

Hydraulische opzet WKO verbeterd in Rgd-tool

Er is een standaard rekentool voor WKO-systemen gemaakt. Hiermee kunnen haalbaarheidstudies, ontwerpen, bestekken en monitoringseisen worden gegenereerd. Tijdens de gebruiksfase kan door monitoring de goede werking van de WKO worden beoordeeld. Onderdeel van deze Rgd-opdracht was het optimaliseren van de hydraulische opzet voor de diverse bedrijfssituaties. De specifieke randvoorwaarden die de diverse componenten hebben, zoals bronnen, warmtepompen, regeneratievoorzieningen maar ook buffervat, zijn zorgvuldig afgewogen om tot een gebalanceerd geheel te komen. Daarbij kwamen soms onverwachte resultaten aan het licht. Dit heeft geleid tot specifieke keuzes bij de opzet van de standaard principeschema's.

Ing. M.A. (Marcel) van Ingen, senior adviseur Techniplan Adviseurs bv

■ INLEIDING

Warmte/koudeopslag in de bodem is een veel toegepaste duurzame techniek in de gebouwde omgeving met een groot besparingspotentieel. Gezien de energiebesparingsdoelstellingen van de overheid zullen steeds meer gebouwen, zowel nieuwe als bestaande, voorzien worden van een duurzame installatie met duurzame warmte-/koudeopwekking (WKO).

In het kader van deze verwachte toename en het streven naar optimaal functionerende en te onderhouden WKO-installaties heeft de Rijksgebouwendienst (Rgd) besloten om een standaardisatie van deze WKO-installaties op te zetten. Dit heeft geleid tot het idee van een 'Model en Systematiek Warmte/KoudeOpwekking' (MS-WKO), dat door Techniplan Adviseurs (voor het bovengrondse gedeelte) en Tauw (voor het ondergrondse gedeelte) is uitgewerkt.

Bij de ontwikkeling van deze rekentool is door

Techniplan Adviseurs nadrukkelijk gekeken naar het hydraulisch ontwerp, met name de inpassing van de opwekkers en de buffervaten. Daarbij is niet zondermeer de opzet overgenomen zoals aangegeven in de ISSO 81 'Handboek integraal ontwerpen van warmtepompinstallaties voor utiliteitsgebouwen'. De uitwerking van dit onderwerp vond plaats mede in nauwe samenwerking met Tauw en de Rgd, en specialisten uit de WKO-branche. Er zijn drie workshops georganiseerd met vertegenwoordigers van de NVOE, diverse vooraanstaande adviesbureaus en installateurs. De deelnemers is om inbreng en terugkoppeling gevraagd. Zo is consensus verkregen over de juiste aanpak en invulling van het WKO-model inclusief de hydraulische opzet.

■ HYDRAULISCH ONTWERP

Bij de opzet van de MS-WKO rekentool is een brede aanpak gehanteerd. Zo is er onderzoek verricht naar het bepalen van de warmte- en

koudevraag, verdeeld over de verschillende groepen eindgebruikers (luchtbehandeling, decentrale apparatuur, computerkoeling), en naar de deelbijdrage van de diverse opwekkingscomponenten, waarbij ook de (ondergrondse) energiebalans inclusief de diverse vormen van regeneratie zijn beschouwd. Ook het hydraulische systeem is bij deze opdracht nader beschouwd, met name in voornoemde context van energievraag, deelopwekking en jaarbalans.

Essentieel bij het hydraulisch ontwerp is dat de afzonderlijke componenten (warmtepomp, bronsysteem, buffervaten) zo optimaal mogelijk aan elkaar moeten worden gekoppeld.

Om dit te kunnen doen is het noodzakelijk om de afzonderlijke componenten, maar ook de verschillende bedrijfssituaties, eerst goed te begrijpen.

Componenten

Bij het ontwerpen van een WKO-systeem

is het wenselijk om, vanuit energetische en financiële overwegingen, de twee belangrijkste opwekkers - bronnen en warmtepomp - zo efficiënt mogelijk in te zetten. Om dat goed te kunnen doen, moeten de belangrijkste specifieke kenmerken van beide deelsystemen worden beschouwd.

Bronnensysteem:

- levert een hoeveelheid water van een gegeven, in het seizoen variërende, temperatuur;
- de opgeslagen hoeveelheid energie (water) is eindig, daarom is het zaak dit medium efficiënt te gebruiken, wat neerkomt op een maximale delta T;
- in het algemeen redelijk goed regelbaar, met meerdere trappen met ieder een bandbreedte (tot vrijwel traploos), maar tussen 0% en circa 20% niet regelbaar;
- heeft veruit het hoogste rendement, dus deze moet als eerste worden ingezet;
- het bronnensysteem is de basis voor de warmtelevering met de warmtepomp;
- bij koudelevering kan het bronnensysteem zelfstandig functioneren.

