en de appendages het druk- en temperatuurevenwicht in een warmtapwatercirculatiesysteem bepaald kan worden.



HOOFDSTUK 4 - REKENMODEL

Veel van de onderzoeksvragen richten zich op wat er gebeurt als het gerealiseerde drukevenwicht in het leidingsysteem niet overeenkomt met de ontwerpuitgangspunten. Een ander drukevenwicht dan de ontwerpomstandigheden betekent ook andere volumestromen, stroomsnelheden en dus een ander afkoelgedrag dan in een situatie die overeenkomt met de ontwerpuitgangspunten. Hiermee ontstaat een risico op het optreden van te lage temperaturen in het circulatiesysteem.

Om te kunnen onderzoeken wat er gebeurt bij andere omstandigheden dan die waar bij het ontwerp vanuit is gegaan, is een rekenmodel ontwikkeld. Gegeven de eigenschappen van de verschillende delen van het circulatiesysteem (drukverlies, warmteverlies en pompkarakteristiek) berekent het model de volumestromen waarbij er sprake is van drukevenwicht in het leidingsysteem.

Het rekenmodel is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- Elk deel van het circulatiesysteem waar (bij circulatie) altijd een gelijke volumestroom van toepassing is, is beschouwd als één sectie met een eigen K_v -waarde, een gemiddelde warmteverliesfactor van de leiding (U_b) en een lengte.
- De K_v -waarde per sectie is bepaald aan de hand van de ontwerp volumestroom (de MMV voor de warmtapwaterleidingen en de circulatievolumestroom voor circulatieleidingen) en de daarbij berekende drukverliezen volgens de ontwerp berekeningen die met *BINK tapwaterberekening* gemaakt zijn. Hiervoor is de volgende formule gebruikt:

$$K_v = 3,6 * q_v * \sqrt{\frac{100}{\Delta p}} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Waarin:

K_v	Kengetal van de sectie	m^3/h
q_v	Volumestroom	l/s
Δp	Dynamisch drukverlies bij de volumestroom	kPa

Om bij een gegeven K_v en volumestroom het drukverlies te bepalen is de volgende formule gebruikt:

$$\Delta p = 100 * \left(\frac{3,6 * q_v}{K_v}\right)^2 \quad [\text{kPa}]$$

Waarin:

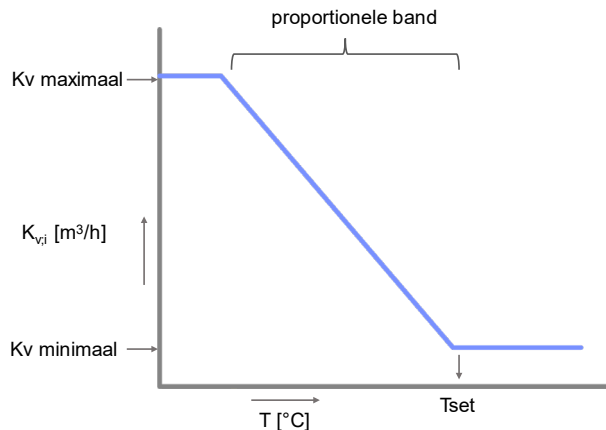
K_v	Kengetal van de sectie	m^3/h
q_v	Volumestroom	l/s
Δp	Dynamisch drukverlies bij de volumestroom	kPa

- De invoer van warmtapwaterafname is vereenvoudigd tot één afnamepunt per deelring. De maximale moment-volumestroom per deelring op basis van de rekenregels is gelijk aan 0,943 l/s. De volumestroom aan het tappunt wordt altijd gerealiseerd⁷.

⁷ In een reële situatie zal de tapvolumestroom afnemen als het drukverlies in het traject naar het tappunt toeneemt.

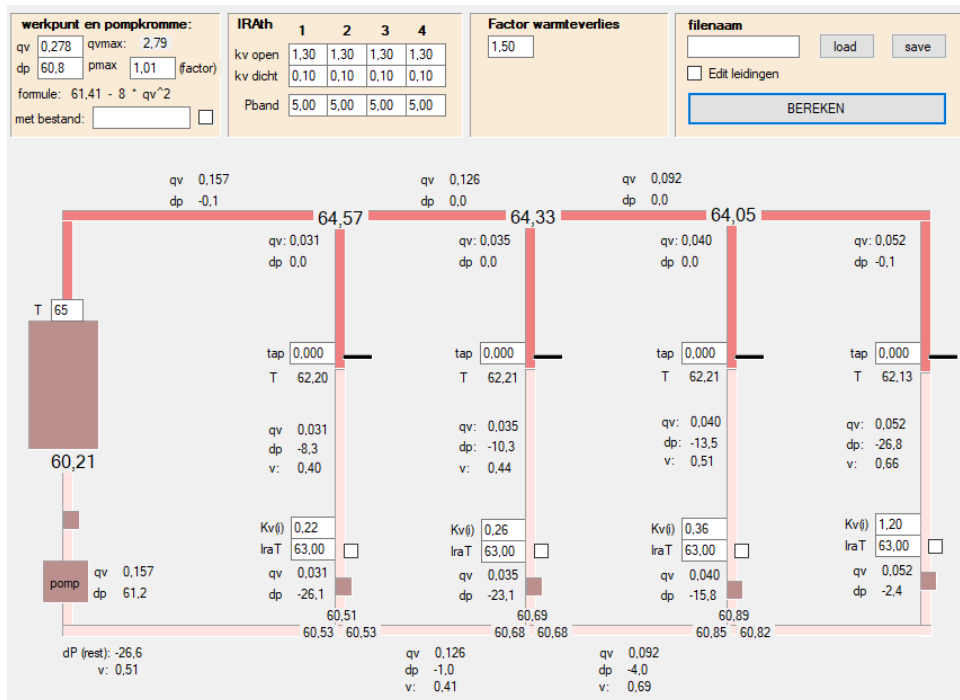


- De pompkromme kan op twee manieren worden bepaald:
 - Gegeven een punt op de pompkromme ($q_v, \Delta p$) en het drukverschil bij een volumestroom van 0 l/s kan de waarde van 'a' in de formule met de generieke vorm: $\Delta p = \Delta p_{\max} - a \cdot q_v^2$ worden afgeleid. Deze formule wordt gebruikt als benadering van de pompkromme. Het gegeven punt op de pompkromme kan bijvoorbeeld het werkpunt van de pomp zijn. Met een factor wordt de verhouding tussen de drukverhoging in het werkpunt en de maximale drukverhoging (bij 0 l/s) ingegeven. Deze factor bepaalt de steilte van de pompkromme.
 - Gegeven een aantal punten ($q_v, \Delta p$) op de pompkromme (ingegeven via een tekstbestand) wordt bij een gegeven q_v het drukverschil berekend door interpolatie.
- Het rekenmodel bepaalt de volumestromen in de secties waarbij er een drukevenwicht in het systeem is.
- Op basis van de toevoertemperatuur, de berekende volumestromen en de gegeven warmteverliesfactoren worden de gerealiseerde watertemperaturen berekend.
- Als er sprake is van een thermostatisch inregelafsluiter, met een gegeven temperatuursetpoint en breedte van de proportionele band (zie Figuur 11), wordt een herhaalde berekening van het drukevenwicht bij verschillende $K_{v,i}$ -waarden van de inregelafsluiter regelventiel uitgevoerd. De $K_{v,i}$ -waarde waarbij de temperatuur ter plekke van de inregelafsluiter en de $K_{v,i}$ -waarde een punt op de regelkarakteristiek van de inregelafsluiter vormen, is de evenwichtssituatie.

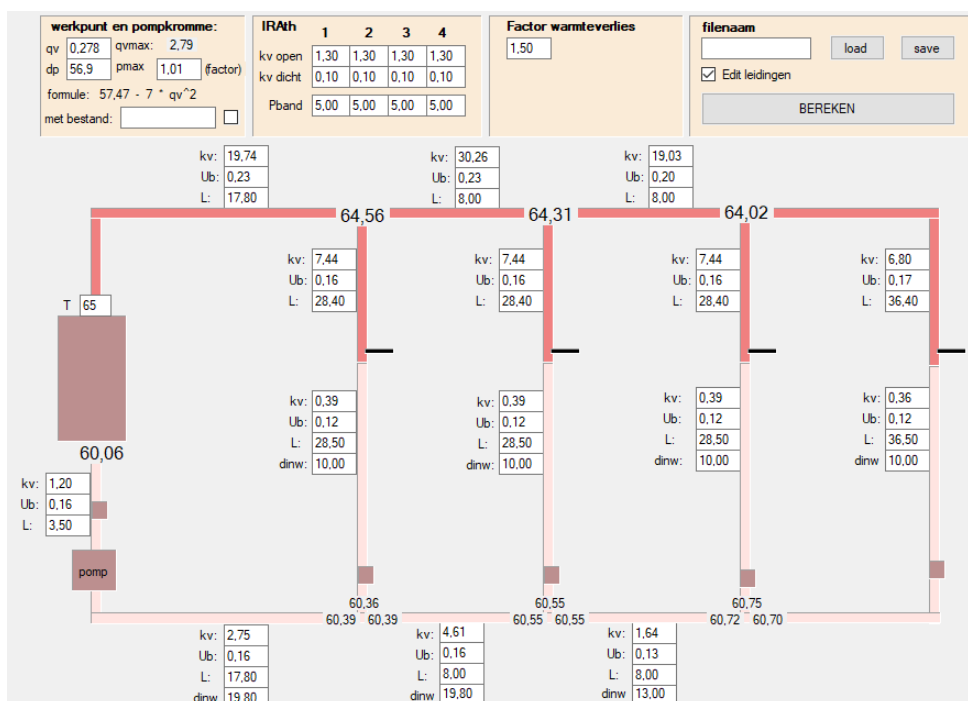


Figuur 11: T-Kv karakteristiek van een thermostatische inregelafsluiter.

In Figuur 12 en Figuur 13 zijn schermafbeeldingen gegeven van de invoerschermen van het rekenmodel.



Figuur 12: Schermafbeelding 1 van rekenmodel, invoer van gegevens en diverse rekenresultaten.



Figuur 13: Schermafbeelding 2 van rekenmodel, van de invoer van gegevens (m.n. leidinggegevens) in het rekenmodel.

Het resultaat van het rekenmodel zijn de volumestromen, stroomsnelheden in de circulatieleidingen, drukverliezen temperaturen op de knooppunten. Belangrijkste resultaten daarvan zijn de temperaturen en de stroomsnelheden in de circulatieleidingen.



HOOFDSTUK 5 - ONDERZOEK CIRCULATIEBEDRIJF EN INREGELLEN

Onderzoeksvragen die verband houden met het circulatiebedrijf van het warmtapwatercirculatiesysteem en het inregelen zijn:

1. Wat is de invloed van grotere warmteverliezen in het leidingsysteem (door beugelwerk en onvolkomen afwerking van de isolatie) op de minimaal benodigde circulatiestroomsnelheid?
2. Hoe is de werking van thermostatische inregelafsluiters als rekening gehouden wordt met variatie van de warmtapwatertemperatuur (bijvoorbeeld door laden/ontladen voorraadvat);
3. Wat is de werkelijke nauwkeurigheid van de temperatuurinstelling en wat is het gevolg van onnauwkeurige temperatuurinstelling?
4. Hoe kan ingeregeld worden als de inregelafsluiter geen drukmeetnippels heeft?
5. Op welk moment kan het best nageregeld worden als gekeken wordt naar het afnamepatroon?
6. Moet een warmtapwatercirculatiesysteem met thermostatische inregelafsluiters op een andere wijze ingeregeld worden dan een warmtapwatercirculatiesysteem met statische inregelafsluiters?
7. Op basis van welke criteria wordt een (stationaire) circulatiepomp gekozen?

5.1 Warmteverliezen (1)

Hypothese

De warmteverliezen in warmtapwatercirculatiesystemen zijn groter dan nu in de ontwerpmethodiek wordt aangenomen. Hierdoor is de berekende ontwerpcirculatievolumestroom te laag en de afkoeling bij de berekende ontwerpcirculatievolumestroom te groot.

Achtergrond

Warmteverliezen in het warmtapwatercirculatiesysteem bestaan uit warmteverliezen door:

- de leidingwand inclusief isolatie;
- (eventueel ongeïsoleerde) appendages;
- thermische lekken in de isolatie door:
 - beugeling (met/zonder isolatie);
 - onnauwkeurig uitgevoerde leidingisolatie;
 - eventueel verouderde isolatie;
 - aftakking van ongeïsoleerde warmtapwateruittapleidingen;
 - (ongeïsoleerde) muur- en vloerdoorvoeren.

In de huidige ontwerpmethodiek wordt een berekening uitgevoerd van de warmteverliezen. Hierbij wordt rekening gehouden met type en dikte van de leidingisolatie. Voor appendages wordt een equivalente leidinglengte aangehouden. Voor thermische lekken wordt een correctiefactor van 1,15 of 1,2⁸ aangehouden op het totale berekende warmteverlies.

Door toepassing van betere en dikkere leidingisolatie is het berekende warmteverlies relatief klein. De warmteverliezen door diverse thermische lekken zal daardoor relatief een groter aandeel van het totale warmteverlies zijn.

⁸ Conform ISSO 55 is deze factor 1,15. De waterwerkbladen geven een factor van 1,2



Een ongeïsoleerde vloerdoorvoer van een leiding 22/19,8 heeft ten opzichte van een volledig geïsoleerde leiding bij een 10 mm isolatie een extra warmteverlies van ongeveer 14% tot gevolg. Bij een isolatiedikte van 25 mm is het extra warmteverlies 28%.

De afkoeling van het circulatiewater heeft een lineaire relatie met het warmteverlies. Uitgaande van een situatie met een afkoeling van 5 °C, is bij 10% grotere warmteverliezen de afkoeling 0,5 °C groter, de afkoeling wordt dan dus 5,5 °C. Bij een 20% grotere warmteverliezen is de afkoeling dus 1 °C groter, de afkoeling wordt dan dus 6 °C.

Een te grote afkoeling in een circulatiesysteem wordt in de praktijk vaak gecorrigeerd door de circulatievolumestroom te vergroten. Dit vereist een hogere opvoerdruk van de pomp en dit zal mogelijk tot te grote stroomsnelheden leiden.

Conclusie/Aanbeveling

Warmteverliezen door thermische lekken in circulatiesystemen komen niet goed tot hun recht bij het gebruik van een factor voor het warmteverlies. Grotere warmteverliezen dan bij de ontwerpberekening aangehouden leiden tot te grote afkoeling of te grote stroomsnelheden.

Aanbevolen wordt een nauwkeurigere methode te ontwikkelen voor het bepalen van de warmteverliezen ten gevolge van thermische lekken. Hierin worden warmteverliezen door aftakende uittapleidingen en uitvoeringsaspecten (wijze van vloerdoorvoeren en wijze van beugelen) meegenomen.

