

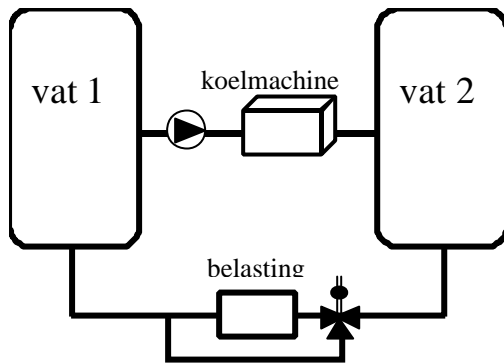
Buffervaten in gekoeldwatersystemen

Buffervat of actieve systeeminhoud nodig of niet ?

Sinds jaar en dag vragen koelmachineleveranciers een voldoende groot watersysteem.

In hoeverre is of was dit terecht? Wij zullen hier proberen daarover duidelijkheid te verschaffen.

Hiervoor zetten wij een theoretisch watersysteem op en laten diverse mogelijkheden de revue passeren. Ook wordt er gerekend aan één compacte koelmachine, voorzien van een geavanceerde microprocessor van 40 kW, die aan/uit schakelt. In Figuur 1 zien wij een zeer theoretisch watersysteem met zowel aan de retour (vat 1) als de toevoer (vat 2) een oneindig grote waterinhoud. Tevens is opgenomen één variabele belasting die varieert tussen 0 en 40 kW. De koelmachine koelt tijdens bedrijf water van 12°C naar 6°C.



Figuur 1

In de beschreven situatie draait de koelmachine altijd in vollast, onafhankelijk van de belasting. Ook krijgt de belasting altijd 6°C aangeboden. Dit zou de ideale situatie zijn. Echter, wie betaalt of heeft plaats voor deze zeer grote vaten.

Een meer reële situatie is een buffervat in de retour van de machine en geen toevoer buffervat. Het vat is in dit voorbeeld zeer groot. Indien de koelmachine in bedrijf is en het vat 12°C, dan wordt er 6°C aan de belasting geleverd. Bij volle belasting is er evenwicht. Maar als de belasting minder is, zal het buffervat zeer langzaam in temperatuur dalen. Deze daling is voldoende om de unit te laten uitschakelen.

Uitschakelen vindt plaats bij 12°C - 0,1°C. Aanschakelen bij 12 + 0,1°C. Het verschil tussen in- en uitschakelen is in totaal 0,2°C. Dit noemen we de schakeldifferentie.

De gevolgen voor de belasting zijn veel drastischer, want de aanvoertemperatuur varieert tussen 12°C + 0,1 en 6°C - 0,1°C, in totaal dus 6 + 0,2°C. Dit is het temperatuurverschil van de schakelende trap + de schakeldifferentie. De bij de belasting geplaatste regeling zal proberen de variatie in aangeboden watertemperatuur te compenseren.

In werkelijkheid komt bovenstaande situatie niet veel voor. Meestal is er wel een vat 1, maar dit is beperkt in grootte. De vraag is nu hoe groot of klein dit vat moet zijn. De grootte wordt bepaald door het maximaal aantal toegestane starts van de koelmachine. Maar ook de minimale draaitijd die nodig is om olieterugvoer naar de compressor te garanderen en om de warmte die ontwikkeld wordt tijdens starten af te voeren.

Bepaling minimale inhoud, gebaseerd op aantal starts:

$$B = \frac{0,5 \times P \times t}{C_w \times \Delta T}$$

In de formule zijn de volgende parameters terug te vinden:

P = koelcapaciteit. Dit is de koelcapaciteit die de koelmachine levert nadat de compressor is gestart.

In ons voorbeeld is dat dus 40 kW. Maar bij een ingebouwde capaciteitstrap van 50% zou dit slechts 20 kW zijn. Wij noemen dit de grootste schakelende trap. Voor het koelvermogen staat de factor 0,5. Deze geeft aan dat er de meeste schakelingen zijn als de tegenbelasting de helft is. In dit geval dus 20 kW. Bij geen belasting geen start, bij 40 kW belasting gaat de machine nooit uit.

t = tijd tussen start en stop. De huidige generatie hermetische compressoren is ontworpen voor 12 starts per uur gedurende de levensduur van de koelmachine. Dit is aanzienlijk hoger dan werd aangehouden voor semi-

hermetische compressoren (6 starts per uur). Voor zeer grote koelmachines met centrifugaal compressoren houden wij zelfs rekening met maximaal 8 starts per 4 uur.

12 starts per uur komt neer op elke 300 seconden 1 start, met tussendoor een stop. In onze toepassing:

$$t = \frac{300}{2} = 150 \text{ s.}$$

Onder de deelstreep vinden wij de soortelijke warmte van de vloeistof in het systeem.

