

# *Warmte-kracht koppeling en trigeneratie*

**Stijn VERCAMPT**

promotor :  
Prof.dr.ir Frans LEMEIRE

## **Woord vooraf**

Deze eindverhandeling is geschreven in het kader van mijn opleiding handelsingenieur, afstudeerrichting technologie, met Prof. dr. ir. F. Lemeire als promotor aan de Universiteit Hasselt.

Bij het tot stand komen van deze eindverhandeling kon ik op steun rekenen van heel wat mensen.

Allereerst wil ik mijn promotor, professor Lemeire bedanken voor het geven van advies, informatie en suggesties. Zijn kritische visie en bemerkingen waren een motivatie voor mij om tot het uiterste te gaan. Verder bedank ik ook nog de heer M. Raskin, afgevaardigd beheerder van COGEN Vlaanderen, en zijn hele team voor het beschikbaar stellen van informatie en deskundige hulp. Andere die ook mijn dankbetuiging verdienen zijn Patrick Hansoul, ingenieur-diensthoofd technische dienst van het Virga Jesse ziekenhuis te Hasselt. Dankzij hem kreeg ik de kans om de theorie van mijn thesis aan de praktijk te koppelen.

Tenslotte bedank ik mijn ouders zonder wiens financiële en emotionele steun dit nooit mogelijk was geweest.

## **Samenvatting**

Naar aanleiding van de stijgende welvaart en klimaatsveranderingen is energie een zeer belangrijke topic geworden in onze maatschappij. Het grootste probleem is dat we te kampen hebben met een eindige voorraad fossiele brandstof waar kwistig mee omgesprongen wordt. Het is dus belangrijk om met de voorraad die we bezitten rationeel om te springen en technologieën te ontwikkelen die dit mogelijk maken. Een ander groot probleem is het ecologische probleem. Met behulp van het Kyoto protocol probeert men de CO<sub>2</sub> uitstoot te verminderen.

Warmtekrachtkoppeling, het gezamenlijk opwekken van warmte en elektriciteit, neemt deze twee problemen onder handen. De eerste hoofdstukken in mijn thesis handelen dan ook over deze technologie. Vooreerst wordt er ingegaan op het energetisch aspect. Warmtekrachtkoppeling maakt het mogelijk om het verbruik van fossiele brandstof te verminderen en zo onze eindige voorraad te verlengen. WKK zal eveneens de CO<sub>2</sub> uitstoot verminderen en zo België helpen de Kyoto-normen te halen. Het is dan ook aan de overheid om een investering in WKK interessant te maken.

WKK installaties vallen dan ook binnen een aantal algemene subsidieregelingen, zoals ecologiesteun, verhoogde intrestaftrek en steun voor demo-en pilootprojecten. Naast deze algemene maatregelen is men begonnen met het warmtekrachtcertificatensysteem. Dit systeem kan een betekenisvol effect hebben op de rendabiliteit van WKK projecten. Projecten die voorheen verlies leden kunnen nu wel rendabel worden.

Na warmte en elektriciteit begint ook koude, de behoefte aan koeling, een belangrijkere rol te spelen in onze maatschappij. De meerderheid van de mensen vinden het geen overbodige luxe om airco in huis te halen. Vooral voor bedrijven die koeling nodig hebben kan het interessant zijn om dit op een alternatieve en energetisch aantrekkelijke manier te realiseren.

De volgende hoofdstukken handelen dan ook over trigeneratie. Bij trigeneratie wordt met behulp van de restwarmte uit de WKK installatie koude opgewekt. Dit gebeurt door een absorptie koelsysteem aan de WKK te koppelen. Absorptiekoelmachines gebruiken warmte om koude op te wekken. Compressorkoelmachines gebruiken elektriciteit om koude op te wekken. Het is dan ook logisch om de restwarmte die een bedrijf heeft nuttig te gebruiken in plaats van ze uit te stoten. Niet alleen is het op deze manier voor een bedrijf mogelijk een brandstofbesparing te realiseren, maar ook de CO<sub>2</sub> uitstoot vermindert aanzienlijk. Ook trigeneratie valt binnen de subsidieregelingen en het certificatenstelsel als de installatie uiteraard voldoet aan bepaalde eigenschappen.

Twee belangrijke begrippen PEB( primaire energiebesparing) en RPE (relatieve primaire energiebesparing) komen aan bod. Om in aanmerking te komen voor bepaalde subsidies en om mee te werken in het warmtekrachtcertificaten systeem is het belangrijk dat beide begrippen een bepaalde waarde hebben. Zo zal de PEB altijd positief moeten zijn en de RPE boven de 5% moeten zijn om mee te werken in het warmtekrachtcertificaten systeem. In dit deel van de thesis maak ik een vergelijking tussen de volgende drie scenario's: Het opwekken van warmte, elektriciteit en koude; het opwekken van koude en elektriciteit; en het opwekken van warmte en elektriciteit. Bij elk scenario kijk ik of de installatie een primaire energie besparing behaalt en aan de vereiste norm van 5% relatieve primaire energiebesparing voldoet.

Het is dus belangrijk om een primaire energie besparing te bekomen. Zo realiseert men een brandstofbesparing ten opzichte van de conventionele gescheiden opwekking. Met de brandstofprijzen die de laatste jaren hoge toppen scheren is dit economisch een zeer goede zaak voor bedrijven. Door het gebruik van trigeneratie worden door de lagere CO<sub>2</sub> uitstoot ook externe kosten vermeden.

De laatste hoofdstukken zijn gewijd aan de verschillende technieken van koelen: absorptiekoeling, adsorptiekoeling en compressiekoeling, en de vergelijkingen tussen deze technieken. Ook wordt er een schets gegeven over hoe ver we staan met de implementatie

van trigeneratie op wereldvlak en in België. In België zijn er twee voorbeelden van trigeneratie, het Berlaymont gebouw te Brussel en het AZ Sint-Jan in Brugge.

Als laatste heb ik een situatie bekeken waarbij het mogelijk zou kunnen zijn om over te schakelen op trigeneratietechnologie. Deze situatie vond ik in het Virga Jesse ziekenhuis te Hasselt. Een ziekenhuis heeft gedurende heel het jaar zowel warmte, elektriciteit als koude nodig. Omdat het ziekenhuis al over een WKK installatie beschikt vond ik het voor de hand liggend om voor het Virga Jesse ziekenhuis een voorstel uit te werken.

## Woord vooraf

## Samenvatting

<b>1. Inleiding en probleemstelling .....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1 Praktijkprobleem en centrale onderzoeksvraag .....	- 1 -
<b>2. Het principe van warmtekrachtkoppeling .....</b>	<b>- 3 -</b>
2.1 Energie en thermodynamica .....	- 3 -
2.1.1 Het begrip energie .....	- 3 -
2.1.2 Het principe van thermische motoren.....	- 4 -
2.1.3 Isentropische processen .....	- 6 -
2.1.4 Exergie en anergie .....	- 7 -
2.1.5 Energetisch en exergetisch rendement .....	- 7 -
2.2 De klassieke energiebronnen .....	- 10 -
2.2.1 De stoommachine (zuigerstoommachine) .....	- 10 -
2.2.2 De stoomturbine .....	- 11 -
2.2.3 Een gasturbine .....	- 11 -
2.2.4 Klassieke thermische centrale .....	- 12 -
2.2.5 STEG, Stoom en Gasturbine .....	- 13 -
2.2.6 Kernenergie .....	- 13 -
2.3 Hernieuwbare energie.....	- 14 -
2.3.1 WKK en biomassa.....	- 15 -
2.4 WarmteKrachtKoppeling (WKK) .....	- 17 -
2.4.1 Definitie van WKK.....	- 17 -
2.4.2 Energetisch aspect van WKK.....	- 18 -
2.4.3 Ecologische voordelen van WKK .....	- 20 -
2.4.4 Economie .....	- 24 -
2.4.5 Steunmaatregelen voor WKK.....	- 25 -
2.5 De verschillende beschikbare WKK technologieën .....	- 29 -
2.5.1 Warmtekracht met verbrandingsmotoren, Ottomotor en Diesel motor .....	- 29 -
2.5.2 Warmtekracht met gasturbines .....	- 30 -

<b>3. Trigeneratie.....</b>	<b>- 32 -</b>
3.1 Vraag naar koeling.....	- 32 -
3.2 Energetisch aspect van trigeneratie .....	- 32 -
3.2.1 Productie van elektriciteit, warmte en koude. ....	- 34 -
3.2.2 Productie van enkel elektriciteit en warmte.....	- 35 -
3.2.3 Productie van elektriciteit en koude .....	- 36 -
3.2.4 De vergelijking voor de elektriciteitsbehoefte.....	- 39 -
3.2.5 De vergelijking voor de koelbehoefte .....	- 39 -
3.2.6 De vergelijking voor de warmte behoefte. ....	- 39 -
3.2.7 Enkele speciale gevallen:.....	- 41 -
3.2.8 Relatieve primaire energie besparing (RPE) .....	- 41 -
3.2.9 Besluit.....	- 43 -
3.3 Economie .....	- 44 -
3.4 De ecologische voordelen van trigeneratie.....	- 44 -
3.4.1 Environmental Quality Index (EQI) .....	- 46 -
3.4.2 Besluit.....	- 48 -
<b>4. Werkingsprincipe van verschillende types koelmachines .....</b>	<b>- 49 -</b>
4.1 Thermodynamica .....	- 49 -
4.2 Algemeen werkingsprincipe van een koelmachine met een compressor. ....	- 50 -
4.3 Algemeen werkingsprincipe van een absorptiekoelmachine.....	- 51 -
4.3.2 De verschillende soorten absorptiesystemen, LiBr-H <sub>2</sub> O en H <sub>2</sub> O-NH <sub>3</sub> .....	- 56 -
4.4 Adsorptiekoeling (DEC).....	- 59 -
4.4.1 Voor- en nadelen van compressie koeling.....	- 60 -
4.4.2 Vergelijking met absorptiekoeling: .....	- 60 -
4.5 Het airco systeem.....	- 61 -
<b>5. Hoe ver staan we met het toepassen van trigeneratie? .....</b>	<b>- 65 -</b>
5.1 Binnenland.....	- 65 -
5.1.1 Berlaymont gebouw.....	- 65 -
5.1.2 AZ St-Jan te Brugge. ....	- 66 -
5.2 Wereldwijd .....	- 67 -

5.3 Europa.....	- 67 -
5.3.1 Objectieven.....	- 68 -
5.3.2 Beschrijving van het werk programma.....	- 69 -
5.3.3 Verwachte resultaten .....	- 69 -
<b>6. Plan voor mogelijke implementatie van de trigeneratie technologie in de nieuwe vleugel van het Virga Jesse ziekenhuis te Hasselt .....</b>	<b>- 70 -</b>
6.1 Algemene informatie .....	- 70 -
6.2 Interne kosten .....	- 70 -
6.3 Warmte en elektriciteit .....	- 71 -
6.4 De ijskoelsystemen .....	- 71 -
6.5 De absorptie koelmachine .....	- 72 -
6.6 Kosten van de koelsystemen.....	- 73 -
6.6.1 Compressiekoelsystemen.....	- 73 -
6.6.2 Absorptiesysteem .....	- 74 -
6.7 Vermeden kosten .....	- 74 -
6.7.1 Elektriciteit .....	- 74 -
6.7.2 Vermeden externe kosten. ....	- 74 -
6.8 Besluit.....	- 75 -
<b>7. Conclusie.....</b>	<b>- 76 -</b>
<b>Lijst van figuren.....</b>	<b>- 81 -</b>
<b>Lijst met tabellen .....</b>	<b>- 81 -</b>
<b>Lijst met geraadpleegde werken .....</b>	<b>- 82 -</b>
<b>Lijst van geraadpleegde sites .....</b>	<b>- 85 -</b>



## **1. Inleiding en probleemstelling**

### ***1.1 Praktijkprobleem en centrale onderzoeksvraag***

Trigeneratie is niet alleen een nieuwe manier om efficiënter met energie om te gaan, maar ook een manier om het leefmilieu te beschermen. Onder trigeneratie verstaat men het gezamenlijk opwekken van elektriciteit, warmte en koude. Koude is hier de nieuwe component. Een absorptiekoelsysteem gekoppeld aan een warmtekrachtkoppelinginstallatie zorgt er dus voor dat koude, elektriciteit en warmte samen kunnen opgewekt worden.

