

# Duurzaam Koelen

Afstudeerscriptie  
HBO - Werktuigbouwkunde

Stephen van Gilst  
08024723  
Mul BV ontwerpers & adviseurs  
Zwolleweg 10 te Gouda



**DE HAAGSE**  
HOGESCHOOL

|                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| Datum:         | 20 december 2012            |
| Student:       | S. van Gilst                |
| Studentnummer: | 08024723                    |
| Adres:         | Zwolleweg 10, 2803 PS Gouda |
| Telefoon:      | (0182) 53 88 20             |
| Fax:           | (0182) 53 89 63             |
| E-mail:        | s.vangilst@mulbv.nl         |



## Voorwoord

Deze rapportage is een onderdeel van de afstudeerstage van Stephen van Gilst voor de opleiding HBO – Werktuigbouwkunde aan de Haagse Hogeschool te Delft. Tijdens het afstuderen wordt van de afstudeerder verwacht dat hij/zij de, tijdens de opleiding tot nu toe, opgedane kennis en kunde toepast tijdens een zelfstandig uit te voeren afstudeerproject.

Tijdens dit proces is deze rapportage geproduceerd met als doel de opgedane kennis te delen met medewerkers van Mul BV ontwerpers & adviseurs. Daarnaast is dit rapport een terugkoppeling, naar de examinatoren, van de resultaten op het verrichte werk en ter onderbouwing van de ondernomen stappen. De vorm en inhoud is daarom ook informatief.

Naast de rapportage is er ook een Excel document/tool geproduceerd met als doel om relatieve informatie te bundelen. Daarnaast dient deze tool als hulpmiddel om voor specifieke projecten de nodige informatie te filteren en om voor deze specifieke projecten enkele waardes met betrekking tot kosten en milieu te genereren. Dit geschiedt op basis van verschillende formules en regels welke in de tool zijn verwerkt. Deze formules en regels worden in dit rapport toegelicht. De tool is ontwikkeld voor de medewerkers van Mul BV ontwerpers & adviseurs en is daartoe niet openbaar. Wel zijn er in bijlage 3 enkele schermvoorbeelden opgenomen.

Het rapport, en daarmee ook de tool, is tot stand gekomen met dank aan de verschillende bedrijven die voorzien hebben in de nodige informatie. Mijn dank gaat daarbij voornamelijk uit naar Mul BV ontwerpers & adviseurs die de mogelijkheid tot het uitvoeren van deze afstudeerstage geboden heeft.

Gouda, 20 december 2012

Stephen van Gilst  
Student Werktuigbouwkunde  
Haagse Hogeschool, Delft  
(Aankomend) Projectmedewerker  
Mul BV ontwerpers & adviseurs

# Inhoud

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Samenvatting .....</b>                                              | <b>5</b>  |
| <b>Verklarende woordenlijst .....</b>                                  | <b>7</b>  |
| <b>Symbolenlijst .....</b>                                             | <b>10</b> |
| <b>1 Inleiding .....</b>                                               | <b>11</b> |
| <b>2 Innovatieve koelsystemen .....</b>                                | <b>13</b> |
| 2.1 Diabatische koeling .....                                          | 14        |
| 2.1.1 Dry To Cool .....                                                | 16        |
| 2.2 Desiccant and Evaporative Cooling .....                            | 18        |
| 2.3 Adsorptiekoeling .....                                             | 20        |
| <b>3 Ontwerpparameters innovatieve koelsystemen.....</b>               | <b>22</b> |
| 3.1 Coolerado.....                                                     | 23        |
| 3.1.1 M30 .....                                                        | 24        |
| 3.1.2 M50 .....                                                        | 25        |
| 3.1.3 C60.....                                                         | 26        |
| 3.2 Statiqcooling.....                                                 | 27        |
| 3.3 Optimair.....                                                      | 30        |
| 3.4 Robatherm.....                                                     | 31        |
| 3.5 SorTech AG.....                                                    | 32        |
| 3.5.1 ACS08.....                                                       | 32        |
| 3.5.2 ACS15.....                                                       | 33        |
| 3.6 Geveke.....                                                        | 34        |
| 3.6.1 GEVAD-110.....                                                   | 34        |
| 3.6.2 GEVAD-215.....                                                   | 35        |
| 3.6.3 GEVAD-430.....                                                   | 35        |
| 3.7 Overzichtsmatrix.....                                              | 36        |
| <b>4 Selectietool koelsystemen.....</b>                                | <b>37</b> |
| 4.1 Stap 1: Invoer van gegevens en berekeningen.....                   | 38        |
| 4.1.1 Invoerblad.....                                                  | 38        |
| 4.1.2 Gegevensblad .....                                               | 38        |
| 4.1.3 Gegevensinvoer koelsystemen.....                                 | 38        |
| 4.1.4 Berekeningen koelsystemen.....                                   | 39        |
| 4.1.5 Berekeningen secundaire systemen .....                           | 40        |
| 4.1.6 Alle systemen .....                                              | 40        |
| 4.2 Stap 2: Selectieverkleining op basis van eisen en/of wensen .....  | 41        |
| 4.2.1 Aandrijving.....                                                 | 42        |
| 4.2.2 Afgiftesysteem .....                                             | 42        |
| 4.2.3 Ontvochtiging .....                                              | 43        |
| 4.2.4 Bevochtiging.....                                                | 43        |
| 4.2.5 Verwarming .....                                                 | 43        |
| 4.2.6 Procesdiagram .....                                              | 43        |
| 4.3 Stap 3: Selectieverkleining op basis van secundaire systemen ..... | 44        |
| 4.4 Selectieblad en adviesblad .....                                   | 45        |

|   |                              |    |
|---|------------------------------|----|
| 5 | Conclusie/aanbevelingen..... | 46 |
| 6 | Bronnen.....                 | 47 |

|            |                                                  |  |
|------------|--------------------------------------------------|--|
| Bijlage 1  | Principeschema selectietool.....                 |  |
| Bijlage 2  | Procesdiagram selectieverkleining (stap 2) ..... |  |
| Bijlage 3  | Schermvoorbeelden selectietool.....              |  |
| Bijlage 4  | Diabatische koeling .....                        |  |
| Bijlage 5  | Berekeningen Statische koeling .....             |  |
| Bijlage 6  | Desiccant and Evaporative Cooling .....          |  |
| Bijlage 7  | Adsorptiekoeling.....                            |  |
| Bijlage 8  | Conventionele systemen.....                      |  |
| Bijlage 9  | State-of-the-Art systemen .....                  |  |
| Bijlage 10 | Energieprestatie.....                            |  |
| Bijlage 11 | Reflectierapport .....                           |  |

## Samenvatting

Om als ontwerper en adviseur een weloverwogen advies te kunnen geven, is het belangrijk om op de hoogte te zijn en blijven van de innovatieve technieken. Aangezien er in de huidige periode steeds meer behoefte en noodzaak is aan duurzame energietoepassingen, worden veel van deze innovatieve systemen gekenmerkt door de mate van duurzaamheid. Dit geldt dan ook ten eerste voor innovatieve koelsystemen. Deze systemen zijn niet even veelbesproken als de innovatieve warmte- en elektriciteitssystemen, maar zijn daardoor nog niet minder belangrijk.

De innovatieve koeltechnieken zijn:

- Adsorptiekoeling
- Desiccant and Evaporative Cooling (DEC)
- Diabatische koeling
- Dry To Cool (D2C)

Adsorptiekoeling heeft overeenkomsten met absorptiekoeling. Het verschil is echter dat adsorptiekoeling gebruik maakt van vast sorptiemateriaal waarbij het koudemiddel wordt geadsorbeerd. Bij absorptie wordt gebruik gemaakt van vloeibaar sorptiemateriaal waarbij het koudemiddel wordt geabsorbeerd. Hierbij is warmte vereist met relatief hoge temperaturen (boven 90°C). Voor adsorptie daarentegen is warmte nodig van minimaal 55°C. Hierdoor worden combinaties met bijvoorbeeld zonnecollectoren een stuk interessanter.

Een DEC-systeem is uitgevoerd als een complete luchtbehandelingskast met daarin onder meer een adsorptiewiel, een warmtewiel en adiabatiscbe bevochtiging geïntegreerd. Middels het adsorptiewiel wordt toevoerlucht gedroogd en stijgt de temperatuur. Door de hogere temperaturen kan er vervolgens meer warmte worden overgedragen via het warmtewiel en koelt de toevoerlucht weer af. Om deze lucht vervolgens verder, voorbij de begintemperatuur, af te koelen wordt de toevoerlucht adiabatiscb bevochtigd. Doordat de toevoerlucht eerst gedroogd is, zal de absolute luchtvochtigheid in totaliteit niet stijgen.

De retourlucht zorgt voor afkoeling van het warmtewiel en voor regeneratie van het adsorptiewiel. Hiertoe wordt deze retourlucht adiabatiscb bevochtigd voor afkoeling van het warmtewiel en verwarmd middels een verwarmingsbatterij voor de regeneratie van het adsorptiewiel. De warmte die daarvoor nodig is kan opgewekt worden door bijvoorbeeld zonnecollectoren.

Diabatische koeling, ook wel dauwpuntskoeling genoemd, lijkt op indirect adiabatiscbe koeling, maar kent enkele belangrijke verschillen. Bij diabatische koeling wordt toegevoerde lucht gekoeld door warmte over te dragen aan een warmtewisselaar. Aan de andere zijde van deze warmtewisselaar, de zijde van de retourlucht/proceslucht, bevindt zich een hygroscopische laag. Aan deze hygroscopische laag wordt constant vocht toegevoerd. Dit vocht verdampt waardoor de warmtewisselaar en daarmee de toevoerlucht wordt gekoeld. De retourlucht dient ervoor om deze waterdamp vervolgens af te voeren. Door dit principe kan er gekoeld worden tot voorbij de natteboltemperatuur en richting de dauwpuntstemperatuur.

Dry To Cool is een uitvinding van het bedrijf Optimair. Het betreft de combinatie van ontvochtigen en diabatische koeling. Om de beperkingen van koelen tot de dauwpuntstemperatuur op te heffen hebben zij een speciale droger ontwikkeld. Hierbij hebben zij gebruik gemaakt van een nieuw vocht opnemend materiaal dat zij eveneens zelf hebben ontwikkeld. Door toevoerlucht eerst te drogen en vervolgens diabatisch te koelen, kan deze lucht gekoeld worden tot voorbij de oorspronkelijke dauwpuntstemperatuur. Daarbij is het voordeel van dit 'smart material' dat dit materiaal bij relatief lage temperaturen geregenereerd kan worden. Voor deze regeneratie is een regeneratie-unit aan het systeem toegevoegd met daarin een kruisstroomwisselaar. Deze heeft een rendement van 90%. De warmte die voor de regeneratie nodig is kan op diverse manieren worden opgewekt, zoals bijvoorbeeld middels zonnecollectoren.

Op basis van de verschillende specificaties van leveranciers en producenten is een tool ontwikkeld. Deze tool is geproduceerd in Excel. Hiermee kan snel en eenvoudig bepaald worden welke innovatieve koelsystemen binnen een specifieke situatie zijn toe te passen. Dit gebeurt middels enkele vragen die gesteld worden over de specifieke situatie. Hiermee wordt bepaald welke koelsystemen binnen de specifieke situatie toepasbaar zijn. Doordat de mogelijkheden worden beperkt is een vergelijking eenvoudiger te maken. Zo hoeft je systemen die niet toepasbaar zijn niet verder door te rekenen of te vergelijken.

Daarnaast rekent de tool voor deze innovatieve koelsystemen uit wat de geschatte investeringskosten, jaarlijkse kosten (exploitatiekosten) en jaarlijkse uitstoot van CO<sub>2</sub> is. Daarbij is gebruik gemaakt van verschillende formules en regels. Het doel van deze tool is om in een vroeg stadium van een project, bijvoorbeeld in conceptfase, te bepalen welke koelsystemen binnen het specifieke project toepasbaar zijn en om deze onderling te vergelijken.

De belangrijkste invoergegevens die nodig zijn voor de berekeningen betreffen de volgende:

- Het maximaal benodigde koelvermogen.
- De totale jaarlijkse koelvraag/koeling.
- Het totale jaarlijkse aantal uren koeling.
- Het aantal jaar waarover de berekening van de totale kosten dient te geschieden.

Als uitvoer geeft de tool een overzicht dat de mogelijk toe te passen systemen. Daarnaast geeft de tool een top vijf van de berekende systemen op basis van totale kosten over het opgegeven aantal jaren (total cost of ownership). Daarnaast worden de investeringskosten, jaarlijkse kosten en jaarlijkse uitstoot van CO<sub>2</sub> genoemd. Tussenresultaten en specificaties van de diverse systemen zijn daarbij terug te vinden in het Excel document.

Er zijn diverse uitbreidingsmogelijkheden denkbaar voor de tool, die de toepassingsmogelijkheden en de toepassing ervan zullen bevorderen. Zo zouden de invoergegevens bijvoorbeeld kunnen volgen uit een berekening op basis van kengetallen en klimaatgegevens, aangezien er veelal in het stadium van een project waarvoor de tool bedoeld is, dergelijke specifieke gegevens nog niet bekend zijn.

## Verklarende woordenlijst

| Begrip                    | Betekenis                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Absolute luchtvochtigheid | De hoeveelheid waterdamp in een hoeveelheid lucht met een bepaalde luchtdruk, uitgedrukt in gram vocht per kilogram droge lucht.                                                                                                                                                                                        |
| Absorptie                 | De opname van een stof door een andere stof (vermengen).                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Adsorptie                 | Het hechten van vloeistof of gas moleculen aan het oppervlakte van een vaste stof of vloeistof.                                                                                                                                                                                                                         |
| Adsorptiewiel             | Een langzaam draaien wiel dat continu twee luchtstromen passeert en daarbij vocht overdraagt van de ene luchtstroom naar de andere luchtstroom op basis van adsorptie en desorptie.                                                                                                                                     |
| Aërosolen                 | Kleine stofdeeltjes of vloeistofdeeltjes (bijvoorbeeld waterdruppeltjes) die zich in een gas (bijvoorbeeld in de lucht) bevinden.                                                                                                                                                                                       |
| C.O.P.                    | Coëfficiënt Of Performance, zie ook bijlage 10.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Conventioneel             | Gebruikelijk, door de gewoonte voorgeschreven.                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Dauwpuntstemperatuur      | De temperatuur waarbij vochtige lucht met een gegeven constante hoeveelheid vocht en constante druk moet worden afgekoeld om verzadigd te raken.                                                                                                                                                                        |
| Desorptie                 | Het omgekeerde van absorptie en adsorptie, bij desorptie komt het opgenomen/gehechte stof weer vrij.                                                                                                                                                                                                                    |
| Drogeboltemperatuur       | De heersende temperatuur van een vochtige lucht.                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Duurzaamheid              | Duurzaamheid gaat over de schaarste van de hulpbronnen waarmee welvaart wordt voortgebracht, zowel nu als in de toekomst. (Duurzame ontwikkeling is ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen.) |
| Energiedrager             | Een medium dat bruikbare energie bevat.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Enthalpie                 | De warmte-inhoud van vochtige lucht.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Entropie                  | Warmtecapaciteit.                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Fossiele brandstof        | Brandstoffen ontstaan uit resten van biologisch materiaal in het verre verleden zoals aardgas, aardolie en steenkool.                                                                                                                                                                                                   |
| Gelijkstroom              | Elektrische stroom met steeds dezelfde richting en sterkte.                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Hygroscopisch             | Vocht uit de lucht aantrekkend.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| Begrip                     | Betekenis                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Innovatief                 | Vernieuwend.                                                                                                                                                                                                             |
| Interpoleren               | Het schatten van waarden die tussen twee bekende waarden liggen.                                                                                                                                                         |
| Kengetal                   | Een verhoudingscijfer, gebaseerd op metingen uit het verleden, die een inzicht geven op de toepassing van een bepaald systeem. Deze gegevens hebben voornamelijk betrekking op financiële aspecten.                      |
| Koelbatterij               | Een warmtewisselaar waarmee (lucht) gekoeld wordt.                                                                                                                                                                       |
| Koolstofdioxide            | Een kleur- en geurloos niet brandbaar gas dat onder andere wordt geproduceerd tijdens de verbranding van elke stof die koolstof bevat. De scheikundige formule voor koolstof is: $\text{CO}_2$                           |
| Koudemiddel                | Een stof die onder andere in warmtepompen en koelmachines gebruikt wordt als medium voor de transport van warmte.                                                                                                        |
| Kruisstroomwisselaar       | Een warmtewisselaar waarbij twee gescheiden luchtstromen elkaar in tegengestelde richting kruisen en waarbij warmte wordt overgedragen van de warmere luchtstroom naar de koudere luchtstroom.                           |
| Massastroom                | De massahoeveelheid vloeistof of gas die per tijdseenheid door bijvoorbeeld een leiding stroomt.                                                                                                                         |
| Mollier diagram            | Een grafische weergave van de relatie tussen luchttemperatuur, luchtvochtigheid en bijbehorende enthalpie-inhoud.                                                                                                        |
| Natteboltemperatuur        | De temperatuur die vochtige lucht krijgt op het moment dat er dusdanig veel vocht in deze lucht wordt verdampt dat deze lucht verzadigd raakt.                                                                           |
| Parameter                  | Een variabele waaraan een bepaalde waarde wordt toegekend om met behulp daarvan andere onbekende grootheden te kunnen berekenen.                                                                                         |
| Prefab                     | Vooraf gefabriceerd en daarmee gereed voor gebruik (prefabricated).                                                                                                                                                      |
| Relatieve luchtvochtigheid | Het percentage aan waterdamp in een hoeveelheid lucht met een bepaalde temperatuur en luchtdruk ten opzichte van de maximale hoeveelheid waterdamp in die hoeveelheid lucht bij desbetreffende temperatuur en luchtdruk. |
| Rendement                  | De verhouding tussen de uitgaande bruikbare energie en de ingaande energie.                                                                                                                                              |
| Silicagel                  | Vaste, vochtabsorberende kristallen van een silicaat, synthetisch gemaakt uit natriumsilicaat.                                                                                                                           |
| Soortelijke massa          | Dichtheid.                                                                                                                                                                                                               |

| Begrip                  | Betekenis                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Soortelijke warmte      | De energie die nodig is om een bepaalde stof met een bepaalde massa in temperatuur te verhogen met een bepaalde hoeveelheid.                                                                                                                      |
| State-of-the-art        | Uitdrukking voor de huidige stand van zaken, van technologie, of van kennis                                                                                                                                                                       |
| Total cost of ownership | De totale kosten die met het gebruik van een apparaat verbonden zijn. Denk hierbij aan onderhoudskosten, verbruikskosten en dergelijk.                                                                                                            |
| Utiliteitsgebouw        | Een gebouw met een maatschappelijk doel, bijvoorbeeld een school, een ziekenhuis, een verpleeghuis, een fabriek of een kantoor.                                                                                                                   |
| Vacuümbuiscollector     | Een zonnecollector van twee glazen buizen die ruim in elkaar passen en waartussen een vacuüm heerst. Door de binnenste buis stroomt het op te warmen medium. Door het vacuüm zal de opgenomen warmte niet door convectie verloren gaan.           |
| Verwarmingsbatterij     | Een warmtewisselaar waarmee (lucht) verwarmt wordt.                                                                                                                                                                                               |
| Vlakkeplaatcollector    | Een zonnecollector in de vorm van een (metalen) plaat waarachter dunne leidingen lopen waardoor het op te warmen medium stroomt. Deze plaat is aan de achter- en zijkant geïsoleerd. Aan de voorkant is de plaat geïsoleerd met een glazen plaat. |
| Volumestroom            | De volumehoeveelheid vloeistof of gas die per tijdseenheid door bijvoorbeeld een leiding stroomt.                                                                                                                                                 |
| Warmtepomp              | Een apparaat dat warmte verplaatst door middel van arbeid.                                                                                                                                                                                        |
| Warmtecapaciteit        | Het vermogen van een stof om warmte op te slaan.                                                                                                                                                                                                  |
| Warmtestroom            | De warmtehoeveelheid die per tijdseenheid wordt overgedragen, ook wel het vermogen.                                                                                                                                                               |
| Warmtewiel              | Een langzaam draaien wiel dat continu twee luchtstromen passeert en daarbij warmte overdraagt van de warmere luchtstroom naar de koudere luchtstroom.                                                                                             |
| Warmtewisselaar         | een apparaat dat warmte van het ene medium overbrengt naar het andere.                                                                                                                                                                            |
| WKK                     | Warmtekrachtkoppeling, de gecombineerde, gelijktijdige productie van warmte en elektriciteit.                                                                                                                                                     |
| Zonnecollector          | Een apparaat dat zonlicht omzet in warmte.                                                                                                                                                                                                        |

