

# Studierapport “Koudelevering naast het restwarmtenet van HVCenergie”



Edwin van der Hammen  
Milieukunde Duaal  
Studentnr.: 1539510

## Inhoudsopgave

|          |                                                  |          |
|----------|--------------------------------------------------|----------|
|          | <b>Dankwoord</b>                                 | <b>3</b> |
|          | <b>Samenvatting</b>                              | <b>4</b> |
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                                 | <b>5</b> |
| 1.1      | HVC Alkmaar                                      | 5        |
| 1.2      | Probleemstelling                                 | 5        |
| 1.3      | Vraagstelling                                    | 5        |
| <b>2</b> | <b>Energie</b>                                   | <b>6</b> |
| 2.1      | Energie vraag                                    | 6        |
| 2.2      | Energie transitie                                | 7        |
| 2.3      | Trias Energetica                                 | 7        |
| 2.3.1    | Beperk energie vraag                             | 8        |
| 2.3.2    | Duurzame energie                                 | 8        |
| 2.3.3    | Efficiëntere productie                           | 8        |
| <b>3</b> | <b>Onderbouwing aannames</b>                     | <b>9</b> |
| 3.1      | Centrale opwek bij afvalenergie centrale Alkmaar | 9        |
| 3.2      | Decentraal en individueel                        | 10       |
| 3.3      | Onderstation                                     | 10       |
| 3.4      | Distributie bij decentrale koudeopwek            | 11       |
| 3.4.1    | Leidingnet                                       | 11       |
| 3.4.2    | Koudenet                                         | 12       |
| 3.4.3    | Investering en operationele kosten               | 12       |
| 3.4.4    | Bronnen bij ondergrondse energieopslag           | 13       |
| 3.4.5    | Aandachtspunten                                  | 14       |
| 3.4.6    | Distribueren van de koeling                      | 15       |
| 3.5      | Temperaturen                                     | 16       |
| 3.5.1    | Topkoeling                                       | 17       |
| 3.5.2    | Gemiddelde jaarlijkse temperaturen               | 17       |
| 3.5.3    | Temperatuur regime                               | 18       |
| 3.5.4    | Temperatuur koude levering                       | 18       |
| 3.6      | Gelijktijdigheid                                 | 19       |
| 3.6.1    | Gelijktijdigheid bij warmtelevering              | 19       |
| 3.6.2    | Gelijktijdigheid bij koudelevering               | 19       |
| 3.7      | Koelmiddelen                                     | 20       |
| 3.7.1    | De milieubelasting van koudemiddelen             | 20       |
| 3.8      | Afgifte systemen                                 | 21       |
| 3.8.1    | Koeling met behulp van lucht                     | 21       |
| 3.8.2    | Koeling met behulp van koelwater                 | 21       |
| 3.8.3    | Koeling met behulp van koelmiddelleidingen       | 22       |

|          |                                                |           |
|----------|------------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b> | <b>Het onderzoek van koelconcepten</b>         | <b>23</b> |
| 4.1      | Concepten                                      | 23        |
| 4.2      | Selectiecriteria                               | 23        |
| 4.2.1    | Duurzaamheid                                   | 23        |
| 4.2.2    | Haalbaarheid                                   | 24        |
| 4.3      | Multi Criteria Analyse                         | 24        |
| 4.4      | Uitwerking Multi Criteria Analyse              | 25        |
| 4.5      | Uitwerking berekeningen                        | 26        |
| <b>5</b> | <b>Gevoeligheids analyse</b>                   | <b>30</b> |
| 5.1      | Risico bronkosten                              | 30        |
| 5.2      | Risico COP absorptiekoelmachine                | 31        |
| 5.3      | Verlies koude opslag                           | 32        |
| 5.4      | Energiekosten t.o.v. kosten GJ warmte          | 33        |
| <b>6</b> | <b>Conclusies en aanbevelingen</b>             | <b>34</b> |
| <b>7</b> | <b>Definities van begrippen en afkortingen</b> | <b>36</b> |
| <b>8</b> | <b>Bronnen</b>                                 | <b>37</b> |

## **Bijlagen**

|          |                                                                                 |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>Concept A</b><br>Decentraal opgestelde compressiekoelmachine                 |
| <b>2</b> | <b>Concept B</b><br>Decentraal opgestelde compressiekoelmachine met bodemopslag |
| <b>3</b> | <b>Concept C</b><br>Decentraal opgestelde absorptiekoelmachine                  |
| <b>4</b> | <b>Concept D</b><br>Decentraal opgestelde absorptiekoelmachine met bodemopslag  |
| <b>5</b> | <b>Concept E</b><br>Individuele adsorptiekoelmachine per woning                 |
| <b>6</b> | <b>Concept F</b><br>Individuele compressiekoelmachine per woning (airco)        |
| <b>7</b> | <b>Concept G</b><br>Decentraal opgestelde adiabatische koelmachine              |

## **Dankwoord**

Na 3 jaar studie zal met deze opdracht een einde komen aan mijn opleiding Milieukunde aan de Hogeschool Utrecht. In deze 3 jaar heb ik veel geleerd over de milieuproblematiek waar we in de wereld mee leven. De inzichten waren voor mij zeer verhelderend en geven mij nog steeds het gevoel dat het mijn plicht is mee te werken aan de oplossingen voor de milieuproblemen waar we nu en de komende decennia mee te kampen krijgen. Problemen als milieuvervuiling, grondstoffenverbruik en afvalproblematiek hebben mij de afgelopen jaren sterk bezig gehouden. Ik heb ook de overtuiging dat als wij niets doen aan deze problematiek we als mensheid de aarde langzaam leeg roven en het in de toekomst onmogelijk wordt onze welzijn en welvaart voort te kunnen zetten zoals we dat op dit moment doen.

Na een jaar studie heb ik binnen HVC de overstap gemaakt van procesvoering naar de nieuwe afdeling HVCenergie. Dit heb ik ervaren als een grote stap. Maar ik kan nu wel zeggen dat de ingeslagen weg van het vak “duurzame energie” me erg trekt en ook geloof ik in een duurzame energievoorziening voor de toekomst. We zijn dit als mensheid ook verplicht aan moeder aarde. We kunnen en mogen de uitputting van de aarde niet voorzetten zoals we dat nu doen.

Deze studie heb ik kunnen volgen omdat mijn omgeving me hiervoor de volledige steun heeft gegeven. Hiervoor wil ik mijn dank uitspreken. Als eerst mijn levenspartner Lianda en mijn kinderen, die er niet altijd even gelukkig mee zijn geweest gezien de impact van tijd die mijn studie op mij geëist heeft. Toch hebben ze me alle jaren volledig gesteund waarvoor mijn dank.

Tevens wil in mijn studiebegeleiders binnen HVC bedanken. Robert Kemmere heeft mij het eerste jaar van mijn studie begeleid en Robert Crabbendam de laatste twee jaren. Tevens mijn dank voor de hulp tijdens mijn afstudeeropdracht van Robert Crabbendam, Marco van Soerland en Ruud van der Starre. Mijn werkgever HVC dank ik voor de tijd en de financiële steun die ik gekregen heb tijdens deze studie

Ook dank ik mijn studiebegeleider vanuit de HU, Laurens Steijn, met wie ik de afgelopen 3 jaar regelmatig contact heb gehad over mijn vorderingen. Mijn begeleiders vanuit de HU tijdens mijn afstudeerproject Rien van Stigt en Liza Looijen wil ik danken voor hun deskundige inbreng tijdens mijn afstudeeropdracht.

Voor de hulp van bedrijven en leveranciers wil ik mijn dank uitspreken aan:

- R. de Boer van ECN
- J. Eismann van StatiqCooling BV
- A. Best van Carriër
- W. Niesthoven van Menerga

En last but not least dank ik mijn goede vrienden Matthijs Post en Robin Pronk.

Aangezien de kennis van de Nederlandse taal mij nog wel eens in de steek laat heeft Matthijs mijn afstudeerproject grondig doorgelopen op tekstuele en grammaticale fouten.

Deze studie ben ik samen met Robin begonnen en we hebben elkaar af en toe door de zware momenten heen moeten trekken. Dat is ons gelukt, en daar ben ik heel trots op.

Edwin van der Hammen

## Samenvatting

Uit strategisch oogpunt heeft HVC een aantal jaren geleden besloten een warmtenet aan te leggen in Alkmaar waarmee restwarmte ingezet kan worden voor ruimteverwarming in woningen en utiliteitsbouw. Deze duurzame manier van verwarmen kent één groot nadeel, er kan met dit concept niet gekoeld worden. Iets wat met concurrerende energie-efficiënte concepten wel kan.

In dit rapport wordt weergegeven welke opties er zijn om naast het warmtenet op en zo efficiënt mogelijke manier toch koude te kunnen leveren. Deze koel concepten zijn:

- Decentraal opgestelde compressiekoelmachine (CKM)
- Decentraal opgestelde compressiekoelmachine met bodem opslag (CKM + bodem)
- Decentraal opgestelde absorptiekoelmachine (AKM)
- Decentraal opgestelde absorptiekoelmachine met bodem opslag (AKM + bodem)
- Individuele adsorptiekoelmachines per woning (indiv AKM)
- Individuele compressiekoelmachines per woning (airco)
- Decentraal opgestelde adiabatischekoelmachine

De verschillende concepten zijn beoordeeld volgens een beoordelingssysteem, waarbij gekeken is naar de *duurzaamheid* en de *haalbaarheid* van een koude concept.

Onder duurzaamheid worden de drie P's als beoordelingsaspecten opgenomen. Dit houdt in dat de concepten met elkaar vergeleken zijn op:

*People, Planet, Prosperity*

Tevens wordt geanalyseerd op haalbaarheid waarbij op de volgende aspecten beoordeeld is:

*Financieel, Juridisch, Technisch, Maatschappelijk*

Met behulp van een Multi Criteria Analyse zijn er punten toegewezen aan de verschillende concepten waarna een goed overwogen en onderbouwde keuze gemaakt is tussen de concepten.

De volgende concepten zijn als beste uit dit onderzoek naar voren gekomen:

- CMK + bodem opslag
- AKM
- Indiv AKM

Na het uitwerken van de MCA is er voor de gekozen concepten een gevoeligheids analyse uitgevoerd, waarbij goed gekeken is waar de gevoeligheden van de concepten zitten. Hierop zijn diverse scenario's doorerekend.

Uit de gevoeligheids analyse blijkt dat financiële risico's van bronnen bij bodemopslag sterke invloed kunnen hebben op de haalbaarheid van een concept met bodemopslag.

Tevens kunnen bij bodemopslag verliezen optreden. Dit risico blijkt maar beperkt van invloed op de haalbaarheid en duurzaamheid.

De AKM werkt met het best met een hoge aanvoertemperaturen ten behoeve van de regeneratie. De werking wordt minder als in de zomer het warmte net lager in temperatuur gebracht wordt. Dit heeft invloed op de haalbaarheid en er zal goed overwogen moeten worden wat in de zomer de meest geschikte temperatuur is voor het warmtenet.

De energiekosten die de klant betaald voor warmtelevering zal als deze warmte gebruikt wordt als energiedrager voor een AKM, een aangepaste prijs moeten hebben. Als de kosten voor een GJ warmte worden doorberekend naar een GJ koude, dan zijn de concepten met absorptie- en adsorptiekoeling financieel niet meer interessant.

# **1 Inleiding**

## **1.1 HVC Alkmaar**

HVC Alkmaar is een afvalverwerker die een brede tak van de afvalverwerking voor haar 56 aandeelhoudende gemeentes verzorgt. HVC heeft duurzaamheid hoog in het vaandel staan. Naast het op milieuvriendelijk manier van verwerken van afval, wil HVC ook haar aandeelhoudende gemeenten bijstaan in hun duurzaamheidsdoelstellingen. Om die reden heeft HVC een aantal jaren geleden een afdeling opgezet die zich bezig is gaan houden met het opzetten van duurzame energieconcepten. Bij de energievormen die vrijkomen bij afvalverbranding wordt een zo groot mogelijke energieefficiëntie beoogd. De warmte die vrijkomt bij verbranding van afval wordt in de huisvuilcentrale omgezet in elektrische energie. Om een grotere efficiëntie uit de installatie te halen zal de vrijkomende warmte gebruikt kunnen worden voor ruimteverwarming middels een warmtenet. In 2004 is HVC in samenwerking met Nuon begonnen met de aanleg van een warmtenet in de Boekelermeer. Hierbij worden nieuwe bedrijfspanden aangesloten op het warmtenet van Meerwarmte ten behoeve van ruimteverwarming van nieuw te realiseren bedrijfspanden op de Boekelermeer. De Afvalcentrale van HVC ligt op hetzelfde industrieterrein de Boekelermeer. In 2007 is samen met de gemeente besloten om dit warmtenet verder uit te breiden en zo ook nieuwbouwwijken in Alkmaar op dit net aan te sluiten. In november 2009 is daadwerkelijk begonnen met de aanleg van dit warmtenet, waarbij voor het nieuwe stookseizoen van 2010 de eerste nieuwbouwwoningen en een bestaand schoolpand van warmte voorzien kunnen gaan worden.

## **1.2 Probleemstelling**

Warmtelevering is een mooi concept voor het verwarmen van woning en utiliteitsgebouwen. Met het leveren van deze warmte kan een hoge CO<sub>2</sub> reductie gerealiseerd worden ten opzichte van ruimteverwarming mbv een gasketel. Dit houdt in dat voor elke woning, aangesloten op het restwarmtenet van HVC, een CO<sub>2</sub> reductie toegekend kan worden van 75%. Deze hoge mate van duurzame warmte heeft één grote beperking, er kan niet voldaan worden aan de steeds groter wordende vraag van comfortkoeling. Toch wordt de vraag vanuit de markt voor comfortkoeling steeds groter. HVC zal hiervoor een oplossing moeten vinden om niet voorbij gestreefd te worden door aanbieders van concurrerende energieconcepten, waarbij koeling wel mogelijk is. Gezien de duurzaamheidsdoelstellingen van HVC zal dit concept moeten voldoen aan een hoge mate van duurzaamheid en gestreefd worden naar een zo laag mogelijke CO<sub>2</sub> uitstoot. Er moet voorkomen worden dat de grote CO<sub>2</sub> reductie die het warmtenet realiseert teniet wordt gedaan door het koelconcept. Tevens blijft het belangrijk dat HVC een koelconcept aan kan bieden waarbij de kosten marktconform zijn t.a.v. concurrerende energieconcepten.

## **1.3 Vraagstelling**

Wat is het meest geschikte koelconcept voor een woning die aangesloten is op een stadswarmtenet?

Bij het bepalen van de geschiktheid zullen de volgende vragen gesteld kunnen worden:

- Kan er iets gedaan worden met de toch al beschikbare warmte?
- Een koelconcept naast een warmtenet kan een goedkope airco zijn. Alleen wat betekent dit voor de energiekosten?
- Wat mag koude levering kosten?
- De CO<sub>2</sub> reductie van een warmtenet gekoppeld aan een AVI is groot. Mag er daarom een koelconcept gebruikt worden dat een hogere uitstoot heeft, maar waarvan de totale CO<sub>2</sub> uitstoot t.o.v. een concurrerend energieconcept lager is?
- Voldoet het koelconcept aan de strategie van HVC? HVC heeft duurzaamheid hoog in het vaandel staan.

## 2. Energie

### 2.1 Energie vraag

De energievraag wordt wereldwijd steeds groter. Nog steeds wordt het grootste deel van onze energievraag met fossiele brandstoffen opgewekt. De noodzaak om te zoeken naar duurzame energie bronnen wordt steeds belangrijker.

De huidige totale energiebehoefte in Nederland bestaat voor 60% uit thermische energievraag. Ongeveer de helft hiervan, 30%, is de energiebehoefte voor industrie. De andere helft blijft over voor het verwarmen van woningen en utiliteitsgebouwen. (CBS, 2010) Door deze energie zonder fossiele brandstoffen op te kunnen wekken zijn er grote stappen te maken in de verduurzaming van de energievraag. Een grote slag die hierbij gemaakt kan worden is door gebouwen beter te isoleren. Hierdoor zal de warmte in een

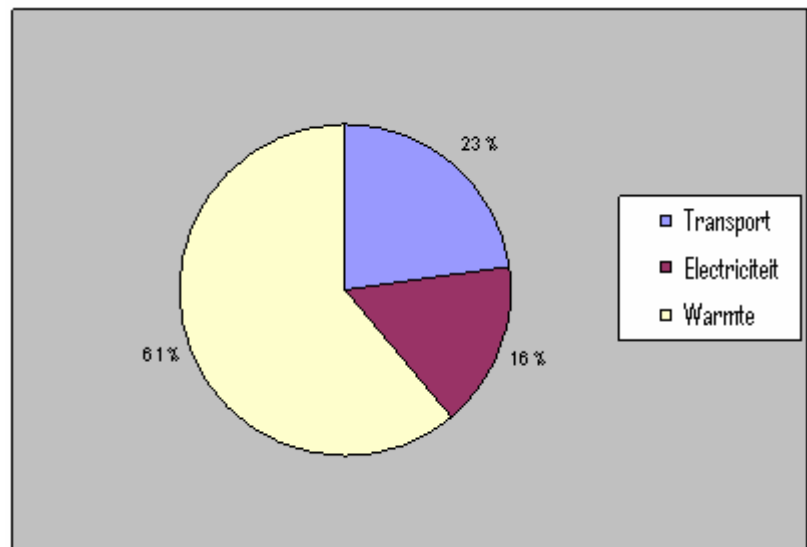


Fig 2.1. Verdeling energiegebruik in Nederland

gebouw langer vastgehouden kunnen worden waardoor voor bijverwarming minder energie nodig is. Bij nieuwbouw worden steeds strengere eisen gesteld voor wat betreft de isolatiewaarde waar een woning aan moet voldoen. De overheid heeft hier regels voor opgesteld die terugkomen in de EPC (Energie Prestatie Coëfficiënt) en vanuit de gemeenten wordt er vaak nog een extra EPL (Energie Prestatie op Locatie) opgesteld. Door deze normen regelmatig te verzwaren wordt een verplichting gecreëerd om de woningen steeds energiezuiniger te maken.

Een nadelig effect van deze steeds beter wordende isolatiewaarde van de woningen is dat zomers de warmte blijft hangen in de woningen. Hierbij kunnen de temperaturen in de

woningen tot onaangename hoogtes komen, die niet meer door simpelweg mechanische ventilatie te verlagen zijn.

Bij toekomstige nieuwbouw zal heel goed gekeken moeten worden wat nog meer isoleren van nieuwbouw panden voor invloed heeft op de energievraag. Als een woning nog verder geïsoleerd wordt, zal wellicht, met de voortschrijdende technieken, de warmte vraag tot nul gereduceerd kunnen gaan worden. Hierbij zal wel opgemerkt moeten worden dat de koude vraag groter kan gaan worden. Een uitdaging voor de bouwwereld moet zijn dat de energiebehoefte optimaal afgestemd moet worden. Hiermee kan voorkomen worden dat de energiebehoefte die we in de winter willen gaan beperken juist in de zomer tot een grotere energiebehoefte resulteert.

## 2.2 Energietransitie

Wereldwijd wordt er gezocht naar het verduurzamen van de energievraag, met behulp van alternatieve bronnen.

Deze bronnen zijn onder andere zonne-energie, windenergie en biomassa. De bronnen kunnen niet op raken of zijn in niet afzienbare tijd hernieuwbaar. Biomassa wordt ook gezien als duurzame energiebron, aangezien de vrijkomende CO<sub>2</sub> weer opgenomen wordt bij de groei van nieuw biomassa. Het mondiale gebruik van biomassa in de energievoorziening zal in de komende jaren alleen maar toenemen. Dit zal gepaard gaan met grootschalige aanplant van energiegewassen.

Hierbij moet in acht worden genomen dat dit niet ten koste mag gaan van andere belangrijke waarden voor natuur, milieu en maatschappij. Een grote uitdaging hierin is het streven naar productie van biomassa op een verantwoordelijke manier.

In dit rapport worden concepten beoordeeld op de duurzaamheid in de energiebron. Bij gebruik van elektra wordt uitgegaan van elektra uit het landelijke net, wat op dit moment voor 7% duurzaam opgewekt wordt (CBS, 2010). Bij gebruik van restwarmte uit de AVI van HVC zal een duurzaamheidsfactor aangehouden worden van 49%. Dit zit in de brandstof die gebruikt wordt bij afvalverbranding. De brandstof is huishoudelijk afval dat voor 49% bestaat uit biologisch afval. (Energiened, 2010)



Fig 2.2. Energietransitie, van gas olie en kolen naar duurzaam opgewekte energie



## 2.3 Trias Energetica

We zullen in de toekomst onze energiebehoefte zoveel mogelijk moeten afstemmen op basis van de drie stappen van de Trias Energetica. Uiteraard wil HVC haar duurzame opgewekte energie zo veel mogelijk afzetten. Toch ziet HVC het nut van de Trias Energetica en draagt dit ook uit. HVC heeft als energie leverancier minimale invloed op stap één, maar zal richting de klant kunnen adviseren hoe de energievraag te beperken.



Figuur 2.3. Trias Energetica

De Trias Energetica:

1. Beperk de energievraag. (preventie)
2. De energievraag duurzaam opwekken.
3. Efficiënt gebruik van fossiele brandstoffen.

### 2.3.1 Beperk energie vraag.

Het blijft nu en in de toekomst belangrijk om de energievraag te blijven beperken. Door woningen steeds beter te isoleren kan warmtevraag beperkt worden. Hierbij moet er wel opgemerkt worden dat bij te hoge isolatie waarde de woning in de zomer te warm wordt.

### 2.3.2 Duurzame energie.

De energievraag die na goede isolatie toch nog nodig blijft, zal zoveel mogelijk duurzaam opgewekt moeten worden. De warmte die HVC levert vanuit de huisvuilcentrale wordt 49% duurzaam opgewekt.

### 2.3.3 Efficiëntere productie

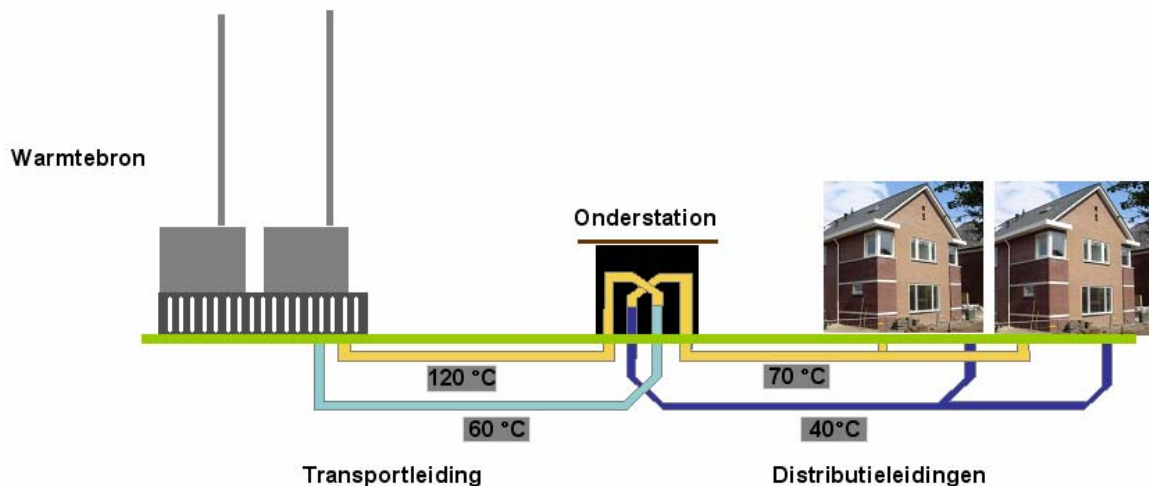
De energie die uiteindelijk toch nog met fossiele brandstoffen opgewekt wordt, zal zo efficiënt mogelijk opgewekt moeten gebeuren. Voor HVC betekent dit dat er gekeken moet worden naar een efficiëntie slag in de afvalcentrales. Een van deze efficiëntie slagen is het afzetten van restwarmte. Hiermee wordt het rendement van de installatie verhoogd. En wordt er dus voldaan aan een efficiëntere productie.

### 3 Onderbouwing aannames

In dit onderzoek is uitgegaan van diverse aannames. Deze aannames zijn noodzakelijk om bepaalde berekeningen te kunnen uitvoeren, of bij bepaalde situaties waarvan nog geen gegevens bekend zijn mogelijk te maken. Om duidelijkheid te geven hoe deze aannames worden genomen, zijn deze in dit hoofdstuk uitgewerkt.

#### 3.1 Centrale opwek bij afvalenergiecentrale Alkmaar.

In augustus 2007 is door Carbon Capital Solutions (CCS) een onderzoek uitgevoerd voor HVC energie. Hierbij is onderzocht wat de mogelijkheden zijn van koudelevering, waarbij onder andere gekeken is naar centrale koude opwekking vanaf de afvalcentrale. Uit dit onderzoek kwam deze optie als meest interessant naar voren. Dit houdt in dat vanuit HVC naast de warmteleidingen ook koelleidingen aangelegd hadden moeten worden. De koude zou met behulp van een transportnet naar onderstations in de wijk worden getransporteerd waarbij in de onderstations de koude overgedragen zou worden aan een distributienet dat de koude naar de woningen en utiliteitsgebouwen zou transporteren. Dit volgens hetzelfde principe als warmtelevering zie figuur 3.1.