Bij water $C_w = 4,2 \text{ kJ/kg.K}$.

Ook vinden wij ΔT de eerder genoemde schakeldifferentie van de regeling. Bij verschillende differenties volgt steeds de minimaal benodigde systeeminhoud B. In tabel 1 zijn ook opgenomen de minimale of maximale watertemperatuur in het vat en naar de belasting zodat er een goed inzicht is.

<u>DT</u>	<u>B</u>	<u>T vat 1</u>	<u>T naar bel.</u>
0,2 K	3570 L	12,1 > 11,9 °C	12,1 > 5,9 °C
0,5 K	1430 L	12,25 > 11,75 °C	12,25 > 5,75 °C
1 K	715 L	12,5 > 11,5 °C	12,5 > 5,5 °C
2 K	357 L	13 > 11 °C	13 > 5 °C
4 K	178 L	14 > 10 °C	14 > 4 °C *
8 K	89 L	16 > 8 °C	16 > 2 °C *

Tabel 1

D T schakeldifferentie
B minimale systeem inhoud
T vat 1 maximale en minimale watertemperaturen in vat 1
T naar bel. maximale en minimale watertemperaturen naar de belasting
 * **Vorstbeveiliging grijpt in**

De uitgewerkte tabel geeft duidelijk aan wat er gebeurt. Is de regeling zo slim dat het maximum aantal starts niet wordt overschreden, dan zal dit autoadaptief (zelf aanpassend) moeten zijn. De regeling moet dan zo slim zijn dat de ondergrens niet te laag komt te liggen. De microprocessor regeling met zowel retour- als toevoerwatermeting zal het traject autoadaptief moeten aanpassen naar:

<u>DT</u>	<u>B</u>	<u>T vat 1</u>	<u>T naar bel.</u>
8 K	89 L	18 > 10 °C	18 > 4 °C

De autoadaptiviteit is nodig om de schakeldifferentie continu aan te passen aan de belasting. Als deze naar vollast gaat, zal de differentie weer naar 0,2 kunnen dalen (van 12,1 naar 5,9°C). Zo zal altijd worden uitgegaan van een zo klein mogelijke variatie naar de belasting zonder dat er vorststoringen optreden of er te veel starts zijn.

Het tweede punt dat wij moeten controleren is of er voldoende draaitijd is als de compressor opstart. Deze draaitijd, noodzakelijk voor het terugvoeren van olie die bij opstart het systeem ingaat, is sterk afhankelijk van het koeltechnisch ontwerp van de koelmachine en kan variëren tussen 1 en 5 minuten.

Bij ons compacte systeem is deze tijd 1 minuut. De formule verandert nu in:

$$B = \frac{P \times t}{C_w \times \Delta T}$$

t = zoals gezegd 1 minuut is 60 seconden.

P = weer het koelvermogen van de grootste schakelende trap. De factor 0,5 valt weg, want als de compressor start, ontstaat de kortste draaitijd bij geen tegenbelasting. C_w en ΔT zijn dezelfde als eerder aangegeven. In tabel 2 de uitwerking.

<u>DT</u>	<u>B</u>	<u>T vat 1</u>	<u>T naar bel.</u>
1 K	570 L	12,5 > 11,5 °C	12,5 > 5,5 °C
2 K	285 L	13 > 11 °C	13 > 5 °C
4 K	143 L	14 > 10 °C	14 > 4 °C
8 K	71 L	18 > 10 °C	18 > 4 °C

Tabel 2

- D T schakeldifferentie
- B minimale systeem inhoud
- T vat 1 maximale en minimale watertemperaturen in vat 1
- T naar bel. maximale en minimale watertemperaturen naar de belasting

Bij dit machineontwerp is de noodzakelijke draaitijd zo kort dat het aantal starts maatgevend is. Hiernaast kun je je afvragen of de compressor moet starten bij geen belasting.

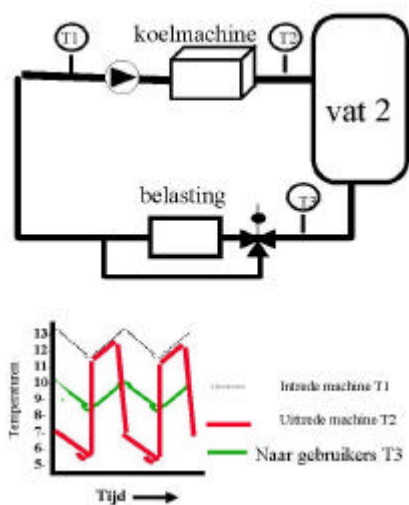
Advies: Indien er gedurende 30 minuten tenminste 10% vraag is kan een inschakelcommando of vrijgave worden gegeven.

