

Auteurs Ir. H. (Hans) van Wolferen, lid van de Expertgroep Sanitaire Technieken, Rob van Mil

## Installaties met CO<sub>2</sub>-warmtepompen

*Nu we onze gebouwde omgeving steeds vaker met warmtepompsystemen en lage temperatuur verwarming uitrusten, vereist dit een nieuwe en vaak innovatieve aanpak voor warmtapwaterbereiding. Het gemak van de cv-ketel met zijn hoge temperaturen die ook voor warm tapwater zorgt, is er vaak niet meer. Vandaar dat de TVVL Expertgroep Sanitaire Technieken medio vorig jaar een innovatiebijeenkomst organiseerde met als titel 'Collectieve hoog-temperatuur warmtepompsystemen voor warmtapwaterbereiding'. Dit artikel gaat over een van de presentaties die gehouden werd: installaties met CO<sub>2</sub>-warmtepompen door Bart Tabbers en Alexander Brockhus, Coolmark.*

Coolmark levert en verzorgt de engineering van warmtapwatersystemen gevoed door de Q-ton. Deze warmtepomp van Mitsubishi Heavy Industries maakt gebruik van het duurzame koudemiddel CO<sub>2</sub> en is specifiek ontworpen voor het opwarmen van tapwater tot 60 °C of zelfs 90 °C, ook bij een buitentemperatuur van -25 °C. Tabbers en Brockhus startten de presentatie met een inleiding waarin ze lieten zien dat het energiegebruik voor warmtapwater in kantoren in verhouding tot het totale energiegebruik hoger ligt dan in hotels (sheet 6). Verder zien ook zij de duidelijke trend dat de warmtevraag voor verwarming in nieuwbouw steeds verder afneemt en dat juist de behoefte aan koeling inmiddels bijna groter is dan verwarming. En dat terwijl de vraag naar warm tapwater gelijk blijft of zelfs toeneemt. Bijvoorbeeld door de groeiende vraag naar stortdouches van 15 liter per minuut.

Met warmtepompen zijn er vele concepten die op een energiezuinige manier lage temperatuur verwarming kunnen verzorgen. Maar voor tapwater, zo zeiden de specialisten van Coolmark, moeten we nog altijd minimaal 60 °C water op het verste tappunt kunnen leveren. Daarnaast is er een nieuwe randvoorwaarde; toekomstbestendige opwekkers moeten, als het warmtepompen zijn, over natuurlijke koudemiddelen (met een global warming potential (GWP) ≤5) beschikken (sheet 7).