Figuur 3.1. Leidingnetten bij warmtelevering

Het grote voordeel voor dit concept is dat de koude centraal op het terrein van HVC opgewekt kan worden. Hiervoor hoeft er in de wijk geen voorziening gerealiseerd te worden voor het plaatsen van koelmachines.

In een rapport van T&t energie uit februari 2008 wordt dit concept onderuit gehaald, omdat na berekeningen behoorlijk grote diameters aan leidingwerk nodig zijn om de koude energie naar de verbruikers te transporteren. Ter vergelijking met het warmtenet van Alkmaar zal het transporteren van warmte met een  $\Delta t$  van 70°C een transportnet nodig zijn met een inwendige diameter van 300mm. Hiermee kan ongeveer 82 MW warmte verplaatst worden. Als er

koeling geleverd moet worden in dezelfde diameter transportleiding kan er met een  $\Delta t$  15 graden door dezelfde leiding nog maar 18 MW energie getransporteerd worden. Er zal dus, om aan de koelvraag te kunnen voldoen, minimaal dezelfde dikte aan leidingen aangelegd moeten worden. Gezien de investeringen die momenteel in het warmtenet gestoken worden, waarbij een hogere warmte afname gegarandeerd is t.o.v. koudelevering, mag het duidelijk zijn dat het financieel niet interessant is om ook koude leidingen aan te leggen. Gezien deze wetenschap is een dergelijk concept in dit rapport niet meegenomen.

### **3.2 Decentraal en individueel**

In dit rapport worden diverse scenario's bekeken voor koude levering bij woningen. Hierbij wordt gesproken over decentrale opwekking en individuele opwekking. Het verschil hierin is dat bij decentrale opwekking er in de wijk een koelmachine opgesteld wordt die een aantal woningen/woonblokken kan voorzien van koude. De meest logische plek hiervoor is het onderstation waar ook de warmteoverdracht tussen transportnet en distributienet plaatsvindt. Deze keuze betekent dat het ruimte beslag in de onderstations groter wordt. Tevens zal in het geval van decentrale opwekking de koeling getransporteerd worden wat plaats vindt door koelleidingen vanuit het onderstation naar de gebruikers aan te leggen. Deze koude kan getransporteerd worden met koelwaterleidingen of met behulp van luchtkanalen. Wijknetten zullen zoveel mogelijk onder de woningen aangelegd worden. Omdat bij aanleg in de kruipruimte van de woningen geen extra graafwerkzaamheden noodzakelijk zijn is het op deze manier aanleggen van de leidingen de goedkoopste oplossing. Vereiste is wel dat de aanleg plaatst moet vinden op het moment dat de fundering van een woning net gestort is en de vloerplaten nog niet zijn geplaatst.

De kosten van een decentraal opgestelde koelmachine met de daarbij behorende distributie leidingen, worden gebaseerd op de hoeveelheid aan te sluiten woningen. Elke woning moet worden aangesloten ook al wil een bewoner geen gebruik maken van de mogelijkheid van koelen. Uiteraard hoeft hij dan ook geen verbruikerskosten betalen. Maar de kosten voor het aanleggen zullen wel betaald moeten worden. In de praktijk draait een projectontwikkelaar hiervoor op.

Een risico hierin is wel dat teveel bewoners besluiten de koude niet af te nemen, waardoor verwachte financiële rendementen niet gehaald zullen worden.

Bij individuele opwekking, vindt het produceren van de koeling plaats in de woning van de gebruiker. Hiervoor zal in de woning een koelmachine geplaatst moeten worden. Dit vergt in de woningen wel een extra ruimtebeslag. Daarentegen zal er geen extra wijknet aangelegd hoeven te worden. Dit scheelt in het ruimtebeslag, tracés in de woonwijken en tracés onder de kruipruimte van de woningen. Bij individuele levering per woning kan de bewoner zelf kiezen voor de mogelijkheid van koelen van de woning.

### **3.3 Onderstation**

Bij warmtelevering vanuit een centrale zijn onderstations in de wijken noodzakelijk. In deze onderstations komt het water vanuit de centrale met behulp van geïsoleerde leidingen in een onderstation. In dit onderstation wordt met behulp van warmtewisselaars de warmte

overgedragen aan het wijknet. Het wijknet werkt op een temperatuur van 70 graden. Hiermee worden de woningen van warm CV- en tap water voorzien.

De onderstations kunnen het straatbeeld beïnvloeden. Er zal ergens in de wijk een gebouw geplaatst komen van 4 bij 5 meter met een hoogte van 3 meter. Dit kan maatschappelijk ervaren worden als ongewenst. De gemeente Alkmaar heeft HVC gevraagd deze onderstations zoveel mogelijk te integreren in de bebouwing. Met wat kleine aanpassingen zal de geluidsproductie van een onderstation tot het minimale gereduceerd worden en zullen omwonende hier ook geen overlast aan ondervinden.

Bij decentrale koudelevering moet er in een onderstation rekening gehouden worden met de plaatsing van een koelmachine. Tevens zal er een extra distributienet vanuit het onderstation naar de woningen worden aangelegd. Het onderstation zal dus ruimer worden opgezet. Er zal goed gekeken moeten worden waar het onderstation geplaatst wordt. Een koelmachine geeft een dusdanige geluidproductie dat de kans bestaat dat er geluidsoverlast plaatsvindt. Een onderstation naast een woning is hierbij geen gewenste situatie. Een oplossing hierin zou zijn, het plaatsten van een onderstation aan de rand van een wijk, of in een nabijgelegen parkeergarage.

Bij de concepten waarbij een koeler noodzakelijk is om overtollige warmte af te voeren zal deze koeler geplaatst worden op het dak van het onderstation. Ook dit kan het straatbeeld negatief beïnvloeden en geluidsoverlast teweeg brengen. Mocht de keuze vallen op één van deze concepten zal gezocht worden naar een oplossing om deze nadelen te ondervangen. Hier zijn overigens goede bouwkundige oplossingen voor te bedenken.

### 3.4 Distributie bij decentrale koudeopwek.

#### 3.4.1 Leidingnet

De leiding die gebruikt wordt bij het distribueren van warmte en koude bestaat uit een stalen leiding met daaromheen een isolatielaag afgedekt met PE (polyethyleen). De isolatie laag zorgt ervoor dat de warmte of koude binnen in de stalen leiding zoveel mogelijk vast gehouden wordt.

Bij warmtedistributie stroomt het water in het hoofdnet met 120°C door de leidingen. De leidingen liggen in zandgrond. Deze zandgrond heeft gemiddeld een temperatuur van 12 graden. De isolatie laag moet deze  $\Delta t$  van 108°C zoveel mogelijk vasthouden. Uiteraard gaat er wel iets aan warmte verloren. Als het gehele warmtenet in Alkmaar gerealiseerd is zal er maximaal 25% warmteverlies optreden.

Bij koudelevering zullen deze verliezen kleiner zijn. Dit komt doordat de koude decentraal opgewekt wordt en er zal dus geen verlies plaatsvinden in hoofdtransportleidingen. Daarbij komt dat in de wijknetten de temperatuur voor toevoer ongeveer 10 à 15 graden is, terwijl de zandgrond waar ze in liggen in de zomermaanden maximaal 20 graden wordt. De  $\Delta t$  zal dus nooit hoger zijn dan 10 °C. Bij dit temperatuurverschil zullen de verliezen tot een minimum beperkt blijven. Tevens kan overwogen worden om de retourleidingen uit financieel oogpunt ongeïsoleerd uit te voeren.



Fig 3.2. Warmteleiding. Staal / PUR/ PE

### 3.4.2 Koudenet

Bij decentrale koudeopwekking wordt koude opgewekt in een onderstation. Voor warmtelevering geldt dat op 1 onderstation ongeveer 400 woningen aangesloten kunnen worden. In de praktijk blijkt dat dit vaak minder is. In dit rapport wordt uitgegaan van een koudenet met ongeveer 250 aangesloten woningen. De locaties van de onderstations worden op basis van tracégegevens bepaald. Hierbij wordt gekeken naar de meest geschikte plek waarbij het technische en het financieel aspect op elkaar afgestemd zijn. De kosten worden berekend door het gehele wijknet te delen op het aantal woningen dat aangesloten wordt.

### 3.4.3 Investerings en operationele kosten.

In tabel 3.1 zijn de investeringen, onderhoudskosten, levensduur en vervangingskosten van de verschillen componenten bij decentrale koudeopwek in tabelvorm weergegeven. Dit zijn de kosten waar per woning rekening gehouden wordt.

| Onderdelen                   | Investering<br>€ | Onderhoudskosten<br>€ | Levensduur<br>jaar | Vervangingskosten<br>€/ jaar |
|------------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|
| Distributie net              | 2200             | 44                    | 50                 | 44                           |
| Meerprijs afleverset woning  | 346              | 7                     | 15                 | 23,07                        |
| Meters (2x)                  | 294              | 6                     | 15                 | 19,60                        |
| Montage afleverset           | 200              | 4                     | 50                 | 4                            |
| Aansluitbeugel               | 56               | 1,12                  | 50                 | 1,12                         |
| Aanpassing binneninstallatie | 25               | 0,50                  | 15                 | 1,67                         |
| Totaal                       | 3121             | 62                    |                    | 93                           |

Tabel 3.1. Kosten per woning van de componenten in een wijknet bij decentrale koudeopwek. (R v/d Starre, 2010)

In deze tabel worden de kengetallen vermeld waarmee binnen HVCenergie gerekend wordt ten aanzien van warmtenetten. Bij een woning waar ook koude geleverd moet worden zal een tweede afleverset geplaatst worden. Een afleverset is een set waarop de leidingen vanuit het wijknet de woning aansluit en vanuit de set wordt het afgiftesysteem van de woning met warmte en of koude gevoed. De firma AGH heeft sinds korte tijd een gecombineerde set in hun assortiment. Op een dergelijke afleverset kan warmte en koude aangesloten worden waarbij deze eenmalig op het afgiftesysteem van de woning wordt aangesloten. In dit rapport is gerekend met deze nieuwe afleverset die een meerprijs heeft ten opzicht van een enkele set van € 923,-. Maar daarbij wordt een extra set van € 577,- uitgespaard. Bijkomend voordeel van deze set is, dat in een woning ook maar 1 set opgehangen wordt. Er zijn wel twee meters noodzakelijk om koude en warmte afzonderlijk



Fig 3.3. Afleverset zoals die geplaatst wordt in de meterkast van een woning.

van elkaar te kunnen meten.

HVC is de producent van de warmte die HVCenergie afneemt. Hiervoor wordt een bedrag betaald aan HVC die gelijk staat aan de elektriciteitsderving dat optreedt bij warmtelevering. 5 delen warmte geven 1 deel elektra derving. Dit deel moet aan HVC betaald worden. Dit komt neer op ongeveer € 3,30 per GJ (prijspeil 2010). Om de warmte uit te kunnen koppelen vanuit de installatie zijn er aanpassingen gerealiseerd in de installatie van HVC. Deze investeringskosten zullen meegenomen moeten worden in de GJ prijs. Ook de aanleg van de transportleidingen is een kostenpost die in de GJ prijs terug te vinden is. Dit alles houdt in dat een GJ warmte vanuit de centrale van HVC tot aan de gebruiker ongeveer € 7,50 kost. In dit rapport wordt met dit bedrag gerekend bij inkoop van warmte, of bij eventueel terug leveren van warmte aan het warmtenet.

### **3.4.4 Bronnen bij ondergrondse energieopslag.**

Bij ondergrondse energieopslag wordt verschil gemaakt in open bronnen en gesloten bronnen. Bij open bronnen wordt een ondergrondse aquifer aangeboord waarbij water op een diepte van 100 tot 300 meter diepte wordt opgepompt en in een retourbron weer terug gebracht wordt in de aquifer. Bij dit concept in het mogelijk met enkele bronnen grote vermogens te leveren. Een nadeel hiervan is dat grondwater agressief kan reageren met materialen. Hier moet rekening mee gehouden worden bij de keuze van materialen. Bij gesloten bronnen wordt water door gesloten leidingen, die in de bodem geperst zijn, gecirculeerd. Dit is een hydraulisch gesloten systeem en er komt geen grondwater mee naar boven. Bij dit concept zijn meer bronnen noodzakelijk om dezelfde hoeveelheid energie uit de grond te kunnen halen dan bij de variant van een open bron. Voordeel is wel dat het geconditioneerde water dat door de leidingen loopt niet agressief zal reageren op de materialen. Aangezien de vermogens bij gesloten bronnen kleiner zijn dan bij open bronnen is in dit rapport alleen gerekend met open bronnen. Bij gesloten bronnen zouden er bij een benodigd vermogen van 600 kW ongeveer 200 bronnen geperst moeten worden. In figuur 3.4 wordt het verschil tussen open en gesloten bron geïllustreerd.

De omgeving van Alkmaar staat er om bekend dat de bodem geschikt is voor energieopslag. Er liggen op redelijke dieptes geschikte aquifers. Maar gebruik maken van een aquifer is wel afhankelijk van eventueel al bestaande bronnen in de omgeving. Meerdere bronnen bij elkaar kunnen elkaar onder de grond gaan beïnvloeden. Ondanks het feit bronnen steeds meer worden toegepast voor energieopslag en er dus ook steeds meer expertise over ontstaat, kan het nog wel eens gebeuren dat een bron na aanboren minder capaciteit heeft dan verwacht. Ook komt er nog wel eens schade voor bij bronnen. Dit kan leiden tot het moeten boren van een extra of een nieuwe bron. Deze kosten zijn aanzienlijk hoog en kunnen ervoor zorgen dat een project met energieopslag in de bodem financieel in de problemen komt en dat de verwacht rendementen niet gehaald zullen worden. Hierop wordt teruggekomen in hoofdstuk 5 Gevoeligheidsanalyse.

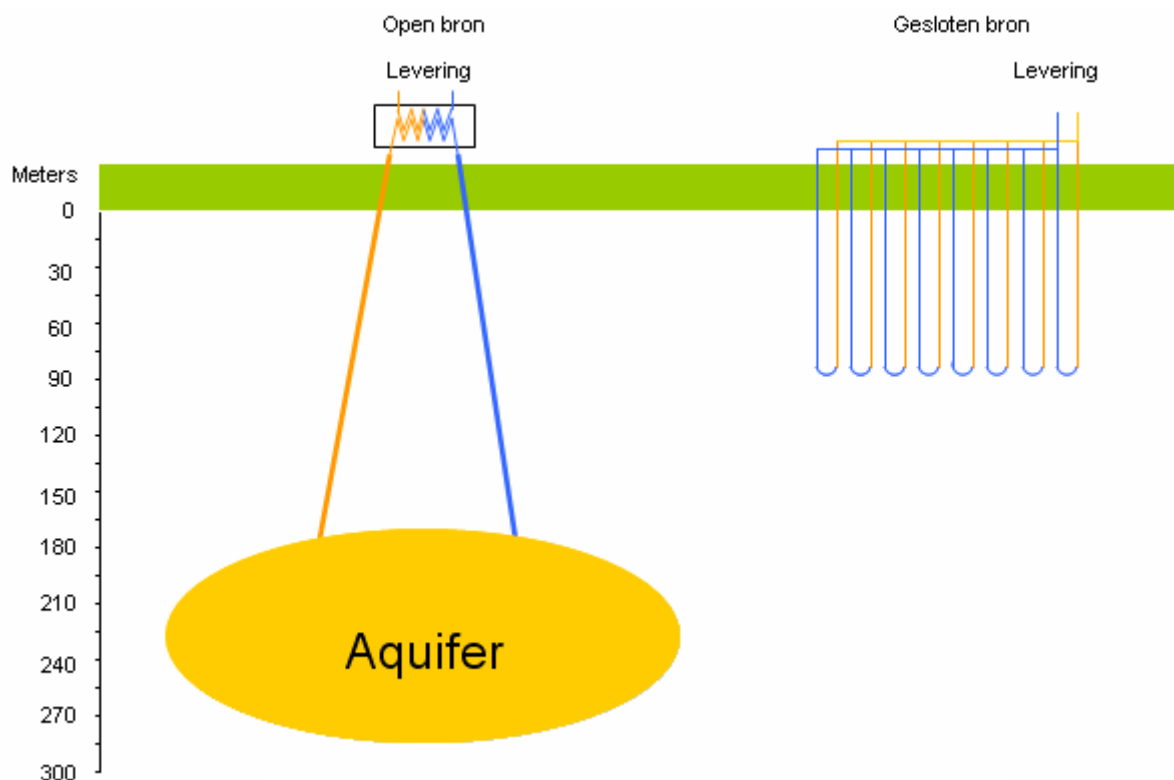


Fig 3.4. Gesloten bron met aquifer en open bron

De vergunningsaanvraag voor het mogen aanboren van bronnen loopt via de provincie. Zij zal nagaan of er al meerdere bronnen in de buurt van de locatie liggen en of de grond geschikt is voor energieopslag. De provincie zal in de vergunning eisen stellen ten aanzien van het gebruik van de bronnen. Hierbij moet gedacht worden aan het periodiek aanleveren van documentatie waarin bijgehouden wordt hoe de energiebalans in de bodem gewaarborgd blijft. Dit vergt een goed beheer van de installatie op het technische en administratieve vlak. De kosten voor het aanboren van bronnen zijn uit ervaring gemiddeld €120.000 per bron (Haitjema, 2010). Voor twee bronnen houdt dit een investering in van €240.000. In dit rapport is voor de zekerheid uitgegaan van iets hogere kosten voor twee bronnen zijn de kosten daardoor gesteld op €300.000. In hoofdstuk 5 Gevoeligheidsanalyse, wordt berekend wat de kosten zijn bij veel duurdere bronnen of juist goedkopere.

### 3.4.5 Aandachtspunten

Bij decentrale koudeopwek zal met de volgende kanttekeningen rekening gehouden moeten worden:

- Bij decentrale koudeopwek zal in het onderstation, waar de warmteoverdracht plaats vindt, extra ruimte beschikbaar moeten komen. Per onderstation wordt aangenomen dat er ongeveer 30 m<sup>2</sup> extra ruimte nodig is.
- Er moeten koelers geplaatst worden om de warmte die vrijkomt af te kunnen voeren. Hiervoor zullen de koelers op dak geplaatst worden. Aangezien dit een maatschappelijke ongewenste situatie is, gaat de voorkeur uit deze koelers zoveel mogelijk aan het zicht de onttrekken. Tevens is de geluidsproductie van de koelers een

aandachtspunt. In een woonwijk zal de geluidsproductie tot een minimum beperkt moeten worden.

- Bij gebruikmaken van een bron voor opslag van koude zal het weg moeten koelen van warmte niet meer noodzakelijk zijn en zal het geluidsprobleem weggenomen worden. Hierbij zullen kleinere of zelfs helemaal geen koelers meer nodig zijn.

### 3.4.6 Distribueren van de koeling

Het distribueren van koude zijn drie parameters van belang. De massa van het koelmiddel, de soortelijke warmte en het temperatuurverschil. Per koelmiddel verschilt het vermogen wat geleverd kan worden bij gelijkblijvende volume. Dit gaat volgens de formule:

$$Q = M * C * \Delta t.$$

Q = Vermogen in J (Joule)

M = de massa van het koelmiddel in kg (kilogram)

C = de soortelijke warmte van het koelmiddel in J/kg\*K

$\Delta t$  = Verschil in temperatuur van aanvoer en retour in K (Kelvin)

Hieruit blijkt dat bij een kleinere soortelijke warmte van het koelmiddel er een grotere massa noodzakelijk is of het verschil in temperatuur moet groter zijn om dezelfde hoeveelheid energie te kunnen transporteren.

Er zijn drie manieren van distributie van de koude, van de koelmachine naar de plek van levering: (H. Nicolaas, 2007)

- Watervoerende leidingen. Water heeft een relatief hoog soortelijke warmte. Water is de meest toegepaste energiedrager voor distributie van warmte en koude.
- Met behulp van luchtkokers. De soortelijke warmte van lucht is veel lager dan die van water. Om een gelijke hoeveelheid warmte of koude te transporteren is daarom een veel groter massa nodig dan in het geval van water. Deze hoeveelheid is 1,5 tot 2 maal groter dan de hoeveelheid lucht die normaliter benodigd is voor ventilatie.
- Via koelleidingen met koelmiddel. Belangrijk verschil ten opzichte van water is hierbij dat gebruik wordt gemaakt van verdampingsenergie van het koelmiddel. Bij verdampen van een vloeistof komt veel energie vrij. De energiedichtheid is hierbij veel hoger dan bij water.

Bij de verschillende manieren van koudelevering zullen ook de distributie- en afgifte-systemen aangepast moeten worden. Om dezelfde hoeveelheid koude energie te kunnen transporteren, zal in het geval van koellucht dikkere leidingen aangelegd moeten worden dan bij koudelevering met behulp van water of koelvloeistof. Ter vergelijking in figuur 3.5 is te zien hoe groot het verschil is bij dezelfde hoeveelheid energie transport.

De wijze van distributie hangt samen met het gekozen koelconcept. De koelconcepten die gekozen zijn in dit rapport verschillen in distributie van de koude. Hier wordt bij de werking van de gekozen concepten in de bijlagen op teruggekeken.

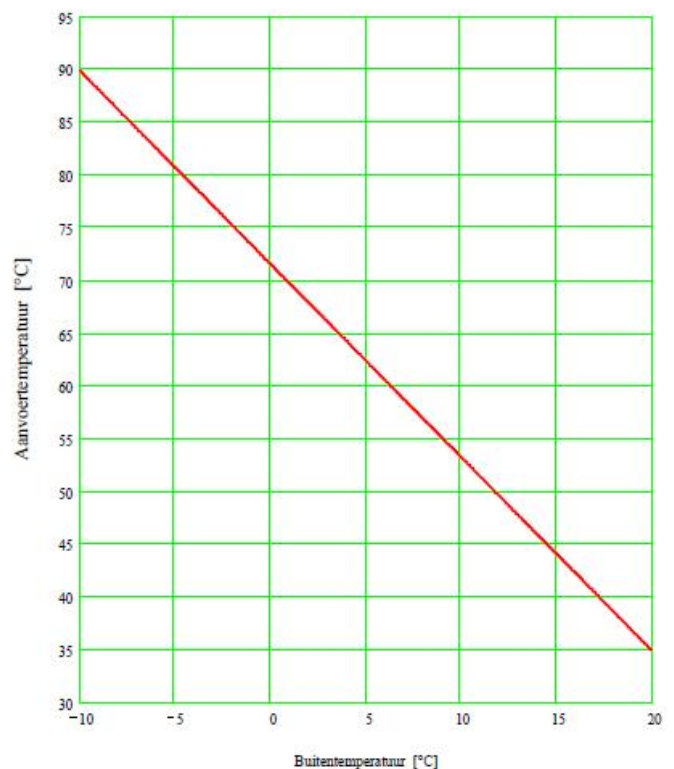




Fig 3.5 Diameters van leidingen t.b.v. distributie koude bij verschillende koelsystemen

### 3.5 Temperaturen

Voor het koelen van een woning kan gebruik gemaakt worden van de aanwezige afgiftesystemen in een woning, door er water doorheen te laten stromen met een lagere temperatuur dan de omgevingstemperatuur. Ook het inblazen van koelere lucht dan de binnen temperatuur van de woning geeft een verkoeling van de ruimte. In de winter wordt de binnen temperatuur van een woning overdag rond de 20 graden gehouden. Dit wordt ervaren als een aangename temperatuur. Bij warmtelevering wordt middels een stooklijn het water met de benodigde temperatuur door de CV leidingen getransporteerd om zo het vermogen van de radiatoren aan te passen aan de benodigde warmtecapaciteit. Hierbij kan aan basis van de buitentemperatuur de ruimte altijd op 20 graden te gehouden worden. Dit houdt in dat bij buitentemperaturen van -10 graden het CV water temperatuur hoger is dan bij een buitentemperatuur van +10 graden. In de grafiek is af te lezen dat bij een buitentemperatuur van 10 graden de aanvoertemperatuur van het water in de radiatoren ongeveer 53°C a 54°C graden is.