## Symbolenlijst

| Symbool               | Betekenis                                | Eenheid                             |
|-----------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|
| $c$                   | soortelijke warmte                       | $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$    |
| C.O.P.                | Coëfficiënt Of Performance               | --                                  |
| $h$                   | enthalpie                                | $\text{kJ/kg}$                      |
| $l \times b \times h$ | volume (lengte maal breedte maal hoogte) | $\text{m}^3$                        |
| $T$                   | temperatuur                              | $\text{K}$ (of $^{\circ}\text{C}$ ) |
| RV                    | relatieve vochtigheid                    | %                                   |
| $Q$                   | warmte                                   | $\text{W}$                          |
| $x$                   | absolute vochtigheid                     | $\text{g/kg}$                       |
| $\rho$                | soortelijke massa                        | $\text{kg/m}^3$                     |
| $\Phi_V$              | volumestroom                             | $\text{m}^3/\text{h}$               |
| $\Phi_W$              | warmtestroom                             | $\text{W}$                          |

# 1 Inleiding

Fossiele brandstoffen worden steeds schaarser. Om onze nabestaanden niet volledig te belemmeren in de mogelijkheden op het gebied van energie, is het belangrijk dat er kritisch gekeken wordt naar het gebruik van de beschikbare energiebronnen. Zo stimuleren verschillende overheden het gebruik van duurzame energiebronnen. Dit gebeurt onder andere doordat er subsidies worden toegekend op de toepassing van duurzame energietechnieken. Ook wordt het gebruik van duurzame energiebronnen, naar mate de jaren verstrijken, steeds meer een wet in plaats van een voornemen.

Daarnaast speelt het milieu ook een grote rol in dit verhaal. Naast het feit dat fossiele energiebronnen uitgeput raken, zorgt het gebruik van desbetreffende energiedragers voor een belasting van het milieu door de uitstoot van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>).

Verder is het gevolg van het schaarser worden van de fossiele brandstoffen dat de kosten voor verschillende energiedragers stijgen. Mede door deze stijging van energiekosten wordt de toepassing van duurzame energiebronnen alsmaar interessanter. Het punt waarop, bij vergelijking van een duurzame energietechniek ten opzichte van een niet-duurzame/conventionele techniek, de totale besparing aan energiekosten gelijk is aan het verschil in totale investeringskosten wordt alsmaar eerder bereikt.

Of het bedrijven nou gaat om het beeld (naar de buitenwereld) dat zij milieubewust bezig zijn, dat zij munten op de subsidies voor duurzaamheid en het financiële voordeel op de langere termijn of dat zij het risico van de stijgende energieprijzen willen minimaliseren, is vaak onduidelijk. Desalniettemin worden steeds meer aanvragen gedaan naar deze duurzame technieken.

De meest besproken, bekende en toegepaste duurzame technieken hebben voornamelijk betrekking op warmte- en elektriciteitsopwekking. Een minder besproken, bekende en toegepaste techniek is onder meer de duurzame koeltechnieken. De reden hiervoor is vermoedelijk te vinden in het feit dat koelvoorzieningen in het algemeen minder worden toegepast dan elektriciteits- en warmtevoorzieningen. Desalniettemin is er ook winst te behalen met de duurzame koeltechnieken.

Mul BV ontwerpers & adviseurs heeft als adviesbureau regelmatig te maken met advies en ontwerp van duurzame installaties. Om ook in de toekomst een gedegen advies en ontwerp te kunnen blijven afleveren, worden de ontwikkelingen en mogelijkheden van duurzame energie op de voet gevolgd en onderzocht. Om die reden is er bij Mul BV ontwerpers & adviseurs de wens om meer kennis te vergaren over de duurzame koeltechnieken. Het gaat daarbij vooral om de innovatieve koelsystemen welke in de laatste jaren haar intrede hebben gedaan op de markt.

Op basis van onderzoek is bepaald wat de verschillende innovatieve koeltechnieken zijn. Deze technieken en systemen worden in dit rapport toegelicht.

Het principe van de verschillende innovatieve koeltechnieken wordt beschreven en toegelicht in hoofdstuk 2. Daarbij worden enkele voor- en nadelen van deze diverse systemen genoemd.

Deze innovatieve koeltechnieken zijn:

- Adsorptiekoeling
- Desiccant and Evaporative Cooling (DEC)
- Diabatische koeling
- Dry To Cool (D2C)

In hoofdstuk 3 worden de producten van enkele leveranciers/fabrikanten van deze innovatieve koelsystemen gespecificeerd. Dit zijn de fabricaten waarvoor uitgebreide informatie is gevonden en welke aangeboden worden op de Nederlandse markt. Per fabricaat worden onder meer specificaties genoemd onder nominale omstandigheden.

Naast dit rapport is er ook een tool geproduceerd waarin de specificaties van de verschillende fabricaten zijn verwerkt. Het doel van deze tool is om de verschillende innovatieve koelsystemen snel en eenvoudig met elkaar te kunnen vergelijken, bijvoorbeeld tijdens de conceptfase van een project. Op basis van enkele keuzemogelijkheden wordt bepaald welke koelsystemen mogelijk geschikt zijn voor de desbetreffende situatie.

Daarnaast maakt de tool enkele berekeningen op basis van het maximaal benodigd koelvermogen, de totale jaarlijkse behoefte aan koeling en het totaal aantal jaarlijkse koeluren. Middels deze gegevens worden onder meer, per systeem, bepaald wat de geschatte investeringskosten, jaarlijkse kosten en CO<sub>2</sub>-uitstoot zijn.

In hoofdstuk 4 worden de verschillende processtappen en berekeningen van de tool beschreven en toegelicht.

Hoofdstuk 5 geeft een conclusie van het onderzoek en enkele aanbevelingen voor de toekomst.

In de bijlagen 4 tot en met 7 zijn onder andere uitgebreide specificaties van de verschillende innovatieve koelsystemen te vinden. Deze specificaties zijn daar waar mogelijk ook toegelicht middels enkele berekeningen. Dit geschiedt middels formules voor warmtestromen en met behulp van het Mollier diagram.

Daarnaast worden in de bijlagen 8 en 9 de conventionele en state-of-the-art koeltechnieken beschreven en toegelicht. Deze beschrijvingen en toelichtingen dienen ter achtergrondinformatie.



## 2 Innovatieve koelsystemen

Er zijn verschillende bedrijven die zich bezig houden met het ontwerpen, ontwikkelen en op de markt brengen van koelsystemen. Veel van deze systemen betreffen conventionele koeltechnieken. Dit zijn systemen waar men bekend en vertrouwd mee is. Om die reden worden deze systemen dagelijks toegepast.

Koelsystemen met een mindere bekendheid zijn de state-of-the-art koelsystemen en de innovatieve koelsystemen. Met state-of-the-art koelsystemen wordt bedoeld de systemen die vooral de laatste jaren steeds meer toegepast worden. Vaak worden deze systemen toegepast met als reden dat deze een duurzaam karakter hebben en daarmee zorgen voor een besparing in energie. Daarentegen vereisen deze systemen vaak een grotere investering, maar dat is een onderdeel van de afweging om voor een systeem als deze te kiezen. De state-of-the-art koelsystemen zijn redelijk bekend op de markt en op vele plaatsen toegepast. Er zijn dan ook genoeg cijfers en voorbeelden beschikbaar.

Vaak gebaseerd op het basisprincipe van conventionele en state-of-the-art koelsystemen zijn de innovatieve koelsystemen. Deze systemen zijn vrij nieuw en vrijwel nog onbekend op de markt. De innovatieve koelsystemen zijn veelal ontwikkeld met het oogpunt op duurzaamheid, daar waar hier steeds meer vraag naar is vanuit de markt. Mede door deze toenemende vraag is het voor Mul BV ontwerpers & adviseurs belangrijk om op de hoogte te blijven van deze nieuwe ontwikkelingen. Hierdoor kan het bedrijf nu en in de toekomst een weloverwogen advies blijven geven op de toepassing van verschillende koelsystemen.

In dit hoofdstuk wordt de principes van de verschillende innovatieve koelsystemen toegelicht. Daarnaast worden enkele voor- en nadelen van deze systemen genoemd.

Voor het onderzoek en het vergaren van de basisprincipes worden de conventionele en state-of-the-art koelsystemen nader toegelicht in bijlagen 8 en 9 van dit rapport.



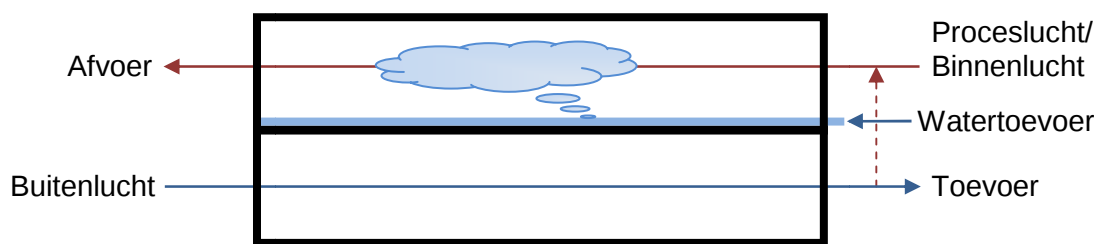
## 2.1 Diabatische koeling

Diabatische koeling is een koeltechniek waarbij lucht gekoeld wordt. Het principe heeft wat weg van indirect adiabatische koeling, zie bijlage 9, maar is desondanks duidelijk te onderscheiden. Het principe berust voornamelijk op het gebruik van een hygroscopische laag. Dit is een vochtopnemende laag waaraan water wordt toegevoerd. Voor het principe, zie figuur 2.1.

Een toegevoerde (buiten)luchtstroom wordt langs een warmtewisselaar geleid, aan de toevoerzijde, waar deze afkoelt bij een constante absolute luchtvochtigheid. Dit houdt in dat er warmte wordt afgegeven aan de warmtewisselaar.

Aan de andere zijde, de afvoerzijde, van deze warmtewisselaar bevindt zich de hygroscopische laag. Door middel van de, via de warmtewisselaar, toegevoerde warmte, wordt er vocht uit de hygroscopische laag verdampt. Dit heeft de koelende werking waardoor de warmtewisselaar afkoelt en daarmee vervolgens de toegevoerde luchtstroom koelt. Om dit proces op gang te houden wordt er tegelijk weer vocht toegevoerd aan de hygroscopische laag. Tevens wordt aan deze zijde van de warmtewisselaar een luchtstroom, vaak in tegengestelde richting van de toegevoerde luchtstroom, langs de warmtewisselaar en daarmee ook de hygroscopische laag geleid. Deze luchtstroom wordt vervolgens samen met het verdampte vocht afgevoerd en wordt veelal proceslucht genoemd.

Doordat de toegevoerde luchtstroom niet wordt bevochtigd, blijft de absolute luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht gelijk. Dit is tevens het geval bij indirect adiabatische koeling. Echter daar waar bij indirect adiabatische koeling de afgevoerde (proces)luchtstroom gekoeld wordt middels bevochtiging om vervolgens de toegevoerde luchtstroom via een warmtewisselaar te koelen, dient de procesluchtstroom bij diabatische koeling slechts ter afvoer van het verdampte vocht. Met enige kennis van het Mollier diagram kan aangetoond worden dat het koelvermogen bij diabatische koeling niet beperkt wordt tot de heersende natteboltemperatuur, wat wel het geval is bij adiabatische koeling, maar tot de heersende dauwpuntstemperatuur. Om deze reden wordt diabatische koeling ook wel dauwpuntskoeling genoemd.



Figuur 2.1: Het koelprincipe van diabatische koeling, Stephen van Gilst

Het is mogelijk om af te voeren binnenlucht te gebruiken als proceslucht, echter wordt er veelal voor gekozen om een deel van de reeds afgekoelde toevoerluchtstroom te gebruiken als proceslucht. Het percentage van de proceslucht ten opzichte van de toevoergevoerde (buiten)luchtstroom ligt rond de 30-45%.

De C.O.P. van dauwpuntskoeling ligt doorgaans tussen 10 en 20. Er zijn dauwpuntskoelers op de markt met ventilatiecapaciteiten tussen 1.000 en 14.500 m<sup>3</sup>/h aan gekoelde toevoerlucht.

Het voordeel van een dauwpuntskoeler is dat bij hogere buitentemperaturen met een constante absolute luchtvochtigheid, het koelvermogen stijgt, maar het energieverbruik gelijk blijft. Dit in tegenstelling tot andere koelsystemen. Daarnaast stijgt het koelvermogen bij een daling van de absolute luchtvochtigheid, aangezien de retourlucht dan meer vocht kan afvoeren en het dauwpunt lager is.

Overige voordelen zijn onder andere:

- ✓ Luchtkoeling richting de heersende dauwpuntstemperatuur, in plaats van richting de heersende natteboltemperatuur, is mogelijk;
- ✓ Er is slechts een klein deel aan extra elektrische energie nodig voor de ventilator(en) door de weestand/het wrijvingsverlies van de dauwpuntskoeler, ervan uitgaande dat deze ventilatoren toch al toegepast worden voor de toevoer van frisse lucht;
- ✓ De dauwpuntskoeler zelf behoeft geen onderhoud.

De nadelen van een dauwpuntskoeler zijn voornamelijk:

- ✗ Het te behalen koelvermogen wordt beperkt door de mate van de heersende luchtvochtigheid;
- ✗ Er is een toevoer van (schoon drink)water nodig voor het functioneren van de dauwpuntskoeling.



### 2.1.1 Dry To Cool

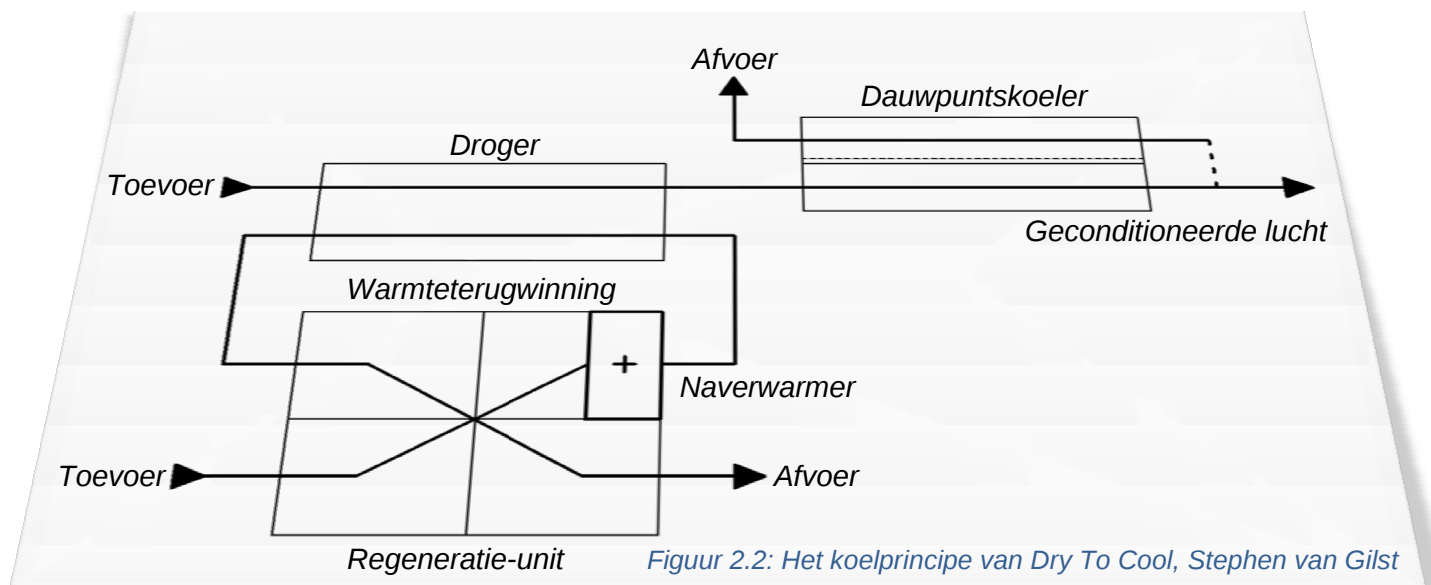
De koeling van de lucht geschiedt bij dauwpuntskoelers in de richting van de heersende dauwpuntstemperatuur, welke op zijn beurt in verband staat met de heersende absolute luchtvochtigheid. Het maximaal te behalen koelvermogen wordt dan ook bepaald door de mate van luchtvochtigheid. Een hogere absolute luchtvochtigheid resulteert in een lager te behalen koelvermogen en vice versa. Door de toegevoerde lucht eerst te drogen kan hierin dan ook een verbetering behaald worden. Drogere lucht kan dieper gekoeld worden en zal ook meer vocht aan de retourzijde kunnen afvoeren. Deze combinatie van drogen en koelen vergroot de toepasbaarheid van dauwpuntskoeling. Daarnaast kan hiermee de benodigde installatie verkleind worden.