5.2 Bandbreedte toevoertemperatuur (2)

Hypothese

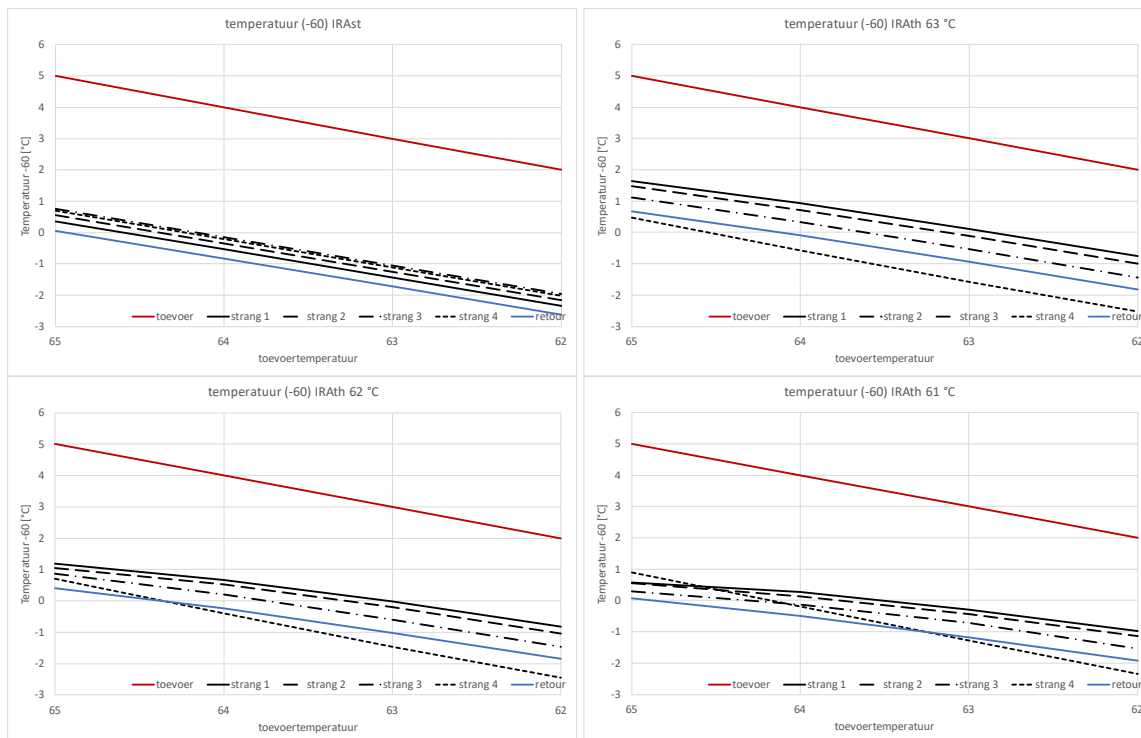
Doordat de toevoertemperatuur van de warmtapwaterbereider varieert zorgen thermostatische inregelafsluiters niet continu voor het gewenste drukevenwicht in het circulatiesysteem. Hierdoor kunnen de afkoeling en stroomsnelheden groter worden dan verwacht.

Achtergrond

Een warmtapwaterbereider levert zelden een constante warmwatertemperatuur, door de (in het geval van een oplaadsysteem) cycli van opladen varieert de levertemperatuur met een bandbreedte van circa 5K (65 °C-60 °C). Andere typen warmtapwaterbereiders, zoals bijvoorbeeld een gasboiler, kunnen worden gekenmerkt door een kleinere bandbreedte. Als de levertemperatuur afneemt zal de IR_{Ath} verder openen. Er zou dan 'kortsluiting' kunnen ontstaan over de eerste deelring, waardoor de temperatuur van het water in de overige deelringen nog verder daalt en er mogelijk een te hoge stroomsnelheid optreedt in de eerste deelring.

Onderzoek

Met behulp van het rekenmodel is onderzocht wat het gevolg is van variatie van de toevoertemperatuur bij diverse instellingen van de IR_{Ath}. In Figuur 14 zijn de resulterende temperaturen gegeven bij referentie 1. Om goed het verschil ten opzichte van de kritische temperatuur van 60 °C te zien is op de y-as de temperatuur – 60 °C gegeven. Negatieve waarden zijn dus onderschrijdingen van de kritische temperatuur.

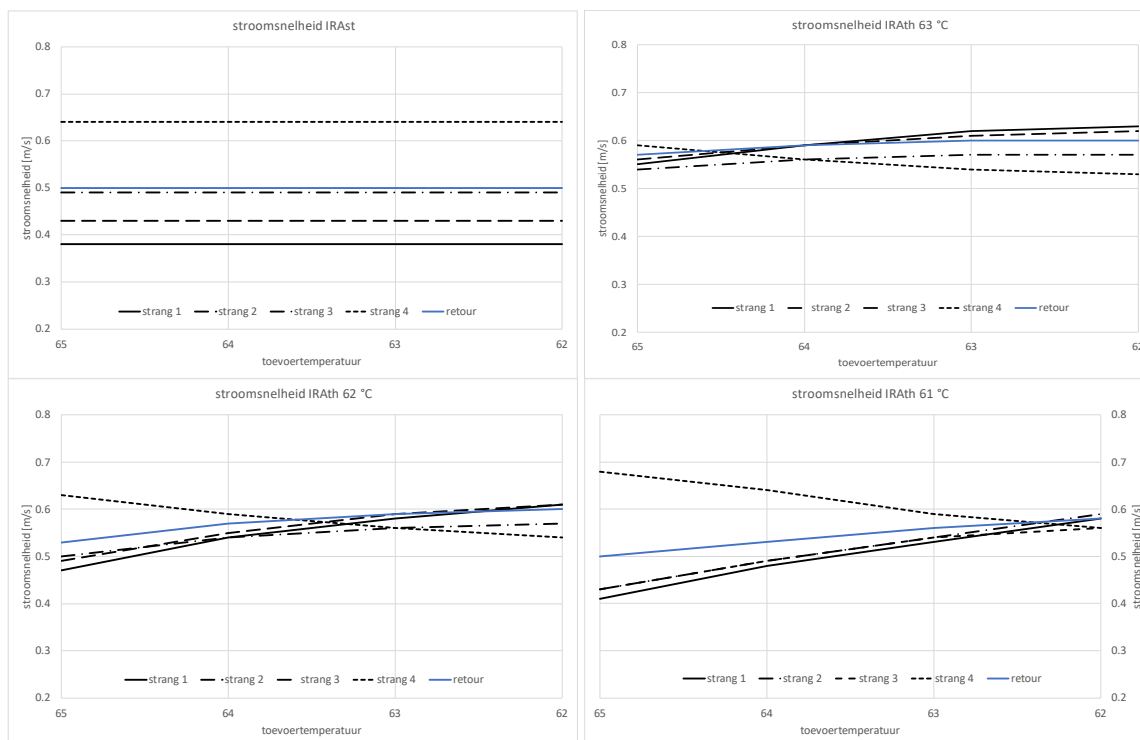


Figuur 14: Referentie 1, temperaturen (-60) in relatie tot de setpoint temperatuur van de thermostatisch inregelafsluiters.

Te zien is dat bij een toevoertemperatuur van 65 °C alle temperatuursetpoints van de IRAth er voor zorgen dat de temperatuur niet lager wordt dan 60 °C. Als de toevoertemperatuur zakt ontstaat er bij de statische afsluiters als snel een temperatuur lager dan 60°. De temperaturen zakken gelijkmatig met de toevoertemperatuur mee.

Bij de toepassing van thermostatische inregelafsluiters reageren de inregelafsluiters op de zakkende toevoertemperatuur door verder open te gaan. Hierdoor is de afkoeling in de eerste strang veel minder. Het effect van kortsluiting lijkt beperkt, in ieder geval ten opzichte van de andere strangen met een IRAth. Ten opzichte van de maatgevende strang (met IRAst) is het kortsluiteffect welk duidelijk. Door de gemiddeld verder open staande IRAth is het drukverlies in het gehele systeem wat lager en is de retourtemperatuur hoger dan in de situatie met alleen IRAst. De temperatuur in de maatgevende strang (met IRAst) wordt lager dan de retourtemperatuur. Bewaking van de temperaturen in het systeem, alleen op basis van de retourtemperatuur, lijkt bij toepassing van IRAth dan ook onvoldoende.

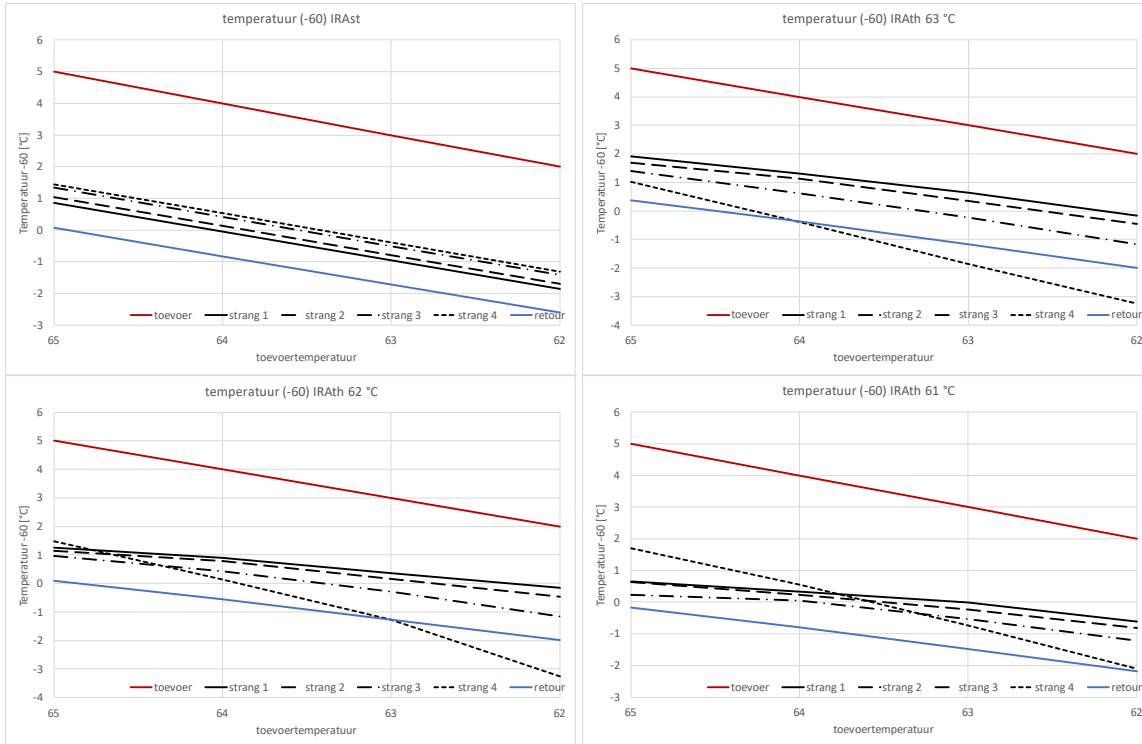
In Figuur 15 zijn de bij dezelfde berekeningen horende stroomsnelheden in de deelringen gegeven.



Figuur 15: Referentie 1: Stroomsnelheden in de deelringen in relatie tot de setpoint temperatuur van de thermostatisch inregelafsluiters.

Te zien in Figuur 15 is dat de stroomsnelheden in het geval van de situatie met de statische inregelafsluiters (figuur links boven) niet afhankelijk is van de toevoertemperatuur. Bij de toepassing van IRAth zien we de stroomsnelheid in de eerste strangen toenemen en in de maatgevende strang (met IRAst) afnemen. De in Waterwerkblad 4.4A aanbevolen minimale stroomsnelheid van 0,5 m/s wordt in diverse situaties onderschreden.

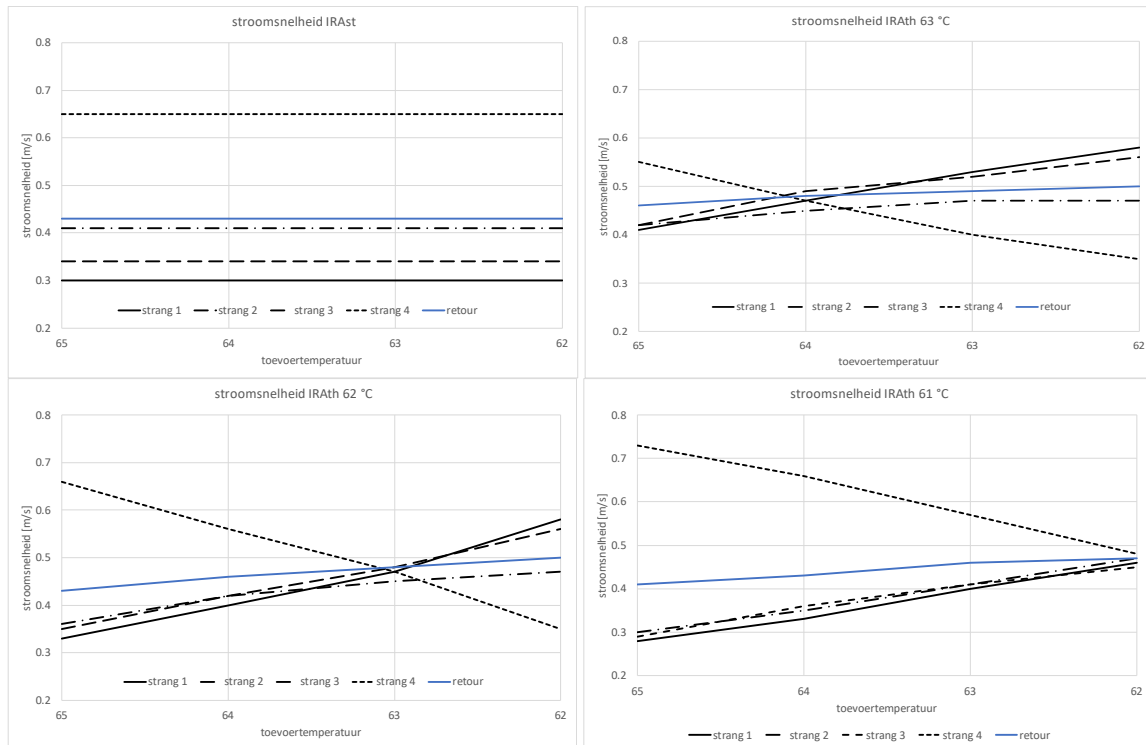
In Figuur 16 en Figuur 17 zijn voor referentie 2 de grafieken van de temperaturen respectievelijk de stroomsnelheden gegeven.



Figuur 16: Referentie 2, temperaturen (-60) in relatie tot de setpoint temperatuur van de thermostatisch inregelafsluiters.

Te zien is dat bij een temperatuursetpoint van 61 °C en bij een toevoertemperatuur van 65 °C de retourtemperatuur iets te laag wordt.

In referentiesituatie 2 (waarbij de lengte van de deelringcirculatieleiding veel kleiner is, waardoor de inregelafsluiters meer autoriteit hebben) is het kortsluiteffect groter. Ook tussen de strangen met IRath is dit effect te zien (met name in Figuur 17).