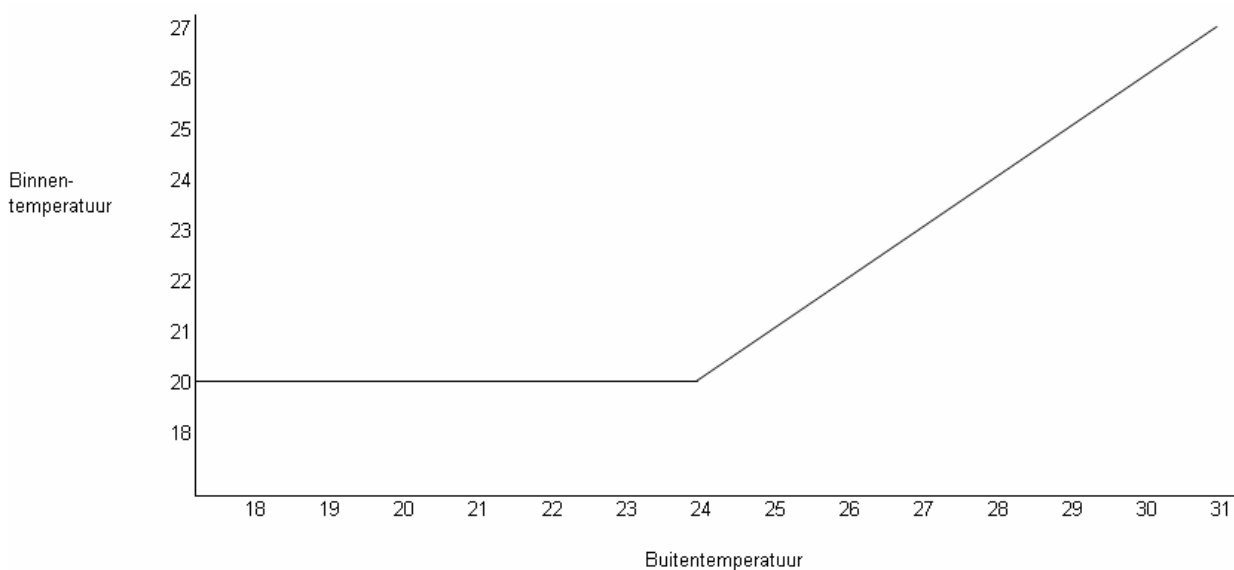
Grafiek 3.1. Stooklijn warmtevraag opzicht van de buitentemperatuur bij temperatuurregime van 90-70

Dit fenomeen speelt zich ook af in het transportnet. In de winter zal het transportnet een temperatuur hebben van rond de 120°C. In de zomer zal deze temperatuur tot onnodige hoge temperatuurverliezen leiden. Dus zal middels een stooklijn de temperatuur in het distributienet omlaag gebracht worden naar ongeveer 90°C. Dit zal effect hebben op een

aantal koelconcepten, waarbij de rendementen zullen dalen. Hier wordt in het hoofdstuk 5 Gevoeligheidsanalyse op terug gekomen.

### 3.5.1 Topkoeling

Voor een aangenaam binnenklimaat in de zomer is het niet gewenst de binnentemperatuur op 20 graden te houden. Een aangenaam comfort wordt bereikt door de binnentemperatuur een aantal graden lager te houden dan de buitentemperatuur. Dit houdt in dat de binnentemperatuur mee fluctueert met de buitentemperatuur. Aangehouden wordt dat de binnentemperatuur ongeveer 4 graden onder de buitentemperatuur te houden. Een stooklijn is hierbij niet van toepassing. De temperatuursvraag ziet er als volgt uit:



Grafiek 3.2. Koel temperaturen ten opzichte van de buitentemperatuur

Bij koelen op deze manier wordt gesproken over topkoeling. De grootste hitte wordt weg gekoeld en er ontstaat een zo aangenaam mogelijke binnenklimaat. Dit houdt in dat het koelvermogen voor een woning kleiner is dan het vermogen om te moeten verwarmen. Op een koude winterdag kan er een temperatuurverschil van 30 graden ontstaan. (-10 buiten tot 20 graden binnen). Het maximale temperatuurverschil in de zomer zal maar 4 graden zijn. Uit de praktijk blijkt dat het benodigde koelvermogen 2,5 kW is. Bij warmtevraag is dit 10 kW per woning. Deze uitgangspunten worden meegenomen in dit rapport.

### 3.5.2 Gemiddelde jaarlijkse temperaturen

Op basis van graaddagen kan berekend worden wat de warmtevraag en de koelvraag is per woning per jaar. Graaddagen worden bepaald op basis van het verschil tussen 18 graden en de gemiddelde dagtemperatuur van een bepaalde dag. Als het op bepaalde dag gemiddeld 10

graden is geweest dan heeft die dag  $18 - 10 = 8$  graaddagen. Dit wordt voor elke dag bepaald. In 2009 zijn de hoeveelheid graaddagen op weerstation De Kooy in Den Helder vastgelegd op 2832 graaddagen. Voor wat betreft de koeling wordt gerekend met koeldagen. Als de gemiddelde temperatuur van een bepaalde dag boven de 18 graden is geweest, is het verschil tussen de 18 graden en de gemiddelde dagtemperatuur de hoeveelheid koeldagen. De koeldagen in 2009 op weerstation De Kooy in Den Helder is vastgelegd op 59,3 koeldagen. Uit ervaringsgegevens blijkt dat een gemiddelde woning ongeveer 3 GJ koude nodig heeft om deze hoeveelheid koeldagen weg te koelen. Bij warmtelevering komt dit uit op een gemiddelde van 25 GJ per goed geïsoleerde woning. Deze uitgangspunten worden meegenomen in deze studie. (KWA Bedrijfsadviseurs B.V., 2010)

### 3.5.3 Temperatuur regime

Zoals in het begin van dit hoofdstuk is opgemerkt, fluctueert de aanvoertemperatuur in een warmtenet mee met de buitentemperatuur. Bij het maken van berekeningen van afgifte systemen in een woning wordt gerekend met een minimale buitentemperatuur, zodat bij die buitentemperatuur de woning nog steeds op een behaaglijke binnentemperatuur gehouden kan worden. Deze berekeningen gaan uit van een buitentemperatuur van  $-12^{\circ}\text{C}$ . Voor het Nederlandse klimaat is dit een terechte aanname. De grootste warmtevraag afgelopen jaar was in Volkel waar op 16 december 2009 de gemiddelde dagtemperatuur  $-10,3^{\circ}\text{C}$  was. Een ketelinstallatie of een collectief warmtenet kan bij deze temperaturen nog steeds voldoen aan de warmtevraag. Het temperatuursregime dat bij bestaande bouw aangehouden wordt is 90-70. Dit houdt in dat CV water verwarmd wordt tot  $90^{\circ}\text{C}$  en retour komt met  $70^{\circ}\text{C}$ . Ook warmtenetten zijn van oudsher uitgelegd op dit temperatuursregime. Nieuwe warmtenetten werken met een lager temperatuursregime. Hier wordt 70-40 aangehouden. Bij warmtepompsystemen liggen de temperaturen nog lager 50-30. Bij lagere temperatuur regimes moet rekening gehouden worden met het feit dat de afgifte systemen daar ook op worden aangepast. Hiermee wordt voorkomen dat het opgestelde vermogen ontoereikend is. Bij lagere temperaturen zullen grotere afgiftesystemen geplaatst moeten worden om dezelfde hoeveelheid energie af te kunnen dragen.

### 3.5.4 Temperatuur koude levering

Bij koudelevering heeft het de voorkeur om met een zo laag mogelijke temperatuur de woning van koeling te voorzien, omdat er dan een groot  $\Delta t$  te realiseren is waarbij er meer vermogen naar de woning getransporteerd kan worden. Hier kleven echter wel een aantal beperkingen aan, zoals:

- Bij het koelen met behulp van koellucht is het niet wenselijk om met een te lage temperatuur de woning in te blazen. Hierbij zal het comfort een beperking gaan geven. De te koude lucht zal als tocht worden ervaren. En er zullen grote temperatuursverschillen in de ruimtes voelbaar zijn, omdat de koelere lucht zich niet snel genoeg vermengd met de aanwezige lucht. Tevens zal condensvorming plaatsvinden op luchtkokers en op de plekken waar de lucht ingeblazen wordt.
- Bij koudelevering, waarbij met behulp van watervoerende leidingen in de vloer wand of plafond de energie overgedragen wordt, zal bij een te lage temperatuur ook

condensvorming kunnen optreden. De vloer, wand of plafond zal vochtig kunnen worden en er zal vochtoverlast ontstaan.

Om deze problemen te voorkomen zal per concept onderzocht moeten worden wat de meest ideale temperatuur is om de woning te voeden.

## 3.6 Gelijktijdigheid

### 3.6.1 Gelijktijdigheid bij warmtelevering

De kans dat in een wijk met 100 woningen iedereen tegelijk onder de douche staat of tegelijk de CV aanzetten is niet zo groot. In een straat met 10 woningen is de kans al weer groter. Bij het leveren van warmte met behulp van een warmtenet moet rekening worden gehouden met deze ‘gelijktijdigheid’.

Eén woning kan maximaal 10 kW vermogen vragen. Dan zou een wijk van 100 woningen maximaal  $100 \times 10 \text{ kW} = 1000 \text{ kW}$  vermogen kunnen vragen. Maar aangezien er in de praktijk slechts een hele kleine kans is op deze ‘gelijktijdigheid’ hoeft niet met het maximale vermogen rekening te worden gehouden. Tabel 3.2 geeft weer wat de kans is op ‘gelijktijdigheid’ in relatie tot het aantal woningen.

De praktijk heeft geleerd dat een gelijktijdigheid van 55% als reëel aangenomen mag worden. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat bij kleinere warmtenetten met minder woningen de gelijktijdigheid groter wordt. De tabel geeft weer wat aangehouden wordt bij de verschillende aangesloten woningen achter een onderstation.

| Aantal w.e. Gelijktijdigheid |     |
|------------------------------|-----|
| 10                           | 90% |
| 30                           | 85% |
| 50                           | 75% |
| 80                           | 60% |
| >100                         | 55% |

Tabel 3.2. Gelijktijdigheid afgezet tegen aantal woningen

### 5.6.2 Gelijktijdigheid bij koudelevering

Bij koude levering zijn nog wat minder ervaringsgegevens. Bij HVCenergie wordt uitgegaan dat aan een woning maximaal 2,5 kW vermogen t.b.v. koudelevering geleverd moet worden. Zoals in hoofdstuk 3.5.1 is uitgelegd zal bij topkoeling het vermogen rechtevenredig meelopen t.o.v. de buitentemperatuur. Het te leveren koelvermogen zal boven de 24 °C niet hoger worden. Echter zal de gelijktijdigheid wel groter kunnen worden omdat meer gebruikers de koeling volledig bij zullen nemen. De gelijktijdigheid zal dan alleen nog lager kunnen worden als verbruikers niet thuis en daarom geen koelvraag hebben. Uit onderzoek blijkt dat bij koudelevering hier ook een hoop onduidelijkheid over is. Adviesbureaus hebben ook moeite om de percentages gelijktijdigheid vast te stellen en wordt er in rapporten aannames genomen tussen de 70% en 90%. Om aan de veilige kant te blijven zitten zal in dit rapport het uitgangspunt 90% zijn.

Dit houdt in dat bij de geschetste situatie van 250 woningen een koelvermogen van  $250 \text{ w.e.} \times 2,5 \text{ kW} \times 90\% = 563 \text{ kW}$  opgesteld zal moeten worden. Dit vermogen is als aanname meegenomen in dit rapport.

### 3.7 Koelmiddelen

Een koelmiddel is een vloeistof dat in staat is op energie efficiënte wijze de thermodynamische kringloop in een koelmachine te doorlopen. Dit houdt in dat dit apparaat koude produceert door gebruik te maken van de energie die vrijkomt bij de fase overgang van het koelmiddel. Koelmiddelen worden toegepast in compressiekoelmachines, warmtepompen, airco's en ook koelkasten. De chemische samenstelling van de koelmiddelen zijn bewust gekozen zodat bij een gunstige temperatuur de volledige faseovergang benut kan worden. Toch moet er goed gekeken worden naar de belasting van de koelmiddelen op het milieu. In het verleden zijn koelmiddelen als CFK's en HCFK's veelvuldig toegepast in koelmachines. Pas later bleek dat deze koelmiddelen een grote milieubelasting hebben, waardoor gezocht is naar nieuwe koelmiddelen die minder belastend zijn voor het milieu.

#### 3.7.1 De milieubelasting van koudemiddelen

De ozonlaag wordt bedreigd door het gebruik van chemische stoffen. De ergste zijn de chloorfluorkoolstoffen, de CFK's. Uit berekeningen is gebleken dat deze sinds 1930 geproduceerde stoffen nog vrijwel onveranderd in de atmosfeer aanwezig zijn. De chloor wat vrij komt gaat zeer langdurig door met vernietigen van de ozon. Het gevaar van de aantasting van de ozonlaag wordt gekarakteriseerd door de parameter "ODP" en staat voor "Ozon Depletion Potential". De ODP van een koelmiddel wordt vastgelegd door deze te vergelijken met CFK 11. Bij dit koelmiddel is de ODP  $\rightarrow$  1.

Een ander effect wat een koelmiddel kan veroorzaken in het milieu is de Global Warming Potential (GWP). Hierbij wordt gekeken wat het broeikas effect is van het koudemiddel, uitgedrukt in equivalente kg CO<sub>2</sub> in een tijdvak van 100 jaar. Het kenmerk Total Equivalent Warming Impact (TEWI) gaat hierin nog een stapje verder. Hieronder verstaan we de som van de directe en indirecte bijdrage van het koudemiddel aan het broeikas effect uitgedrukt in equivalente 'kg CO<sub>2</sub>'

in een tijdvak van 100 jaar. Bij directe bijdrage is sprake als het koudemiddel door lekkage vrijkomt in de atmosfeer. De indirecte bijdrage is het gevolg van de CO<sub>2</sub>-emissie bij de energieopwekking. De meest gebruikte koudemiddelen in koelmachines als CKM, airco's en

warmtepompen zijn de R134a, R407C en de R410A. In tabel 3.3 de milieubelasting van de koelmiddelen er als volgt uit. In dit rapport is met deze uitgangspunten rekening gehouden.

| Koudemiddel                                  | Formule                         | ODP   | GWP   |
|----------------------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| <b>CFK Chlorofluorkoolwaterstoffen</b>       |                                 |       |       |
| R11                                          | CCl <sub>3</sub> F              | 1,0   | 3800  |
| R12                                          | CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> | 1,0   | 8100  |
| <b>HCFK Hydrochlorofluorkoolwaterstoffen</b> |                                 |       |       |
| R22                                          | CHClF <sub>2</sub>              | 0,055 | 1500  |
| R401A                                        | R22/R152A/R124                  | 0,037 | 970   |
| <b>HFK Chloorvrije fluorkoolwaterstoffen</b> |                                 |       |       |
| R23                                          | CHF <sub>3</sub>                | 0     | 11700 |
| R134a                                        | CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>  | 0     | 1300  |
| R407C                                        | R32/125/134a                    | 0     | 1520  |
| R410A                                        | R32/125                         | 0     | 1720  |

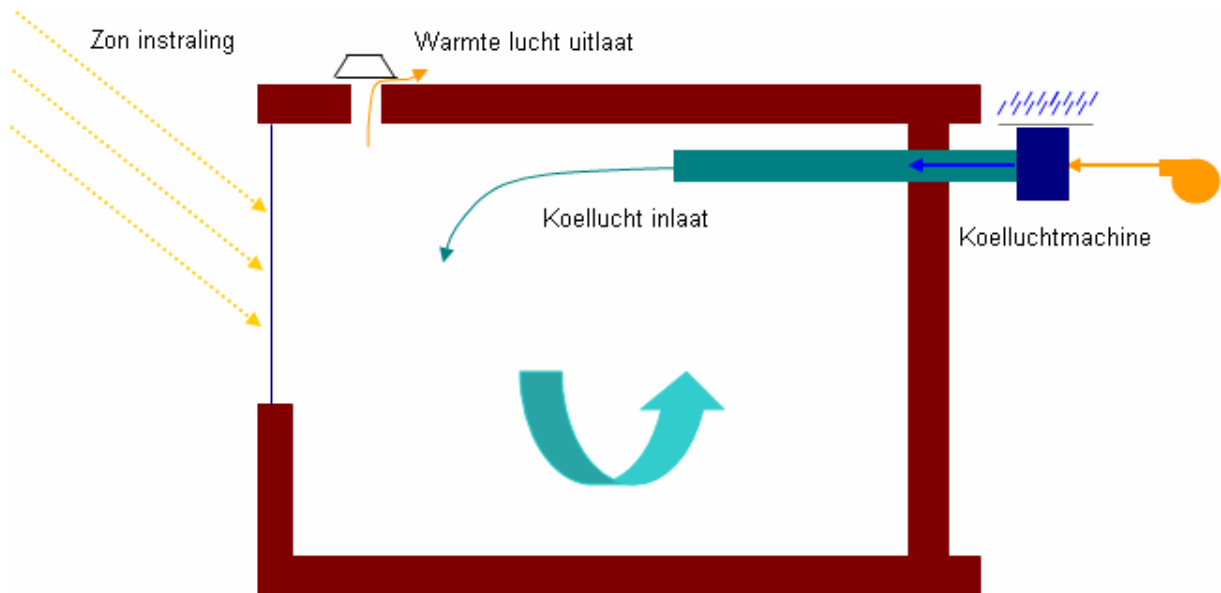
Tabel 3.3. Milieubelasting van koelmiddelen

### 3.8 Afgiftesystemen

Koudelevering aan woningen vergt extra aandacht aan de afgiftesystemen. De koude die met behulp van lucht, water of koelmiddel aan de woning wordt aangeboden zal met behulp van bv radiatoren of luchtinblaasunits de woning moeten kunnen afkoelen.

#### 3.8.1 Koeling met behulp van lucht

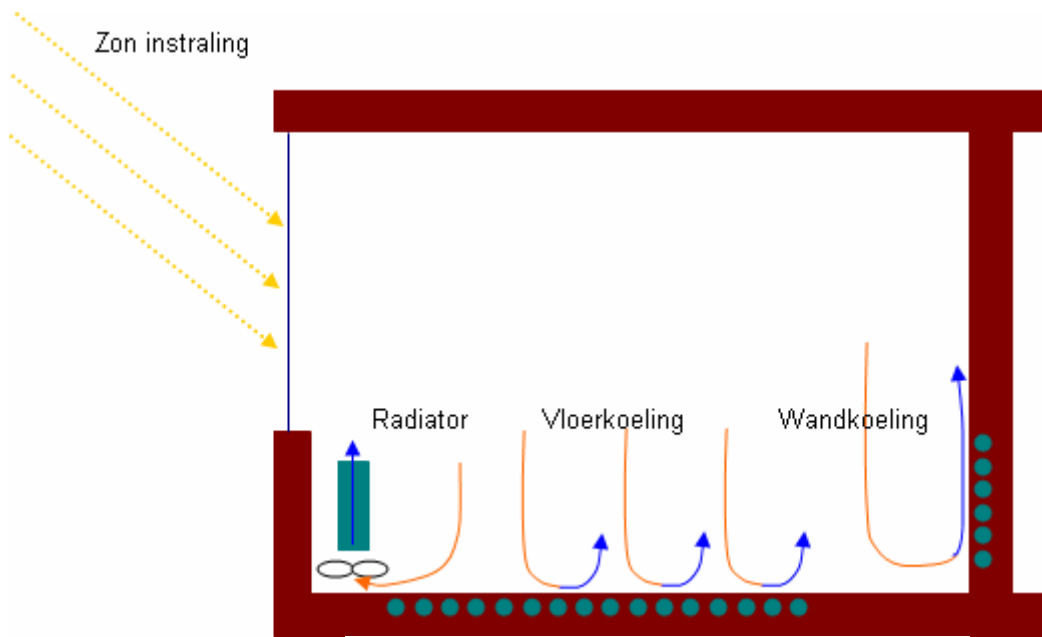
Bij de koelconcepten waarbij met koellucht de woningen gekoeld wordt, wordt m.b.v. een luchtventilator de koele lucht in de woningen geblazen. De warme lucht, die uit de ruimte afgevoerd moet worden, kan mechanisch of via natuurlijke weg naar buiten afgevoerd worden. Bij deze uitvoering van koudelevering zal gekeken moeten worden naar de mogelijkheden van het integreren van de koudelevering in het centrale ventilatiesysteem. Zie figuur 3.6.



*Figuur 3.6. Koeling met behulp van koellucht, met natuurlijke afvoer van warmte*

#### 3.8.2 Koeling met behulp van koelwater

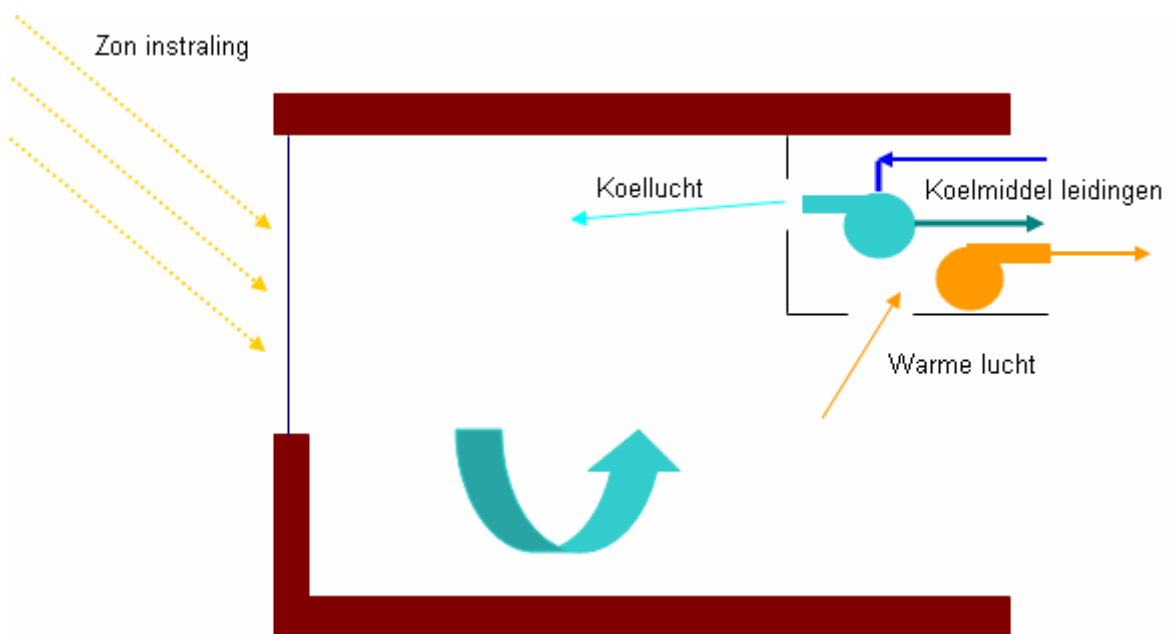
Bij een koelconcept waarbij met water een woning gekoeld wordt zal het afgiftesysteem bestaan uit vloer-, wand- of plafondkoeling. Bij dit principe kan in de winter warm water door de vloer of wand getransporteerd worden en in de zomer zal door dezelfde leidingen het gekoelde water getransporteerd kunnen worden. Ook zijn er radiatoren die op koeling kunnen werken. Met behulp van een ventilator wordt de omgevingslucht langs de radiatoren geleid waarbij de lucht afkoelt. Zie figuur 3.7



Figuur 3.7. Koeling met behulp van water

### 3.8.3 Koeling met behulp van koelmiddelleidingen

Bij koelconcepten waarbij m.b.v. koelmiddelen koeling gerealiseerd wordt zal het koelmiddel in de afgiftesystemen een faseverandering ondergaan. Door deze faseverandering kan relatief veel vermogen geleverd worden. Het vloeibare koelmiddel zal in het afgiftesysteem gasvormig worden en worden aangezogen door de koelmachine die het koelmiddel weer omzet in vloeistof. Het afgiftesysteem is hierbij de verdampers van de koelmachine. Door lucht langs de verdampers te leiden koelt de lucht af waarna het de ruimte ingeblazen wordt. De warme lucht, die uit de ruimte afgevoerd moet worden, kan mechanisch of op natuurlijk verloop naar buiten afgelaten worden. Zie figuur 3.8.



Figuur 3.8. Koeling met behulp van koelmiddelleidingen

## 4 Het onderzoek van koelconcepten

### 4.1 Concepten

Om onderzoek te kunnen doen naar een koelconcept naast een warmtenet is onderzocht wat voor bestaande koelconcepten er momenteel geëxploiteerd worden. Na het vaststellen hiervan is een keuze gemaakt voor het uitwerken van 7 concepten. De concepten zijn allen al eens toegepast bij woningbouw of utiliteitsbouw, of zijn in een verstaande testfase. Om een beoordeling te kunnen maken is een referentieconcept uitgekozen. Als referentie wordt concept A aangehouden. Alle andere concepten worden op basis van dit koelconcept vergeleken. De volgende concepten zijn uitgewerkt:

- A. Decentraal opgestelde compressiekoelmachine
- B. Decentraal opgestelde compressiekoelmachine met bodem opslag
- C. Decentraal opgestelde absorptiekoelmachine
- D. Decentraal opgestelde absorptiekoelmachine met bodem opslag
- E. Individuele adsorptiekoelmachines per woning
- F. Individuele compressiekoelmachines per woning (airco)
- G. Decentraal opgestelde adiabatistische koelmachine

### 4.2 Selectiecriteria

Om een gedegen advies te kunnen uitbrengen zijn selectiecriteria geformuleerd waarop de beoordeling plaats vindt. Deze selectiecriteria worden onderverdeeld in twee hoofd groepen:

- Duurzaamheid.
- Haalbaarheid.