Het bedrijf Optimair heeft een systeem ontwikkeld waarbij het vocht uit de lucht wordt onttrokken middels een nieuw ontwikkeld vochtopnemend materiaal. Dit betreft een gepatenteerd materiaal, genaamd 'smart material' en is efficiënter dan conventionele vochtopnemende materialen. Daarnaast kan dit materiaal op relatief lage temperaturen ( $\pm 70^\circ\text{C}$ ) geregenereerd worden. Dit is nodig om constant te kunnen blijven drogen.

Een combinatie met bijvoorbeeld zonnecollectoren, of een andere duurzame warmtebron, is door deze relatief lage temperaturen interessant. De koelbehoefte in een utiliteitsgebouw is namelijk doorgaans het grootst bij hoge buitentemperaturen, in of rond het zomerseizoen. Tijdens deze zomerse omstandigheden zal er dan ook de meeste vocht opgenomen dienen te worden om het benodigde koelvermogen te bereiken. Dit betekent dat er ook meer vochtopnemend materiaal geregenereerd dient te worden. Er is dus meer warmte nodig. Het voordeel van zonnecollectoren is dat er tijdens deze zomerperiode ook meer warmte wordt geproduceerd. Naast zonnecollectoren kan het D2C-systeem met vrijwel elk ander warmteopwekkingssysteem worden gecombineerd, zolang de gewenste temperatuur bereikt wordt.

Nadat er vocht uit de toegevoerde lucht is onttrokken middels het 'smart material', wordt deze lucht gekoeld middels een dauwpuntskoeler zoals genoemd in paragraaf 2.1. Voor het prinsipschema van deze combinatie van drogen en koelen, zie figuur 2.2.

De C.O.P. van een systeem als deze ligt tussen 8 en 20.



Figuur 2.2: Het koelprincipe van Dry To Cool, Stephen van Gilst

Voor de regeneratie van de vochtopnemende laag wordt afwisselend 1/5 van de droger afgesloten middels een kleppensysteem. Vervolgens wordt hier verwarmde buitenlucht doorheen 'geblazen'. Deze warme lucht zorgt ervoor dat het opgenomen vocht verdampt en naar buiten wordt afgevoerd. Alvorens deze lucht naar buiten wordt afgevoerd, wordt zoveel mogelijk warmte teruggewonnen via een kruisstroomwisselaar. Het rendement van deze kruisstroomwisselaar is 90%. Voor de overige 10% en voor het starten van dit systeem kunnen verschillende soorten warmteopwekking gebruik worden.

(De warmteterugwinning samen met de warmteopwekking kan in de winter tevens worden toegepast voor de verwarming van de lucht.)

De voordelen van dit systeem zijn onder andere:

- ✓ Luchtkoeling voor bij de heersende dauwpuntstemperatuur is mogelijk;
- ✓ Verlaging van de absolute luchtvochtigheid van de toevoerlucht;
- ✓ Hoger koelvermogen bij een hogere luchtvochtigheid als de temperatuur gelijk blijft;
- ✓ Hoger koelvermogen bij een hogere temperatuur als de luchtvochtigheid gelijk blijft;
- ✓ Er wordt frisse buitenlucht toegevoerd;
- ✓ Voor de regeneratie van het vochtopnemende materiaal kan gebruik gemaakt worden van duurzame warmteopwekking.

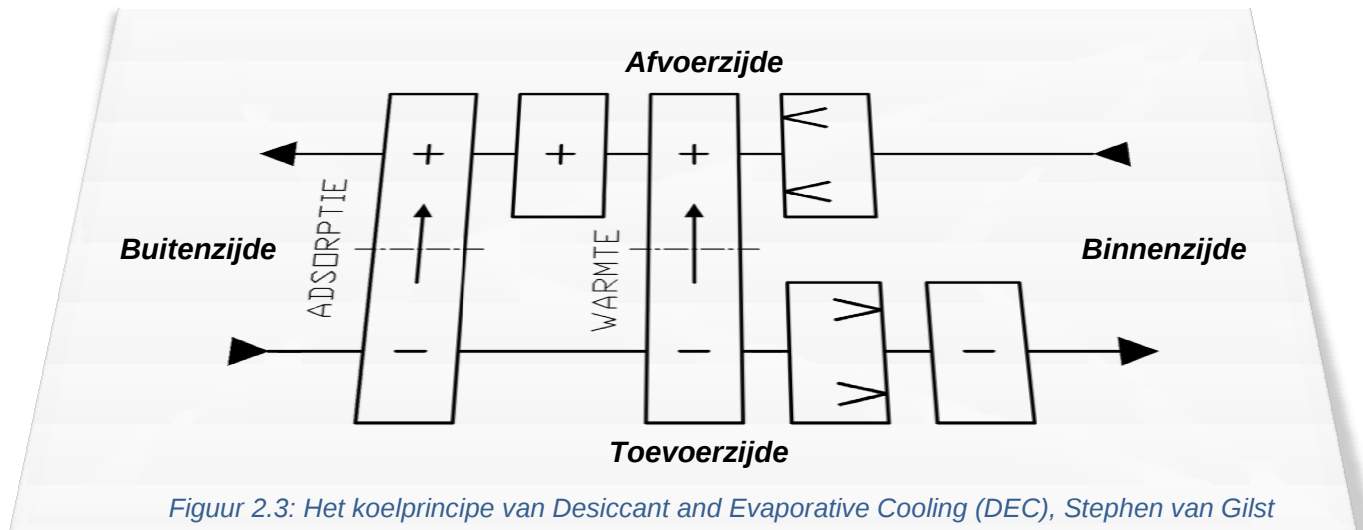
De nadelen van een systeem als deze zijn voornamelijk:

- ✗ Het te behalen koelvermogen wordt beperkt door de mate van de heersende luchtvochtigheid;
- ✗ Er is een toevoer van (schoon drink)water nodig voor het functioneren van de dauwpuntkoeling;
- ✗ Er is warmte nodig voor de regeneratie van de droger;
- ✗ Er is een extra ventilator nodig voor de regeneratie van de droger.



## 2.2 Desiccant and Evaporative Cooling

Desiccant and Evaporative Cooling, ook wel afgekort tot DEC, is een systeem dat bestaat uit een combinatie van adsorptie-/drogingskoeling en adiabatische koeling. Voor het koelprincipe, zie figuur 2.3.



### Toevoer

Aangezogen buitenlucht wordt allereerst ontvochtigd in een adsorptiewiel. Dit adsorptiewiel is hiertoe bedekt met een laag vochtopnemend materiaal (bijvoorbeeld silicagel). Tijdens dit proces stijgt de temperatuur van de toegevoerde lucht.

Via een warmtewisselaar/warmtewiel wordt vervolgens zoveel mogelijk warmte van de toegevoerde lucht afgevoerd. De toevoerlucht koelt hierdoor af.

Vervolgens wordt deze toevoerlucht adiabatische bevochtiging. Dit zorgt er voor dat deze lucht nog verder af koelt, richting de natteboltemperatuur.

Indien nodig kan deze toevoerlucht nog extra afgekoeld worden middels een koelbatterij. (In de winter kan indien nodig verwarming van de lucht worden toegepast.)

### Afvoer

Aangezogen binnenlucht wordt eerst bevochtigd zodat de temperatuur van deze lucht daalt. Doordat deze lucht gekoeld is kan deze lucht meer warmte opnemen via de warmtewisselaar/warmtewiel.

Via de warmtewisselaar/warmtewiel neemt de afvoerlucht warmte op, welke afkomstig is van de toevoerlucht. Hierdoor zal de temperatuur van de afgevoerde lucht stijgen.

De afvoerlucht dient vervolgens verder verwarmt te worden voor de regeneratie van het adsorptiewiel. Dit verwarmen kan onder andere geschieden middels warmte van zonnecollectoren, immers leveren zonnecollectoren de meeste warmte wanneer doorgaans de grootste koelbehoefte is. Voornamelijk in combinatie met een duurzaam warmteopwekkingssysteem als deze is het gebruik van een DEC-systeem interessant.

De verwarmde afvoerlucht zal er vervolgens voor zorgen dat het opgenomen vocht uit het adsorptiewiel wordt verdampt en samen met deze lucht wordt afgevoerd.

Er zijn verschillende fabrikanten die een systeem als deze aanbieden, echter is gebleken dat dit systeem nog niet in grote getale wordt toegepast. De combinatie van een adsorptiewiel, een warmtewiel en de adiabatische bevochtiging resulteert namelijk in hoge investeringskosten.

De voordelen van een DEC-systeem zijn onder andere:

- ✓ Verlaging van de absolute luchtvochtigheid van de toevoerlucht;
- ✓ Er wordt frisse buitenlucht toegevoerd;
- ✓ Voor de regeneratie van het adsorptiewiel kan gebruik gemaakt worden van duurzame warmteopwekking.

De nadelen van dit systeem zijn voornamelijk:

- ✗ Er is een toevoer van (schoon drink)water nodig voor het functioneren van de dauwpuntskoeling;
- ✗ Er is warmte nodig voor de regeneratie van het adsorptiewiel;
- ✗ Er zijn relatief weinig gegevens bekend over dit systeem.

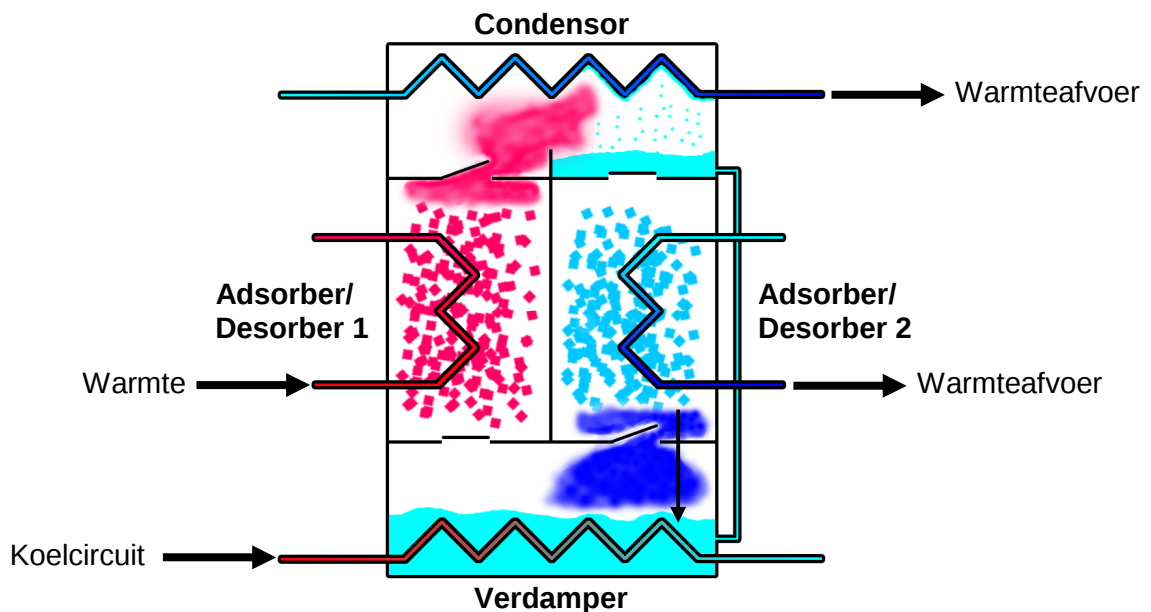


Figuur 2.4: Desiccant and Evaporative Cooling (DEC), <http://www.munters.com>

## 2.3 Adsorptiekoeling

Een adsorptiekoelmachine heeft overeenkomsten met de absorptiekoelmachine. Echter in tegenstelling tot absorptiekoeling, wordt er bij adsorptiekoeling gebruik gemaakt van vast sorptiemateriaal. De meeste adsorptiekoelsystemen maken daarbij gebruik van silicagel als adsorptiemiddel en water als koudemiddel.

Een adsorptiesysteem bestaat uit een verdamper, twee adsorbers/desorbers waarin zich het genoemde adsorptiemiddel bevindt en een condensor. Er vinden telkens twee processen tegelijkertijd plaats, namelijk: adsorptie en desorptie. In één van beide adsorbers/desorbers vindt de adsorptie plaats, in de andere adsorber/desorber de desorptie. Dit wisselt zich om zodra beide processen voltooid zijn. Voor het koelprincipe, zie figuur 2.5.



Figuur 2.5: Het koelprincipe van adsorptiekoeling, Stephen van Gilst

Goed om te weten: Het is mogelijk om een adsorptiekoelmachine te gebruiken als warmtepomp en daarmee, in de winter, te verwarmen.

### Adsorptie

Net als bij de absorptiekoelmachine, verdampt het koudemiddel bij een lage druk en lage temperatuur in een verdamper. Bij dit proces neemt het koudemiddel warmte op van het medium dat door de warmtewisselaar stroomt. Dit is dan ook de zijde waar gekoeld wordt.

Vervolgens gaat het verdampte koudemiddel richting de adsorber (in de afbeelding adsorber/desorber 1). Hier wordt de waterdamp door het adsorptiemiddel geadsorbeerd. Daarbij komt warmte vrij, welke afgevoerd wordt.



Figuur 2.6: Silicagel, [www.robotroom.com](http://www.robotroom.com)



Figuur 2.7: Adsorptiekoelmachines, SorTech AG

## Desorptie

In de tweede adsorber/desorber vindt de desorptie plaats. Door het geheel te verwarmen verdampt het koudemiddel uit het adsorptiemiddel om later opnieuw koudemiddel vanaf de verdamper te kunnen adsorberen.

Voor de verwarming kan warmte gebruikt worden met een relatief lage temperatuur. Adsorptiemachines functioneren al vanaf 55 °C, doorgaans worden temperaturen van ongeveer 70 °C aanbevolen. Doordat deze benodigde temperaturen relatief laag zijn, kan gebruik gemaakt worden van bijvoorbeeld zonnecollectoren. Deze leveren de meeste warmte wanneer de koelbehoefte doorgaans het grootst is en er dus de meeste warmtevraag voor de desorptie is. Andere warmtebronnen zijn natuurlijk ook mogelijk, echter door de thermische C.O.P. van ongeveer 0,5 – 0,6 is voornamelijk een combinatie met duurzame warmtebronnen of door gebruik te maken van restwarmte interessant. Denk hierbij aan bijvoorbeeld een biomassaketel.

Het verdampte koudemiddel gaat richting de condensor. In de condensor condenseert het koudemiddel bij een hogere druk en hoge temperatuur. Tijdens de condensatie geeft het koudemiddel daarbij warmte af via een warmtewisselaar. Deze warmte wordt vervolgens afgevoerd via het medium dat door deze warmtewisselaar stroomt. Vervolgens kan deze warmte, samen met warmte die vrij komt tijdens het adsorptieproces, worden afgegeven door middel van bijvoorbeeld één of meerdere droge koelers of koeltorens. Verder kan ook een combinatie met een Warmte Koude Opslag erg interessant zijn, zie bijlage 9.

Het gecondenseerde water stroomt vervolgens terug naar de verdamper. Zodra dit proces voltooid is, wisselen de adsorbers/desorbers van functie.

De voordelen van adsorptiekoeling zijn onder andere:

- ✓ Er is relatief weinig elektriciteit nodig doordat het systeem werkt op adsorptie (natuurlijk proces);
- ✓ Het systeem kan in de winter gebruikt worden als opwaardering van de warmteopwekking;
- ✓ Het systeem heeft zo goed als geen onderhoud nodig;
- ✓ De benodigde warmte voor de regeneratie kan bijvoorbeeld worden verkregen middels zonnecollectoren.

De nadelen van adsorptiekoeling zijn voornamelijk:

- ✗ Er zijn vaak extra systemen nodig om warmte (efficiënt) af te voeren;
- ✗ Er is warmte nodig voor de regeneratie van het adsorptiemiddel.



Figuur 2.8: Adsorptiekoelmachine, Geveke



### 3 Ontwerpparameters innovatieve koelsystemen

In hoofdstuk 2 zijn de verschillende principes uitgelegd van de innovatieve koelsystemen. In dit hoofdstuk worden specifieke systemen van fabrikanten (nader) toegelicht met daarbij een samenvatting van enkele (belangrijkste) specificaties.

In de bijlagen 4 tot en met 7 zijn alle, bij ons bekend zijnde, specificaties/condities van de diverse systemen te vinden.

Om de systemen onderling enigszins te kunnen vergelijken, zijn de opgegeven specificaties in dit hoofdstuk, tenzij anders is aangegeven, gebaseerd op de volgende luchtcondities/uitgangspunten:

- Buitenlucht = 28 °C
- Luchtvochtigheid buitenlucht = 10 g/kg (+/- 45%)
- Soortelijke massa lucht = 1,2 kg/m<sup>3</sup>
- Externe statische druk = 0 Pa
- Soortelijke massa water = 1,0 kg/dm<sup>3</sup>

De reden om voor deze luchtcondities te kiezen is omdat deze tevens de uitgangspunten van koellast berekeningen binnen Mul BV ontwerpers & adviseurs zijn.

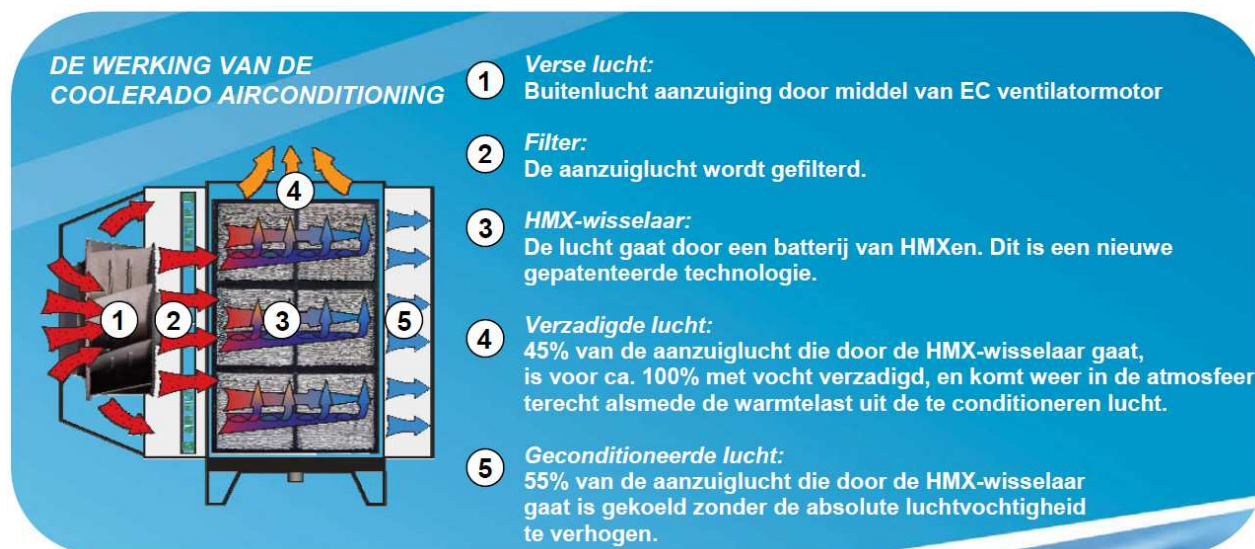
Echter daar waar niet van alle systemen de specificaties bekend zijn bij deze uitgangspunten, is, daar waar mogelijk, verhoudingsgewijs geschat/bepaald wat de specificaties zijn.