Figuur 17: : Referentie 2: Stroomsnelheden in de deelringen in relatie tot de setpointtemperatuur van de thermostatisch inregelafsluiters.

De stroomsnelheid is bij een setpointtemperatuur van 61 °C bij de ontwerpcondities te groot in strang 4 en te klein in strang 1.

Het kortsluiteffect is goed te zien in de grafiek met temperatuursetpoint van 63 °C. In strang 3 (streep-stip lijn) is bij 65 °C toevoertemperatuur de stroomsnelheid iets groter is dan de stroomsnelheid in strang 1 (doorgetrokken lijn). Bij een toevoertemperatuur van 62 °C is de stroomsnelheid in strang 3 veel kleiner dan de stroomsnelheid in strang 1.

Conclusies/aanbevelingen

Bij een systeem dat ontworpen is op een afkoeling van 5 °C bij een toevoertemperatuur van 65 °C daalt bij een toevoertemperatuur van minder dan 65 °C de temperatuur in het systeem onder de kritische grens van 60 °C, ongeacht de toepassing van IRAth of IRast.

Bij statische inregelafsluiters beweegt de temperatuur in het circulatiesysteem mee met de toevoertemperatuur. De stroomsnelheid is overall constant.

Bij toepassing van IRAth ontstaat er bij een dalende toevoertemperatuur een dynamiek die gekenmerkt wordt door:

- Een (iets) stijgende retourvolumestroom en dus een stijgende retourtemperatuur;
- Een (beperkt) kortsluiteffect over de strangen met een IRAth;
- Een groot kortsluiteffect dat zich uit in lagere volumestroom, stroomsnelheid en lagere temperatuur in de maatgevende strang.

Bij toepassing van IRast is de laagste temperatuur in het systeem altijd ter plekke van de retour nabij de warmtapwaterbereider. Bij toepassing van IRAth kan, door het kortsluiteffect, de laagste temperatuur in het systeem elders zijn.



De temperatuursetpoint van de IRAth heeft een grote impact op de stromingsdynamiek in het circulatiesysteem.

Aanbevelingen

- Neem bij toepassing van IRAth temperatuurbewaking op in de maatgevende strang;
- Ontwikkel richtlijnen voor de in te stellen temperatuur op de IRAth. Een richting hierbij kan zijn dat bij de ingestelde temperatuur op de IRAth de $K_{v,i}$ waarde en temperatuur gerealiseerd worden die volgen uit de berekening met statische inregelafsluiters (zie paragraaf 3.3.4).

5.3 Onjuiste instelling IRAst (3)

Hypothese:

Door onnauwkeurigheid van de instelling van de inregelafsluiters ontstaat een niet voorziene, mogelijk onwenselijke, drukbalans. Hierdoor kan het water te ver afkoelen.

Achtergrond

De berekende instelwaarden zijn gebaseerd op het gewenste drukevenwicht in het systeem bij de berekende volumestromen. De berekende volumestromen zijn gebaseerd op de ter plekke van de IRA te realiseren berekende watertemperatuur. Door de software (BINK, VABI) wordt de instelwaarde nauwkeurig (bijvoorbeeld 2 decimalen nauwkeurig) berekend. De gerealiseerde installatie zal gekenmerkt worden door iets andere drukverliezen dan de berekening, waardoor bij de berekende $K_{v,i}$ -waarde een iets ander drukevenwicht (en dus andere afkoeling) ontstaat dan voorzien. Verder is in de praktijk de IRA niet zo nauwkeurig instelbaar door:

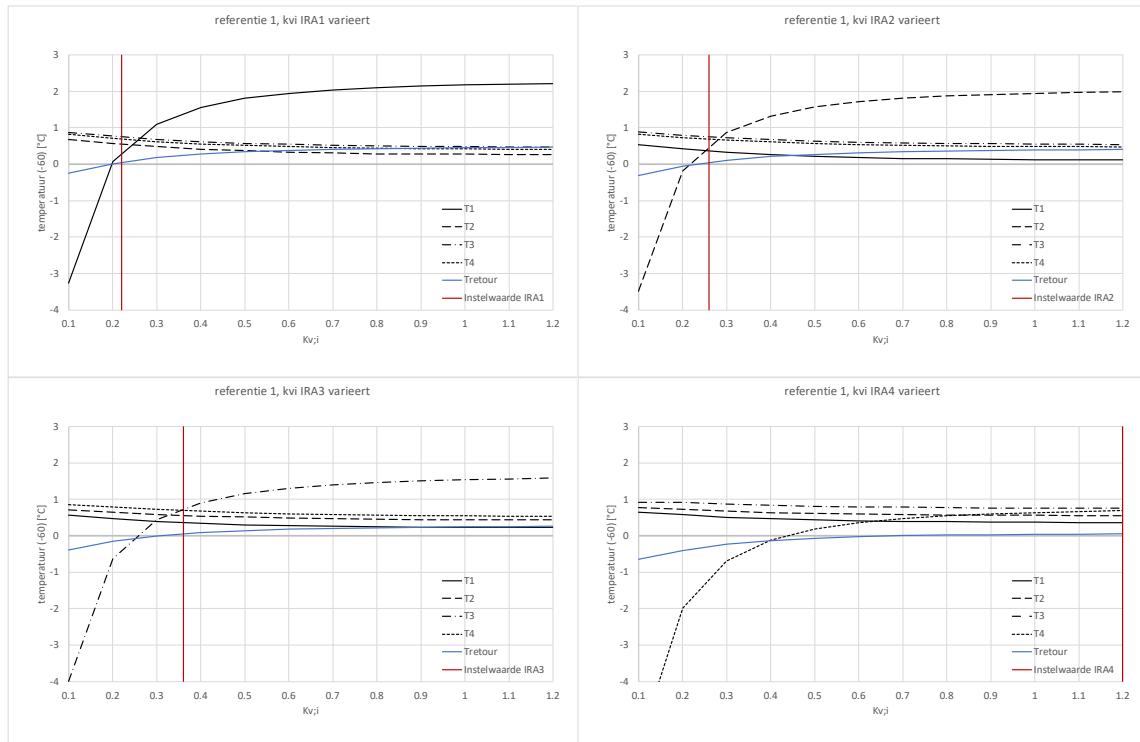
- De onnauwkeurigheid bij het aflezen van de instelwaarde in het betreffende *volumestroom-drukverlies* diagram;
- De onnauwkeurigheid bij het instellen van deze waarde met de regelknop op de IRA zelf, bijvoorbeeld doordat de IRA alleen in vaste stappen in te stellen is;
- De onnauwkeurigheid van de regelklep van de IRA.

Als het systeem, na het instellen van de IRA's, ingeregeld wordt op basis van volumestroom of op basis van temperatuur zullen bovengenoemde onnauwkeurigheden deels weer gecorrigeerd worden. In dat geval blijft de onnauwkeurigheid van de meting (meetapparatuur, afleesfout e.d.) die gebruikt wordt bij het inregelen over.

Onderzoek

Onderzocht is wat er gebeurt als de stand van de inregelafsluiters niet overeenkomt met de berekende waarde. Het gaat dan met name om de resulterende volumestromen en de daarbij horende afkoeling in de leidingen.

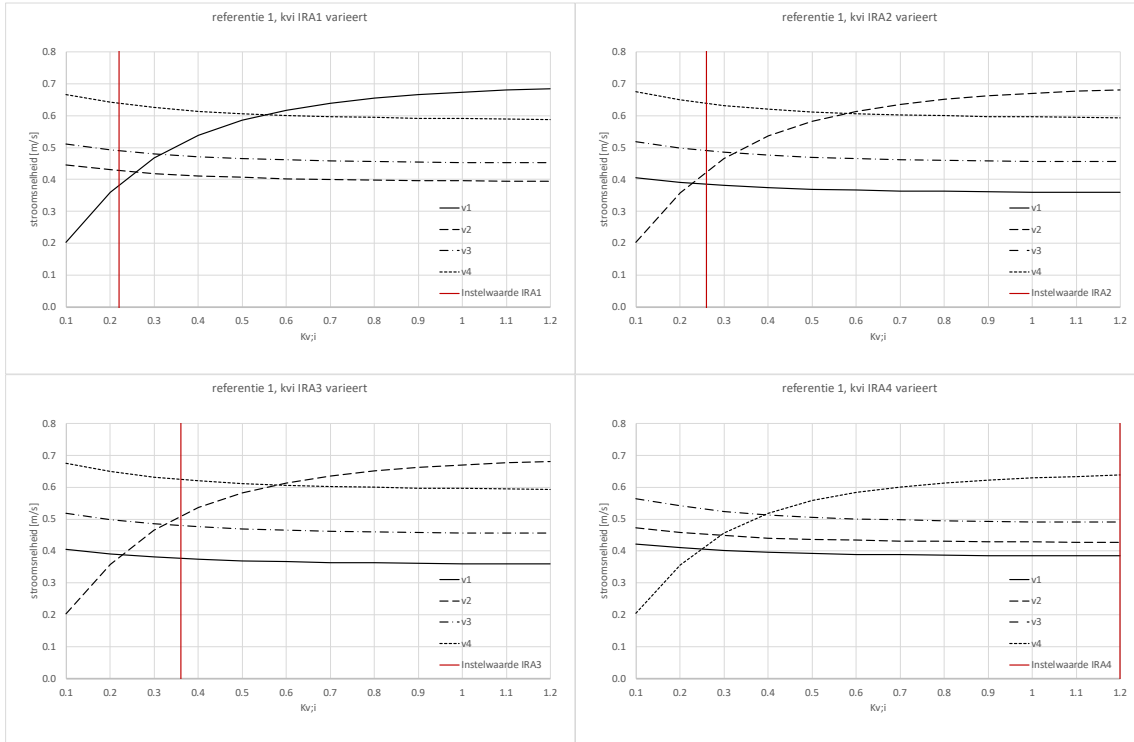
In Figuur 18 (in Figuur 20 voor referentie 2) is weergegeven wat er gebeurt met de watertemperatuur ter plekke van de inregelafsluiters als één van de inregelafsluiters een afwijkende waarde heeft. In de grafieken is steeds de $K_{v,i}$ van een inregelafsluiter in één ring gevarieerd. De overige afsluiters staan op de ingestelde waarde.



Figuur 18: Referentie 1, temperatuur ter plekke van de inregelafsluiters bij variërende waarden van $K_{v,i}$. Steeds één $K_{v,i}$ wordt gevarieerd.

In Figuur 18 is te zien dat bij een lagere stand dan de instelwaarde de temperatuur in de andere strangen iets stijgt en de temperatuur in de betreffende strang fors daalt. Bij een hogere stand dan de ingestelde waarde zakt de temperatuur in de andere strangen iets, maar niet zodanig dat er risicovolle temperaturen optreden in het systeem. Hoe verder een strang bovenstrooms zit, hoe sterker de afkoeling bij een lagere waarde dan de instelwaarde. Opvallend is dat strang 4 minder gevoelig is voor de afkoeling bij een lagere $K_{v,i}$ waarde dan de instelwaarde.

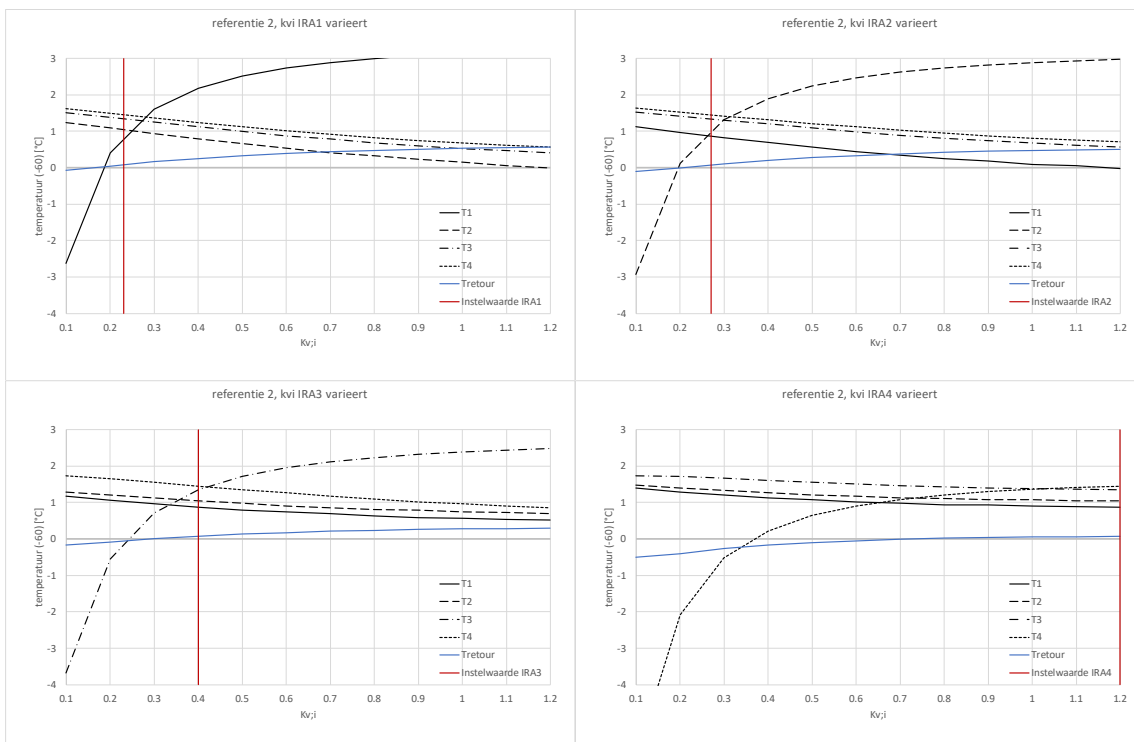
In Figuur 19 is op dezelfde wijze als bij Figuur 18 de stroomsnelheid gegeven.



Figuur 19: Referentie 1, stroomsnelheid ter plekke van de inregelafsluiters bij variërende waarden van $K_{v,j}$. Steeds één $K_{v,j}$ wordt gevarieerd.

Het effect op de stroomsnelheid is zoals verwacht, gezien het effect op de temperatuur. De stroomsnelheid kan onder de kritische grens van 0,3 m/s komen als de IRA op een lagere waarde ingesteld staat dan de ontwerpwaarde.