Na de grote stroomuitval in de VS in de zomer van 2003 is gebleken dat het gebruik van aircosystemen één van de oorzaken was van deze panne. In de VS ligt de piek van elektriciteitsverbruik dan ook in de warme zomermaanden. In België en Europa situeert deze piek zich nog steeds in de winter. Door hogere welvaart en klimaatsveranderingen zullen airconditioningsystemen binnen enkele jaren geen overbodige luxe meer zijn en zal ook hier een verbruiksverschuiving zichtbaar worden. Het wordt dus belangrijk dat energiepieken worden opgevangen, zodat het elektriciteitsnet niet overbelast raakt. Trigeneratie is hier een oplossing voor, daar het voor een efficiëntere koude productie zorgt.

De laatste decennia heeft een stijging in het energieverbruik er voor gezorgd dat er op wereldvlak iets moet gedaan worden aan de toenemende uitstoot van CO<sub>2</sub>-gassen en andere afvalstoffen. Hiervoor is wereldwijd het Kyoto protocol in het leven geroepen. Voor België houdt dit in dat de emissies van broeikasgassen in de periode 2008–2012 7,5 % lager moeten liggen dan in 1990. Een belangrijke daling die gerealiseerd moet worden. Deze reductiedoelstelling wordt in de praktijk vertaald in een maximaal toegelaten hoeveelheid emissies, de zogenaamde emissierechten. De toepassing en het gebruik van trigeneratie zal in de toekomst de uitstoot van CO<sub>2</sub> en andere schadelijke gassen drastisch kunnen verminderen en kan zo zijn steentje bijdragen tot een beter milieu en het realiseren van de

Kyoto norm in België. Een wereldwijde toepassing ervan kan dus de globale CO<sub>2</sub> uitstoot drastisch verminderen.

Omdat er een hoog prijskaartje aan de investering van trigeneratie hangt is het belangrijk om eerst een goede dimensionering en economische analyse uit te voeren.

De centrale onderzoeksvraag die in deze thesis vooropgesteld wordt, is dan:

*Hoe kan trigeneratie economisch, ecologisch en energetisch bijdragen tot een grotere efficiëntie bij toepassing in de industriële, commerciële en tertiaire sector?*

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, zullen de volgende deelvragen besproken worden:

- Welk principe gaat er schuil achter WKK?
- Welk principe gaat er schuil achter trigeneratie?
- Welke uitvoeringsmogelijkheden bestaan op vlak van koelsystemen?
- Voor welke sectoren is trigeneratie het meest geschikt?
- Welke problemen kunnen zich voordoen bij de implementatie?
- Is er een behoefte aan koeling in Vlaanderen?

Deze deelvragen zullen in de eindverhandeling behandeld worden. Eerst zal er dieper ingegaan worden op het WKK systeem: de theorie erachter, de werking en de steunmaatregelen. Vervolgens komt het deel trigeneratie aan bod. In dit onderdeel wordt er eerst dieper ingegaan op de verschillende koeltechnieken die er bestaan zodat we nadien verder kunnen gaan met de verschillende systemen van absorptie koeling, die aan de basis liggen van trigeneratie. Tot slot geef ik een voorstel wat het Virga Jesse ziekenhuis te Hasselt als investering kan doen in de nieuwe vleugel.

## 2. Het principe van warmtekrachtkoppeling

### 2.1 *Energie en thermodynamica*

Om het belang van WKK en trigeneratie goed te kunnen begrijpen is het belangrijk enkele aspecten van de thermodynamica toe te lichten. Deze worden in dit deel toegelicht om op die manier tot een omschrijving van het begrip warmtekrachtkoppeling te komen.

#### 2.1.1 Het begrip energie

De meeste handboeken gaan uit van het werk van Newton en Leibniz. Newton beschreef het gedrag van puntmassa's, waaruit de begrippen kinetische energie ( $\frac{1}{2}mv^2$  voor materie met massa  $m$  en snelheid  $v$ ) en potentiële energie ( $m \cdot g \cdot h$  voor materie met massa  $m$ , hoogte  $h$  en gravitatieversnelling  $g$ , met  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ) introduceerde, waarbij potentiële energie de mogelijkheid tot energie voorstelt. Allicht is zwaartekracht wel de bekendste vorm is van potentiële energie. Leibniz definieerde de energie door een potentiaalveld in de ruimte en tijd te beschouwen, waarmee hij een continuüm beschreef. Energie wordt uitgedrukt in J (Joule). Meestal drukt men energie echter uit met behulp van de gebruikseenheid kWh (kilowattuur) of een van zijn veelvoud, met  $1 \text{ kWh} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J}$ . (Lambert, 2001)

#### 5 hoofdwetten van de thermodynamica

- 0<sup>de</sup> hoofdwet van de thermodynamica  
Materie in een gesloten systeem streeft naar eenzelfde temperatuur.
- 1<sup>ste</sup> hoofdwet van de thermodynamica  
De wet van behoud van energie: de som van de potentiële en van de kinetische energie in een gesloten systeem blijft constant.

- 2<sup>de</sup> hoofdwet van de thermodynamica

De wet van degradatie van energie: in een gesloten systeem is er een voortdurende stijging van de graad van wanorde. De entropie  $S$  van het systeem is een maat voor de wanorde van dat systeem. Er geldt  $dS/dt > 0$ .

- 3<sup>de</sup> hoofdwet van de thermodynamica

Relatie temperatuur en wanorde: voor een hoeveelheid materie op gelijkmatige temperatuur is de wanorde of entropie des te hoger naarmate de temperatuur hoger is. Een lagere temperatuur betekent tegelijk minder microscopische bewegingsenergie of warmte energie en minder wanorde. De laagste temperatuur (0 K) komt niet overeen met een microscopische bewegingsenergie van nul, maar wel met een wanorde gelijk aan nul of dus met volledige orde.

- 4<sup>de</sup> hoofdwet van de thermodynamica

Voor een systeem is er een verband tussen druk  $P$ , volume  $V$  en temperatuur  $T$ . Voor een ideaal gas kan dit verband worden weergegeven door de ideale gaswet:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

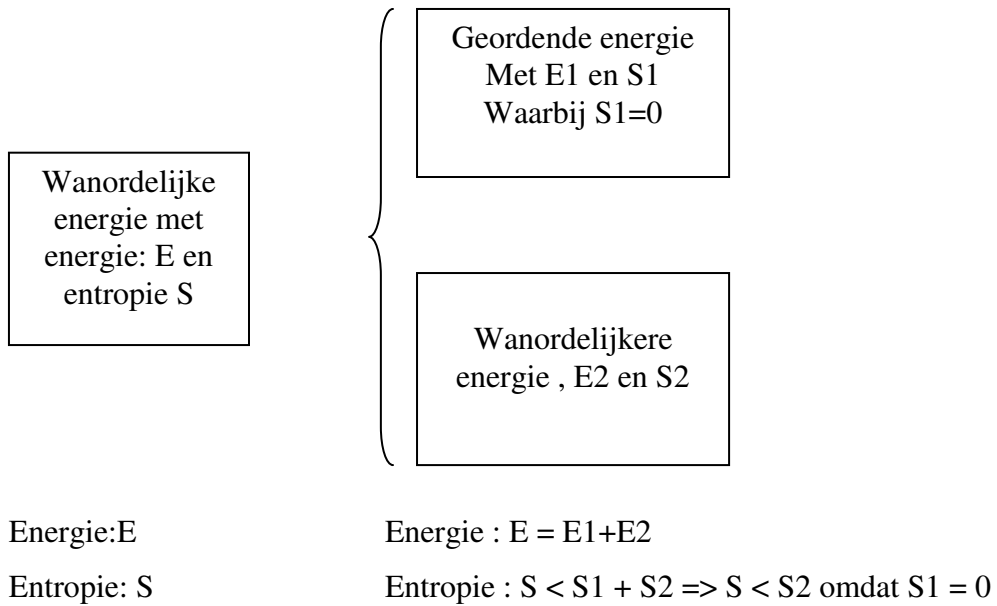
Met  $n$ : het aantal mol

$R = 8.317\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  : de gasconstante

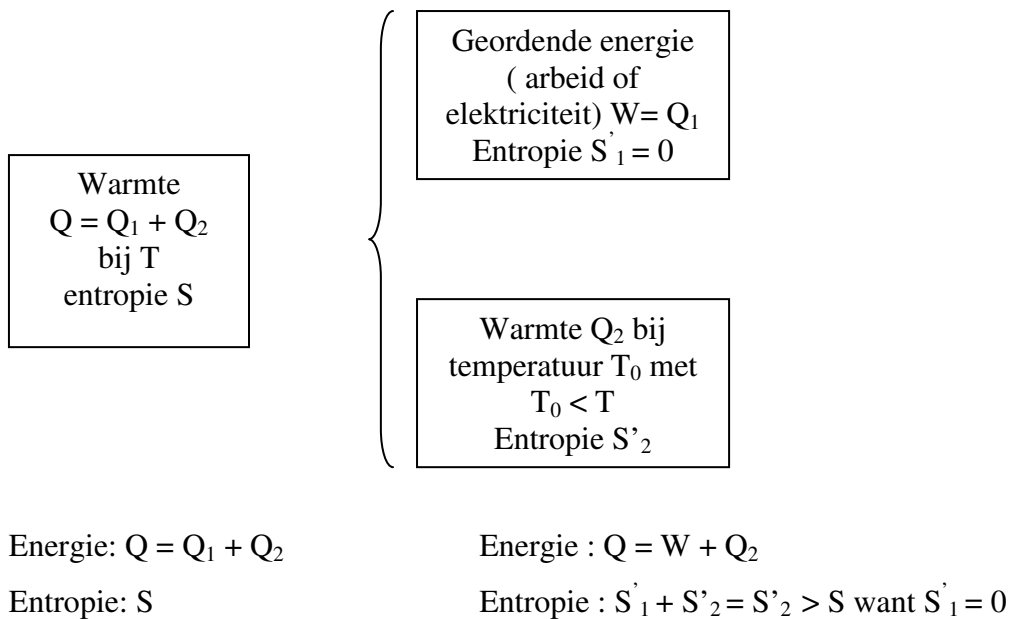
## 2.1.2 Het principe van thermische motoren

### 2.1.2.1 Algemeen Principe

Wanordelijke energie kan omgezet worden naar ordelijke energie, dit brengt wel met zich mee dat het deel dat niet geordend wordt nog wanordelijker wordt. De entropie in dat deel stijgt dus, dit is de tweede wet van de thermodynamica. In het geheel zal de wanorde dus stijgen.



De omzetting van warmte in geordende energie wordt toegepast in het principe van de thermische motoren.



1<sup>ste</sup> hoofdwet van de thermodynamica:  $Q = Q_1 + Q_2 = W + Q_2$

2<sup>de</sup> hoofdwet van de thermodynamica:  $S'_1 + S'_2 = S'_2 > S$

Door een thermische motor wordt dus als het ware een deel van de ongeordende warmte-energie geordend. In een deel van de energie wordt orde gebracht, echter ten koste van een verhoging van de wanorde in het andere deel van de warmte. De verhoging van de wanorde in het tweede deel is bovendien altijd groter dan de vermindering van de wanorde in het eerste deel. (Lemeire, 2002)

### 2.1.3 Isentropische processen

Volgens de tweede wet van de thermodynamica zal in een gesloten systeem de wanorde steeds toenemen. Men kan nu echter proberen om die toename van de wanorde zo laag mogelijk te houden. Het beste wat men zou kunnen proberen te bereiken is een constant blijven van de wanorde of van de entropie. Zulk een theoretisch proces, waarbij de wanorde of de entropie constant blijft, noemt men een isentropisch proces.

$$\frac{dS}{dt} = 0 \Leftrightarrow \text{isentropisch proces}$$

Daar in een gesloten systeem de entropie altijd stijgt, is in een gesloten systeem elk proces onomkeerbaar: een voorbije toestand kan nooit een tweede maal voorkomen. Enkel de theoretische isentropische processen zijn in principe omkeerbaar.