Warmtepomp:

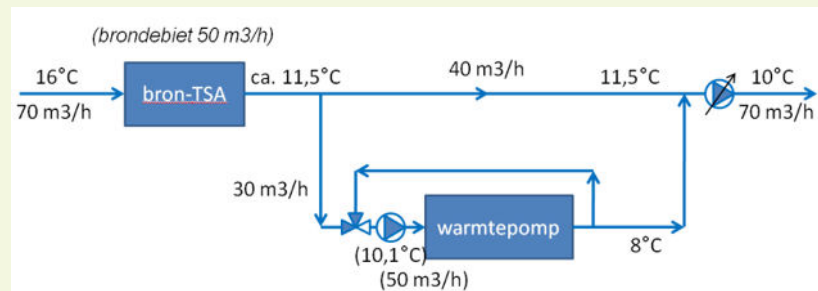
- produceert een vaste, instelbare temperatuur;
- produceert altijd tegelijkertijd zowel warmte als koude in een (redelijk) vaste verhouding;
- wordt minder efficiënt door een groot verschil tussen de 'uiterste' temperaturen (uittredetemperatuur van condensor en verdampers);
- wordt minder efficiënt in (lage) deellastsituaties;
- de regelbaarheid loopt sterk uiteen, van 'aan/uit' (kleine, simpele machine) tot getrapt in meer dan tien stappen (grote, duurere machine);
- voor warmtelevering is altijd de combinatie met het bronnensysteem nodig;
- voor koudelevering zorgt de warmtepomp alleen voor pieklastkoeling (en noodkoeling).

Op de warmtelevering wordt in deze context niet verder ingegaan; deze spreekt redelijk voor zich. Omdat het bron-TSA moet zorgen voor aanvoer van warmte naar de warmtepomp, staan deze uiteraard met elkaar in serie. Voor de koudelevering is dat anders. Beide componenten leveren koude en kunnen dus in principe in serie of parallel worden geschakeld.

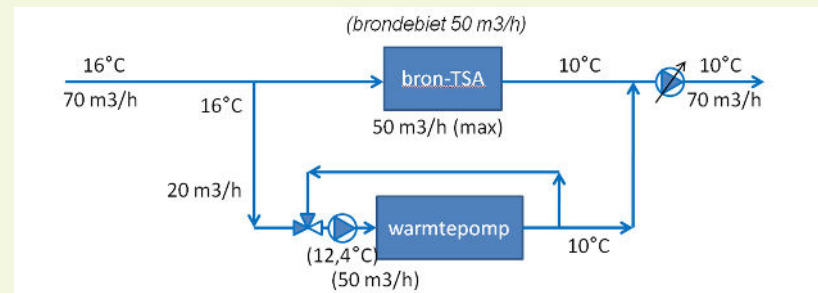
Basisopzet

Serie of parallel

Voor de hydraulische opzet van een WKO zijn er twee 'kampen': het bron-TSA kan in serie (conform de ISSO-81) ofwel parallel (gebruikelijker in de markt) aan de warmtepomp worden geschakeld. Daarbij draait het om de



-Figuur 1- Principeschema 'serie' volgens ISSO-81



-Figuur 2- Principeschema 'parallel'

bedrijfssituatie dat zowel het bron-TSA als de warmtepomp koude leveren. Immers, als alleen het bron-TSA koude produceert is er geen sprake van serie of parallel omdat er maar één koudeopwekker is.

Omdat de bronwatertemperatuur niet zondermeer beheersbaar is, kan het bronwater soms koud genoeg zijn om het gebouwwater 'direct' af te koelen naar de gewenste temperatuur ('voldoende geladen koudebron'). Maar soms is dit niet het geval ('te warme koudebron'). Deze twee uitgangspunten zijn separaat onderzocht. Daarbij is overigens uitgegaan van een gekoeldwatersysteem dat geschikt is voor een 'moderne', relatief hoge temperatuur (circa 10 °C of warmer). Bij een lagere temperatuur zal het rendement van de koudebron namelijk sterk teruglopen, en de uittredetemperatuur al snel te hoog zijn. De warmtepomp zal dan vrijwel altijd moeten nakoelen.

Optimum bij 'voldoende geladen koudebron'

Als de koudebron voldoende is geladen, lijkt het logisch om eerst al het retourwater uit het gebouw met het bron-TSA af te koelen. Deze levert immers de basiskoeling en is zeer efficiënt/duurzaam. Maar als de vraag groter is dan het nominale vermogen van het bron-TSA, dan zal ook het gebouwdebiet groter zijn dan het nominale debiet van het bron-TSA. Dit impliceert dat dit bron-TSA geschikt moet zijn voor het maximale gebouwdebiet.

Bij een relatief groot koelvermogen van de warmtepomp (bijvoorbeeld 50% van de totale koelvraag van het gebouw) zou het bron-TSA dus geschikt moeten zijn voor een dubbel zo groot waterdebiet (en de transportpomp geschikt moeten zijn voor de weerstand ervan).