De genoemde luchtcondities hebben daarbij betrekking op de systemen die gebruik maken van lucht als (primair) gekoeld medium. De adsorptiekoelmachines behoren daar niet toe. Voor deze systemen wordt daarom uitgegaan van nominale omstandigheden, conform de opgave van de fabrikant.

### 3.1 Coolerado

Coolerado is een Amerikaans bedrijf dat dauwpuntskoelers volgens eigen uitvinding produceert. Het betreffen complete toestellen met een gelijkstroom toevoerventilator. Deze ventilatoren worden geproduceerd door een Duitse fabrikant. De dauwpuntskoelers kunnen zelfstandig lucht toevoeren of bijvoorbeeld geplaatst worden voor een luchtbehandelingskast.

Het Nederlandse bedrijf Kristal Air BV is de Europese dealer van Coolerado.



Figuur 3.1: Het werkingsprincipe van de Coolerado dauwpuntskoeler, Coolerado

De basis van het systeem is de warmtewisselaar, zie figuur 3.2. Deze is opgebouwd uit meerdere lagen en kanalen waardoor de toevoerlucht en proceslucht stromen, zie figuur 3.1. Daarnaast stroomt er middels waterkanaaltjes water in de lagen van de proceslucht. Er wordt geadviseerd om een waterfilter te gebruiken, bovenstrooms van het toestel, voor dit toe te voeren water.

Het water wordt tevens gebruikt voor het reinigen van de lagen. Dit 'vuile' water wordt vervolgens afgevoerd via de onderzijde van het toestel. Er is daartoe een waterafvoer nodig. Verder is de warmtewisselaar onderhoudsvrij.

De afgevoerde proceslucht is, door toevoeging van vocht, koeler dan de aanzuiglucht. Deze afvoerlucht zou daarom ook gebruikt kunnen worden als bijvoorbeeld voor-/afkoeling van andere systemen.

Coolerado levert drie types dauwpuntskoelers, namelijk: de M30, de M50 en de C60, zie tabel 3.1.

| Coolerado | Aantal warmtewisselaars |
|-----------|-------------------------|
| M30       | 3                       |
| M50       | 5                       |
| C60       | 6                       |

Tabel 3.1: Aantal warmtewisselaars per type



Figuur 3.2: warmtewisselaar Coolerado, Coolerado



Figuur 3.3: Logo Coolerado, Coolerado



Figuur 3.4: Logo Kristal Air, Kristal Air

### 3.1.1 M30

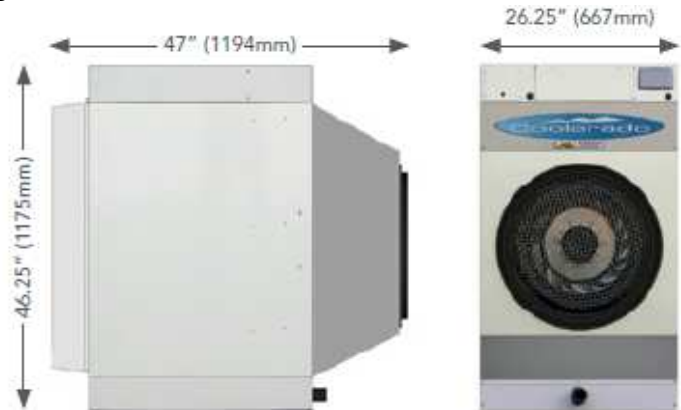
De M30 is een compact toestel, met de volgende (nominale) volumestromen:

| Coolerado | Volumestroom aanvoer<br>(buitenlucht) [m <sup>3</sup> /h] | Volumestroom toevoer<br>(gekoelde lucht) [m <sup>3</sup> /h] | Volumestroom afvoer<br>(proces) [m <sup>3</sup> /h] |
|-----------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| M30       | 2.800                                                     | 1.530                                                        | 1.270                                               |

Tabel 3.2: Nominale volumestromen Coolerado M30

Een M30 is geschikt voor een koppeling met meerdere M30 toestellen. Dit heeft als voordeel dat bij beperkte ruimte toch een hoger koelvermogen bereikt kan worden.

In bijlage 4 zijn de koelcapaciteiten bij verschillende buitencondities te vinden. Er zijn echter geen capaciteiten/condities gegeven bij de buitencondities welke als uitgangspunt genomen zijn. Aangezien er een duidelijk verband zichtbaar is tussen de verschillende capaciteiten en condities, kan door de twee condities in tabel 3.3 met elkaar te interpoleren de koelcapaciteit bij deze uitgangspunten bepaald worden.



Figuur 3.3: Afmetingen Coolerado M30, Coolerado

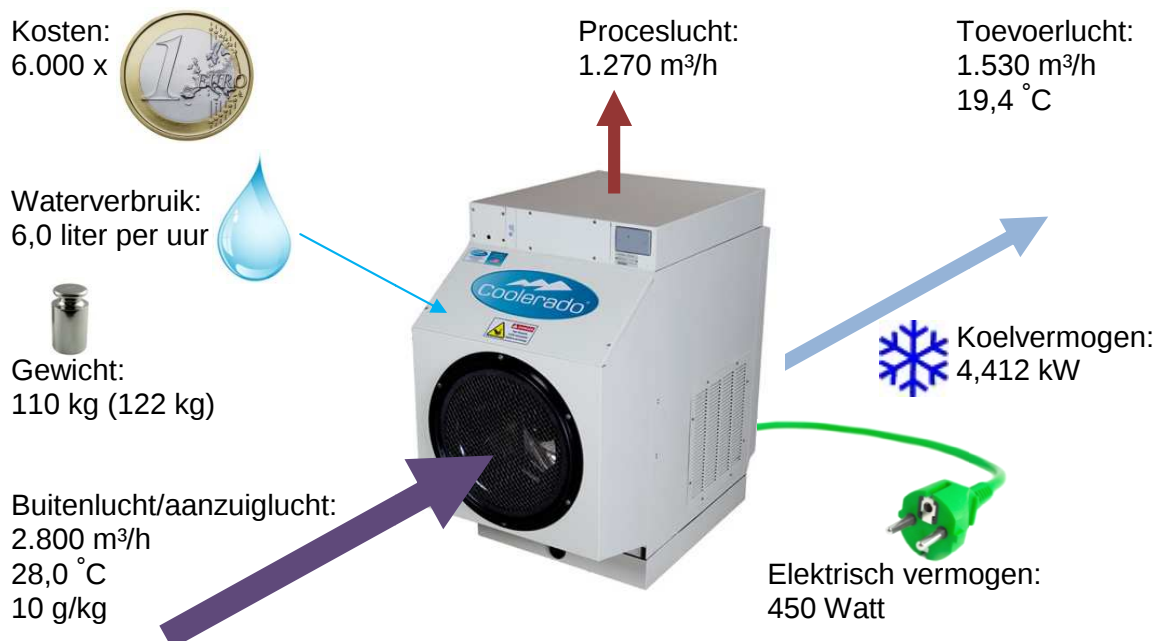
Conform opgave fabrikant:

| Buitenlucht/aanzuiglucht        |                                | Toevoerlucht/uitblaaslucht      |                      |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Temperatuur<br>(droge bol) [°C] | Absolute<br>vochtigheid [g/kg] | Temperatuur<br>(droge bol) [°C] | Koelvermogen<br>[kW] |
| 28,0                            | 9,5                            | 19,0                            | 4,590                |
| 28,0                            | 11,5                           | 20,4                            | 3,876                |

Interpolatie:

|      |      |      |       |
|------|------|------|-------|
| 28,0 | 10,0 | 19,4 | 4,412 |
|------|------|------|-------|

Tabel 3.3: Uitgangspunten/luchtcondities en bijbehorend koelvermogen Coolerado M30



Figuur 3.4: Samenvatting Coolerado M30

### 3.1.2 M50

Voor de M50 zijn de volgende (nominale) volumestromen gegeven:

| Coolerado | Volumestroom aanvoer (buitenlucht) [m <sup>3</sup> /h] | Volumestroom toevoer (gekoelde lucht) [m <sup>3</sup> /h] | Volumestroom afvoer (proces) [m <sup>3</sup> /h] |
|-----------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| M50       | 4.500                                                  | 2.460                                                     | 2.040                                            |

Tabel 3.4: Nominale volumestromen Coolerado M50

Evenals de M30 is de M50 geschikt voor een koppeling met meerdere M50 toestellen. Dit heeft als voordeel dat bij beperkte ruimte toch een hoger koelvermogen bereikt kan worden.

In bijlage 4 zijn de koelcapaciteiten bij verschillende buitencondities te vinden. Er zijn echter geen capaciteiten/condities gegeven bij de buitencondities welke als uitgangspunt genomen zijn. Aangezien er een duidelijk verband zichtbaar is tussen de verschillende capaciteiten en condities, kan door de twee condities in tabel 3.5 met elkaar te interpoleren de koelcapaciteit bij deze uitgangspunten bepaald worden.



Figuur 3.5: Afmetingen Coolerado M50, Coolerado

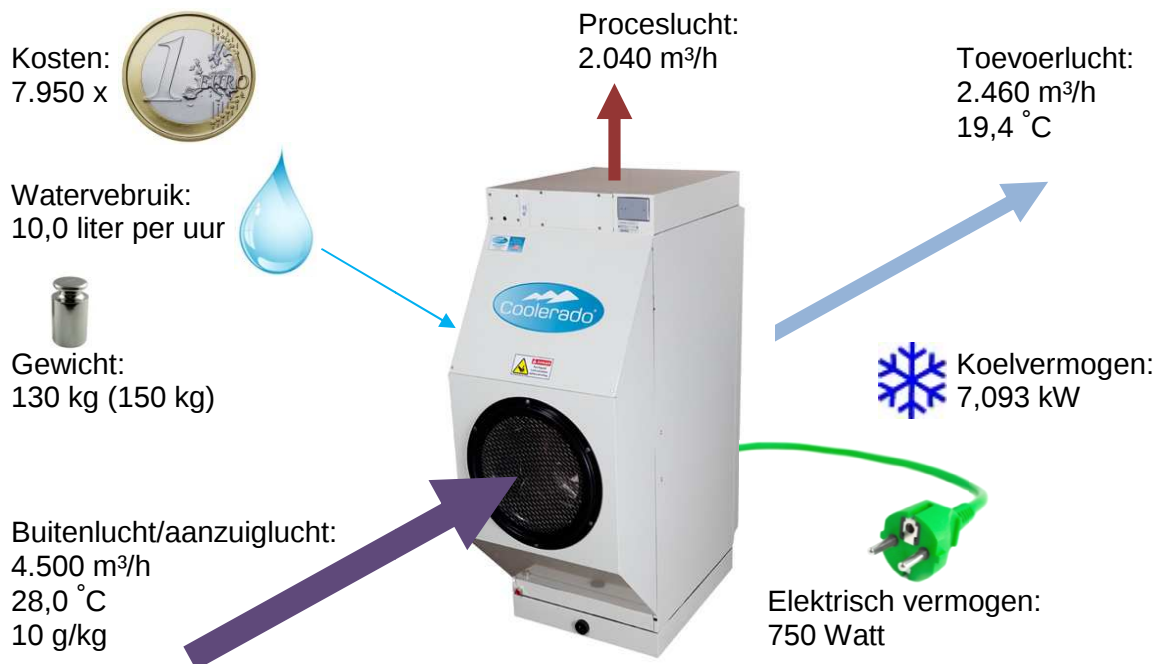
Conform opgave fabrikant:

| Buitenlucht/aanzuiglucht     |                             | Toevoerlucht/uitblaaslucht   |                   |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|
| Temperatuur (droge bol) [°C] | Absolute vochtigheid [g/kg] | Temperatuur (droge bol) [°C] | Koelvermogen [kW] |
| 28,0                         | 9,5                         | 19,0                         | 7,380             |
| 28,0                         | 11,5                        | 20,4                         | 6,232             |

Interpolatie:

|      |      |      |       |
|------|------|------|-------|
| 28,0 | 10,0 | 19,4 | 7,093 |
|------|------|------|-------|

Tabel 3.5: Uitgangspunten/luchtcondities en bijbehorend koelvermogen Coolerado M50



Figuur 3.6: Samenvatting Coolerado M50

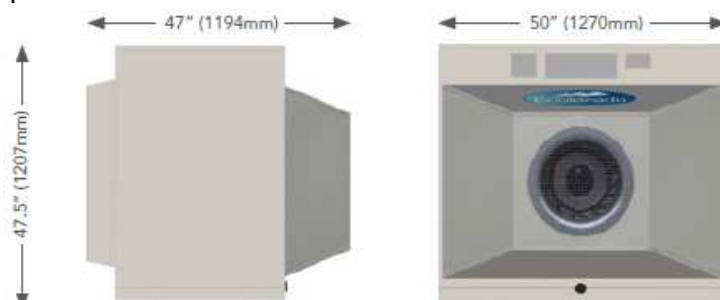
### 3.1.3 C60

Voor de C60 zijn de volgende (nominale) volumestromen gegeven:

| Coolerado | Volumestroom aanvoer (buitenlucht) [m <sup>3</sup> /h] | Volumestroom toevoer (gekoelde lucht) [m <sup>3</sup> /h] | Volumestroom afvoer (proces) [m <sup>3</sup> /h] |
|-----------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| C60       | 4.900                                                  | 2.700                                                     | 2.200                                            |

Tabel 3.6: Nominale volumestromen Coolerado C60

In bijlage 4 zijn de koelcapaciteiten bij verschillende buitencondities te vinden. Er zijn echter geen capaciteiten/condities gegeven bij de buitencondities welke als uitgangspunt genomen zijn. Aangezien er een duidelijk verband zichtbaar is tussen de verschillende capaciteiten en condities, kan door de twee condities in tabel 3.7 met elkaar te interpoleren de koelcapaciteit bij deze uitgangspunten bepaald worden.



Figuur 3.7: Afmetingen Coolerado C60, Coolerado

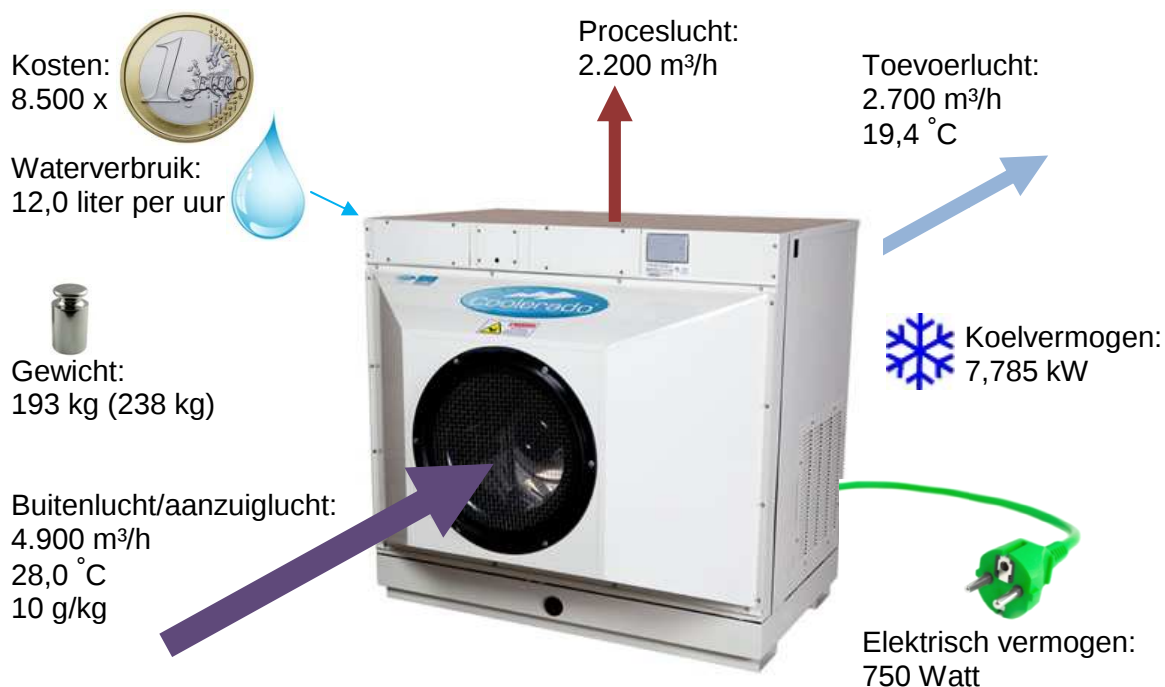
Conform opgave fabrikant:

| Buitenlucht/aanzuiglucht     |                             | Toevoerlucht/uitblaaslucht   |                   |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|
| Temperatuur (droge bol) [°C] | Absolute vochtigheid [g/kg] | Temperatuur (droge bol) [°C] | Koelvermogen [kW] |
| 28,0                         | 9,5                         | 19,0                         | 8,100             |
| 28,0                         | 11,5                        | 20,4                         | 6,840             |

Interpolatie:

|      |      |      |       |
|------|------|------|-------|
| 28,0 | 10,0 | 19,4 | 7,785 |
|------|------|------|-------|

Tabel 3.7: Uitgangspunten/luchtcondities en bijbehorend koelvermogen Coolerado C60



Figuur 3.8: Samenvatting Coolerado C60

## 3.2 Statiqcooling

Statiqcooling is een bedrijf dat zich bezig houdt met oplossingen op het gebied van klimaatbeheersing. Het bedrijf heeft een dauwpuntskoeler ontwikkeld welke geïntegreerd kan worden in luchtbehandelingskasten. Het product betreft de kunststof warmtewisselaar, zie figuur 3.9, en is verkrijgbaar in zes verschillende formaten/types. Conform het dauwpuntsprincipe stroomt hier een hoeveelheid aanvoerlucht doorheen. Deze koelt in de warmtewisselaar af. Maximaal  $\frac{1}{3}$  hiervan wordt vervolgens gebruikt als proceslucht.