#### 4.2.1 Duurzaamheid:

Bij duurzaamheid is beoordeeld op een aantal subcriteria. Voor de subcriteria zijn de drie P's aangehouden die vaak terugkomen bij milieukundige vraagstukken.

- o People.

Bij het *People* aspect is gekeken naar de uitstraling en de leefomgeving van een degelijk koelconcept. Is er geluidsoverlast mogelijk van beoordeelde koelmachines? Zijn er veiligheidsaspecten waarmee rekening gehouden moet worden waaronder gezondheidsrisico's en explosiegevaar? Zijn er plaatsgebonden of groepsrisico's aanwezig?

- o Planet.

Bij *Planet* is onderzocht wat de emissies zijn bij exploitatie van een koelconcept. Hierbij zijn de CO<sub>2</sub> reductie en emissies van gevaarlijke koelvloeistoffen naar het milieu van belang. Tevens is gekeken met welke energiebron de koude wordt opgewekt. In welke mate is de energie van deze energiebron duurzaam opgewekt m.b.v. wind, zon, water of biomassa? Er is gerekend met een Primaire Energie Ratio (PER). Hoe hoger het rendement van een koelmachine hoe minder energie er nodig is.



- o Prosperity.  
Hieronder wordt verstaan wat de levensduur en technische afschrijving van een koude concept is. De prosperity heeft raakvlakken met de haalbaarheids vraagstelling.

#### 4.2.2 Haalbaarheid:

Het tweede selectie criterium is haalbaarheid. Haalbaarheid kan worden onderverdeeld in enkele subcriteria:

- o Financiële haalbaarheid.  
Hierbij is gekeken naar de kosten van realisatie en exploitatie van een koudeconcept. De kosten voor een aansluiting, een GJ koude en het vastrecht zijn hierbij berekend.
- o Juridische haalbaarheid.  
Bij juridische haalbaarheid is onderzocht of concepten een vergunningplicht hebben. Vergunningen zoals een milieuvergunning, WVO vergunning, Grondroer vergunning en dergelijke. Tevens wordt meegenomen dat een welstandscommissie van een gemeente eisen zal opstellen.
- o Technische haalbaarheid.  
De technische haalbaarheid betreft bijvoorbeeld het ruimtebeslag bij plaatsing van een installatie. De hoeveelheid technische aspecten en de impact er van die meegenomen moeten worden. Tevens is gekeken in hoeverre de werking van het concept een bewezen techniek is.
- o Maatschappelijke haalbaarheid.  
Zijn de energieconcepten ethische en maatschappelijk verantwoord?

#### 4.3 Multi Criteria Analyse

Op basis van bovenstaande selectiecriteria zijn de verschillende concepten met elkaar vergeleken. Daarbij zijn punten toegekend. Het referentieconcept is neutraal beoordeeld, waarbij bij de andere concepten is onderzocht of zij beter of slechter scoren t.o.v. het referentieconcept.

De beoordeling van het referentieconcept ziet er als volgt uit:

|                     | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 | Totaal score |
|---------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|--------------|
|                     | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk |              |
| mate van waardering | 14%          | 14%    | 14%        | 14%          | 14%       | 14%       | 14%             | 100%         |
| CKM                 | 5            | 5      | 5          | 5            | 5         | 5         | 5               | 5            |

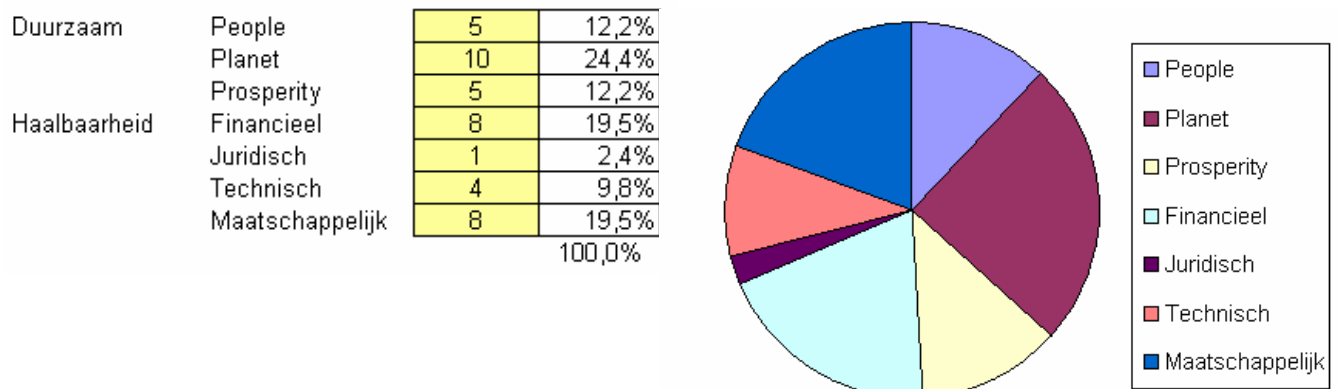
Tabel 4.1. Multi Criteria Analyse

In deze tabel zijn alle beoordelingsaspecten met een 5 gewaardeerd op de schaal van 1 t/m 10. Elk concept is op ieder aspect als volgt gewaardeerd:

|                                         | Punten |
|-----------------------------------------|--------|
| Veel slechter als het referentieconcept | 0      |
| Iets slechter als het referentieconcept | 3      |
| Gelijkwaardig aan het referentieconcept | 5      |
| Beter als het referentieconcept         | 7      |
| Veel beter als het referentieconcept    | 10     |

#### 4.4 Uitwerking Multi Criteria Analyse

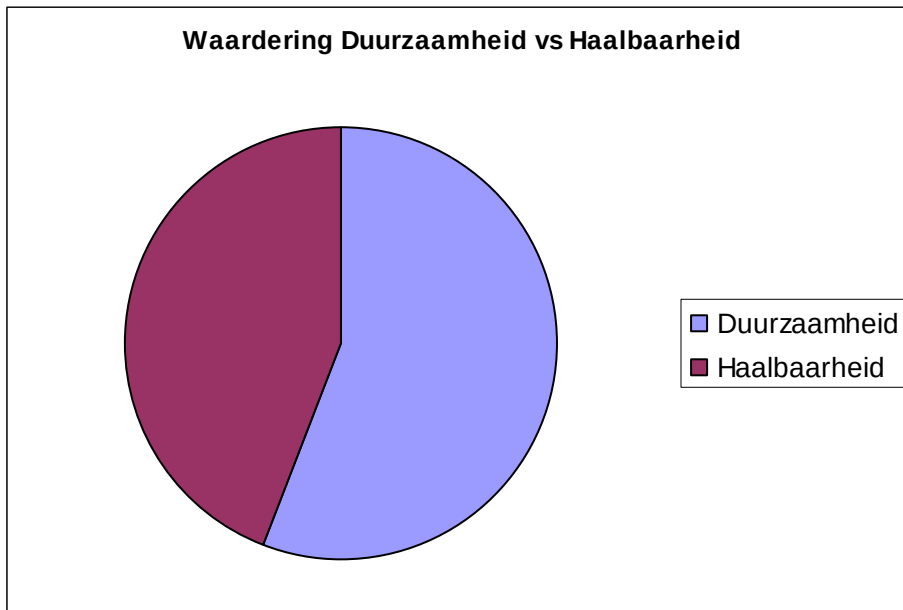
Op 17 mei 2010 heeft een overleg plaats gevonden met de opdrachtgever, Robert Crabbendam en Marco van Soerland. Bij het nalopen van de uitgewerkte concepten is de opdrachtgever gevraagd wat HVCenergie belangrijk vindt voor het uitwerken van een koude concept. Alle aspecten hebben een cijfer gekregen tussen de 1 en 10. Hierop zijn de aspecten op ‘mate van waardering’ procentueel vastgelegd, zie tabel 4.1.



Tabel 4.1. Multi Criteria Analyse, waardering selectiecriteria

Uit dit overleg kwam naar voren dat HVCenergie hoog inzet op duurzaamheid. Uiteraard moet een concept wel *financieel* gezond zijn en *maatschappelijk* gedragen worden. HVCenergie is bereid om *technisch* meer risico te nemen waarop het aspect *technisch* minder zwaar gewogen is. *Juridisch* is heel laag beoordeeld omdat dit aspect de haalbaarheid niet in de weg mag staan. Alleen als een concept *juridisch* onmogelijk is zal dit een belangrijk aspect kunnen worden. Is het *juridisch* wel mogelijk maar zit er veel werk aan, maakt dat het concept *juridisch* niet minder interessant. Vandaar dat dit aspect laag beoordeeld is.

Uit deze waardering kan geconcludeerd worden dat HVCenergie denkt in duurzaamheid en pas op de tweede plaats in haalbaarheid. In grafiek 4.1 wordt weergegeven dat duurzaamheid van 56% belangrijk gevonden wordt en de haalbaarheid van 44%. Dit sluit aan op de strategie van HVC.



Grafiek 4.1. Waarderingsgrafiek Duurzaamheid tegen Haalbaarheid

Op basis van de waarderingen van de selectiecriteria is berekend welk concept, voor HVCenergie, het beste geschikt is naast een warmtenet.

|                       | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 | Totaal score |
|-----------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|--------------|
|                       | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk |              |
| mate van waardering   | 12%          | 24%    | 12%        | 20%          | 2%        | 10%       | 20%             | 100%         |
| CKM                   | 5            | 5      | 5          | 5            | 5         | 5         | 5               | 5,000        |
| CKM + bodemopslag     | 5            | 7      | 7          | 5            | 3         | 5         | 5               | 5,683        |
| AKM                   | 5            | 10     | 5          | 7            | 5         | 5         | 5               | 6,610        |
| AKM + bodemopslag     | 5            | 7      | 7          | 3            | 3         | 5         | 5               | 5,293        |
| Individuele absorptie | 3            | 10     | 5          | 5            | 5         | 7         | 7               | 6,561        |
| Individuele airco     | 0            | 5      | 5          | 3            | 5         | 10        | 7               | 4,878        |
| Adiabatische koeling  | 3            | 10     | 7          | 5            | 5         | 0         | 3               | 5,341        |

Tabel 4.2. Uitwerking Multi Criteria Analyse.

Uit deze Multi Criteria Analyse komen de concepten *absorptiekoelmachine* en *individuele adsorptie*, met een puntenhoeveelheid van respectievelijk 6,610 en 6,561, als beste concepten uit de analyse. Ook de *compressiekoelmachine met bodemopslag* komt met een punten totaal van 5,683 ook goed uit de analyse.

## 4.5 Uitwerking berekeningen

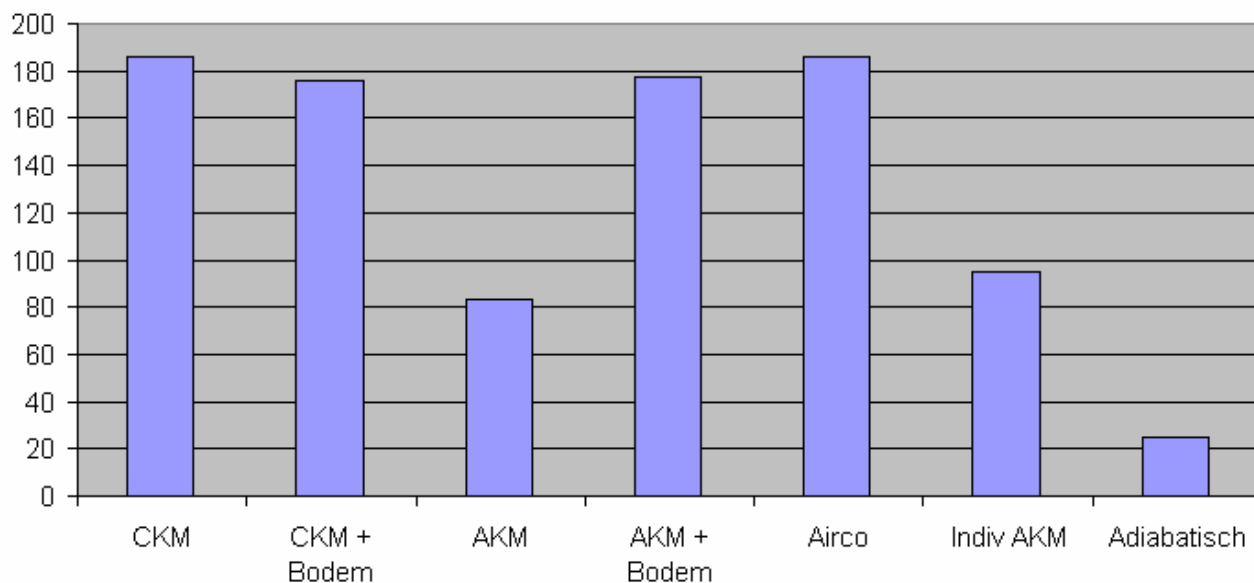
Voor het berekenen van de financiële haalbaarheid is gerekend met diverse kengetallen, aangevraagde offertes en aannames. De kengetallen en aannames zijn verwerkt in hoofdstuk 3, waarbij aangegeven is hoe aan de kengetallen en de aannames gekomen is. Offertes zijn aangevraagd bij verschillende leveranciers. Voor al deze getallen is een lijst opgezet waarmee

de concepten doorgerekend zijn. Onderstaande tabel geeft deze getallen weer, met daarachter de bron waar de gegevens vandaan komen.

| Item                                                 | Waarde      | Eenheid      | Bron             |
|------------------------------------------------------|-------------|--------------|------------------|
| Vermogen koude per woning                            | 2,5         | kW           |                  |
| Koude vraag woning                                   | 3           | GJ/jaar      | HVC energie      |
| Gelijktijdigheid koludelevering                      | 0,9         |              | Aanname          |
|                                                      |             |              |                  |
| Rendement energiecentrales in Nederland              | 39%         |              | Senternovem      |
| Stookwaarde aardgas                                  | 31,65       | MJ/m³        | Senternovem      |
| Kwh per m³ gas bij gemiddeld rendement centrale      | 3,4281      | kWh          | Berekend         |
| M³ gas per kWh bij gemiddeld rendement centrale      | 0,2917      | m³           | Berekend         |
| M³ gas per liter bereid drinkwater                   | 0,1685      | m³           | Senternovem      |
| M³ gas per GJ warmte (AVI HVC)                       | 7,90        | m³           | Berekend         |
|                                                      |             |              |                  |
| CO2 uitstoot per kWh elektriciteit                   | 0,59        | kg/kWh       | Senternovem      |
| CO2 uitstoot per m³ aardgas                          | 1,78        | kg/m³        | Senternovem      |
| CO2 uitstoot per GJ warmte (AVI HVC) 75% reductie    | 14,06       | kg/GJ        | HVCenergie       |
| CO2 uitstoot per liter schoon water                  | 0,3         | kg/m³        | WeTapWater       |
| CO2 reductie bij warmtelevering t.o.v. gaslevering   | 74,5        | %            | HVC energie      |
|                                                      |             |              |                  |
| Elektriciteitsstarief excl energiebelasting          | € 0,0854    | per kWh      | Nuon             |
| Energiebelasting 0-10.000 kWh                        | € 0,1326    | per kWh      | Nuon             |
| Energiebelasting 10.000-50.000 kWh                   | € 0,0483    | per kWh      | Nuon             |
| Energiebelasting 50.000-1.000.000 kWh                | € 0,0129    | per kWh      | Nuon             |
| Water                                                | € 1,39      | per M³       | PWN              |
|                                                      |             |              |                  |
| Inkoopprijs warmte voor HVCenergie                   | € 7,50      | per GJ       | HVC energie      |
| Verkoopprijs warmte 0 tot 165 GJ                     | € 14,90     | per GJ       | HVC energie      |
| Verkoopprijs warmte 165 tot 5609 GJ                  | € 14,23     | per GJ       | HVC energie      |
| E-deriving warmtelevering                            | 20%         |              | HVC energie      |
|                                                      |             |              |                  |
| Kosten onderhoud/beheer wijknet per woning           | € 4,00      | /woning/jaar | Berekend         |
| Kosten aanleg wijnet per woning                      | € 3.121,00  | /woning      | Berekend         |
| Kosten herinverstering na einde levensduur           | € 4,00      | /woning/jaar | Berekend         |
| Kosten onderhoudscontract airco                      | € 105,00    | /woning/jaar | Chigo            |
| Koster onderhoudscontract individuele AKM            | € 100,00    | /woning/jaar | Aanname ECN      |
| Bijkomende kosten installatie bij decentrale opwek   | € 15.000,00 |              | Aanname          |
| Bijkomende kosten onderstation bij decentrale opwek  | € 40.000,00 |              | Aanname          |
|                                                      |             |              |                  |
| EER Compressiekoelmachine kW koude / kW elektrisch   | 3,2         |              | Carrier          |
| COP Compressiekoelmachine, kW warmte / kW elektrisch | 3           |              | Carrier          |
| COP Absorptiekoelmachine, kW koude / kW thermisch    | 0,77        |              | Carrier          |
| COP Absorptiekoelmachine, kW koude / kW elektrisch   | 30          |              | Carrier          |
| COP Absorptiekoelmachine, bodemopslag                | 0,77        |              | Carrier          |
| COP Airco                                            | 3,2         |              | Carrier          |
| COP Dry Cooler                                       | 20          |              | Carrier          |
| COP Adiabatische koeler                              | 20          |              | Statiq Cooling   |
| COP Natte Cooler                                     | 100         |              | GEA              |
| COP Bronpompen                                       | 25          |              | Ervaring Carrier |
| Water verbruik natte koeler 1300 kw                  | 2,2         | M³/hr        | GEA              |
| Water verbruik natte koeler 266 kw                   | 0,6         | M³/hr        | GEA              |
|                                                      |             |              |                  |
| GWP CO2                                              | 1           |              |                  |
| GWP koudemiddel R134A                                | 1300        |              |                  |
| GWP koudemiddel CO2R744                              | 1           |              |                  |
| GWP koudemiddel R152A                                | 150         |              |                  |

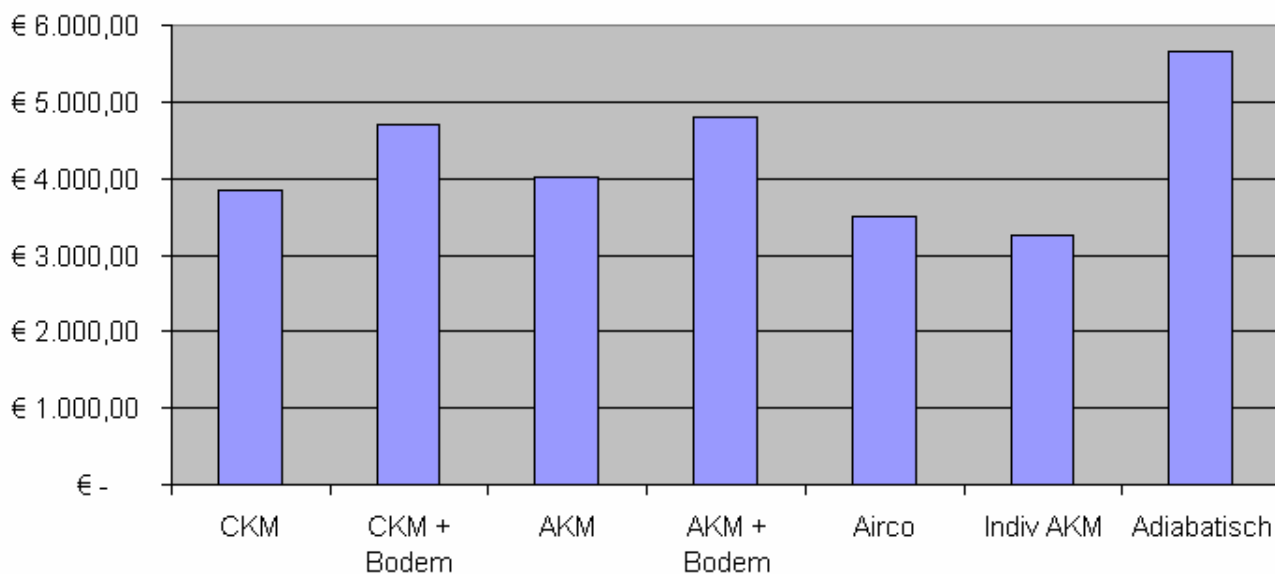
Tabel 4.3. Uitgangspunten t.b.v. energie en CO<sub>2</sub> berekeningen.

Uit de gemaakte berekeningen kan in grafiekvorm worden weergegeven welk concept goed scoort bij de verschillende aspecten.



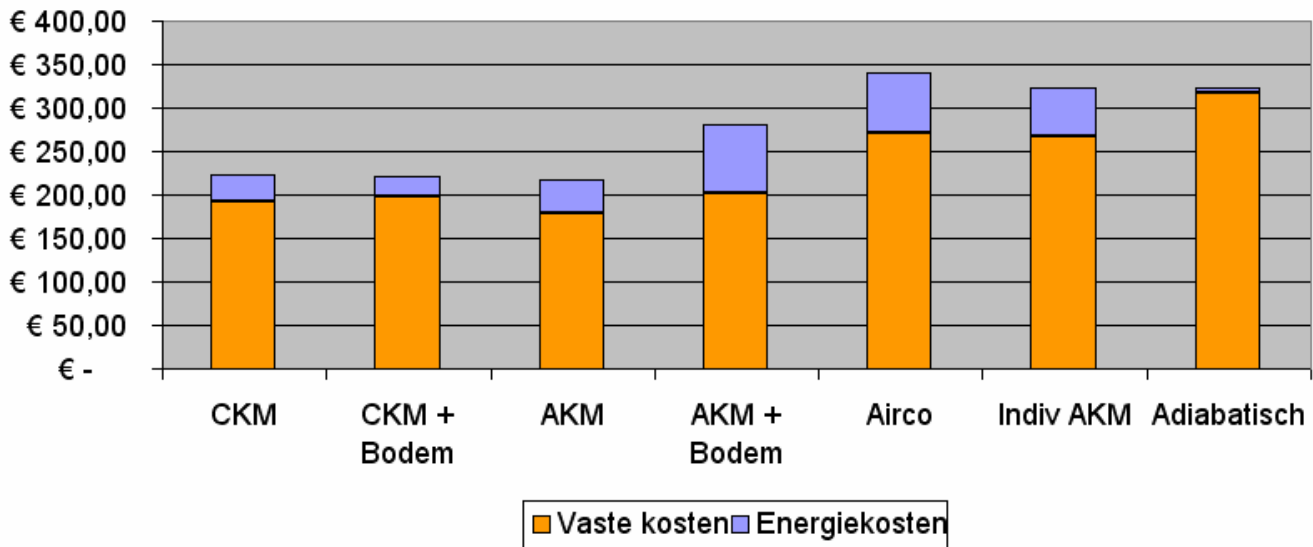
Grafiek 4.2. CO<sub>2</sub> uitstoot per energieconcept

In grafiek 4.2. is de CO<sub>2</sub> uitstoot per concept af te lezen. Bij het concept met adiabatische koeling is de CO<sub>2</sub> uitstoot het laagst op 25 kg CO<sub>2</sub> uitstoot. De CO<sub>2</sub> uitstoot van de absorptiekoelmachine en de individuele adsorptiekoelmachine komen redelijk overeen en zitten rond de 80 á 90 kg CO<sub>2</sub> per woning. De andere 4 concepten zitten relatief aan de hogere kant met 176 tot 186 kg CO<sub>2</sub> per woning.



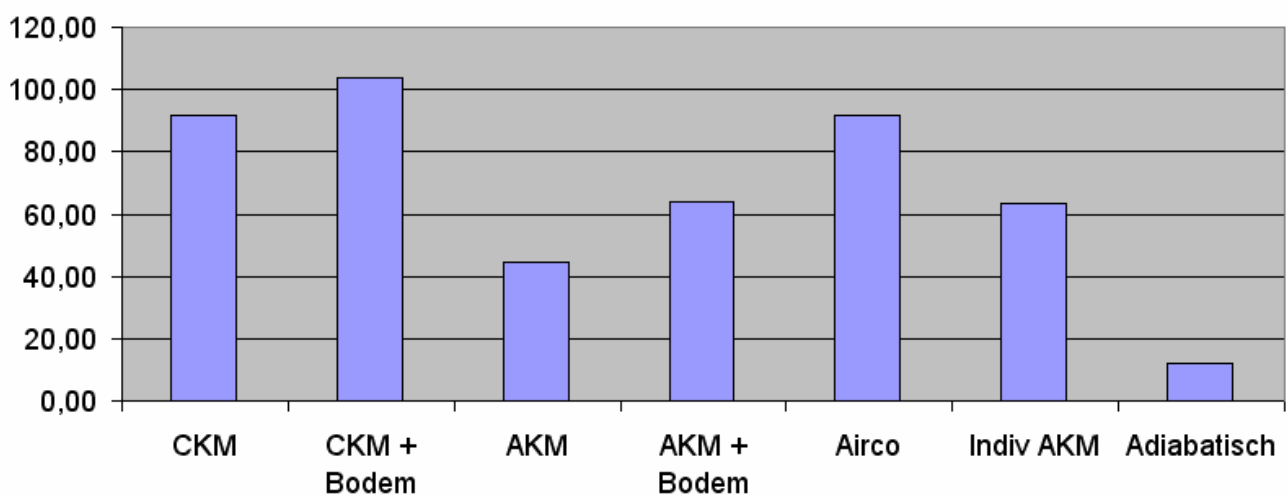
Grafiek 4.3. Realisatie kosten per woning (BAK)

In grafiek 4.3 zijn de investeringskosten weergegeven. De investeringen voor realisatie variëren van € 3250,- voor de individuele adsorptiekoelmachine tot € 5663,- voor het concept met adiabatistische koeling.



