

# Energieproducerende Kas

## VOORONTWERP VOOR EEN PILOT

Ing. J.C.M. Fransen

Lek/Habo Groep, energieconcepten voor de glastuinbouw, Ter Aar



Dit voorontwerp is opgesteld in opdracht van InnovatieNetwerk Groene Ruimte en Agrocluster en de Stichting Innovatie Glastuinbouw (SIGN) en vormt onderdeel van het programma "Glastuinbouw 2020".

### **Programmateam speerpunt "Kas als energiebron":**

Dr.ir. H.J. van Oosten (InnovatieNetwerk, SIGN)

Dr. H.J. Huizing (InnovatieNetwerk)

### **InnovatieNetwerk Groene Ruimte en Agrocluster**

Postbus 20401

2500 EK Den Haag

tel.: 070 378 56 53

internet: <http://www.agro.nl/innovatienetwerk/>

### **Stichting Innovatie Glastuinbouw**

Postbus 29773

2502 LT Den Haag

tel.: 070 338 27 57

internet: <http://www.lto.nl/>

ISBN: 90 - 5059 - 183 - 3

Overname van tekstdelen is toegestaan, mits met bronvermelding.

Rapportnr. 03.2.044 (serie achtergrondrapporten), Den Haag, mei 2003

# TEN GELEIDE

In een eerder door InnovatieNetwerk en SIGN uitgegeven rapport "Concept voor een energieproducerende kas" wordt een ambitieus perspectief geschetst, namelijk een tuinbouwkas die grotendeels of misschien zelfs helemaal kan functioneren zonder gebruik van fossiele energie. Door een combinatie van technologieën lijkt het mogelijk een tuinbouwkas te ontwerpen die vrijwel uitsluitend gebruik maakt van duurzame energie. Het is zelfs niet ondenkbaar dat er sprake is van een warmteoverschot. In experimenten wordt momenteel nagegaan of de toegepaste energietechniek te combineren is met de teelttechniek en het beheersen van het kasklimaat. Met name dat laatste is voor de glastuinbouw een absolute voorwaarde, wil een nieuwe (energie-)technologie enige kans van slagen hebben.

Aan het bedrijf Lek/Habo Groep B.V., dat gespecialiseerd is in geïntegreerde installatie-, inrichtings- en energieconcepten in de glastuinbouw, is gevraagd vanuit een praktische, tuinbouwkundige invalshoek te onderzoeken of de voorgestelde energietechniek te combineren is met gangbare teelt- en regeltechniek voor een moderne tuinbouwkas. Het onderzoek heeft geleid tot een overzicht van de barrières en kansen voor het concept, en een voorstelbaar voorontwerp voor een kas. Bij de dimensionering van de kas (4000 m<sup>2</sup>) in het voorontwerp is gedacht aan de mogelijkheid om in een latere fase een pilotkas te realiseren.

Voor het opstellen van het voorontwerp heeft Lek/Habo Groep B.V. intensief samengewerkt met dr.ir. E. van Andel (de bedenker van het concept voor een energieproducerende kas). Diverse basisgegevens uit de experimenten van dr.ir. H.F. de Zwart (IMAG, Wageningen) waren onontbeerlijk voor het uitwerken van het voorontwerp.

Het voorontwerp "energieproducerende kas" is in dit rapport beschreven. Het is duidelijk dat deze kas alleen toepasbaar is voor een bepaalde groep teelten waarbij geen belichting is vereist. Dat is een beperking omdat belichting in de glastuinbouw juist steeds meer wordt toegepast. Toch is dit voorontwerp een belangrijke mijlpaal. Immers, het ontwerp markeert de trendbreuk dat de glastuinbouw zich wil inzetten voor het realiseren van een duurzame glastuinbouw. In het programma "Glastuinbouw 2020" wordt uitgegaan van een lange termijn perspectief: in 2020 geen grootgebruiker meer van fossiele energie maar een potentiële energiebron. Met dit voorontwerp "energieproducerende kas" wordt getoond dat al op korte termijn belangrijke vernieuwingen op energiegebied in de glastuinbouw denkbaar zijn.

**Dr. G. Vos,**  
*Directeur InnovatieNetwerk  
Groene Ruimte en Agrocluster.*

**F.H. Hoogervorst,**  
*Voorzitter bestuur Stichting  
Innovatie Glastuinbouw.*



# INHOUD

<b>Ten Geleide</b>	<b>i</b>
<b>1 “Concept voor een energieproducerende kas”</b>	<b>1</b>
1.1 Inleiding	1
1.2 Fysische overwegingen	2
1.3 Ontwerp kas	2
1.4 Resultaten van een quick scan	3
1.5 Kritische factoren	3
<b>2 Van concept naar ontwerp voorbeeldkas</b>	<b>5</b>
2.1 Inleiding	5
2.2 Locatie	5
2.3 Kasoppervlak	5
2.4 Plantfysiologie en het kasklimaat	6
2.5 Teeltkeuze	8
2.6 Ontwerpprocedure	9
2.7 FiWiHEX	10
2.8 Lexan® ZigZag™	13
2.9 De brontemperaturen	15
2.10 Energiestromen	17
<b>3 Inrichting voorbeeldkas</b>	<b>19</b>
3.1 Inleiding	19
3.2 De kas	19
3.3 Het teeltsysteem	20
3.4 Plaatsing FiWiHEX	22
3.5 Water en bemestingssysteem	22
3.6 Bronnen	23
3.7 Koeltoren	24
3.8 Warmte Kracht Combinatie (WKC)	25
3.9 Dakberegening en/of scherminstallatie	26
3.10 Verneveling	27
<b>4 De waterzijdige installatie</b>	<b>29</b>
4.1 Inleiding	29

4.2	Het ontwerp	29
4.3	Massabalans bronnensysteem	32
4.4	Condenswaterafvoerleidingen	32
4.5	Nevelinstallatie	32
<b>5</b>	<b>CO<sub>2</sub> installatie</b>	<b>33</b>
5.1	Inleiding	33
5.2	Leidingwerk	33
5.3	Ventilator	33
<b>6</b>	<b>Regeling energievoorziening voorbeeld project</b>	<b>35</b>
6.1	Inleiding	35
6.2	Regelsystemen (hardware)	35
6.3	Kasklimaatregeling	37
6.4	Bronmanagementregeling	41
6.5	WKC regeling	42
6.6	Koeltorenregeling	43
<b>7</b>	<b>Elektrische installatie</b>	<b>45</b>
7.1	Inleiding	45
7.2	FiWiHEX	45
7.3	Overige elektrische aansluitingen	45
<b>8</b>	<b>Energetisch voordeel voorbeeldkas</b>	<b>47</b>
8.1	Inleiding	47
8.2	Jaarlijks energieverbruik voorbeeldkas	47
<b>9</b>	<b>Investerings</b>	<b>49</b>
9.1	Inleiding	49
9.2	Investeren in een voorbeeldkas	49
<b>10</b>	<b>Technische en bestuurlijke onzekerheden</b>	<b>51</b>
10.1	Technische onzekerheden	51
10.2	Bestuurlijke onzekerheden	52
<b>11</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>53</b>
11.1	Conclusies	53
11.2	Aanbevelingen	54

### 1.1 Inleiding

Dit voorontwerp voor een energieproducerende kas vormt een stap in de richting naar duurzamer glastuinbouw in Nederland en is gebaseerd op “concept voor een energieproducerende kas” startnotitie voor een innovatietraject, opgesteld door Dr. ir. E. van Andel (FiWiHEX, Almelo). Opdrachtgevers zijn Stichting Innovatie Glastuinbouw Nederland (SIGN) en InnovatieNetwerk Groene Ruimte en Agrocluster. Het voorontwerp vormt een onderdeel van het programma “Glastuinbouw 2020”.

Drie essentiële onderdelen vormen de basis van het concept:

De Fine Wire Heat Exchanger (FiWiHEX).

Lexan® ZigZag™ het nieuwe polycarbonaat kasdak van GE Structured Products.

Het gebruik van watervoerende zandlagen (aquifers) voor warmteopslag in de zomer voor gebruik in de winter.

De opzet van dit voorontwerp is om te laten zien dat het de sector ernst is met haar streven naar duurzaamheid.

De zonnestraling bedraagt in Nederland jaarlijks ca. 3.500 MJ/m<sup>2</sup>, ruim voldoende om een kas in de winter te verwarmen. Het bijzondere ontwerp van de FiWiHEX wisselaars maakt dat mogelijk.

De zonenergie kan “geogst” worden op een relatief hoog temperatuurniveau met gebruikmaking van extreem weinig hulpenergie. In de zomer geogste warmte wordt opgeslagen in watervoerende zandlagen voor gebruik in de winter. Toepassing van Lexan® ZigZag™ als dak en gevelbeplating levert een behoorlijke energiebesparing op zodat warmte overgehouden kan worden.

Door de realisatie van dit concept streeft men naar een trendbreuk in het “energiedenken” onder kwekers. Om dit te bewerkstelligen zijn de basisonderdelen uit het concept ingepast in een kasontwerp met groeipotentie. Daarnaast is als extra randvoorwaarde gesteld dat het klimaat in deze kas aangepast moet kunnen worden aan de teelt. Zuinig omgaan met energie is om meerdere redenen belangrijk voor kwekers, maar is niet hun hoofddoelstelling.

De startnotitie “concept voor een energieproducerende kas” is het uitgangspunt voor het ontwerp, daarom zijn de belangrijkste stukken in dit hoofdstuk verkort samengevat.

## 1.2 Fysische overwegingen

Bij bepaling van de warmtebalans wordt uitgegaan van een oneindig grote kas met alleen dek en bodemverliezen.

Voor het dek is kanalenplaat genomen, de transmissie voor zonnestraling hiervan bedraagt 90% en heeft een warmteoverdrachtsfactor per m<sup>2</sup> kasoppervlak van 3,4 W/m<sup>2</sup>\*K.

De gegevens over de zonnestraling in Nederland komen uit: "Zonnestraling in Nederland" van C.A.Velds (ISBN 90-5210-140-X).

Aangenomen dat de jaarsom van de globale straling in de Bilt 980 kWh/m<sup>2</sup>\*jaar is, dan is over 365 dagen van 24 uur bezien, gemiddeld de kastemperatuur  $0,9 \cdot 980 \cdot 10^3 / 365 \cdot 24 \cdot 3,4 = 29^\circ\text{C}$  hoger dan de buitentemperatuur.

Bij een gemiddelde buitentemperatuur in Nederland van 10°C resulteert dit in een gemiddelde kastemperatuur van 39°C. Er is dus een behoorlijk potentieel aan warmte, echter op een nauwelijks bruikbaar energieniveau. Planten moeten voldoende kunnen verdampen, de luchtvochtigheid mag niet te hoog worden. Er moet steeds warm en koud water aanwezig zijn om vocht uit de kaslucht te condenseren en na te verwarmen. CO<sub>2</sub> suppletie is noodzakelijk, de kas moet gesloten blijven.

## 1.3 Ontwerp kas

Bij het bereiken van een maximale kastemperatuur moet met bronwater worden gekoeld. Als de kastemperatuur onder een minimale waarde daalt, moet met dit bronwater de kas weer worden verwarmd.

Als dakbedekking en gevelbeplating blijkt alleen Lexan® ZigZag™ geschikt omdat de warmteoverdracht laag genoeg is. Daarnaast is de lichttransmissie gelijk aan enkelglas en voor direct licht in de winter zelfs hoger. Gangbare warmtewisselaars zijn van het plate-fin-tube type en hebben een temperatuursverschil van 20-80°C nodig om warmte uit te wisselen. In een Novem project (1997-1999) is een geheel nieuw type warmtewisselaar ontwikkeld, de dunne-draad wisselaar (FiWiHEX).

De huidige typen wisselaars hebben 30 maal zo veel hulpenergie nodig om warmte uit te wisselen.

Dit type wisselaar maakt het voor het eerst mogelijk een brandstof neutrale kas te ontwerpen.

De nu ontwikkelde FiWiHEX wisselaar heeft een uitwisselend vermogen van 170 W/K en de ventilator gebruikt 58 Watt bij vollast. De prijs bij grote series (>10.000 stuks) wordt ca. € 1,- per W/K.

Er moet 400 MJ/m<sup>2</sup> kas aan warmte in ondergrondse zandlagen worden opgeslagen.

De warmtecapaciteit van zand is 3 MJ/m<sup>3</sup>\*K.

Bij een temperatuurverschil van 10K is een  $400/3 \cdot 10 = 13$  meterdikke zandlaag nodig.

## 1.4 Resultaten van een quick scan

### Simulatie door IMAG

Berekeningen met het programma "KASPRO" van IMAG tonen aan dat bij plaatsing van een FiWiHex unit per 3,5 m<sup>2</sup>:

- De kas een groot deel van het seizoen gesloten kan blijven, echter voor ontvochtigen moeten de luchtramen soms open;
- De kas kan grofweg tussen de 15 en 30°C gehouden worden bij gebruik van een dubbel kasdek;
- De vochtigheidsgraad kan beneden 92% RV gehouden worden;
- Voornoemde grenzen kunnen worden verbeterd door een betere schakeling van putten;
- De gewasproductie kan toenemen door handhaving van een hogere CO<sub>2</sub> concentratie in de kas;
- Het resterende energiegebruik ca. 5 m<sup>3</sup> aardgasequivalenten per m<sup>2</sup> bedraagt;
- Voor verwarming van andere ruimten is 20 m<sup>3</sup> aardgasequivalenten per m<sup>2</sup> bij 25°C beschikbaar.

### Quick scan van IF-technology aquifers

- Onder bijna alle tuinbouwgebieden is een aquifer aanwezig en is warmteopslag mogelijk;
- Opslag in diepe aquifers is voordeliger dan in ondiepe;
- In een vroeg stadium moet met de vergunningen procedures worden gestart;
- De grondwateromstandigheden kunnen ter plaatse sterk verschillen, de warmteopslag is maatwerk en is duur.

## 1.5 Kritische factoren

Tijdens een voortgangsbespreking rond het gebruik van FiWiHex warmtewisselaars in een energieproducerende kas zijn nog enige kritische factoren besproken en heeft men geconcludeerd dat:

- De gemeten warmteoverdrachtscapaciteit (droog) maximaal 140 W/K blijkt te zijn in plaats van 170 W/K;
- Tussen 17 en 27°C het kasklimaat slecht regelbaar is. Daarboven is de kas niet alleen 1.500 uur lang heet (tussen 27 en 31°C), maar kan de kaslucht ook zeer vochtig zijn. Een klimaat waar alleen tropische potplanten wel bij varen;
- Het opslagvolume in de aquifer zo groot is dat de opgeslagen warmte over de terreingrens gaat;
- Tussen 17 en 27°C de luchtvochtigheid nauwelijks kan worden beheerst, daarboven redelijk maar is hoog;
- Belichting slecht samen gaat met de noodzakelijke trendbreuk naar duurzaamheid.

### 2.1 Inleiding

#### Bestuurlijke overwegingen SIGN en Innovatie Netwerk

Het concept komt voort uit het beleid van de overheid om op lange termijn de CO<sub>2</sub> uitstoot te reduceren en daarbij maximaal in te zetten op duurzame energie. Vastgesteld is dat het tempo waarin nu veranderingen in de tuinbouw plaatsvinden, onvoldoende is om gestelde doelen te bereiken. Het is nodig een trendbreuk te forceren. De zon levert de kassen meer energie dan er aan fossiele energie gebruikt wordt. Met de komst van de FiWiHEX is het voor het eerst mogelijk warmte uit de kas te oogsten zonder tussenkomst van een warmtepomp. Inpassing van een warmtepomp in het systeem sluit de mogelijkheid om netto warmte te produceren uit. Daarom is er bewust geen warmtepomp opgenomen. Het overschot aan energie wordt via een koeltoren aan de buitenlucht afgegeven. Een voordeel van inzet van een koeltoren is dat de kas kan worden ontvochtigd met kouder water. Het neerzetten van een voorbeeldkas vormt een eerste concrete stap en is bedoeld om de innovatiekracht binnen en buiten de sector te mobiliseren.

Dit hoofdstuk gaat in op de hoofdcomponenten en hun eigenschappen, argumentatie en rekenwerk worden de basis voor het voorontwerp.

### 2.2 Locatie

Voor het maken van een ontwerp is de vaststelling van een locatie belangrijk. De aanwezigheid, dikte, diepte en aard van watervoerende zandlagen (aquifers) hangen daar vanaf.

De mogelijkheden van opslag, infiltratie en onttrekking in locale aquifers, is bepalend voor een groot deel de technische haalbaarheid van het ontwerp. De gekozen locatie is niet definitief. Het streven is om de kas te bouwen nabij het (ook nog te bouwen) proefstation in Bleiswijk, hier is dan ook van uitgegaan.

### 2.3 Kasoppervlak

Bij het bepalen van het oppervlak is rekening gehouden met de volgende argumenten:

- De proef moet bij kwekers geloofwaardig overkomen;
- Bronnen vormen een behoorlijke kostenpost en moeten daarom maximaal benut worden;
- Voor de uitbesteding en ontwikkeling van de productie van een eerste serie FiWiHEX units moet kunnen worden uitgegaan van een redelijk aantal.

Uiteindelijk is gekozen voor een voorbeeldkas met een oppervlakte van 4.000 m<sup>2</sup>.

Het definitieve kasoppervlak, het aantal kappen en de kaslengte moeten worden afgestemd op de bronafstand en het maximaal benutten van de broncapaciteit.



## 2.4 Plantfysiologie en het kasklimaat

### Algemeen

Het concept van de energieproducerende kas stelt eisen aan het kasklimaat, het gewas eveneens. Het te realiseren of te handhaven kasklimaat in het voorbeeld project moet een compromis zijn van beiden. Voor het maken van een ontwerp is het belangrijk stil te staan bij de relatie plant en klimaat. Hieronder volgen in het kort enige relevante algemene basisprincipes.

### Groei van een plant

Bouwstenen voor de groei zijn CO<sub>2</sub> uit de lucht, water en voedingszouten via wortels.

De plant groeit door:

- Celdeling in de groeipunten, hiervoor zijn suikers uit de bladeren nodig en minerale zouten die met het water via de wortels de plant binnen komen.
- Celstrekking, hier is voornamelijk water nodig waarmee de nieuwe cellen worden opgepompt en wat suikers en minerale zouten om de celwand verder uit te bouwen.

Suikers worden gevormd door fotosynthese, hiervoor is water, CO<sub>2</sub> en lichtenergie nodig en komt zuurstof vrij. Licht wordt door het bladgroen omgezet in de energie die nodig is om CO<sub>2</sub> en water te binden tot suiker.