Dit leidt weer tot een verminderde overdracht bij lagere deellastsituaties. Bovendien zal het water dan ook niet meer tot de gewenste temperatuur afgekoeld kunnen worden; het bronvermogen is daarvoor immers te klein (tenzij de koudebron zeer koud is). In die situatie zal de warmtepomp moeten bijspringen. Deze moet zelfs een temperatuur maken die lager is dan de gewenste aanvoertemperatuur naar het gebouw, ter compensatie van de 'te hoge' temperatuur uit het bron-TSA. Dit omdat niet al het water door de warmtepomp heen kan, een deel van het gebouwwater zal via een kortsluitleiding moeten stromen. Figuur 1 laat dit (gesimplificeerd) grafisch zien voor een willekeurige bedrijfssituatie (bron-TSA aan de gebouwszijde en warmtepomp beide geschikt voor maximaal 50 m³/h). Te zien is dat het water uit het bron-TSA voor een deel (23,3 m³/h) door de warmtepomp wordt gekoeld naar 8 °C. Dit deel wordt weer bijgemengd met het resterende water van 11 °C uit het bron-TSA (46,7 m³/h), wat uiteindelijk de gewenste 10 °C naar het gebouw oplevert. Overigens is de uittredetemperatuur van de warmtepomp enigszins willekeurig gekozen. Dit kan ook (maximaal) 9,6 °C zijn. Dan moet er 50 m³/h over de warmtepomp stromen en 20 m³/h door de kortsluitleiding. Ook kan het kouder zijn, bijvoorbeeld 6 °C. Dan gaat er 56 m³/h over de kortsluitleiding. In alle gevallen dient de temperatuur echter lager te zijn dan de in het gebouw gewenste temperatuur. Dit leidt tot een minder efficiënte inzet van de warmtepomp.

Bij een parallelschakeling (gesimplificeerd grafisch weergegeven in figuur 2) zal het nominale waterdebiet uit het bron-TSA wel direct

de gewenste temperatuur hebben (nog altijd uitgaande van een voldoende geladen koudebron). Het resterende waterdebiet wordt door de warmtepomp afgekoeld. Omdat de temperatuur uit het bron-TSA al de juiste waarde heeft, hoeft het water uit de warmtepomp dus ook niet kouder te worden gemaakt dan de gewenste temperatuur. De warmtepomp hoeft dus minder diep te koelen. Dit is gunstig voor het rendement.

Daarentegen levert het bron-TSA in figuur 1 iets meer vermogen, waardoor het restant aan benodigd koelvermogen (dat door de warmtepomp moet worden opgewekt) iets kleiner zal zijn. Concluderend blijkt dat, in de situatie dat de koudebron voldoende (koud) geladen is, zowel de serie als de parallelschakeling ieder een klein pluspunt te hebben. Er is nog geen duidelijke voorkeur voor één van de twee zichtbaar.

Te warme koudebron

Als de koudebron te warm is, zal de temperatuur uit het bron-TSA te hoog zijn bij beide varianten. Bij de serieschakeling resulteert dat in een groter debiet over de warmtepomp (zie figuur 1a).

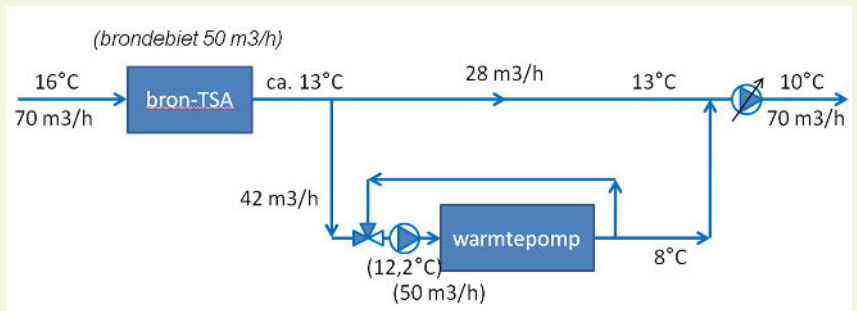
Bij de parallelschakeling zal de warmtepomp nu juist dieper moeten koelen (zie figuur 2a). Het voordeel van de parallelschakeling wordt nu minder (en ook nu moet de warmtepomp iets meer koelvermogen opwekken).

Sterker nog: bij een veel te warme koudebron of bij een grote koelvraag aan de warmtepomp zal de warmtepomp juist bij de parallelschakeling dieper moeten koelen. Dit zal uiteindelijk leiden tot het moeten reduceren van het debiet over het bron-TSA. De warmtepomp heeft het water dan nodig, wat ten koste gaat van het debiet over het bron-TSA. In figuur 2a is dit al te zien: de warmtepomp moet hier 5 °C maken; bij 6 °C uitrede heeft de warmtepomp meer water nodig en zal er minder over het bron-TSA stromen. In deze situatie is er dus wel een duidelijke voorkeur zichtbaar, namelijk voor de serieschakeling.