Enkele kenmerken van isentropische processen zijn, dat warmte-uitwisselingen gebeuren zonder temperatuurgradiënt. Dit is in feite onmogelijk, maar zou wiskundig kunnen geformuleerd worden als: warmte-uitwisselingen gebeuren bij oneindig kleine temperatuursverschillen. Praktisch betekent dit, dat een isentropisch proces des te beter benaderd zal worden naarmate de warmte-uitwisselingen bij des te kleinere temperatuurverschillen gebeuren. Een ander kenmerk is dat alle veranderingen van toestanden geleidelijk gebeuren.

### 2.1.4 Exergie en anergie

De exergie van de warmte  $Q$  wordt nu gedefinieerd als de maximale hoeveelheid geordende energie die men uit deze warmte kan halen. Deze exergie hangt af van:

$T$ : de absolute temperatuur van de warmte  $Q$

$T_0$ : temperatuur tot de welke men een deel van  $Q$  kan afkoelen. Merk op, dat voor een hoeveelheid warmte, hoe lager de temperatuur is, hoe hoger de wanorde.

De Exergie van  $Q$  is dan  $E_x$  met: 
$$E_x = \left( \frac{T - T_0}{T} \right) Q$$

De anergie is de hoeveelheid warmte die er verloren gaat of nutteloos wordt bij een isentropisch of omkeerbaar proces.

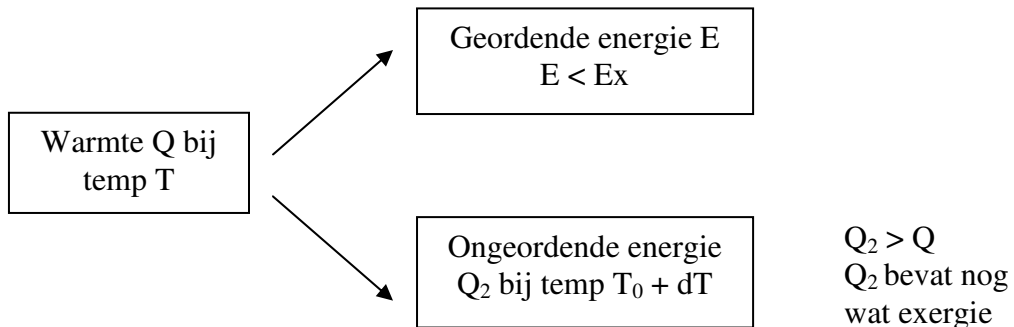
De anergie van  $Q$  is  $E_a$  met: 
$$E_a = Q - E_x = \left( \frac{T_0 - T}{T} \right) Q$$

Het is dus duidelijk dat aan exergie, de hoeveelheid geordende energie, een grotere waarde dient gehecht te worden dan aan anergie, de hoeveelheid warmte die nutteloos geworden is. Met deze hoeveelheid geordende energie dient dan ook zuinig omgesprongen te worden. Warmte is een energievorm met een lagere kwaliteit als elektriciteit, die niet meer volledig kan omgezet worden in een andere energievorm. Het is dus best warmte op een zo hoog mogelijke temperatuur te gebruiken nadat deze uit chemische (geordende) potentiële energie is opgewekt. Deze warmte wordt ook wel hoogwaardige warmte genoemd. Warmte op een lagere temperatuur ( $500^\circ\text{C}$ - $20^\circ\text{C}$ ) wordt laagwaardige warmte genoemd.

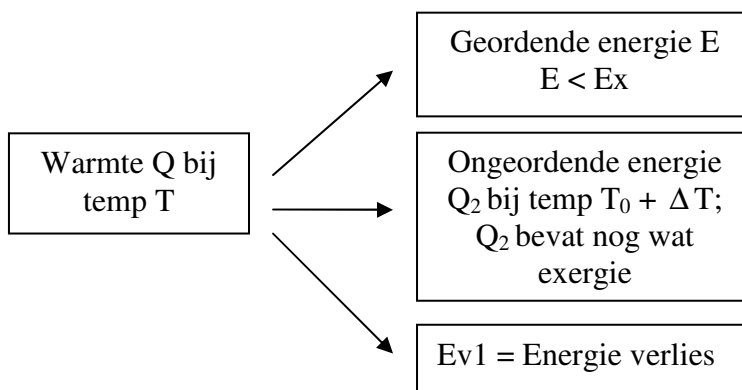
### 2.1.5 Energetisch en exergetisch rendement

Dankzij WKK is het mogelijk om een hoger exergetisch rendement te bekomen. Men kan zowel gebruik maken van de hoogwaardige als de laagwaardige warmte om er geordende

energie uit te halen. Het exergetisch rendement geeft aan hoe dicht men bij het maximaal haalbare is. Het onderstaande schema, is het schema van een isentropisch proces. De ongeordende energie is waardeloos. In een isentropisch proces blijft de hoeveelheid exergie behouden.  $dT$  zal dan ook oneindig klein zijn,  $Q/T$  blijft constant.



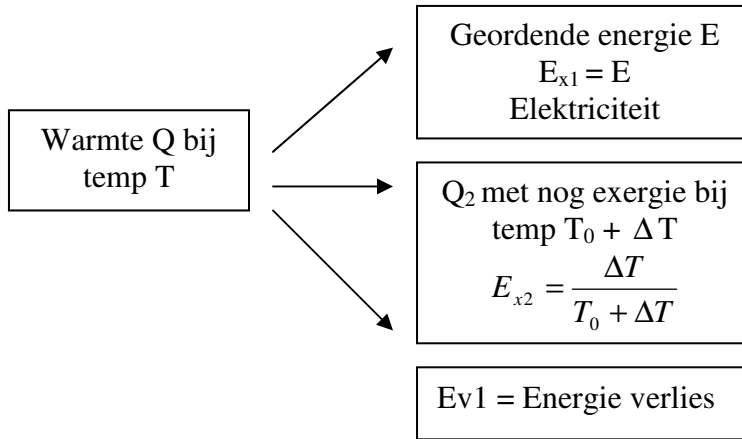
Het volgende schema is dit van een elektrische centrale. Hier gaat men er voor zorgen de ongeordende energie zo klein mogelijk is, om zo weinig mogelijk verliezen te hebben. Daarom gaat men er voor zorgen dat  $\Delta T$  zo klein mogelijk is. Zo zal er het minste energie verloren gaan.



De volgende situatie is deze van een WKK eenheid. In het geval van een WKK installatie zal men er voor zorgen dat  $\Delta T$  toch groot genoeg is omdat men deze ongeordende warmte



toch nog kan aangewend worden voor verwarming of het aandrijven van een absorptiesysteem om koeling mee op te wekken.



Voor een thermische motor die een warmte  $Q$  bij temperatuur  $T$  en omgevingstemperatuur  $T_0$  omzet in geordende energie  $W$  ( in ons geval elektriciteit)

Exergetisch rendement :

$$\eta_x = \text{gerealiseerd energetisch rendement} / \text{maximaal energetisch rendement}$$

Gerealiseerd energetisch rendement:

$$\eta_E = \frac{W}{Q} < \eta_M$$

Maximaal energetisch rendement:

$$\eta_M = \frac{E_x}{Q} = \frac{T - T_0}{T} = 1 - \frac{T_0}{T} < 1$$

Dus:

$$\eta_x = \frac{W}{Q} \left(1 + \frac{T_0}{T - T_0}\right) < 1$$

(Lemeire, 2004)

Voor de WKK installatie zal het exergetisch rendement er als volgt uitzien:

$$\eta_{WKK}^{ex} = \alpha_E + \alpha_Q \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$$

Met  $\alpha_E$  en  $\alpha_Q$  respectievelijk het elektrisch en thermisch rendement van de WKK installatie. (Ampere, 2002)

## **2.2 De klassieke energiebronnen**

Warmtekrachtkoppeling is één van de zoveel manieren om energie op te wekken. We bespreken nu enkele klassieke manieren om energie op te wekken, maar ook enkele nieuwere technieken.

### **2.2.1 De stoommachine (zuigerstoommachine)**

Een stoommachine is een motor die de energie van hete, onder druk staande stoom voor een deel omzet in mechanische arbeid. In het algemeen gebeurt dat door de stoom in een of meer zuigers te laten expanderen en de expansiearbeid op een vliegwiel over te brengen.

De uitvinding van de (industriële) stoommachine markeerde het begin van de industriële revolutie. Voor het eerst was arbeidsvermogen overal realiseerbaar om machines aan te drijven, waar voor die tijd met handkracht, trekdieren, watermolens en windmolens moest worden gewerkt. De stoomlocomotief is een bekende toepassing van de stoommachine.

### **2.2.2 De stoomturbine**

De stoomturbine is een apparaat dat wordt gebruikt om de druk en temperatuur van stoom om te zetten in een uitgaand asvermogen. De stoomturbine wordt voornamelijk toegepast in elektriciteitscentrales (zie verder 2.2.4), maar ook wel bij andere toepassingen waar grote vermogens nodig zijn. Bij een moderne stoomturbine wordt de stoom tegen een rij rotorschoepen geleid, maximaal van richting veranderd, vervolgens door een rij statorschoepen weer omgedraaid van richting en naar de volgende rij rotorschoepen geleid. Dit proces blijft zich herhalen tot de stoom maximaal is geëxpandeerd. Wanneer de stoom zover in energie is uitgeput dat zich waterdruppeltjes beginnen te vormen wordt deze uit de turbine geleid omdat de met supersonische snelheden op de turbinebladen slaande waterdruppels voor erosie zorgen, dit gebeurt als ongeveer 20% van de watermoleculen gecondenseerd is.

### **2.2.3 Een gasturbine**

Een gasturbine bestaat uit drie hoofdonderdelen, de compressor, de verbrandingskamer en de turbine. De compressor is bedoeld om de verbrandingslucht te comprimeren. In de verbrandingskamer wordt de lucht met de daar ingespoten brandstof verbrand. Het ontstane gas expandeert in de turbine.

De energiestromen in een gasturbine zijn als volgt. De potentiële energie (de brandstof), ook wel de chemische energie, wordt in de verbrandingskamer omgezet in drukenergie. De drukenergie wordt, in de straalbuis van de turbine, omgezet in kinetische energie. Doordat het gas in de turbine continu van richting wordt veranderd, "duwt" het gas de turbineschoepen vooruit. Hierdoor ontstaat mechanische energie. De rotor van de turbine is aan het draaien gezet. Het draaien van de rotor (de mechanische energie) wordt voor ongeveer 1/3 gebruikt voor het aandrijven van de compressor. In de compressor wordt de mechanische energie omgezet in potentiële energie van de lucht. De lucht wordt samengeperst, waardoor deze onder druk door de verbrandingskamer gaat. Het overige

tweederde deel wordt gebruikt voor arbeid. Deze arbeid kan gebruikt worden voor het aandrijven van bijvoorbeeld een generator of een pomp. De thermische energie die, na de expansie in de turbine, nog in de rookgassen zit, kan gebruikt worden voor het opwekken van stoom. De stoomketel kan eventueel nog extra worden bijgestookt om de stoomproductie te verhogen. Als met deze stoom dan een stoomturbine wordt aangedreven met daar achter eventueel een generator, spreken we van een STEG installatie. (www.wikipedia.be)

#### **2.2.4 Klassieke thermische centrale**

De productie van elektriciteit in een klassiek thermische centrale start met de verbranding van aardgas, steenkool (poederkool) of stookolie in de stoomketel. De hete rookgassen en de warmte van de vlammen verhitten het buizenstelsel in de stoomketel. Het water dat in het buizenstelsel vloeit, zet daardoor om in stoom. De rookgassen ontsnappen langs de schoorsteen. Bij steenkoolcentrales haalt een elektrofilter eerst het stof eruit.

De hete stoom brengt de stoomturbine aan het draaien. Die drijft op haar beurt de alternator aan die elektriciteit opwekt. De transformator voert de spanning op en de elektriciteit wordt in het transportnet geïnjecteerd. Nadat de stoom de turbine heeft doorlopen en zijn energie heeft vrijgegeven, condenseert hij tot water dat opnieuw naar de stoomketel gaat. Dat gebeurt in de condensor waar de stoom langs duizenden pijpjes vloeit. Hierdoor stroomt koud koelwater, opgepompt uit het oppervlaktewater. De stoom geeft zijn warmte af aan het koelwater dat opwarmt. De meeste centrales koelen het opgewarmde koelwater af in een koeltoren om het te hergebruiken. In zo een grote hyperboolvormige koeltoren komt het water in contact met een opstijgende luchtstroom die ontstaat door de natuurlijke trek (schoorsteenwerking) van de koeltoren. Wanneer ventilatoren voor de luchtbeweging zorgen is de koeltoren kleiner.