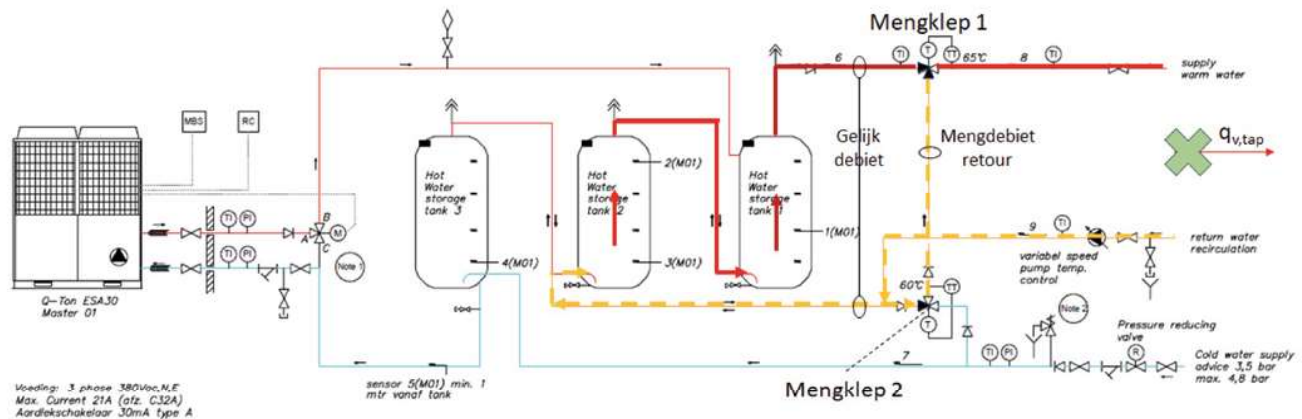
### Warmtepompconcept voor tapwater

Om aan al deze randvoorwaarden te kunnen voldoen, presenteerden Tabbers en Brockhus een warmtepompconcept met de Q-ton voor een collectief circulerend warmtapwatersysteem (sheet 8). De Q-ton is een toestel, zo vertelden zij, geschikt voor nieuwbouw en vervanging. "Elke Q-ton kan 10.000 liter warm tapwater per dag produceren. Mocht je dat willen en als de maximale tapwatercapaciteit niet nodig is, dan kun je het toestel ook nog gebruiken om een lage temperatuur afgiftesysteem te voeden", vertelde Tabbers. "Maar het toestel is niet bedoeld, en dus ook niet kosteneffectief, om hem primair voor ruimteverwarming in te zetten."

Een van de belangrijke voordelen van dit toestel is dat hij CO<sub>2</sub> als koudemiddel gebruikt (sheet 9). Dat heeft een GWP van 1 en is daarmee toekomstbestendig. Bovendien heeft CO<sub>2</sub> niet de nadelen van hoge giftigheid en ontvlambaarheid die andere natuurlijke koudemiddelen (respectievelijk ammoniak en propaan) wel hebben. Een nadeel van een toestel met CO<sub>2</sub> is wel de hoge druk van 5,65 pascal bij 20 °C. "Daarom moet dit toestel niet in een gebouw staan, maar buiten. Ook moet je als engineer er goed op letten dat de CO<sub>2</sub>, mocht het toestel ooit lekken, niet naar beneden – CO<sub>2</sub> is zwaarder dan lucht – een gebouw kan binnenstromen", zei Tabbers.

De reden dat dit toestel juist voor collectieve tapwatersystemen zeer geschikt is, is omdat het met een aanzienlijk hoger rendement functioneert dan conventionele warmtepompen in dergelijke systemen.

In sheet 10 wordt de koudecyclus van een CO<sub>2</sub> warmtepomp in het h-log(p) diagram getoond. De warmte wordt door de verdampers opgenomen uit de buitenlucht bij een constante temperatuur



Figuur 1: Rust. Retour wordt gemengd met heet vatwater tot gewenste temperatuur bij mengklep 1.

(blauwe pijl). Vervolgens wordt de druk met de compressor opgevoerd, waarbij de temperatuur stijgt (bolletjes). In de gaskoeler wordt de warmte afgegeven bij een gelijkblijvende druk, waarbij de temperatuur van de CO<sub>2</sub> daalt zonder condensatie. Dit is een wezenlijk verschil met gangbare warmtepompen waarbij de warmte wordt afgegeven in een condensor bij gelijkblijvende temperatuur. De cyclus wordt gesloten door expansie van het afgekoelde gas, waarbij tevens condensatie optreedt (verticale lijn omlaag). De COP is de verhouding tussen "warmte afgegeven aan het tapwater" en "elektrische energie".

In sheet 11 wordt getoond hoe de COP daalt bij een stijgende retourtemperatuur. Naarmate deze stijgt treedt er minder afkoeling op in de gaskoeler (traject 2 → 3) en schuift de (verticale) expansielijn naar rechts op. Hierdoor kan minder warmte worden opgenomen door de verdampers (het traject 4 → 1 wordt korter). Omdat het energiegebruik van de compressor gelijk blijft (1 → 2) daalt de COP.