Suikers worden in de bladeren gevormd en getransporteerd naar de groeipunten. Het overschot aan suikers wordt omgezet in zetmeel. Later kan dit zetmeel weer omgezet worden in suiker. Ook een plant ademt, dan komt energie voor alle levens processen vrij door verbranding van suikers. Ademhaling vindt dag en nacht in alle delen van een plant plaats (onderhoud) en extra tijdens celdeling (opbouw). De ademhaling neemt toe met de kastemperatuur. Door in de nacht een lagere temperatuur aan te houden gaan er weinig suikers verloren voor de ademhaling. Bij enkele gewassen waarbij vorm belangrijk is, wordt juist een hogere temperatuur aangehouden. Naast water en voedingszouten zijn lichtniveau, kastemperatuur en CO<sub>2</sub> concentratie in de kaslucht belangrijk voor de groei.

De meest beperkende factor is bepalend (wet van Liebig). Als er voldoende licht is, resulteren een hogere temperatuur en/of een hogere CO<sub>2</sub> concentratie in meer groei. Bij een gewas met een enkele bladlaag houdt dit effect bij een veel lager lichtniveau op dan bij rijengewassen zoals paprika, tomaat etc. Fotosynthese en "productie" ademhaling vinden alleen plaats als er voldoende licht is en "onderhoud" ademhaling het hele etmaal. Het verschil tussen beide is de netto fotosynthese een maat voor de aanmaak van cellen ofwel de droge stof productie.

Hiernaast staan de fotosynthese en ademhaling in een grafiek. Het groene vlak is maatgevend voor de netto fotosynthese. De netto fotosynthese en de wateropname zijn bepalend voor de groei. Hogere temperaturen veroorzaken een hoge groeisnelheid (afrijpen) maar beperkt de kg opbrengst.

Bij veel gewassen ligt de optimale temperatuur rond 20°C. Bij groente gewassen legt de plant blad aan bij hogere temperaturen (vegetatieve groei) en vindt vruchtzetting plaats bij lager temperaturen (generatieve groei).

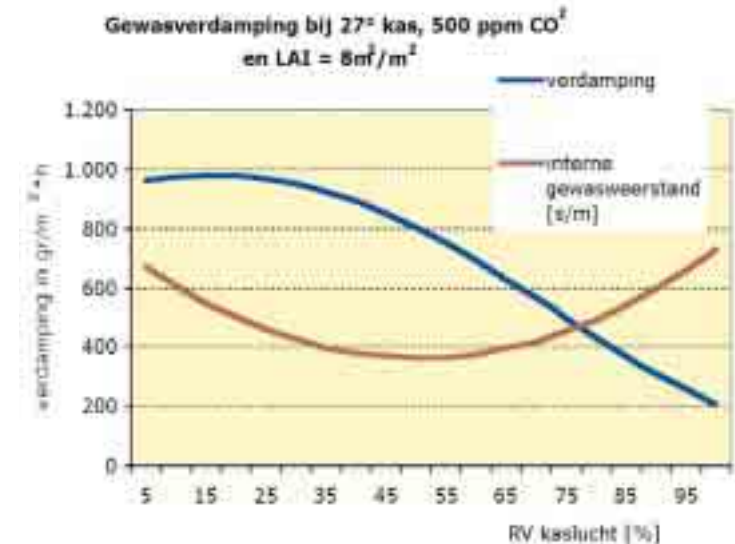
### Watermanagement

Een plant bestaat voor 80-90% uit water. Water wordt via de wortels opgenomen en heeft 4 functies:

1. Is een bouwstof en wordt gebruikt voor de vorming van suikers (1%). De rest blijft in de plant achter (samen 10%).
2. Is transportmiddel voor voedingsstoffen.
3. Is een koelmiddel doordat water via bladeren verdampt en daardoor warmte aan het gewas onttrekt. Licht wordt na absorptie warmte met als gevolg dat de oppervlakte temperatuur stijgt. Via deze oppervlakken wordt de kaslucht verwarmd. Bij toename van licht stijgt ook de bladtemperatuur. Huidmondjes zijn openingen aan de onderkant van het blad. In de huidmondjes is de RV 100% bij bladtemperatuur. Het verschil in dampspanning in de huidmondjes en de kaslucht wordt vochtdeficit genoemd. Het vochtdeficit is maatgevend voor de kracht waarmee de lucht het vrije water in de plant zuigt en moet zich verhouden tot kastemperatuur. Een gewas kan maximaal 0,9 l/m<sup>2</sup>\*h verdampen (1 kW/m<sup>2</sup>).
4. Door opname van minerale zouten door wortels, worden plantcellen op druk gebracht. Plantcellen transporteren water door osmotische werking. Water verplaatst zich van cel naar cel van hogere naar lagere waterconcentratie.

Het verschil in verdamping en wateropname door de wortels wordt in de plantcellen gebufferd. Als er meer verdamping plaats vindt dan dat via osmotische werking kan worden aangevoerd, dan daalt de celspanning en gaat de plant slap hangen. Bij plotselinge overgangen van weinig naar veel licht, kan het watertransport achter blijven en wordt water uit de plantcellen voor verdamping gebruikt. Als te veel celvocht voor verdamping wordt gebruikt ontstaat onherstelbare schade (stress). Bij overgangen van licht naar donker kan de osmotische druk bij sterk afnemende verdamping leiden tot scheurvorming door overbelasting van celwanden. Bij een warm en vochtig (broeierig) klimaat kan een plant weinig verdampen en dat vermindert de groei. Indien een plant te weinig verdamp, kunnen er broeikoppen ontstaan.

In de grafiek hierboven staan de interne gewasweerstand (watertransport) en de verdamping in relatie tot de RV voor een rijengewas bij 27 °C kastemperatuur gegeven.



## 2.5 Teeltkeuze

### Politiek

Bij het ontwerpen van klimaatinstallaties voor tuinbouwkassen is de teeltkeuze belangrijk.

Cultuurgewassen komen van oorsprong uit alle delen van de wereld. Het klimaat is wereldwijd zeer divers. Voor optimale productie moet het klimaat in de kas zijn aangepast aan de teelt.

Ook de inrichting van een kas hangt af van specifieke eisen vanuit de teelt en is erg verschillend.

Via een voorbeeldkas moet een trendbreuk in gang gezet worden, de innovatiekracht van alle in aanmerking komende kwekers moet gemobiliseerd worden. In aanmerking komen alle kwekers van onbelichte teelten, dus ook kwekers van productiegewassen binnen de groente of bloementeelt.

Bij dit ontwerp voor een voorbeeldkas is dan ook niet gekozen voor een specifieke teelt.

Er is uitgegaan van alle teelten waar het concept mogelijkheden voor heeft.

### Teeltkeuze op basis van klimaat

De grootste CO<sub>2</sub> uitstoot vermindering kan worden behaald als in de kas een groentegewas wordt geteeld. Rijengewassen produceren meer bij toename van het lichtniveau in combinatie met hogere temperaturen en een verhoogde CO<sub>2</sub> concentratie.

Groentegewassen zijn rijengewassen en vragen voor optimale productie veel gas voor verwarmen en CO<sub>2</sub> bemesting.

Problemen kunnen zijn: het sturen op generatieve en vegetatieve groei en de verminderde netto fotosynthese bij 27°C.

Ook de waterhuishouding van groentegewassen is kritisch. Er moet op het evenwicht tussen vochtopname en verdamping gestuurd kunnen worden.

Enkelblad gewassen (o.a. potplanten) worden vaak geteeld voor de vorm en zijn daarom temperatuur kritisch. Verder kunnen deze gewassen niets met een hogere lichtintensiteit, er wordt nu al veel gekrijt of geschermd. Bij deze teelten is het gasverbruik laag en is de CO<sub>2</sub> uitstoot vermindering dus geringer. Een optimale gewaskeuze is niet te maken.

### Conclusie

Wij pakken de handschoenen op, in een "voorbeeld" kas moet het klimaat naar alle omstandigheden gestuurd kunnen worden.

Er is daarom gestreefd om te komen tot een universeel ontwerp, waarin ook de huidige trends op het gebied van de arbeidsomstandigheden tot hun recht komen. Het concept van de energieproducerende kas is daarbij zo veel mogelijk gehandhaafd. Het veranderen van teelt en energiesysteem in een voorbeeldkas moet eenvoudig zijn.

In kwekerstermen: "Een groeiend kasconcept waarin de zon geoogst wordt".

## 2.6 Ontwerpprocedure

De technische haalbaarheid van het warmteopslagsysteem wordt voornamelijk bepaald door de locatie van de kas. Om te weten wat er op betreffende locatie mogelijk is, moet een geohydrologisch onderzoek plaatsvinden.

Dat onderzoek vindt plaats op basis van de volgende uitgangspunten:

1. Locatie van de kas, dit is een gegeven.
2. Het maximale onttrekkingsdebiet, ofwel het product van het maximale debiet per FiWiHEX en het aantal FiWiHEX units.
3. De grootte van de energieopslag, deze is afhankelijk van de "warmteoogst" in de zomer en het moment dat deze warmte wordt afgevoerd uit de opslag voor gebruik door derden of koelen met buitenlucht via de koeltoren.

Voor de berekeningen is meer inzicht in de eigenschappen van de FiWiHEX units, de Lexan® ZigZag™ beplating en de te stellen eisen aan het kasklimaat noodzakelijk. Voornoemde stappen worden in het vervolg van dit hoofdstuk behandeld.

Als aantal en positie van de bronnen bekend is, komen de volgende stappen aan de orde:

1. Bepaling definitieve afmetingen en de uitvoering van de kas.
2. Maken van een warmteverliesberekening.
3. Het inrichten van de kas.
4. Plaatsing FiWiHEX units.
5. Het ontwerpen van de bronnen.
6. Dimensioneren van de koeltoren.
7. Dimensioneren van de CO<sub>2</sub> en elektriciteitsvoorzieningen.
8. Dimensioneren van een nevelinstallatie.
9. Ontwerpen van de waterzijdige installatie.
10. Ontwerpen van de CO<sub>2</sub> installatie
11. Ontwerpen van de regeltechnische installatie.
12. Ontwerpen van een elektrische installatie.

Hoofdstuk 3 behandelt stap 1 t/m 8 en de hoofdstukken 4 t/m 7 over de stappen 9 t/m 12.

## 2.7 FiWiHEX

### Beschrijving van de warmtewisselaar

Op de as van een elektromotor is een schoepenrad gemonteerd. De aldus verkregen centrifugaal ventilator is omgeven door een honderdtal koperen matten. Deze bestaan uit zes tot acht buisjes met een diameter van 1,7 mm en een doorlaat van 1,2 mm waartussen 0,1 mm dikke dunne draden zijn geweven. Dit geheel is onder en boven in twee koperen ringen gesoldeerd. Het water stroomt van onder naar boven door de buisjes stroomt. De ventilator blaast lucht radiaal tussen de matten en langs de draadjes van binnen naar buiten. De warmte wordt van lucht aan de dunne draden en vervolgens aan de watervoerende capillaire buisjes overgedragen. De warmteoverdracht is bijzonder goed, de precieze werking wordt momenteel in Delft onderzocht. Zeker is dat de lange contacttijd, het kleefeffect van lucht langs een oppervlak, de hoge warmte-geleidingscoëfficiënt van koper en de lage warmtecapaciteit van de matten daar aan bijdragen.

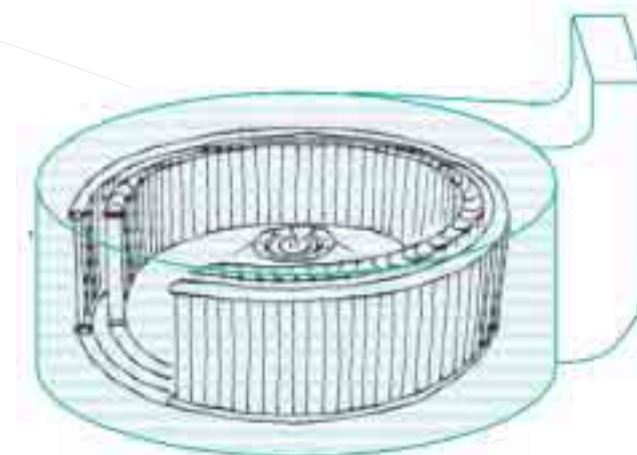
De ventilatormotor draait op een laag toerental (ca. 100 min<sup>-1</sup>).

Het opgenomen elektrisch vermogen is extreem laag en is ca. 1/30 van uitgewisselde thermisch vermogen. Uit kosten overwegingen is voor de eerste series gekozen voor een plafond ventilator-motor. Deze worden in zeer grote aantallen geproduceerd en halen behoorlijke bedrijfstijden.

### Warmteoverdracht

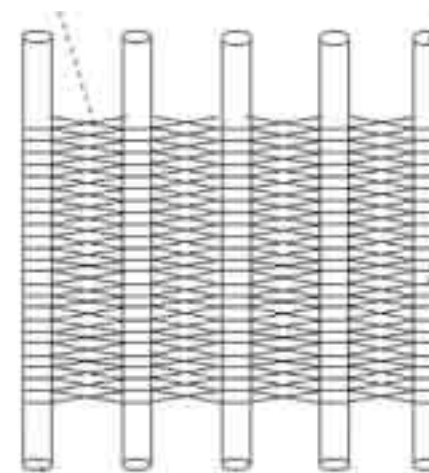
IMAG heeft de wisselaars getest in een klimaatcel. Op basis van metingen en de theorie rond de kruisstroomwisselaar is een rekenmodel ontwikkeld. In droge toestand tijdens verwarmen zonder condensvorming varieert de specifieke overdracht tussen 80 en 140 Watt/K(elvin). Het vermogen en de specifieke overdracht in aantal verschillende vochtige omstandigheden staan in de tabel hiernaast weergegeven.

Praktijktests geven aan dat 100 W/K in drogetoestand een goed uitgangspunt voor berekeningen is.



fine tinned copper wires  
ø 0.1 mm on mm pitch

water or propane  
boiling or  
condensing



soldered to facilitate  
heat conduction &  
mechanical integrity

tinned copper tubes  
ø 1.7 mm on 12 mm pitch

Tlucht,in = 27, debiet =2.5 liter per minuut per FiWiHEX								
T water "in"	luchtdebiet	RV	T water "uit"	T lucht "uit"	vermogen	condens	%	specifieke overdracht
°C	kg/s		°C	°C	W	kg/uur	latent	W/K
12	0.1	85	19.7	21.4	1.342	1.13	51	161
		80	19.2	21.2	1.262	0.96	46	149
		75	18.8	21.0	1.182	0.78	40	137
	0.25	85	22.8	23.6	1.880	1.66	54	237
		80	22.2	23.5	1.772	1.41	49	218
		75	21.6	23.3	1.663	1.16	43	199
15	0.1	85	21.0	22.5	1.056	0.86	50	158
		80	20.6	22.3	978	0.69	43	143
		75	20.2	22.2	903	0.48	32	129
	0.25	85	23.4	24.3	1.461	1.23	52	227
		80	22.8	24.0	1.356	0.99	45	204
		75	22.2	23.9	1.252	0.75	37	183

### Waterdebiet

De globale straling in een kas kan oplopen tot 650 Watt/m<sup>2</sup>.

Het te dekken warmteverlies in de winter is met gebruikmaking van een scherm ±110 Watt/m<sup>2</sup>.

Voor de berekening van het waterdebiet door FiWiHEX gaan we dus uit van het koelen van de kas in de zomer.

Voor snelle berekeningen geeft de leverancier van FiWiHEX voor "natte omstandigheden" een specifieke overdracht van 200 W/K. Het vermogen per FiWiHEX is dan te bepalen met de formule  $P = (T_{li} - ((T_{wi} + T_{wa})/2)) * 200$ .

Het waterdebiet is mede afhankelijk van ingaande en uitgaande bronwater temperaturen. In "concept voor een energieproducerende kas" (Blz. 19) valt te lezen dat als de kas "gesloten" moet blijven en er moet zowel gekoeld als verwarmd worden (tijdens ontvochtigen) dan moet met een lage temperatuur gekoeld worden. Voor de berekening van het maximale vermogen en dus ook het waterdebiet gaan we uit van de 12°C, dit is ongeveer de natuurlijke temperatuur van het bronwater. Bij een kastemperatuur van 27°C en het opwarmen van bronwater van 12°C naar 22,8°C (uit IMAG tabel) is het vermogen:

$P_{th} = (27 - ((12 + 22,8)/2)) * 200 = 1.920$  Watt. Deze berekende waarde en de waarde in de tabel van IMAG is nagenoeg gelijk. De waterhoeveelheid per FiWiHEX is dan  $1.920 / (4.180 * (22,8 - 12)) = 0,0425$  kg/s = 2,5 l/min.

Uit simulatie met KASPRO door IMAG blijkt dat plaatsing van een FiWiHEX unit per 3,5 m<sup>2</sup> de kas binnen redelijke mate conditioneert tussen 15°C en 30°C en een maximale luchtvochtigheid van 92%. Uitgaande van een FiWiHEX unit per 3,5 m<sup>2</sup> wordt het maximale brondebiet  $(4.000/3,5)*60*2,5/1000 = 170 \text{ m}^3/\text{uur}$ .

### Luchthoeveelheid

FiWiHEX warmtewisselaars zijn oorspronkelijk ontwikkeld voor plafondmontage en waren niet voorzien van een behuizing.

Bij plafondmontage wordt de lucht rondom uitgeblazen. Plafondmontage is vanwege schaduwwerking niet acceptabel in een kas. Daarom is door FiWiHEX in overleg met IMAG een behuizing ontwikkeld met een verticale uitblaasopening.

De specifieke luchthoeveelheden van FiWiHEX units met en zonder behuizing komen niet overeen. FiWiHEX met behuizing wordt (nog) niet seriematig geproduceerd. De vormen van de behuizingen rond geteste exemplaren waren niet gelijk. FiWiHEX stelt dat het bereikbare debiet mede afhangt van de breedte van de uitblaasopening. Er moet tussen het gewas voldoende ruimte zijn voor de verticale luchtstroom. IMAG houdt de maximale luchthoeveelheid op 0,25 kg/s.

Gezien de grote invloed op het maximale vermogen moet het ontwerp van de behuizing deze luchthoeveelheid mogelijk maken.

Voor het ontwerp is dan ook 0,25 kg/s aangehouden.

### Geluid

De behuizing voor tuinbouwtoepassing dempt het geluidsvermogen van de FiWiHEX units.

De FiWiHEX units bevinden zich onder het gewas. Een groot deel van het brongeluid wordt gedempt door behuizing en het gewas voordat het de toehoorder bereikt. Voor plafond montage is het geluidsniveau op 1 meter te berekenen met de formule:  $20 \cdot \log P_m + 28$ .

In deze formule is  $P_m$  het mechanische vermogen van de ventilator. Exactere waarden met behuizing moeten nog bepaald worden. Bij de zes FiWiHEX units werd het geproduceerde geluinniveau niet als een mogelijk probleem opgemerkt.