Het water koelt af en stort in de koeltoren als regen naar beneden. De opgewarmde lucht, verzadigd met waterdamp, verlaat de koeltoren als een witte damppluim. Het grootste deel van het afgekoelde koelwater wordt terug naar de condensor gepompt en hergebruikt.

Slechts 1 à 1,5 % verdampt. Sommige klassiek thermische centrales hebben geen koeltoren en lozen het koelwater terug in het oppervlaktewater. Het debiet van het oppervlaktewater is in dit geval groot genoeg om de temperatuurstijging te beperken.

Een klassiek thermische centrale zet 35 à 40 % van de energie in de brandstof om in elektriciteit. Soms leveren ze ook nog warmte onder de vorm van stoom aan bedrijven. (Electrabel (b), 2005)

### **2.2.5 STEG, Stoom en Gasturbine**

De productie van elektriciteit in een STEG-centrale start met het verbranden van aardgas in de verbrandingskamer van een gasturbine. De hete verbrandingsgassen doen de turbine draaien die een alternator aandrijft. Deze wekt een eerste keer elektriciteit op. Een transformator voert de spanning op en de elektriciteit wordt in het transportnet geïnjecteerd. De verbrandingsgassen verlaten de gasturbine en komen in de recuperatiestoomketel terecht. Daar verhitten ze een buizenstelsel waarin water vloeit dat door de hitte in stoom wordt omgezet. De verbrandingsgassen ontsnappen langs de schoorsteen. De hete stoom zet de stoomturbine in beweging. Die drijft op haar beurt een alternator aan waardoor de centrale een tweede maal elektriciteit opwekt.

De hedendaagse STEG-centrales die Electrabel bouwt, zetten meer dan 56 % van de energie in de brandstof om in elektriciteit. De gasturbine kan ook afzonderlijk werken, maar het energierendement is dan wel merkkelijk lager. (Electrabel (c), 2005)

### **2.2.6 Kernenergie**

Het werkingsschema van een kerncentrale lijkt sterk op dat van een klassieke centrale die draait op fossiele brandstoffen. Enkel de manier om warmte op te wekken is anders: kerncentrales gebruiken splijtstof, klassiek thermische centrales aardgas, steenkool of stookolie. In beide gevallen is er voldoende warmte nodig om de stoom te produceren. In

een kerncentrale ontstaat die warmte door een splijtingsproces in de splijtstofstaven die in een reactor staan. In een klassiek thermische centrale gebeurt een verbrandingsproces in een grote stoomketel. (Electrabel (a), 2005)

### **2.3 Hernieuwbare energie**

Hernieuwbare energie is energie geproduceerd door milieuvriendelijke technologie en uit hernieuwbare energiebronnen zoals watervallen, windkracht, zonne-energie, aardwarmte, de kracht van de getijden. Aan de verschillende vormen van hernieuwbare energie wordt ook wel de naam groene energie gegeven.

Het aandeel van hernieuwbare energie in de wereldproductie stijgt . Zo gaan de eindige oliereserves langer mee. Olie is een product van grote waarde dat veel nuttiger kan worden gebruikt dan alleen maar als brandstof.

Kiezen voor hernieuwbare energie betekent ook kiezen voor een vermindering van de CO<sub>2</sub> -uitstoot en daling van het broeikaseffect. Met andere woorden: vermindering van de klimaatopwarming. De internationale gemeenschap is zich bewust van dit probleem en legde met het Kyoto-verdrag duidelijke doelstellingen vast voor die vermindering. Het gebruik van hernieuwbare energie is één van de manieren om die doelstellingen te halen.

Ook in België is hernieuwbare energie beschikbaar. De consument moet zijn energieleverancier zelf kunnen kiezen in een vrije markt.

De markt is inderdaad vrijgemaakt in Vlaanderen, maar slechts gedeeltelijk (voor ondernemingen) in Wallonië en Brussel. Op één uitzondering na: particulieren die kiezen voor milieuvriendelijke energie kunnen er nu al zelf een groene energieleverancier kiezen.

Groene elektriciteit wordt door de producenten in een 'verzamelbekken' gestopt, het internationale transport net. Het aandeel van de groene energie in dat verzamelbekken

groeit voortdurend aan. En dat zal zo blijven nu meer en meer klanten de voordelen ervan inzien. ([www.spe.be](http://www.spe.be))

WKK en trigeneratie zijn geen vormen van groene energie, maar zorgen wel voor een vermindering van de CO<sub>2</sub> gassen. WKK zou nog een grotere bijdrage kunnen leveren door biobrandstoffen te gebruiken in plaats van fossiele brandstof.

### **2.3.1 WKK en biomassa**

Een klassieke WKK installatie gebruikt nog steeds fossiele brandstoffen. Er worden dus nog steeds broeikasgassen uitgestoten. Men kan de WKK dus niet op één lijn zetten met windmolens of zonnepanelen. Deze laatste maken immers elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen. Het is echter ook mogelijk om een WKK te laten werken met hernieuwbare energiebronnen. Hierbij denken we dan niet zozeer aan wind of zonlicht, maar vooral aan biogas, biodiesel, bio-olie, hout, afval, mest, ... Het gebruik van deze brandstoffen in een WKK levert een dubbel voordeel op inzake emissiereductie en energiebesparing: niet alleen wordt een zogenaamd 'groene' brandstof gebruikt, maar bovendien wordt deze op een zeer efficiënte manier aangewend via het principe van warmtekrachtkoppeling.

Met behulp van de groenestroomcertificaten moedigt de Vlaamse Overheid reeds een drietal jaar de elektriciteitsproductie uit hernieuwbare energiebronnen aan. Zoals al vermeld, is het vanuit energetisch oogpunt zeer interessant om zich niet te beperken tot zuivere elektriciteitsproductie, maar warmtekrachtkoppeling te overwegen, tenminste indien er een lokale warmtevraag is. Bovendien bestaat de mogelijkheid om hiervoor een extra financieel steuntje in de rug te krijgen via het systeem van warmtekrachtcertificaten, dat sinds kort operationeel is. De wetgeving voorziet immers dat een warmtekrachtinstallatie met biobrandstof zowel groenestroomcertificaten als warmtekrachtcertificaten kan bekomen. In de praktijk is dit echter niet steeds even evident.

Voor de groenestroomcertificaten stelt zich geen probleem. Per MWh geproduceerde elektriciteit krijgt men één groenestroomcertificaat, dat vrij kan verkocht worden aan elektriciteitleveranciers. De prijs die zij daarvoor willen betalen ligt doorgaans rond 90% van de boete die zij zouden moeten betalen indien zij niet genoeg certificaten kunnen voorleggen. In de praktijk betekent dit ongeveer 110 euro per certificaat.

Om daarnaast ook warmtekrachtcertificaten te kunnen krijgen, moet men voldoen aan het kwaliteitscriterium van 5% relatieve primaire energiebesparing op jaarbasis ten opzichte van de referentie-installaties voor gescheiden productie (best beschikbare technieken). Dit wordt in het volgende hoofdstuk verder uitgelegd. (Cogenvl, 2004)

De Vlaamse Overheid zou de productie van 'groene stoom' en 'groene warmte' uit WKK verder stimuleren. Dit, samen met de verdere ontwikkeling van de technologie, moet er in de toekomst toe leiden dat de interessante optie van warmtekrachtkoppeling met een hernieuwbare energiebron als brandstof in grotere mate toegepast wordt in Vlaanderen.

Verschillende vormen van hernieuwbare energie zijn, energie uit biomassa, windenergie en waterkracht energie. Zowel Electrabel en SPE, de twee grootste leveranciers in België maken gebruik van hernieuwbare energie. Zo heeft Electrabel in België 10 windparken, goed voor 42 MW, 10 waterkrachtcentrales goed voor 22 MW en 5 centrales die met biomassa werken. SPE beheert 3 biogasinstallaties, 8 waterkrachtcentrales en een drietal windmolenparken. Toestand eind 2004 (Electrabel, 2005)



## **2.4 WarmteKrachtKoppeling (WKK)**

### **2.4.1 Definitie van WKK**

Warmtekrachtkoppeling (WKK) is het gelijktijdig produceren van warmte en elektriciteit in dezelfde installatie. De productie van warmte staat voorop, elektriciteit is het bijproduct. Een warmtekrachteenheid wordt op maat ontworpen, inspeland op de lokale warmtebehoefte. Zo zal er dus in eerste instantie gebruik worden gemaakt van de hoogwaardige warmte om mechanische energie op te wekken, die via een alternator kan omgezet worden in elektriciteit. Vervolgens zal de laagwaardige warmte worden gebruikt om te voorzien in de verwarming van het gebouw.

In de praktijk wordt WKK soms in verband gebracht met 'peak-shaving' en 'noodgroepen', maar het is belangrijk deze zaken goed van elkaar te onderscheiden.

'Peak-shaving' is een vorm van zelfproductie van elektriciteit die enkel gebaseerd is op energiekostenbesparing; de vrijkomende warmte wordt niet benut, zodat hier geen sprake is van besparing op primaire energie en dus ook niet van WKK. Bij 'peak-shaving' kan onderscheid gemaakt worden tussen:

- zuivere peak-shaving installaties, die geprogrammeerd inschakelen wanneer een maximaal toegelaten waarde van de kwartuurpiek dreigt overschreden te worden;
- peak-shaving installaties die gedurende de piekuren van het optioneel uurseizoentarieef in bedrijf zijn. Dergelijke peak-shaving installaties hebben dus niets te maken met WKK.

Bij een aantal bedrijven en in enkele specifieke sectoren (bv. ziekenhuizen) dienen vaak noodgroepen geïnstalleerd te worden om de elektriciteitsvoorziening te kunnen garanderen in geval het openbare elektriciteitsnet uitvalt.

Deze relatief dure groepen treden zelden in bedrijf; ze moeten enkel regelmatig getest worden, wat nog eens bijkomende kosten met zich meebrengt.

Het valt te overwegen om in plaats van een noodgroep een WKK-installatie te plaatsen, zodat de vereiste bedrijfszekerheid bereikt kan worden met een 'actieve installatie'. Er dient hierbij echter nadrukkelijk vermeld te worden dat een WKK-installatie best niet gebruikt wordt als noodgroep voor zeer kritische afnemers (bijvoorbeeld het operatiekwartier in een ziekenhuis). Voor iets minder kritische elektriciteitsgebruikers kan een WKK eventueel wel dienst doen, al dient hierbij het extra studiewerk niet onderschat te worden. (www.belcogen.be)

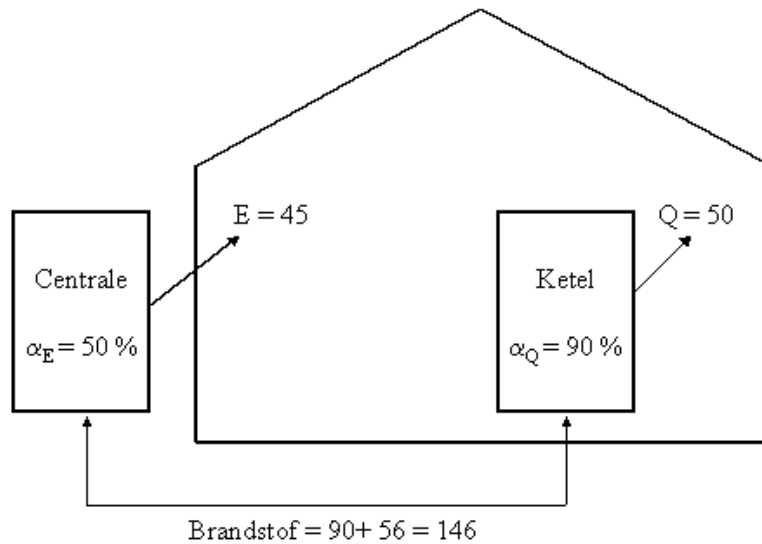
Het grote voordeel van WKK is dat bij een gezamenlijke opwekking van warmte en elektriciteit de in de brandstof aanwezige energie veel beter benut wordt. Er zal bij co-generatie (WKK) dan ook minder brandstof nodig zijn dan bij gescheiden productie van eenzelfde hoeveelheid warmte en elektriciteit. Dit wordt in het volgende voorbeeld verduidelijkt.