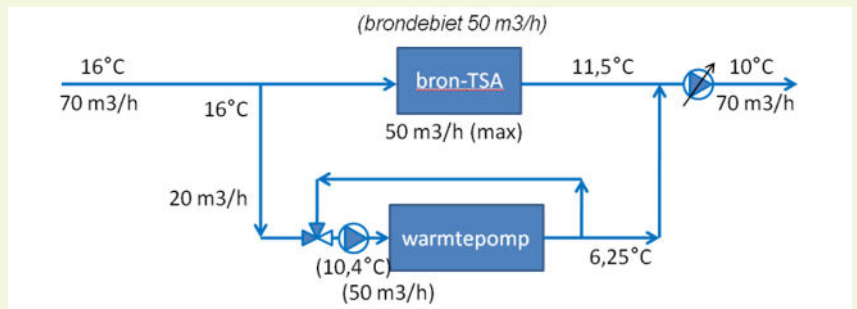
Buffer- of schakelvat

Wat nog niet aan de orde is gekomen, is het schakelgedrag van het bron-TSA en de warmtepomp. Met name de laatste is vaak in een zeer beperkt aantal trappen te regelen. De warmtepomp zal in de praktijk dus op enig moment altijd iets te veel of iets te weinig koeling leveren. De geëigende oplossing hiervoor is een buffervat, of eigenlijk een schakelvat.

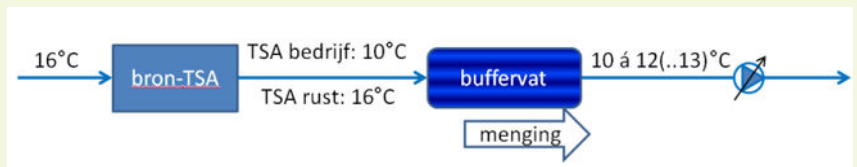
Een buffervat of mengvat (figuur 3) wordt altijd in dezelfde richting doorstroomd met een relatief groot debiet. Het effect van een buffervat ontstaat door vermenging en door



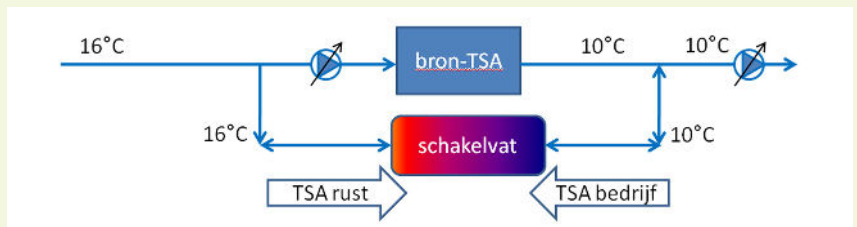
-Figuur 1a- Principeschema 'serie' volgens ISSO-81 en 'te warme koudebron'



-Figuur 2a- Principeschema 'parallel' en 'te warme koudebron'



-Figuur 3- Buffervat



-Figuur 4- Schakelvat

vertraging van temperaturen die in de tijd fluctueren. Bijvoorbeeld: het bron-TSA schakelt uit omdat er te weinig koelvraag is. De gebouwretour wordt dan niet meer gekoeld en de uitredetemperatuur van het bron-TSA loopt dan vrij acuut op van 10 °C naar 16 °C. Het buffervat zorgt er nu voor dat de temperatuur nog enige tijd 10 °C blijft, maar deze zal daarna gestaag oplopen. Als de temperatuur te hoog wordt (bijvoorbeeld 12 °C), zal het bron-TSA weer

inschakelen en gewoon weer 10 °C leveren. De temperatuur uit het buffervat zal nog enige tijd na-ijlen en zelfs nog verder oplopen (tot bijvoorbeeld 13 °C), en pas daarna weer teruglopen naar 10 °C.

Bij een schakelvat (figuur 4) is het de bedoeling dat er juist zo min mogelijk menging plaatsvindt. In dit geval zal de stromingsrichting (moeten) omkeren. Als het bron-TSA nu wordt uitgeschakeld, zal de gebouwretour aan het

schakelvat worden gekoppeld. Hierdoor wordt er nog altijd 10 °C geleverd; dit was opgeslagen in het schakelvat. Zodra het vat (bijna) leeg is zal het bron-TSA weer inschakelen en de koudelevering weer overnemen. Met het overschot aan koude dat door het bron-TSA wordt geleverd, wordt het schakelvat weer geladen. Een bijkomstigheid is dat er ook een pomp bij het bron-TSA geplaatst moet worden, anders kan de stromingsrichting over het schakelvat niet omkeren.

De oorzaak van het moeten in- en uitschakelen van de koude-opwekkers ligt in het feit dat vrijwel geen enkel apparaat traploos tot 0% van zijn maximale vermogen kan terugregelen. Als een apparaat in bedrijf is in zijn laagste vermogenstrap, zal er dus tijdelijk een overschot aan beschikbaar koelvermogen zijn. Dit kan zich soms uiten in een tijdelijke verlaging van de temperatuur, maar meestal in de vorm van een overschot aan gekoeld water.