In een kas met een veld vol FiWiHEX units tellen geluidsdrukken op. Berekeningen vooraf moeten mogelijke problemen met op de werkplek (arbeidsomstandigheden) voorkomen. Om een inschatting op basis van berekeningen te kunnen maken, zijn er goede aanvullende metingen aan een serie FiWiHEX units noodzakelijk.

### Praktijktest bij IMAG

Vanaf 10 februari dit jaar staan zes FiWiHEX units bij IMAG (Wageningen) in een proefkas met een oppervlak van 27m<sup>2</sup>.

De kas heeft een enkelglas dek en is voorzien van een doorzichtig foliescherm.

In de kas staan Ficussen opgesteld in een eb en vloed systeem. Bladverdamping wordt afgeleid uit het waterverbruik. De luchtvochtigheid wordt beheerst door inzet van een mechanisch ventilatiesysteem.

Er wordt buitenlucht toegevoerd. De FiWiHEX units blazen tussen de tafels verticaal omhoog.

De resultaten van 2 maanden zijn bekend, hieruit blijken een aantal zaken:

- De planten doen het goed, maar verdampen weinig;
- De luchtstroom uit FiWiHEX verticaal omhoog veroorzaakt tot nu toe geen nadelige effecten in de teelt;
- Er is in deze periode gekoeld (124 MJ/m<sup>2</sup>) en verwarmd (137 MJ/m<sup>2</sup>);
- Als planten achterblijven in vochtproductie, dan condenseert FiWiHEX geen vocht uit de lucht. Zonder condensvorming blijft het vermogen van FiWiHEX achter. Mede hierdoor liep, bij 800 Watt/m<sup>2</sup> globale zonnestraling buiten de kas, de temperatuur in de kas op tot 34°C;
- De waterhoeveelheid en de luchtverplaatsing door FiWiHEX moeten in relatie tot elkaar worden geregeld zodat het water optimaal wordt opgewarmd en afgekoeld.

### 2.8 Lexan® ZigZag™

Lexan® ZigZag™ is een dubbelwandig geëxtrudeerd polycarbonaat paneel in ZigZagvorm.

De belangrijkste gegevens staan hieronder per eigenschap.

Deze gegevens zijn afkomstig van de leverancier GE Structured Products.

#### Mechanische eigenschappen

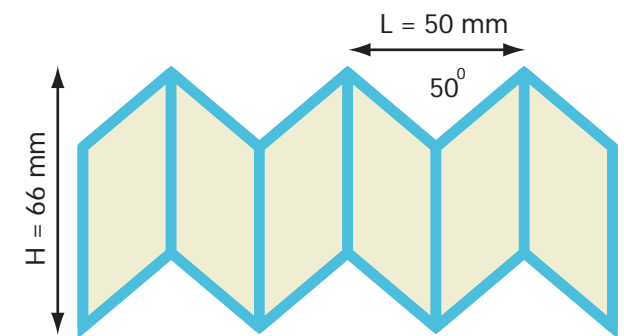
De ZigZag panelen hebben een hoge slagvastheid over een breed temperatuurbereik (-40 tot 120°C).

De bestendigheid tegen hagelinslag is met een kogelproef vastgesteld en vergeleken met de resultaten van beschieting van 4 mm floatglas. Het ZigZag paneel blijkt veel bestendiger.

Het glas breekt bij een kogelsnelheid tussen 7 en 10 m/s en de ZigZag panelen vertoont slechts een deukje bij 21 m/s. De kans op vervolgschade in het gewas zoals bij vallend glas is nihil.

#### Lichtdoorlatendheid

De lichtdoorlatendheid is voor toepassing in de tuinbouw een belangrijke eigenschap. Licht is vaak de groeibeperkende factor. Globaal wordt voor productiegewassen als grove benadering gesteld dat 1% lichtwinst ook 1% meerproductie oplevert.





De ZigZag panelen hebben de hoogste lichtdoorlatendheid in het gebied van het zichtbare licht. Uiterst infrarood en ultraviolet wordt nagenoeg niet doorgelaten. De lichtdoorlaatbaarheid is voor diffuus licht 81% en voor direct licht 89%. Het ontbreken van roeden levert een lichtwinst op van 2% en afhankelijk van de oriëntatie levert de ZigZagvorm nog een extra lichtwinst op van 2-4%.

De totale lichtdoorlatendheid komt daardoor 93-95% (direct). Bij 4 mm floatglas is dat 89-92%.

De lichtwinst ten opzichte van floatglas komt vooral in en rond de winter tot stand.

De buitenzijde van het ZigZag paneel is voorzien van een UV filter. Hierdoor is het polycarbonaat plaatmateriaal beschermd tegen intensieve UV blootstelling. Het materiaal behoudt zijn hardheid en lichtdoorlatendheid, dit wordt voor 10 jaar gegarandeerd. Ook vergeling (uiteenvallen van polymeerstructuren) treedt nagenoeg niet op.

Aan de onderzijde van de panelen is een non drop anti condens coating aangebracht. Doordat het condenswater een film vormt wordt druppelvorming en dus druipplekken vermeden. Ook in de kanalen aan de binnenzijde is een anti condens coating aangebracht, aan de onderzijde zitten openingen voor de afvoer van het condenswater naar de condensgoot.

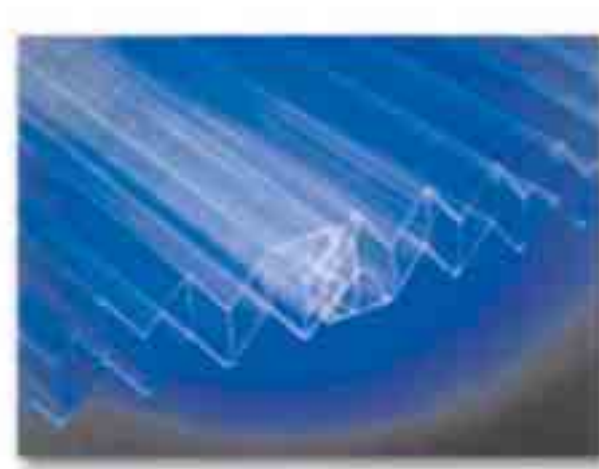
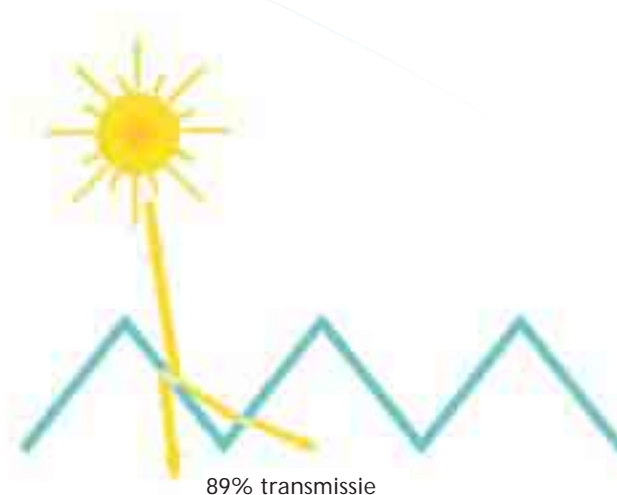
Nadeel is dat vuil beter hecht aan kunststof door de lagere statische oppervlaktespanning, in de praktijk is hier tot nu toe niets van gebleken. Dit komt doordat aan de buitenzijde een Easy Clean (zelfreinigende coating) over het UV filter is aangebracht.

### Thermische eigenschappen

De meerwandige structuur van de ZigZag panelen speelt bij de thermische isolatie een grote rol.

De luchtpouw zorgt ervoor dat de warmte doorgangcoëfficiënt ongeveer gelijk is aan dubbelglas en veel lager is dan bij enkelglas. De doorgangcoëfficiënt  $K$  is  $3 \text{ W/m}^2\text{K}$  en bij enkelglas is dat  $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De hogere isolatiewaarde ten opzichte van enkelglas heeft de hierna volgende consequenties voor het kasklimaat:

- Er is veel minder energie nodig om de kas te verwarmen, bij gesloten ramen is dat 46,5% minder.
- De uitstraling van het gewas naar het kasdek tijdens koude dagen is veel lager.  
Bij  $-10^\circ\text{C}$  binnentemperatuur en  $20^\circ\text{C}$  buitentemperatuur is de temperatuur aan de binnenzijde van het kasdek  $8,7^\circ\text{C}$  tegen  $-4^\circ\text{C}$  bij enkelglas.
- Er wordt weinig condenswater gevormd aan de binnenzijde van het kasdek. Dit is bij vochtgevoelige gewassen een nadeel. Door extra luchten en dus ook  $\text{CO}_2$  verlies daalt de energiebesparing tot tussen 20 en 40%.
- Sneeuw blijft langer op het kasdek liggen, dit is in de constructieberekeningen meegenomen. Echter om lichtverlies tegen te gaan moet de goot via PE slang worden verwarmd.



### Fysieke eigenschappen

De ZigZag beplating is nagenoeg ongevoelig voor grote temperatuur schommelingen zowel van binnen als van buiten de kas.

Lexan® ZigZag™ is gekwalificeerd als zelfdovend. Als het materiaal in contact komt met vuur smelt het maar draagt niet bij aan de verbranding. Het gewicht van een ZigZag paneel is 4 kg/m<sup>2</sup> ten opzichte van 10 kg/m<sup>2</sup> floatglas.

## 2.9 De brontemperaturen

Eisen aan het kasklimaat vanuit de teelt bepalen de maximale en de minimale kastemperatuur waarop het koelen en verwarmen begint. Dit is vergelijkbaar met streefwaarde verwarmen en streefwaarde ventileren zoals nu gebruikelijk is.

Het temperatuurverschil tussen de maximale en de minimale kastemperatuur moet groot zijn, de argumenten daarvoor zijn:

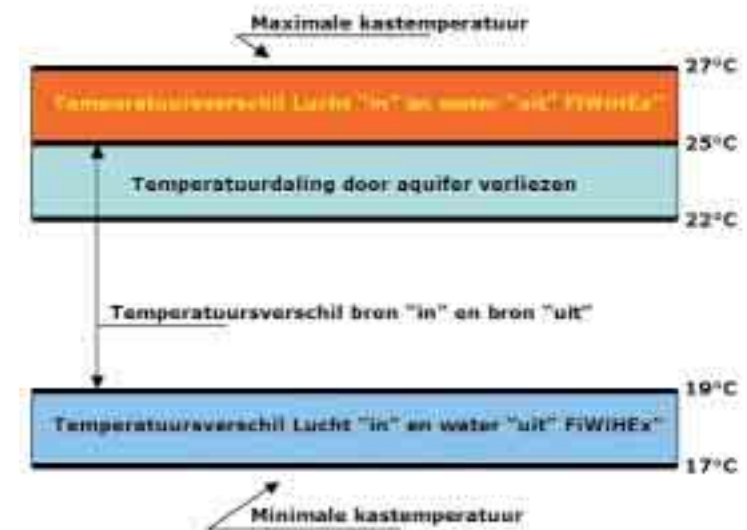
1. Over elke FiWiHex moet een temperatuurverschil bestaan tussen lucht "in" en water "uit" om warmte te kunnen uitwisselen. Dit zit tussen de tussen 1 en 2K per uitwisseling, per jaar in totaal dus tussen 2 en 4K.
2. De temperatuur van het water neemt af omdat het bij opslag hoger in temperatuur is dan de natuurlijke temperatuur van het bronwater. Dit verloop is afhankelijk van de temperatuur van het opgeslagen water, de dikte aard en samenstelling van de aquifer en grondwaterstromingen zijn bepalend. Als vuistregel bij koudeopslag meldt ISSO 39 een temperatuurrendement voor het 1e jaar van 60%, voor het 2e jaar 70% en voor het 3e jaar 80%. Na ongeveer 3 jaar is de aquifer op temperatuur en blijven de verliezen constant. Bij warmteopslag op 25°C (>11 °C), wordt dit rendement op 70% geschat. Bij 10K temperatuurverschil bedraagt het temperatuurverlies  $0,7 \cdot 10 = 3K$ .
3. Het temperatuurverschil is mede bepalend voor waterhoeveelheden en het aantal FiWiHex units, een klein verschil aanhouden maakt het systeem onbetaalbaar.

Voor de meeste productiegewassen geldt dat de groei afneemt als de kastemperatuur boven 27°C is en stijgt.

Het grote temperatuurverschil is voor een groot deel van de teelten alleen acceptabel als warme en koude perioden elkaar snel opvolgen en het gemiddelde van beide niet te hoog of te laag is.

Het temperatuurverschil waarmee het opslagvolume in de aquifer wordt berekend, is inclusief temperatuurverliezen in de aquifer ca. 6K.

Het gevolg van dit kleine temperatuurverschil is dat er voor het opslaan van energie in de zomer erg veel water nodig is. Ook is de temperatuur van het water uit de opslag nog te warm (19K - verliezen) voor koeling, zeker als er ontvochtigd moet worden.



Zoals al eerder in de tekst gemeld is er een koeltoren in het project opgenomen. In het voorjaar, de zomer en het najaar moet het retourwater uit de kas tijdens verwarmen via de koeltoren verder worden teruggekoeld. Voorwaarde is dat de "natte bol" temperatuur van de buitenlucht lager is dan 10°C.

Het water in de koude bronnen moet inclusief temperatuurverliezen bijna gelijk worden aan de natuurlijke temperatuur van het bronwater en aangehouden is 12°C.

Het temperatuurverschil bron "in" en "bron "uit" wordt dan 13°C. Door afvoer van warmte overschotten in en rond de zomer wordt de seizoensopslag ontlast. In onderstaande figuur staan de kas en brontemperaturen na inpassing van de koeltoren in het systeem weergegeven.

Bij plaatsing van een FiWiHEX unit per 3,5 m<sup>2</sup>, 17°C kaslucht en 22°C aanvoerwater is het vermogen voor het dekken van transmissieverliezen:

$P = ((22+19)/2-17) \cdot 100/3,5 = 100 \text{ W/m}^2$  (berekening FiWiHEX droog), plus nog  $65/3,5 = 18,5 \text{ W/m}^2$  van de FiWiHEX ventilatoren is 118,5 W/m<sup>2</sup>.

Na 3 jaar en een bron temperatuurrendement van 70%, is dat voldoende om de transmissieverliezen te dekken.

De eerste twee jaren is er door de nog te lage "warme" bron temperatuur onvoldoende benutbare warmte aanwezig om de kas te verwarmen. Voor de eerste 2 jaar moet er thermisch vermogen bijgeplaatst worden.

Hier zijn meerdere apparaten geschikt voor zoals:

- een verwarmingsketel;
- een warmtepomp;
- of een Warmte Kracht Combinatie (WKC).

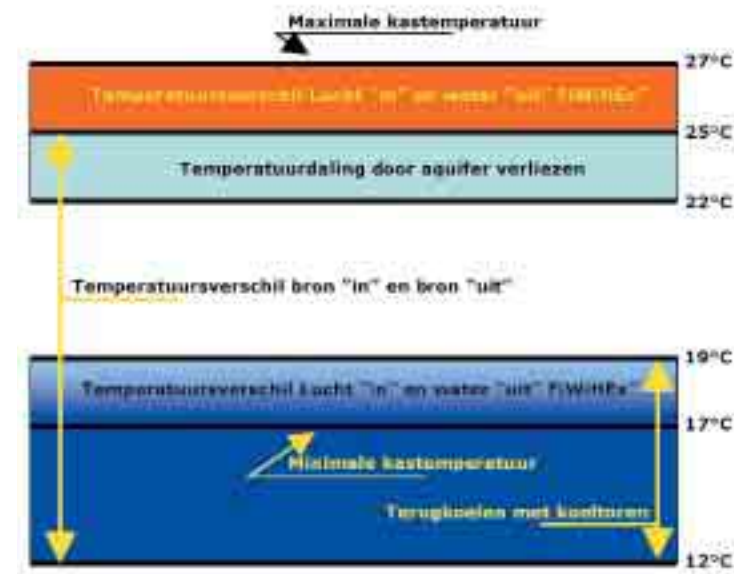
Een verwarmingsketel is thermisch gezien een oplossing, maar past niet zo goed in dit voorbeeld project.

De warmtepomp is al eerder als optie uitgesloten, echter kan later eenvoudig alsnog worden ingepast.

Alleen voor de WKC zijn er verschillende verdedigbare argumenten:

- Een WKC produceert elektriciteit;
- Een WKC kan CO<sub>2</sub> leveren;
- Een WKC is een erkend middel om CO<sub>2</sub> uitstoot te reduceren.

Voldoende argumenten om de WKC in het projectplan op te nemen.



Plaatsing van een microturbine is door de kwaliteit van de rookgassen (die zonder reiniging de kas in kunnen), goedkoper dan een zuigermotor met rookgasreiniging. Een bijkomend voordeel is dat door toepassing in het voorbeeld project, deze voor de tuinbouw nieuwe techniek aan kwekers getoond wordt.

## 2.10 Energiestromen

Voor de bepaling van de maximale energieopslag is gebruik gemaakt van het Test Reference Year (TRY) voor de Bilt. Het TRY is een samengesteld jaar met urengegevens. Uitgaande van het maximale koelvermogen van de FiWiHEX units zijn warmte winsten en verliezen per uur gesommeerd. Om de opslag te ontlasten is er van uitgegaan dat alle niet exporteerbare of bruikbare warmte via de koeltoren bij een "natte bol" buitentemperatuur onder 10°C wordt afgevoerd. Het resultaat staat in onderstaande figuur schematisch weergegeven. Er gaat in de zomer 230 MJ/m<sup>2</sup> de opslag in en wordt binnen het opslagseizoen weer voor verwarmen gebruikt en draagt daarom niet bij aan de grootte van de seizoensopslag.