Grafiek 4.4. Vaste kosten en energie kosten per woning per jaar

In grafiek 4.4 zijn de vaste kosten en de energiekosten tegen elkaar afgezet. Hierin is duidelijk af te lezen dat bij alle concepten de vaste kosten het hoogst zijn. In de totale kosten is het concept AKM het goedkoopste concept. De energiekosten zijn bij het concept van adiabatistische koeling het laagst en bij AKM + bodem het hoogst. De airco is het duurste alternatief wanneer er naar de totale kosten gekeken wordt.



Grafiek 4.5. Primair energie ratio (PER). Energie behoefte terugerekend op primair energie verbruik.

Als in grafiet 4.5 gekeken wordt wat de primaire energie behoefte is van de concepten is in af te lezen dat het concept van adiabatische koeling het laagste energie verbruik heeft. De CMK + bodem heeft veruit het meeste energieverbruik.

## **5. Gevoeligheids analyse**

Om een gedegen conclusie te kunnen trekken zullen een aantal aannames die in dit rapport genomen zijn, op gevoeligheid geanalyseerd moeten worden. Eén van deze aannames is dat de bronnen ongeveer € 300.000,- zouden moeten kosten. Dit is een aanname op basis van eerder uitgevoerde bronnen die rond de € 120.000 euro hebben gekost, en waarbij een risico meegenomen is van 25%.

Tevens bestaat het risico dat een koelmachine zijn verwachte COP niet haalt. De berekeningen zijn uitgevoerd met gegevens die door leveranciers zijn aangedragen. Voor wat betreft de CKM, al dan niet met bodemopslag en de airco zijn er vele referentieprojecten uitgevoerd waarbij veelal de verwachte rendementen behaald worden. Voor wat betreft de Absorptiekoelmachine wordt een COP van 0,77 verwacht. Deze COP zal goed haalbaar zijn bij temperaturen in het warmtenet van 100 °C of hoger. Aangezien in de zomermaanden de temperatuur in het transportnet verlaagd wordt zal het rendement van de AKM slechter worden. Hierbij zal de COP kunnen zakken tot onder de 0,55, bij een temperatuur in het warmtenet van 80 °C.

Een risico bij opslag in de grond is dat de koude, die in de grond opgeslagen wordt gedeeltelijk verloren gaat. Dit kan komen doordat grondwaterstromingen sneller stromen als voorzien, waarbij de opgeslagen koude wegstroomt uit de bron. De gewenste temperatuur zal zomers dan niet gehaald worden en het gewenste koelvermogen wordt niet bereikt.

Het risico bij de sorptietechnieken is dat de energiekosten sterk afhankelijk zijn van de prijs van een GJ warmte. Als HVCenergie zelf een absorptiemachine exploiteert kan de energie prijs gebaseerd worden op de inkoops prijs van een GJ warmte plus de kostprijs voor distributie. Hierop zijn de energie kosten ook berekend in dit rapport. Als een derde partij dit concept zelf wil exploiteren zal gekeken moeten worden naar de kostprijs van een GJ warmte. Als de standaard GJ prijs voor warmte aangehouden wordt voor levering aan de koude machine zullen de kosten voor een GJ koude behoorlijk stijgen.

De bovenstaande gevoeligheden zijn voor de gekozen concepten doorgerekend en ten opzichte van elkaar beoordeeld. Hierop kan geanalyseerd worden bij welk risico een gekozen concept niet slechter gaat scoren.

### **5.1 Risico bronkosten.**

De bronnen zijn berekend op € 300.000. Dit bedrag ligt 25% hoger dan de gemiddeld kosten van een bron. Indien de kosten nog veel hoger uitkomen, zal dit grote gevolgen hebben op de kosten van het concept CKM + bodemopslag. Tabel 5.1 laat zien wat het verschil in kosten is en wat dit doet in de MCA als de bronkosten € 500.000,- zijn

| Concept     | Investering | Herinvestering | Vaste kosten per jaar | Energiekosten per GJ | Energiekosten per jaar per woning | Kosten per jaar | PER in M³ gas | Kg CO₂ Uitstoot /woning |
|-------------|-------------|----------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------|
| CKM + Bodem | € 4.705,46  | € 1.994,71     | € 198,80              | € 7,14               | € 21,43                           | € 220,24        | 104           | 176                     |
| CKM + Bodem | € 5.505,46  | € 2.794,71     | € 241,47              | € 7,14               | € 21,43                           | € 262,90        | 104           | 176                     |
| AKM         | € 4.010,79  | € 635,04       | € 178,60              | € 13,19              | € 39,57                           | € 218,17        | 44,47         | 83                      |
| Indiv AKM   | € 3.250,00  | € 3.000,00     | € 266,67              | € 19,04              | € 57,11                           | € 323,78        | 63,60         | 95                      |

|                     | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |              |
|---------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|--------------|
|                     | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk | Totaal score |
| mate van waardering | 12%          | 24%    | 12%        | 20%          | 2%        | 10%       | 20%             | 100%         |
| CKM + bodemopslag   | 5            | 7      | 7          | 5            | 3         | 5         | 5               | 5,683        |
| CKM + bodemopslag   | 5            | 7      | 7          | 3            | 3         | 5         | 5               | 5,293        |
| AKM                 | 5            | 10     | 5          | 7            | 5         | 5         | 5               | 6,010        |
| Indiv AKM           | 3            | 10     | 5          | 5            | 5         | 7         | 7               | 6,561        |

Tabel 5.1. Gevoeligheid in bron kosten, van € 300.000,- naar € 500.000,-

Hierin is af te lezen dat de investering per woning € 800,- hoger is en de vaste kosten elk jaar voor een gebruiker dan ook bijna € 43,- hoger zijn. In de MCA betekend dit dat de beoordeling van het financiële aspect van “0” naar “-” wat inhoudt dat de totale score met 0,4 punt zal zakken van 5,68 naar 5,29 punten waarbij dit concept verdrongen zal worden van de 3<sup>e</sup> plaats. Zouden daarentegen de bronnen veel goedkoper uitkomen, zeg € 150.000, dan zal het resultaat een stuk positiever zijn, zie tabel 5.2.

| Concept     | Investering | Herinvestering | Vaste kosten per jaar | Energiekosten per GJ | Energiekosten per jaar per woning | Kosten per jaar | PER in M³ gas | Kg CO₂ Uitstoot /woning |
|-------------|-------------|----------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------|
| CKM + Bodem | € 4.705,46  | € 1.994,71     | € 198,80              | € 7,14               | € 21,43                           | € 220,24        | 104           | 176                     |
| CKM + Bodem | € 4.105,46  | € 1.394,71     | € 166,80              | € 7,14               | € 21,43                           | € 188,24        | 104           | 176                     |
| AKM         | € 4.010,79  | € 635,04       | € 178,60              | € 13,19              | € 39,57                           | € 218,17        | 44,47         | 83                      |
| Indiv AKM   | € 3.250,00  | € 3.000,00     | € 266,67              | € 19,04              | € 57,11                           | € 323,78        | 63,60         | 95                      |

|                     | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |              |
|---------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|--------------|
|                     | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk | Totaal score |
| mate van waardering | 12%          | 24%    | 12%        | 20%          | 2%        | 10%       | 20%             | 100%         |
| CKM + bodemopslag   | 5            | 7      | 7          | 5            | 3         | 5         | 5               | 5,683        |
| CKM + bodemopslag   | 5            | 7      | 7          | 7            | 3         | 5         | 5               | 6,073        |
| AKM                 | 5            | 10     | 5          | 7            | 5         | 5         | 5               | 6,010        |
| Indiv AKM           | 3            | 10     | 5          | 5            | 5         | 7         | 7               | 6,561        |

Tabel 5.2. Gevoeligheid in bron kosten, van € 300.000,- naar € 150.000,-

De kosten voor investering zullen € 600,- goedkoper zijn en jaarlijks zullen de vaste kosten 32 euro lager liggen. Voor de MCA betekend dit een punten stijging van 5,68 naar 6,07. Dit houdt overigens wel in dat in de MCA dit concept niet stijgt in de ranglijst en wat puntenaantal betreft dus onder de ander twee concepten blijft staan.

## 5.2 Risico COP absorptiekoelmachine

De leverancier geeft een COP van de absorptiekoelmachine van 0,77. Van elke GJ warmte komt 0,77 GJ koude uit de koelmachine. Mocht dit rendement, door verlaging van de temperatuur in het warmtenet, dalen naar 0,55, zal dit effect hebben op de energiekosten en de CO₂ uitstoot van het concept.



| Concept     | Investering | Herinvestering | Vaste kosten per jaar | Energiekosten per GJ | Energiekosten per jaar per woning | Kosten per jaar | PER in M³ gas | Kg CO₂ Uitstoot /woning |
|-------------|-------------|----------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------|
| CKM + Bodem | € 4.705,46  | € 1.994,71     | € 198,80              | € 7,14               | € 21,43                           | € 220,24        | 104           | 176                     |
| AKM         | € 4.010,79  | € 635,04       | € 178,60              | € 13,19              | € 39,57                           | € 218,17        | 44,47         | 83                      |
| AKM         | € 4.010,79  | € 635,04       | € 178,60              | € 17,28              | € 51,84                           | € 230,44        | 58,04         | 108                     |
| Indiv AKM   | € 3.250,00  | € 3.000,00     | € 266,67              | € 19,04              | € 57,11                           | € 323,78        | 63,60         | 95                      |

|                     | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |              |
|---------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|--------------|
|                     | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk | Totaal score |
| mate van waardering | 12%          | 24%    | 12%        | 20%          | 2%        | 10%       | 20%             | 100%         |
| CKM + bodemopslag   | 5            | 7      | 7          | 5            | 3         | 5         | 5               | 5,993        |
| AKM                 | 5            | 10     | 5          | 7            | 5         | 5         | 5               | 6,610        |
| AKM                 | 5            | 5      | 5          | 7            | 5         | 5         | 5               | 5,390        |
| Indiv AKM           | 3            | 10     | 5          | 5            | 5         | 7         | 7               | 6,561        |

Tabel 5.3. Gevoeligheid in rendement (COP) van AKM

In tabel 5.3 is af te lezen dat de energiekosten per GJ met € 5,- zullen stijgen. De CO₂ uitstoot stijgt met bijna 20 % van 83 Kg naar 108 Kg per woning. Dit resulteert in een slechtere beoordeling van het planet aspect van duurzaamheid in de MCA, waardoor het puntentotaal van 6,61 daalt naar 5,39. Dit is een aanzienlijke daling waarbij het concept gelijk een stuk minder aantrekkelijk wordt. Dit aspect zal goed overwogen moeten worden als in een project voor dit concept gekozen zal gaan worden.

### 5.3 Verlies koude opslag

De koude die opgewekt wordt in de wintermaanden wordt opgeslagen in een aquifer. Een aquifer is een ondergrondse waterbel, die bij deze opslag afgekoeld wordt. Een ondergrondse waterbel zal zich door grondwaterstromingen langzaam kunnen verplaatsen. Hierdoor kunnen er verliezen optreden doordat het afgekoelde water zich verplaatst heeft in deze waterbel. Dit is een risico in de concepten die met energieopslag werken.

| Concept     | Investering | Herinvestering | Vaste kosten per jaar | Energiekosten per GJ | Energiekosten per jaar per woning | Kosten per jaar | PER in M³ gas | Kg CO₂ Uitstoot /woning |
|-------------|-------------|----------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------|
| CKM + Bodem | € 4.705,46  | € 1.994,71     | € 198,80              | € 7,14               | € 21,43                           | € 220,24        | 104           | 176                     |
| CKM + Bodem | € 4.705,46  | € 1.994,71     | € 198,80              | € 8,28               | € 24,85                           | € 223,65        | 114           | 197                     |
| AKM         | € 4.010,79  | € 635,04       | € 178,60              | € 13,19              | € 39,57                           | € 218,17        | 44,47         | 83                      |
| Indiv AKM   | € 3.250,00  | € 3.000,00     | € 266,67              | € 19,04              | € 57,11                           | € 323,78        | 63,60         | 95                      |

|                     | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |              |
|---------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|--------------|
|                     | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk | Totaal score |
| mate van waardering | 12%          | 24%    | 12%        | 20%          | 2%        | 10%       | 20%             | 100%         |
| CKM + bodemopslag   | 5            | 7      | 7          | 5            | 3         | 5         | 5               | 5,683        |
| CKM + bodemopslag   | 5            | 7      | 7          | 5            | 3         | 5         | 5               | 5,683        |
| AKM                 | 5            | 10     | 5          | 7            | 5         | 5         | 5               | 6,610        |
| Indiv AKM           | 3            | 10     | 5          | 5            | 5         | 7         | 7               | 6,561        |

Tabel 5.4. Gevoeligheid in verlies van energie bij bodemopslag

In tabel 5.4 is weergegeven wat de meerkosten in energie zijn als er 25% van de koude verloren gaat in de grond. Hierin is te zien dat de kosten voor een GJ koude met € 1,14 euro stijgen. Dit is een stijging van 16% en dus veel minder dan het percentage verlies van koude. En nog steeds lager als de ander concepten. Dit heeft te maken met de extra geproduceerde

warmte die recht evenredig stijgt met extra koude die geproduceerd moeten worden. Om deze reden is in de MCA geen aanpassing gedaan op de waardering.

Dit geldt ook voor de CO<sub>2</sub> uitstoot. Uiteraard is er meer energie nodig om de extra koude te produceren, waardoor extra CO<sub>2</sub> uitgestoten wordt. Maar ook de extra warmte die daarbij geproduceerd wordt geeft weer een CO<sub>2</sub> reductie ten opzichte van de warmte die uit de huisvuilcentrale komt. Vandaar dat ook de CO<sub>2</sub> uitstoot niet evenredig mee stijgt met het verlies van koude. Ondanks de CO<sub>2</sub> uitstoot iets hoger is heeft ook dit op de MCA geen consequenties. Uiteraard moet wel gestreefd worden naar een zo laag mogelijk verlies. Mocht blijken dat in de praktijk de verliezen hoger zijn zal dit opnieuw berekend moeten worden.

## 5.4 Energiekosten t.o.v. kosten GJ warmte

De kosten die een klant moet betalen voor een GJ warmte is € 14,90. Als voor de warmtelevering t.b.v. gebruik van de AKM deze prijzen gehanteerd worden zullen de energiekosten per woning stijgen van € 13,19 naar € 22,80. Dat is een stijging van meer dan 70% op de energiekosten. Bij de individuele AKM is dit nog hoger en zullen de prijzen van

| Concept     | Investering | Herinvestering | Vaste kosten per jaar | Energiekosten per GJ | Energiekosten per jaar per woning | Kosten per jaar | PER in M³ gas | Kg CO <sub>2</sub> Uitstoot /woning |
|-------------|-------------|----------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------------|
| CKM + Bodem | € 4.705,46  | € 1.994,71     | € 198,80              | € 7,14               | € 21,43                           | € 220,24        | 104           | 176                                 |
| AKM         | € 4.010,79  | € 635,04       | € 178,60              | € 13,19              | € 39,57                           | € 218,17        | 44,47         | 83                                  |
| AKM         | € 4.010,79  | € 635,04       | € 178,60              | € 22,80              | € 68,40                           | € 247,00        | 44,47         | 83                                  |
| Indiv AKM   | € 3.250,00  | € 3.000,00     | € 266,67              | € 19,04              | € 57,11                           | € 323,78        | 63,60         | 95                                  |
| Indiv AKM   | € 3.250,00  | € 3.000,00     | € 266,67              | € 33,84              | € 101,51                          | € 368,18        | 63,60         | 95                                  |

|                     | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |              |
|---------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|--------------|
|                     | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk | Totaal score |
| mate van waardering | 12%          | 24%    | 12%        | 20%          | 2%        | 10%       | 20%             | 100%         |
| CKM + bodemopslag   | 5            | 7      | 7          | 5            | 3         | 5         | 5               | 5,683        |
| AKM                 | 5            | 10     | 5          | 7            | 5         | 5         | 5               | 6,610        |
| AKM                 | 5            | 10     | 5          | 3            | 5         | 5         | 5               | 5,829        |
| Indiv AKM           | 3            | 10     | 5          | 5            | 5         | 7         | 7               | 6,561        |
| Indiv AKM           | 3            | 10     | 5          | 0            | 5         | 7         | 7               | 5,585        |

Tabel 5.5. Gevoeligheid in de kosten per GJ warmte

€19,04 naar €33,84 stijgen. Een stijging van bijna 80%. De beoordeling van het financiële aspect zal van + naar -/- gaan. Hierbij zal in de MCA het punten totaal van de AKM zal van 6,6 punten zakken naar 5,8 en die van de individuele AKM van 6,5 naar 5,6. Beide concepten zullen hierdoor een stuk minder interessant zijn. HVCenergie zal goed moeten kijken hoe de afrekening moet plaats vinden bij ad- en absorptiekoelmachines, hierbij kan gedacht worden aan dubbele meters waarbij de klant de GJ's die nodig is voor levering aan de koelmachine apart af te rekenen met een ander prijs per GJ.

## **6. Conclusies en aanbevelingen**

Na het uitwerken van de verschillende concepten zijn, met een Multi Criteria Analyse, de verschillende concepten met elkaar vergeleken. Hierop is aan HVC gevraagd welke aspecten van de duurzaamheid en de haalbaarheid het zwaarst zouden moeten wegen. Hieruit blijkt dat HVC niet alleen in woord maar ook in daad de duurzaamheid hoog in het vaandel heeft staan. De uitkomst van deze weging laat zien dat HVC voor 56% voor duurzaamheid kiest en voor 44% haalbaarheid. Dit wil zeggen dat HVC bereid is een hoger risico te nemen bij realisatie van een koelconcept. Als een concept technisch of financieel lastig te realiseren is maar in duurzaamheid wel goed scoort geeft dit toch de doorslag bij de keuze van een koude concept. Uit dit rapport scoren de volgende koelconcepten het beste:

- Decentraal opgestelde compressiekoelmachine met bodem opslag
- Decentraal opgestelde absorptiekoelmachine
- Individuele adsorptiekoelmachine

Het grote voordeel van de compressiekoelmachine met bodemopslag is dat tijdens de productie van koude de warmte ook gebruikt kan worden. Hierdoor zijn de energiekosten relatief laag, omdat de warmte weer verkocht wordt en als inkomsten meegerekend kan worden. Een risico in dit concept zijn de bronnen. De kosten van deze bronnen kunnen flink hoger uitvallen als blijkt dat de bronnen een lagere capaciteit hebben dan verwacht, of als er binnen de afschrijvingsperiode onherstelbare schade aan een bron ontstaat waardoor er nieuwe bronnen aangeboord moeten worden. Aangezien er de komende jaren steeds meer ervaring zal komen met opslagbronnen zal dit risico in de toekomst kleiner worden.

De decentraal opgestelde absorptiekoelmachine heeft als groot voordeel dat de CO<sub>2</sub> uitstoot van dit concept erg laag is. Dit heeft te maken met een laag elektra verbruik en de hoge CO<sub>2</sub> reductie van de warmte uit het warmtenet van HVCenergie. Dit concept is financieel haalbaar als voor een GJ warmte de kostprijs van HVCenergie wordt aangenomen. Als HVCenergie dit concept gaat exploiteren zal deze kostprijs ook reëel zijn. Maar mocht dit concept door een derde geëxploiteerd worden, waarbij de warmte ingekocht wordt van HVCenergie, zal er gekeken moeten worden naar de verkoopprijs van een GJ warmte bij levering aan de absorptiemachine. Als dezelfde GJ prijs gehanteerd wordt als de verkoopprijs van een GJ warmte is dit concept financieel niet meer haalbaar.

De individuele adsorptiekoelmachine heeft dezelfde voordelen als een centraal opgestelde absorptiekoelmachine. Maar aangezien het rendement van dit concept iets lager is, is de CO<sub>2</sub> uitstoot iets hoger. Een bijkomend voordeel van dit concept is dat een gebruiker zelf kan kiezen voor koude. Een woning wordt niet aangesloten op een collectieve koudesysteem, dus als een klant geen koeling wenst hoeft er ook geen investering gedaan te worden. Dit concept is nog niet in de exploitatiefase. In een testhuis op het ECN terrein in Petten wordt dit systeem momenteel getest, waarbij de uitkomsten als zeer positief ervaren worden. Er wordt momenteel gezocht naar partijen die dit concept exploitabel willen maken.

HVCenergie zal met de uitkomst en de genoemde prijzen in dit rapport bij toekomstige koudevraag een aanbieding kunnen doen aan projectontwikkelaars. Waarbij aangegeven kan worden wat de aansluitbijdrage zal moeten worden. Vooral woningen in een hoger segment zullen met comfortkoeling wellicht makkelijker te verkopen zijn. En een nieuwe bewoner zal

extra wooncomfort ervaren met een degelijk koelconcept. Tevens is voor de gebruiker gelijk bekend wat de kosten zijn voor het verbruik van koude.

## **7. Definities van begrippen en afkortingen**

Afgiftesystemen = installatie in de woning waarbij warmte en/of koude in de woning afgedragen kan worden.