#### **2.4.2 Energetisch aspect van WKK**

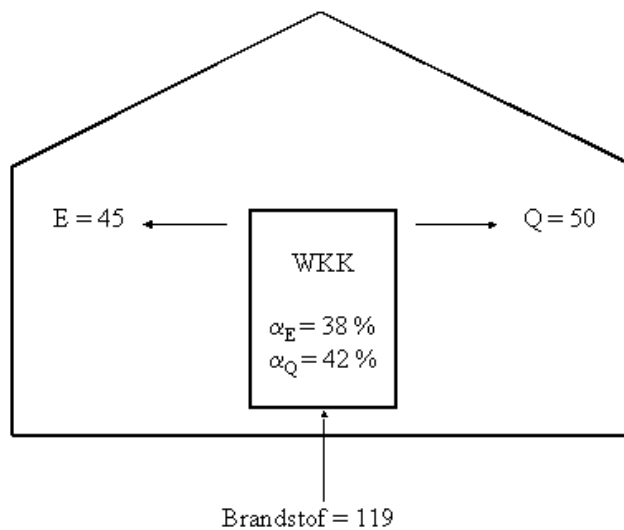
Een bedrijf heeft een bepaalde behoefte aan warmte en elektriciteit, en kan aan deze behoefte voldoen via gescheiden productie of via warmtekrachtkoppeling. Bij een goed gedimensioneerde WKK, zal deze laatste optie voor een aanzienlijk kleiner totaal brandstofverbruik zorgen. Brandstof is primaire energie, zodat men voor WKK vaak spreekt over een primaire energiebesparing. (Vb van COGEN)

Nemen we als voorbeeld een bedrijf dat 45 eenheden elektriciteit en 50 eenheden warmte nodig heeft.

We veronderstellen dat bij gescheiden opwekking de elektriciteitsproductie een rendement heeft van 50% en de warmteproductie (ketel) een rendement van 90% haalt. Deze configuratie leidt dan tot een brandstofverbruik van  $45/0,5 + 50/0,9 = 146$  eenheden.



Een WKK, stel een gasmotor, met elektrisch rendement van 38% en een thermisch rendement van 42%, kan in theorie precies aan deze vraag voldoen, en heeft daarvoor 119 eenheden brandstof nodig. Dit zijn 27 eenheden minder dan bij gescheiden productie, of een relatieve primaire energiebesparing van 18,5%.



Voorgaande is natuurlijk een ideaal geval, waarbij de WKK op elk moment precies de behoefte aan zowel warmte als elektriciteit kan dekken. In de praktijk is dit niet altijd het geval, zodat de mogelijkheid om bijkomende energie te produceren op de klassieke wijze steeds moet voorzien worden. Dit zorgt er natuurlijk voor dat de primaire energiebesparing ietwat kleiner zal zijn dan wat hiervoor werd berekend. Ook wordt er in de bovenstaande situatie niet rekening gehouden met transport verliezen. Deze zouden ongeveer 8% bedragen. (Trigemed, 2003; Cogenvl, 2004)

De kwaliteitsindex is een maat voor de energiebesparing van een warmtekrachteenheid ten opzichte van de gescheiden productie van warmte (in een hoogrendementsketel) en elektriciteit (in een centrale die de beste technologie met dezelfde brandstof gebruikt). Als een WKK-eenheid 5 % minder brandstof verbruikt, krijgt ze het label kwaliteits-WKK. Basisvoorwaarden voor een kwaliteits-WKK zijn: een continue en stabiele warmtevraag en een warmtegebruiker die zich dicht bij de productie-eenheid bevindt.

Een kwaliteits-WKK zoals Electrabel die installeert, zet tot 85 % van de brandstofenergie om in warmte en elektriciteit. Hij geeft ongeveer 15 % minder uitstoot van schadelijke stoffen dan de gescheiden productie van warmte en elektriciteit. Een kwaliteits-WKK van 42 MW bespaart per jaar tot 15 miljoen m<sup>3</sup> aardgas en 30 000 ton CO<sub>2</sub>-uitstoot. (Electrabel (d), 2005)

### **2.4.3 Ecologische voordelen van WKK**

Een ander voordeel van WKK is het verminderde brandstofverbruik. Dit houdt in dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot en de uitstoot van andere schadelijke stoffen (roet, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, ...) in belangrijke mate gereduceerd wordt. Voor bedrijven betekent dit een vermeden kost door CO<sub>2</sub> reductie. Verder wordt zo het engagement van België voor de Kyoto normen gesteund. We zullen verder zien dat trigeneratie de CO<sub>2</sub> uitstoot nog verder kan verminderen.

#### *2.4.3.1 Interne en externe kosten*

Bij het produceren van goederen en diensten ontstaan kosten. Onder kosten verstaat men de in geld uitgedrukte waarde van offers die gebracht moeten worden voor het vervaardigen van een product of dienst. De kosten van een onderneming worden bepaald door de inzet en de prijs van de productiefactoren (natuur, arbeid, kapitaal en management). De kosten van de onderneming zelf worden private kosten, of ook wel interne kosten genoemd. Deze kosten komen voor in de bedrijfsboekhouding en worden ook wel aangeduid als interne kosten. (Smekers, 1995)

Externe kosten zijn kosten waar het bedrijf niet voor verantwoordelijk is op een bepaald ogenblik, als men het bekijkt op markt gebied omdat er geen markt of overheidsmaatregelen zijn die deze toewijzen aan het bedrijf. Deze externe kosten worden ook wel sociale kosten genoemd omdat zij terugvallen op de maatschappij in haar geheel. Men zou er in de boekhouding van het bedrijf rekening mee moeten houden omwille van de internationale concurrentie, het nemen van verantwoordelijkheid voor zijn daden en het vermijden van de juridische mallemlen. (Bovea, 2004)

Wanneer men vanuit een breder perspectief de externe kosten van de productie gaat bekijken, gaat dit over het algemeen resulteren in een lagere totaalkost voor de producent. Men gaat meer efficiënt gebruik maken van de mogelijkheden van het bedrijf, wat resulteert in lagere kosten. (Gebremedhin, 2002)

Onder externe kosten verstaat men ook het gebruik van natuurlijke bronnen, de impact van de productie op de gezondheid van een mens en dier, de ecologische impact en de impact op gebouwen. (Bovea, 2004)

De productie van goederen en diensten gaat dikwijls samen met hinder voor het milieu onder verschillende vormen zoals onder andere stank, lawaai, luchtvervuiling, emissie van afvalstoffen in het water en andere aantastingen van de leefomgeving. Wanneer men

bijvoorbeeld fossiele brandstof gebruikt voor de verwarming van het huis heeft men niet het gevoel kosten te hebben gemaakt voor het gebruik van de natuur. In deze situatie maakt men wel degelijk gebruik van de schaarse productiefactoren zoals bijvoorbeeld aardolie, zuivere lucht,... en dus maakt men kosten voor de opoffering van deze productiefactoren. Deze kosten die doorgaans niet door de individuele producent worden gedragen, maar die voor de samenleving als geheel wel degelijk een waardeverlies betekenen, worden externe kosten genoemd. (De Nocker, 2001)

#### *2.4.3.2 Vermeden externe kosten*

In Kyoto werden bindende doelstellingen vastgelegd voor het verminderen van de broeikasgasemissies. België moet zijn emissies verminderen met 7,5% t.o.v. 1990 tegen het jaar 2008-2012. Volgens een zeer recente VITO-studie betekent dit een reductie van de CO<sub>2</sub>-emissies met 30% ten opzichte van de verwachte evolutie zonder maatregelen. Volgens ditzelfde rapport dient rationeel energiegebruik het grootste deel van deze kloof te overbruggen, maar kan de realisatie van het korte termijnpotentieel aan hernieuwbare energiebronnen toch instaan voor 16 % van de noodzakelijke emissievermindering. Dit korte termijn potentieel wordt daarbij op 3 % van de energievoorziening geraamd.

België kan op 2 manieren voldoen aan zijn verplichtingen. Enerzijds door zelf de emissies van broeikasgassen te reduceren, of door het aankopen van bijkomende 'emissierechten' in het buitenland, gebruik makend van de zgn. flexibiliteitmechanismen uit het Protocol van Kyoto

De emissierechten die aan België toekomen krachtens het Protocol van Kyoto worden verdeeld over de 3 Gewesten. De Gewesten zijn er zelf verantwoordelijk voor om na 2012 minstens evenveel emissierechten voor te leggen als er emissies zijn geweest op hun grondgebied. De emissierechten zijn als volgt toegewezen:

Waals Gewest: emissies 1990 min 7,5 % = 50,23 Mton CO<sub>2</sub>-eq

Vlaams Gewest: emissies 1990 min 5,2 % = 83,37 Mton CO<sub>2</sub>-eq

Brusselse Hoofdstedelijk Gewest: emissies 1990 plus 3,475 % = 4,13 Mton CO<sub>2</sub>-eq

Er zijn verschillende manieren waarop België wat kan doen aan uitstoot van CO<sub>2</sub>:

Binnen België: België zou door het gebruik van hernieuwbare energiebronnen en door rationeel energieverbruik de CO<sub>2</sub> emissies drastisch kunnen verminderen. Het stimuleren van deze activiteiten bij bedrijven moet komen van de overheid in de vorm van subsidies of boetes. Zo kunnen er subsidies gegeven worden voor vermeden CO<sub>2</sub> emissies, of voor het opstarten van WKK installaties. Positief hieraan is dat het geld dat België investeert ook degelijk ten goede komt aan België. Bedrijven investeren meer, er worden meer arbeidsplaatsen gecreëerd. ([www.belgium.be](http://www.belgium.be))

België kan ook het tekort aan emissierechten in het buitenland gaan kopen. Er bestaan verschillende mechanismen om dat te doen. Joint Implementation (JI) Clean Development Mechanism (CDM), International Emissions Trading (IET) zijn enkele van deze manieren.

Met het Clean Development Mechanism (CDM) mogen industrielanden een deel van hun reductieverplichting in het buitenland realiseren. CDM combineert de vermindering van broeikasgasemissies met duurzame ontwikkeling van ontwikkelingslanden. Investeren in energiezuinige en schone technologieën reduceren in die landen de uitstoot van CO<sub>2</sub>. Industrielanden kunnen deze uitgespaarde emissies als CO<sub>2</sub>-kredieten kopen. Deze kredieten tellen als eigen emissiereductie mee. De andere twee mechanismen zijn gelijkaardig. Bij beide systemen worden er emissierechten in het buitenland aangekocht. ([www.energie.nl](http://www.energie.nl))

Ook WKK en trigeneratie kunnen hun steentje bijdragen in behalen van de Kyoto norm, en bijdragen tot een betere leefomgeving en het vermijden van externe kosten bij bedrijven. Zoals verder zal blijken in deze eindverhandeling (zie 4.2) kunnen WKK en trigeneratie een primair energievoordeel behalen onder de juiste omstandigheden. Men zal minder energie moeten gebruiken om dezelfde hoeveelheid warmte, elektriciteit en koude te

bekomen. Dit komt de emissie van CO<sub>2</sub> alleen maar ten goede. Er zal minder fossiele brandstof moeten verbrand worden om aan dezelfde vraag te voldoen. Minder fossiele brandstof verbruiken is minder uitstoot van rookgassen en levert dus een positieve bijdrage voor het milieu. Tevens zal het gebruik van trigeneratie er voor zorgen dat de voorraad fossiele brandstoffen langer kan meegaan. Er zal zuiniger met onze energiebronnen omgesprongen worden

#### 2.4.4 Economie

Een toename van het aantal warmtekrachtkoppelinginstallaties zorgt er bovendien voor dat de elektriciteitsproductie wat opschuift van een sterk centrale productie naar een meer gedecentraliseerde productie. Een dergelijke decentrale productie veroorzaakt minder transportverliezen, en maakt een klant minder afhankelijk van één centrale, waardoor de beschikbaarheid van elektrische energie vergroot. (Cogen, 2004)

De tabel geeft de determinerende factoren bij het bepalen van de economische rendabiliteit van de WKK-installatie in 'eigen beheer'.