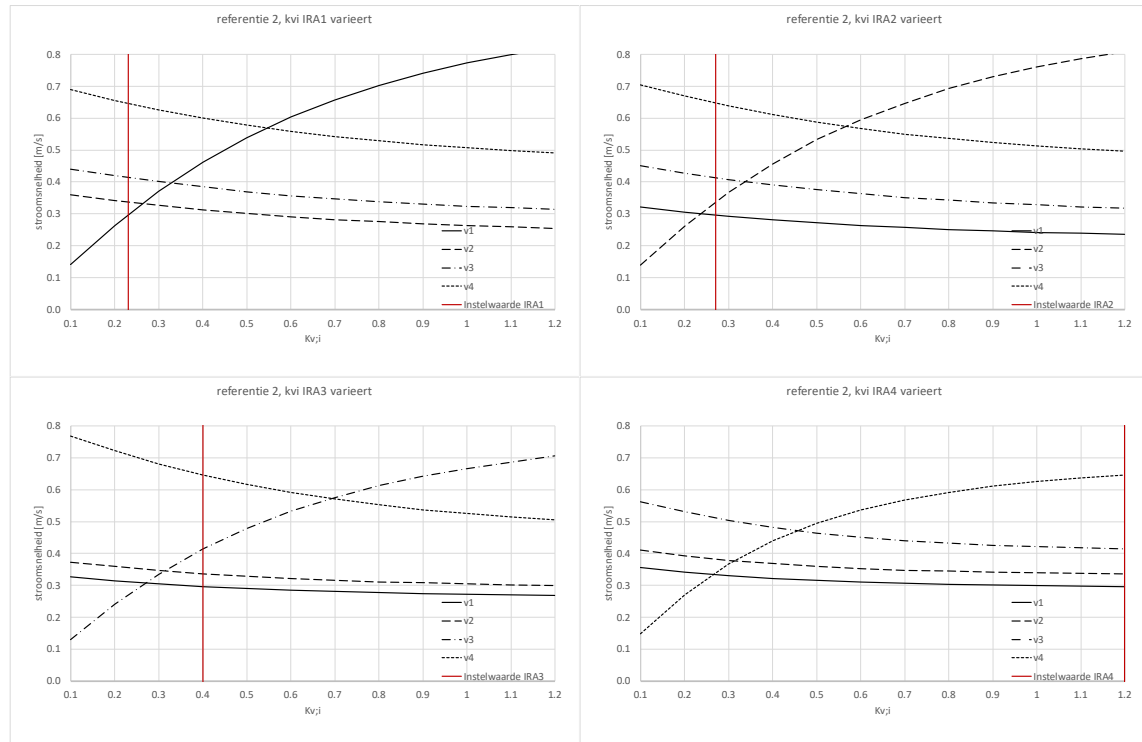
In Figuur 20 en Figuur 21 zijn de grafieken gegeven voor temperatuur en stroomsnelheid bij referentie 2.





Figuur 20: Referentie 2, temperatuur ter plekke van de inregelafsluiters. Scenario 2, de $K_{v,i}$ van IRAth in de eerste deelring varieert tussen 0,1 en 1,2. Overige inregelafsluiters staan op de berekende stand

Figuur 20 laat min of meer dezelfde effecten zien als in Figuur 18 (referentie 1).



Figuur 21: Referentie 2, stroomsnelheid ter plekke van de inregelafsluiters bij variërende waarden van $K_{v,i}$. Steeds één $K_{v,i}$ wordt gevarieerd

Doordat in referentie 2 het drukverlies in de circulatieleidingen veel kleiner is, is het effect op de stroomsnelheid groter. Naast de onderschrijding van de stroomsnelheid van 0,5 m/s bij lagere waarde dan de ontwerpwaarde voor $K_{v,i}$ treedt er ook een overschrijding van de stroomsnelheid van 0,7 m/s op bij verder openstaande inregelafsluiters.

Conclusie/Aanbeveling

Een verkeerde, te lage, instelling van de inregelafsluiter kan al snel leiden tot te grote afkoeling in de betreffende deelring. Het effect van een verkeerde instelling is niet zo groot op de temperatuur in de andere deelringen.

5.4 Inregelen en volumestromen (4)

Hypothese

Bij een inregelafsluiter is niet zonder meer het drukverschil, de stroomsnelheid of de volumestroom te meten. Voor een goede inregeling is dit wel wenselijk.

Achtergrond

Bij het inregelen wordt in de praktijk alleen de temperatuur (retourtemperatuur, temperatuur per deelring) gemeten. Daarbij wordt gecontroleerd of deze temperatuur niet lager is dan de kritische temperatuur van 60 °C. Door het ontbreken van drukmeetnippels bij inregelafsluiters die toegepast worden in tapwatersystemen is drukverschil niet te meten. Als bij het inregelen alleen gecontroleerd wordt of de retourtemperatuur groter is dan 60 °C kan de stroomsnelheid te groot zijn. Ook kan het zijn dat de afkoeling in het gehele circulatiesysteem te groot is omdat



de warmtapwaterbereider op het moment van meten een levertemperatuur heeft die groter is dan 65 °C.

Onderzoek

Een ultrasone stromingsmeter kan de stroomsnelheid meten aan de buitenzijde van de leiding.



Figuur 22: Ultrasone flowmeter (bron: KatFlow 200, Elscolab)

Conclusies/aanbeveling

Het is wenselijk om in te regelen op de temperatuur, drukverschil ($K_{v,i}$) en stroomsnelheid die volgen uit de ontwerpberekening.

5.5 Moment van inregelen (5)

Hypothese

Inregelen van een warmtapwatercirculatiesysteem is alleen goed mogelijk als het systeem in circulatiebedrijf is.

Achtergrond

Het tappen beïnvloedt de hydraulische balans en daarmee de volumestromen en de afkoeling:

- Door het tappen wordt de stroomsnelheid in de warmtapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem vergroot waardoor daar de afkoeling minder groot is.
- Door het tappen wordt het drukverlies in de warmtapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem groter. De circulatievolumestroom zal dan (afhankelijk van de pompkromme) afnemen. Hierdoor is de afkoeling in de circulatieleidingen groter.

Daarnaast is de waarde van de gemeten temperatuur ook afhankelijk van de levertemperatuur van de warmtapwaterbereider.

Door bovengenoemde punten is de retourtemperatuur in tapbedrijf niet geschikt als maat bij het inregelen



Conclusies/Aanbevelingen

Het in- of naregelen van een warmtapwatercirculatiesysteem moet plaats vinden bij circulatiebedrijf (dus zonder afname).

Aanbevolen wordt in te regelen op basis van afkoeling. Hierbij is ook de levertemperatuur relevant.

Omdat inregelen gebeurt op basis van een momentopname van de temperaturen (en eventueel stroomsnelheden) in het systeem wordt aanbevolen relevante metingen op te nemen in een gebouwbeheersysteem. Dan kan over een langere periode (inclusief 's nachts wanneer doorgaans geen afname is) de juiste werking van het circulatiesysteem beoordeeld worden.

5.6 'Eenvoudige' instelling IRAth (6)

Hypothese:

Door thermostatische inregelafsluiters op een vaste, niet berekende, stand te zetten komt het hydraulisch evenwicht niet overeen met de ontwerpberekening. Hierdoor kunnen afkoeling of stroomsnelheden niet conform verwachting zijn.

Achtergrond

Bij toepassing van thermostatische inregelafsluiters wordt een setpointtemperatuur ingesteld. Er is geen richtlijn voor de hoogte van deze setpointtemperatuur. In de praktijk wordt vaak voor alle IRAth's in het systeem dezelfde setpointtemperatuur aangehouden.

Een IRAth regelt niet exact naar de ingestelde temperatuur, maar zal ergens op de karakteristiek een evenwicht vinden. Dit zal doorgaans bij een lagere temperatuur zijn dan het ingestelde temperatuursetpoint. Afhankelijk van de karakteristiek kan dit ook bij een temperatuur zijn lager dan 60°C (zie paragraaf 3.3.4), dit is onwenselijk.

Het instellen van een enigszins willekeurig setpointtemperatuur in combinatie met de mogelijke afwijking van de gerealiseerde temperatuur ten opzichte van de setpointtemperatuur kan er voor zorgen dat er een ongewenste hydraulische balans ontstaat in het systeem.

Rekensoftware (BINK, VABI) rekt met de methode zoals beschreven in ISSO 55. Met deze methode wordt de $K_{v,i}$ berekend die nodig is om een bepaalde temperatuur te realiseren ter plekke van de IRA. Deze berekening gaat niet uit van thermostatische inregelafsluiters.

Onderzoek

Op basis van de met de ontwerpberekening berekende $K_{v,i}$ en temperatuur ter plekke van de inregelafsluiters zijn de setpointtemperaturen van de thermostatische inregelafsluiters bepaald waarbij deze combinatie van $K_{v,i}$ en temperatuur op de karakteristiek ligt, zie Tabel 2.

Tabel 2: $K_{v,i}$ en T uit ontwerpberekening met daaruit afgeleide setpointtemperatuur voor IRAth.

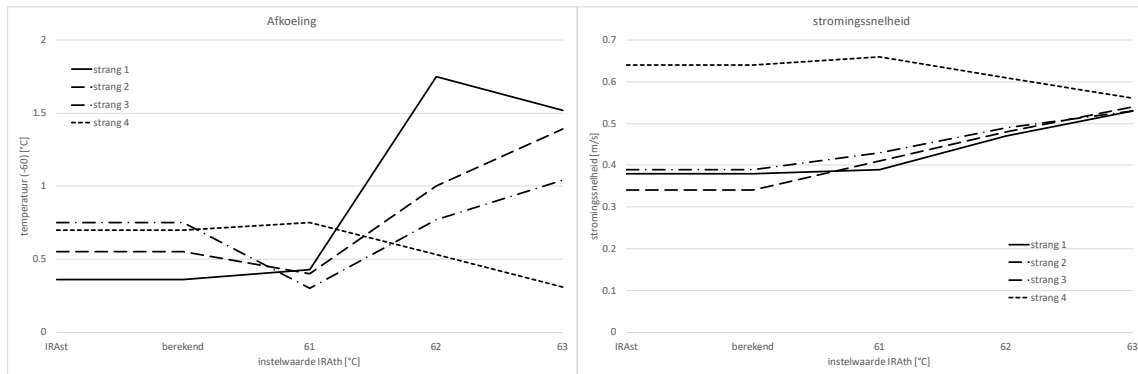
	Referentie 1			Referentie 2		
	$K_{v,i}$	T	Tset	$K_{v,i}$	T	Tset
Strang 1	0,22	60,36	60,9	0,23	60,87	61.4
Strang 2	0,26	60,55	61,2	0,27	61,04	61.7
Strang 3	0,36	60,75	61,8	0,4	61,34	62.6
Strang 4	1,2	60,70	n.v.t.	1,2	61,45	n.v.t



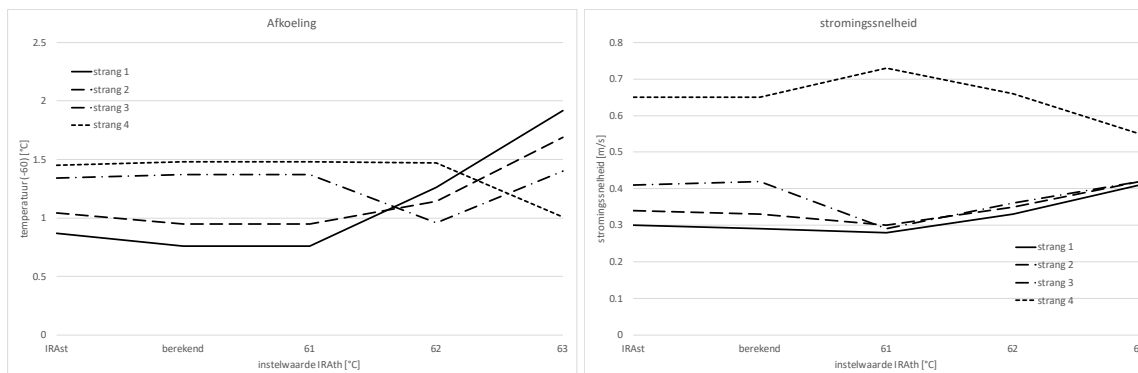
Vervolgens zijn temperaturen en stromingssnelheden vergeleken bij:

- toepassing van IRAs_t met berekende instellingen;
- toepassing van IRAs_h met berekende setpointtemperatuur;
- toepassing van IRAs_h met setpointtemperatuur van 61 °C, 62 °C of 63 °C.

Dit voor referentie 1 gegeven in Figuur 23 en voor referentie 2 in Figuur 24.



Figuur 23: Referentie 1, afkoeling en stroomsnelheid bij variërende setpointtemperaturen.



Figuur 24: Referentie 2, afkoeling en stroomsnelheid bij variërende setpointtemperaturen.

Te zien is dat de situatie met de berekende temperatuursetpoints zo goed als overeenkomt met de situatie met alleen statische inregelafsluiters.

Bij referentie 1 ontstaan er nergens kritische situaties. Bij referentie 2 is er bij een instelwaarde van 61 °C in strang 4 een stroomsnelheid die groter is dan 0,7 m/s.

Conclusies/aanbevelingen

Het instellen van de setpointtemperaturen van IRAs_h op een niet berekende waarde kan overschrijding van kritische snelheid tot gevolg hebben.

Aanbeveling

Gebruik voor het bepalen van de setpointtemperatuur van de IRAs_h de $K_{v,i}$ en temperatuur uit de ontwerpberekening. Dan is de hydraulische balans van het systeem onder ontwerpcondities gelijk aan een systeem met IRAs_t met juist ingeregelde IRAs.

Iets eenvoudiger methode is: stel de setpointtemperatuur in op de naar boven afgeronde waarde van de hoogste bij enig IRAs_h berekende temperatuur.



HOOFDSTUK 6 - ONDERZOEK TAPBEDRIJF

Onderzoeksvragen met betrekking tot het tapbedrijf zijn:

1. Wat is de invloed van de plaats van afnamepunten met specifieke afnameduur en afnamegrote in het leidingsysteem, in relatie tot de plaats van de voeding en in relatie tot de overige tappunten?
2. Hoe moet omgegaan worden met warmtapwatersystemen waar vrijwel continu warmtapwaterafname is?
3. Wat gebeurt er met de circulatievolumestromen, circulatiestroomsnelheden en de circulatiewatertemperaturen bij toenemende warmtapwaterafname?
4. Wat is, in relatie tot (3), de invloed van beperking van het dynamische drukverlies in de warmtapwaterleidingen?
5. Welke maximale wachttijd kan aangehouden worden bij warmtapwater uittapleidingen bij warmtapwatercirculatiesystemen? Wat heeft energetisch de voorkeur, langere warmtapwater uittapleidingen of meer circulatieleiding?
6. Is het toepassen van een toerengeregelde circulatiepomp zinvol? op basis van welke criteria moet de toerengeregelde circulatiepomp dan geregeld worden?
7. Wat is de relevantie van de steilte van de pompkromme in relatie tot tapbedrijf?

6.1 Plaats van afnamepunten (1)

Hypothese

Als er tappunten met een grote volumestroom in het begin in het circulatiesysteem zitten is het mogelijk dat tappunten verderop een niet voldoende grote volumestroom kunnen leveren.