AKM = Adsorptiekoelmachine

AVI = Afvalverbrandingsinstallatie

Aquifer = Ondergrondse waterbel tbv energieopslag

BAK = Bijdrage aansluitkosten

COP = Coëfficiënt of performance

CFK = Chloor fluor koolwaterstof

CMK = Compressiekoelmachine

EPC = Energieprestatiecoëfficiënt

EPL = Energieprestatie op locatie

GJ = GigaJoule

GWP = Global Warming Potential

HCFK = Hydrochloorfluorkoolwaterstof

HVC = Huisvuilcentrale

kW = Kilo Watt

MCA = Multi Criteria Analyse

Meerwarmte = Dochteronderneming van HVC, die warmte exploiteert in de Boekelermeer

MW = Mega Watt

PER = Primair Energie Ratio (de hoeveelheid primaire energie die nodig is om een gewenste hoeveelheid warmte/koude energie te leveren)

ODP = Ozone Depletion Potential

TEWI = Total equivalent warming impact

w.e. = Woning Equivalenten

## 8. Bronnen

**SenterNovem**, L. Bosselaar, T. Gerlagh

Protocol monitoring duurzame energie; update 2006

**SenterNovem**, H van Wolferen, A van Aarsen, M Dieleman

Koelinstallatie in de Utiliteitsbouw, 2006

**Carboncapital Solutions**, D.H. Recter, J.M. van Zutphen, R.A. Wijbrans MBA

Haalbaarheidsstudie koudenet Alkmaar, 2007

**T&t energie**, J. Tent

Optimalisatie koudelevering comfortnet Alkmaar, 2008

**Cahier C 09**, H Nicolaas

Hitte de baas, 2007

**TNO-rapport**, S.M. van der Sluis M. Rolloos

Techniekinventarisatie mechanische koeling in de utiliteitsbouw; 1999

**Warmtenetwerk magazine**. Nr 5 2010

Adsorptiekoeling voor woningen

**District heating and cooling**,

<http://www.iea-dhc.org/0601.html>

**Duurzame klimaatkoeling uit restwarmte**, A. Moeijens

Koeling uit restwarmtestroom, 2006

**Koude- en warmteconcept Plangebied Overstad te Alkmaar**, L.T. Burdorf

Totaal concept warmte koude voor Overstad, 2010

**Energieconcept Kanaaloevers**, W.D. Hoogendoorn, Ing. L.H. den Dekker DWA

Conceptafweging energievoorziening Kanaaloever Alkmaar, 2010

**Koelen met restwarmte is best wel aantrekkelijk**, K. de Jong

[www.energieconcepten.com](http://www.energieconcepten.com), 2002

**Ozonlaag, koudemiddelen en scheepvaart**, anoniem

Inspectie verkeer en waterstaat, 2001

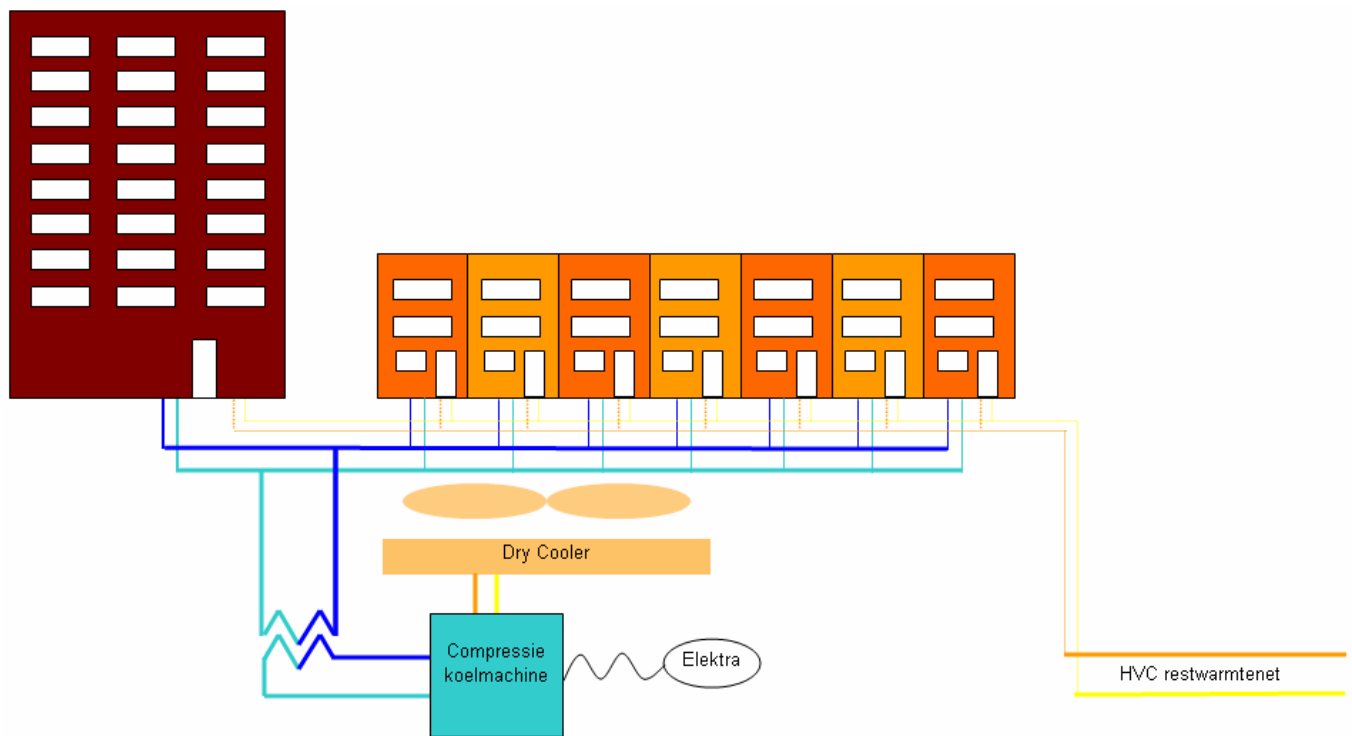


## Bijlage 1, Concept A

### 1.1 Decentraal opgestelde compressiekoelmachine.

### 1.2 Conceptbeschrijving.

Bij dit concept zal centraal in de wijk een compressiekoelmachine opgesteld staan. Deze zal in het onderstation geplaatst moeten worden waar ook de warmteoverdracht plaatsvindt. Met behulp van geïsoleerde leidingen zal de koude gedistribueerd worden naar de woningen. Dit houdt in dat elke woning voorzien wordt van 2 warmte en 2 koude leidingen. Dit vergt enige aandacht tijdens de ontwerpfase voor de wijkontwikkeling. Bij dit concept zal de vrijkomende warmte uit de compressiekoelmachine gekoeld worden naar de buitenlucht. Hiervoor zijn koelers noodzakelijk die op het dak van het onderstation geplaatst worden.

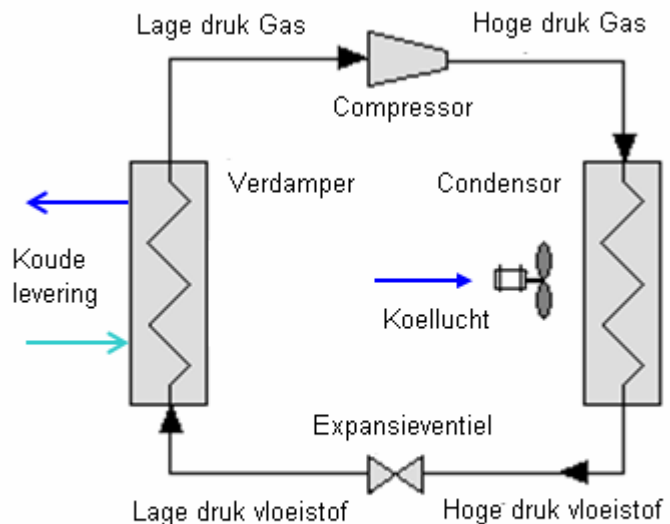


*Decentraal opgestelde compressiekoelmachine.*



### 1.3 Werking compressiekoelmachine

Bij een compressiekoelmachine zuigt een compressor bij een lage druk gas uit de verdamper. Hierdoor komt er in de verdamper een onderdruk en zal de koelvloeistof makkelijker kunnen verdampen. Het gas wordt gecomprimeerd en zal daarbij een hogere druk en temperatuur aannemen. De temperatuur wordt in de condensor weg gekoeld tegen bijvoorbeeld lucht. Hier door zal het gas een lagere temperatuur aannemen waardoor deze condenseert tot vloeistof. De druk zal gelijk blijven. Door deze vloeistof te laten expanderen in het expansieventiel zal de druk verlaagd worden waarbij de vloeistof zal afkoelen. Deze vloeistof zal onderkoeld naar de verdamper stromen waar weer de onderdruk heerst van de compressor. Door een warmtewisselaar in de verdamper stroomt water. De koelvloeistof heeft warmte nodig om te kunnen verdampen. Deze warmte haalt de koelvloeistof uit het water dat door de verdamper stroomt. Het water zal hierbij afgekoeld worden en kan ingezet worden voor koudelevering.



Werking van een compressiekoelmachine.

### 1.4 Uitwerking op selectiecriteria

|                        | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |
|------------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|
| Koelconcept            | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk |
| Compressiekoel-machine | 0            | 0      | 0          | 0            | 0         | 0         | 0               |

Aangezien de compressiekoelmachine als referentie is aangenomen zijn alle criteria op neutraal (0) gezet en worden de andere concepten hiermee vergeleken.

#### People:

Een compressiekoelmachine zal een extra ruimtebeslag vragen in het onderstation van de warmtelevering. Daarnaast zal de overtollige warmte die vrijkomt bij de productie van de koude weg gekoeld moeten worden met behulp van koelers op dak van het onderstation. Een compressiekoelmachine heeft een geluidsproductie van ongeveer 85 dB(A). Dit kan door het nemen van beperkte maatregelen redelijk gereduceerd worden waardoor de geluidsproductie buiten het onderstation tot het minimum gereduceerd kan worden. De koelers hebben een geluidsproductie van ongeveer 30 dB(A). Aangezien deze op het dak staan zal reductie van het geluid lastiger worden. Een maatregel hierin zou kunnen zijn om het onderstation aan de

rand van een wijk of in een parkeergarage te positioneren waarbij geen overlast van het geluid ondervonden wordt. Het gebruikte koelmiddel geeft geen veiligheidsrisico.

**Planet:**

De gebruikte energievorm is elektriciteit. De energie die opgewekt wordt is dus voor 7% duurzaam. De PER bij compressiekoelmachine is 85 M<sup>3</sup> gas en heeft een CO<sub>2</sub> uitstoot van 172 kg CO<sub>2</sub> per woning. Het gebruikte koelmiddel heeft een TEWI van 1300.

**Prosperity:**

De levensduur van een compressiekoelmachine is ongeveer 15 jaar. Gezien de lage bedrijfsuren zal dit wellicht iets hoger kunnen zijn. Voor het aan te leggen wijknet mag een levensduur aangehouden worden van 50 jaar, bij goed onderhoud kan dit langer zijn. Onderhoudskosten worden op 2% per jaar geschat. De afleverset in de woning heeft ook een afschrijving van 15 jaar. Het onderstation heeft een levensduur gelijk aan de woningen in de wijk.

**Financiële haalbaarheid:**

De kosten per woning voor dit concept zijn berekend op:

- kosten realisatie - € 3848,46
- kosten verbruik - € 30,92
- kosten vastrecht - € 192,95
- kosten per GJ - € 10,31

**Juridische haalbaarheid:**

Voor de aanleg van dit concept zijn diverse vergunningen noodzakelijk.

- Aanpassing bouwvergunning. Voor het onderstation is al een vergunning nodig maar deze zal uitgebreid moeten worden met de aanpassing voor het plaatsen van een compressiekoelmachine.
- Aanpassing milieuvergunning. Het plaatsen van een compressiekoelmachine vergt extra aandacht van de milieuvergunning. Deze zal ook aangepast moeten worden t.o.v. de milieuvergunning voor een onderstation.
- De aanleg van de leidingen vraagt een graafvergunning. Een graafvergunning zal aangevraagd moeten worden voor de aanleg van de warmteleidingen, maar deze zal uitgebreid moeten worden. Voor de aanvraag zal al duidelijk moeten zijn of tracés beschikbaar zijn om de leidingen aan te leggen.

**Technische haalbaarheid:**

De techniek van een CKM is een bewezen techniek. Hierbij worden geen problemen verwacht. Het aanleggen van leidingen verschilt niet veel met die van de aanleg van warmteleidingen en aanpassing van de binneninstallatie is een standaard installatie concept. Het is bij dit concept wel noodzakelijk om vloer of wandverwarming toe te passen.

---

Maatschappelijke haalbaarheid:

Gezien de aspecten genoemd in het people aspect is hier mogelijk tegenstand te verwachten. De aspecten geluid en ruimtebeslag zullen als onprettig ervaren worden. Een groot onderstation in de wijk met daarop grote koelers kan als horizonvervuiling gezien worden. Hier zal goed onderzoek gedaan moeten worden om te zorgen voor een onderstation dat past in de wijk, en dat de geluidsoverlast zoveel mogelijk doet beperken.

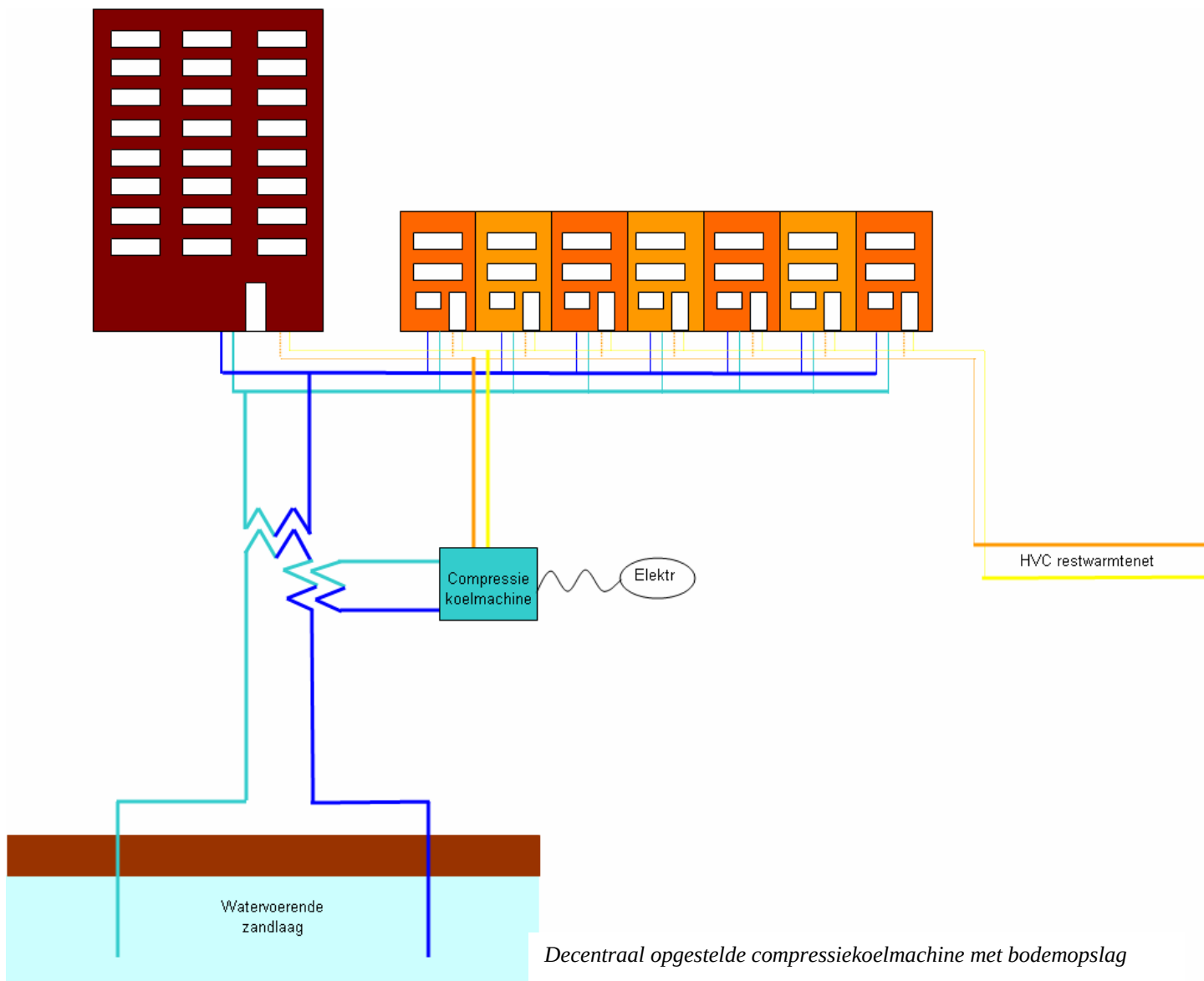
---

## Bijlage 2, Concept B

### 2.1 Concept B. Decentraal opgestelde compressiekoelmachine met bodemopslag. (warmtepomp)

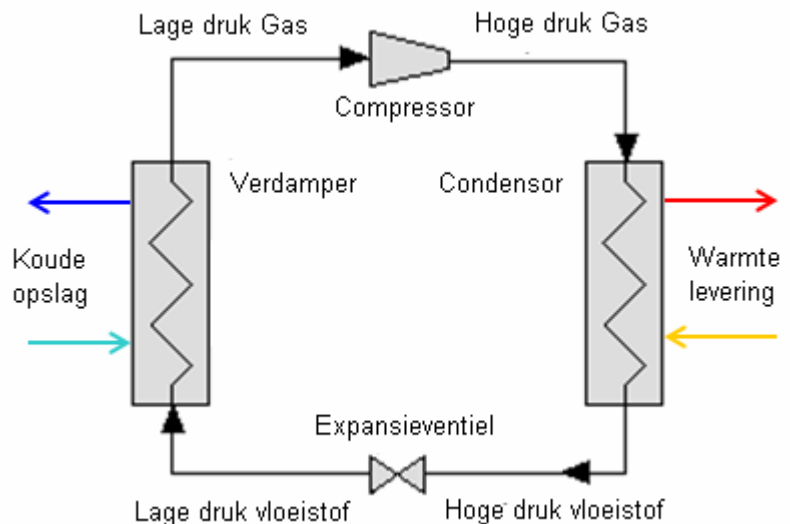
#### 2.2 Conceptbeschrijving.

Bij een decentraal opgestelde compressiekoelmachine met bodemopslag zullen naast opgestelde koelmachine ook twee bronnen worden gerealiseerd. Door gebruik te maken van twee bronnen zal koude opgeslagen kunnen worden in de bodem. De warmte die vrijkomt bij koudeproductie zal geleverd worden aan het warmtenet. Voor dit concept zal koude geproduceerd worden tijdens de warmtevraag. In de wintermaanden, als warmte gevraagd wordt, zal de compressiekoelmachine start. Dit houdt in dat de compressiekoelmachine tijdens 2200 koudste uren van het jaar zal draaien. Extra koelers zijn in dit concept niet meer noodzakelijk.



## 2.3 Werking compressiekoelmachine met bodemopslag

De werking van dit concept is nagenoeg gelijk aan die van de compressiekoelmachine zonder bodemopslag. Het enige grote verschil is dat de warmte die vrijkomt bij de productie van koeling in dit concept gebruikt wordt. De koeler die de warmte uit de condensor moest afvoeren zal nu met behulp van een warmtewisselaar overgedragen worden aan het warmtenet. Een aandachtspunt van dit concept is dat de temperatuur van de warmte die op deze manier geleverd wordt lager is dan de temperatuur in het warmtenet. Het zomaar toevoeren van de warmte in het warmtenet zal niet zonder enige technische maatregelen kunnen plaatsvinden. De technische mogelijkheden zijn om het retourwater op te warmen zodat het water in het onderstation minder opgewarmd hoeft te worden. Een andere mogelijkheid is dat er een aanpassing gerealiseerd wordt op een cluster woningen die met behulp van laagtemperatuurverwarming worden verwarmd.



Werking van een compressiekoelmachine met bodemopslag

## 2.4 Uitwerking op selectiecriteria

| Koelconcept                    | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |
|--------------------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|
|                                | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk |
| Compressiekoel-machine + bodem | 0            | +      | +          | 0            | -         | 0         | 0               |

### People:

Een compressiekoelmachine met bodemopslag zal t.o.v. het referentieconcept nog extra bronnen nodig hebben. Hiervoor zal extra ruimtebeslag van de grond vereist zijn aangezien er vanaf deze bronnen leidingen gelegd moeten worden naar het onderstation. Deze putten zullen boven de grond afgewerkt moeten worden waardoor in de wijk twee putafwerkingen te zien zijn van ongeveer één meter bij één meter die een halve meter boven de grond uitsteken. De geluidsproductie van de compressiekoelmachine zal gelijk zijn. De geluidsproductie van de koelers vervallen. Er zijn geen veiligheidsrisico's bij dit concept.

**Planet:**

De gebruikte energievorm is elektriciteit. De energie die opgewekt wordt is dus voor 7% duurzaam. De PER bij een compressiekoelmachine met bodemopslag is 152 M<sup>3</sup> gas en heeft een CO<sub>2</sub> uitstoot van 312 kg CO<sub>2</sub> per woning. Deze hoge uitkomsten ontstaan doordat er beduidend meer elektra nodig is om de geproduceerde koude op te slaan. De CO<sub>2</sub> winst die verkregen wordt bij de warmtelevering is beperkt, omdat als referentiepunt de warmtelevering vanuit de AVI gekozen is, die met 74,5% CO<sub>2</sub> reductie geproduceerd wordt. Zou de CO<sub>2</sub> reductie ten opzichte van gaslevering berekend worden dan zou de CO<sub>2</sub> uitstoot zelfs negatief kunnen worden. De CO<sub>2</sub> uitstoot die dan gereduceerd kan worden is bij gaslevering 4 keer zo hoog als bij warmtelevering. Het gebruikte koelmiddel heeft een TEWI van 1300.

**Prosperity:**

De levensduur van een compressiekoelmachine is ongeveer 15 jaar en voor de bronnen wordt 30 jaar aangehouden. Voor het aan te leggen wijknet mag een levensduur aangehouden worden van 50 jaar. Bij goed onderhoud kan dit langer zijn. Onderhoudskosten zijn op 2% per jaar geschat. De aflevering in de woning heeft ook een afschrijving van 15 jaar. Het onderstation heeft een levensduur die gelijk is aan de woningen in de wijk.

**Financiële haalbaarheid:**

De kosten per woning voor dit concept zijn berekend op:

- kosten realisatie - € 4705,46
- kosten verbruik - € 0,64
- kosten vastrecht - € 198,80
- kosten per GJ - € 0.21

Ten opzichte van het referentieconcept betekend dat een hogere investering, nagenoeg gelijke vaste kosten, maar aanzienlijke lagere verbruikerskosten. Daarom is dit concept beoordeeld met een +.

**Juridische haalbaarheid:**

Voor de aanleg van dit concept zijn diverse vergunningen noodzakelijk.

- Aanpassing bouwvergunning. Voor een onderstation is al een vergunning nodig maar die zal uitgebreid moeten worden met de aanpassing voor het plaatsen van een compressiekoelmachine.
  - Aanpassing milieuvergunning. Het plaatsen van een compressiekoelmachine vergt extra aandacht van de milieuvergunning. Deze zal ook aangepast moeten worden t.o.v. de standaard milieuvergunning voor een onderstation.
  - De aanleg van de leidingen vraagt een graafvergunning. Een graafvergunning zal aangevraagd moeten worden voor de aanleg van de warmteleidingen, maar deze zal uitgebreid moeten worden. Voor de aanvraag zal al duidelijk moeten zijn of tracés beschikbaar zijn om de leidingen aan te leggen.
  - Vergunning voor het realiseren en exploiteren van de bronnen. Ook als de bron in bedrijf is zullen periodiek, met behulp van rapportages, gegevens over energieuitswisseling overlegd moeten worden met de vergunningverlenende instantie.
-

**Technische haalbaarheid:**

Voor de werking van de CKM worden geen problemen verwacht, zie technische haalbaarheid van concept 1. De bronnen zijn technisch al vaker uitgevoerd en zullen in principe ook geen problemen geven. De bronnen vormen wel een potentieel risico. Dit is verwerkt in hoofdstuk 7 Gevoeligheids analyse.

**Maatschappelijke haalbaarheid:**

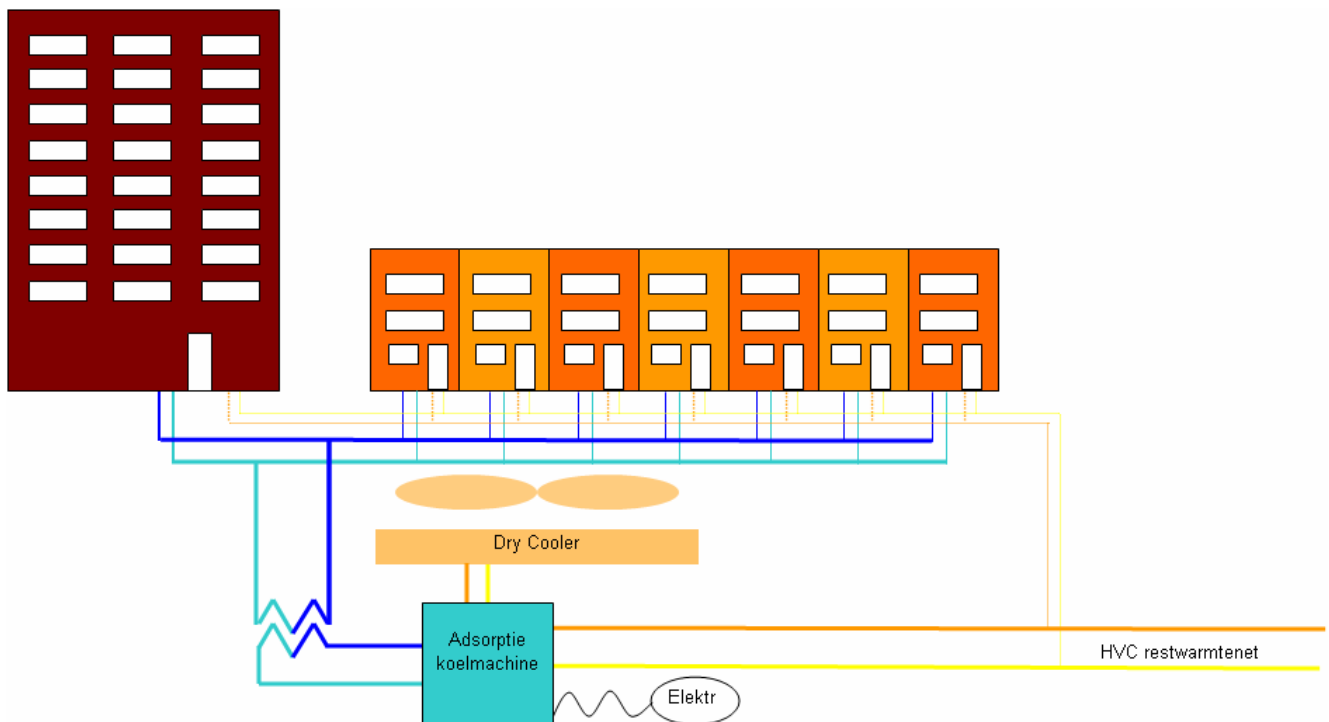
Aangezien de bronnen boven de grond afgewerkt zijn, kunnen zij als extra ongewenst obstakel in de wijk gezien worden. Daarentegen zal de geluidsoverlast beperkt worden aangezien de koelers niet meer nodig zijn. Deze aspecten kunnen tegen elkaar weggestreept worden. Hierdoor wordt dit aspect als gelijkwaardig beoordeeld ten opzichte van de CKM met koelers.