Figuur 3.9: Warmtewisselaar Statiqcooling, Statiqcooling



Figuur 3.10 Logo Statiqcooling, Statiqcooling

De Statiqcooler betreft geen compleet toestel. Het bedrijf Statiqcooling is dan ook zelf geen producent van luchtbehandelingskasten, maar levert de dauwpuntskoelers aan verschillende fabrikanten van luchtbehandelingsapparatuur. Een luchtbehandelingskast met een Statiqcooler is herkenbaar aan een logo van Statiqcooling, zie figuur 3.10.

Thermo Air is een producent van luchtbehandelingskasten en levert onder andere luchtbehandelingskasten met daarin de Statiqcooler geïntegreerd.



Figuur 3.11: Logo Thermo Air, Thermo Air



Figuur 3.12: Luchtbehandelingskast met daarin de Statiqcooler, Thermo Air

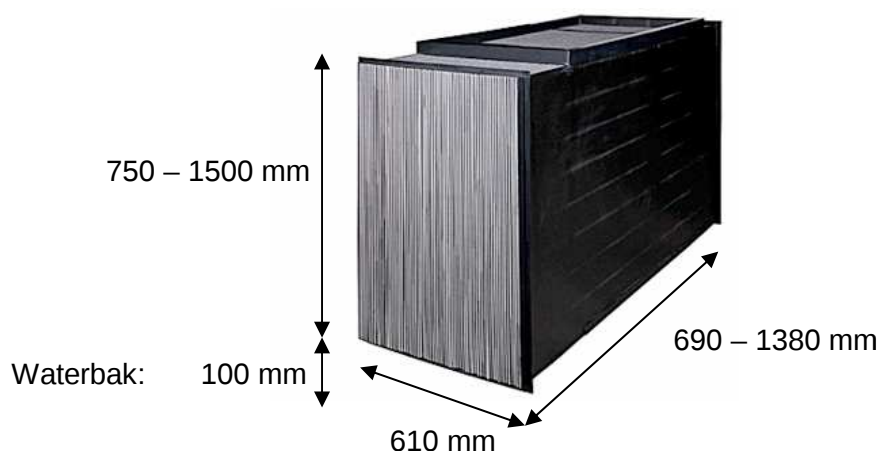
In bijlage 4 zijn de condities en prestaties te vinden bij verschillende buitencondities. Deze zijn berekend middels een rekentool van Statiqcooling. De afdrucken van de resultaten voor de specifieke uitgangspunten zoals genoemd zijn aan het begin van dit hoofdstuk, zijn te vinden in bijlage 5. Er is daarbij uitgegaan van 30% proceslucht (dit is aanbevolen door Statiqcooling).

Voor de verschillende typen Statigcoolers zijn de volgende (nominale) volumestromen gegeven:

| Type           | Volumestroom aanvoer<br>(buitenlucht) [m <sup>3</sup> /h] | Volumestroom toevoer<br>(gekoelde lucht) [m <sup>3</sup> /h] | Volumestroom afvoer<br>(proces) [m <sup>3</sup> /h] |
|----------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| SC750/690      | 1.500                                                     | 1.050                                                        | 450                                                 |
| SC1010/690     | 2.000                                                     | 1.400                                                        | 600                                                 |
| SC1500/690     | 3.000                                                     | 2.100                                                        | 900                                                 |
| SC750/1380     | 2.100                                                     | 1.470                                                        | 630                                                 |
| SC1010/1380/79 | 3.200                                                     | 2.240                                                        | 960                                                 |
| SC1500/1380    | 4.200                                                     | 2.940                                                        | 1.260                                               |

Tabel 3.8: Nominale volumestromen verschillende typen Statigcoolers

In figuur 3.13 wordt de range van afmetingen van de Statigcooler weergegeven. In tabel 3.10 worden de afmetingen van de specifieke typen Statigcoolers weergegeven.



Figuur 3.13: Range van afmetingen van de Statigcooler

Conform de berekeningen:

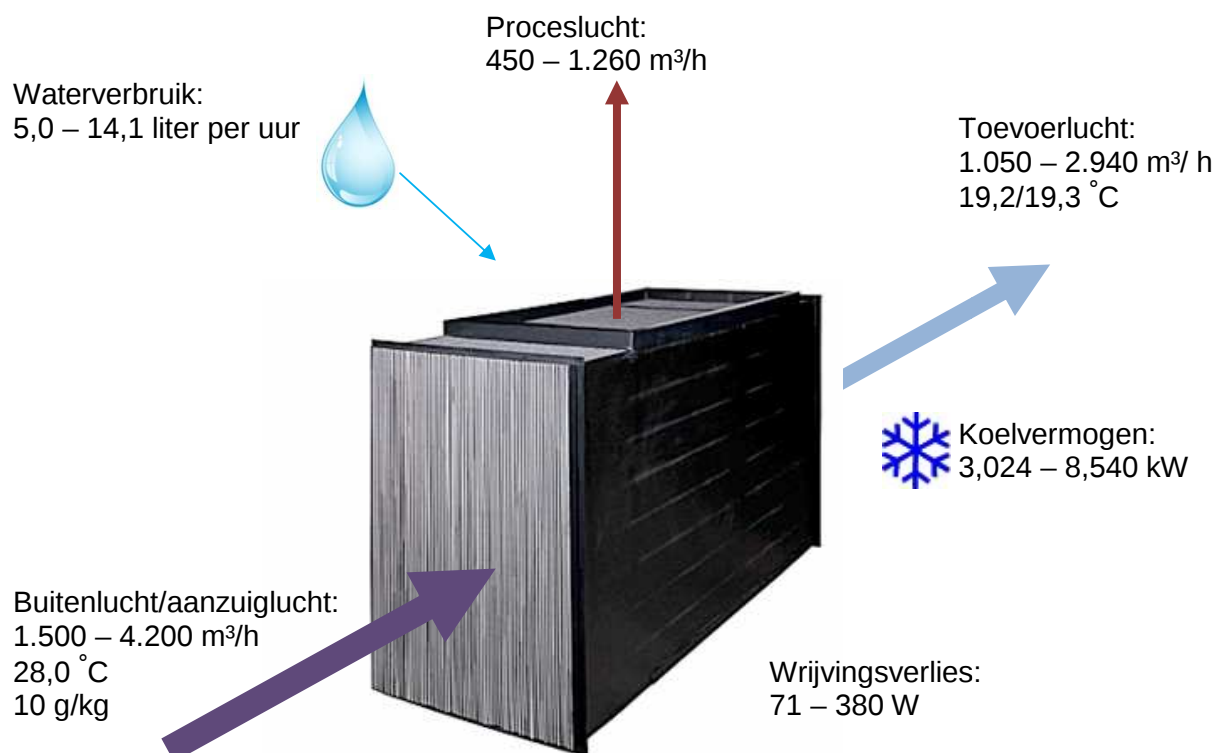
| Buitenlucht/aanzuiglucht        |                                | Toevoerlucht/uitblaaslucht      |                      |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Temperatuur<br>(droge bol) [°C] | Absolute<br>vochtigheid [g/kg] | Temperatuur<br>(droge bol) [°C] | Koelvermogen<br>[kW] |
| 28,0                            | 10,0                           | 19,2 – 19,3                     | 3,024 – 8,540        |

Tabel 3.9: Uitgangspunten/luchtcondities en bijbehorend koelvermogen Statigcoolers

Het koelvermogen, de afmetingen, het waterverbruik en het wrijvingsverlies per type is gegeven in tabel 3.10. Een samenvatting van alle typen Statigcoolers is gegeven in figuur 3.14.

| Type           | Koel-<br>vermogen<br>[kW] | lxbxh [mm]                 | Waterverbruik [l/h] | Wrijvingsverlies [W] |
|----------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| SC750/690      | 3,024                     | 690 x 610 x 750 (+100)     | 5,0                 | 71                   |
| SC1010/690     | 4,047                     | 690 x 610 x 1.010 (+100)   | 6,6                 | 93                   |
| SC1500/690     | 6,048                     | 690 x 610 x 1.500 (+100)   | 9,9                 | 141                  |
| SC750/1380     | 4,270                     | 1.380 x 610 x 750 (+100)   | 7,1                 | 190                  |
| SC1010/1380/79 | 6,462                     | 1.380 x 610 x 1.010 (+100) | 10,7                | 312                  |
| SC1500/1380    | 8,540                     | 1.380 x 610 x 1.500 (+100) | 14,1                | 380                  |

Tabel 3.10 Specificaties verschillende typen Statigcoolers



Figuur 3.14: Samenvatting verschillende typen Statiqcoolers



### 3.3 Optimair

Het bedrijf Optimair is in 2005 opgericht met als doel het ontwikkelen van de D2C techniek. Optimair is bij deze ontwikkelingen gesteund door Agentschap NL. Begin 2012 is het bedrijf de markt opgegaan met hun product dat nog steeds in verdere ontwikkeling is.

Het bedrijf heeft verschillende patenten op haar uitvindingen. De belangrijkste uitvinding van het bedrijf Optimair betreft een materiaal, het zogenoemde 'smart material', welke goed vocht opneemt en deze weer afgeeft bij relatief lage temperaturen. Optimair heeft hiermee een complete droger ontwikkeld dat gebruik maakt van dit materiaal. Het bedrijf heeft deze energiezuinige droger vervolgens gecombineerd met een dauwpuntskoeler van Statiqcooling om daarmee een nieuw koelsysteem op de markt te brengen.

De droger heeft een volumestroom van 5.000 m³/h. Nadat deze gedroogde lucht vervolgens ook gekoeld is in de dauwpuntkoelers, wordt 1.500 - 1.700 m³/h van deze lucht gebruikt als proceslucht en 3.300 – 3.500 m³/h wordt aan de te conditioneren ruimte toegevoerd. Dit zijn vaste gegevens. Desondanks zijn er tal van mogelijke combinaties van één of meerdere drogers en dauwpuntkoelers te bedenken, die daarmee afgestemd worden op de situatie.

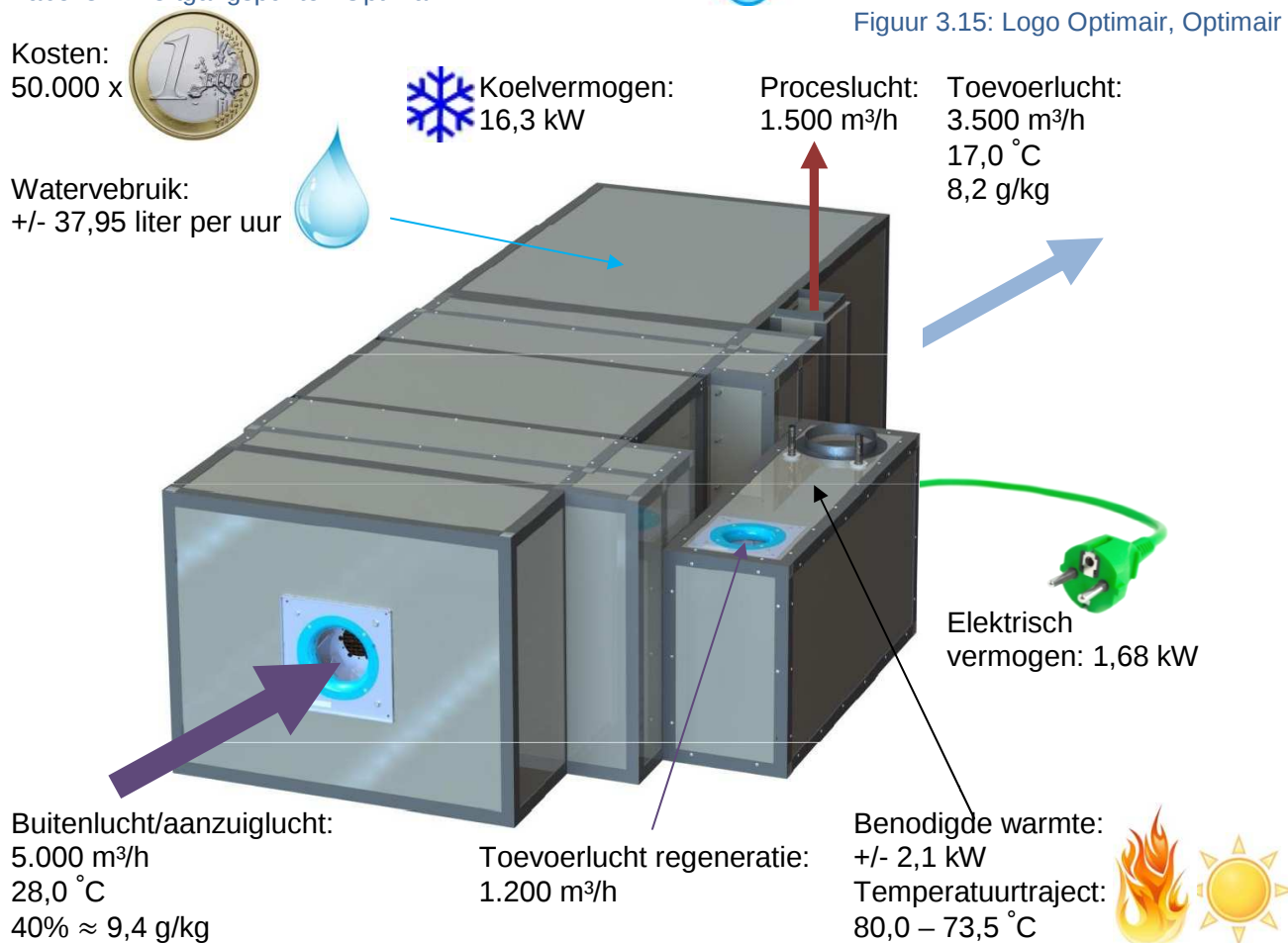
De genoemde gegevens zijn gebaseerd op de volgende buitencondities:

| Buitenlucht/aanzuiglucht        |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Temperatuur<br>(droge bol) [°C] | Absolute<br>vochtigheid [g/kg] |
| 28.0                            | +/- 9.4 (40%)                  |

Tabel 3.11: Uitgangspunten Optimair



Figuur 3.15: Logo Optimair, Optimair



Figuur 3.16: Samenvatting Optimair Dry to Cool

### 3.4 Robatherm

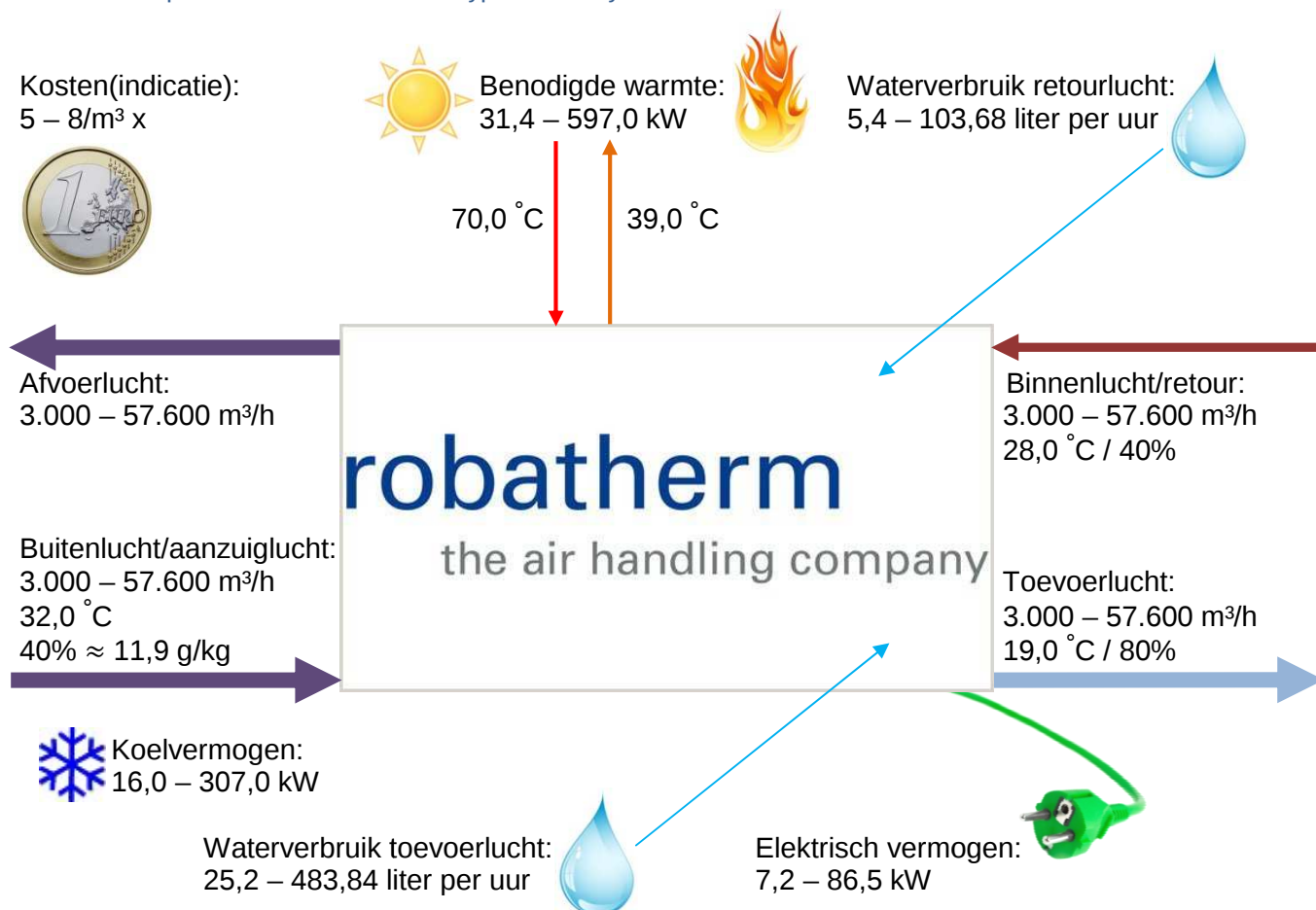
Robatherm is een Duitse fabrikant van verschillende luchtbehandelingskasten. Zo ook produceert Robatherm enkele luchtbehandelingskasten met het DEC-principe.

Wat opvalt aan de specificaties is dat de volumestromen, het koelvermogen en de benodigde regeneratiewarmte in verhouding gelijk zijn, maar dat het opgenomen elektrische vermogen daarentegen in verhouding lager is bij een hogere volumestroom.