In een studie met als onderwerp "ondergrondse energieopslagsystemen voor tuinbouwkassen door H.F. de Zwart en R.C. van Elswijk staat voor de bepaling van de hart op hart afstand van bronnen de formule:

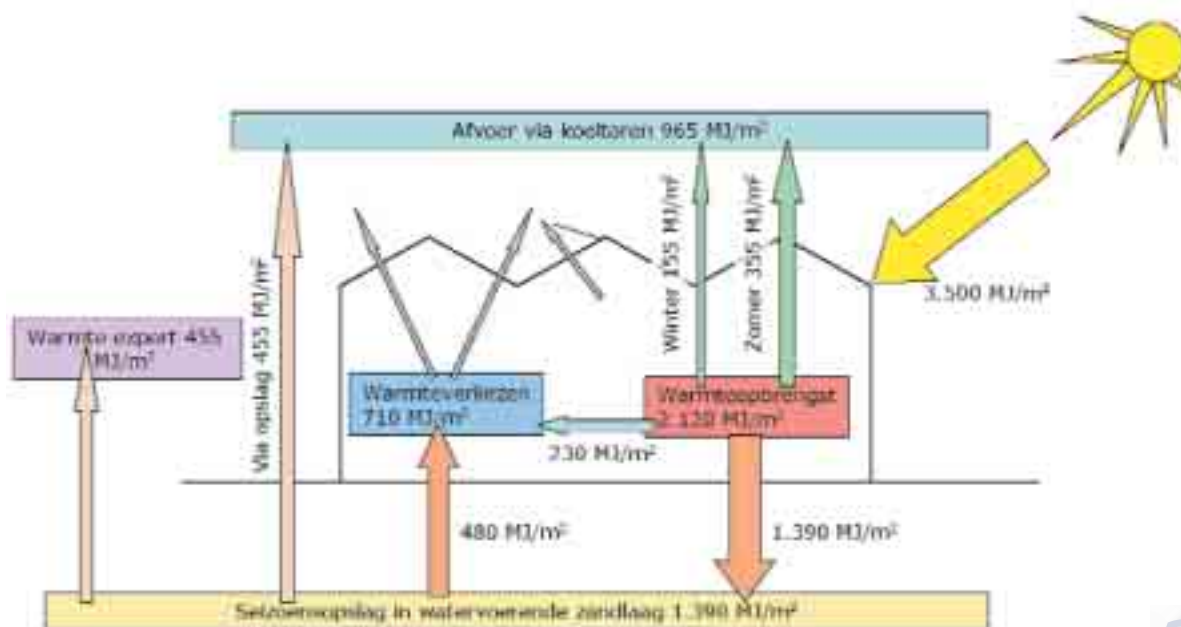
$$r_{th} = (1,55 \cdot Q / \Delta T \cdot H) - 2.$$

Hierin is Q het opslagvolume in de warme bron, dat is bij een kasoppervlak van 4.000 m<sup>2</sup> en een temperatuurverschil van 13K:  $(1.390 / 4,18 \cdot 13) \cdot 4.000 = 102.000 \text{ m}^3$   
H is de filterlengte, IF Technology geeft voor de locatie in Bleiswijk een filterlengte van 40 m<sup>1</sup>.

De thermische straal (r<sub>th</sub>) van de opgeslagen warmte wordt dan:  $(1,55 \cdot 102.000 / (13 \cdot 40)) - 2 = 35,5 \text{ m}^1$ .

Als afstand waarop de invloed tussen de bronnen acceptabel is wordt afstand 2\*r<sub>th</sub> - 3\*r<sub>th</sub> genoemd.

Bij het gemiddelde dus 2,5\*r<sub>th</sub> is dat  $2,5 \cdot 35,5 = 88,75 \text{ m}^1$ .



### 3.1 Inleiding

Op basis van alle argumenten en berekeningen uit het vorige hoofdstuk is een uniek ontwerp ontstaan. Alle mogelijkheden zijn benut om van de energieproducerende kas een succes te maken. Dit is slechts een voorontwerp en dient mogelijk als uitgangspunt voor een definitief ontwerp van een voorbeeldkas. Een kas voor een specifieke teelt leidt behoeft mogelijk een ander energieconcept dan in dit hoofdstuk omschreven.

### 3.2 De kas

De kas moet geschikt zijn voor bedekking met Lexan® ZigZagTM en Lexan® Thermoclear® in de gevels. Door enkele kassenbouwers is een dekconstructie ontwikkeld specifiek voor het ZigZag paneel. Deze constructie bestaat uit een regengoot met separate condensgootjes, een nokprofiel, profielen voor luchtramen en diverse bijbehorende constructieonderdelen.

Bij dit totale ontwerp is reeds rekening gehouden met:

- thermische uitzetting;
- met de afloop van het condenswater;
- met de stijfheid en doorbuiging van de panelen;
- alle zaken welke van belang zijn om een kwalitatief goede kas te bouwen.

Voor een concreet project op korte termijn is toepassing van deze dekconstructie noodzaak.

Nieuwe ontwikkelingen vergen veel tijd en komen daarom niet aan de orde. Als onderbouw van de Floriade kas (2002) zijn 8 meter traliespanten toegepast met een poothoogte van 5 meter en een vakmaat van 4,82 meter. Dit is een beproefd en betaalbaar concept.

De definitieve kasafmeting is gebaseerd op het gewenste kasoppervlak van 4.000 m<sup>2</sup>, de berekende bronafstand van ca. 88,75 m<sup>1</sup> en toepassing van het 8 meter traliespant onder het ZigZag dek.

De bronnen worden buiten de kas voor de kopgevels geboord. Deze uitgangspunten leveren de volgende kasafmetingen op: 6 \* 8 m<sup>1</sup> tralie bij 17 \* 4,82 m<sup>1</sup> vak en 5 m<sup>1</sup> poothoogte.

Het kasoppervlak wordt dan 3.933 m<sup>2</sup>.

Uitval van FiWiHEX units leidt onder zonnige omstandigheden tot plantschade. Een noodvoorziening in de vorm van luchtramen is daarom noodzakelijk. Met deze ramen kan tevens de vochtbalans in de kas hersteld worden. Dit is het geval als de ontvochtigingscapaciteit van FiWiHEX niet in overeenstemming is met de gewasverdamping. Ook kunnen luchtramen geopend worden om in de nacht de kastemperatuur te laten dalen zonder gebruik van bronwater.

Dubbelzijdige luchtramen hebben ten opzichte van enkelzijdige luchtramen nadelen:

- Zijn minder goede regelbaarheid bij kleine openingen;
- Door naden en kieren neemt de kaslek ook toe;
- Er is 2x zoveel insectengaas nodig.

Voor genoemde argumenten en het feit dat het een noodvoorziening betreft, rechtvaardigen de keuze voor enkelzijdig doorlopende luchtramen. Bij het ZigZag dek zitten de scharnieren op de nok.

### 3.3 Het teeltsysteem

Groente, bloemen, potplanten teelt men momenteel in:

- de vollegrond;
- potten of trays op betonvloeren;
- potten of trays op tafels;
- op de grond (in balen of steenwolmatten);
- in emmers;
- in bakken;
- in goten op steunen;
- in hangende goten;
- teeltroulatiesystemen.

Voor het transport tussen plantrijen (bedden) in bloemen of groente kassen worden vaak verwarmingsbuizen gebruikt (buisrailsystemen). Ook is er 0,5 meter vrije hoogte nodig.

Voor het transport van retourlucht naar de FiWiHEX units is het noodzakelijk dat het systeem "open" is. Het systeem mag geen "gesloten" vlak vormen. Er moeten openingen tussen het gewas zitten. FiWiHEX units zijn daarom alleen te combineren met de teelt op tafels en op teeltroulatiesystemen.

Een teeltroulatiesysteem is een systeem waarbij op "containerframes" potplanten of met substraat gevulde bakken of goten zijn geplaatst. De "containerframes" bewegen over railbuizen in de lengterichting van de kas. Aan beide kopeinden is de beweging tegengesteld van elkaar zodat een rondgaande beweging gemaakt kan worden. Het systeem heeft buffer en/of rangeermogelijkheden en sluit aan op transport en/of bewerkingssystemen.

Er komen op dit moment steeds meer roulerende systemen op de markt. Proeven worden gedaan met systemen voor productiegewassen zoals gerbera, roos, paprika en in Finland ook al komkommers en tomaten.

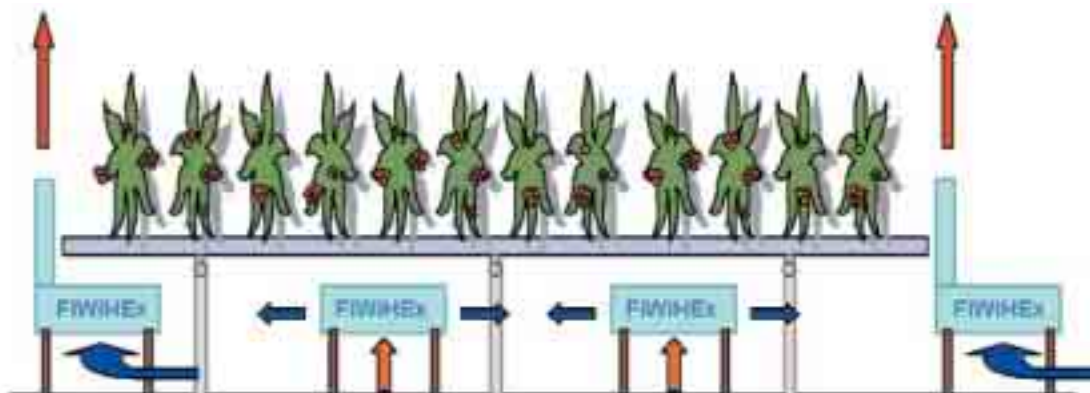
In de potplantenteelt zijn soortgelijke systemen al jaren in gebruik.

Teeltroulatiesystemen lijken ook voor productiegewassen toekomst te hebben om de volgende redenen:

- Door het hoge energiegebruik moet de kas efficiënter gebruikt worden.
- De kassen worden steeds groter en daardoor: grotere loopafstanden, slecht zicht op de stand van het gewas, slecht zicht op het personeel, nu al investeren in transportsystemen.
- Het systeem spaart arbeid, dat is noodzakelijk omdat: de beschikbaarheid van personeel afneemt, de kwaliteit van het personeel afneemt, personeelskosten hoog zijn.
- Het verder automatiseren van het planten, oogsten en onderhouden gewassen eenvoudiger wordt, denk aan: robotisering, scannen en selectief ziekten en plagen bestrijden.
- De combinatie van "koud" telen en "energie intensief" telen van hetzelfde gewas mogelijk wordt, dus meer telen op markt vraag (o.a. op snee zetten).
- Maakt verbeteringen aan arbeidsomstandigheden mogelijk.
- Maakt verfijningen en verbeteringen aan teeltroulatiesystemen mogelijk.

Bloemen en groenten worden in rijen geteeld. Aanpassingen aan de teelwijze zodat deze gewassen op tafels geteeld kunnen worden, bieden geen voordeel en hebben daarom geen toekomst.

Een voorbeeldkas moet kwekers van zo veel mogelijk teelten interesseren. Dus moeten er verschillende teelten getest kunnen worden. Met het oog op de toekomst en omdat de teelt op tafels het gebruik van een voorbeeldkas te veel beperkt, moet voor een teeltroulatiesysteem worden gekozen.





Bijkomend voordeel kan zijn dat de kas ook gebruikt kan worden voor het testen van nieuwe uitvoeringen van containerframes. Een aandachtspunt bij het definitieve ontwerp van het systeem is het gegeven dat de containers geen "gesloten" vlak mogen vormen. Er moet voldoende retourlucht tussen containers en planten door naar FiWiHEX units kunnen worden aangevoerd.

Bij teeltroulatiesystemen moet het product kunnen worden bewerkt, gerouleerd en/of getransporteerd aan een kopgevel.

De kas moet aan een kopgevel van een betonpad zijn voorzien.

### 3.4 Plaatsing FiWiHEX

Per vak van 4,82 x 8 meter komen 10 FiWiHEX units. Langs een kant van de spantpoten lopen drainwater afvoergoten en een watertoevoersysteem. Aan de andere kant van de spantpoten komen zes FiWiHEX units. Deze units hebben een verticale uitblaasopening tussen de containerframes. De overige units worden midden onder de containerframes geplaatst en blazen rondom uit. Zie ook de figuren hiernaast en op de vorige bladzijde.

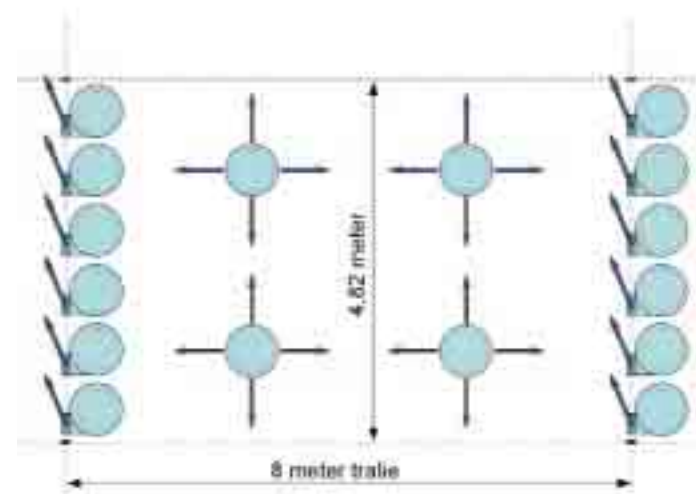
Deze opstelling is zo gekozen omdat de luchtcirculatie door en langs planten bij beperkt verwarmen en tijdens ontvochtigen met naverwarmen daardoor wordt verbeterd. Aan de buitenzijgevels en de buitenkopgevels komen extra FiWiHEX units ter dekking van gevelverliezen.

In totaal komen in de kas van 3.933 m<sup>2</sup> oppervlak 1.130 FiWiHEX units en dat is een FiWiHEX per 3,5 m<sup>2</sup>. De ondersteuning van de FiWiHEX units kan bestaan uit een geprofileerde bodemplaat en pennen die in de grond gestoken worden (zoals teeltsteunen onder goten). Om beschadiging door schuren van scherpe steunranden langs de FiWiHEX units te voorkomen, wordt tussen steun en FiWiHEX rubber aangebracht.

### 3.5 Water en bemestingssysteem

Eb en vloed systemen bij containertafels voor de teelt van potplanten zijn al jaren in gebruik.

Dat geldt ook voor spuitbomen bij zaaigoed of jonge planten en vormen van bovenberegening bij bolgewassen. Echter water en bemestingssystemen voor het telen in substraatgoten op containerframes zijn nog volop in ontwikkeling. Bij toepassing van deze nieuwe systemen moet rekening worden gehouden met de uitblaasopeningen van de FiWiHEX units tussen de containerframes. Het retour of drainwater kan via open goten en PVC buizen naar de drainwatertank worden afgevoerd.





### 3.6 Bronnen

#### Regelgeving voor koude/warmteopslag

De provincie Zuid Holland hanteert de volgende beleidsrichtlijnen:

- Er mag geen verzilting van zoet water optreden;
- Er mag geen netto warmtelozing plaatsvinden.
- Warmteopslag boven gemiddeld 25°C mag geen biologische of chemische gevolgen hebben.

#### Bodemopbouw

IF technology heeft onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van warmteopslag op locatie Bleiswijk.

Er is een 1e watervoerende laag tussen 10 en 40 m-mv en een 2e tussen 46 en 115 m-mv.

De zoet/zilt grens bevindt zich 38 m-mv, dus in de 1e watervoerende. Regelgeving staat warmteopslag in deze laag niet toe.

Voor de uitvoering van de bronnen moet meer inzicht verkregen worden in de dikte van de 1e scheidende laag en de geschiktheid van de 2e en 3e watervoerende laag. IF technology adviseert een proefboring tot 200 m-mv.

#### Grondwaterstroming, temperatuur en kwaliteit

De grondwaterstroming in de 2e laag is zeer gering omdat de locatie zich in de nabijheid van een stijghoogte minimum.

De temperatuur verloopt tussen 45 en 95 m-mv van 10,8 naar 11,7°C.

De zoet en ziltwater grenslaag bevindt zich wel bovenin de 2e laag, de provincie staat gebruik van dit water voor opslag wel toe.

In verband met de aanwezigheid van methaangas dient een overdruk van 1,5 Bar(o) in systeem te worden gehandhaafd.

#### Globale dimensionering bronnen

Uitgangspunten voor de dimensionering van de bronnen zijn:

- Opslag in de 2e watervoerende laag;
- Een geschatte doorlaatbaarheid van 12 m/d geschat is;
- Een brondebiet van maximaal 170 m<sup>3</sup>/uur, dit is het totale debiet van en naar de bronnen.

IF technology stelt voor 2 warme en 2 koude bronnen (doublet) met een diameter van 1 meter tot een diepte van 120 meter te boren.

De filterlengte moet op basis van voornoemde uitgangspunten 40 meter bedragen.

### 3.7 Koeltoren

#### Werking

Een koeltoren is een efficiënt middel om water terug te koelen met buitenlucht. Het principe staat hiernaast weergegeven.

De werking is als volgt:

In een behuizing bevindt zich een luchtdoorlatend labrynt (massa) met een groot contact oppervlak waarover tegen de luchtrichting in water wordt gesproeid.

Het water vormt een film op het labryntoppervlak en verdampt.

De benodigde verdampingsenergie wordt aan het water onttrokken en koelt daardoor af.

Het retourwater uit de koeltoren onttrekt via een warmtewisselaar warmte aan het bronwater.

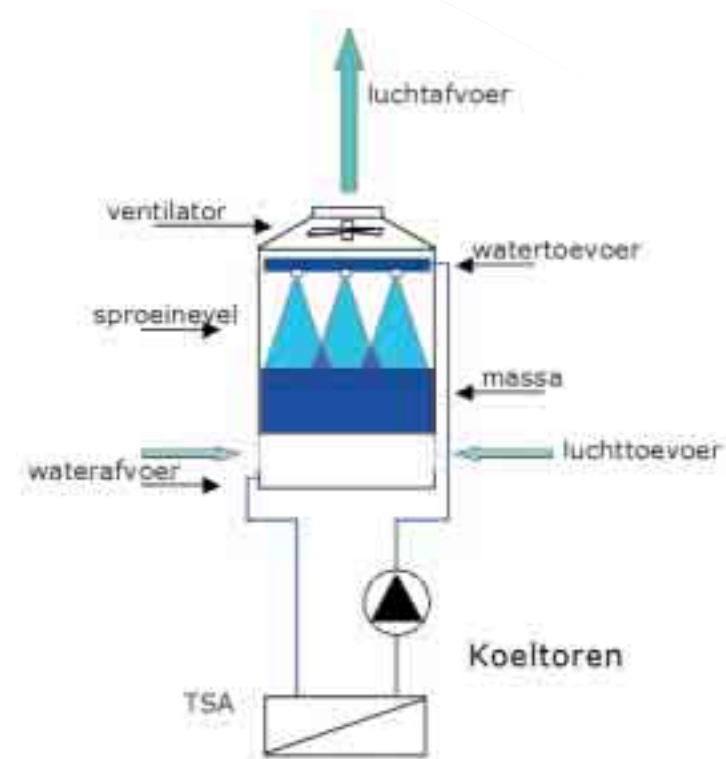
#### Kengetallen per kW koeling

- luchtdebiet: 700 - 1000 m<sup>3</sup>/uur
- waterverbruik: 1 - 2 liter/uur
- elektra: 1 - 2 %

#### Globale dimensionering

De koeltoren moet het debiet van een bron (85 m<sup>3</sup>/h) bij een "natte bol" buitentemperatuur van 10°C kunnen terugkoelen van 19°C naar 12°C.

Het koelvermogen is dan:  $85/3600 \cdot 980 \cdot 4,18 \cdot (19-12) = 677 \text{ kW}^{\text{th}}$ .



### 3.8 Warmte Kracht Combinatie (WKC)

#### Werking

Het hart van de WKC wordt gevormd door een microturbine.

In deze microturbine wordt aangezogen lucht gecomprimeerd.