#### Retourtemperatuur lager dan 30 °C

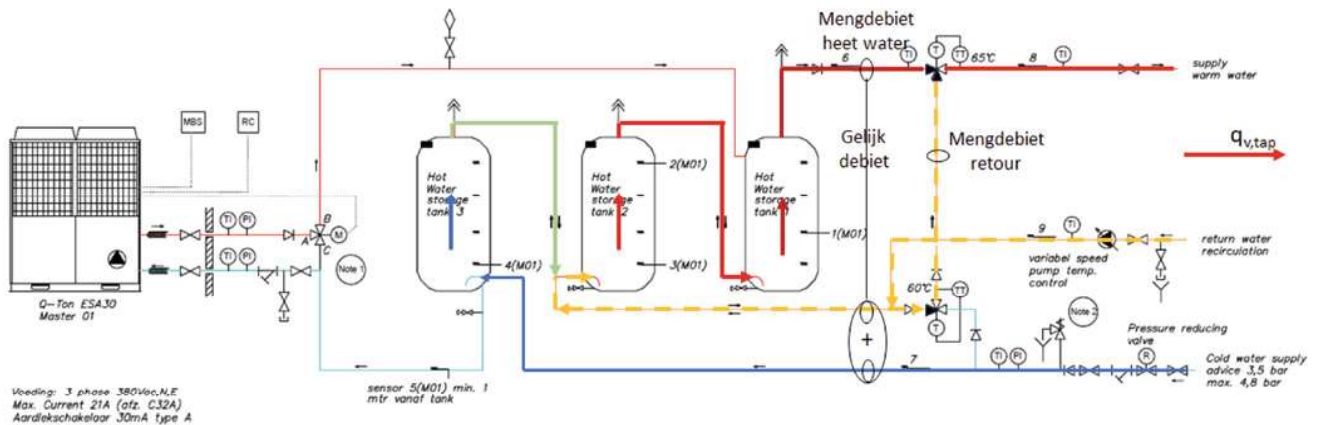
Collega Brockhus ging in op de engineering die van groot belang is om dit hoge rendement te bereiken (sheet 12). "Dit toestel met een vermogen van 30 kW produceert niet alleen veel warm tapwater, ook bij lage buitentemperaturen, maar het gaat ook niet kapot mocht er eens een hoge retourtemperatuur terugkomen. Voor een hoog rendement moet de retourtemperatuur wel lager zijn dan 30 °C (sheet

13). Is de retourtemperatuur van de warmtepomp 10 °C dan is de COP bij -10 °C buitentemperatuur nog altijd 2,6. Ligt de buitentemperatuur boven nul dan beweegt de COP zich tussen de 4 en 5,5", liet Brockhus zien (sheet 14).

Vervolgens toonde hij een configuratie waarbij het toestel gekoppeld is aan drie buffervaten (sheet 15). "Eerst bepaal je het aantal warmtepompen op basis van de hoogste tapvraag op dagbasis. Het streven is om de warmtepompen gelijkmatig en continue in te zetten. Vervolgens bepaal je hoeveel buffervaten je nodig hebt, afhankelijk van het tappatroon. Daarvoor wil ik weten hoeveel liter per dag nodig is, en hoe lang we er over mogen doen om deze voorraad weer op te warmen. Dit systeem werkt in elk geval niet als bij een cv-ketel, waar je een bepaald piekvermogen selecteert."

Om een hoge retourtemperatuur voor de warmtepomp te voorkomen wordt een andere aanpak gevolgd dan bij ketels. Dit is toegelicht aan de hand van sheet 16 voor een installatie met drie voorraadvaten.

1. Het setpoint van de warmtepomp en daarmee van de voorraadvaten is hoger dan voor het circulatiesysteem. Het setpoint van de Q-ton is 76 °C. Als bij het laden een tanksensor 65 °C bereikt dan is deze bereikt en geeft de bediening aan dat er 20% extra energie in de tank is opgeslagen. De temperatuursensoren 1-5 zijn zo geplaatst dat ze ieder 20% van de maximale energieopslag



**Figuur 2:** Kleine tapping < Mengdebiet heet water. Retour wordt gemengd met heet vatwater tot gewenste temperatuur.

Rest van de retour gaat naar onderzijde vat 2. Drinkwatertoevoer naar onderzijde vat 3.