Het bedrijf Monair is de Nederlandse vertegenwoordiger van Robatherm. Een prijs voor een systeem als deze kunnen zij niet geven, omdat er praktisch geen aanvragen voor deze luchtbehandelingskasten worden gedaan. Geadviseerd wordt daarom om rekening te houden met een m<sup>3</sup>-prijs van € 5,- tot € 8,- per m<sup>3</sup>.

| Volume-stroom [m <sup>3</sup> /h] | Type      | lxbxh [mm]             | Gewicht [kg] | Koel-vermogen [kW] | Elektrisch vermogen [kW] | Regeneratie-warmte [kW] |
|-----------------------------------|-----------|------------------------|--------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|
| 3.000                             | RMC 09/12 | 8.925 x 1.304 x 2.116  | 3.558        | 16                 | 7,2                      | 31,4                    |
| 4.500                             | RMC 09/12 | 8.925 x 1.304 x 2.116  | 3.554        | 24                 | 8,8                      | 47,1                    |
| 7.900                             | RMC 09/15 | 9.078 x 1.610 x 2.728  | 4.860        | 42                 | 14                       | 81,9                    |
| 11.900                            | RMC 09/18 | 9.078 x 1.916 x 2.728  | 5.675        | 63                 | 17,4                     | 123,3                   |
| 16.600                            | RZ 12/21  | 9.384 x 2.282 x 2.708  | 6.963        | 89                 | 26,8                     | 172                     |
| 27.500                            | RZ 15/27  | 10.608 x 2.864 x 3.320 | 9.940        | 147                | 40                       | 285                     |
| 34.500                            | RZ 15/30  | 10.914 x 3.200 x 3.320 | 11.233       | 184                | 51                       | 357,6                   |
| 57.600                            | RZ 21/39  | 13.362 x 4.118 x 4.544 | 18.527       | 307                | 86,5                     | 597                     |

Tabel 3.12 Specificaties verschillende typen DEC-systemen Robatherm



Figuur 3.17: Samenvatting DEC-systeem verschillende typen Robatherm

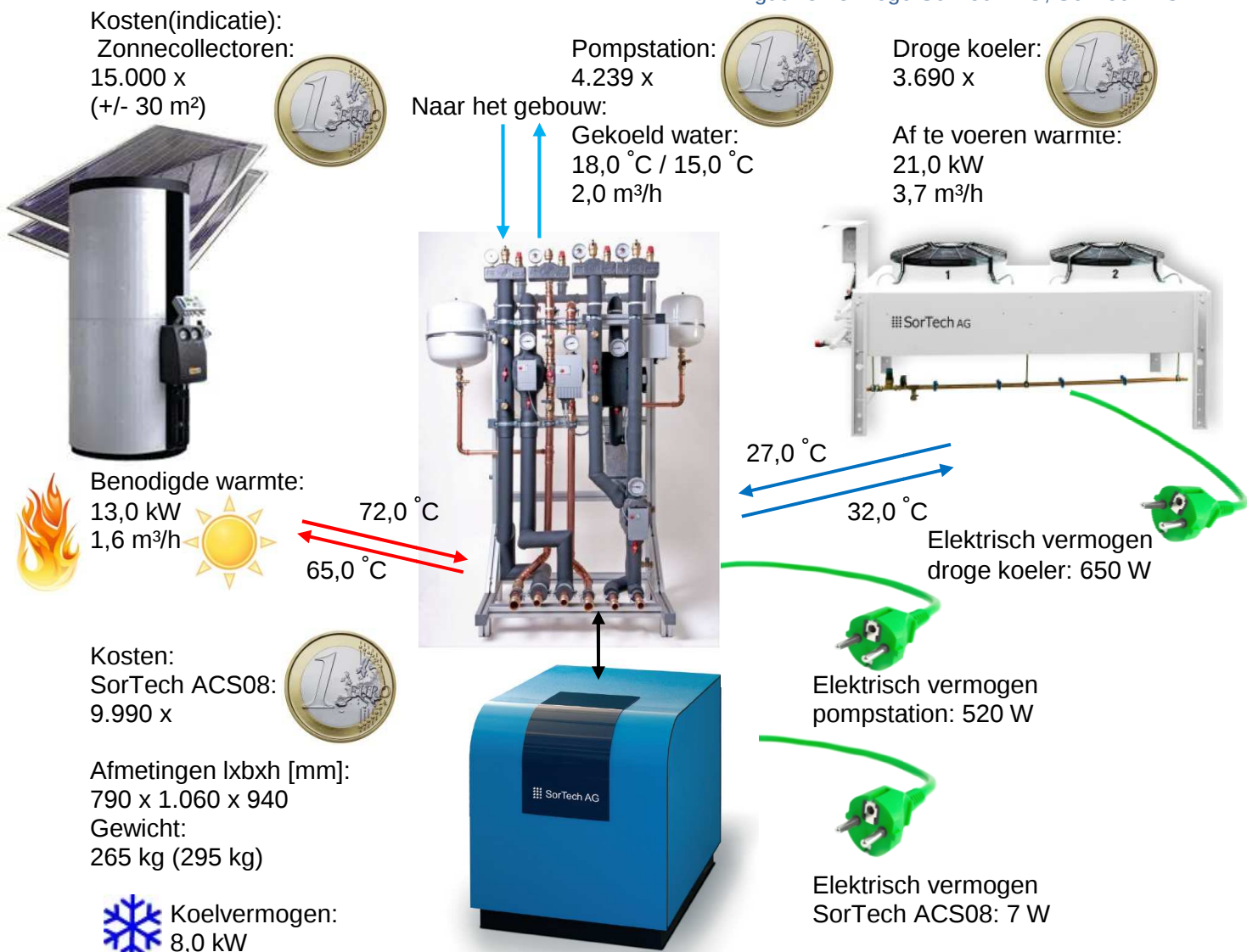
### 3.5 SorTech AG

SorTech AG is een Duitse fabrikant van adsorptiekoelers. Het bedrijf heeft momenteel twee typen adsorptiekoelers in het assortiment. Daarnaast levert het bedrijf een pompstation, dit is een prefab systeem waarin de nodige appendages zijn gemonteerd. Ook heeft het bedrijf twee drogekoelers in het assortiment dat aansluit op de behoeften van de adsorptiekoelers.

Het ligt voor de hand om bijvoorbeeld een zonneboilersysteem toe te passen voor het verkrijgen van de nodige warmte voor de koeling. Wanneer de koelbehoefte het hoogst is, zal een systeem als deze de meeste zonnewarmte produceren. Echter zijn ook combinaties met bijvoorbeeld een WKK een denkbare oplossing. In de zomer is er wel elektriciteitsverbruik, maar geen warmtebehoefte. Om de WKK ook in de zomer efficiënt te gebruiken kan de geproduceerde warmte gebruikt worden voor koeling.

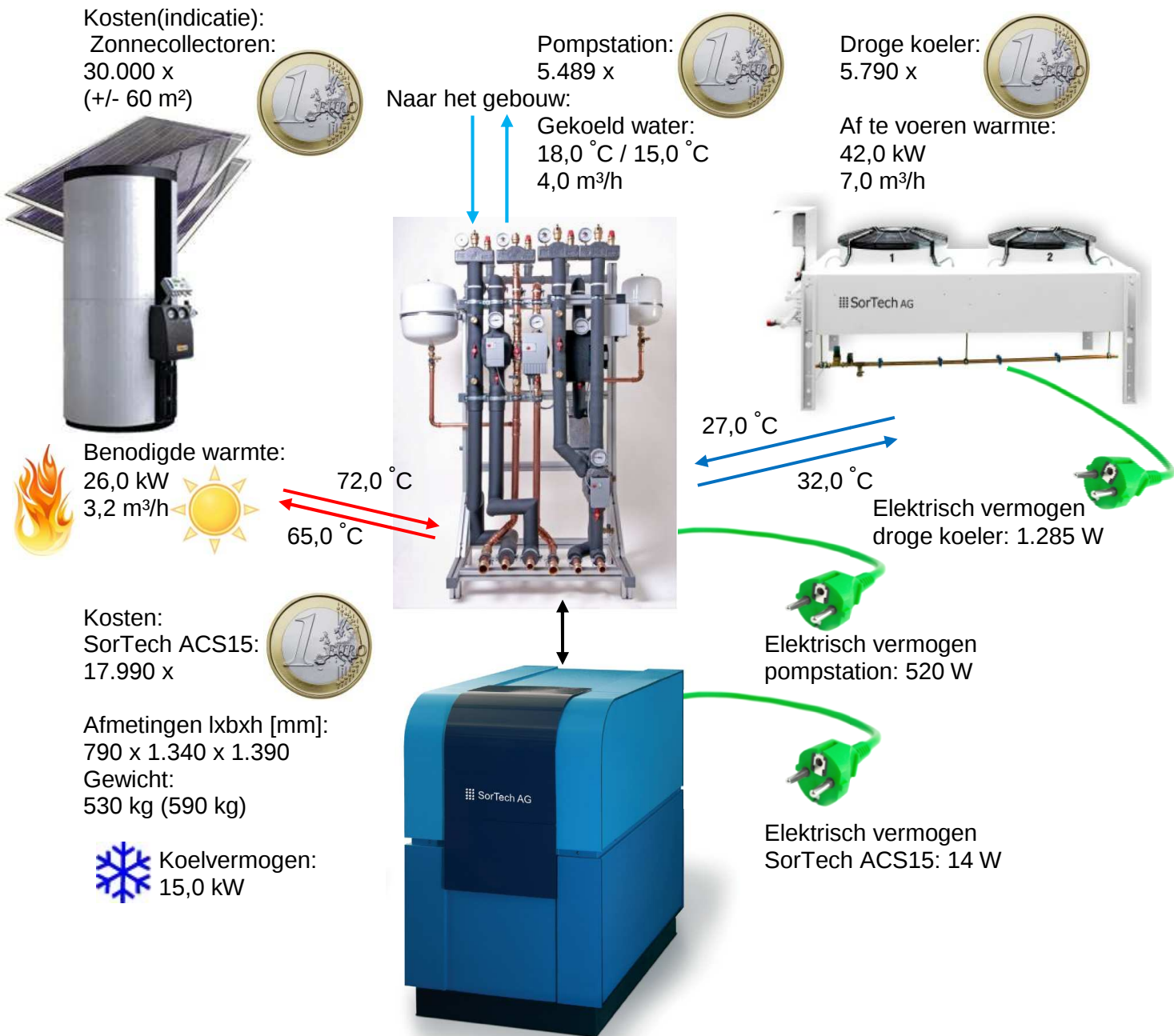
De specificaties zijn door de fabrikant opgegeven en betreffen de nominale condities. Op basis van ervaring geeft de fabrikant aan dat in Nederland (en Duitsland) ongeveer 3 – 4 m<sup>2</sup> zonnecollector nodig is per benodigde kW koeling.

#### 3.5.1 ACS08



Figuur 3.19: Samenvatting SorTech ACS08

### 3.5.2 ACS15

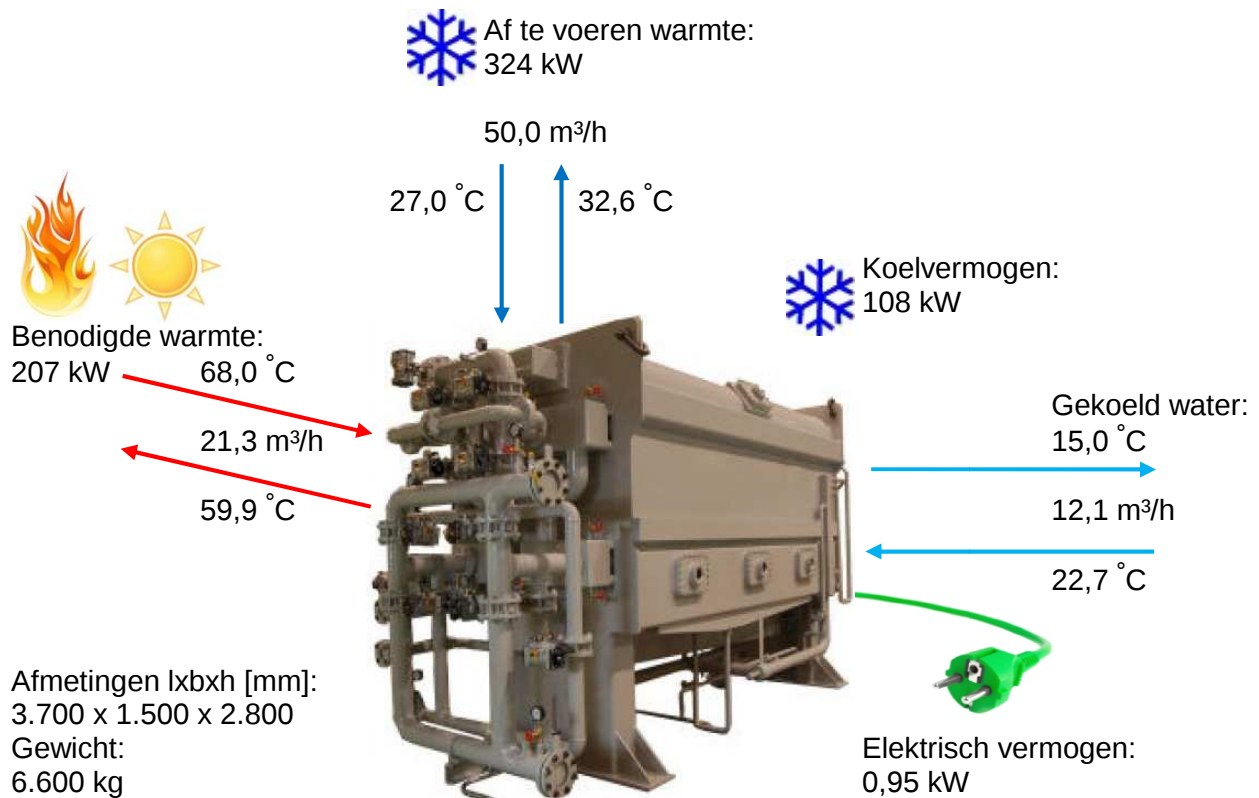


Figuur 3.20: Samenvatting SorTech ACS15

### 3.6 Geveke

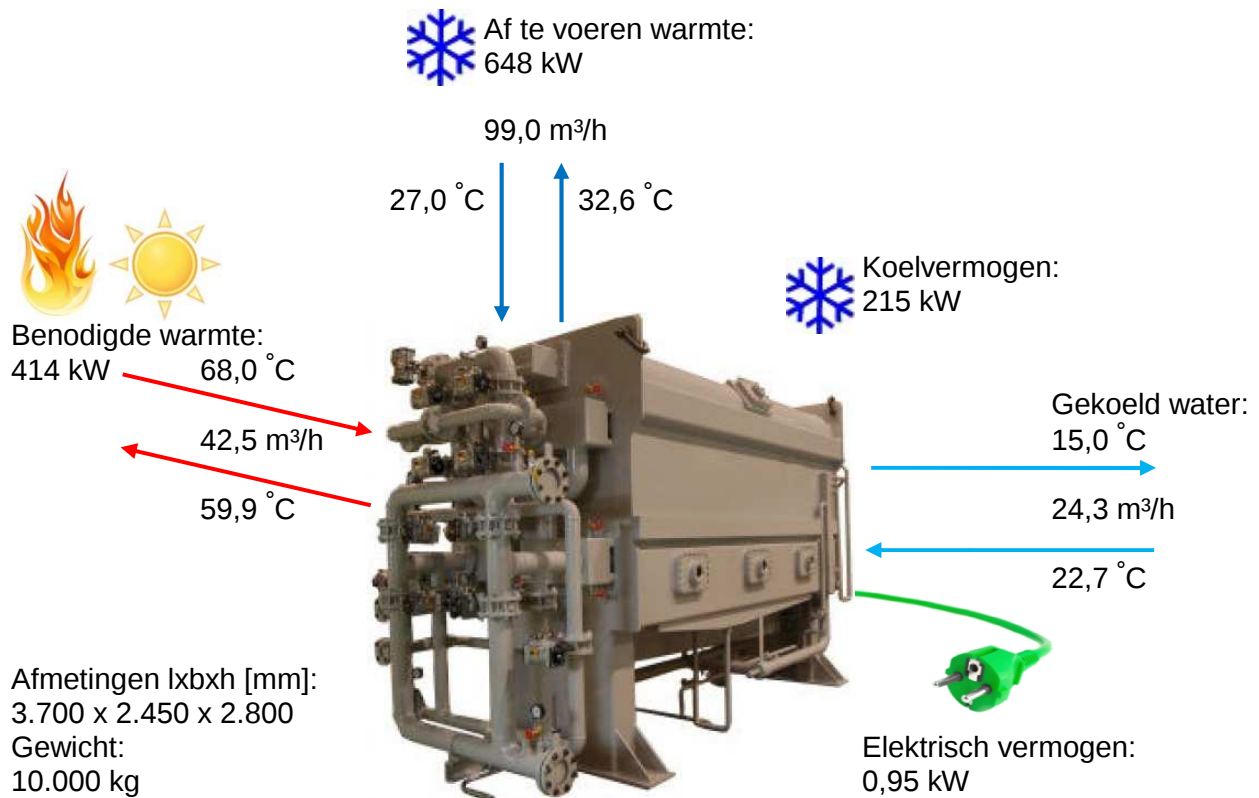
Ook het Nederlandse bedrijf Geveke levert drie types adsorptiekoelmachines. Deze zijn van een stuk groter formaat dan de SorTech machines. Veel informatie is er nog niet beschikbaar over deze adsorptiekoelmachines, omdat er in Nederland nog geen projecten zijn gerealiseerd met deze machines. Onderstaande gegevens zijn dan ook nominale gegevens, welke opgegeven zijn door de leverancier.