Achtergrond

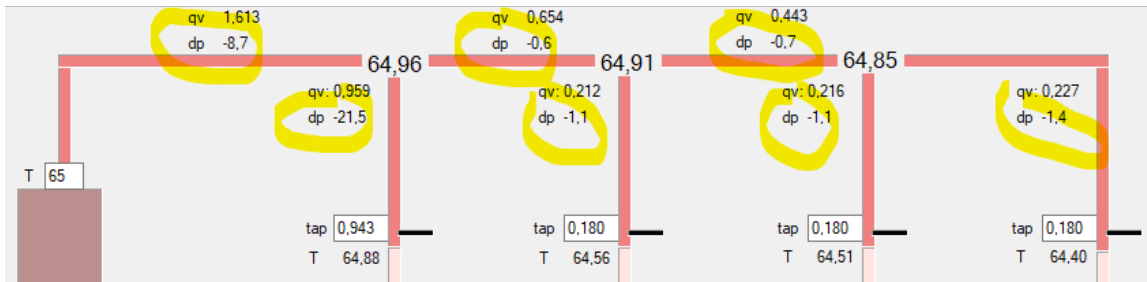
Als er tappunten met een grote volumestroom in het begin in het circulatiesysteem zitten, treedt in dit deel van het circulatiesysteem ook veel drukverlies op. Het kan zijn dat daardoor de druk bij tappunten verderop onvoldoende is om de gewenste volumestroom te kunnen leveren.

Onderzoek

Bij een goed ontworpen systeem, waarbij dus rekening gehouden is met de grote warmtapwaterafname, zal deze situatie zich niet voordoen. De leidingen zijn immers ontworpen op de maximale volumestroom en bij de maximale moment volumestroom is er voldoende gebruiksdruk voor de tappunten. Dit is een ontwerpuitgangspunt.

Leidingen ver bovenstreams zijn ontworpen op grotere volumestromen. Het drukverlies in deze leidingen zal, ook bij grotere volumestromen, niet heel groot zijn. Het drukverlies in de aftakking naar het tappunt (of de tappunten) met grote afname kan fors oplopen, maar dit drukverlies gaat niet ten koste van de beschikbare druk voor tappunten achter aftakkingen verderop in het circulatiesysteem.

In Figuur 25 is gegeven wat de drukverliezen zijn als in strang 1 de maximale warmtapwaterafname plaats vindt en als in de overige strangen zoveel afname is dat in het totaal de maximale moment warmwatervolumestroom gerealiseerd wordt.

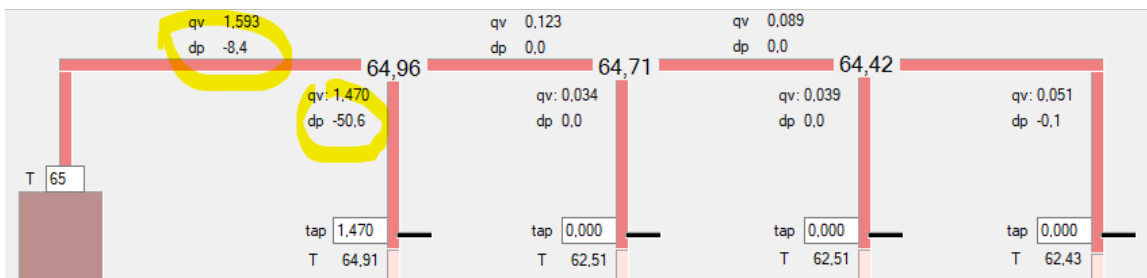


Figuur 25: Drukverliezen, Warmtapwaterafname in eerste strang is gelijk aan de maximale afname van de eerste strang.

Te zien is dat het drukverlies in de hoofdleiding niet groot is. De grote afname in strang 1 gaat dus nauwelijks ten koste van de beschikbare gebruiksdruk in de overige strangen.

Het drukverlies in de eerste strang zelf is groter, maar niet problematisch.

In Figuur 26 is de (volstrekt hypothetische) situatie gegeven dat de totale maximale moment warmtapwater volumestroom gerealiseerd wordt in uitsluitend de eerste strang.



Figuur 26: Warmtapwaterafname in de eerste strang is gelijk aan de maximale totale afname.

Te zien is dat het drukverlies in de hoofdleiding nog steeds niet zo groot is (min of meer gelijk met de situatie in Figuur 25). Het drukverlies in de aftakking wordt nu echter wel relevant.

Conclusies/aanbevelingen

Bij een goed ontworpen systeem is bij de maximale moment volumestroom, ongeacht waar deze in het systeem plaats vindt, het drukverlies nooit zodanig dat dit te veel ten koste gaat van de gebruiksdruk voor andere tappunten.

6.2 Continu tappen (2)

Hypothese

Als er continu getapt wordt, dan kan de retourtemperatuur blijvend te laag zijn.

Achtergrond

Als er getapt wordt, dan is er een groter drukverlies in de tapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem. Dit drukverlies moet eerst door de circulatiepomp overwonnen worden voordat er een circulatievolumestroom tot stand komt. Hierdoor wordt de circulatievolumestroom lager. Met als gevolg lagere retourtemperaturen.

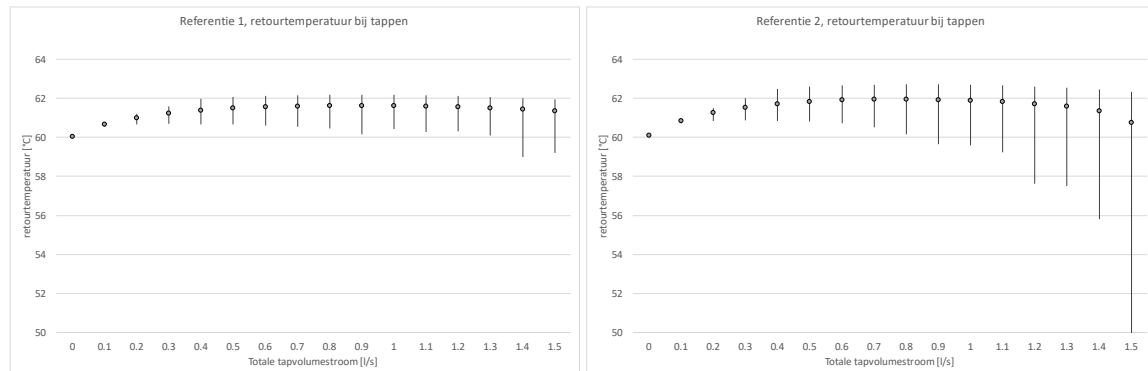
Door het tappen is de stroomsnelheid in de warmtapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem groter, de temperatuur waarmee het water bij het tappunt aankomt, is dan hoger dan de temperatuur bij het tappunt in het circulatiebedrijf.



De boven beschreven effecten werken tegen elkaar in.

Onderzoek

In totaal zijn 3372 combinaties van tapvolumes per deelring doorgerekend. In Figuur 27 zijn de daarbij horende (hoofd)retourtemperaturen gegeven.



Figuur 27: Retourtemperatuur bij tappen (min, gemiddeld en max), referentie 1A en 2A

In Figuur 27 is te zien dat de retourtemperatuur in tapbedrijf gemiddeld hoger is dan de retourtemperatuur in circulatiebedrijf. Vooral bij referentiesituatie 2A komen retourtemperaturen lager dan 60 °C bij hogere tapvolumes voor.

Conclusies/aanbevelingen

Bij continu tappen zal niet zo vaak de situatie ontstaan dat de retourtemperatuur te laag wordt. Over het algemeen is door de grotere volumestroom in de warmtapwaterleidingen de retourtemperatuur juist hoger.

6.3 Stagnatie in circulatieleidingen (3, 4)

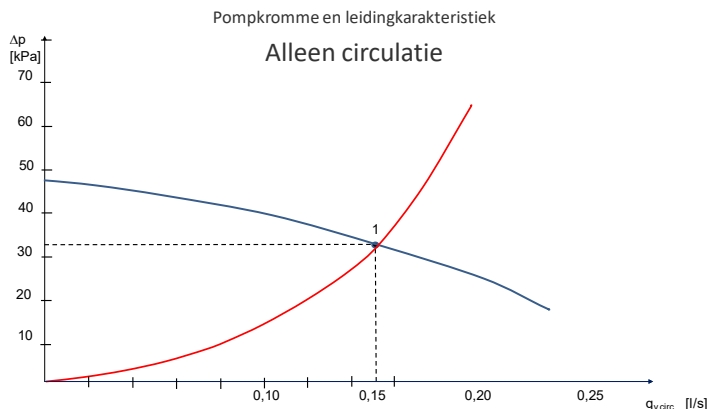
Hypothese

In tapbedrijf kan de situatie optreden dat in circulatieleidingen de doorstroming stopt. Bij langdurige stagnatie koelt het water in de leidingen af tot onder de kritische temperatuur van 60 °C.

Achtergrond

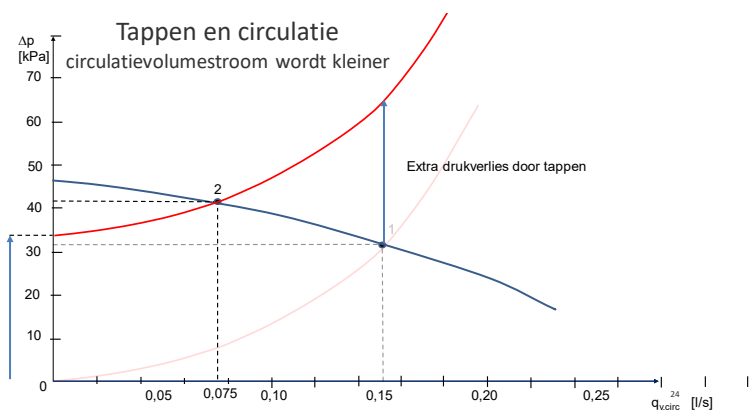
Bij circulatiebedrijf, en bij een goed ingeregeld systeem, zal het systeem min of meer volgens ontwerpcondities functioneren. Bij tapbedrijf ontstaat er een ander drukevenwicht in het systeem, met name omdat er grotere drukverliezen ontstaan in de warmtapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem. Op het moment dat deze drukverliezen groter zijn dan de opvoerdruk van de pomp zal de pomp geen circulatievolumestroom meer op gang kunnen houden. Bij nog grotere drukverliezen zal in sommige delen van het circulatiesysteem de stromingsrichting kunnen omkeren.

Dit is het best te illustreren met de pompkarakteristiek van de circulatiepomp in combinatie met de leidingkarakteristiek. In Figuur 28 is een stationaire situatie met circulatie en zonder tappen gegeven. De volumestroom is de gewenste circulatievolumestroom het drukverschil is het drukverschil over het systeem bij de circulatievolumestroom.



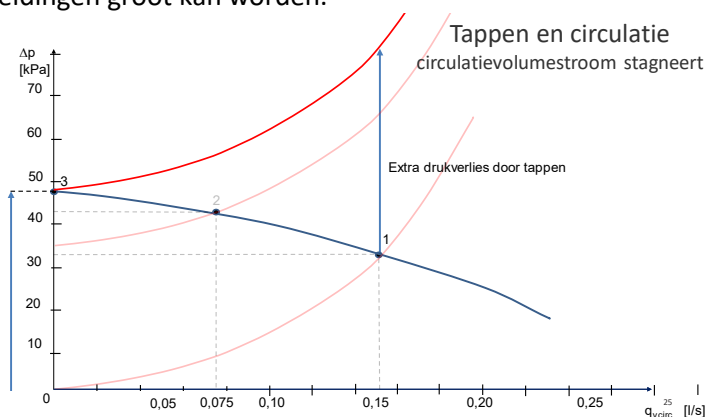
Figuur 28: Pompkromme en leidingkarakteristiek in stationair circulatiebedrijf

In Figuur 29 is een situatie gegeven waarbij er door tappen extra drukverlies is in de warmtapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem. Pas als de circulatiepomp dit drukverlies weet te overbruggen zal er een circulatievolumestroom op gang komen. Deze circulatievolumestroom is kleiner dan de ontwerpcirculatievolumestroom waardoor de afkoeling in de circulatieleidingen groter zal zijn. Daar staat tegenover dat de stroomsnelheid in de warmtapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem groter is en dat daar de afkoeling minder is.



Figuur 29: Pompkromme en leidingkarakteristiek bij tappen, circulatievolumestromen worden kleiner.

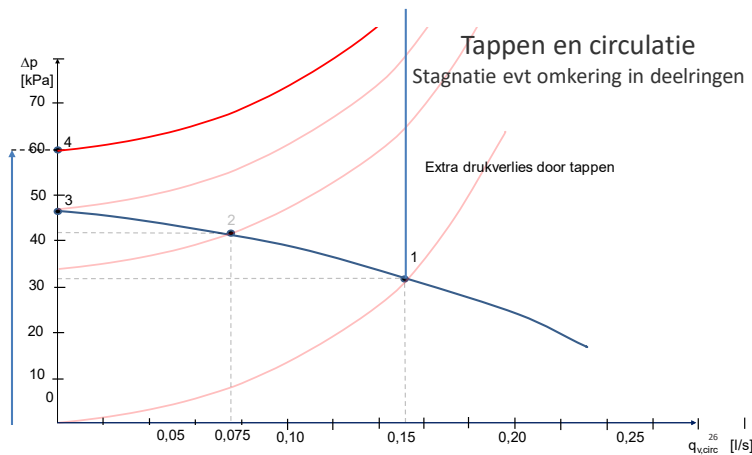
In Figuur 30 is de situatie gegeven waarbij het drukverlies door tappen even groot is als de nuldruk van de pomp. De circulatievolumestroom zal nu stagneren, waardoor de afkoeling in leidingen groot kan worden.



Figuur 30: Pompkromme en leidingkarakteristiek bij tappen, circulatievolumestromen stagneert.



In Figuur 31 is de situatie gegeven waarbij het drukverlies door tappen groter is dan de nuldruk van de pomp. Als er geen keerklep in de retourleiding zou zitten, dan zou de stromingsrichting in de retourleiding omkeren. Door de drukverhouding is de kans dat stromingsrichting in andere delen van het circulatiesysteem omkeert groot.



Figuur 31'': Pompkromme en leidingkarakteristiek bij tappen, stagnatie en eventueel omkering in deelringen.

Onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd met referentiesituaties 1A en 2A. Dit zijn de situaties waarbij het drukverlies in het circulatiesysteem lager is omdat er van uitgegaan is dat de inregelafsluiter in de retour volledig in de open stand staat.

Van de vier "tappunten" in het systeem is het tapvolume gevarieerd tussen 0 en 0,9 (berekende maximale moment volumestroom warmwater per deelring is 0,94 l/s) in stapjes van 0,1 l/s. Bij alle mogelijke variaties van tapvolumes is het systeem doorgerekend. Situaties waarbij het totale tapvolume groter is dan 1,5 l/s (de berekende maximale moment volumestroom warm water is 1,47 l/s) zijn uit de resultaten verwijderd. Het aantal doorgerekende situaties is dan 3372.