De hoeveelheid water en de delta-T vertegenwoordigen dan samen het vermogenoverschot. Dus om het opslagvolume te beperken is een grote delta-T wenselijk. Dit duidt dus op een schakelvat. Maar ook doordat de aanvoertemperatuur naar het gebouw in principe niet varieert, is een schakelvat te verkiezen boven een buffervat. Voorwaarde is dan natuurlijk wel dat het schakelvat tussen de meest extreme temperaturen geschakeld is.

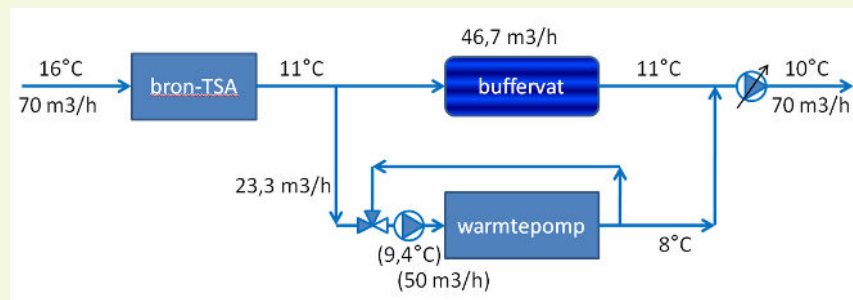
Overigens wordt een dergelijk vat vaak verticaal geprojecteerd, met de koude aansluiting aan de onderzijde en de warme aan de bovenzijde om een thermische gelaagdheid na te streven. Op zich wordt dit ook aanbevolen, maar in de praktijk moet rekening gehouden worden dat een deel van het opgeslagen volume altijd vermengd wordt. De gelaagdheid zal pas herstellen na langdurige stilstand, hetgeen zelden het geval is (zie ook ISSO 81, bijlage F).

Pompen

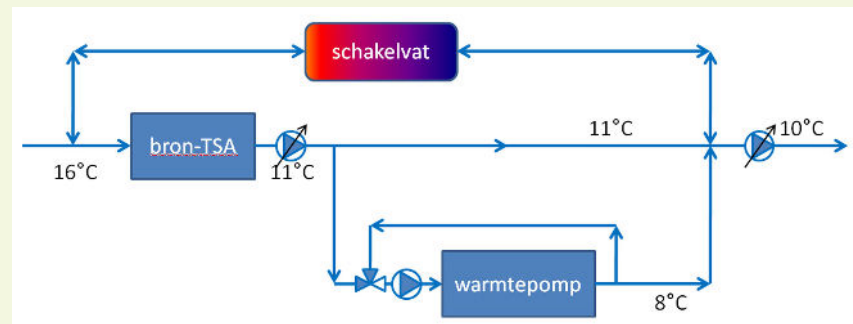
In de verdere uitwerking van het principe-schema is ook besloten om de verschillende opwekkers ieder hun eigen pomp te geven. Hierdoor wordt de installatie overzichtelijker en beter regelbaar, en onafhankelijk van de distributie in het gebouw. Daardoor kunnen bijvoorbeeld ook de regelventielen met minder autoriteit (=minder weerstand, dus zuiniger) worden geselecteerd. Ook kan de druk beter worden afgestemd op iedere opwekker. Bij een bron-TSA bijvoorbeeld, levert een wat groter drukverschil een betere overdracht op, met name ook in kleinere deellastsituaties.

Complete hydraulische schakeling

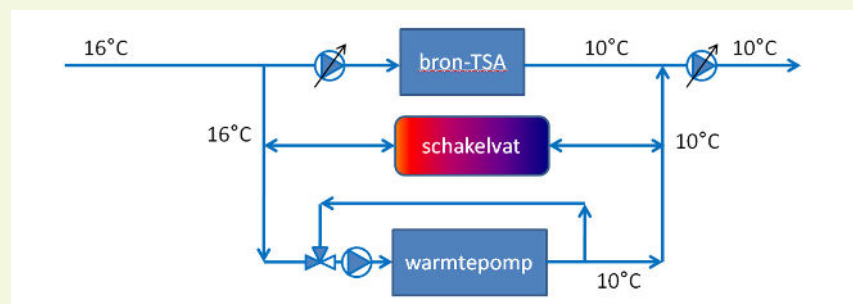
Een echte voorkeur voor een serie of parallelschakeling is er dus nog niet. Daar komt



-Figuur 5a- Principeschema 'serie' volgens ISSO-81 met buffervat



-Figuur 5b- Principeschema 'serie' volgens ISSO-81 met schakelvat



-Figuur 6- Principeschema 'parallel' met schakelvat

nog bij dat het hierbij om een bedrijfssituatie met hoge koelvraag gaat of met een relatief warme koudebron. Beide situaties komen in principe relatief weinig voor. Daardoor zijn de verschillen in efficiëntie op jaarbasis vrijwel verwaarloosbaar.