De aanzuiglucht komt warmer uit de compressor en wordt nog verder verwarmt door rookgassen via recuperatie. Aan de verbrandingskamer wordt gas toegevoerd en met zuurstof uit de lucht verbrand.

De gecomprimeerde en hete rookgassen expanderen in de turbine.

Compressor, turbine en een generator bevinden zich op een as en roteren met snelheden tot 100.000 rpm.

De netto opgewekte hoeveelheid kracht wordt in de generator omgezet in elektriciteit. Een deel van de restwarmte wordt via een rookgassenkoeler en een warmtewisselaar aan het bronwater afgegeven.

#### Kengetallen

luchtovermaat:	6 – 7,5
W/K verhouding:	1,5 – 2
elektrisch rendement:	26 – 30%

#### Globale dimensionering

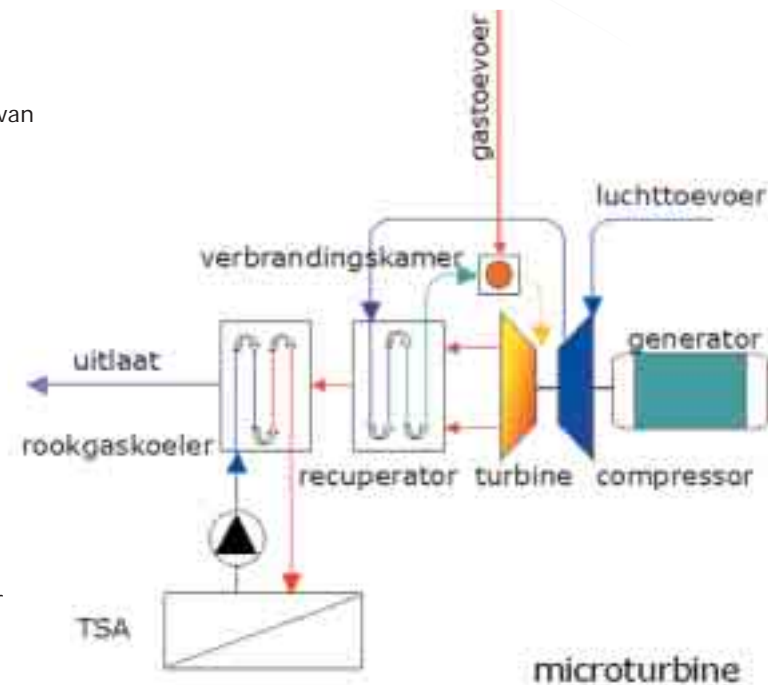
De WKC wordt gedimensioneerd op maximale CO<sub>2</sub> behoefte.

Voor de meeste teelten is het handhaven van 800 ppm CO<sub>2</sub> in de kaslucht een goed ontwerp uitgangspunt.

Als de CO<sub>2</sub> opname van het gewas 7 gr/m<sup>2</sup>\*uur is en de kas gesloten, dan moet per hectare per uur 47 m<sup>3</sup> aardgas worden verbrand en aan de kas toegevoerd. Van de toegevoerde hoeveelheid CO<sub>2</sub> wordt 86% (tijdelijk) in de planten vastgelegd.

De meerproductie door het aanhouden van een hogere CO<sub>2</sub> concentratie dan het buitenluchtniveau, kan gezien worden als een kleine vermindering van de CO<sub>2</sub> uitstoot. Voor een kas van 4.000 m<sup>2</sup> moet 0,4\*45 = 18,5 m<sup>3</sup>/uur aardgas worden verbrand.

Bij een rendement van 28% is een microturbine met een vermogen van  $0,28 \cdot 8,8 \cdot 18,5 = 45,5$  kW groot genoeg.



### 3.9 Dakberegening en/of scherminstallatie

Het maximale vermogen onder natte omstandigheden is 1.920 Watt per FiWiHEX ofwel  $1.920/3,5 = 550 \text{ Watt/m}^2$ .

Op zonnige dagen kan een thermisch vermogen tussen 650 – 700 Watt/m<sup>2</sup> door de zon in de kas gebracht worden.

Het tekort aan koelvermogen kan op 3 manieren worden ondervangen:

1. Door opening van luchtramen.
2. Door dakberegening.
3. Door een beschaduwend scherm.

Het streven is om de luchtramen gesloten te houden en daardoor CO<sub>2</sub> te sparen.

Alleen in noodsituaties luchten dus.

Bij een enkelglas dek is dakberegening een goedkope en goede optie.

De werking lijkt op het principe van de koeltoren. Er wordt een geringe hoeveelheid water op de kas beregend.

Door verdamping wordt warmte aan het glas onttrokken en kaslucht gekoeld. Een bijkomend voordeel is het feit dat het bladoppervlak via emissie naar het relatief koude glas straalt en daardoor afkoelt. Een lagere bladtemperatuur resulteert in minder verdamping en helpt mede bij scherpe overgangen in het lichtniveau plantstress voorkomen. De opname van het licht door de plant wordt niet beperkt en dus vermindert de groei niet.

Dakberegening is dus bij enkelglas een prima middel. Bij een goed isolerend dek zoals het ZigZag dek koelt de onderzijde van het dak veel minder en wordt het effect van dakberegening tot de helft gereduceerd.

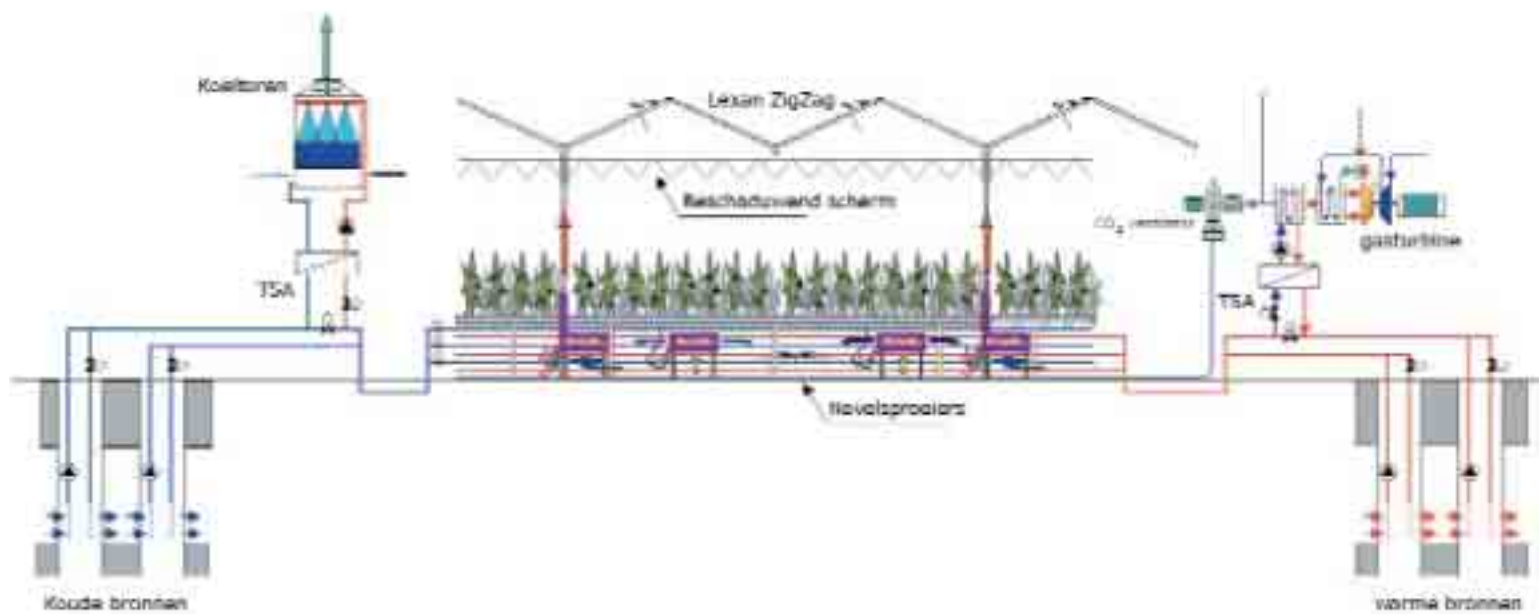
Dakberegening is relatief goedkoop (€1,50 / m<sup>2</sup>) en moet als extra daarom toch worden overwogen.

Het tekort aan koelvermogen moet daarom op extreme dagen door het gebruik van een beschaduwend scherm uit de kas worden gehouden. Het zonlicht mag niet door dit scherm worden geabsorbeerd, maar moet de kas uit worden gereflecteerd. Absorptie leidt tot temperatuur verhoging van het scherm en dus ook van de kaslucht boven het scherm.

Aan de onderzijde moet de emissie voor warmte straling naar het scherm worden tegengegaan. Het scherm moet zowel aan de bovenzijde als aan de onderzijde van reflecterend materiaal worden voorzien. De transmissiefactor voor het scherm moet laag worden gekozen. Veel open stroken in het scherm bevorderen het vochttransport en maakt beperkt schermen beter regelbaar.

### 3.10 Verneveling

Alleen als de aangezogen lucht naar de FiWiHEX units relatief vochtig is (85%) en de watertemperatuur laag (12°C) dan wordt het vermogen van 550 Watt/m<sup>2</sup> gehaald. Als te weinig bladverdamping plaats vindt, dan kan via een nevelinstallatie de lucht onder de containerframes en dus ook aan de intrede zijde van de FiWiHEX units worden bevochtigd. De werking is dan als volgt: door vernevelen worden fijne waterdeeltjes in de ruimte onder de containers gebracht. Deze verdampen en onttrekken daardoor warmte aan de kaslucht. Het vocht en dus ook de warmte wordt door condensatie in de FiWiHEX units weer aan de kaslucht onttrokken. Condenswater is schoon en kan weer worden hergebruikt in een van de watersystemen.



### 4.1 Inleiding

Onder de waterzijdige installatie verstaan we alle onderdelen om thermische energie tussen de bronnen aan de ene kant van de kassen door de FiWiHex units naar de bronnen aan de andere zijde heen en weer te transporteren. Ook de leidingsystemen van de levelinstallatie en de condenswaterafvoerleidingen worden in dit hoofdstuk behandeld.

De waterzijdige installatie moet het mede mogelijk maken om doelstellingen betreffende het kasklimaat en het energiegebruik te realiseren.

### 4.2 Het ontwerp

#### Gasvorming

Water in een aquifer (bronwater) staat onder druk en bevat gassen (methaan).

Wordt bronwater opgepompt in een "open" systeem dan komen deze gassen vrij, denk aan het openen van koolzuurhoudende frisdranken of bier. Dit wordt voorkomen door het systeem "gesloten" te houden en een overdruk van ca. 1,5 á 2 Bar te handhaven. Gassen in een installatie geven problemen met de doorspoeling, immers waar gas zit kan geen water stromen.

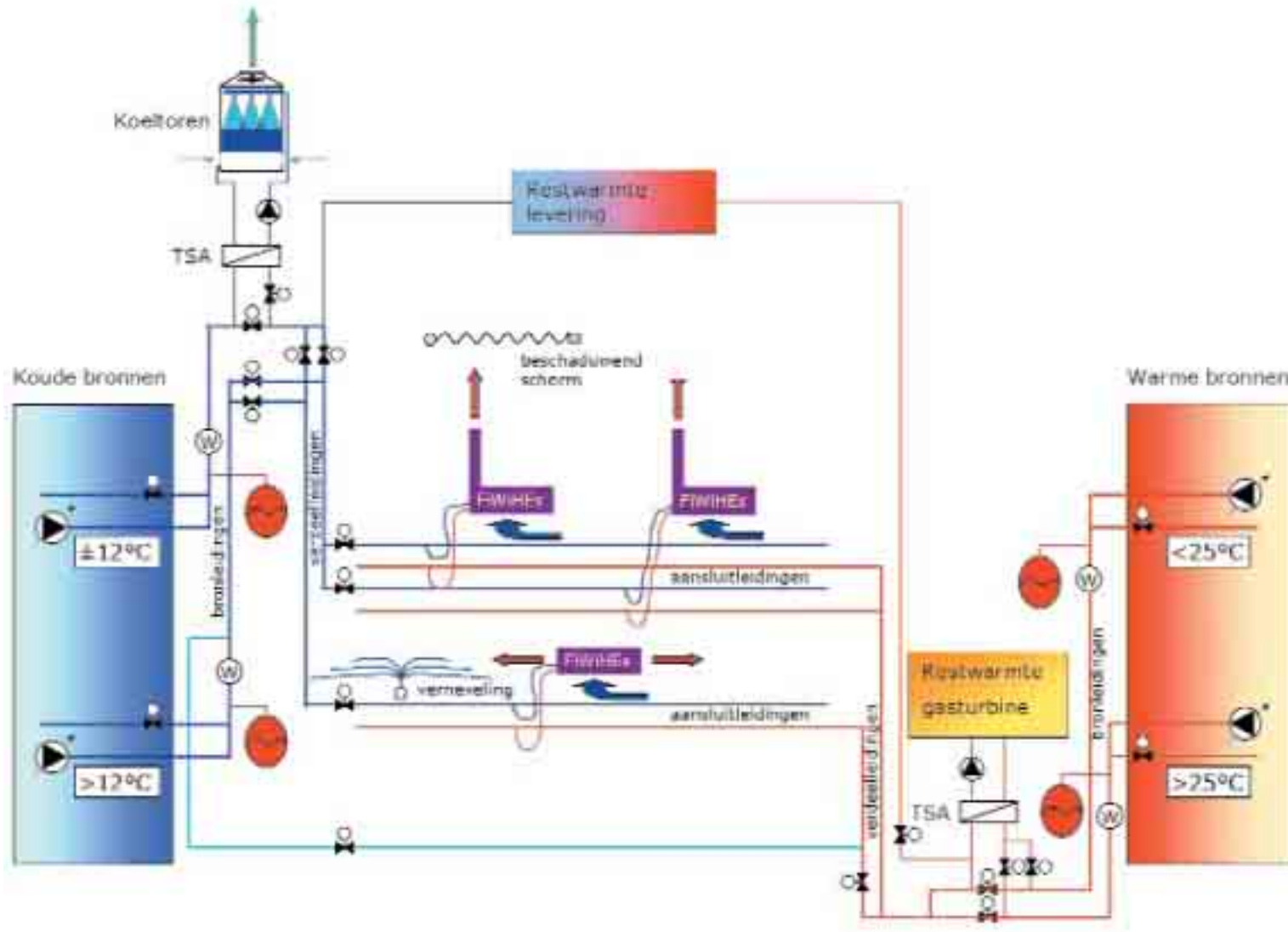
De regelafsluiters moeten diep in de bron en dicht bij de filterbuis geplaatst worden.

#### Functioneel ontwerp

Het schema op de volgende bladzijde geeft een systeem weer waarmee gestelde doelen kunnen worden bereikt. De kas kan worden gekoeld, verwarmd, ontvochtigd en eventueel gelijktijdig naverwarmd. Warmte overschotten kunnen aan de bedrijfsgebouwen bij de kas worden geleverd of eventueel zelfs aan derden. Ook kunnen de koude bronnen via de koeltoren verder worden teruggekoeld en de warme bronnen via de WKC worden naverwarmd.

Om temperatuursverschillen in de kas te voorkomen moeten de FiWiHex units gelijktijdig warmte leveren of warmte onttrekken. Bij gelijktijdig starten van de bronpompen en de FiWiHex ventilatoren, leveren de units dicht bij de pompen veel eerder warmte of koude aan de kas dan de units dicht bij de retourbronnen. Bij het opstarten wordt het water eerst rondgepompt en daarna komen de FiWiHex units in bedrijf.

Schema FIWiHEx installatie



### Bronleidingen

Het leidingontwerp zorgt er voor dat het water altijd dezelfde leidingweerstand ondervindt. Het maakt daarbij niet uit welke wisselaar het water van bron naar bron doorstroomt. Doordat de installatie hydraulisch in balans is, hoeft er niet meer ingeregeld te worden met instelafsluiters of smoorplaatjes. Zoals het schema principematig weergeeft, dienen de bronnen aan beide zijden van de kas onderling in serie en op het systeem in de kas overhoeks te worden aangesloten. De leidingdiameters worden geselecteerd op een maximale stroomsnelheid in de bronleidingen van 2 m/s. Voor een debiet van 170 m<sup>3</sup>/h moet de leiding  $\varnothing$ 250 mm zijn. Elke bron is voorzien van een in toerental regelbare pomp en een regelafsluiter onderin de infiltratiebuis.

### Verdeelleidingen

Vanaf de bronleidingen en langs beide kopgevels van de kas komen twee verdeelleidingen. Op een daarvan worden de aansluitleidingen voor de FiWiHex units tussen de poten onder de goot aangesloten en op de andere de units onder het containersysteem. De units onder de goot worden (per 50%) om en om aangesloten op aparte aansluitleidingen. Per kap komen in de lengterichting van de kas zes aansluitleidingen. Drie aansluitleidingen worden aan de ene kopgevel aangesloten op de warme verdeelleidingen en de andere drie aan de andere kopgevel op de koude verdeelleidingen. Het ontwerp van de verdeelleidingen en de aansluitleidingen is van grote invloed op de waterzijdige balans in de installatie. Hoge watersnelheden ter hoogte van aansluitingen veroorzaken door venturiwerking onbalans. Als uitgangspunten voor de leidingselectie worden dezelfde normen gehanteerd als gebruikelijk is bij het ontwerpen van kasverwarmingsinstallaties. Voor dit ontwerp hebben wij de leidingen geselecteerd op een maximale drukval van 120 Pa/m. De verdeelleidingen verlopen van  $\varnothing$ 160 mm naar  $\varnothing$ 90 mm en de aansluitleidingen van 75 naar 50 mm.

### Aansluiting FiWiHex

De watervoerende delen in de FiWiHex units hebben zeer kleine diameters en zijn daarom gevoelig voor vervuiling. Alle units zijn parallel aan elkaar aangesloten. Onderlinge verschillen in waterzijdige weerstand veroorzaken verschillen in waterhoeveelheid per unit. Hier moet aandacht aan worden besteedt omdat de waterhoeveelheid per unit niet geregeld wordt. Verschillen in waterhoeveelheden leiden lokaal tot lagere of hogere kasluchttemperaturen dan gewenst. Nevenstaande grafiek is gebaseerd op metingen aan handmatig geproduceerde units en is dus slechts indicatief. Bij de ontwerpwaterhoeveelheid per unit van 2,5 l/min (= 4 ml/s) is de drukval over een FiWiHex unit slechts 820 Pa. Door aansluiting van de units met PE slang (12 x 9 mm) van ca. 1 meter wordt de weerstand per unit inclusief aansluitleidingen ca. 2.500 Pa. Door te kiezen voor een hoge weerstand in de PE slangen worden de onderlinge weerstandsverschillen tot een derde teruggebracht.