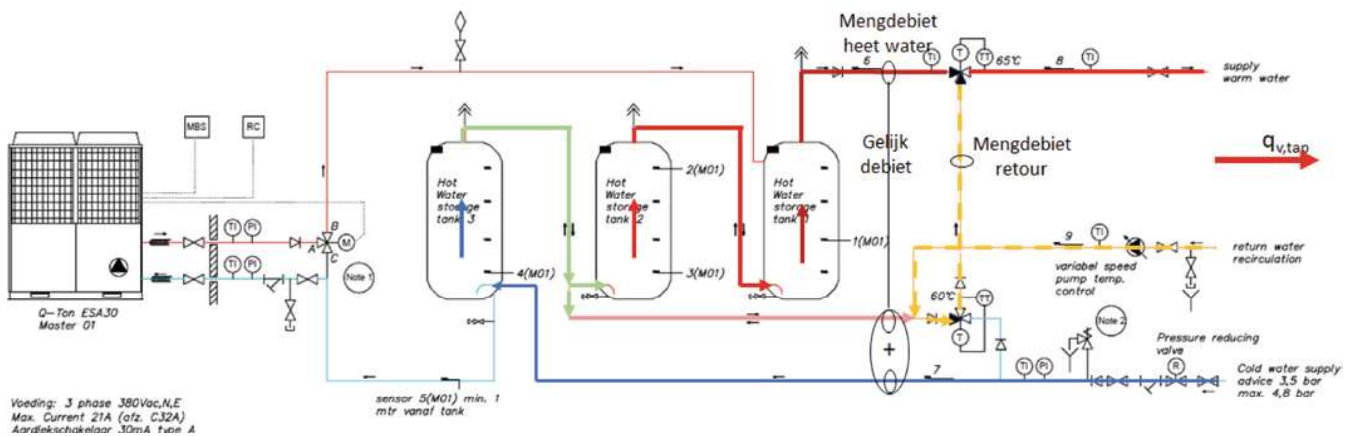
vertegenwoordigen. De warmtepomp draait door tot sensoren 1, 2 en 3 boven 65 °C zijn gekomen en gaat dan uit. Als alle sensoren onder de 60 °C komen (unreached) wordt de warmtepomp weer ingeschakeld. Het kan zijn dat er dan nog een restant (hogere) energie in de kop van de heetste tank zit. Vat 1 en 2 zijn na het opladen op deze temperatuur gebracht; vat 3 heeft in de regel een lagere temperatuur.

2. De aanvoer van het circulatiesysteem wordt op de gewenste temperatuur gemengd met heet water uit de bovenzijde van vat 1 en warm water uit de retour van het circulatiesysteem. Indien er niet getapt wordt, wordt het resterende retourwater toegevoerd aan de onderzijde van vat 2 (zie Figuur 1).

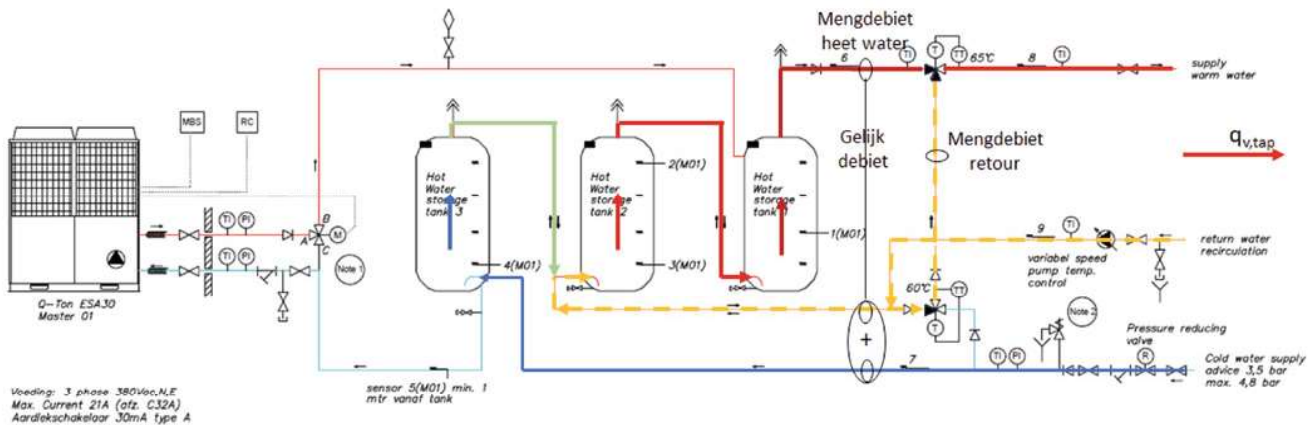
3. Tijdens een kleine tapping wordt koud water toegevoerd aan de onderzijde van vat 3. Nu is meer water vereist aan het mengpunt: heet water uit vat 1 en kouder water uit de retour van het circulatiesysteem (zie Figuur 2).