De inpassing van het buffervat leidt op zich nog wel tot nieuwe inzichten. In het schema van figuur 5a met de serieschakeling is de buffer namelijk een mengbuffer, waar een relatief groot debiet doorheen gaat. Dit buffervat moet groot zijn, immers, het temperatuurverschil erover is relatief klein. Deze inpassing is eigenlijk als schakelvat alleen echt nuttig en efficiënt voor 'stand-alone'-bedrijf van de warmtepomp. Als variant hierop zou het buffervat anders aangesloten moeten worden om er een volwaardig schakelvat

van te maken, zowel voor het bron-TSA en de warmtepomp afzonderlijk, als voor beide gezamenlijk (figuur 5b).

Omdat in de meeste situaties de parallelschakeling toch de beste resultaten oplevert, zowel vanuit efficiëntie als vanuit overzichtelijkheid en regelbaarheid, is dit als basis voor het schema van figuur 6 gekozen.

Het schakelvat zal nu, als alleen het bron-TSA in bedrijf is, de overmaat aan bronkoeling opslaan en bij stilstand van het bron-TSA juist koeling kunnen leveren. En als de warmtepomp bijspringt, zal de overmaat aan koeling hieruit worden opgeslagen en beschikbaar zijn als de warmtepomp uitschakelt.

Om toch ook de nadelen van de parallelschakeling in sommige omstandigheden te omzeilen, met name bij een te warme koudebron, is

besloten om ook de serieschakeling te integreren als een bedrijfssituatie. Dit blijkt verrassend eenvoudig te kunnen, met instandhouding van de functionaliteit van het schakelvat (figuur 7) Deze serieschakeling wordt altijd vrijgegeven als de warmtepomp moet bijspringen. Vooral als de uittredetemperatuur van het bron-TSA te hoog is, zal een deel van het debiet over het bron-TSA worden 'tegengehouden' door het driewegventiel en via de serieschakeling worden teruggevoerd naar de warmtepomp. Deze zorgt voor afkoeling van dit water, dat gemengd is met het restant van het gebouwretourwater.

Het 'koudere' water uit de warmtepomp wordt vervolgens door het driewegventiel gemengd met het 'warmere' water uit het bron-TSA tot de gewenste waarde. Een overmaat aan koud water wordt ook in deze situatie aan het schakelvat aangeboden. Evenzo wordt een eventueel tekort aan koud water door het schakelvat gesuppleerd.

Volledig prinseschema

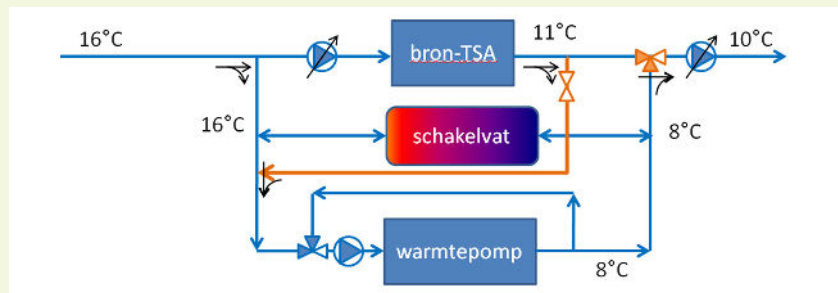
Laden koude uit warmtepomp

De laatste stap is het implementeren van de overige bedrijfssituaties. Daarbij is het opslaan van koude die door de warmtepomp wordt geproduceerd (als 'restproduct' van de warmtelevering) één van de belangrijkste. In dat geval wordt de stromingsrichting over het bron-TSA (primair en secundair) omgekeerd (figuur 8).

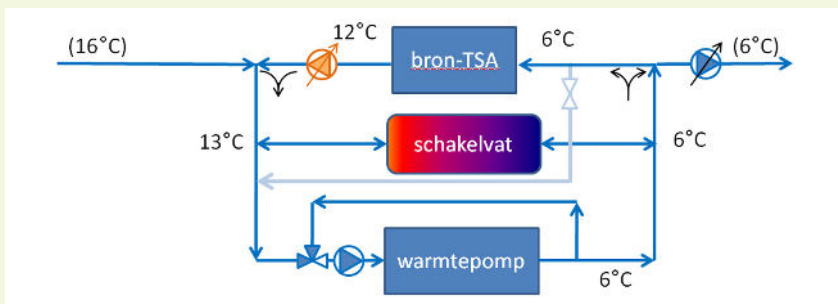
Te zien is dat ook nu het schakelvat weer goed is ingepast. Ook is een eventuele (kleine) koelvraag vanuit het gebouw te leveren. Bijzonderheid is dat de koudelevering naar het gebouw met erg koud water geschiedt. Dit is echter in het algemeen geen probleem (het betreft de wintersituatie en dan is de omgevingslucht relatief droog; naregelingen zorgen voor de juiste temperaturen verder in het gebouw).