Tabel 3: Het optreden van kritische situaties bij tapbedrijf (n=3372)

Aspect	Ref 1A, frequentie	Ref 2A, frequentie
Omkering stromingsrichting	2% (65)	35% (1187)
Retourtemperatuur < 60 °C	0,2 % (10)	5% (178)
Strangtemperatuur < 60 °C	5% (163)	8% (286)
Stroomsnelheid < 0,3 m/s	46% (1560)	91% (3061)
Stroomsnelheid < 0,5 m/s	100% (3372)	100% (3372)
Stagnatie in retourleiding	0% (0)	0% (1)

Onderschrijding van de kritische stroomsnelheden komen het meest frequent voor.

Onderschrijding van de in Waterwerkblad 4.4A genoemde stroomsnelheid 0,5 m/s komt in alle situaties voor. Volledige stagnatie in de retourleiding komt bij de onderzochte scenario's vrijwel niet voor. Stagnatie in een deelringen is het kantelpunt waarbij de stromingsrichting omkeert. Stagnatie in een deelring zal dan ook niet langdurig voorkomen.

In zijn algemeenheid zullen de hierboven beschreven aspecten geen problemen opleveren ten aanzien van comfort en veiligheid.



Conclusie

Volledige stagnatie in de retourleiding treedt in de onderzochte situaties nauwelijks op. Bij andere leidingconfiguraties dan hier onderzocht, zou stagnatie sneller op kunnen treden.

Afkoeling tot minder dan 60 °C in deelringen treedt af en toe op.

Omkering van de stromingsrichting kan, afhankelijk van de leidingconfiguratie, veelvuldig voorkomen.

Onderschrijding van de in Waterwerkblad 4.4A genoemde minimale stroomsnelheid van 0,5 m/s komt altijd voor.

Tijdelijke afkoeling of tijdelijke onderschrijding van de minimale stroomsnelheid gaat niet ten koste van veiligheid, comfort of het duurzaam functioneren van het circulatiesysteem.

Aanbeveling

Er zijn doorgaans geen extra voorzieningen nodig om stagnatie, te lage temperaturen of te kleine stroomsnelheden in het circulatiesysteem te voorkomen.

Bij wijze van toets kan de hieronder beschreven rekenmethode gevolgd worden om in het ontwerpstadium vast te stellen of maatregelen nodig zijn om stagnatie te voorkomen. Deze rekenmethode gaat er van uit dat als er geen stagnatie is bij een tapvolumestroom van 50% van de maximale momentvolumestroom, stagnatie geen probleem zal opleveren.

De rekenmethode is als volgt:

1. Bepaal het totale drukverlies in circulatiebedrijf Δp_{circ}
2. Bepaal het drukverlies bij de maximale moment volumestroom over het maatgevende tracé.
3. Bepaal het drukverlies $\Delta p_{0,5q_{v,ww;\text{max}}}$ bij 50% van de maximale moment volumestroom: Neem 25% van het in stap 2 bepaalde drukverlies⁹.
4. Als het berekende drukverschil bij tappen $\Delta p_{0,5q_{v,ww;\text{max}}}$ groter is dan het drukverlies in circulatiebedrijf Δp_{circ}) worden maatregelen aanbevolen om stagnatie en afkoeling te verminderen. Dit kan door:
 - a. Verminder het drukverlies in de warmtapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem door te kiezen voor andere leidingdiameters of een andere leidinglayout.
 - b. Kies een pomp met een steile pompkromme.
 - c. Kies een toerengeregelde pomp Dit is een mogelijke oplossing als de verwachting is dat de volumestroom langdurig groter of gelijk is aan 50% van de maximale moment volumestroom. Een toerengeregelde pomp wordt niet toegepast in combinatie met thermostatische inregelafsluiters.
 - d. Verhoog het drukverlies in het circulatiesysteem door plaatsing van een inregelafsluiter in de retour nabij de warmtapwaterbereider en kies een grotere pomp:
 - Stel deze inregelafsluiter zodanig in dat bij de berekende circulatievolumestroom het drukverlies groter is dan het drukverlies in de warmtapwaterleidingen in het maatgevende tracé bij 50% van $q_{v,ww;\text{max}}$.
 - Kies een pomp op basis van de circulatievolumestroom en het drukverlies in het circulatiesysteem.

Voorbeeld

⁹ 25% van het drukverlies bij $q_{v,ww;\text{max}}$ komt overeen met het drukverlies bij 50% van $q_{v,ww;\text{max}}$.



bij de referentiesituatie 1 (aangepast)

1. Drukverlies in circulatiebedrijf $\Delta p_{\text{circ}}=38,0$ kPa;
2. Drukverlies over het traject van warmtapwaterbereider naar laatste tappunt in maatgevende deelring is 38,16 kPa
3. Het drukverlies bij 50% van de MMV is $0,25 \cdot 38,16 = 9,54$
4. 9,4 kPa < 38 kPa dus geen aanvullende maatregelen nodig.

bij de referentiesituatie 2 (aangepast)

1. Drukverlies in circulatiebedrijf $\Delta p_{\text{circ}}=22,4$ kPa;
2. Drukverlies over het traject van warmtapwaterbereider naar laatste tappunt in maatgevende deelring is 38,16 kPa (zelfde als bij referentie 1)
3. Het drukverlies bij 50% van de MMV is $0,25 \cdot 38,16 = 9,54$
4. 9,4 kPa < 22,4 kPa dus geen aanvullende maatregelen nodig.

Door extra weerstand in het circulatiesysteem op te nemen, in de vorm van een IRast na de pomp, is er meer pompvermogen nodig en zal het energiegebruik door de pomp hoger zijn. Ter illustratie, bij referentie 1 is een inregelafsluiter opgenomen in de retour nabij de warmtapwaterbereider. Deze heeft bij de circulatievolumestroom een drukverlies van ongeveer 20 kPa. Het extra energiegebruik door deze inregelafsluiter is bij benadering:

$$P[\text{kW}] = \frac{q_v[\text{m}^3/\text{s}] \cdot \Delta p[\text{Pa}]}{0,5[\eta]}$$

$$P = 0,00015 \cdot 20/0,5 = 0,006 \text{ kW}$$

Dit komt overeen met ongeveer 50 kWh per jaar.

6.4 Wachttijden (5)

Hypothese

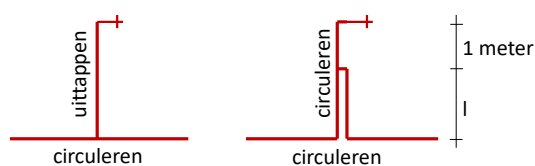
Het energieverlies door een circulatieleiding is zo groot dat het een warmtapwateruittapleiding de voorkeur heeft boven het verlengen van de warmtapwater circulatieleiding.

Achtergrond

Een warmtapwatercirculatieleiding heeft een continu energieverlies dat afhankelijk van leidingafmetingen, mate van isolatie, omgevingstemperatuur en de watertemperatuur. Een warmtapwater uittapleiding verliest energie door het afkoelen van het water in de leiding na het tappen. Dit energieverlies is afhankelijk van de leidingafmetingen, met name de lengte, de DH-factor van de leiding en de tapfrequentie. Een warmtapwateruittapleiding heeft een minimale lengte van een meter om opwarming van de kraan zelf te vermijden.

Onderzoek

De twee situaties in Figuur 1 worden vergeleken.

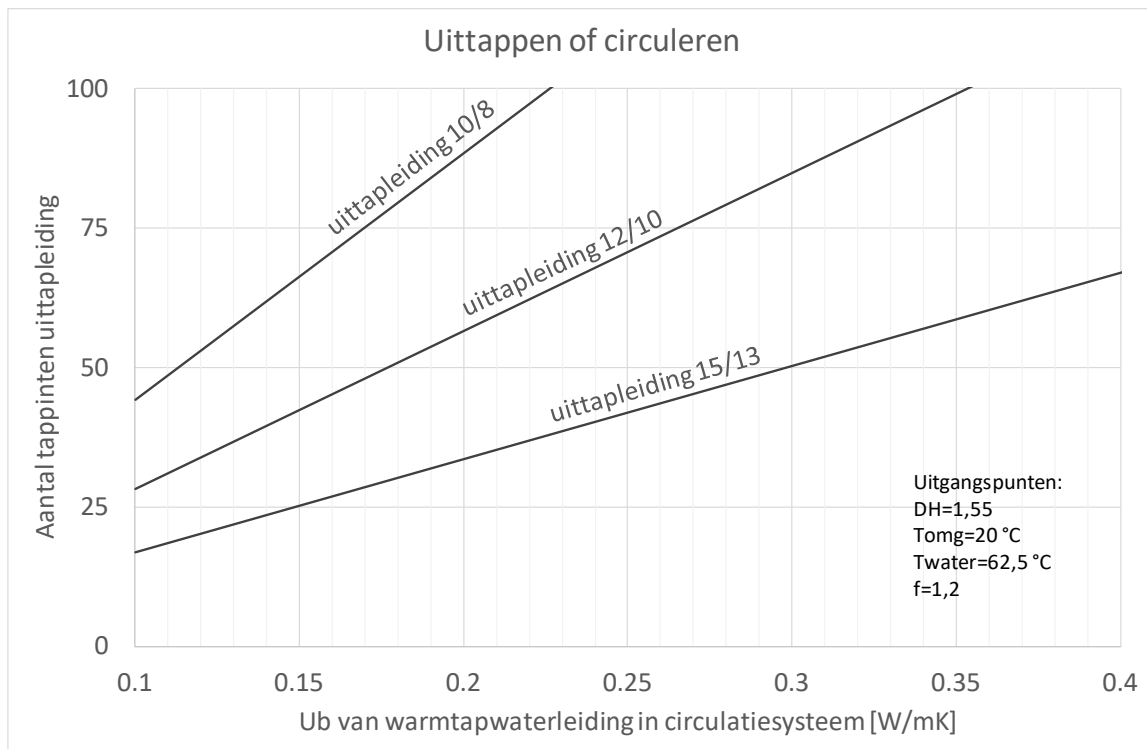


Figuur 32: Links, uittapleiding vanaf circulatieleiding. Rechts, circuleren tot het tappunt.

Voor elke meter extra uittapleiding zou twee meter circulatieleiding nodig zijn. Onderzocht wordt bij hoeveel tappings het energieverlies door de uittapleiding gelijk is aan het continue energieverlies door de circulatieleiding. Door de vaste verhouding tussen de lengte van



uittapleiding en de extra lengte van de circulatieleiding is dit onafhankelijk van de lengte van de uittapleiding. Dit is gegeven in Figuur 33.



Figuur 33: Verhouding tussen isolatiewaarde van de circulatieleiding en aantal tappingen uit een warmtapwateruittapleidingen waarbij het energieverlies bij beiden hetzelfde is.

Bij een aantal tappingen dat boven een lijn in Figuur 33 zit zou circuleren energetisch efficiënter zijn. Bij een aantal tappingen dat onder een lijn in Figuur 33 zit zou uittappen energetisch efficiënter zijn. Ter referentie de U_b van een leiding 22/19,8 is 0,33 W/mK.

Voor woningen is de maximale wachttijd voor warmwater 35 sec, waarbij 15 seconden 'gereserveerd' is voor het de warmtapwaterbereider (de toestelwachttijd) en er dus 20 sec over is voor de leidingwachttijd. Bij een circulatieleiding is er per definitie geen toestelwachttijd. In Waterwerkblad 4.4.A, paragraaf 4.1 is beschreven dat bij circulerende systemen een wachttijd van 20 seconden aangehouden wordt. Aangezien bij circulerende systemen geen toestelwachttijd is, kan overwogen worden een maximale wachttijd van 35 seconden te hanteren.

Conclusies/Aanbevelingen

Te zien is dat pas bij een substantieel aantal tappingen het circulatiesysteem theoretisch energie-efficiënter zou zijn. Energetisch heeft een uittapleiding vrijwel altijd de voorkeur.

Overweeg de maximale wachttijd voor circulatiesystemen te verlengen naar 35 seconden.

6.5 Toerengeregelde pomp (6)

Hypothese

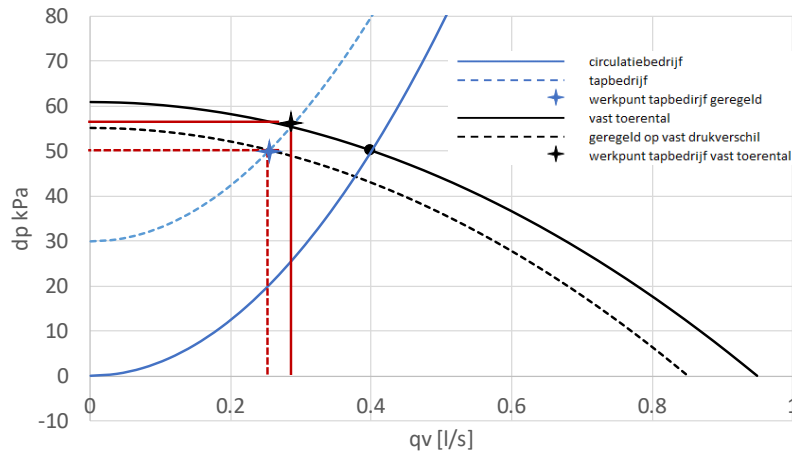
Een toerengeregelde circulatiepomp zorgt voor een betere handhaving van de gewenste condities dan een pomp met een vast toerental.

Achtergrond



Een toerengeregelde pomp kan er voor zorgen dat de circulatievolumestroom onder verschillende omstandigheden gerealiseerd wordt. Er zijn drie opties voor het regelcriterium.

- Regelen op constant drukverschil. Zodra de volumestroom afneemt toert de pomp terug zodat een constant drukverschil gehandhaafd blijft.



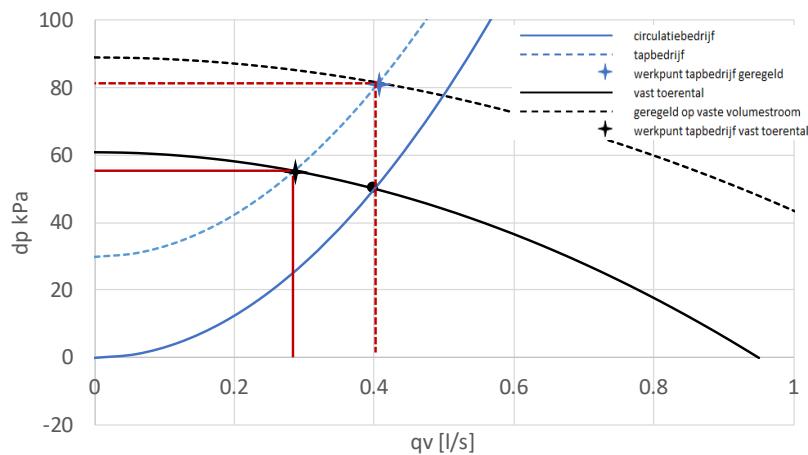
Figuur 34: Regeling op basis van drukverschil (stippellijn is geregelde pomp): circulatievolumestroom neemt sneller af.