#### 3.6.1 GEVAD-110



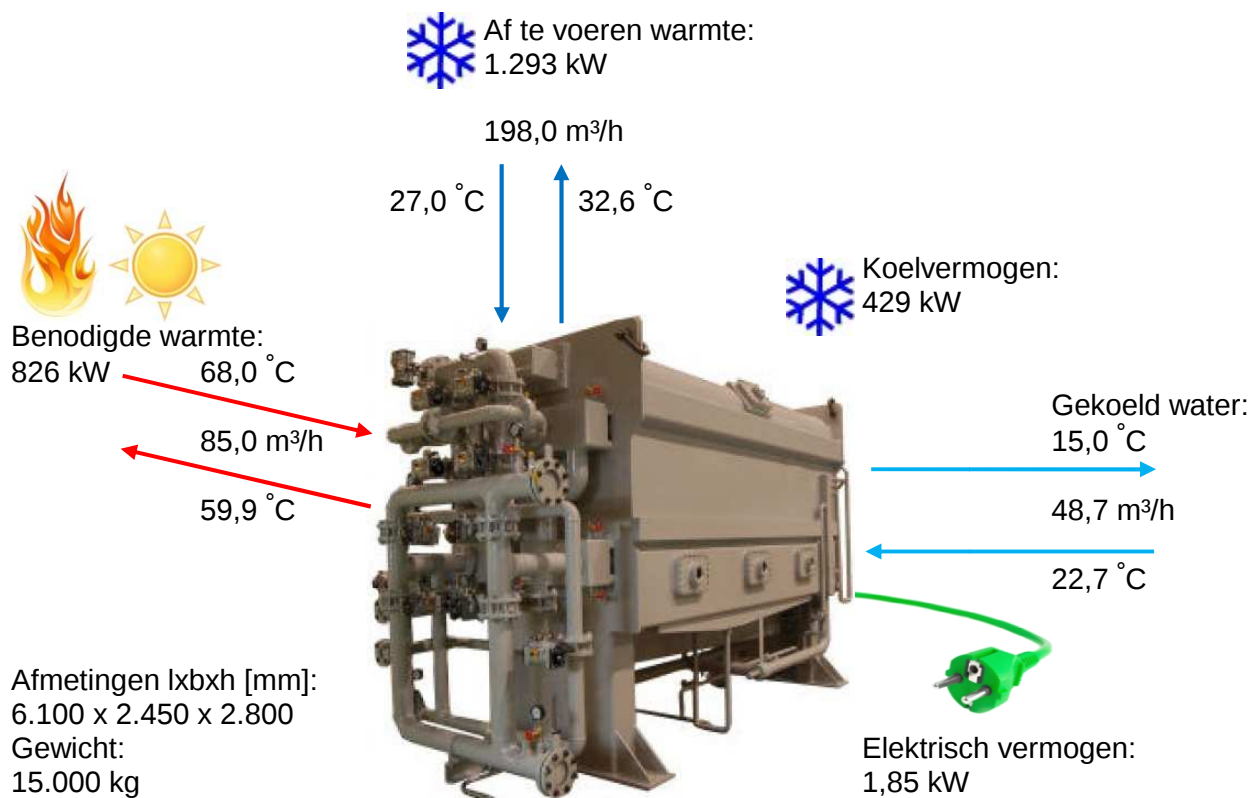
Figuur 3.21: Samenvatting Geveke GEVAD-110

### 3.6.2 GEVAD-215



Figuur 3.22: Samenvatting Geveke GEVAD-215

### 3.6.3 GEVAD-430



Figuur 3.23: Samenvatting Geveke GEVAD-430

### 3.7 Overzichtsmatrix

Figuur 3.13 toont een overzicht van de verkregen specificaties van de verschillende koelsystemen/-principes welke voor dit rapport zijn onderzocht.

| Koeling                                             | Diabatisch                                    | D2C                                     | DEC                                     | Adsorptie             | Compressie *  |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Nominaal vermogen [kW]                              | 3 – 8,5                                       | +/- 16                                  | 16 – 307                                | 8 – 15,<br>108 – 429  | 1 – 5.300     |
| Goede koppel mogelijkheden                          | ja                                            | ja                                      | nee                                     | ja                    | ja            |
| Aandrijving                                         | Verdamping<br>Elektriciteit<br>(ventilatoren) | Verdamping/<br>Warmte/<br>Elektriciteit | Verdamping/<br>Warmte/<br>Elektriciteit | Warmte                | Elektriciteit |
| Elektriciteitsverbruik t.o.v. nominaal koelvermogen | +/- 10%                                       | +/- 10%                                 | 28 – 45%                                | 0,1 – 1,0%            | 15 – 35 %     |
| Warmtetoevoer t.o.v. nominaal koelvermogen          | 0%                                            | +/- 16%                                 | 200%                                    | 160 – 200%            | 0%            |
| C.O.P.                                              | 10 – 20                                       | 8 – 20                                  | 0,4 – 0,8                               | +/- 0,5               | 3 – 6         |
| Bevochtiging toevoerlucht                           | nee                                           | nee                                     | ja (25,2 – 483,84 l/h)                  | n.v.t.                | n.v.t.        |
| Bevochtiging afvoer-/proceslucht                    | ja (5 – 14 l/h)                               | ja (37,95 l/h)                          | ja (5,4 – 103,68 l/h)                   | n.v.t.                | n.v.t.        |
| Ontvochtiging (toevoerlucht)                        | nee                                           | ja                                      | ja                                      | mogelijk              | mogelijk      |
| Primair medium                                      | Lucht                                         | Lucht                                   | Lucht                                   | Water                 | Water         |
| Volumestroom [m³/h]                                 | 1.050 – 2.940                                 | 3.300                                   | 3.000 – 57.600                          | 2 – 4,<br>12,1 – 48,7 | -             |
| Verwarmings-mogelijkheden binnen het systeem        | nee                                           | ja                                      | ja                                      | ja                    | ja            |
| Indicatie investering [€/kW] **                     | 1.100 – 1.400<br>(Coolerado)                  | 3.000                                   | 937,50 – 1.500                          | 1.250<br>(SorTech)    | 125 - 750     |

\* = Uitgaande van een elektrische compressor.

\*\* = Exclusief de investeringskosten voor de nodige secundaire systemen.

Tabel 3.13: Overzichtsmatrix

## 4 Selectietool koelsystemen

Om te kunnen bepalen welke koelsystemen geschikt zijn voor een bepaalde situatie, is een selectietool geproduceerd. Door het stellen van een aantal vragen is het mogelijk om bepaalde systemen uit te sluiten en de selectie van mogelijk toe te passen koelsystemen te verkleinen. Uiteraard zijn er situaties denkbaar waar deze vragen geen selectieverkleining opleveren.

De stappen voor deze selectieverkleining zijn er voornamelijk voor om de selectie van mogelijkheden te beperken. Door deze beperking hoeven er voor de onmogelijkheden geen berekeningen en vergelijkingen te worden gemaakt.

Tussen de overgebleven mogelijkheden kan vervolgens, door de gebruiker, een afweging worden gemaakt. Hiertoe is het mogelijk om onder andere financiële gegevens met elkaar te vergelijken. Dit betreffen de geschatte totale investerings-, onderhouds- en energiekosten van de verschillende innovatieve koelsystemen.

Voor de berekening van deze gegevens is als input het benodigde maximale koelvermogen, de totale jaarlijkse koeling en het bijbehorende aantal jaarlijkse koeluren nodig. Om tot de financiële gegevens te komen wordt, op basis van deze invoer van gegevens, de specificaties van de fabricaten en diverse aan te passen kengetallen, per koelsysteem/-principe berekend wat:

- de benodigde (aantal) machines zijn;
- het koelvermogen is van deze machines zijn;
- de benodigde warmtestromen (van de secundaire systemen) zijn;
- de benodigde volumestromen (van de secundaire systemen) zijn.

De koelsystemen/-principes waarvoor deze berekeningen worden uitgevoerd, zijn genoemd in hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3. Dit betreffen de volgende koelsystemen:

- Adsorptiekoeling
- Desiccant and Evaporative Cooling (DEC)
- Diabatische koeling
- Dry To Cool (D2C)

Naast deze koelsystemen worden ook berekeningen gemaakt voor compressie koeling (elektrische warmtepomp/koelmachine). Deze berekeningen worden gemaakt om de innovatieve systemen te kunnen vergelijken met een conventioneel koelsysteem.

De overige conventionele en state-of-the-art koelsystemen/-principes zijn niet berekend, maar worden wel eventueel genoemd als mogelijkheid na de selectieverkleining. Deze systemen zijn:

- Absorptiekoeling
- Adiabatische koeling (direct / indirect)
- Compressie koeling (gasmotorwarmtepomp)
- Koeltoren
- Warmte Koude Opslag

De regels die in Excel zijn toegepast zijn voornamelijk de volgende:

- Als: bij deze functie wordt een voorwaarde/vergelijking opgegeven. Daarnaast wordt een waarde opgegeven die Excel moet nemen als aan deze voorwaarde wordt voldaan (de vergelijking is 'waar') en een waarde die Excel moet nemen als niet aan de opgegeven voorwaarde wordt voldaan (de vergelijking is 'niet waar').
- Of: bij deze functie kunnen meerdere voorwaarden/vergelijkingen worden opgegeven. Als aan minimaal één van deze voorwaarden wordt voldaan, geeft de functie als resultaat 'waar'. Als aan geen van deze voorwaarden wordt voldaan, geeft de functie als resultaat 'niet waar'.



## 4.1 Stap 1: Invoer van gegevens en berekeningen

### 4.1.1 Invoerblad

De eerste stap in de selectietool is de invoer van de projectspecifieke gegevens, dit is mogelijk op het 'invoerblad'. Dit zijn gegevens die gebruikt worden voor de berekeningen, maar ook gegevens die gebruikt worden ter informatie op het uiteindelijke adviesblad, zie paragraaf 4.4. Na deze eerste stap kan overgegaan worden naar stap 2: Selectieverkleining op basis van eisen en wensen, zie paragraaf 4.2.

Daarnaast kan men vanaf het invoerblad naar het tabblad van een specifiek koelsysteem of van de algemene gegevens gaan om parameters, berekeningen en andere gegevens te bekijken en/of aan te passen.

De gevraagde gegevens bestaan uit:

- Het projectnummer: ter informatie.
- De projectnaam: ter informatie.
- Het maximaal benodigde koelvermogen: voor de berekeningen.
- De totale jaarlijkse koelvraag/koeling: voor de berekeningen.
- Het totale jaarlijkse aantal uren koeling: voor de berekeningen.

### 4.1.2 Gegevensblad

Het 'gegevensblad' is een tabblad waar enkele algemene parameters en kengetallen te vinden zijn, maar ook enkele specifieke kengetallen van de onderzochte koelsystemen. Met deze kengetallen en parameters wordt gerekend en kunnen naar wens en inzicht worden aangepast. Enkele van deze parameters hebben betrekking op specifieke secundaire systemen. De reden dat voor deze specifieke secundaire systemen is gekozen wordt toegelicht in paragraaf 4.3.

De gegevens die op dit tabblad te vinden en aan te passen zijn, betreffen onder andere de volgende:

- De investeringskosten van de verschillende koelsystemen en secundaire systemen. Afhankelijk van het desbetreffende systeem zijn deze kosten op te geven per toestel, per kW, per m<sup>2</sup> (bijvoorbeeld bij zonnecollectoren) of per m<sup>3</sup>/h (bijvoorbeeld bij DEC-systemen).
- De jaarlijkse onderhoudskosten van de verschillende koelsystemen en secundaire systemen. Afhankelijk van het desbetreffende systeem zijn deze kosten op te geven per toestel of per kW.
- De energiekosten van verschillende energiedragers (water, gas, elektriciteit en pellets).
- De CO<sub>2</sub>-uitstoot behorende bij de verschillende energiedragers (gas, elektriciteit en pellets).
- De warmte-inhoud van de energiedragers (gas en pellets).
- De opbrengst per m<sup>2</sup> zonnecollector.
- De oppervlakte van een zonnecollector.
- De jaarlijkse stijging van de jaarlijkse kosten (zowel de energie- als de onderhoudskosten).

### 4.1.3 Gegevensinvoer koelsystemen

Voor elk koelsysteem/-principe is een tabblad aangemaakt. Op deze tabbladen zijn de specificaties van de onderzochte fabricaten te vinden. Het uitgangspunt voor de berekeningen is dat er gerekend wordt met de specificaties van de onderzochte fabricaten. Om in de toekomst ook wijzigingen te kunnen doorvoeren of nieuwe/andere fabricaten te berekenen, zijn deze specificaties aanpasbaar. Uiteraard is het ook mogelijk om eventueel een ander fabricaat toe te voegen door de tool aan te passen en daarbij de berekeningsstappen te kopiëren. Op die manier kunnen verschillende nieuwe fabricaten onderling en met de huidige fabricaten vergeleken worden.

De specificaties die ingevoerd zijn op de tabbladen van de koelsystemen en waar mee gerekend wordt zijn:

- Het nominale koelvermogen van elk systeem/type.
- De energiebehoefte aan elektriciteit en eventueel water.
- De vereiste warmtestromen van eventuele secundaire systemen. Enkele van deze vereiste warmtestromen wordt berekend op basis van de invoer van het vereiste volumestroom en het vereiste temperatuurtraject.

Verder zijn er gegevens ingevoerd die niet essentieel zijn voor het uiteindelijke advies, maar die ter informatie genoemd en/of gebruikt worden.

Deze gegevens zijn:

- Naam van de fabrikant.
- Type van het fabricaat.
- De volumestroom van het gekoelde water/de gekoelde lucht en van de secundaire systemen. In de meeste gevallen wordt deze slechts gebruikt ter berekening van de totale volumestroom van het systeem.
- Het temperatuurtraject van het gekoelde water en van de secundaire systemen.
- De temperatuur van de gekoelde lucht.
- De luchtvochtigheid van de gekoelde lucht.
- De uitgangspunten voor de aanzuiglucht/buitenlucht.
- De afmetingen van de fabricaten.
- Het gewicht van de fabricaten.

Als enige fabricaat, van de onderzochte systemen, zijn er geen berekeningen gemaakt voor de Statiqcooler. Dit omdat de Statiqcooler slechts één onderdeel is van een luchtbehandelingsinstallatie en omdat de overige benodigde componenten afhankelijk zijn van de specifieke situatie. Daarnaast is er niks bekend over de kosten van de Statiqcooler en over de verbruiken van de nodige overige componenten. De toepasbaarheid van de dauwpuntskoelers van Coolerado zal daarom moeten uitwijzen of het nuttig is om hier een aanvraag voor in te dienen.

Voor enkele niet onderzochte koelsystemen, die echter wel worden berekend als secundair systeem, zijn deze gegevens op basis van een parameter per kW koeling. Dit is het geval bij Warmte Koude Opslag en bij de koeltoren.

#### **4.1.4 Berekeningen koelsystemen**

Op basis van de gegevens uit paragraaf 4.1.1, 4.1.2 en 4.1.3 worden de berekeningen automatisch uitgevoerd middels verschillende formules en regels. Deze formules en regels zijn ingevoerd in Excel. De formules voor de berekeningen zijn te vinden op het principeschema van de selectietool, zie bijlage 1. Deze berekeningen worden voor elk koelsysteem/-principe uitgevoerd. Dit gebeurt daarom ook op het tabblad van het desbetreffende systeem. In deze paragraaf worden enkele basis berekeningen toegelicht.

Aan de hand van verschillende formules en regels wordt allereerst bepaalt welk(e) fabricaat/fabricaten er nodig zijn en het aantal hiervan. Dit geschiedt op basis van het maximaal benodigde koelvermogen en het nominale koelvermogen van de verschillende fabricaten.

Vervolgens wordt bepaald wat het totale nominale koelvermogen is en ook wat de totale investerings- en onderhoudskosten voor dit fabricaat/deze combinatie van fabricaten zijn.

De eventueel benodigde secundaire warmtestromen (warmte toevoer en warmte afvoer) zijn opgegeven bij nominaal koelvermogen (specificaties). Aangezien het totale opgestelde nominale koelvermogen groter zal zijn dan het maximaal benodigde koelvermogen, worden deze secundaire

warmtestromen verhoudingsgewijs verrekend. Dit gebeurt op basis van de verhouding tussen het opgestelde nominale koelvermogen en het maximaal benodigde koelvermogen.

Door middel van de verrekende secundaire warmtestroom wordt de verhouding tussen deze maximaal benodigde secundaire warmtestroom en het maximaal benodigde koelvermogen bepaald. Vervolgens wordt deze verhouding vermenigvuldigd met de totale jaarlijkse koelvraag. Dit geeft de totale jaarlijkse warmte behoefte en afvoer van warmte.

Op deze wijze van verhoudingen worden ook de jaarlijkse elektriciteitsverbruik van de adsorptiekoelers en het waterverbruik van desbetreffende systemen berekend. Het elektriciteitsverbruik van appendages zoals bijvoorbeeld circulatiepompen zijn niet meegenomen in de berekeningen. Dit omdat deze appendages volledig afhankelijk zijn van het afgiftesysteem en van het desbetreffende gebouw.

Het elektriciteitsverbruik van de overige systemen, de systemen met lucht als gekoeld medium, wordt berekend op basis van de nominale elektrische vermogens en het totale jaarlijkse aantal uren koeling. De reden hiervoor is dat deze systemen gebruikmaken van een luchtventilator welke in ieder geval tijdens de koeluren in bedrijf zijn. Het elektriciteitsverbruik van deze ventilatoren ten behoeve van ventilatie, zonder gebruik te maken van koeling, is dan ook niet meegenomen in de berekeningen.

Middels deze berekende water- en elektriciteitsverbruik wordt vervolgens per koelsysteem bepaald wat de jaarlijkse energiekosten en de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot zijn van het desbetreffende systeem.

#### 4.1.5 Berekeningen secundaire systemen

Om de totale concepten van systeemcombinaties onderling te kunnen vergelijken is het noodzakelijk om ook de secundaire systemen (bijvoorbeeld de nodige zonnecollectoren, pelletketel, koeltoren, etc.) daarin mee te nemen. Daartoe wordt voor deze systemen berekend wat de geschatte investerings-, onderhouds en energiekosten zullen zijn. Dit gebeurt op basis van de parameters, die te vinden zijn op het 'gegevensblad', zoals genoemd in paragraaf 4.1.2.

Om de jaarlijkse energiekosten te berekenen wordt onder andere bepaald wat het jaarlijkse energieverbruik is. Hiermee wordt tevens berekend wat de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot van de desbetreffende secundaire systemen is.

Deze berekeningen en resultaten zijn voor de warmte afvoer te vinden op het tabblad van het desbetreffende primaire koelsysteem. De berekeningen en resultaten voor de toevoer van warmte daarentegen zijn te vinden op het tabblad 'warmteopwekking'. Dit omdat er voor deze systemen specifieke formules zijn opgesteld. Door deze op een specifiek tabblad te verzamelen is het daardoor in de toekomst eenvoudiger om hier eventuele wijzigingen in door te voeren.

#### 4.1.6 Alle systemen

Op het tabblad 'alle systemen' wordt onder andere een overzicht gegeven van:

- Verschillende gegevens met betrekking tot de koelsystemen, zie paragraaf 4.1.3.
- Alle berekende gegevens, zoals genoemd zijn in de paragrafen 4.1.4 en 4.1.5.

Daarnaast wordt per (secundair) systeem een optelling van meerdere waardes gegeven, zoals:

- Jaarlijks kosten: energiekosten (water, gas, elektriciteit en pellets) en onderhoudskosten.
- Jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot: CO<sub>2</sub>-uitstoot van verschillende energiedragers (gas, elektriciteit en pellets).

Al deze gegevens worden gebruikt voor de eindresultaten, zie paragraaf 4.4.