## Bijlage 3, Concept C

### 3.1 Concept C. Decentraal opgestelde absorptiekoelmachine.

#### 3.2 Conceptbeschrijving.

Bij dit concept zal, net als bij het referentieconcept, centraal in de wijk een absorptiekoelmachine opgesteld worden. Deze wordt in het onderstation geplaatst waar ook de warmteoverdracht plaatsvindt. Met behulp van geïsoleerde leidingen zal de koude gedistribueerd worden naar de woningen. Dit houdt in dat elke woning voorzien moet worden van 2 warmte en 2 koude leidingen. Dit vergt enige aandacht tijdens de ontwerpfase voor de wijkontwikkeling. Bij dit concept zal de vrijkomende warmte uit de absorptiekoelmachine gekoeld worden naar de buitenlucht. Hiervoor zijn koelers noodzakelijk die op het dak van het onderstation geplaatst zullen worden.



*Decentraal opgestelde absorptiekoelmachine.*

#### 3.3 Werking absorptiekoelmachine

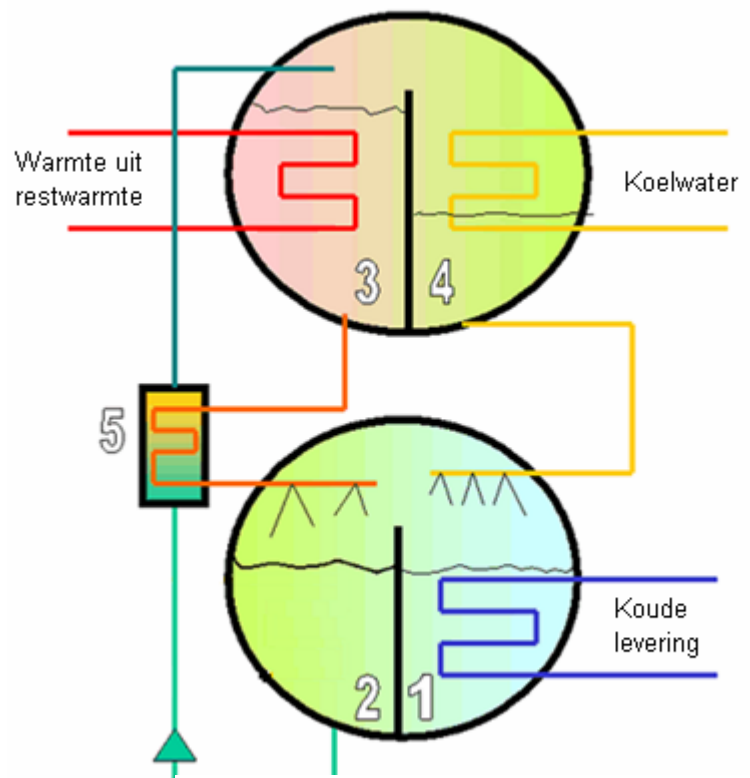
Een absorptiekoelmachine werkt in de basis hetzelfde als een compressiekoelmachine, waarbij het koudemiddel bij hoge druk en temperatuur condenseert en bij lage druk en temperatuur weer verdampt.

Bij absorptiekoeling wordt echter geen gebruik gemaakt van een compressor. De werking is als volgt.



In compartiment 2 zit een vloeistof met een zoutoplossing (lithium bromide). Deze zoutoplossing is hygroscopisch waardoor het water wat in compartiment 1 zit wordt aangetrokken. Hierdoor wordt een onderdruk gecreëerd in compartiment 1 en zal het water gaan verdampen. Bij deze verdamping zal warmte aan de omgeving onttrokken worden. Door de warmtewisselaar, waar water doorheen stroomt, zal warmte onttrokken worden. Dit water zal afkoelen en is daarbij gelijk het product van de absorptiemachine. Dit water wordt gebruikt voor koeling.

Het vocht dat door de zoutoplossing in compartiment 2 wordt aangetrokken zal verzadigd raken met water en moet worden geregenereerd. Dit gebeurt door het mengsel naar compartiment 3 te transporteren en daar met heet water via een warmtewisselaar in contact te brengen. Het water zal uit de zoutoplossing verdampen en weer teruggevoerd worden naar compartiment 2. Het verdampte water zal als damp naar compartiment 4 over gaan. Daar vindt koeling plaats doormiddel van koelwater. De waterdamp zal condenseren en weer terugstromen naar compartiment 1, waarna het proces weer van voor af aan begint. Het koelwater van compartiment 4 zal gekoeld moeten worden met behulp van externe koelers. Het warme water dat in compartiment 3 wordt toegevoerd om de zoutoplossing te regenereren wordt uit het HVC restwarmte net gehaald worden.



Werking van een absorptiekoelmachine

### 3.4 Uitwerking op selectiecriteria

| Koelconcept          | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |
|----------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|
|                      | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk |
| Absorptiekoelmachine | 0            | ++     | 0          | +            | 0         | 0         | 0               |

#### People:

Een absorptiekoelmachine zal ook extra ruimtebeslag vragen in het onderstation waar ook de warmtelevering plaatsvindt. De overtollige warmte die vrijkomt bij de productie van de koude zal weg gekoeld moeten worden met behulp van koelers op dak van het onderstation. De geluidsproductie van een absorptiekoelmachine is minimaal. Hiervoor zullen in het onderstation geen extra maatregelen genomen hoeven te worden. De benodigde koelers komen buiten te staan en hebben een geluidsproductie van ongeveer 30 dB(A). Aangezien deze op het dak geplaatst zullen moeten gaan worden zal reductie van het geluid extra aandacht vragen. Ook hier kan, net als bij het referentieconcept, het onderstation aan de rand

van een wijk of in een parkeergarage gerealiseerd worden om de geluidsoverlast zoveel mogelijk te beperken. De gebruikte zoutoplossing geeft geen veiligheid.

#### Planet:

De gebruikte energievormen in dit concept zijn elektriciteit en restwarmte. De elektriciteit die gebruikt wordt is voor 7% duurzaam en de restwarmte is voor 75% duurzaam. De PER bij absorptiekoelmachine is 47 M<sup>3</sup> gas en heeft een CO<sub>2</sub> uitstoot van 88 kg CO<sub>2</sub> per woning. Het absorptiemiddel lithiumbromide, dat het meest gebruikt wordt in absorptiekoelmachines is een milieuvriendelijk koelmiddel.

#### Prosperity:

De levensduur van een absorptiekoelmachine is gemiddeld hoger dan het referentieconcept . Er wordt gerekend met 20 jaar, maar aangezien er weinig bewegende delen in de machine zitten kan de levensduur bij goed onderhoud nog wel langer zijn. Voor de levensduur van het wijknet en afleverset nemen we dezelfde aannames als bij het referentieconcept

#### Financiële haalbaarheid

De kosten per woning voor dit concept zijn berekend op

- kosten realisatie - € 4010,79
- kosten verbruik - € 23,33
- kosten vastrecht - € 178,60
- kosten per GJ - € 7,78

Ten opzichte van het referentieconcept houdt dit een iets hogere investering in. De kosten voor verbruik liggen lager, en ook de vaste kosten zijn iets lager. Daarom is dit concept beoordeeld met een +.

#### Juridische haalbaarheid

Voor de aanleg van dit concept zijn diverse vergunning noodzakelijk.

- Aanpassing bouwvergunning. Voor het onderstation is al een vergunning nodig maar deze zal uitgebreid moeten worden met de aanpassing voor het plaatsen van een absorptiekoelmachine.
- Aanpassing milieuvergunning. Het plaatsen van een absorptiekoelmachine vergt extra aandacht van de milieuvergunning. Deze zal ook aangepast moeten worden t.o.v. de standaard milieuvergunning voor een onderstation.
- De aanleg van de leidingen vraagt een graafvergunning. Een graafvergunning zal aangevraagd moeten worden voor de aanleg van de warmteleidingen, maar deze zal uitgebreid moeten worden. Voor de aanvraag zal al duidelijk moeten zijn of er tracés beschikbaar zijn om de leidingen aan te leggen.

#### Technische haalbaarheid

Absorptiekoelmachines voor gebruik van koeling van utiliteitsbouw is een al vaker toegepast concept. De werking is een bewezen techniek. Het aanleggen van leidingen verschilt niet veel met die van de aanleg van warmteleidingen en aanpassing van de binneninstallatie is een standaard concept. Het is bij dit concept wel noodzakelijk om vloer of wandverwarming toe te passen.

---

Maatschappelijke haalbaarheid

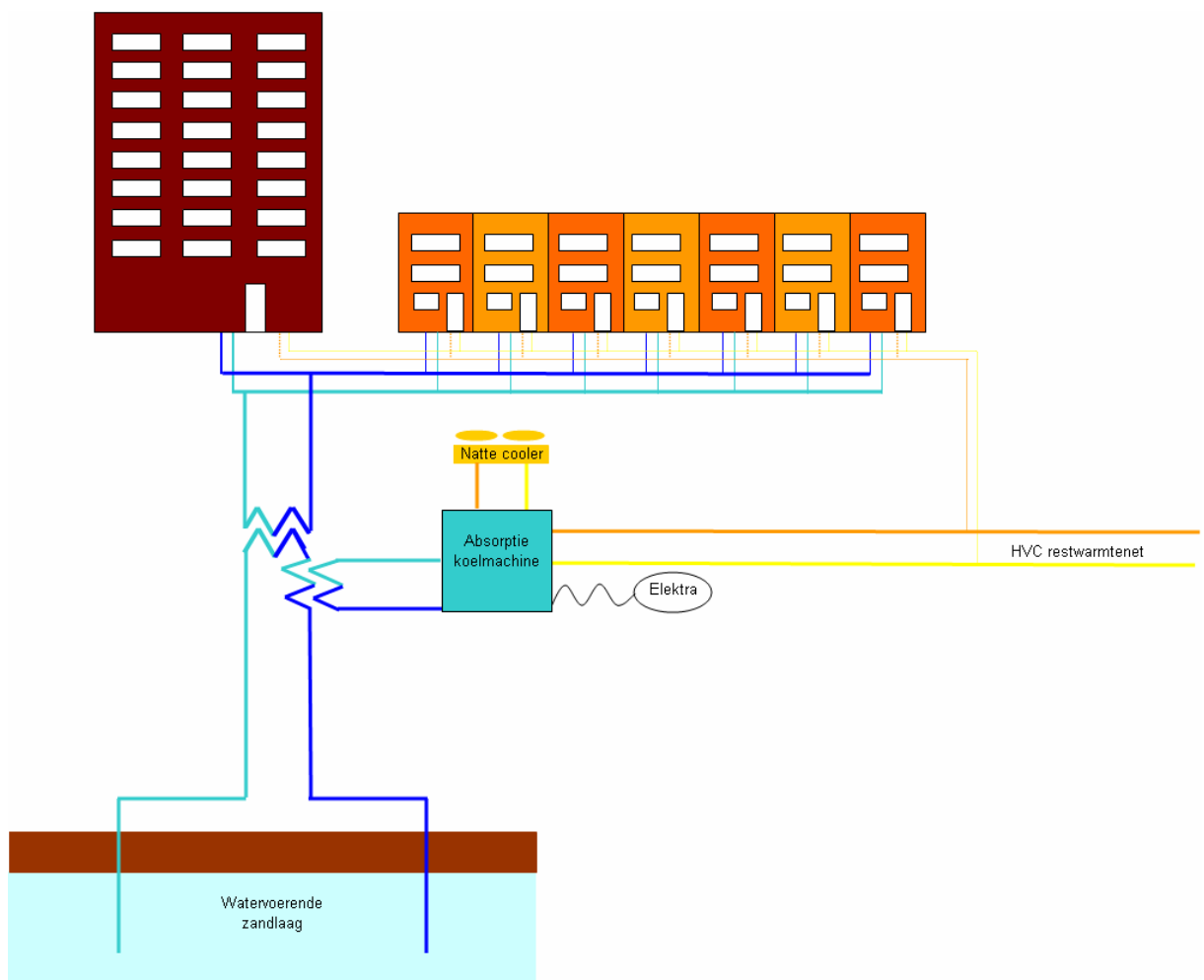
Hiervoor geldt hetzelfde als bij het referentieconcept. Er zal weerstand te verwachten zijn i.v.m. mogelijke geluidsoverlast van de koelers en het ruimtebeslag in een wijk met de daarbij behorende horizonvervuiling.

## Bijlage 4, Concept D

### 4.1. Concept D. Decentraal opgestelde absorptiekoelmachine met bodemopslag

#### 4.2 Conceptbeschrijving.

Een decentraal opgestelde absorptiekoelmachine met bodemopslag zal naast het concept van decentraal opgestelde absorptiekoelmachine over twee bronnen moeten beschikken. Door gebruik te maken van twee bronnen zal koude opgeslagen kunnen worden in de bodem. De warmte die vrijkomt bij koudeproductie is te laag van temperatuur om te kunnen gebruiken in het warmtenet. Het voordeel van dit concept is dat met een kleinere adsorptiemachine de koude gemaakt kan worden. Het warmtenet is in de wintermaanden hoger van temperatuur waardoor de absorptiekoelmachine betere rendementen haalt. Voor dit concept zal koude geproduceerd worden tijdens de wintermaanden. Extra koelers die tegen de lucht weg kunnen koelen zijn in dit concept een stuk kleiner dan die bij de absorptiemachine zonder bodemopslag.



*Decentraal opgestelde absorptiekoelmachine met bodemopslag*

---

Bij dit concept is, net als bij het referentieconcept, centraal in de wijk een koelmachine opgesteld worden. Deze wordt in het onderstation geplaatst waar ook de warmteoverdracht plaatsvindt. Met behulp van geïsoleerde leidingen zal de koude gedistribueerd worden naar de woningen. Dit houdt in dat elke woning voorzien worden van 2 warmte en 2 koude leidingen. Dit vereist enige aandacht tijdens de ontwerpfase voor de wijkontwikkeling. Bij dit concept wordt de vrijkomende warmte uit de absorptiekoelmachine weg gekoeld naar de buitenlucht. Hiervoor zijn koelers noodzakelijk die op dak van het onderstation geplaatst worden.

#### 4.3 Werking absorptiekoelmachine

De werking van de absorptiekoelmachine met bodemopslag is gelijk aan die van de absorptiekoelmachine zonder bodemopslag. Het voordeel van dit concept is dat de koude geleverd wordt op het moment dat het primaire warmtenet een hoge temperatuur heeft, waardoor betere rendementen te behalen zijn.

Een ander voordeel is dat bij een kleinere machine ook een kleinere elektra-aansluiting nodig is. Hierdoor zijn de kosten voor de elektra aansluiting lager. Bij een piekbelasting van het warmtenet, in de ochtend en aan het einde van de middag, zal de absorptiemachine uitschakelen zodat alle warmte tbv ruimteverwarming en warm tapwater gebruikt kan worden.

#### 4.4 Uitwerking op selectiecriteria

|                               | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |
|-------------------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|
| Koelconcept                   | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk |
| Absorptiekoel machine + bodem | 0            | +      | +          | -            | -         | 0         | 0               |

##### People:

Een absorptiekoelmachine zal extra ruimtebeslag vragen in het onderstation waar ook de warmtelevering plaatsvindt. De overtollige warmte die vrijkomt bij de productie van de koude zal weggekoeld moeten worden met behulp van koelers op dak van het onderstation. De geluidsproductie van een absorptiekoelmachine is minimaal en hiervoor zullen dus in het onderstation geen extra maatregelen genomen hoeven te worden. De benodigde koelers zullen buiten komen te staan en hebben een geluidsproductie van ongeveer 30 dB(A). Deze koelers zijn kleiner dan de koelers van de absorptiemachine van concept C, waardoor de geluidsproductie ook kleiner zal zijn. Aangezien deze op het dak geplaatst moeten worden zal reductie van het geluid een aandachtspunt zijn. Ook hier kan, net als bij het referentieconcept, het onderstation aan de rand van een wijk of in een parkeergarage gerealiseerd kunnen worden om de geluidsoverlast zoveel mogelijk te beperken. De gebruikte zoutoplossing geeft geen veiligheidsrisico.

##### Planet:

De gebruikte energievormen in dit concept zijn elektriciteit en restwarmte. De elektriciteit die gebruikt wordt is voor 7% duurzaam en de restwarmte is voor 75% duurzaam. De PER bij absorptiekoelmachine is 47 M<sup>3</sup> gas en heeft een CO<sub>2</sub> uitstoot van 110 kg CO<sub>2</sub> per woning. Het absorptiemiddel lithiumbromide, dat als meest gebruikt wordt in absorptiekoelmachines, is een milieuvriendelijk koelmiddel.

---

#### Prosperity:

De levensduur van een absorptiekoelmachine is gemiddeld hoger dan het referentieconcept . Er wordt gerekend met 20 jaar, maar aangezien er weinig bewegende delen in de machine zitten kan de levensduur bij goed onderhoud nog wel langer zijn. Voor de levensduur van het wijknet en afleverset nemen we dezelfde aannames als bij het referentieconcept

#### Financiële haalbaarheid

De kosten per woning voor dit concept zijn berekend op

- kosten realisatie - € 4809,35
- kosten verbruik - € 60,81
- kosten vastrecht - € 187,24
- kosten per GJ - € 20,27

Ten opzichte van het referentieconcept houdt dit een hogere investering in. De kosten voor verbruik liggen hoger, en de vaste kosten zijn iets lager. Daarom is dit concept beoordeeld met een -.

#### Juridische haalbaarheid

Voor de aanleg van dit concept zijn diverse vergunningen noodzakelijk.

- Aanpassing bouwvergunning. Voor onderstation is al een vergunning nodig maar deze zal uitgebreid moeten worden met de aanpassing voor het plaatsen van een absorptiekoelmachine.
- Aanpassing milieuvergunning. Het plaatsen van een compressiekoelmachine vereist extra aandacht van de milieuvergunning. Deze zal ook aangepast moeten worden t.o.v. de standaard milieuvergunning voor een onderstation.
- De aanleg van de leidingen vraagt een graafvergunning. Een graafvergunning zal aangevraagd moeten worden voor de aanleg van de warmteleidingen, maar deze zal uitgebreid moeten worden. Voor de aanvraag zal al duidelijk moeten zijn of tracés beschikbaar zijn om de leidingen aan te leggen.
- Vergunning voor het realiseren en exploiteren van de bronnen. Ook als de bron in bedrijf is zullen periodiek, met behulp van rapportages, gegevens over energie uitwisseling overlegd moeten worden met de vergunningverlenende instantie.

#### Technische haalbaarheid

Absorptiekoelmachines voor gebruik van koeling van utiliteitsbouw is een al vaker toegepast concept. De werking is een bewezen techniek. Het aanleggen van leidingen verschilt niet veel met die van de aanleg van warmteleidingen en de aanpassing van de binneninstallatie is een standaard concept. De bronnen zijn technisch al vaker uitgevoerd en zullen in principe ook geen problemen geven. De bronnen vormen wel een potentieel risico, dit is verwerkt in hoofdstuk 7 Gevoeligheidsanalyse.

#### Maatschappelijke haalbaarheid

Hiervoor geldt hetzelfde als bij het referentieconcept. Er zal weerstand te verwachten zijn i.v.m. mogelijke geluidsoverlast van de koelers en het ruimtebeslag in een wijk met de daarbij behorende horizonvervuiling.

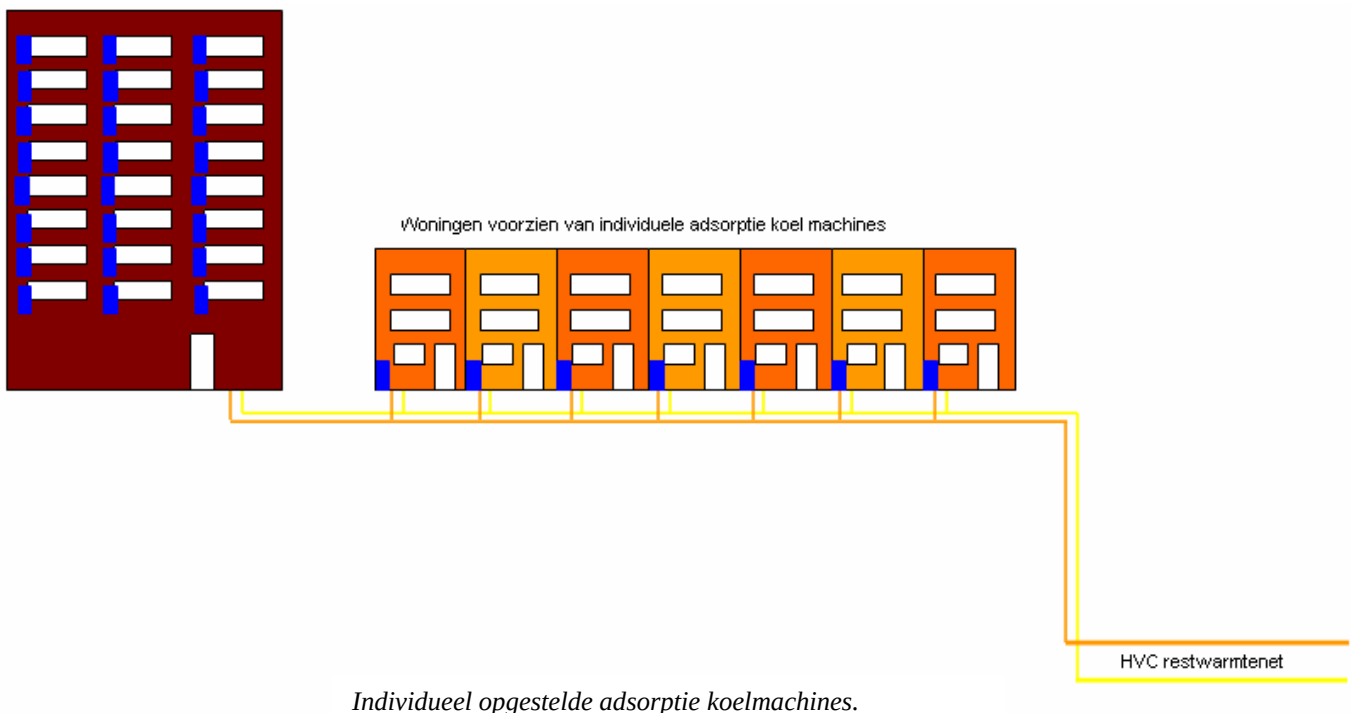
---



## Bijlage 5, Concept E

### 5.1. Concept E. Individuele adsorptie koelmachines per woning

Bij dit concept zullen in elke woning individuele adsorptie koelmachine geplaatst worden. Dit houdt in dat er in de woning een ruimte gezocht moet worden om de machine te plaatsen. De afmetingen van de machine zijn 60 bij 60 bij 100 cm. Dit is te vergelijken met een grote koelkast. Deze unit zal aangesloten worden op de restwarmteaansluiting, waarbij de unit deze warmte energie zal omzetten in koude energie. Er zal aan de gevel een koelunit geplaatst moeten worden om de overtollige warmte af te kunnen voeren.



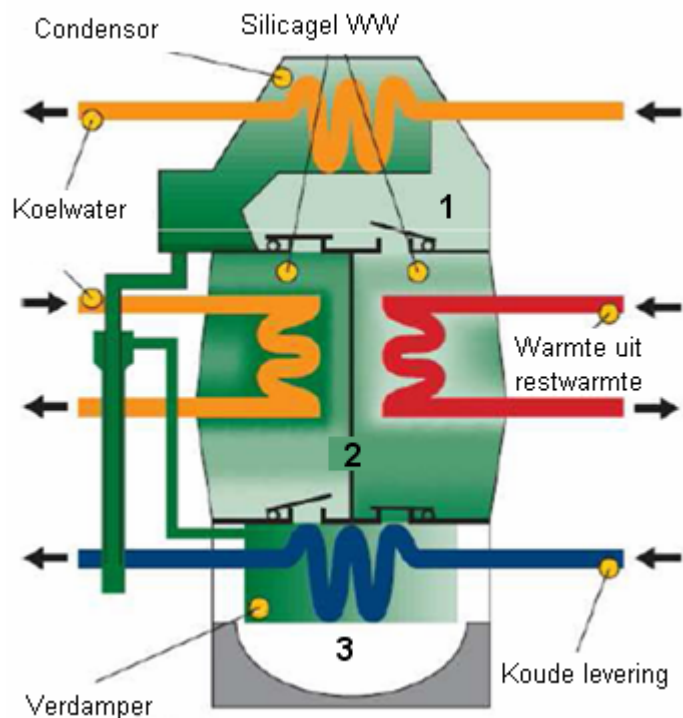
### 5.2 Werking adsorptiekoelmachine

Ook bij adsorptiekoeling wordt gebruik gemaakt van een cyclus waarbij het koudemiddel bij hoge druk en temperatuur condenseert en bij lage druk en temperatuur weer verdampt. Bij adsorptie wordt gebruikt gemaakt van de bindingskrachten tussen silicagel en water. Silicagel is een poreuze, glasachtige vaste stof met een sterke aantrekkingskracht voor waterdamp. Het verdampen van het koudemiddel water wordt bereikt door de sterke aantrekkingskracht van droge silicagel, dat in verbinding staat met de verdamper. Als de silicagel verzadigd is met waterdamp zal deze geregenereerd moeten worden. Dit gebeurt batchgewijs. In compartiment 2 zit de silicagel. Dit compartiment bestaat uit twee kamers waarvan er altijd 1 in bedrijf staat en de ander wordt geregenereerd. Als de silicagel geregenereerd is, gaat de klep tussen compartiment 2 en 3 open. De silicagel zorgt voor een onderdruk in compartiment 3, omdat de waterdamp wordt aangetrokken door de silicagel. Het water in compartiment wil hierdoor verdampen en haalt de daarvoor benodigde warmte uit het water wat als koudelevering gebruikt wordt. Dit water koelt dus af en is geschikt om de

---



woning te koelen. Na ongeveer 6 minuten is de silicagel verzadigd en zal er omgeschakeld worden naar de tweede kamer van compartiment 2, die net geregenereerd is. In de eerste kamer zal de klep tussen compartimenten 2 en 3 sluiten en de klep tussen compartimenten 1 en 2 gaat open. Er zal heet water indirect in aanraking komen met het silicagel waardoor het opgenomen vocht zal uitdampen. Hiervoor wordt de restwarmte gebruikt. Het vocht zal in compartiment 1, de condensor terecht komen, waar het met behulp van koelwater gecondenseerd wordt en weer worden afgevoerd naar compartiment 3 voor hergebruik. Na het uitdampen wordt de kamer nog gekoeld met koelwater waarna er weer omgeschakeld kan worden van kamers. Het koelwater wordt tegen de lucht gekoeld met een koelunit tegen de buitenlucht.