In Figuur 34 is te zien dat met een regeling op basis van een constant drukverschil de circulatievolumestroom sneller afneemt dan bij een pomp met een vast toerental. Dit is onwenselijk.

- Regelen op een constante temperatuur. De regeling streeft er naar een bepaalde temperatuur (bijvoorbeeld 60°C) te realiseren in de retour nabij de warmtapwaterbereider.

Doordat de toevoertemperatuur (de temperatuur direct na de warmtapwaterbereider) meestal een bepaalde 'swing' vertoont ten gevolge van het oplaadgedrag van de warmtapwaterbereider, zal het handhaven van de gewenste retourtemperatuur lastig zijn, waardoor bij deze regeling de circulatiepomp zorgt voor een onnodig hoge drukverhoging. Deze regeling wordt daarom niet aanbevolen.

- Regelen op een constante volumestroom. Zodra het drukverlies ten gevolge van het tappen toeneemt, zal de pomp optoeren om een constante volumestroom te realiseren.



Figuur 35: Regeling op basis van vaste volumestroom (stippellijn is geregelde pomp)

Met deze regeling wordt bereikt dat er een (hoofd)circulatievolumestroom gehandhaafd blijft. Hoe de verdeling van de volumestromen over de deelringen is, hangt echter af van waar en hoeveel in het systeem getapt wordt. De volumestroom zal wellicht wat groter zijn dan strikt noodzakelijk omdat door het tappen de afkoeling in de warmtapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem minder groot is. Een toerengeregelde pomp die op basis van volumestroom geregeld wordt, kan niet gecombineerd worden met thermostatische inregelafsluiters. De twee regelmechanismen kunnen tegen elkaar in gaan werken. Als bijvoorbeeld de inregelafsluiter, vanwege een hoge temperatuur, de volumestroom verlaagt, zal de pomp trachten dit te corrigeren.

Gezien bovenstaande kan geconcludeerd worden dat een toerengeregelde pomp in een tapwatercirculatiesysteem doorgaans niet nodig is. Als een toerengeregelde pomp toegepast wordt, kan de regeling gebaseerd zijn op een constante volumestroom.

Conclusies/aanbevelingen

Toerenregeling heeft over het algemeen geen toegevoegde waarde bij een warmtapwatercirculatiesysteem.

Als een toerengeregelde pomp toegepast wordt is een regeling op basis van een vaste volumestroom het meest plausibel.

Een toerengeregelde pomp die geregeld wordt op basis van een vast volumestroom kan niet gecombineerd worden met thermostatische inregelafsluiters.

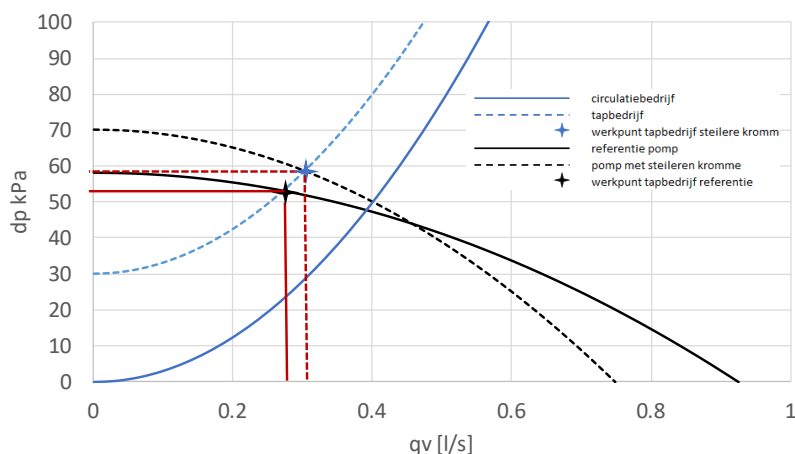
6.6 Steilte pompkromme (7)

Hypothese

Circulatiepompen met een steile pompkromme zorgen voor een stabielere circulatievolumestroom.

Achtergrond

Bij circulatiebedrijf zit het werkpunt bij voorkeur op een efficiënt punt op de pompkromme. Als er getapt wordt zal de circulatievolumestroom afnemen. Bij een steilere pompkromme neemt de circulatievolumestroom minder snel af dan bij een vlakke pompkromme, zie Figuur 36.



Figuur 36: bij een steilere pompkromme (gestippeld) neemt de circulatievolumestroom minder snel af als er getapt wordt.

Over het algemeen is het niet nodig om de circulatievolumestroom te vergroten bij tapbedrijf. Door de grotere stroomsnelheid in de warmtapwaterleidingen die deel uitmaken van het circulatiesysteem zal de retourtemperatuur in de meeste situaties voldoende hoog blijven (zie paragraaf 6.2).

Thermostatische inregelafsluiters zullen bij een pomp met een vlakkere karakteristiek minder snel open regelen (bij oplopende temperaturen) dan bij een pomp met een steilere karakteristiek.

Conclusies/aanbevelingen

De steilte van de pompkromme heeft invloed op de circulatievolumestroom in tapbedrijf. De relevantie daarvan is beperkt.

De steilte van de pompkarakteristiek heeft invloed op het gedrag van thermostatische inregelafsluiters maar de relevantie daarvan is beperkt.



HOOFDSTUK 7 - CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Algemene conclusies en aanbevelingen

In dit onderzoek is uitgebreid gekeken naar het dynamische gedrag van twee referentie warmtapwatercirculatiesystemen in circulatiebedrijf en in tapbedrijf. Hierdoor is goed inzicht gekregen in de werking van deze systemen. Er zijn veel conclusies en aanbevelingen die hieronder verder beschreven worden.

De twee referentiesituaties worden gekenmerkt door vier vrijwel gelijke deelringen, omdat deze gekenmerkt worden door vergelijkbare drukverliezen treedt er een zelfregelend effect op. Dit beïnvloedt de impact van de verschillende componenten op het dynamische gedrag vrij sterk. Er is daarom behoefte aan verder onderzoek naar het dynamische gedrag van systemen met meer variatie in de deelringen.

De meest relevante conclusies zijn:

- Tijdens circulatiebedrijf zal, bij toepassing van warmtapwaterbereiders met een zekere bandbreedte met betrekking tot de levertemperatuur, de circulatiewatertemperatuur lager worden dan 60 °C. Er zijn geen richtlijnen met betrekking tot de toelaatbare duur en frequentie van deze overschrijdingen. Aanbevolen wordt hier in richtlijn voor te ontwikkelen.
- In de waterwerkbladen is een aanbevolen minimale stroomsnelheid van 0,5 m/s gegeven. Deze stroomsnelheid wordt vrijwel altijd onderschreden. Aanbevolen wordt deze richtlijn te laten vervallen.
- De toepassing van thermostatische inregelafsluiters zorgt voor een andere stromingsdynamiek in het systeem dan bij statische inregelafsluiters. Een zorgvuldige rekenkundig bepaling van de insteltemperatuur is nodig om het systeem in circulatiebedrijf op de gewenste manier te laten werken.
- Toerenregeling van de circulatiepomp is bij een tapwatercirculatiesysteem niet nodig. Wel kan een toerengeregelde circulatiepomp nuttig zijn bij het inregelen van het systeem. Conclusies en aanbevelingen op onderdelen

Algemeen	
Conclusie	De berekeningen die leveranciers van inregelafsluiters maken zijn gebaseerd op de Duitse rekenmethodiek. Dit heeft vooral betrekking op de bepaling van de maximale moment volumestroom.
Conclusie	De inregelstaat die door berekeningssoftware (Bink, Vabi) gemaakt wordt bevat niet de circulatiewatertemperatuur ter plekke van een inregelafsluiter.
Conclusie	Eenheden in de inregelstaat (uit berekeningssoftware) verschillen van de eenheden in de selectiediagrammen van inregelafsluiters.
Warmteverliezen	
Conclusie	Warmteverliezen door thermische lekken in circulatiesystemen komen niet goed tot hun recht bij het gebruik van een factor voor het warmteverlies. Grotere warmteverliezen dan bij de ontwerpberekening aangehouden leiden tot te grote afkoeling of te grote stroomsnelheden.
Aanbeveling	ontwikkel een nauwkeurigere methode voor het bepalen van de warmteverliezen ten gevolgen van thermische lekken. Hierin worden



	warmteverliezen door aftakkende uittapleidingen en uitvoeringsaspecten (wijze van vloerdoorvoeren en wijze van beugelen) meegenomen.
Variatie in toevoertemperatuur	
Conclusie	De toevoertemperatuur van warmtapwaterbereiders wordt gekenmerkt door een zekere bandbreedte. Hierdoor zal er (ook in circulatiebedrijf) in veel gevallen regelmatig een te lage retourtemperatuur optreden.
Aanbeveling	Onderzoek de bandbreedte van de toevoertemperatuur in circulatiebedrijf in relatie tot type en eigenschappen van het warmtapwatertoestel.
Aanbeveling	Ontwikkel richtlijnen met betrekking tot de toelaatbare variatie (duur, bandbreedte, laagste - en hoogste waarde) in toevoertemperatuur.
Conclusie	Bij een toevoertemperatuur die lager is dan de ontwerpwaarde treden er al snel watertemperaturen lager dan 60 °C in het circulatiesysteem. Bij toepassing van IRAs _t gebeurt dit sneller dan bij toepassing van IRAs _h .
Conclusie	Bij een dalende toevoertemperatuur ontstaat er bij toepassing van IRAs _h een kortsluiteffect dat vooral tot uiting komt in een lagere temperatuur in de (maatgevende) strang met een IRAs _t . De watertemperatuur in de maatgevende strang wordt hierdoor lager dan de retourtemperatuur.
Aanbeveling	Neem bij toepassing van IRAs _h temperatuurbewaking op in de maatgevende strang.
Aanbeveling	Ontwikkel richtlijnen voor de in te stellen temperatuur op de IRAs _h . Een richting hierbij kan zijn dat bij de ingestelde temperatuur op de IRAs _h de $K_{v,i}$ waarde en temperatuur gerealiseerd worden die volgen uit de berekening met statische inregelafsluiters.
Nauwkeurigheid instelling IRAs_t	
Conclusie	Een te lage instelling van de IRAs _t kan al snel leiden tot te grote afkoeling in de betreffende deelring. Het effect van een verkeerde instelling is niet zo groot op de temperatuur in de andere deelringen.
Instellen van IRAs_h	
Conclusie	Het instellen van de setpointtemperaturen van IRAs _h op een niet, of niet juist, berekende waarde kan overschrijding van kritische snelheid tot gevolg hebben.
Aanbeveling	Gebruik voor het bepalen van de setpointtemperatuur van de IRAs _h de $K_{v,i}$ en temperatuur uit de ontwerpberekening. Dan is de hydraulische balans van het systeem onder ontwerpcondities gelijk aan een systeem met IRAs _t met juist ingeregelde IRAs.
Inregelen	
Conclusie	De retourtemperatuur bij tapbedrijf is niet geschikt als maat bij het inregelen.
Aanbeveling	Het in- of naregelen van een warmtapwatercirculatiesysteem moet plaats vinden bij circulatiebedrijf.
Conclusie	Inregelen zonder dat de levertemperatuur van de warmtapwaterbereider daarbij betrokken wordt, is onvoldoende.
Aanbeveling	Regel in op basis van gemeten afkoeling van warmtapwaterbereider tot het gemeten punt.
Dynamisch gedrag bij tappen	
Conclusie	Bij een goed ontworpen systeem is bij de maximale moment volumestroom, ongeacht waar deze in het systeem plaats vindt, het drukverlies nooit zodanig dat dit te veel ten koste gaat van de gebruiksdruk voor andere tappunten.
Conclusie	Bij tapbedrijf stijgt over het algemeen de retourtemperatuur.
Conclusie	Stagnatie in de retourleiding komt bij tapbedrijf in de onderzochte scenario's vrijwel niet voor.
Aanbeveling	Neem bij de ontwerpmethodiek een rekenmethodiek op waarmee een goede

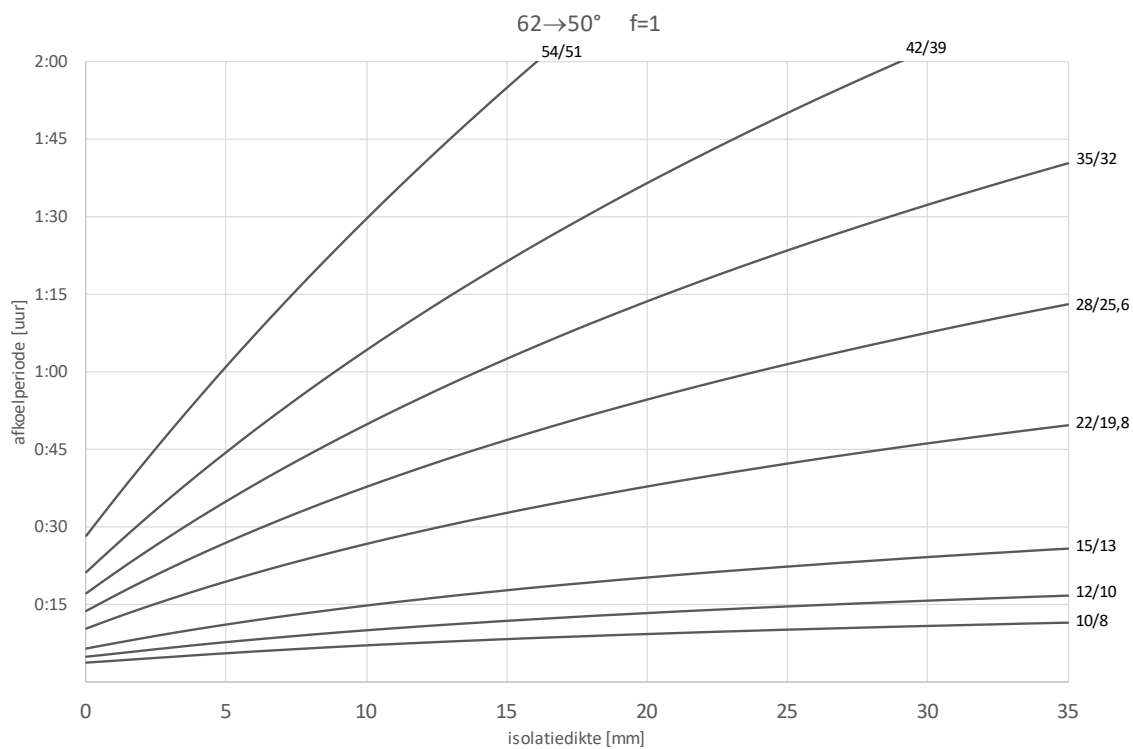
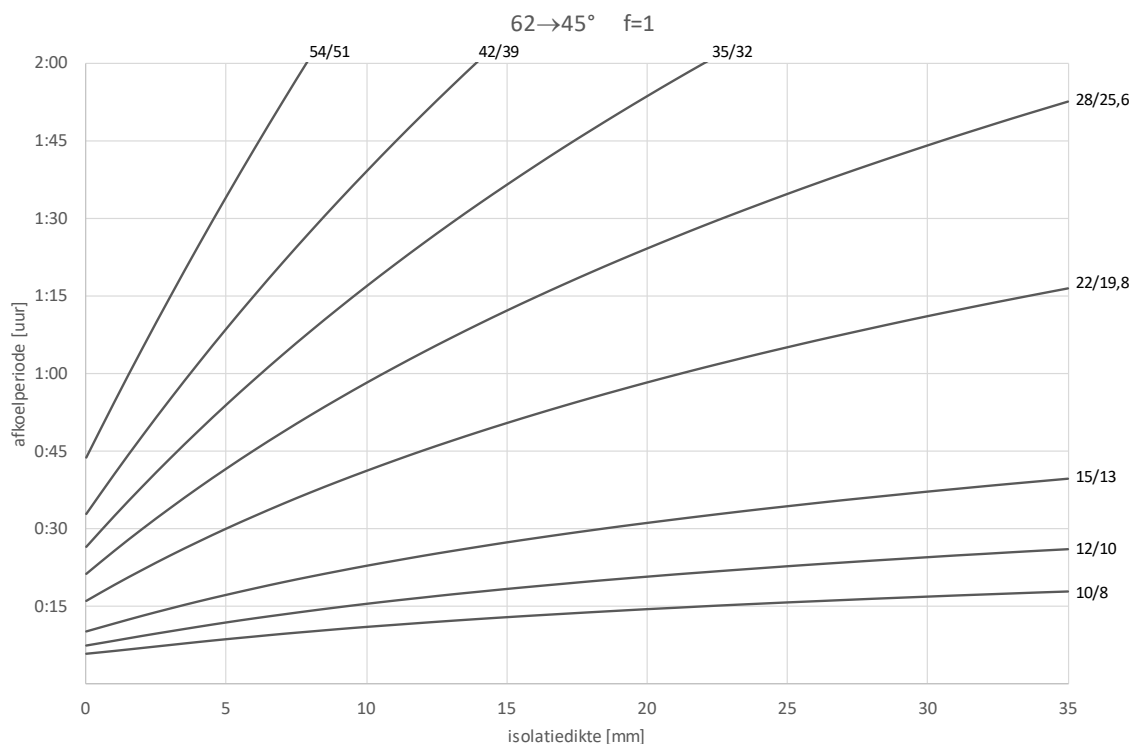