4. Tijdens een grote tapping wordt koud water toegevoerd aan de onderzijde van vat 3. Nu is meer water vereist aan het mengpunt: heet water uit vat 1, kouder water uit de retour van het circulatiesysteem en uit de bovenzijde van vat 3 (zie Figuur 3).

5. Bij ieder tapping wordt vat 3 vanaf de onderzijde gevuld met koud water en stroomt warmer water aan de bovenzijde van vat 3 naar vat 2. Als de temperatuur van alle sensoren tot onder 60 °C is



**Figuur 3:** Mengdebiet heet water. Alle retour + water uit vat 3 wordt gemengd met heet vatwater tot gewenste temperatuur. Drinkwatertoevoer naar onderzijde vat 3.



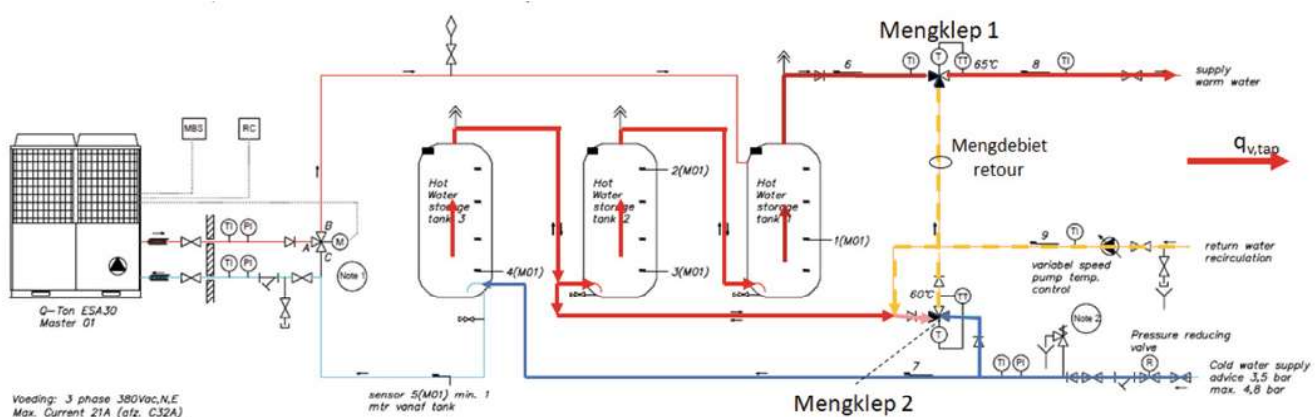
Figuur 4: Opladen zonder tapping. Koud water uit vat 3 via warmtepomp naar vat 1->2->3.

gedaald worden de vaten weer opgeladen met de warmtepomp (zie stap 1). Tijdens het opladen wordt koud water uit de onderzijde van vat 3 door de warmtepomp opgewarmd en naar de bovenzijde van vat 1 gevoerd. Door de stroming van vat 1 via vat 2 naar vat 3 worden de vaten opgewarmd totdat de sensoren 1, 2 en 3 boven 65 °C zijn gekomen. Hiermee is weer de begintoeestand bereikt (zie Figuur 4).

6. De temperatuur in vat 3 kan met deze bedrijfswijze langdurig lager dan 60 °C zijn. Daarom worden de vaten wekelijks thermisch gedesinfecteerd. Hierbij wordt het opladen voortgezet tot ook vat 3 (sensor 4) en de intrede van de Q/Ton (sensor 5) geheel tot 71 °C is opgewarmd (voorheen 65 °C).

7. Als vat 2 en 3 in hun geheel zijn opgewarmd is het water hiervan te heet om als "koud" mengwater te gebruiken aan mengpunt 1. Zolang er niet getapt wordt is dat geen probleem; dan volstaat het retourwater van het circulatiesysteem. Tijdens een tapping is meer mengwater nodig dan de retour van het circulatiesysteem levert. Dan wordt het hete water uit vat 2/3 gemengd met een (kleine hoeveelheid) koud aanvoerwater door mengklep 2 tot een temperatuur van 60 °C (zie Figuur 5).

Met deze aanpak wordt voorkomen dat de voorraadvaten geleidelijk op een temperatuur van 60 °C komen ten gevolge van de afkoeling in het circulatiesysteem. De iets hogere vattertemperatuur maakt het mogelijk dit warme retourwater opnieuw te benutten. Hierdoor wordt vooral koud water gebufferd in de voorraadvaten gedurende de tappingen.