## 4.2 Stap 2: Selectieverkleining op basis van eisen en/of wensen

In de volgende paragrafen staan verschillende keuzemogelijkheden genoemd en toegelicht. Deze keuzes betreffen enkele eisen en/of wensen die mogelijk binnen een specifiek project aan een koelsysteem worden gesteld. De eisen en/of wensen samen bepalen wat de mogelijk toe te passen koelsystemen/-principes zijn binnen het specifieke project. Elke eis/wens resulteert in een beperking van de mogelijk toe te passen systemen. Om die reden zijn deze keuzemogelijkheden opgenomen in de selectietool.

In de meeste gevallen zijn er twee mogelijkheden:

- de genoemde keuzemogelijkheid is een eis/wens;
- de genoemde keuzemogelijkheid is geen eis/wens (= geen voorkeur).

In de meeste gevallen zal dan ook slechts één van beide opties resulteren in een beperking van de mogelijk toe te passen systemen.

De opties die resulteren in een beperking van de mogelijk toe te passen systemen worden in de volgende paragrafen genoemd. Bij deze opties worden tevens de mogelijke koelsystemen, die voldoen aan deze criteria, genoemd.

Enkel in de eerst volgende paragraaf is ook de optie die niet voor een beperking zorgt genoemd. Dit omdat deze keuzemogelijkheid de eerste stap is en deze de basis is voor de keuzemogelijkheden die hierop volgen.

De onderwerpen voor de keuzemogelijkheden zijn:

- aandrijving (elektrisch, gas/warmte);
- afgiftesysteem;
- ontvochtiging;
- bevochtiging;
- verwarming.

Door de keuzemogelijkheden te combineren is het mogelijk om de selectie van mogelijk toe te passen koelsystemen drastisch te verkleinen. Het resultaat van de verschillende combinaties van keuzes is zichtbaar in het procesdiagram welke te vinden is in bijlage 2.



### 4.2.1 Aandrijving

De keuze voor de aandrijving kan ervoor zorgen dat het aantal mogelijkheden flink afneemt. Het betreft de keuze tussen elektrische aandrijving of aandrijving door middel van warmte dan wel gas. Dit is een belangrijke stap door de aan- of afwezigheid van elektriciteit, warmte of gas.

| Elektrisch (t.b.v. ventilator / pomp)                                                                                                                                                                                                                           | Warmte/gas (klein deel elektrische hulpenergie)                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Adiabatische koeling (direct / indirect)<br>Compressie koeling (elektrische warmtepomp)<br>Diabatische koeling<br>Koeltoren<br>WKO                                                                                                                              | Absorptiekoeling<br>Adsorptiekoeling<br>Compressie koeling (gasmotorwarmtepomp) |
| Geen voorkeur                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                 |
| Absorptiekoeling<br>Adiabatische koeling (direct / indirect)<br>Adsorptiekoeling<br>Compressie koeling (elektrische warmtepomp / gasmotorwarmtepomp)<br>Desiccant and Evaporative Cooling (DEC)<br>Diabatische koeling<br>Dry To Cool (D2C)<br>Koeltoren<br>WKO |                                                                                 |

Tabel 4.1: Keuzemogelijkheden met betrekking tot de aandrijving

### 4.2.2 Afgiftesysteem

Het kan een wens zijn dat de koelinstallatie gebruik maakt van het zelfde afgiftesysteem als de verwarmingsinstallatie. Wanneer een afgiftesysteem wordt toegepast waarbij lucht gekoeld wordt, behoren in principe alle koelsystemen tot de mogelijkheden. De lucht kan namelijk ook gekoeld worden door gebruik te maken van verdampingskoeling of middels een koelbatterij waar koud water doorheen stroomt. Echter wanneer er een afgiftesysteem gewenst is waar gekoeld water voor nodig is, zullen er een aantal systemen afvallen. De koelsystemen die gekoeld water leveren worden genoemd in tabel 4.2.

| Gekoeld water systemen                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Absorptiekoeling<br>Adsorptiekoeling<br>Compressie koeling (elektrische warmtepomp / gasmotorwarmtepomp)<br>Koeltoren<br>WKO |

Tabel 4.2: Keuzemogelijkheden met betrekking tot het afgiftesysteem



### 4.2.3 Ontvochtiging

Naast de temperatuur is ook de luchtvochtigheid een belangrijke factor voor het comfort. Tijdens de seizoenen waarin gekoeld wordt, kan daarom ook ontvochtiging en/of bevochtiging van de lucht gewenst zijn. Beide mogelijkheden zijn dan ook enkel van toepassing wanneer luchtkoeling kan worden toegepast.

In een luchtbehandelingskast kan onder andere ontvochtigd worden door bijvoorbeeld dieper te koelen dan de dauwpuntstemperatuur en door vervolgens gecondenseerd water af te voeren.

Bij de systemen in tabel 4.3 wordt de lucht binnen het koelproces ontvochtigd of kunnen deze systemen worden ingezet voor de ontvochtiging van de lucht op basis van condensatie.

| Ontvochtiging                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Absorptiekoeling<br>Adsorptiekoeling<br>Compressie koeling (elektrische warmtepomp / gasmotorwarmtepomp)<br>Desiccant and Evaporative Cooling (DEC)<br>Dry To Cool (D2C) |

Tabel 4.3: Keuzemogelijkheden met betrekking tot ontvochtiging

### 4.2.4 Bevochtiging

Binnen de systemen in tabel 4.4 wordt toegevoerde lucht, binnen het koelproces, bevochtigd.

| Bevochtiging                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------|
| Adiabatische koeling (direct)<br>Desiccant and Evaporative Cooling (DEC) |

Tabel 4.4: Keuzemogelijkheden met betrekking tot ontvochtiging

### 4.2.5 Verwarming

Waar in de zomer gekoeld wordt, zal in veel gevallen in de winter verwarmd worden. In verband met ruimtegebrek, kostenbeperking, financieel voordeel of andere redenen kan het voordelig zijn dat er slechts één systeem is voor zowel koeling als verwarming. De systemen in tabel 4.5 hebben deze mogelijkheid.

| Verwarmen                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Absorptiekoeling<br>Adsorptiekoeling<br>Compressie koeling (elektrische warmtepomp / gasmotorwarmtepomp)<br>Desiccant and Evaporative Cooling (DEC)<br>Dry To Cool (D2C)<br>WKO |

Tabel 4.5: Keuzemogelijkheden met betrekking tot verwarming

### 4.2.6 Procesdiagram

In bijlage 2 is het procesdiagram te vinden welke gecreëerd is door de in dit hoofdstuk genoemde keuzemogelijkheden te combineren. Daar waar een keuze mogelijkheid niet leidt tot een beperking van de overgebleven koelsystemen, is deze keuzemogelijkheid weggelaten.

### 4.3 Stap 3: Selectieverkleining op basis van secundaire systemen

Zoals is toegelicht in eerdere hoofdstukken en paragrafen maken enkele systemen gebruik van één of meerdere secundaire systemen. Voor deze secundaire systemen is een ruime keuze van mogelijkheden. Door deze ruime keuze van secundaire systemen kunnen er vele combinaties gemaakt worden met het betreffende koelsysteem.

De koelsystemen die gebruik maken van één of meerdere secundaire systemen zijn:

- Absorptiekoeling: warmte toevoer.
- Adsorptiekoeling: warmte toevoer, warmte afvoer.
- Desiccant and Evaporative Cooling (DEC): warmte toevoer.
- Dry To Cool: warmte toevoer.

Om het totaal aantal verschillende mogelijke combinaties enigszins te beperken is ervoor gekozen om slechts enkele toe te passen secundaire systemen te berekenen en mee te nemen in de selectietool. Hierbij is geprobeerd om een grote spreiding te creëren tussen conventioneel en innovatief/duurzaam.

Gekozen is voor de volgende secundaire systemen:

- Warmte toevoer:
  - o Aanwezige restwarmte: voor mogelijke combinaties met aanwezige restwarmte van bijvoorbeeld een warmtekrachtkoppeling. Voor deze optie worden dan ook geen extra kosten voor de warmteopwekking meegenomen.
  - o Zonnecollector(en): een duurzame oplossing met hoge investeringskosten, lage jaarlijkse kosten, lage jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot en een hoge duurzaamheidsgraad.
  - o Gasketel: Een conventionele oplossing.
  - o Pelletketel: Een duurzaam alternatief voor de gasketel waarbij gebruik gemaakt wordt van biomassa.
- Warmte afvoer:
  - o Droge koeler(s): De speciaal ontwikkelde droge koeler van het bedrijf SorTech AG voor toepassing in combinatie met de SorTech adsorptiekoelers.
  - o Natte koeltoren: Een veel voorkomende combinatie met adsorptiekoeling.
  - o Warmte Koude Opslag (WKO): Een steeds vaker gebruikte duurzame techniek waarbij de warmte niet wordt afgevoerd, maar wordt opgeslagen om deze in de winter te gebruiken.

Ook hier wordt getracht om de selectie van mogelijk toe te passen systemen te beperken tot systeemcombinaties die daadwerkelijk in het specifieke project mogelijk zijn. Hiertoe zijn er voor deze koelsystemen extra keuzemogelijkheden toegevoegd aan de selectietool. Afhankelijk van de overgebleven koelsystemen die volgen uit het procesdiagram in figuur 4.1, zijn de volgende vragen van toepassing:

- 'Is er restwarmte beschikbaar (bijvoorbeeld van een WKK)?': door deze vraag met 'nee' te beantwoorden zullen de systeemcombinaties met restwarmte afvallen.
  - o 'Wat is de aanvoertemperatuur van deze warmte?': afhankelijk van de systeemeisen en de beschikbare aanvoertemperatuur zullen bepaalde systeemcombinaties met restwarmte afvallen. De meeste systemen hebben restwarmte nodig van minimaal 55°C en zullen dan ook afvallen wanneer een lagere temperatuur wordt opgegeven.
- 'Is er de mogelijkheid om zonnecollectoren te plaatsen en is dit efficiënt gezien de oriëntatie van het gebouw?': door deze vraag met 'nee' te beantwoorden zullen de systeemcombinaties met zonnecollectoren afvallen.
- 'Is er een WKO-systeem aanwezig of is er de mogelijkheid om een WKO-systeem toe te passen?': door deze vraag met 'nee' te beantwoorden zullen de systeemcombinaties met een WKO-systeem afvallen.

## 4.4 Selectieblad en adviesblad

Door de eerste stap, en indien nodig ook de tweede stap, van selectieverkleining te doorlopen (stap 2 en stap 3) zal op basis van de gemaakte keuzes één of meerdere (combinaties van) systemen overblijven. Een overzicht van de mogelijke (combinaties van) systemen, die volgen uit de eerste stap van de selectieverkleining, is te vinden op het tabblad waar de tweede stap plaats vindt. Daarnaast is op dit tabblad ook het uiteindelijke 'adviesblad' te vinden.

Op dit tabblad, in het overzicht van de mogelijke (combinatie van) systemen, zijn de volgende waarden terug te vinden:

- De totale investeringskosten van dit systeem/deze combinatie van systemen.
- Het totale gasverbruik van dit systeem/deze combinatie van systemen.
- Het totale pelletsverbruik van dit systeem/deze combinatie van systemen.
- Het totale elektriciteitsverbruik van dit systeem/deze combinatie van systemen.
- Het totale waterverbruik van dit systeem/deze combinatie van systemen.
- De totale jaarlijkse kosten van dit systeem/deze combinatie van systemen.
- De totale jaarlijkse energiekosten van dit systeem/deze combinatie van systemen.
- De totale jaarlijkse onderhoudskosten van dit systeem/deze combinatie van systemen.
- De totale jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot van dit systeem/deze combinatie van systemen.
- De totale kosten, over een opgegeven periode, van dit systeem/deze combinatie van systemen.

Hiertoe worden voor de mogelijke combinaties van systemen desbetreffende waarden van het primaire systeem en secundaire systeem/systemen bij elkaar opgeteld.

Door op dit tabblad de tweede stap van de selectieverkleining te doorlopen, wordt op basis van de gemaakte keuzes en invoer het overzicht van de mogelijke (combinaties van) systemen aangepast. Van de systemen die niet voldoen aan de criteria op basis van de gemaakte keuzes, zullen de hiervoor genoemde waarden 'wegvallen'. Hierdoor zal ook het zogeheten adviesblad worden aangepast. Dit adviesblad is de uitvoer van de tool en is dusdanig opgesteld dat deze op A4 geprint kan worden.

Naast de genoemde vragen uit paragraaf 4.3 dient, tijdens het doorlopen van stap 3, ook aangegeven te worden over welke periode men de totale kosten wilt laten berekenen. Op basis van deze berekende totale kosten over de opgegeven periode wordt, indien er meer dan vijf mogelijke (combinaties van) systemen over zijn gebleven, een top vijf bepaald. De volgorde hiervan wordt bepaald op basis van laagste totale kosten (over de opgegeven periode) naar hoogste totale kosten (over de opgegeven periode). Deze top vijf is terug te vinden op het adviesblad. Bij minder dan vijf overgebleven (combinaties) van systemen, zijn al deze combinaties op het adviesblad terug te vinden.

Naast de totale kosten is in deze top vijf ook terug te vinden wat de totale investeringskosten, jaarlijkse kosten en CO<sub>2</sub>-uitstoot is van elk van deze (combinaties van) systemen. Verder staat op het adviesblad aangegeven wat de berekende/overgebleven primaire systemen zijn. Daarnaast ook wat de niet berekende, maar wel mogelijke, koelsystemen/-principes zijn. Ook worden de uitgangspunten voor de berekeningen, de projectgegevens en huidige datum genoemd op het adviesblad.

## 5 Conclusie/aanbevelingen

Innovatieve koelsystemen zijn vaak gebaseerd op het basisprincipe van conventionele en state-of-the-art koelsystemen. Deze systemen hebben vaak duurzaamheid als speerpunt. De reden hiervoor is dat hier een toenemende vraag naar is.

De innovatieve koeltechnieken op de markt zijn:

- Adsorptiekoeling
- Desiccant and Evaporative Cooling (DEC)
- Diabatische koeling
- Dry To Cool (D2C)

Er zijn genoeg specificaties te verkrijgen over deze koelsystemen. Door deze specificaties te verwerken in een selectietool, kunnen op basis van verschillende formules en regels eenvoudig berekeningen worden gemaakt met betrekking tot investeringskosten, jaarlijkse kosten en jaarlijkse uitstoot van CO<sub>2</sub>. Deze berekeningen geschieden op basis van de invoer van diverse (algemene) kengetallen en op basis van specifieke invoergegevens met betrekking tot de benodigde koeling.

Voor enkele van deze koelsystemen zijn ook secundaire systemen nodig. Deze systemen dienen ter toe- of afvoer van warmte. Echter aangezien deze secundaire systemen buiten de scope van dit project vallen, zijn deze systemen niet onderzocht en gespecificeerd. Om desondanks uit de voeten te kunnen met de tool is er de mogelijkheid om, middels de invoer van kengetallen, de waarden voor investeringskosten, onderhoudskosten, energieverbruik/-kosten, CO<sub>2</sub>-uitstoot van deze systemen te berekenen. Deze waarden worden vervolgens opgeteld bij de waarden voor de desbetreffende primaire systemen. Hiermee kan een reële afweging gemaakt worden tussen de totale concepten. Echter om dit mogelijkheid te maken dienen deze kengetallen te worden onderzocht en te worden ingevoerd in de tool. Vervolgens heeft de gebruiker te allen tijde de mogelijkheid om deze kengetallen naar eigen kennis en inzicht aan te passen.

Daarnaast zal het door invoer van de juiste kengetallen mogelijk worden om de tool te toetsen aan enkele praktijksituaties. Hiertoe dienen praktijksituaties te worden onderzocht waar een systeem(combinatie), die voorkomt in de tool, is opgesteld. Hiermee kan de juistheid van de tool worden geverifieerd of kan de tool daar waar nodig worden gerectificeerd, zodat men in de toekomst effectief gebruik kan maken van de tool.

Verder zijn er diverse uitbreidingsmogelijkheden voor de tool. Zo kunnen er meerdere fabricaten en ook de overige koelsystemen aan de tool worden toegevoegd, zoals bijvoorbeeld Warmte Koude Opslag, adiabatische koeling, koeltorens en dergelijke.

Ook kunnen de secundaire systemen worden uitgebreid met meerdere mogelijkheden voor bijvoorbeeld de warmteopwekking en warmteafvoer.

Daarnaast is het mogelijk om berekeningen aan de tool toe te voegen die als uitvoer het maximaal benodigde koelvermogen, de totale jaarlijkse koelvraag en het totale jaarlijkse aantal koeluren geeft. Denk hierbij aan een model, die desbetreffende gegevens bepaald, op basis van klimaatgegevens en op te geven gebouwtype en -grootte.

Wellicht dat de tool zelfs gecombineerd kan worden met benodigde warmteopwekking en/of elektriciteitsopwekking. Op die manier kunnen totale installatieconcepten worden berekend en vergeleken.

## 6 Bronnen

| Bedrijf             | Informatie       | Website                                                          |
|---------------------|------------------|------------------------------------------------------------------|
| Agentschap NL       | Diverse          | <a href="http://www.agentschapnl.nl">www.agentschapnl.nl</a>     |
| Carrier             | Koelmachines     | <a href="http://www.carrier.nl">www.carrier.nl</a>               |
| Coolerado           | Dauwpuntskoeler  | <a href="http://www.coolerado.com">www.coolerado.com</a>         |
| Dutch Solar Systems | Zonnecollectoren | <a href="http://www.zonneboiler.nl">www.zonneboiler.nl</a>       |
| Geveke              | Adsorptiekoeling | <a href="http://www.geveke.nl">www.geveke.nl</a>                 |
| Holland Koeling     | Koelmachines     | <a href="http://www.hollandkoeling.nl">www.hollandkoeling.nl</a> |
| Kristalair          | Dauwpuntskoeler  | <a href="http://www.kristalair.nl">www.kristalair.nl</a>         |
| Monair              | DEC              | <a href="http://www.monair.nl">www.monair.nl</a>                 |
| Optimair            | Dry To Cool      | <a href="http://www.optimair.nl">www.optimair.nl</a>             |
| Ritter Gruppe       | Zonnecollectoren | <a href="http://www.ritter-gruppe.com">www.ritter-gruppe.com</a> |
| Robatherm           | DEC              | <a href="http://www.robatherm.nl">www.robatherm.nl</a>           |
| SorTech AG          | Adsorptiekoeling | <a href="http://www.SorTech.de">www.SorTech.de</a>               |
| Statiqcooling       | Dauwpuntskoeler  | <a href="http://www.statiqcooling.nl">www.statiqcooling.nl</a>   |
| Thermo Air          | Dauwpuntskoeler  | <a href="http://www.thermoair.nl">www.thermoair.nl</a>           |