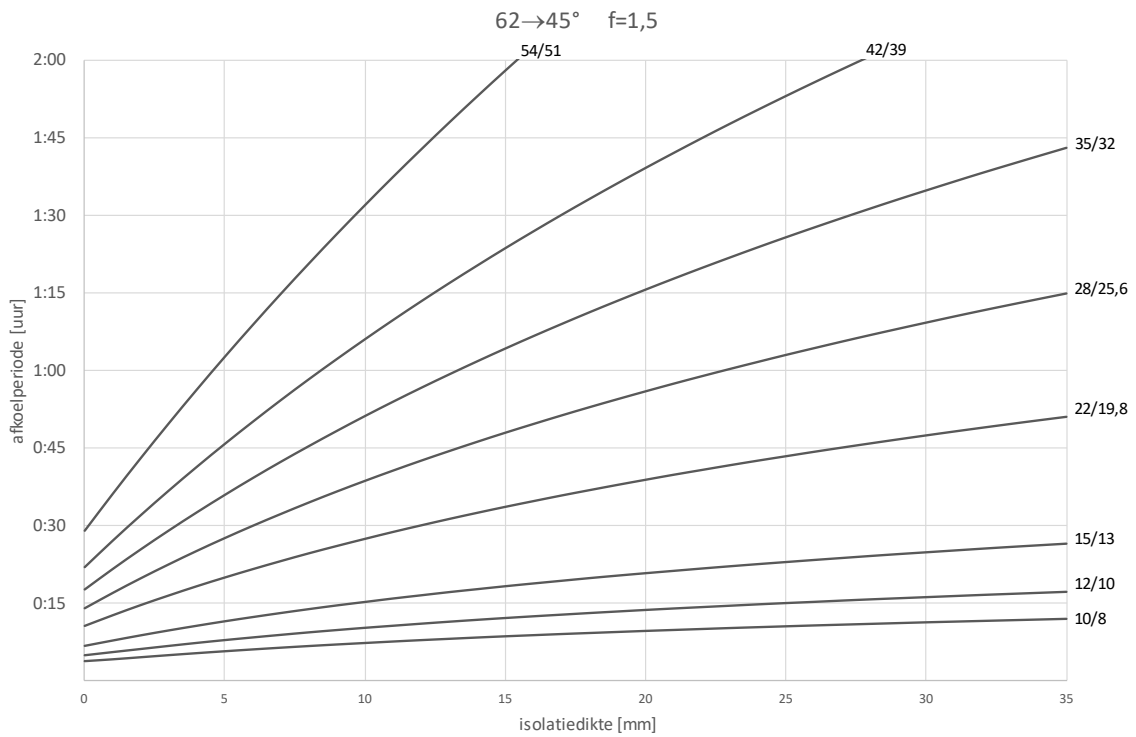
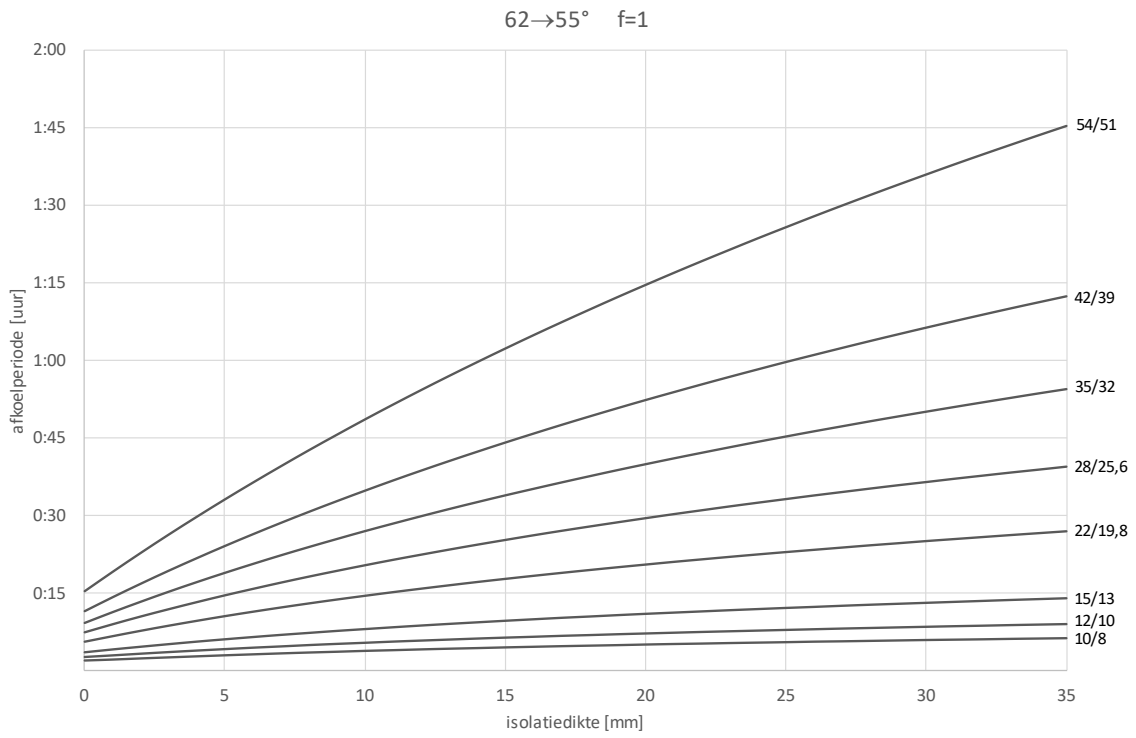
	inschatting gemaakt kan worden van de kans op stagnatie in de retourleiding.
Conclusie	Onderschrijding van de minimale stroomsnelheid van 0,5 m/s komt bij tapbedrijf vrijwel altijd voor.
Aanbeveling	Ontwikkel specifiekere richtlijnen met betrekking tot de minimale stroomsnelheid.
Uittapleidingen	
Conclusie	Energetisch is een uittapleiding vrijwel altijd gunstiger dan circuleren tot aan het tappunt.
Conclusie	Bij circulatieleidingen is er nooit een toestelwachtijd
Aanbeveling	Overweeg de maximale wachtijd voor circulatiesystemen te verlengen tot 35 sec.
Circulatiepomp	
Conclusie	Een toerengeregelde pomp heeft over het algemeen geen toegevoegde waarde bij een warmtapwatercirculatiesysteem.
Conclusie	De steilte van de pompkromme heeft invloed op de circulatievolumestroom in tapbedrijf. De relevantie daarvan is beperkt.
Conclusie	De steilte van de pompkromme heeft invloed op de werking van IRATH in circulatiebedrijf. De relevantie daarvan is beperkt.

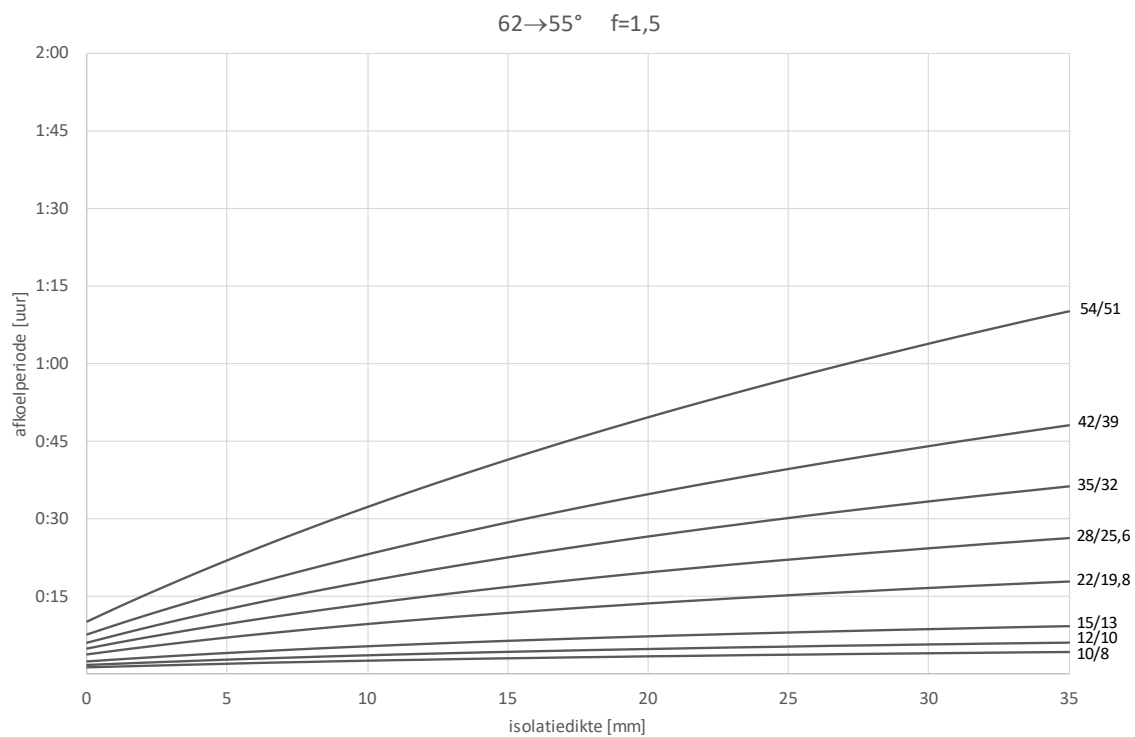
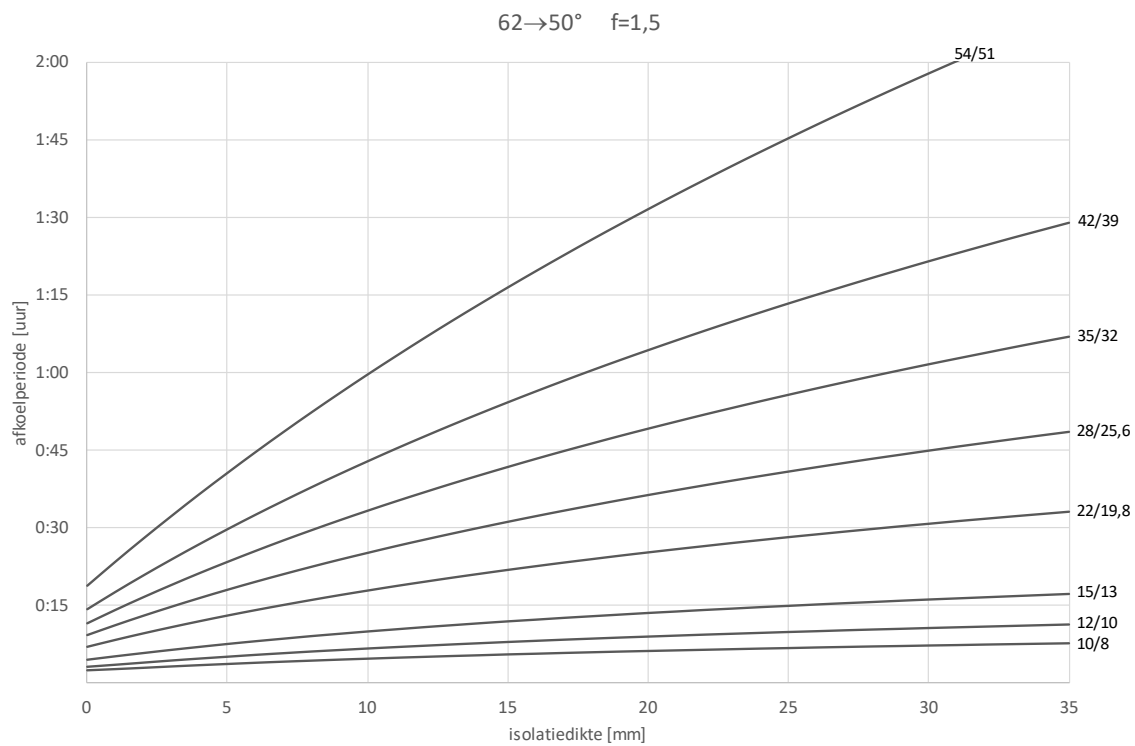


HOOFDSTUK 8 - BIJLAGE 1: AFKOELING LEIDINGEN

In deze bijlage zijn grafieken opgenomen waarin afgelezen kan worden hoe lang het duurt voordat het water bij stagnatie in de leidingen is afgekoeld tot een bepaalde waarde. De factor f is de factor waarmee het warmteverlies door de leiding vermenigvuldigd wordt in verband met extra warmteverliezen (door bijvoorbeeld beugeling, appendages, vloerdoorvoeren e.d.).









Korenmolenlaan 4
3447 GG Woerden
Telefoon: 088 401 06 00

info@tvvl.nl | www.tvvl.nl