Over het algemeen is deze tijd zo lang dat de begintemperatuur dan minimaal gelijk is aan de ruimtetemperatuur van b.v. 22°C. Er is dus een tegenbelasting. Zelfs bij een systeem kleiner dan 71 liter wordt er gemakkelijk langer dan één minuut gedraaid.

De huidige microprocessor regeling is intelligent genoeg om, indien noodzakelijk, de compressor voldoende te beschermen tegen pendelen en schade. Of deze intelligentie aanvaardbare watertemperaturen produceert is een geheel andere vraag, die ook beantwoord dient te worden.

Eerst gaan we weer terug naar ons theoretisch systeem van oneindig grote vaten. In plaats van vat 1 plaatsen wij nu alleen vat 2 in de uittrede. Het verhaal van schakeldifferenties gaat ook hier op. Het verschil vinden wij in de temperatuurvariatie naar de gebruiker toe. Deze varieert minder.

Figuur 2 geeft dit aan voor de situatie wanneer er precies 50% belasting is. De temperatuur in de retour (T1) varieert op de differentie, terwijl de uittrede van de koelmachine (T2) varieert tussen differentie plus ontwerp ΔT . Uiteindelijk varieert de temperatuur naar de gebruiker (T3) weer slechts met de differentie. Bij bijna 100% belasting rond de 6°C, bij 50% rond de 9°C en bij 10% rond de 12°C. Zeker bij systemen met weinig capaciteitstrappen is het zinvol het buffervat aan de uittrede te plaatsen. Als het vat weer zeer klein wordt, is de schakeldifferentie groot en zal bij kleine belasting de temperatuur worden opgetild naar 15/16°C, zoals ook bij het buffervat in de retour. Het voordeel dat blijft is dat bij toevoerbuffer er een kleinere fluctuatie naar de gebruiker zal optreden.



Figuur 2

Wordt uiteindelijk het systeem met vaten zo klein dat het twee leidingen worden, dan is de simpelste oplossing om voor 100% belasting te zorgen. Dit is namelijk de enige situatie waarin geen systeeminhoud nodig is om te kunnen functioneren. Bij een afwijking tussen geleverde en benodigde capaciteit moet het systeem gaan regelen. Levert de koelmachine te veel capaciteit, dan zal de temperatuur van het beperkte watersysteem dalen. Hierdoor wordt de belasting groter en kan er een nieuw evenwicht ontstaan. De grotere belasting zal b.v. de ruimtetemperatuur laten dalen omdat op dat moment de opslagcapaciteit van de ruimte wordt gebruikt. Uit ervaring weten wij dat dit bij een splitsysteem of ander DX systeem altijd zo werkt. Bij de koelmachine is het ook mogelijk de opslagcapaciteit van de ruimte te gebruiken. Hierbij kiezen wij dus voor grote watertemperatuur variaties en regelende kleppen. In tegenstelling tot bij DX systemen is een driewegregeling noodzakelijk om niet in de problemen te komen met onacceptabele watertemperaturen. Water kan nu eenmaal bevriezen. Het ingrijpen van de koelmachineregeling zou het gewenste evenwicht verstoren. Dit kan men zien als twee kapiteins op een schip die beide het beste voor hebben maar.....

Een aantal voorbeelden waar geen extra waterinhoud aanwezig is:

1° koelmachine 40 kW

gekoeldwater 12-6°C
geregeld aan/uit.

Belasting: een LBK die buitenlucht afkoelt van 28°C/60% naar 18°C/90%.

Bij een DX systeem varieert de inblaasttemperatuur tussen ± 23°C en 11°C. Bij 23°C/70% schakelt de unit namelijk uit, waarbij op dat moment een inblaasttemperatuur van ± 11°C wordt gemaakt.

Bij de koudwaterinstallatie is er aanwezig:

3,6 ltr water in de platenwarmtewisselaar

8 ltr water in de leidingen van en naar de luchtbehandelingskast (2 meter).

15 ltr water in de koelbatterij.

In totaal is dit 27 liter, dat als actieve systeeminhoud functioneert.

De koelbatterij is geselecteerd voor 6-12°C bij vollast.

Er is een driewegklep geplaatst die de inblaasttemperatuur regelt tussen b.v. 21 en 15°C. Bij stilstand van de compressor wordt de watertemperatuur 21°C. Deze mag bij opstart weer dalen tot 10°C koelmachine intredetemperatuur. ΔT is dus 11°C in onze formule.

$B = 27$ liter.

$27 \text{ kg} \times 4,2 \times 11 \text{ K} = t \times 40$ $t = 31$ seconden.