### Materiaalkeuze

Het systeem voert bronwater, staat onder druk en de bronwatertemperatuur varieert tussen 12°C en 25°C. De kasluchttemperatuur varieert tussen 17°C en 27°C en is vochtig. Op koude leidingen zal condenswater worden gevormd. Economisch gezien is het niet zinvol leidingen te isoleren. De toepassing is vergelijkbaar met thans gangbare systemen voor grondkoeling. De daarin toegepaste materialen kunnen dus ook gebruikt worden in het systeem van de energieproducerende kas. Bij grondkoeling wordt het leidingwerk uitgevoerd in PVC beregeningsbuis (drukklasse 100HPa) met mofeinde. Leidingen en hulpstukken worden verlijmd, manchetverbindingen zijn ongeschikt voor deze toepassing. Als afsluiters in hoofdverdeelleidingen kunnen PVC vlinderkleppen worden toegepast en in de aansluitleidingen PVC kogelkranen. In het ontwerp is voorzien in een systeem met teeltcontainers waarin perslucht wordt verbruikt. Voor de aandrijvingen op afsluiters is daarom voor pneumatiek gekozen. Lekkages in PVC systemen treden meestal op bij aansluitingen. Omdat op alle leidingen in de kas aansluitingen zitten, is het raadzaam het leidingwerk op de grond aan te brengen. Onder de teeltcontainers en de FiWiHEX units is daar voldoende ruimte voor. Nagegaan dient te worden of het op leidingen gevormde condenswater problemen kan geven in de teelt (ziekten). De bronaansluitingen en de regelafsluiters moeten degelijk worden uitgevoerd. Hiervoor wordt roestvrij staal toegepast.

### 4.3 Massabalans bronnensysteem

In het systeem zijn vier watermeters en aan elkaar gekoppelde temperatuuropmeters opgenomen. Door sommatie kan berekend worden of het systeem qua massa in balans is of dat er per saldo bronwater gebruikt of geïnfilteerd is.

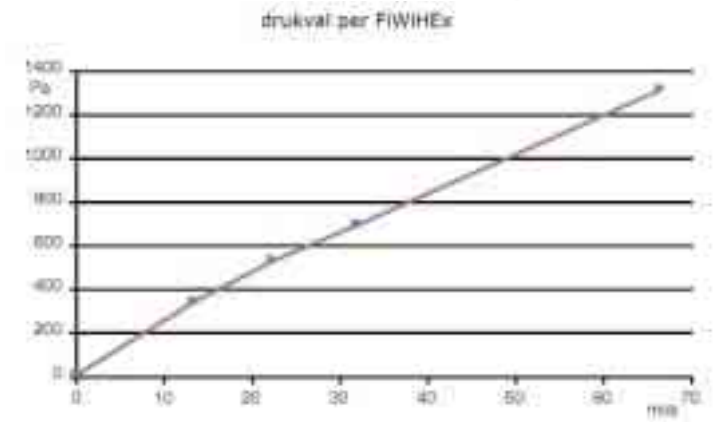
### 4.4 Condenswaterafvoerleidingen

Tijdens zomerbedrijf wordt een groot deel van het latent vermogen door de FiWiHEX units aan de kaslucht onttrokken. Het gevormde condenswater wordt via een PE slang en/of PVC buis naar een drainwatergoot afgevoerd. De drainwatergoot hoort bij de watertechnische installatie.

### 4.5 Nevelinstallatie

De nevelinstallatie bestaat uit PVC aanvoerleidingen (75 HPa) en stralen van 16 mm PE slang. De stralen worden onder de teeltcontainers opgehangen aan gespannen staaldraad en lopen evenwijdig aan de spanten.

Per vak van 4,82 x 8 m<sup>1</sup> komen 4 mist-pulsators. Bij capaciteit van 4 l/h continu vernevelt de installatie 4,15 m<sup>3</sup>/h\*ha. Dat is ongeveer 50% van de maximale verdamping door een volgroeid gewas. Voor de watervoorziening is een hydrofoor installatie geschikt.



### 5.1 Inleiding

Voor het verhogen van de CO<sub>2</sub> concentratie in de kas worden de rookgassen uit verbranding van aardgas in een microturbine (WKC) gebruikt.

Twee voordelen van een microturbine als CO<sub>2</sub> bron:

- De rookgassen kunnen zonder extra reinigingsstappen de kas in.
- Het dauwpunt van waterdamp ligt op ca. 29°C. In de leidingen vindt dus geen condensatie plaats.

Een nadeel:

- Bij 50°C is het volume ca. 38 m<sup>3</sup>/kg CO<sub>2</sub> tegen 7 m<sup>3</sup>/kg bij gebruik van rookgassen uit een ketel. Het ontwerp is gebaseerd op een doseernorm van 47 m<sup>3</sup>/h\*ha. Dit is ruim voldoende om in een gesloten kas de concentratie op 800 ppm te houden.

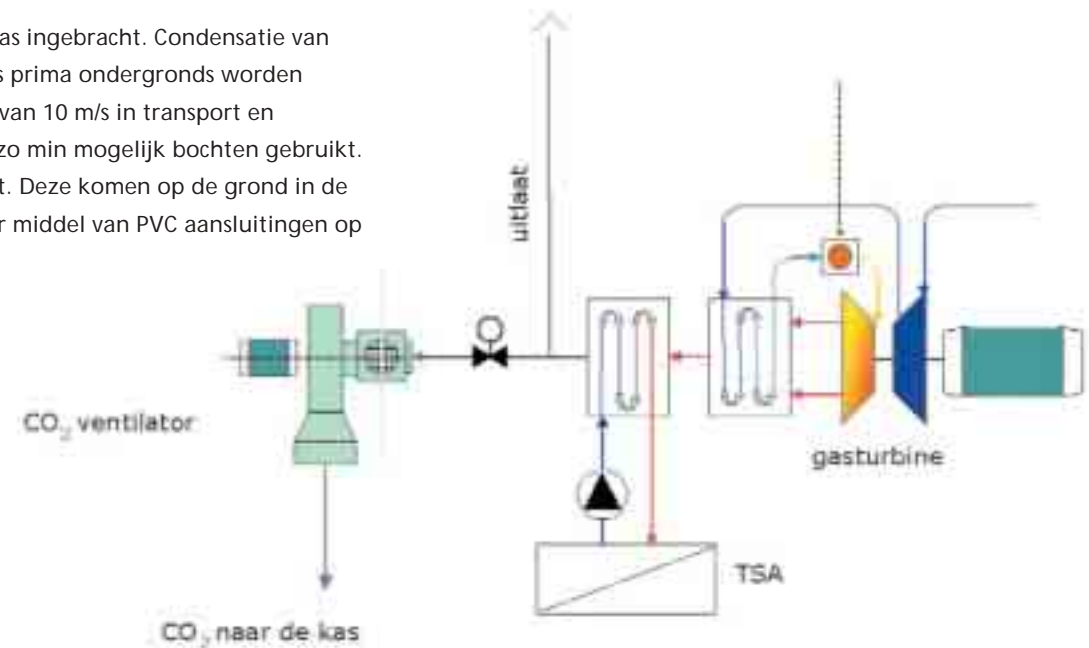
De lagere doseernorm van een gesloten kas ten opzichte van een standaard kas compenseert de lage CO<sub>2</sub> concentratie in de rookgassen. Zodat ten opzichte van de ketel per saldo bijna 2 maal zo veel rookgassen moeten worden getransporteerd.

### 5.2 Leidingwerk

De rookgassen worden door PVC transport en verdeelleidingen de kas ingebracht. Condensatie van waterdamp uit rookgassen is niet mogelijk, de leidingen kunnen dus prima ondergronds worden gelegd. Het ontwerp is gebaseerd op een maximale stroomsnelheid van 10 m/s in transport en verdeelleidingen en maximaal 7 m/s in de aansluitingen. Er worden zo min mogelijk bochten gebruikt. De rookgassen worden via geperforeerde darmen in de kas gebracht. Deze komen op de grond in de lengterichting van de kas. De darmen worden midden in de kas door middel van PVC aansluitingen op de ondergrondse verdeelleidingen aangesloten.

### 5.3 Ventilator

Voor het transport van rookgassen zijn de standaard verkrijgbare CO<sub>2</sub> ventilatorunits geschikt. De ventilator moet bij de gewenste hoeveelheid voldoende druk opbouwen om de darmen bol te blazen. De ventilator moet zo dicht mogelijk bij de uitlaat van de micro gasturbine worden opgesteld en met zo min mogelijk bochten worden aangesloten. Tussen de uitlaat en de ventilator komt een 100% sluitende klep. De figuur hiernaast geeft de aansluiting van de ventilator op de gasturbine schematisch weer.



### 6.1 Inleiding

De regeling van de energievoorziening van het voorbeeld project moet ervoor zorgen dat de volgende doelen behaald kunnen worden. Het voorbeeld project moet laten zien dat er nu al mogelijkheden zijn om de CO<sub>2</sub> emissie in de tuinbouw vergaand terug te dringen. Er moet daarom maximaal gebruik worden gemaakt van in de zomer geogoste warmte voor verwarming in de winter. Het netto brandstofverbruik moet op termijn tot nul kunnen worden gereduceerd. Het kasklimaat moet altijd naar de stand van het gewas kunnen worden geregeld. De klimaatregeling is een belangrijk hulpmiddel om productie te verhogen en energiegebruik te verlagen. De temperatuur van het geïnjecteerde bronwater moet binnen de bestuurlijk vastgelegde grenzen blijven. Na het eerste jaar moet de aquifer qua massa en temperatuur, over een jaar bezien, in balans zijn.

### 6.2 Regelsystemen (hardware)

#### Algemeen

Klimaatcomputers worden al jaren toegepast. De huidige systemen zijn de uitkomst van jarenlang innoveren. Momenteel worden klimaat en bemesting vanuit een systeem geregeld en bestuurd. Systeemdata wordt voor verder analyses opgeslagen en door tuinders onderling vergeleken. Ontwikkelingen zoals sapstroommeting, infraroodmeting en dergelijke, maken het mogelijk om steeds directer op het welzijn van de plant te sturen. Daarom kan de voorbeeldkas het beste geregeld worden met behulp van een moderne klimaatcomputer. Klimaatcomputers aanpassen aan het regelen van de energievoorziening in de energieproducerende kas is vooralsnog een onbetaalbare zaak. Als het concept van de energiebesparende kas meermalen gekopieerd wordt, komt de haalbaarheid van investeringen in standaard hard- en software in zicht. Voor het energiebeheer van de voorbeeldkas moet daarom maatwerk hard- en software worden ontwikkeld.

Omdat de energievoorziening draait om brontemperaturen, de onttrekkings en de infiltratiedebieten, noemen we dit in het vervolg van dit hoofdstuk "het bronmanagementsysteem".

Het is van belang dat het bronwater maximaal wordt opgewarmd en afgekoeld. Door de FiWiHex ventilatoren in toeren te regelen op maximale opwarming en uitkoeling kan veel energie worden bespaard. Door lokaal per FiWiHex te regelen wordt voorkomen dat het systeem beperkt wordt door verschillen in prestaties tussen de units.

### Klimaatcomputer

De klimaatcomputer regelt in principe het kasklimaat. Het beschaduwende scherm en de luchtramen worden rechtstreeks aangestuurd. De overige apparaten en systemen binnen de energievoorziening worden aangesloten op het bronmanagementsysteem. De communicatie verloopt via analoge en digitale in- en uitgangen. Bij alle gangbare klimaatcomputersystemen zijn er mogelijkheden om, met behulp van vrijprogrammeerbare beïnvloeding of klokprogramma's, wenswaarden via uitgangen naar externe systemen over te brengen.

Representatieve signalen voor de volgende wensen en waarden moeten via uitgangen worden geëxporteerd:

- Warmte meer/minder;
- Koude meer/minder;
- CO<sub>2</sub> meer/minder;
- "Natte bol" buitenluchttemperatuur;
- Kasluchttemperatuur;
- Kasluchtvochtigheid;
- Kasluchtvochtigheid te hoog -> ontvochtigen (FiWiHEX);
- Kasluchtvochtigheid te laag -> bevochtigen (verneveling).

Evenzo moeten een aantal waarden via ingangen aan de klimaatcomputer kunnen worden teruggekoppeld:

- % inzet FiWiHEX voor verwarmen;
- % inzet FiWiHEX voor koelen;
- % inzet FiWiHEX voor ontvochtigen;
- Ontvochtigen actief;
- WKC in bedrijf;
- Koeltoren in bedrijf.

Het ontkoppelen van het klimaat en de energievoorziening komt vaker voor in de tuinbouw.

Verschillende energieleveranciers hebben autonome regelingen in de aanbieding voor WKC, ketel en buffersturing. Voor de communicatie tussen klimaatcomputer en deze regelingen zijn diverse oplossingen bedacht die ook voor de communicatie tussen het bronmanagementsysteem en de klimaatcomputer gebruikt kunnen worden. Deze autonome regelingen zijn echter zelf ongeschikt om te worden omgevormd tot bronmanagementsysteem.

### FiWiHEx units

Lokaal per FiWiHEx unit worden 6 waarden gemeten: lucht "in", lucht "uit", water "in", water "uit" ( $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ), de luchtvochtigheid ( $\pm 4\%$ ) en het ventilatortoerental ( $\pm 5$  rpm). Alle metingen en de ventilatorvoeding zijn aangesloten op het hiernaast afgebeelde minuscule printplaatje.

Op het printje zit een 8 bits processor met 106 instructies per seconde. Datacommunicatie met het bron managementsysteem verloopt via een seriële verbinding. De units worden per 100 in serie aangesloten op een 6-aderige kabel.

Relevant voor het regelen van de FiWiHEx units zijn twee meetwaarden:

Lucht "in" en water "uit".

Het ventilatortoerental wordt op basis van drie externe signalen uit het bronmanagementsysteem op 3 verschillende wijzen integrerend geregeld:

1. Verwarmen: water "uit" op 1 á 2K boven lucht "in".
2. Koelen: water "uit" op 1 á 2K onder lucht "in".
3. Ontvochtigen: water "uit" op een vaste uitgaande temperatuur ( $18^{\circ}\text{C}$ ?).

De overige metingen dienen ter bewaking van de units. De verhouding toerental/lastcyclus zegt bijvoorbeeld iets over de lagering. Gemiddelde waarden kunnen als terugkoppeling van regelingen worden gebruikt.

### Bronmanagementsysteem

Het bronmanagementsysteem is tevens de computer (PC) waarop de lokale FiWiHEx processors zijn aangesloten. Het systeem bestaat uit standaard hardware en standaard ontwikkelsoftware.

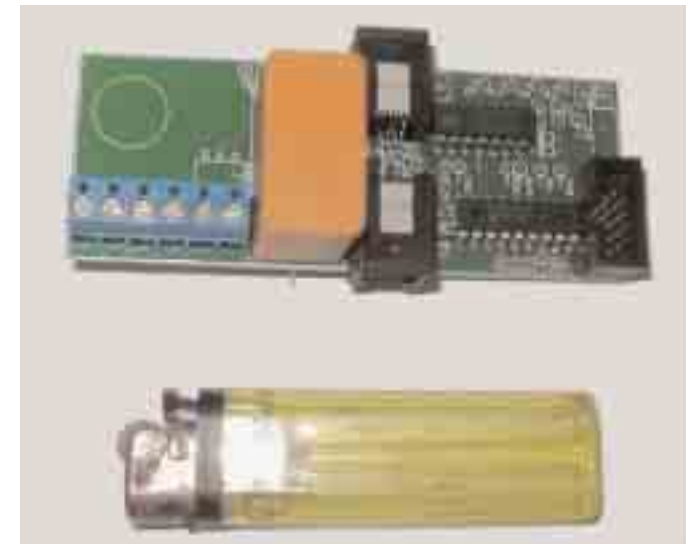
Een aantal eisen waaraan te ontwikkelen software moet voldoen staan in de omschrijving van de regeling in de paragraaf over bronmanagement regeling.

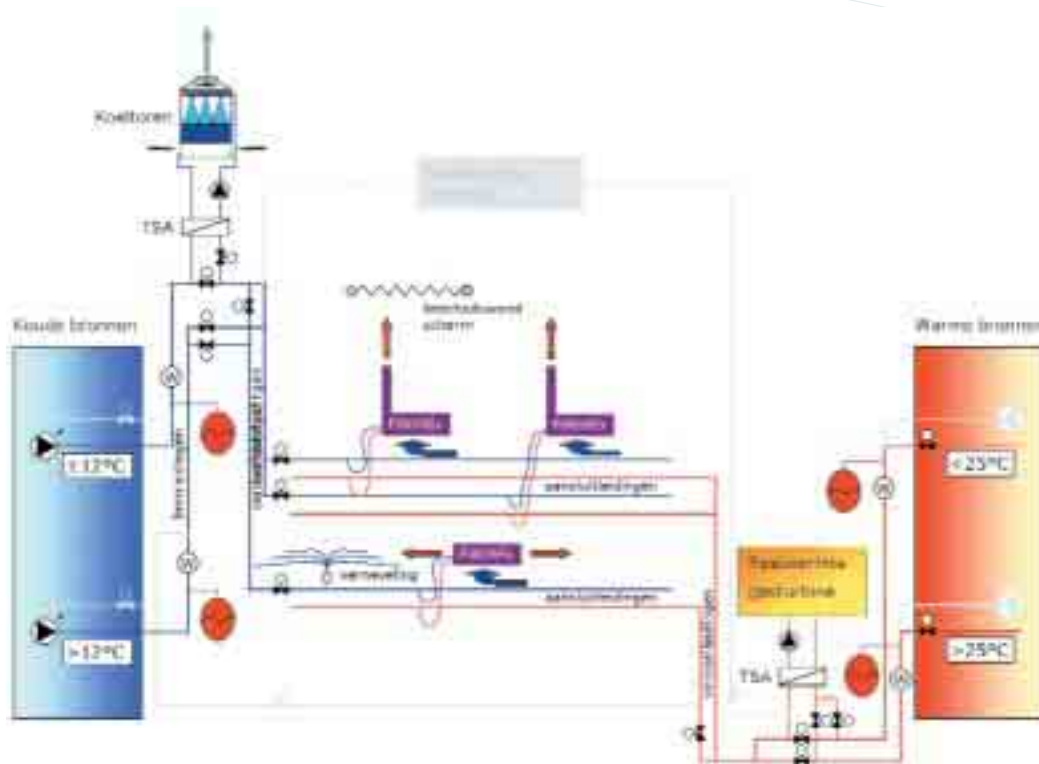
## 6.3 Kasklimaatregeling

### De maximale kastemperatuur

Als de zon de lucht in de kas tot boven een in te stellen maximale waarde heeft verwarmd, dan moet er warmte door de FiWiHEx units geogst gaan worden. De units moeten afhankelijk van zoninstraling vermogen aan de kas onttrekken.

Het vermogen wordt indirect geregeld door het moduleren van regelafsluiters in de retourleidingen.