*Figuur 1: Kostenbaten analyse WKK installatie (www.belcogen.be)*

KOSTEN	BATEN
<b>INVESTERINGSKOSTEN</b>	<b>BESPARING ENERGIEREKENING</b>
<b>VASTE EN VARIABELE EXPLOITATIEKOSTEN (onderhoud, bediening, verzekering)</b>	<u>energierkening geen WKK</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• brandstof ketel</li><li>• aankoop elektriciteit</li></ul> ↑↓ <u>energierkening WKK</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• brandstof WKK en ketel</li><li>• aankoop aanvullende elektriciteit</li><li>• aankoop noodstroom</li><li>• terugleveren elektriciteit</li></ul>
	<b>WKK-CERTIFICATEN</b>
	<b>SUBSIDIES, ...</b>
	<b>VERMEDEN EXTERNE KOSTEN</b>

**Figuur 1: Kostenbaten analyse WKK (www.belcogen.be)**



#### **2.4.5 Steunmaatregelen voor WKK**

WKK installaties vallen binnen een aantal subsidieprojecten die een ruimer toepassingsgebied hebben dan alleen maar WKK. Deze maatregelen bieden een investeringssteun, die eenmalig toegekend wordt op het moment van investering. Daarnaast zijn er ook specifiek op WKK gerichte WKK certificaten. Deze vormen eerder een uitbatingsteun, die gedurende langere tijd loopt, maar toch het hoogst is tijdens de periode vlak na de investering.

Een eerste steunmaatregel die toegepast wordt voor een WKK-eigenaar, is de verhoogde intreftaftrek. Het basispercentage voor 2006 is 13.5%. Daarnaast is er ook nog een bijkomend verhoogd percentage mogelijk. Om van de verhoogde investeringsaftrek te kunnen genieten moet voldaan zijn aan twee voorwaarden. De som van het elektrisch rendement en twee derde van het thermisch rendement moet minstens gelijk zijn aan 55%. Bovendien moeten zowel het elektrisch als het thermisch rendement minstens 25% bijdragen in de totale brandstofbenutting, ook wel totaal rendement genoemd.

Een tweede subsidiemaatregel waar men als WKK-eigenaar kan van genieten, is de ecologiesteun, die valt binnen Europese kaderregeling. Deze subsidiemaatregel kan toegepast worden voor ecologische maar ook voor energiebesparende technieken. Onder deze laatste categorie valt ook WKK. De subsidie bestaat uit het terugbetalen van een deel van de meerkost van de gedane investering. Deze meerkost is het prijsverschil tussen twee mogelijke installaties, waarvan de duurste – die wordt uitgevoerd – een extra milieuvoordeel geeft.

Een laatste vorm van algemene steunmaatregel die ook op WKK van toepassing kan zijn, is de steun aan demonstratie projecten. Om hiervan te kunnen genieten moet het echter gaan om een nieuwe technologie, of om de eerste toepassing van een bestaande technologie in een bepaalde sector. De grootte van de steun bedraagt maximaal 250000 euro, en belooft in praktijk meestal 30 tot 35% van de investering. (Cogenvl, 2004)

#### 2.4.5.1 Warmtekrachtcertificaten in Vlaanderen.

Op 1 januari 2005 is in het Vlaams Gewest een systeem van warmtekrachtcertificaten in werking getreden. Het systeem bestaat enerzijds uit een verplichting voor elke elektriciteitsleverancier om, een minimum aandeel aan elektriciteit uit kwalitatieve warmtekrachtinstallaties te genereren. Anderzijds bestaat de mogelijkheid voor eigenaars van kwalitatieve warmtekrachtinstallaties om warmtekrachtcertificaten aan te vragen bij de VREG. Beide delen worden hieronder nader toegelicht.

In het Vlaamse Gewest worden de volgende technologieën als warmtekrachtkoppeling beschouwd:

- stoom- en gasturbine met warmteterugwinning
- tegendrukstoomturbine
- aftap-condensatiestoomturbine
- gasturbine met warmteterugwinning
- interne verbrandingsmotor
- microturbine
- stirlingmotor
- brandstofcel
- stoommachine
- organische Rankine-cyclus
- overige types technologieën en combinaties daarvan die voldoen aan de definitie van "warmtekrachtinstallatie" volgens het Elektriciteitsdecreet, met name "de opwekking in één proces van warmte en elektriciteit en/of mechanische energie"

WKK-producenten hebben de mogelijkheid om bij de VREG warmtekrachtcertificaten te verkrijgen voor de warmtekrachtbesparing (primaire energiebesparing) die zij hebben gerealiseerd in het Vlaamse Gewest door middel van een kwalitatieve warmtekrachtinstallatie, op voorwaarde dat deze warmtekrachtinstallatie voldoet aan de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties.

Een warmtekrachtcertificaat toont aan dat 1.000 kWh primaire energie werd bespaard in een kwalitatieve warmtekrachtinstallatie ten opzichte van de situatie waarin dezelfde hoeveelheid elektriciteit en/of mechanische energie en warmte gescheiden worden opgewekt. Warmtekrachtcertificaten worden toegekend in immateriële vorm. Zij worden door de VREG geregistreerd in een centrale databank.

Een voorwaarde voor de toekenning van de WKK-certificaten is dus dat deze maar toegekend worden aan de zogenaamde 'kwalitatieve warmtekrachtinstallaties'. Een kwalitatieve WKK moet een relatieve primaire energiebesparing realiseren die groter is of gelijk aan 5% t.o.v. gescheiden opwekking. Deze relatieve primaire energiebesparing wordt berekend via een formule die rekening houdt met elektrische en thermische rendementen van de WKK in vergelijking met deze van klassieke referentiesystemen. De WKK moet dan ook erkend worden door de VREG.

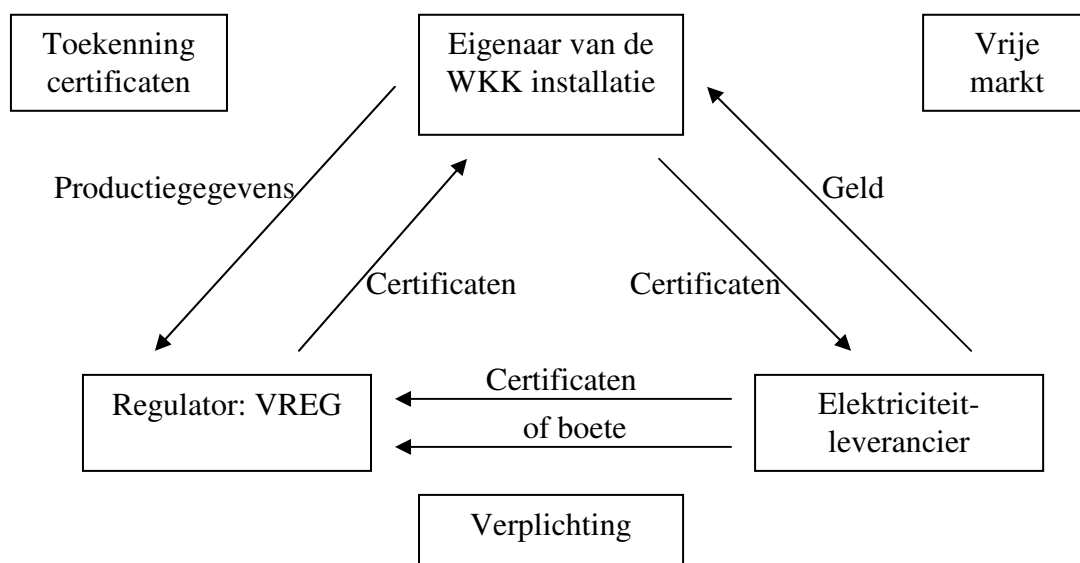
In de toekomst zal het er enigszins anders gaan uitzien. De relatieve primaire energiebesparing (RPE) zal groter moeten zijn als 10 % indien de WKK groter is dan 1 MW. Als de installatie kleiner is dan 1 MWe zal de RPE groter moeten zijn dan 0 %. Hierover is nog niet gestemd, maar dit principe zal waarschijnlijk worden doorgevoerd.

WKK-producenten kunnen deze warmtekrachtcertificaten gebruiken om aan hun certificatenverplichting te voldoen (indien de WKK-producent ook elektriciteitsleverancier is) of kunnen ze deze verkopen aan elektriciteitsleveranciers die nog moeten voldoen aan hun certificatenverplichting.

De controle of een leverancier dit minimum aandeel in acht heeft genomen tijdens een bepaald kalenderjaar, gebeurt door de inlevering van een bepaald aantal warmtekrachtcertificaten voor 31 maart van het daaropvolgende jaar bij de VREG. Het aantal warmtekrachtcertificaten dat een elektriciteitsleverancier moet inleveren, is de zogenaamde warmtekrachtcertificatenverplichting van de leverancier. De VREG berekent jaarlijks het aantal warmtekrachtcertificaten dat iedere leverancier moet inleveren om te voldoen aan deze certificatenverplichting. De leverancier wordt door de VREG op de

hoogte gebracht van dit aantal. De leverancier moet vervolgens dit aantal warmtekrachtcertificaten inleveren bij de VREG.

Een leverancier kan warmtekrachtcertificaten bekomen door zelf primaire energie te besparen, door gebruik te maken van kwalitatieve warmtekrachtinstallaties en daarvoor warmtekrachtcertificaten aan te vragen bij de VREG of door de warmtekrachtcertificaten aan te kopen op de markt. (www.vreg.be)



### Algemeen principe

Het aantal certificaten dat men krijgt wordt bepaald aan de hand van de meegedeelde productiecijfers. Na ontvangst van de certificaten kan de eigenaar van de installatie zijn certificaten verkopen aan de elektriciteitsleveranciers. Het bedrag dat voor de verkoop van de certificaten ontvangen, is de marktprijs van de certificaten. De certificatenmarkt is een vrije markt, en is niet direct gekoppeld aan de elektriciteitsmarkt. Men hoeft dus zijn certificaten niet te verkopen aan dezelfde elektriciteitsleverancier als deze waarmee men een contract heeft voor aankoop of verkoop van elektriciteit. Opdat er een vraag zou zijn op de markt, en opdat de marktprijs dus niet nul zou bedragen, wordt een verplichting

opgelegd aan de elektriciteitsleveranciers. Dit houdt in dat zij op geregelde tijdstippen, in Vlaanderen is dit jaarlijks, een bepaald aantal certificaten moeten inleveren bij de regulator. Deze aantallen worden vooraf vastgelegd; het zijn de zogenaamde quota. Indien de elektriciteitsleveranciers onvoldoende certificaten kunnen indienen bij de regulator, dienen zij per ontbrekend certificaat een administratieve boete te betalen. (Cogenvl, 2003)

## **2.5 De verschillende beschikbare WKK technologieën**

Het basisdeel van een WKK installatie is de machine die elektriciteit en warmte opwekt. Deze machine kenmerkt de installatie. Het tweede belangrijkste deel in een trigeneratie installatie is het apparaat dat koeling opwekt, gebruik makend van de warmte van het cogeneratie proces.

Zoals eerder vermeld wordt de installatie gedimensioneerd naar de warmtevraag en niet naar de elektriciteitsvraag. De elektriciteit die wordt opgewekt kan het bedrijf zelf aanwenden of op het elektriciteitsnet plaatsen. Over dit onderwerp wordt verder dieper ingegaan. In de volgende twee paragrafen volgt een kleine schets over de werking van de verschillende technieken

### **2.5.1 Warmtekracht met verbrandingsmotoren, Ottomotor en Diesel motor**

Deze techniek is aangewezen bij kleine en middelgrote industriële sites en dienstencentra, die nood hebben aan een elektrisch vermogen van 1 tot 5 MW en een behoefte aan warm water op een temperatuur van 50 tot 110 °C. De gasmotor drijft een alternator aan die voor elektriciteit zorgt. De warmte van de motorkoeling en van de verbrandingsgassen wordt via warmtewisselaars aan een waterkring afgestaan. De klant gebruikt dat warme water voor industriële of residentiële warmtebehoeften, bijvoorbeeld gebouwen- of serreverwarming.