Werking van een adsorptiekoelmachine

### 5.3 Uitwerking op selectiecriteria

|             | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |
|-------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|
| Koelconcept | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk |
| Individuele |              |        |            |              |           |           |                 |
| Adsorptie   | -            | ++     | 0          | 0            | 0         | +         | +               |

#### People:

Een adsorptiekoelmachine zal ook extra ruimtebeslag vragen in de woning. Er zal tevens aan de gevel van de woning een koelunit geplaatst moeten worden om de overtollige warmte af te kunnen voeren. De geluidsproductie van een adsorptiekoelmachine is minimaal. Hiervoor zullen in de woningen geen extra aanpassingen hoeven worden uitgevoerd. De koelunit aan de gevel zal een geluidvermogen produceren van ongeveer 63 dB(A). Er zal goed onderzocht moeten worden waar de buitenunit geplaatst wordt om zo min mogelijk overlast te veroorzaken. De silicagel geeft geen veiligheidsrisico binnen de woning. Bij dit concept zullen dus extra aanpassingen in de woning gedaan moeten worden in vergelijking met de aanpassingen die in de wijk gedaan moeten worden bij het referentieconcept.

#### Planet:

De gebruikte energievormen in dit concept zijn elektriciteit en restwarmte. De elektriciteit die gebruikt wordt is voor 7% duurzaam, de restwarmte voor 75% duurzaam. De PER bij de adsorptiekoelmachine is 47 M<sup>3</sup> gas en heeft een CO<sub>2</sub> uitstoot van 95 kg CO<sub>2</sub> per woning. De adsorptiestof is silicagel, Dit levert geen belasting voor het milieu op.

#### Prosperity:

De levensduur van een adsorptiekoelmachine is gemiddeld hoger dan het referentieconcept . Er wordt gerekend met 20 jaar, maar aangezien er weinig bewegende delen in de machine zitten kan de levensduur bij goed onderhoud nog wel langer zijn.

#### Financiële haalbaarheid

De kosten per woning voor dit concept zijn berekend op

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| - kosten realisatie - | € 3250,00 |
| - kosten verbruik -   | € 32,09   |
| - kosten vast -       | € 266,67  |
| - kosten per GJ -     | € 10,70   |

Ten opzichte van het referentieconcept zorgt dit voor minder investeringskosten, nagenoeg gelijke kosten voor verbruik, maar hogere vaste kosten. Als gevolg hiervan is dit concept gelijkwaardig beoordeeld.

#### Juridische haalbaarheid

Koelunits aan gevels worden niet apart genoemd in het Bblb (Besluit bouw vergunningsvrije en licht-bouwvergunningsplichtige bouwwerken). Deze units zijn dus in principe vergunningsplichtig. De gemeente kan beslissen dat de verandering van “niet ingrijpende aard” is, waardoor een lichte bouwvergunning of zelfs helemaal geen vergunning noodzakelijk is. Gezien de aanpassingen in het straatbeeld vanwege de buitenunits kan een welstandcommissie bezwaar maken tegen plaatsing van deze units. Hierbij kunnen afmetingen van koelunits maatgevend worden. Gezien het wegvallen van vergunningen ten opzichte van het referentieconcept, en het vraagstuk over de bouwvergunning is dit aspect gelijkwaardig beoordeeld aan het referentieconcept .

#### Technische haalbaarheid

Adsorptiekoelmachines voor het gebruik van koeling van woningen wordt nog niet commercieel toegepast, Momenteel zijn er testen in onder andere de testhuizen van ECN in Petten. Deze testen zijn positief waardoor de werking als een bewezen techniek gezien kan worden. Het is bij dit concept wel noodzakelijk om vloer of wandverwarming toe te passen. Aangezien er geen wijknet aangelegd hoeft te worden zijn er minder technische obstakels. Dit is een voordeel ten opzichte van het referentieconcept. Wel is een aandachtspunt dat de warmtelevering voor dit concept een lagere GJ prijs van de warmte moet krijgen dan de warmtelevering voor verwarming en tapwater. Er zal dus een extra meter geplaatst worden in de woning waar apart op afgerekend wordt.

#### Maatschappelijke haalbaarheid

Gezien de aspecten genoemd in het people criteria is hier mogelijk tegenstand te verwachten zijn. Het straatbeeld wordt door de buitenunit negatief beïnvloed. De geluidproductie hiervan

---

zal als onprettig ervaren worden. De eigenaar zal meer geluidsoverlast kunnen verdragen dan een buurtgenoot die de geluidsoverlast van de installatie van zijn buurman ondervindt. Er zal goed gekeken moeten worden hoe en waar de buitenunits geplaatst worden om beeldbepaling van de wijk en geluidsoverlast van omwonende zoveel mogelijk te beperken. Daarentegen vallen de aspecten genoemd bij het referentieconcept weg waardoor dit concept hierop gelijkwaardig beoordeeld is.

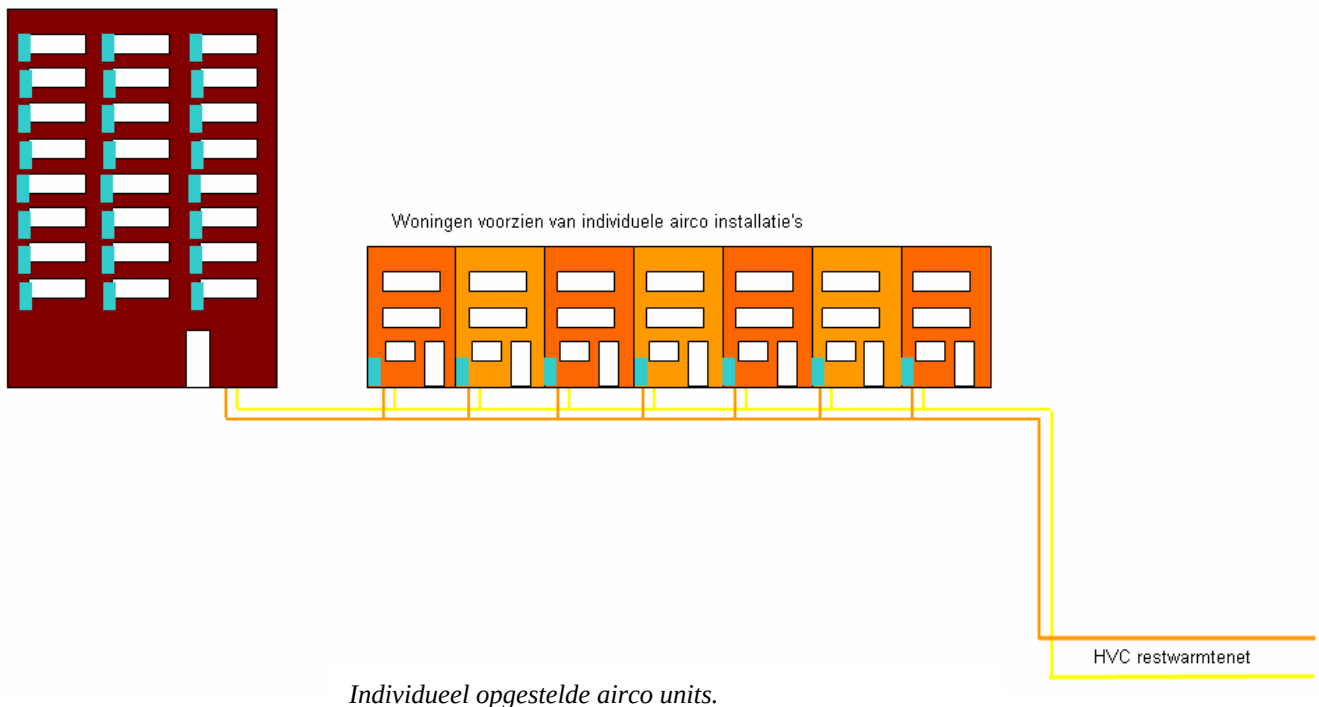
---

## Bijlage 6, Concept F

### 6.1 Concept F. Individuele compressie koelmachines per woning (airco)

#### 6.2 Conceptbeschrijving.

Bij dit concept zullen in elke woning individuele multisplit aircounits geplaatst worden. Dit houdt in dat er in de woonkamer en in de slaapkamer een koelunit geplaatst wordt. Daarnaast komt er een externe unit die zorgt voor afvoer van de overtollige warmte. Deze externe unit zal aan de gevel van de woning geplaatst worden. Deze koeler heeft de afmetingen van ongeveer 30 bij 30 centimeter. Er zullen koelleidingen aangelegd moeten worden in de woningen om het koelmiddel te kunnen laten circuleren van de binnenunits naar de buitenunit.



#### 6.3 Werking airco unit

Een airco werkt hetzelfde als een compressiekoelmachine. Ook een airco bestaat uit een compressor, verdamper en een condensor. Dit werkt volgens het principe dat bij verdampen van vloeistof warmte toegevoerd moet worden. Deze warmte wordt onttrokken uit het koelmiddel. Dit koudemiddel transporteert de koeling naar de afgifte-units die de koeling in de te koelen ruimte blazen.

---

## 6.4 Uitwerking op selectiecriteria

|             | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |
|-------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|
| Koelconcept | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk |
| Airco unit  |              |        |            |              |           |           |                 |
| Multi split | --           | 0      | 0          | -            | 0         | ++        | +               |

### People:

Een airco in de woning zal in de woning extra ruimtebeslag vereisen. Er zal tevens aan de gevel van de woning een koelunit geplaatst moeten worden om de overtollige warmte af te kunnen voeren. De onderstations waar de warmteoverdracht plaatsvindt vragen geen extra aanpassingen, omdat er voor koudevraag geen extra aanpassingen gedaan hoeven te worden. Ten opzichte van het referentieconcept betekent dit, dat er een kleinere ruimte nodig is voor het onderstation. Een airco produceert op de afgifte-units een geluidsvermogen van ongeveer 45 dB(A). De koelunit aan de gevel zal een geluidproductie van ongeveer 63 dB(A) geven. Dit kan geluidsoverlast veroorzaken. Er zal goed gekeken moeten worden waar de buitenunit geplaatst wordt om zo min mogelijk overlast te veroorzaken. Ook voor de binnenunits zal geluidshinder een obstakel kunnen veroorzaken. Er zijn geen veiligheidsrisico's bij dit concept.

### Planet:

De gebruikte energievorm is elektriciteit. De energie die opgewekt wordt is dus voor 7% duurzaam. De PER bij een airco is 93 M<sup>3</sup> gas en heeft een CO<sub>2</sub> uitstoot van 186 kg CO<sub>2</sub> per woning. Het gebruikte koelmiddel heeft een TEWI van 1300.

### Prosperity:

De levensduur van een airco is ongeveer 15 jaar. Dit is gelijk aan het referentieconcept, en wordt ook als zodanig beoordeeld.

### Financiële haalbaarheid:

De kosten per woning voor dit concept zijn berekend op:

- kosten realisatie - € 3500,00
- kosten verbruik - € 68,69
- kosten vast - € 338,33
- kosten per GJ - € 22,90

Ten opzichte van het referentieconcept zijn er minder investeringskosten. De kosten voor verbruik zijn aanzienlijk hoger, zo ook de vaste kosten. Hierom is dit concept beoordeeld met een -.

### Juridische haalbaarheid:

Koelunits aan gevels worden niet apart genoemd in het Bblb (Besluit bouw vergunningsvrije en licht-bouwvergunningsplichtige bouwwerken). Deze units zijn dus in principe vergunningsplichtig. De gemeente kan beslissen dat de verandering van "niet ingrijpende aard" is, waardoor een lichte bouwvergunning of zelfs helemaal geen vergunning noodzakelijk is. Gezien de aanpassingen in het straatbeeld vanwege de buitenunits kan een welstandcommissie bezwaar maken tegen plaatsing van deze units. Hierbij kunnen afmetingen van koelunits maatgevend worden. Gezien het wegvallen van vergunningen ten

opzichte van het referentieconcept, en het vraagstuk over de bouwvergunning is dit aspect gelijkwaardig beoordeeld aan het referentieconcept .

**Technische haalbaarheid:**

Airco's worden wereldwijd op grote schaal toegepast. Hierbij heeft de werking van het apparaat zich volledig bewezen. Aangezien er geen wijknet aangelegd hoeft te worden zijn er minder technische obstakels. Dit is een voordeel ten opzichte van het referentieconcept.

**Maatschappelijke haalbaarheid:**

Gezien de aspecten genoemd in het people criteria is hier mogelijk tegenstand te verwachten zijn. Het straatbeeld wordt door de buitenunit negatief beïnvloed. De geluidproductie hiervan zal als onprettig ervaren worden. De eigenaar zal meer geluidsoverlast kunnen verdragen dan een buurtgenoot die de geluidsoverlast van de installatie van zijn buurman ondervindt. Er zal goed gekeken moeten worden hoe en waar de buitenunits geplaatst worden om beeldbepaling van de wijk en geluidsoverlast van omwonende zoveel mogelijk te beperken. Daarentegen vallen de aspecten genoemd bij het referentieconcept weg waardoor dit concept hierop gelijkwaardig beoordeeld is.



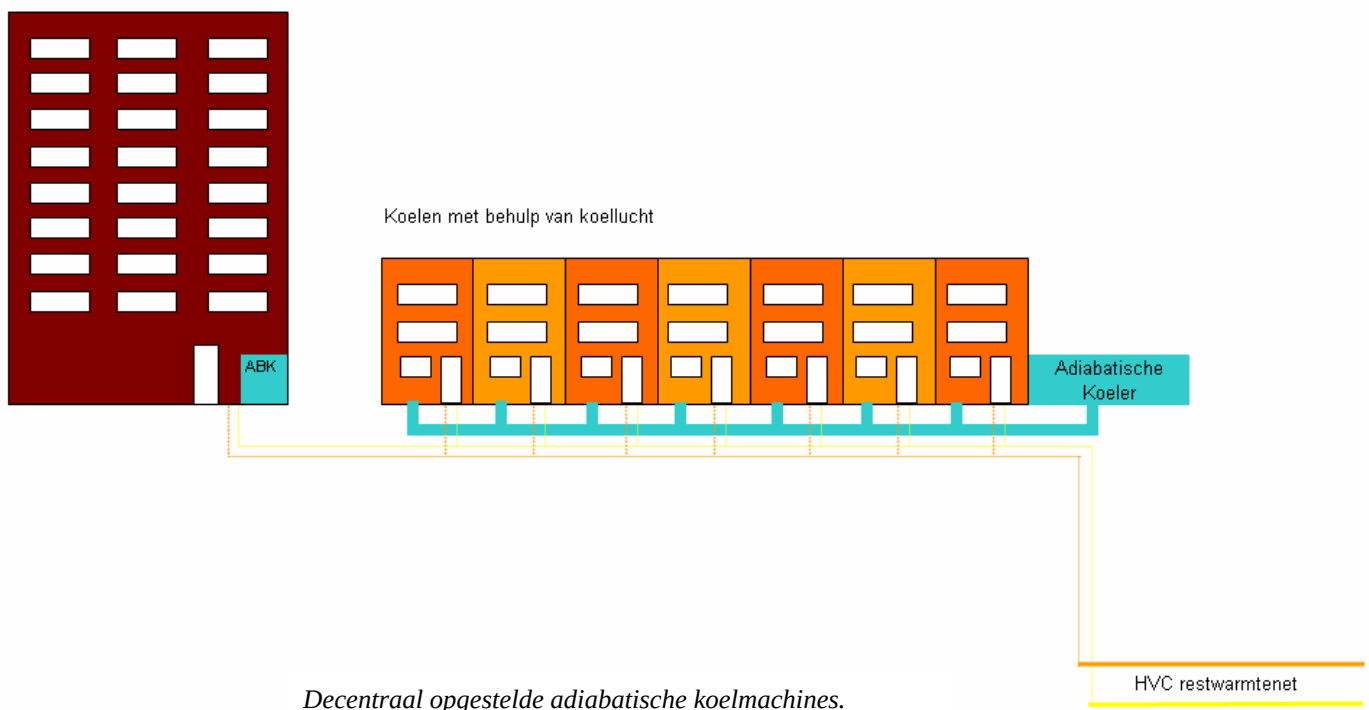
## Bijlage 7, Concept G

### 7.1 Concept H. Decentraal opgestelde adiabatische koelmachine

#### 7.2 Conceptbeschrijving.

Bij dit concept zal aan elk woningblok een technische ruimte beschikbaar moeten komen waarin een adiabatische koelmachine opgesteld kan worden. Hier vandaan zal met koelluchtleidingen de woning voorzien worden van koele lucht. Er zullen koelluchtleidingen onder de woningblokken aangelegd moeten worden. Dit verg extra aandacht in de ontwerpfase van de woningen.

In de technische ruimte zal een wateraansluiting moeten zijn aangezien de koude geleverd wordt met behulp van waterverdamping. Ook zal er een afvoer geplaatst moeten worden waar de vochtige lucht naar buiten geblazen kan worden.



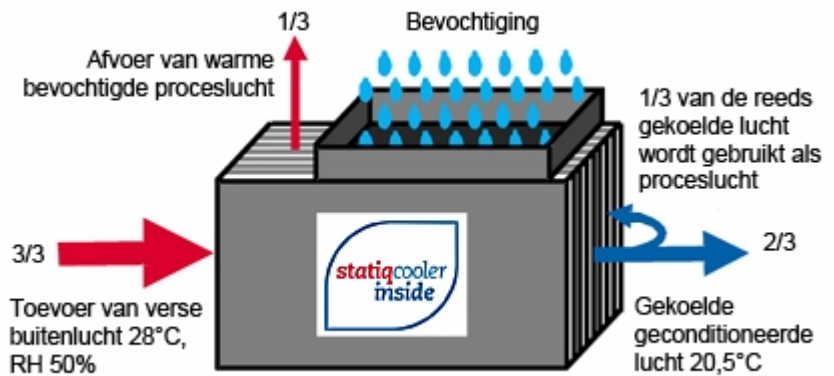
### 7.3 Werking absorptiekoelmachine

Bij adiabatische koeling wordt lucht gekoeld door deze te bevochtigen. Door dat het vocht opgenomen wordt in de lucht zal deze verdampen en de daarvoor benodigde warmte uit de lucht halen. De lucht zal afkoelen en is daarbij geschikt als koellucht. De dikke rode pijl is de lucht die aangezogen wordt en door de platenwisselaar van de koelunit geblazen wordt. De lucht koelt hier tegen de platenwisselaar af en kan voor 2/3 gebruikt worden voor koeling. De 1/3 proceslucht die overblijft wordt bevochtigd waarbij de koeling plaatsvindt op basis van verdamping van het water. Deze heeft een zeer hoge luchtvochtigheid. Deze lucht wordt door

---



de platenwisselaar gevoerd, en koelt daarbij de 3/3 binnenkomende lucht af. De proceslucht wordt afgevoerd naar de buitenlucht en is niet meer te gebruiken. Dit wordt indirecte adiabatische koeling genoemd, omdat de lucht die uiteindelijk gekoeld in de woning komt niet extra bevochtigd is, en dus in absolute vochtigheid niet hoger is geworden. De gekoelde lucht zal met behulp van een ventilator naar de woningen geblazen moeten worden. Bij dit concept wordt uitgegaan van een toevoerlucht van 28 °C met een luchtvochtigheid van 50%. In ongeveer 95% van de tijd kan met dit concept goed gekoeld worden. Is de luchtvochtigheid van de buitenlucht hoger, bijvoorbeeld bij broeierig weer, zal de koelcapaciteit een stuk minder zijn.



Werking van een adiabatische koelmachine

### 1.8.3 Uitwerking op selectiecriteria

| Koelconcept              | Duurzaamheid |        |            | Haalbaarheid |           |           |                 |
|--------------------------|--------------|--------|------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|
|                          | People       | Planet | Prosperity | Financieel   | Juridisch | Technisch | Maatschappelijk |
| Adiabatische koelmachine | -            | ++     | +          | 0            | 0         | --        | -               |

#### People:

Een adiabatische koeler zal extra ruimtebeslag vragen in de woonwijk. Aangezien de koeluchtleidingen relatief grote leidingen zullen zijn, zal aanleg in de grond financieel niet haalbaar zijn en zullen de leidingen dus door of onder de fundering van de woningen aangelegd moeten worden. Er zal bij elk woningblok van maximaal 15 woningen een koelmachine opgesteld moeten worden. Bij de uitgangspositie van dit rapport van 250 woningen betekent dit dat er 17 kleine technische ruimtes aan de woningblokken gerealiseerd moeten worden. De lucht zal met een ventilator door luchtleidingen naar de woningen getransporteerd moeten worden. Deze ventilator zal ongeveer 30 dB(A) aan geluid produceren. Dit zal in de ruimte met goede geluidsisolatie tot het minimum gereduceerd kunnen worden. Er zijn geen veiligheidsrisico's bij dit concept. Het comfortniveau kan tegenvallen als de luchtvochtigheid van de buitenlucht te hoog wordt. Er zullen dus een paar dagen per jaar niet goed gekoeld kunnen worden.

#### Planet:

De gebruikte energievorm is elektriciteit. De energie die opgewekt wordt is dus voor 7% duurzaam. De PER bij een adiabatische koelmachine is 12,15 M³ gas en heeft een CO₂ uitstoot van 25 kg CO₂ per woning.

**Prosperity:**

De levensduur van een adiabatische koelmachine is zeker 20 jaar. Gezien er weinig bewegende delen in de machine zitten kan de levensduur bij goed onderhoud nog wel langer zijn. De ventilator zal wellicht eerder vervangen moeten worden. Voor de realisatie van een koelluchtnet onder de woningen door zal rekening gehouden moeten worden met het feit dat deze na 20 jaar vervangen moeten worden. Voor dit concept zijn de kosten voor deze herinvestering meegenomen. Voor de technische ruimtes zal de levensduur gelijk zijn aan de woningen in de wijk

**Financiële haalbaarheid:**

De kosten per woning voor dit concept zijn berekend op:

- kosten realisatie - € 5663,13
- kosten verbruik - € 5,63
- kosten vastrecht - € 318,08
- kosten per GJ - € 1,88

Ten opzichte van het referentieconcept betekent dit meer investeringskosten. De kosten voor verbruik zijn aanzienlijk lager, maar de vaste kosten weer aanzienlijk hoger. Hierom is dit concept financieel gelijkwaardig beoordeeld.

**Juridische haalbaarheid:**

Voor de aanleg van dit concept is een bouwvergunning nodig voor de technische ruimtes naast de woningblokken. Gezien de aanpassingen in het straatbeeld vanwege de technische ruimtes kan een welstandscommissie hier bezwaar tegen maken.

**Technische haalbaarheid:**

De techniek die gebruikt wordt is een bewezen techniek in de utiliteiten bouw. Bij woningbouw is dit concept nog niet toegepast. Dit heeft te maken met de grote impact van de luchtkokers die onder de woningblokken aangelegd moeten worden. Deze kokers kunnen niet in de grond aangelegd worden gezien de grootte. Aangezien er ook onder de woningen weinig ruimte is, is dit concept technisch een lastige uitdaging. Ook onderhoud en vervanging van deze leidingen zal lastig worden. Tevens is het meten van de afgenomen hoeveelheid koude een punt van aandacht. Het meten van een hoeveelheid lucht is lastiger te realiseren dan het meten van een hoeveelheid water. Elke woning zal een doorstromingsmeter moeten krijgen om te meten hoeveel koeling er afgenomen is. Technisch is dit concept zeer lastig realiseerbaar.

**Maatschappelijke haalbaarheid:**

Gezien de aspecten genoemd in het people aspect is hier mogelijk tegenstand te verwachten. Het aspect ruimtebeslag in de wijk zal als onprettig ervaren worden. Er zal gezocht moeten worden naar technische ruimtes die passen in het straatbeeld.

---