Laden koude uit regeneratie

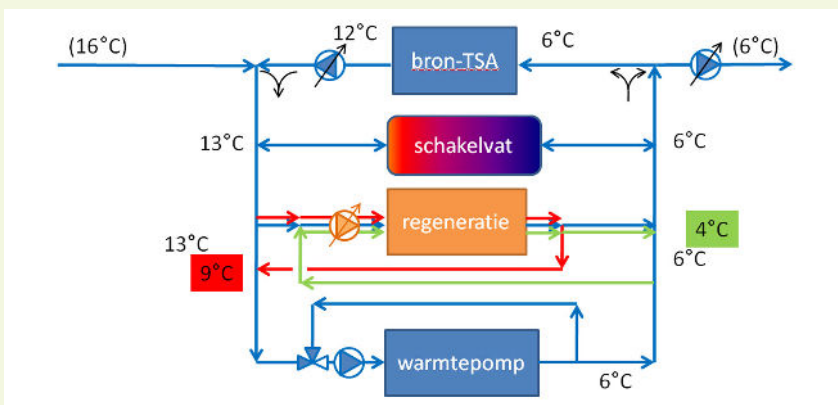
Veelal is de beschikbare hoeveelheid koude van de warmtepomp niet voldoende. Daarom wordt aanvullend een regeneratievoorziening toegepast. Vaak is dit een droge koeler. De uitdaging bij een dergelijk apparaat is om zo veel mogelijk koeling in te vangen, maar wel van een voldoende lage temperatuur, en om het apparaat ook niet buitensporig groot te maken. In de praktijk is gebleken dat er veel situaties zijn waarbij de regeneratie te weinig kan koelen of soms juist te veel koelt. Een slimme combinatie met de warmtepomp biedt dan extra flexibiliteit: Deze kan immers vrij onafhankelijk van de buitencondities koelen (maar is op zijn beurt weer afhankelijk van de warmtevraag in het gebouw).



-Figuur 7- Principeschema 'parallel en serie' met schakelvat



-Figuur 8- Principeschema 'parallel en serie' voor bodemopslag



-Figuur 9- Principeschema - 'parallel en serie' voor bodemopslag, ook met regeneratie

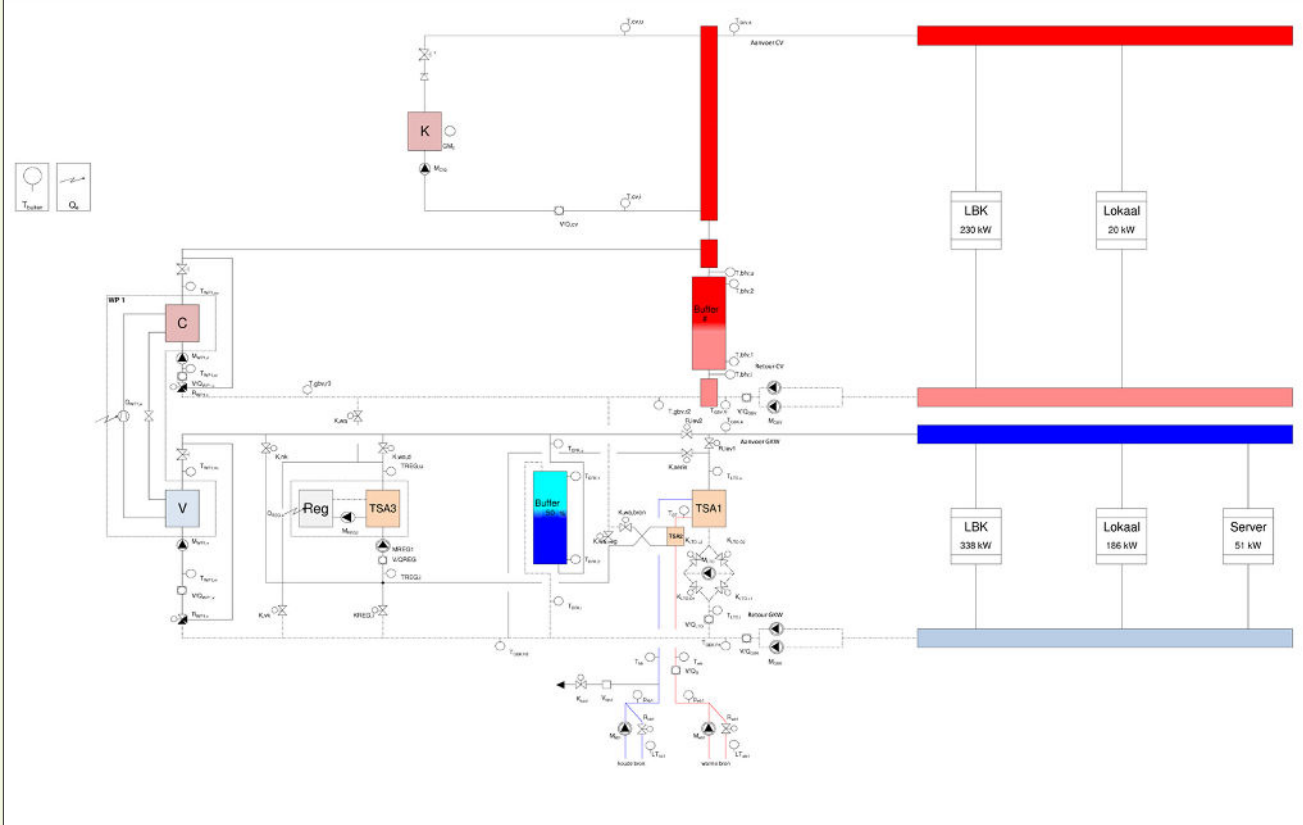
Om hier maximaal van te kunnen profiteren is ook bij de inpassing van de regeneratie gekozen voor een omschakelbare parallel- of serieschakeling. Of anders gezegd: de regeneratie kan worden ingezet als voorkoeling indien de buitencondities eigenlijk aan de warme kant zijn (in serie met de warmtepomp, die koelt na), als parallelkoeling indien de buitencondities ideaal zijn (samen met de warmtepomp die ook koude produceert) of als nakoeling indien het erg koud is en er geen extra brondebiet meer beschikbaar is (in serie met de warmtepomp, die hoeft dan niet zo diep te koelen). In