### **2.5.2 Warmtekracht met gasturbines**

Deze techniek is aangewezen bij grootindustrie die een behoefte hebben aan een elektrisch vermogen van meer dan 20 MW en een stoombehoefte vanaf 50 ton/uur. Traditionele grootschalige WKK eenheden bestaan uit een gewone stoomketel die fossiele brandstoffen verstoekt. De geproduceerde stoom drijft een stoomturbine met alternator aan die elektriciteit opwekt. De geproduceerde stoom wordt verder, na het verlaten van de turbine voor warmtetoepassingen bij de klant gebruikt. Omdat de stoom na de turbine nog een zekere druk en temperatuur heeft, spreken we van een tegendrukstoomturbine. Moderne grootschalige WKK eenheden bestaan doorgaans uit een systeem met een gasturbine en een recuperatiestoomketel, eventueel gevolgd door een tegendrukstoomturbine. Electrabel bouwde in partnerschap met ondernemingen in diverse industriële sectoren dergelijke WKK's op de terreinen van de klant. Dat is bijvoorbeeld het geval bij vele chemische bedrijven in de Antwerpse haven.

Het volgende kader geeft een overzicht van de verschillende basis technieken die gebruikt worden bij een WKK installatie.

**Tabel 1: WKK technologieën en hun karakteristieken (Trigemed, 2003)**

Motor	Gas turbine	Stoom turbine	Gecombineerde cyclus	Otto motor/Diesel	Brandstof cellen
Vermogen (Mwe)	0,2 - 100	0,5 - 100	4 - 100	0,015 - 30	0,01 - 0,25
Warmte/Vermogen	1,25 - 2	2-10	0,5 - 1,7	0,4 - 1,7	1,1
Electrische eff. (%)	15 - 35	10-40	30 - 40	25 - 45	35 - 40
Thermische eff. (%)	40 - 59	40 - 60	40 - 50	40 - 60	20 - 50
Totale eff. (%)	60 - 85	60 - 85	70 - 90	70 - 85	55 - 90
Lifetime (jaren)	15 - 20	20 - 35	15 - 25	10-20	> 5
Minimum belasting (%)	75	20	75	50	geen limiet
Beschikbaarheid (%)	90 - 98	99	90 - 98	92 - 97	> 95
Installatie kost (€/kWe)	600 - 800	700 - 900	600 - 800	700 - 1400	> 2500
Service kost (€/Mwu)	2-7	3	2-6	6-12	2-12
Nox (kg/Mwu)	0,2 - 2	0,9	0,2 - 2	1-14	< 0,01
Beschikbare temp. (°C)	450 - 800	-	450 -800	300 - 600	250 - 550
Gebruik van warmte	Warmte, huisverwarming, lage en hoge druk stoom, district warmte	lage en hoge druk stoom, district warmte	lage en hoge druk stoom, district warmte	Warmte, huisverwarming, lage druk stoom, district warmte	huisverwarming, lage en hoge druk stoom,
Brandstof	Gas, vloeibaar	Alles mogelijk	Gas, vloeibaar	Gas, diesel, petroleum	Gas

*Figuur 2: WKK technologieën en hun karakteristieken (TriGeMed, 2003)*

Deze basis technieken kunnen nu gekoppeld worden aan een koelinstallatie. In het volgende hoofdstuk worden de verschillende technieken van koelsystemen gegeven.

### **3. Trigeneratie.**

De conventionele thermo-elektrische installaties zetten 30 % tot 60% van de brandstofenergie om in elektriciteit. De rest zijn verliezen in de vorm van warmte. Het ongunstige effect voor het milieu van deze restwarmte is duidelijk. Het is daarom noodzakelijk om de efficiëntie van de procedure van elektriciteitsproductie te verhogen. Het is nuttig te weten dat afvalwarmte uit de industrie of restwarmte van een warmtekrachtkoppeling beter benut kan worden voor de productie van koude of koeling dan wel deze warmte te dumpen in het milieu. Met de nieuw ontwikkelde absorptiekoelmachines gaat dat een stuk makkelijker dan voorheen. (Verwarming en ventilatie, 2002; Trigemed, 2003)

#### ***3.1 Vraag naar koeling***

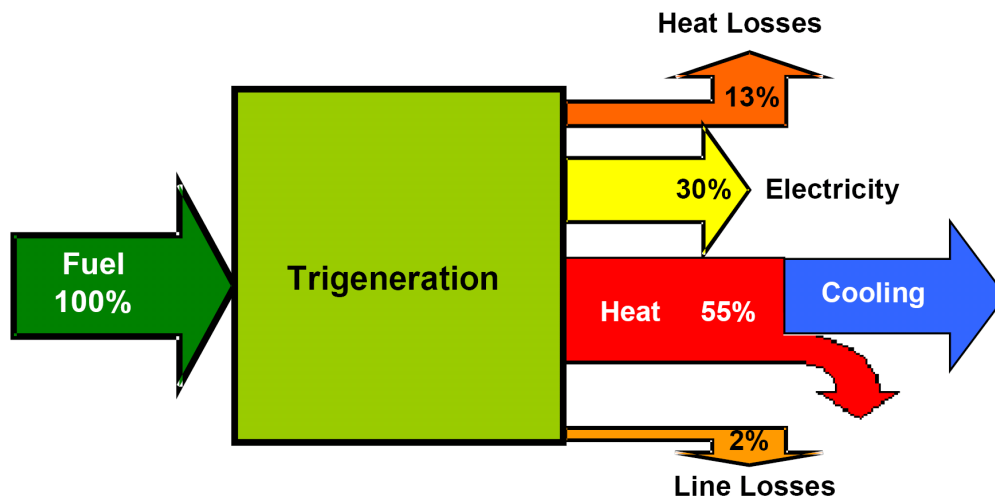
Is er in Vlaanderen nood aan koeling? Kris Peeters heeft de vraag gesteld in zijn energie enquête. Oververhitting tijdens de zomer komt voor in 23% van de woningen, zonder dat hierbij een verschil te merken is naargelang de leeftijd van de woning. Gelukkig bleek het tot dusver voor bijna 95% van de Vlamingen niet noodzakelijk om over te gaan tot het plaatsen van een airconditioningsysteem. Ook naar de toekomst toe zijn slechts weinig gezinnen van plan om zo een systeem te plaatsen. Ondanks de stijgende welvaart en klimaatsverandering blijft de Belg zijn hoofd koel houden. Dit houdt in dat trigeneratie zich in België het beste richt op de industriële en tertiaire sector vermits de residentiele sector er nog niet klaar voor is. (Enquête Kris Peeters.)

#### ***3.2 Energetisch aspect van trigeneratie***

Trigeneratie is het gezamenlijk opwekken van elektriciteit, warmte en koude. Vele bedrijven hebben na warmte en elektriciteit ook koude nodig. Zo denken we onder andere aan slachthuizen of bedrijven die in diepvriesproducten doen. Maar ook voor ziekenhuizen, residenties, grote gebouwen die nood hebben aan airco wordt een WKK installatie een



interessante investering. Het voordeel hierbij is dat tijdens de warme zomermaanden de WKK installatie kan blijven draaien en kan worden aangewend voor koude of airconditioning. Vroeger was het zo dat de installatie alleen nuttig was tijdens de winter maanden wanneer de vraag naar warmte hoog was. Tijdens de zomer stond de installatie echter uit. Dit probleem wordt dus nu verholpen door de trigeneratie (absorptie systeem) eenheid er aan te koppelen. Ook de betrouwbaarheid van de energievoorziening wordt verhoogd. De WKK eenheid verbonden met het elektrische netwerk, waar het elektriciteit verstrekt of absorbeert, waarborgt de ononderbroken werking van de eenheid, in het geval van onderbreking van de werking van de eenheid of de elektriciteitsvoorziening van het netwerk. (Trigemed, 2003)

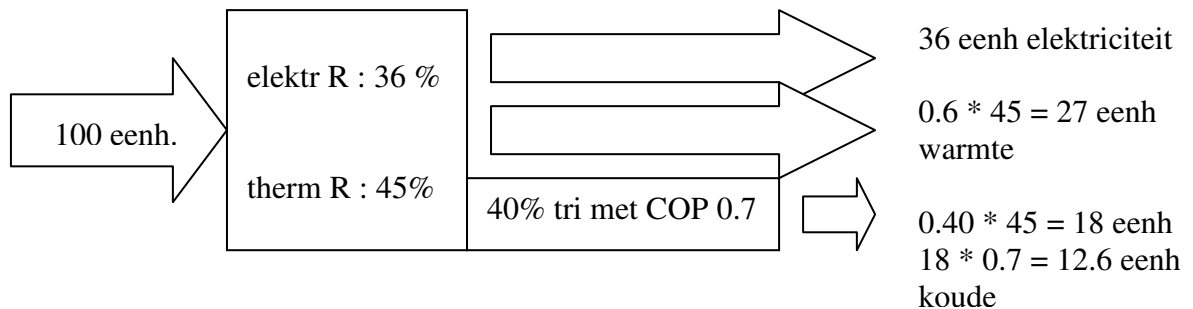


**Figuur 2: Schematisch diagram van trigeneratie (Trigemed, 2003)**

Aan de hand van het volgende voorbeeld zal duidelijk worden dat het gebruik van trigeneratie een primaire energiebesparing (PEB), ook wel warmtekrachtbesparing (WKB) genoemd, oplevert. De PEB is het aantal eenheden die worden uitgespaard bij gebruik van trigeneratie ten opzichte van gescheiden productie. Ook de relatieve primaire energiebesparing (RPE) van de installatie wordt onder de loep genomen. Deze moet groter zijn dan 0 om een PEB te hebben. De RPE is het procentuele brandstof voordeel dat men haalt uit het gebruik van trigeneratie ten opzichte van gescheiden productie.

- $PEB = WKB = P_{ref} - P_{WKK}$
- $RPE = \frac{P_{ref} - P_{WKK}}{P_{ref}}$

### 3.2.1 Productie van elektriciteit, warmte en koude.



Bij gescheiden opwekking gaan we kijken hoeveel eenheden brandstof we nodig hebben om dezelfde eenheden elektriciteit, koude en warmte te kunnen produceren.

We gaan uit van een centrale met een elektrisch rendement van 50 %, een ketel met thermisch rendement van 90 % en een compressorkoelmachine met COP 3.5. Om dezelfde hoeveelheid:

elektriciteit te produceren hebben we dus  $36 / 0.5 = 72$  eenheden brandstof nodig.

warmte te produceren hebben we  $27 / 0.9 = 30$  eenheden brandstof nodig.

koude te produceren hebben we  $12.6 / 3.5 = 3.6$  eenheden / 0.5 ( 50 % elektrisch rendement) = 7.2 eenheden brandstof nodig.

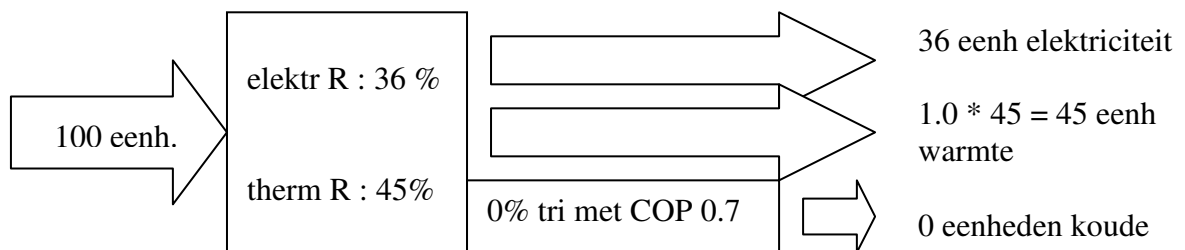
In totaal hebben we dus  $72 + 30 + 7.2 = 109.2$  eenheden brandstof nodig bij gescheiden productie, ten opzichte van 100 eenheden bij gezamenlijke productie. Dit is een primaire energiebesparing van 9.2 eenheden.