Figuur 3: Grote tapping na desinfecteren. Alle retour + water uit vat 3 wordt voorgemengd met koud water (mengklep 2) en daarna met heet vatwater tot gewenste temperatuur. Rest koud water naar vat 3.

Door het iets hogere setpoint van de warmtepomp daalt de COP licht. Dit wordt overtroffen door de hogere COP dankzij de lage retourtemperatuur uit de vaten tijdens het opladen.

Een bijzonder situatie ontstaat als het warmteverlies in de circulatieleidingen relatief groot is ten opzichte van de tapvraag. Dan werkt de hierboven geschetste aanpak onvoldoende en ontstaat alsnog een groot volume water van ca. 60 °C. In dat geval wordt in het circulatiesysteem een extra warmteopwekker geplaatst (ketel, elektrische heater) waarmee het water uit de retour van het circulatiesysteem wordt opgewarmd (sheet 17). Als vuistregel geldt dat als het verlies (in kW) lager is dan 6% van het opgestelde WP vermogen geen aanvullende voorzieningen vereist zijn.

“We hebben tot nu toe maximaal 6 Q-tons in serie aan elkaar geschakeld. Met die 180 kW is het mogelijk om 100.000 liter warm tapwater per dag te produceren. Bovendien is het toestel stiller dan het gemiddelde VRF-systeem. Het maximum wordt behaald met 16 master Q-tons op 1 bediening; daarbij mag ieder Master Q-ton twee slaves mee nemen. Totaal komen we dan op 48 Q-tons.”

#### Belangrijkste aandachtspunten

Tot slot zetten Bart Tabbers en Alexander Brockhus de belangrijkste aandachtspunten nog even op een rij (sheet 18 - 21):

- De engineering vergt echt een andere benadering dan een tapwatersysteem met een cv-ketel.
- De retourtemperatuur naar de warmtepomp moet  $\leq 30$  °C voor een hoge COP. Alleen tijdens thermische desinfectie mag de retourtemperatuur hoger zijn en draait de Q-Ton met een laag rendement.
- Het warmteverlies op de recirculatieleiding mag niet te groot zijn. Mocht dat wel zo zijn, dan moet je zorgen voor een aparte verwarmingsbron die dit verlies kan opvangen (kleine delta T) bijvoorbeeld gasgestookte of elektrische cv-ketel of een propaan warmtepomp. Een maximaal verlies van 6% van het opgesteld Q-ton vermogen houden wij als leidraad aan. Maar is officieel geen vaste waarde. Wat we wel zien in de praktijk is dat het rendement van Q-ton verder zakt als dit percentage hoger wordt dan 10% - 12%.

- In periodes met weinig afname van tapwater moet de temperatuur in de ringleiding na het laatste tappunt nog steeds 60 °C zijn. Hiervoor moet men de ringleiding via een toerengeregelde pomp regelen.

Een hogere retourtemperatuur uit de ringleiding, bijvoorbeeld 62 °C, verstoort de sensoren in de tank. Deze zijn immers reached bij > 65 °C en unreached bij < 60 °C.

Krijgen we 62 °C uit de ring, dan zal sensor 3 later 2 en dan 1 die temperatuur van 62 °C krijgen en niet unreached worden. Met temperatuurschommeling in de ringleiding tot gevolg.

## Innovatiebijeenkomst

Dit artikel is een verslag van een van de presentaties die vorig jaar is gegeven tijdens de innovatiebijeenkomst met als titel 'Collectieve hoog-temperatuur warmtepompsystemen voor warmtapwaterbereiding'. De TVVL Expertgroep Sanitaire Technieken organiseerde deze bijeenkomst.

Tijdens deze bijeenkomst zijn naast deze voordracht ook presentaties gegeven door:

- Johan Koekkoek, directeur adviesbureau Visietech, over het door hem ontwikkelde EQw-concept;
- Jan Willem Brinkman van DPA Warmtepompen, over de opwek en distributie van warmwater;
- Coos Schouten en Maarten Roskam van Schouten Techniek, over een 3,5-pijps energieopwek- en distributiesysteem.