figuur 9 is dat aangegeven (rood = voorkoeling, blauw = parallelkoeling, groen = nakoeling).

Overige bedrijfssituaties

Om het verhaal compleet te maken, volgt een aantal andere bijzonderheden:

- in sommige gevallen is er geen koudetekort maar een warmtetekort in het bronsysteem. De regeneratie is hydraulisch zodanig ingepast, dat deze niet alleen voor koude-invang maar ook voor warmte-invang kan zorgen, deels ook via een extra TSA dat in serie met het bron-TSA staat;



-Figuur 10- Volledig principeschema uit MSO-WKO rekentool

- wordt de warmtepomp als koelmachine ingezet, dan kan de warmte van de condensor niet altijd in het gebouw worden gebruikt. In het principeschema is er rekening mee gehouden dat deze warmte ofwel op het bronsysteem afgevoerd kan worden (via hetzelfde TSA in serie met het 'normale' bron-TSA), ofwel op de regeneratie;
- de inpassing van de pieklast warmtelevering is afhankelijk van de toegepaste techniek. Bij stadsverwarming dient de retourtemperatuur voldoende laag te zijn. Daarom is deze parallel aan de warmtepomp geschakeld. Bij een cv-ketel is die retourtemperatuur minder belangrijk. Dan is het vanuit de warmtepomp wenselijk om de ketel in serie met de warmtepomp te zetten. Beide zijn in het model uitgewerkt.

RESULTAAT

Op basis van de hiervoor geschetste onderbouwing blijkt dat de opzet conform ISSO 81, waarbij het bron-TSA in serie met de warmtepomp is geschakeld, niet in alle geval-

len de meest optimale resultaten oplevert. Dit komt mede door het schakelgedrag van zowel het bronsysteem als de warmtepomp en het 'omgekeerd' functioneren in geval van koudeopslag. Gebleken is dat dit verbeterd kan worden door de juiste inpassing van een schakelvat en door een extra leiding die het mogelijk maakt om het bron-TSA ofwel in serie ofwel parallel aan de warmtepomp te

schakelen. Dit alles heeft uiteindelijk geleid tot het gedetailleerde, totale principeschema van figuur 10. De verschillende bedrijfs situaties zijn in de MS WKO-rekentool met ingekleurde principeschema's uitgewerkt en in een regelschrijving nader beschreven. Daarop wordt in dit artikel niet verder ingegaan. Hiermee is een standaard opgezet die voor de meeste gebouwen kan worden aangehouden.

De MS-WKO-rekentool zal als standaard worden gebruikt bij de opzet van alle WKO-systemen door/namens de Rgd, en wordt door de Rgd beschikbaar gesteld aan de partijen die bij de projecten betrokken waren.

Dit artikel behandelt slechts één aspect van de rekentool: de verbeterde hydraulische opzet. Over de totale opzet en mogelijkheden ervan zal separaat worden gepubliceerd. Eén van de mogelijkheden is een globale scan van de geschiktheid van de bodem en de energievraagbe-
paling.

Bij de opzet van de MS-WKO-tool is intensief en diepgaand samengewerkt tussen opdrachtnemers Techniplan Adviseurs (naast de auteur met name ook ing. M.F.W. Keijser, ing. D.J. Molenaar, ing. R. de Jong en ing. R. van Staveren) en Tauw (met name ir. G. van Ee, ir. J.M. Bloemendal en ir. M. Afanasyev) en opdrachtgever Rijksgebouwendienst (ing. J.M.J.M. Mimpfen en ing. L. den Dekker).