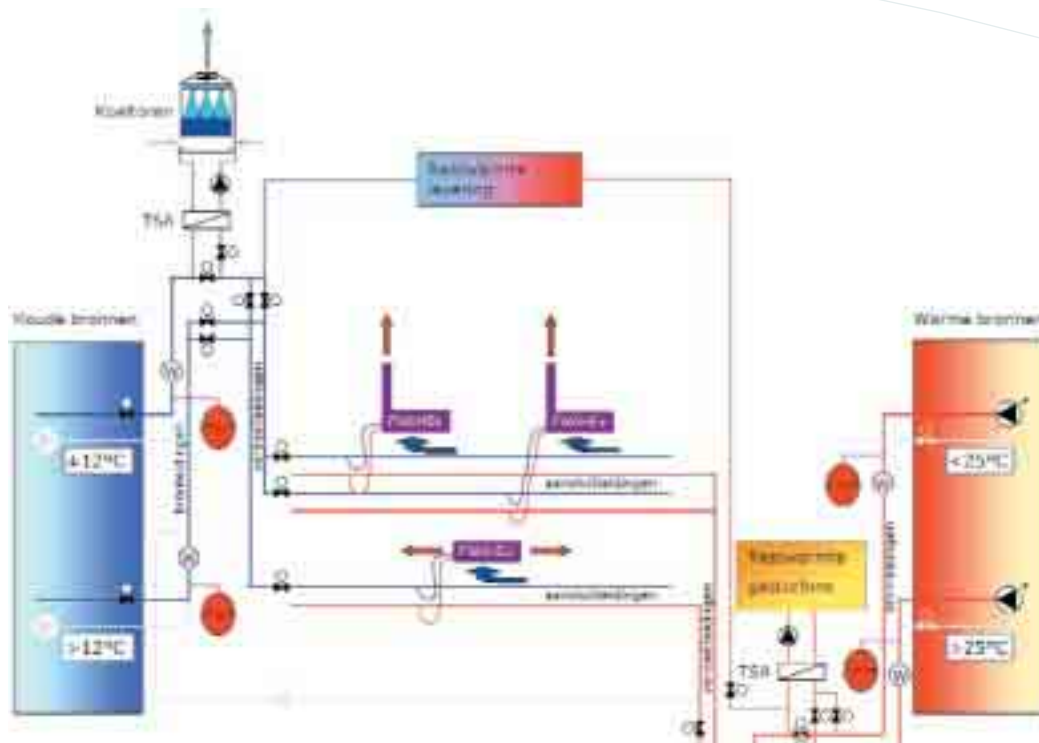




De toerenregeling van de pompen in de koude bronnen worden geregeld op de heersende druk in de installatie en daarmee ook automatisch de stroming door de FiWiHex units. De lokale FiWiHex regelingen zorgen voor maximaal opwarmen van het bronwater.

### De minimale kastemperatuur

Als de kastemperatuur daalt onder een in te stellen minimale waarde (18°C?), dan moet er warmte door de FiWiHex units aan de kas worden geleverd. Het vermogen wordt nu ook indirect geregeld, echter nu door moduleren van regelafsluiters in de retour van de koude bronnen. Als de minimale kastemperatuur in de nacht niet gehaald wordt, dan moet het beschaduwende scherm worden dichtgetrokken. De toerenregeling van de pompen in de warme bronnen regelen op de heersende druk in de installatie en daarmee ook automatisch de stroming door de FiWiHex units. De lokale FiWiHex regelingen zorgen voor het maximaal afkoelen van het bronwater.

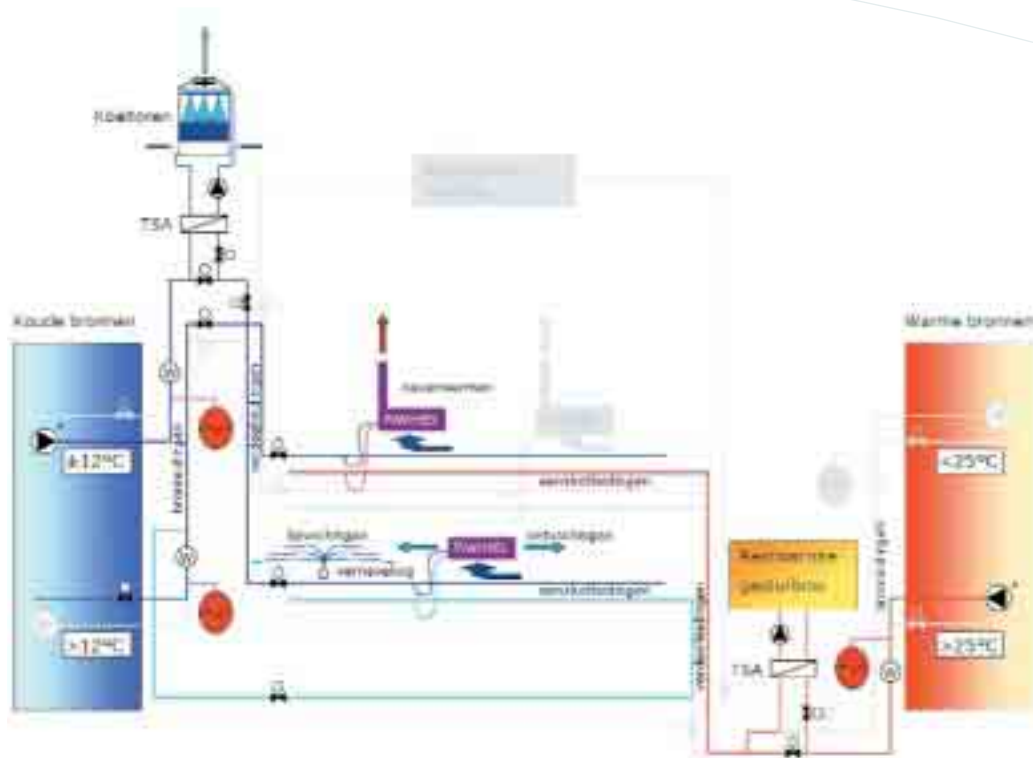


### Etmaal temperatuurgemiddelde

Het etmaal temperatuurgemiddelde is de gemiddelde kasttemperatuur berekend over afgelopen 24 uur. Het betreft een voortschrijdend gemiddelde. Als het etmaal temperatuurgemiddelde hoger of lager is dan instelbare waarden, moet er gekoeld of verwarmd worden. Als er warmte of koude gebruikt wordt om het etmaal temperatuurgemiddelde te verhogen of te verlagen, dan zit de kasttemperatuur tussen de minimale en de maximale waarde. Het uit de kas komende water is dan nog te warm of te koud. Afhankelijk van het buitenklimaat moet het in de kas al afgekoelde water verder worden teruggekoeld met de koeltoren en tijdens koelen verder worden opgewarmd met WKC warmte (uit de gasturbine).

### Luchtvochtigheid

Als de luchtvochtigheid in de kas hoger wordt dan een instelbare waarde, dan moet er ontvochtigd worden. Dit wordt gedaan met de FiWiHex units onder de teeltcontainers. Het streven is om zo veel



mogelijk vocht uit de lucht te condenseren en gelijktijdig ook proberen om de lucht zo min mogelijk af te koelen. Daarom moet het koudste bronwater door de units worden gestuurd. De lokale FiWiHex regeling moet het water laten opwarmen tot een instelbare waarde zodat het naar de warmste koude bronnen kan worden teruggevoerd.

In het schema hiernaast staat dit principe weergegeven. De lichtblauwe lijn representeert de retourwaterstroom. Als de kasttemperatuur tijdens ontvochtigen lager wordt dan de minimale kasttemperatuur of het etmaal temperatuurgemiddelde dreigt te laag te worden, dan moet met units onder de goot worden (na)verwarmd.

Als de kasluchttemperatuur te droog dreigt te worden, moet de verneveling kunnen worden aangestuurd.



### Horizontale en verticale temperatuursverschillen

De FiWiHEX units verplaatsen elk maximaal ca. 0,25 kg/s. Omgerekend is dat ca. 750 m<sup>3</sup>/h van 20 °C. Bij plaatsing van een FiWiHEX unit per 3,5 m<sup>2</sup> en bij een gemiddelde kashoogte van 5,7 m, gaat elke m<sup>3</sup> kaslucht per uur 37,5 maal door een FiWiHEX unit. Verticale temperatuursverschillen worden door luchtverplaatsing met de FiWiHEX units voorkomen.

Dat gaat ook voor een groot deel op voor horizontale temperatuursverschillen. Het klimaat kan aan beide kopgevels door aanwezigheid van betonpaden afwijken van het gemiddelde kasklimaat. Plaatsing van extra FiWiHEX units langs alle gevels moeten de gevel verliezen compenseren. Bij gelijktijdig starten van bronpompen en de FiWiHEX ventilatoren kunnen wel horizontale temperatuursverschillen ontstaan. Units dicht bij de pompen leveren eerder warmte of koude aan de kas dan de units bij de actieve retourbronnen. Dit kan worden voorkomen door het systeem eerst te doorspoelen. De FiWiHEX units mogen dan pas vrijgeven worden als de watertemperatuur nabij de retourbronnen de temperatuur van het aangevoerde benadert.

### CO<sub>2</sub> bemesting

De CO<sub>2</sub> is dus afkomstig uit een microturbine, het vermogen van deze microturbine moet op CO<sub>2</sub> behoefte worden gemoduleerd.

De klimaatcomputer moet dus in plaats van het aan/uit sturen van een CO<sub>2</sub> ventilator de microturbine door middel van een analog signaal of 3-puntssturing in vermogen laten variëren.

## 6.4 Bronmanagementregeling

Het bronmanagementsysteem moet voorzien in:

Vrijgave van bronpompen voor het op druk houden van het systeem. De drukmetingen worden rechtstreeks op de toerenregelaars aangesloten. Elke regelaar krijgt een eigen drukmeting.

Expansievaten reduceren het aantal starts en stops van de pompen.

Vrijgave van bronpompen in volgorde van lager naar hoger exergie niveau ten opzichte van de kasluchttemperatuur. Als input hiervoor dient een extern signaal voor warmte of koudevraag.

Vrijgave van pompen in de koudste bron op basis van een extern signaal voor ontvochtiging.

Het modulerend regelen van regelafsluiters in retouraansluitingen van de bronnen op basis van een extern signaal voor warmte of koudevraag of voor ontvochtiging.

Het open of dicht sturen van de afsluiters in de verdeelleidingen en de aansluitleidingen in de kas op basis de gewenste bedrijfstoestand. Bedrijfstoestanden zijn: verwarmen, koelen, ontvochtigen, naverwarmen, afvoeren warmteoverschot aquifer via koeltoren, koelen WKC.

Het registreren/bufferen van waterhoeveelheden welke door watermeters (bi-directioneel) worden

gemeten. De watertemperatuur wordt bij de watermeters gemeten door onderling geijkte temperatuuropnemers. Op basis van deze meetgegevens moet het systeem per jaar de massa en energiebalans berekenen. Nagegaan moet worden of regelgeving door de overheden enkelvoudige metingen en energieberekening ten opzichte van een vaste referentiewaarde toestaat. Vrijgave van de koeltoren op een extern signaal: als er meer warmte uit de kas wordt onttrokken dan een instelbare waarde en de "natte bol" buitentemperatuur is beneden een instelbare waarde. Of: het water uit de kas is onvoldoende uitgekoeld tijdens verwarmen boven een instelbaar vermogen. Of: op een instelling om de jaarenergiebalans van de aquifer te herstellen. Starten van de WKC voor warmtelevering als het bronwater in de warme bron te koud is voor kasverwarming of restwarmte levering. Genoemde externe signalen moeten uit de klimaatcomputer komen.

## 6.5 WKC regeling

### Algemeen

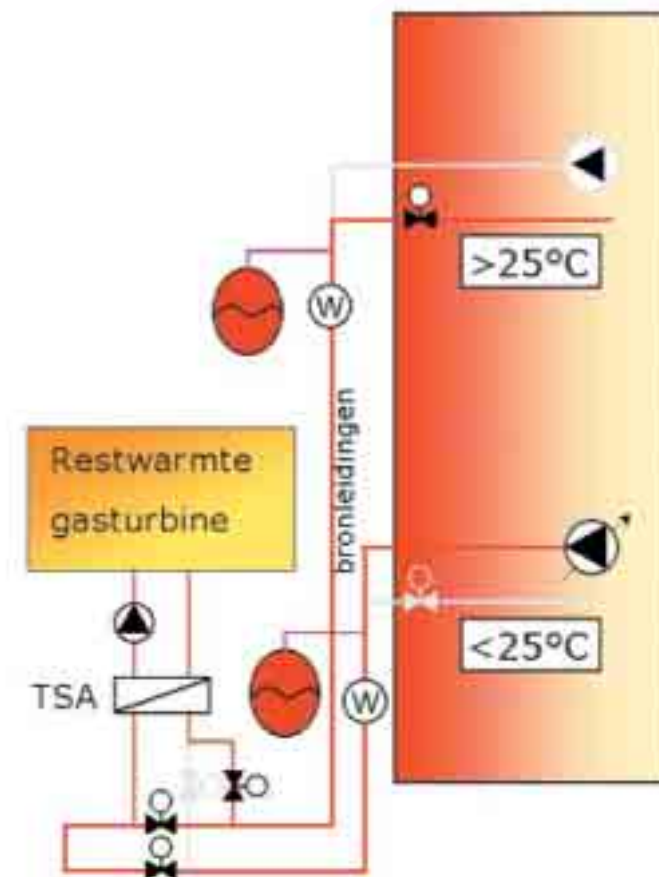
Een WKC (gasturbine) heeft een eigen besturing. In deze besturing is een vermogensregeling opgenomen. Op basis van een analoog signaal uit klimaatcomputer of bronmanagementsysteem kan hierdoor het elektrische vermogen worden gevarieerd.

### CO<sub>2</sub> vraag

Het vermogen moet in principe geregeld worden op CO<sub>2</sub> vraag. Op basis van externe signalen uit de klimaatcomputer welke indicatief zijn voor de CO<sub>2</sub> vraag, moet het vermogen en dus ook de CO<sub>2</sub> productie worden vrijgegeven en gemoduleerd. Start/stop beperkingen en het minimale vermogen behoren tot de WKC besturing.

### Warmtevraag

In de eerste twee jaar na het in bedrijf nemen van de bronnen is het temperatuurrendement van de warme bronnen lager. Dit rendement is afhankelijk van een aantal factoren waaronder de gemiddelde laadtemperatuur en zit tussen 40 en 80%. Met WKC warmte kan het water enigszins in temperatuur worden verhoogd. Op basis van een signaal uit het bronmanagementsysteem, moet de WKC worden gestart. Het aangevoerde water uit de scheidingswarmtewisselaar (TSA in schema) moet door de vermogensregeling op een vaste temperatuur worden geregeld. De figuur op de vorige bladzijde geeft de waterstromen weer tijdens WKC bedrijf zonder warmte of koude transport naar de kas. Hierbij wordt het water uit de koudste bron opgewarmd en naar de andere warme bron getourneerd.



## 6.6 Koeltorenregeling

### Algemeen

Het projectontwerp voorbeeld voorziet niet in warmtelevering aan woonhuizen, kantoren of bedrijven. Wel wordt een deel van dit overschot gebruikt om bedrijfsgebouwen te verwarmen. Om de aquifer na een jaar thermisch in balans te krijgen, is koeling met buitenlucht noodzakelijk. Door zoveel mogelijk warmte direct aan het toegevoerde koelwater in de zomer af te voeren, hoeft er minder energie (water) in de grond te worden opgeslagen. De rest van het warmteoverschot kan door nakoelen van het retourwater uit de kas in de winter en eventueel direct van koude bron naar koude bron als er geen warmte of koude in de kas gevraagd wordt, zie de figuur hiernaast.

### Warmteafvoer in de zomer.

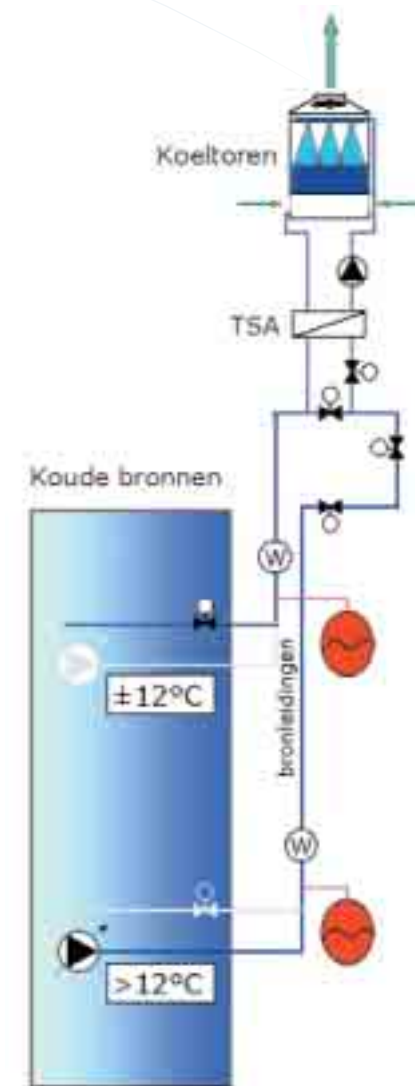
Dit gaat met een koeltoren heel efficiënt als de "natte bol" temperatuur van de buitenlucht onder ca 10°C is en er voldoende waterstroming is door de wisselaar (TSA). De vrijgave komt uit het bronmanagementsysteem. De koeltoren moet het water zo ver mogelijk terugkoelen.

### Warmteafvoer in de winter

De koeltoren mag starten met afvoeren van warmte als de "natte bol" temperatuur van de buitenlucht onder een instelbare waarde komt (klimaatcomputer) en uit berekening blijkt dat er warmte uit het systeem afgevoerd moet worden. De vrijgave van de koeltoren komt uit het bronmanagementsysteem.

### Warmteafvoer zonder vraag

Als er warmte uit de aquifer afgevoerd moet worden en is geen warmte of koudevraag, dan kan er van bron naar bron gekoeld worden. De figuur op de vorige bladzijde geeft de waterstromen weer. Het water uit de warmste bron wordt via de koeltoren afgekoeld en naar de andere koude bron geretourneerd.



### 7.1 Inleiding

De elektrische installatie kan en moet redelijk standaard worden uitgevoerd. Er moet worden voldaan aan alle normen.

### 7.2 FiWiHEX

In elke FiWiHEX unit zit een 230 V ventilator, deze gebruikt bij het maximale toerental 52 Watt elektriciteit bij een  $\cos \phi$  van 0,95 inductief. Het ventilator motortoerental wordt geregeld met een solid state wisselstroomrelais dat op de nuldoorgang van de 230 V spanning schakelt. Per unit is een 8 bits processor print op de kop van de ventilatormotor gemonteerd.