Bij 21°C water is de tegenbelasting 0 kW. Bij 10 → 4°C zal minimaal 50% tegenbelasting aanwezig zijn. De draaitijd is dan 1 minuut. Om het aantal starts te beperken is misschien een graadje extra nodig. Duidelijk is wel dat bij dit watersysteem de inblaasttemperatuur variatie van 12°C naar ± 6°C daalt.

- 2° Koelmachine toegepast op luchtbehandelingskast werkend met recirculatie die op ruimtetemperatuur regelt. In dit geval wordt er capaciteit opgeslagen in zowel de 27 liter water als in het accumulatie vermogen van het gebouw. Bij een circulatievoud in de ruimte van circa 6 tot 8, hetgeen een normale Nederlandse AC installatie heeft, zal de ruimtetemperatuur ± 1½ K variëren. Deze variatie accepteren wij bij een DX systeem en thuis bij onze eigen CV allemaal.
- 3° Koelmachine toegepast met meerdere ventilatorconvectoren in meerdere ruimten. Bij deze toepassing zien wij al gauw dat de systeeminhoud oploopt tot ver boven de 100 ltr. Immers 40 kW geeft tenminste 20 fancoils die elk een eigen ruimte koelen. Bij dergelijke systemen is er geen extra buffer nodig. Alleen 1 enkele ruimte, die altijd koeling vraagt, zou een tekort aan capaciteit kunnen hebben omdat er gemiddeld een hoge temperatuur beschikbaar is bij deellast. Deze speciale ruimte moet worden ontworpen op b.v. 12-16°C i.p.v. het standaard 6-12°C traject.

Is er dan nooit noodzaak tot buffervaten ? Natuurlijk wel, want, terugkomend op ons begin, dit heeft wel degelijk invloed op de watertemperatuur fluctuatie. Een buffersysteem kan normaal gesproken geen oplossing bieden voor systemen waar ontvochtiging nodig is. De meest geëigende regeling hiervoor is een menginjectie toepassen. Deze regelkring is ook te adviseren wanneer zeer nauwkeurig een "vaste" temperatuur nodig is bij de gebruiker.

Wat is nu het advies?

Op het eerste gezicht zijn aan/uit geregelde koelmachines niet de meest gebruikersvriendelijke machines. Bedenk echter dat dit soort machines moet worden vergeleken met splitsystemen, DX systemen of aan/uit schakelende dakunits. Indien geen buffervat toegepast wordt, dan zal het effect op de ruimte nog altijd gunstiger zijn dan bij vergelijkbare DX systemen. Passen wij een grotere actieve systeeminhoud of buffertank toe, dan zal dit zelfs nog iets kunnen verbeteren, zeker in combinatie met een driewegregeling.

Bij units die twee of meer compressoren hebben, zal de grootst schakelende trap maximaal 40 kW blijven, maar de totale fluctuatie zal duidelijk afnemen. Starten we de compressoren om en om, dan zien we dat dit niet de maatgevende formule is. De minimale draaitijd van de compressor is dan bepalend. Als we uitgaan van weer 1 minuut, dan is er:

$$B = \frac{P \times 60}{4,2 \times 8} = 70 \text{ ltr.}$$

Bij 10% tegenbelasting bij een 80 kW unit wordt $P = 32$ kW. B nodig ± 60 ltr.
De variaties in Temperatuur worden dan in analogie met tabel 1:

DT B T vat 1 T naar bel.

2 K	280 L	9 >	7 °C	9 >	4 °C*
4 K	140 L	11 >	7 °C	11 >	4 °C*
8 K	70 L	15 >	7 °C	15 >	4 °C*

* regelend op uittrede watertemperatuur autoadaptief aangepast

De variatie in temperatuur naar de belasting gaat bij de extreem kleine waterinhoud van 70 liter van 18/4 °C naar 15/4 °C.

Worden het 3 of zelfs 4 compressoren, dan wordt dit uiteindelijk 14/4 °C resp. 13,5/4 °C . Veel belangrijker is dat bij dit soort koelmachines er vanzelf meer waterinhoud is.

Stel circa 280 ltr.

T naar bel.

2 compressor	9/4 °C*
3 compressor	8/4 °C
4 compressor	7,75/4,25 °C

* autoadaptiviteit werkt naar zo laag mogelijk.

Conclusie.

De noodzaak van voldoende actieve systeeminhoud is bij nieuwe generatie compacte waterkoelmachines, met hermetische compressoren en autoadaptieve microprocessorregeling, veel minder vanzelfsprekend geworden. Ook zonder de toevoeging van met name een buffervat kan in de meeste airconditioning toepassingen een bevredigend resultaat worden bereikt. Alleen in kritische (ontvochtigings) processen en/of bij enkele ruimten met een afwijkende hogere warmtelast kan een aangepaste selectie van de warmtewisselaar en/of een extra buffervat noodzakelijk zijn.