Motorwarmte zorgt er voor dat het printplaatje warmer blijft als zijn omgeving en daardoor van vocht minder last heeft. Op de processor print komt ook 230 V voor, de veiligheid van deze oplossing moet nader onderzocht worden. De 5 V voeding van de processor komt via een 6 aderige kabel binnen. Hierin zitten ook aders voor communicatie met burens en de centrale pc. Voor benodigde 230 V voeding voor de FiWiHEX ventilatoren, worden verspreid door de kas aan de kopgevels zes schakelpanelen geplaatst. De wijze van aansluiten is hetzelfde als bij een belichtingsinstallatie met gloeilampen, recirculatieventilatoren of zwavelpotten. De FiWiHEX units worden via kabel op aangesloten op een verzameldoos in de voedingskabels. Er kan per groep FiWiHEX units geschakeld worden.

### 7.3 Overige elektrische aansluitingen

In en buiten de kas moeten de volgende elektrische systemen van voeding worden voorzien:

- De bronpompen en regelafsluiters;
- Luchtingsmotor;
- Schermmotor;
- Ventilator en pomp van de koeltoren;
- "Eigenbedrijf" systemen van de WKC;
- Netaansluiting WKC voor net/parallel bedrijf.
- Looplicht in de kas;
- Motoren en besturing van het teeltroulatiesysteem;
- Hardware voor de besturing;
- Bedrijfsgebouwen en bijbehorende installaties;
- Verwerkingsinstallaties.

### 8.1 Inleiding

Het streven is om uit de kas netto energie in de vorm van bruikbare warmte over te houden.

Onder netto energieverbruik wordt in dit geval verstaan de som van het totale energieverbruik minus de hoeveelheid nuttig aanwendbare restwarmte en het voordeel van WKC toepassing. Energie in de vorm van elektriciteit wordt verbruikt door de FiWiHex ventilatoren, de bronpompen en de koeltoren. De WKC wekt elektriciteit op en levert warmte. Daarnaast vermindert de WKC CO<sub>2</sub> uitstoot doordat in een "gesloten" kas een hogere concentratie kan worden aangehouden en er daardoor 30% meer CO<sub>2</sub> in het gewas wordt vastgelegd dan bij de buitenluchtconcentratie.

### 8.2 Jaarlijks energieverbruik voorbeeldkas

#### FiWiHex units

De warmteoverdracht is in de zomer tijdens (nat) koelen 200 W/K en in zomer 100 W/K.

Bij een elektriciteitsverbruik per FiWiHex tijdens koelen van 0,025 MJ/MJ en 0,05 MJ/MJ tijdens verwarmen is het totale verbruik  $2.120 \cdot 0,025 + 710 \cdot 0,05 = 88,5 \text{ MJ}_e/\text{m}^2$ .

#### Bronpompen

In rapport P2002-64 van IMAG wordt als vuistregel voor het gemiddeld verbruik van bronpompen 0,4 MJ/m<sup>3</sup> gegeven.

Elektriciteitsverbruik tijdens koelen:  $(2.120/4,18 \cdot (25-12)) = 39 \text{ m}^3 \cdot 0,4 = 15,5 \text{ MJ}_e/\text{m}^2$ .

Elektriciteitsverbruik tijdens verwarmen:  $(700/4,18 \cdot (22-12)) = 16,7 \text{ m}^3 \cdot 0,4 = 6,7 \text{ MJ}_e/\text{m}^2$ .

Totaal verbruik elektrische energie =  $25,2 \text{ MJ}_e/\text{m}^2$ .

#### Koeltoren

Het elektriciteitsverbruik van een koeltoren (pomp en ventilator) is 1 - 2% van de uitgewisselde hoeveelheid energie. Van het restvermogen van 910 MJ/m<sup>2</sup> in de winter, kan de helft (455 MJ/m<sup>2</sup>) nuttig worden gebruikt. Het overige restvermogen (965 MJ/m<sup>2</sup>) moet via een koeltoren worden afgevoerd. Het totale verbruik van elektrische energie van de afvoer via de koeltoren is  $0,015 \cdot 965 = 14,5 \text{ MJ}_e/\text{m}^2$ .

#### Nuttig restwarmtegebruik

Door water via FiWiHex units in hallen, verwerkingsruimten of kassen af te koelen van 22 naar 17°C kan bij plaatsing van voldoende FiWiHex units een ruimtetemperatuur van 15°C onderhouden worden.

Van 22 naar 17°C is 50% van het totale traject van 22 naar 12°C. Dus kan er 455 MJ/m<sup>2</sup> warmte worden geëxporteerd en dus aan stookkosten op bespaard.

#### Voordeel WKC toepassing

De WKC (microturbine) produceert de benodigde hoeveelheid CO<sub>2</sub> aan de kas. Daarnaast wordt de opgewekte elektriciteit aan het openbare net geleverd en kan er warmte nuttig worden aangewend. Bij gemiddeld 3 gr/uur CO<sub>2</sub> opname door het gewas gedurende 4.000 uur en 1.800 gr CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> aardgas, moet er  $3 \cdot 4.000 / 1.800 = 6,7 \text{ m}^3/\text{m}^2$  aardgas per jaar in de microturbine worden verstoekt. Bij een elektrisch rendement van 28% en een W/K factor van 1,5 MJ<sub>th</sub>/MJ<sub>e</sub> levert de WKC jaarlijks: 57,5 MJ<sub>e</sub> en 86,5 MJ<sub>th</sub> per m<sup>2</sup> kas. De warmteproductie van de WKC kan ook ingezet worden voor het verwarmen van kantoren en leefruimten. De totale elektriciteitsbehoefte is  $88,5 + 25,2 + 14,5 = 128,2$ . Er wordt 57,5 MJ/m<sup>2</sup> decentraal door WKC geleverd. Per saldo moet er dus nog 70,5 MJ/m<sup>2</sup> door centrale opwekking worden geproduceerd.

#### Netto energiegebruik

Voor sommatie wordt het energieverbruik naar m<sup>3</sup> aardgasequivalent omgerekend. Uitgaande van Groningsaardgas (31,65 MJ/m<sup>3</sup>), een gemiddeld rendement van de Nederlandse opwekking van 43% en een ketelrendement van 100% is het jaarlijks energieverbruik in aardgasequivalent:

Openbaar net	$70,5 / (0,43 \cdot 31,65) =$	5,2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
WKC		6,7 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Benutbare warmte (levering)	$(455 + 86,5) / 31,65 =$	- 17,1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Totaal verbruik voorbeeldkas		- 5,2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> de kas produceert dus warmte.

### 9.1 Inleiding

Een goede berekening van de financiële haalbaarheid is moeilijk te maken. De benodigde investeringen zijn relatief hoog en het referentiesysteem kan niet worden gekozen. In de tuinbouw zijn de toegepaste systemen en de energiegebruiken sterk teeltafhankelijk. In de voorbeeldkas moeten alle teelten een kans krijgen. Een groot aantal projectonderdelen moet speciaal voor dit systeem worden aangepast of ontworpen. Ontwikkelingskosten maken een voorbeeld project onevenredig duur. Zoals ook in het overzicht op de volgende bladzijde te zien is. Een voorbeeld project moet maximaal de mogelijkheden en onmogelijkheden laten zien. Om deze reden beperken wij ons tot een begroting. Deze is gebaseerd op het voorontwerp zoals in dit document is omschreven.

### 9.2 Investeren in een voorbeeldkas

Door te investeren in een voorbeeldkas laat de sector zien waar ze voor staat.

In de kas wordt zo maximaal mogelijk gebruik gemaakt van zonnewarmte. In de kas kunnen verschillende teelten op een universeel roulatiesysteem getest worden in combinatie met het energiesysteem. De bedragen op de volgende bladzijde zijn niet maatgevend voor de werkelijke investering in een energieproducerende kas voor een specifieke teelt of met een grotere oppervlakte. In een voorbeeldkas zijn zowel bezoekersfaciliteiten als bedrijfsmiddelen nodig. Ook ontwikkelingskosten drukken zwaar op de begroting. Er is een collectieve inspanning nodig om dit project van de grond te krijgen. In de bedragen voor de verschillende projectonderdelen zitten ook de kosten voor engineering.

### Bouwkundig

1. Ontvangsthal, technische/bedrijfsruimte en kantoren (1.000 m <sup>2</sup> )	€ 395.000
2. Kas (4.000 m <sup>2</sup> ), Lexan® ZigZagTM dek, beton, grondwerk en drainage	€ 311.000
3. Elektrisch aansluiten kasinstallaties en radio/omroepsysteem	€ 12.500
4. Erfverharding (3.500 m <sup>2</sup> )	€ 78.000
5. Scherminstallatie, beschaduwend op enkel dradenbed	€ 25.000

### Energietechnische systemen

1. FiWiHEx units (1.150 stuks) inclusief computerregeling	€ 516.500
2. Bronnensysteem inclusief engineering en proefboring	€ 224.000
3. Bronwaterleidingnet inclusief kleppen en aandrijvingen	€ 82.000
4. Elektrisch aansluiten FiWiHEx (voeding en besturing)	€ 78.000
5. Klimaatcomputer & bron managementsysteem	€ 125.000
6. Koeltoren inclusief warmtewisselaar	€ 55.000
7. WKC (60 kWe microturbine) inclusief warmtewisselaar	€ 90.000
9. Nutsvoorzieningen: transformator, knip en gasaansluiting	€ 40.000
10. Diversen en onvoorzien (10%)	€ 121.050

### Overige systemen

1. Universeel teeltroolatiesysteem geschikt voor diverse teelten	€ 280.000
2. Watertechnische installatie	€ 45.000
3. Nevelinstallatie	€ 20.000
4. CO <sub>2</sub> -ventilator, leidingen en gaschromatograaf (rookgasanalyser)	€ 31.000

**Totaal investering "voorbeeld" kas € 2.529.050**



### 10.1 Technische onzekerheden

#### De bron

De opbouw van de watervoerende en waterscheidende lagen is voor locatie Bleiswijk onvoldoende bekend.

Het temperatuurrendement van de warme bronnen is bepalend voor de kwaliteit van de opgeslagen warmte.

Het water in de watervoerende laag koelt af door:

- opstijgen van water door convectie en daardoor verticale temperatuurgelaagdheid;
- achterblijven en verspreiding van warmte door accumulatie in het zand;
- stroming door verhang van de watervoerende laag richting zee.

Een proefboring moet definitief uitsluitsel bieden over de geschiktheid van de 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> watervoerende laag, de 1<sup>e</sup> scheidende laag en de kwaliteit van het water.

#### FiWiHEX

Theoretisch (modelmatig) is het maximale vermogen van FiWiHEX onder "natte" omstandigheden bepaald op 1.920 Watt. Een praktijktest bij IMAG moet de juistheid van het model onder de aangenomen "extreme" omstandigheden aantonen.

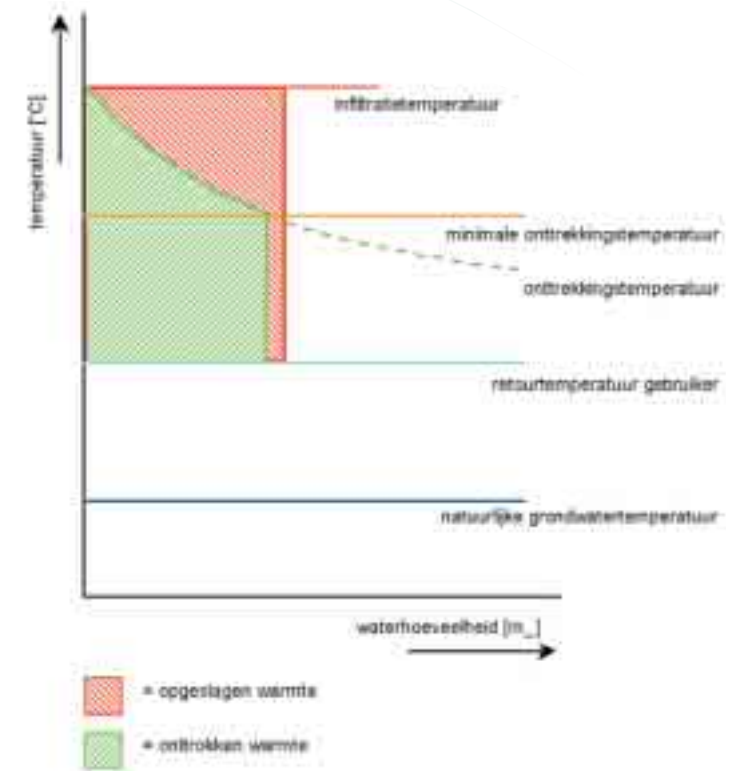
Het geluidsvermogen van FiWiHEX in de behuizing moet nog worden vastgesteld en vervolgens moet het de gesommeerde geluidsdruk van alle units ter hoogte van werkplekken worden berekend.

Er worden momenteel elektrische componenten voor de FiWiHEX units ontwikkeld, deze moeten functioneren in een relatief natte omgeving. Het geheel moet getoetst worden aan alle relevante regelgeving voordat een voorbeeldkas ermee uitgerust kan worden.

#### Lexan® ZigZag™

Het is de vraag of dit dek het meest geschikt is voor gebruik op een voorbeeldkas als daarin verschillende teelten worden beproefd. De hoge maar niet regelbare warmteweerstand maakt dat er nagenoeg geen condensatie aan de binnenzijde van het kasdek plaatsvindt. Sneeuw moet door verwarming in de goot buiten de kas van het dek af gesmolten worden.

Een mogelijk beter en goedkoper alternatief is microstructuur gecoat glas in combinatie met de F-clean PTFE-folie van Asahi Glass Europe. De prijs van glas en scherm samen bedraagt ca. € 25,-/m<sup>2</sup>,



inclusief aanpassingen kost het ZigZag dek € 40,-/m<sup>2</sup>.

Voor dit voorontwerp is alleen gekeken naar de combinatie van Lexan® ZigZag™ en een beschaduwend scherm.

De waarden in de hiernavolgende tabel zijn berekend met een statisch rekenmodel en zijn indicatief bedoeld. Berekeningen met het dynamische model "Kaspro" van IMAG kunnen de juistheid van de keuze voor het ZigZag dek boven alternatieven aantonen.

## 10.2 Bestuurlijke onzekerheden

Vergelijking kasmaterialen	seizoens opslag	warmte opbrengst	warmte vraag	transmissie verliezen (dT=27K)
	MJ/m <sup>2</sup> *jr	MJ/m <sup>2</sup> *jr	MJ/m <sup>2</sup> *jr	W/m <sup>2</sup>
Lexan® ZigZag™	1.390	2.120	708	132
Lexan® ZigZag™ en beschaduwend scherm	1.390	2.120	585	114
Enkelglas	737	1.831	1.155	240
Enkelglas en beschaduwend scherm	935	1.831	979	206
Microstructuur gecoat glas	775	1.874	1.152	240
Microstructuur gecoat glas en beschaduwend scherm	993	1.874	961	206
Microstructuur gecoat glas en F-clean scherm	1.474	1.871	525	132
Microstructuur gecoat glas, F-clean scherm en beschaduwend scherm	1.504	1.871	434	114

### De bron

De provincie Zuid-Holland ziet het realiseren van een systeem waarbij zowel de koude als de warme bronnen warmer zijn dan de natuurlijke grondwatertemperatuur als ongewenst. Dit juridische aspect vormt daarom een knelpunt voor toepassing van het voorliggende energieconcept. In een mogelijke vervolgfase van dit project dient in overleg getreden te worden met de Provincie om over het standpunt meer duidelijkheid te verkrijgen.

### 11.1 Conclusies

Door de realisatie van dit ontwerp van een energieproducerende kas:

- Laat de sector zien dat ze maximaal inzet op duurzame energie;
- Wordt een ontmoetingsplaats gecreëerd rond een duurzaam project;
- Wordt er zichtbaar gemaakt dat het mogelijk is om met 20% van de gebruikelijke hoeveelheid energie een kas te klimatiseren;
- Kan worden aangetoond dat er zelfs meer warmte over is voor het verwarmen van hallen of kassen met FiWiHex dan er aan energie de kas in gaat;
- Krijgt het unieke FiWiHex systeem de kans om te rijpen in een praktisch tuinbouwsituatie;
- Kunnen verschillende teelten getest worden in een afwijkend en mogelijk beter klimaat wat mogelijk leidt tot nieuwe teeltinzichten;
- Wordt zichtbaar dat ondanks het geringe energiegebruik er in een "gesloten" kas meer geproduceerd kan worden;
- Dat het gewas in een gesloten kas beter afgeschermd is van ziekten en plagen van buiten af;
- Dat er voor het bestrijden van ziekten en plagen veel minder middelen nodig zijn;
- Wordt gasturbinetechniek getoond aan de kwekers;
- Wordt getoond dat de rookgassen uit een microturbine zo de kas in kunnen voor CO<sub>2</sub> bemesting;
- Kunnen nieuwe teeltroulatiesystemen worden getest en getoond;
- Worden de ontwikkelingskosten door de sector gedragen zodat dit systeem haalbaar kan worden voor glastuinbouwbedrijven.

## 11.2 Aanbevelingen

- Dit voorontwerp wijkt af van het concept voor een energieproducerende kas. Een praktijktest bij IMAG op basis van dit projectvoorstel kan onzekerheden met betrekking tot het uitwisselende vermogen onder “natte” omstandigheden en de geluidsproductie van de FiWiHEX units wegnemen.
- Een proefboring zoals voorgesteld naar de aard en kwaliteit van watervoerende en waterkerende lagen onder de definitieve locatie is noodzakelijk. Ook gesprekken met de provincie over de toelaatbaarheid van temperaturen hoger dan de natuurlijke watertemperatuur moeten tijdig worden gestart.
- Praktijktesten zijn belangrijk voor de ontwikkeling van de FiWiHEX wisselaar, na kleinschalige testen moet een praktijktest op grotere schaal volgen. Risicovolle investeringen in systemen die in hoofdzaak energie besparen worden door individuele kwekers niet snel aangegaan. Alleen als er daarnaast duidelijk meer geproduceerd wordt, neemt men het risico. De eerste stap (de realisatie) moet dus door een collectief genomen worden en mag niet lang op zich laten wachten. Kwekers oriënteren zich momenteel voornamelijk op steeds meer belichten. Deze kwekers moet zo snel mogelijk een alternatief geboden worden. Voordat kwekers belichting overwegen moet duurzaam en dus energiezuinig telen een overweging zijn. De energieproducerende kas kan daar een aanzet toe zijn.
- Nieuwe microstructuur coatings op enkelglas in combinatie met het geweven F-clean scherm zijn samen mogelijk een gelijkwaardig en goedkoper alternatief voor Lexan® ZigZag™. Doorrekenen met het dynamische rekenmodel van IMAG moet duidelijk maken of Lexan® ZigZag™ nog de beste keuze is.
- Laten ons werken aan duurzame energiesystemen.