De relatieve primaire energiebesparing is 0.084. Dit is groter dan 0 dus we hebben een primaire energie besparing. De RPE is eveneens hoger als 5% en daarom kunnen we spreken over een kwaliteitsinstallatie.

Uiteraard verschilt dit resultaat naargelang de gebruikte referentierendementen en de verdeling tussen warmte en koude productie. Bovendien is het verloop van de energievraag specifiek voor elk bedrijf en moet de energie besparing van een trigeneratie eenheid geval per geval bekeken worden. (Bron: COGEN 2003)

### 3.2.2 Productie van enkel elektriciteit en warmte

Nu gaan we kijken of we met deze trigeneratie eenheid tot een primaire energiebesparing (PEB) komen wanneer we enkel elektriciteit en warmte opwekken. Het elektrisch rendement en het thermisch rendement blijven gelijk. Het verschil is nu dat 100% van de warmte gebruikt wordt als warmte. Dit geeft dan:



Bij gescheiden opwekking gaan we kijken hoeveel eenheden brandstof we nodig hebben om dezelfde eenheden elektriciteit en warmte te kunnen produceren.

We gaan uit van een centrale met een elektrisch rendement van 50 %, een ketel met thermisch rendement van 90 % en een compressorkoelmachine met COP 3.5. Om dezelfde hoeveelheid:

elektriciteit te produceren hebben we dus  $36 / 0.5 = 72$  eenheden brandstof nodig.

warmte te produceren hebben we  $45/0.9 = 50$  eenheden brandstof nodig.

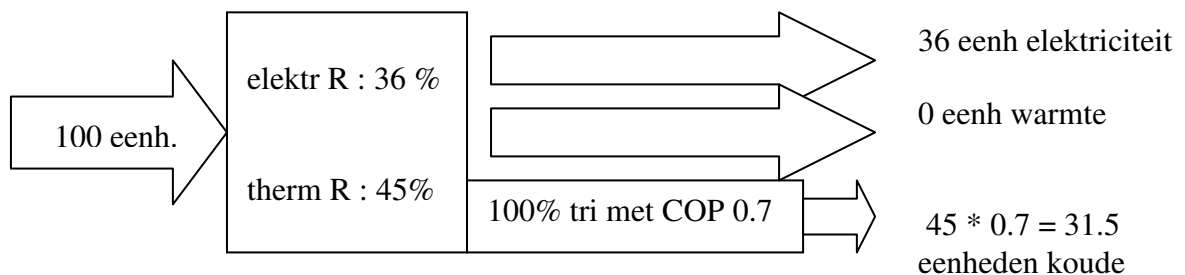
Koude te produceren: we produceren hier geen koude.

In totaal hebben we dus  $72 + 50 = 122$  eenheden brandstof nodig bij gescheiden productie, ten opzichte van 100 eenheden bij gezamenlijke productie. Dit is een primaire energiebesparing van 22 eenheden.

De relatieve primaire energiebesparing is 0.18. Dit is groter dan 0 dus we hebben ook hier een primaire energiebesparing. Ook hier is de RPE groter als 5% en kunnen we spreken van een kwaliteitsinstallatie.

### 3.2.3 Productie van elektriciteit en koude

Ook hier gaan we kijken of we een primaire energiebesparing (PEB) kunnen realiseren als we enkel elektriciteit en koude opwekken. In deze situatie zal dus alle warmte worden aangewend om koude te produceren in de trigeneratie eenheid. Het thermisch en elektrisch rendement blijft gelijk.



Bij gescheiden opwekking gaan we kijken hoeveel eenheden brandstof we nodig hebben om dezelfde eenheden elektriciteit en warmte te kunnen produceren.

We gaan uit van een centrale met een elektrisch rendement van 50 %, een ketel met thermisch rendement van 90 % en een compressorkoelmachine met COP 3.5. Om dezelfde hoeveelheid:

elektriciteit te produceren hebben we dus  $36 / 0.5 = 72$  eenheden brandstof nodig.

warmte te produceren: we produceren geen warmte

Koude te produceren hebben we  $31.5 / 3.5 = 9$  eenheden  $/ 0.5$  (50 % elektrisch rendement) = 18 eenheden brandstof nodig.

In totaal hebben we dus  $72 + 18 = 90$  eenheden brandstof nodig bij gescheiden productie, ten opzichte van 100 eenheden bij gezamenlijke productie. Dit is geen primaire energie besparing.

De relatieve primaire energiebesparing is -0.11. Zoals boven ook aangetoond hebben we hier geen PEB. De relatieve primaire energie besparing is dan ook kleiner dan 0.

Besluit

We zien dat een trigeneratie eenheid een PEB oplevert in de gevallen dat het elektriciteit, warmte en koude opwekt en wanneer het elektriciteit en warmte (dus enkel de WKK installatie gebruikt) opwekt. Het lijkt dus voordeliger te zijn om in de zomer een compressiekoeleenheid en een WKK eenheid te gebruiken dan dat er gebruik wordt gemaakt van een absorptie koelsysteem in combinatie met een WKK installatie (bij 100% koeling). Natuurlijk hangt dit af van de verschillende parameters van de installaties. Het zal ook nooit voorkomen dat 100% van de warmte van de WKK installatie worden aangewend om koude te produceren. Zo komen we wel tot een PEB in het laatste geval als we bijvoorbeeld zouden gebruik maken van een absorptiekoeleenheid met een COP groter

dan 1.08. Dit is haalbaar met een two stage of double effect LiBr absorptie systeem. De COP van deze installatie loopt van 0.9 tot 1.1.

Een ander, toch wel belangrijk, besluit is dat de implementatie van een absorptiesysteem aan een WKK installatie, de PEB en de RPE naar beneden haalt. We kunnen dit duidelijk zien in situatie één (productie warmte, elektriciteit en koude) waar de PEB 9.2 bedraagt en in situatie twee (productie warmte en elektriciteit) waar de PEB 22 eenheden bedraagt. Ook de RPE daalt van 18 % naar 8 %. Dit is te wijten aan het feit dat de COP van de absorptiekoelmachine vrij klein is. De installatie zal zeer goed gedimensioneerd moeten worden zodat het nog steeds een kwaliteitsinstallatie blijft.

Om tot deze conclusies te komen gaan we de bovenstaande berekeningen in een wiskundig model gieten zodat we dadelijk kunnen zien of onze installatie een PEB heeft groter als nul en de RPE groter is als 5% .

Nomenclatuur met tussen haakjes de toegepaste getallen

$P$  : primaire energie consumptie voor de cogeneratie installatie (100)

$Q'$  : Warmte productie van de cogeneratie installatie (27)

$P_f$  : Vraag naar koeling (12.6)

$Q$  : vraag naar warmte (27)

$\lambda$  : deel van de warmte gebruikt voor koeling (40%)

$\alpha_E; \alpha_Q$  : Elektrische / thermische efficiëntie van de cogeneratie installatie (36% / 45%)

$\eta_E; \eta_Q$  : Elektrische / thermische efficiëntie voor gescheiden opwekking (50% / 90%)

$COP$  : Coëfficiënt of performance van de absorptie eenheid (0.7)

$COP_c$  : Coëfficiënt of performance van de compressie eenheid (3.5)

$X$  : Hoeveelheid brandstof nodig voor de elektriciteitsbehoefte bij gescheiden productie

$Y$  : Hoeveelheid brandstof nodig voor de koudebehoefte bij gescheiden productie

$Z$  : Hoeveelheid brandstof nodig voor de warmtebehoefte bij gescheiden productie

### 3.2.4 De vergelijking voor de elektriciteitsbehoefte

Voor de cogeneratie eenheid :  $P \times \alpha_E$  (100 x 0.36 = 36)

Voor gescheiden productie :  $X \times \eta_E$  ( X x 0.5 = 36 )

Dus :  $X = \frac{P \times \alpha_E}{\eta_E}$  ( $\frac{100 \times 0.36}{0.5} = 72$ )

### 3.2.5 De vergelijking voor de koelbehoefte

Voor de cogeneratie eenheid:  $P \times (\alpha_Q \times \lambda) \times COP = P_f$  (100 x (0.45 x 0.4) x 0.7 = 12.6)

Voor gescheiden productie:  $Y \times COP_C \times \eta_E = P_f$  (Y x 3.5 x 0.5 = 12.6)

Dus :  $Y = \frac{COP \times P \times (\alpha_Q \times \lambda)}{COP_C \times \eta_E}$  ( $7.2 = \frac{0.7 \times 100 \times (0.45 \times 0.4)}{3.5 \times 0.5}$ )

Dus :  $X + Y$  is het totaal aantal eenheden dat we nodig hebben voor elektriciteit bij gescheiden opwekking

$$\Rightarrow \frac{COP \times P \times (\alpha_Q \times \lambda)}{COP_C \times \eta_E} + \frac{P \times \alpha_E}{\eta_E}$$

$$= \frac{P}{\eta_E} \times (\alpha_E + (\alpha_E \times \lambda) \frac{COP}{COP_C})$$

### 3.2.6 De vergelijking voor de warmte behoefte.

Voor de cogeneratie eenheid:  $P \times \alpha_Q \times (1 - \lambda) = Q$  (100 x 0.45 x (1 - 0.4) = 27)

Voor gescheiden productie:  $Z \times \eta_Q = Q$  (Z x 0.9 = 27)

$$\text{Dus:} \quad Z = \frac{P \times \alpha_Q (1 - \lambda)}{\eta_Q} \quad \left( 30 = \frac{100 \times 0.45 (1 - 0.4)}{0.9} \right)$$

De voorwaarde om PEB te hebben volgt uit volgende vergelijking:

$$P < X + Y + Z$$

$$P < \frac{P}{\eta_E} \left( \alpha_E + \alpha_Q \lambda \frac{COP}{COP_C} \right) + \frac{P \alpha_Q (1 - \lambda)}{\eta_Q}$$

We kunnen P schrappen in beide leden en vermenigvuldigen met  $\eta_E$

$$\eta_E < \alpha_E + \alpha_Q \lambda \frac{COP}{COP_C} + \frac{\eta_E \alpha_Q (1 - \lambda)}{\eta_Q}$$

Vervolgens herschikken we de ongelijkheid

$$\alpha_E > \eta_E - \left( \lambda \frac{COP}{COP_C} + \frac{\eta_E (1 - \lambda)}{\eta_Q} \right) \alpha_Q$$

Als deze ongelijkheid geldt, is er dus een PEB gerealiseerd.

Toegepast op ons cijfer voorbeeld geeft dit:

$$0.36 > 0.5 - \left( 0.4 \frac{0.7}{3.5} + \frac{0.5(1-0.4)}{0.9} \right) 0.45$$
$$0.36 > 0.314$$

We hebben dus een PEB, zoals boven uitgerekend van 9.2 eenheden



### 3.2.7 Enkele speciale gevallen:

#### 3.2.7.1 Enkel elektriciteit en warmte produceren:

$$\text{In dit geval is } \lambda = 0 \Rightarrow \alpha_E > \eta_E \left( 1 - \frac{\eta_Q}{\eta_Q} \right)$$

$$\text{In ons geval } 0.36 > 0.5 \left( 1 - \frac{0.45}{0.9} \right)$$

$$0.36 > 0.25$$

We zien ook hier een PEB

#### 3.2.7.2 Enkel elektriciteit en koeling:

$$\text{In dit geval is } \lambda = 1 \Rightarrow \alpha_E > \eta_E - \left( \frac{COP}{COP_C} \right) \alpha_Q$$

$$\text{In ons geval } 0.36 > 0.5 - \left( \frac{0.7}{3.5} \right) 0.45$$

$$0.36 < 0.41$$

Zoals ook het telvoorbeeld al duidelijk heeft gemaakt hebben we hier geen PEB.  
(Tchouaté, 2001)

### 3.2.8 Relatieve primaire energie besparing (RPE)

Ook voor de RPE is het handig om met een kleine berekening met de parameters van de installaties te weten te komen of onze installatie een kwaliteitsinstallatie is.

$$RPE = \frac{P_{ref} - P_{WKK}}{P_{ref}} = 1 - \frac{1}{\frac{\alpha_E}{\eta_E} + \frac{COP \alpha_Q}{COP_c \eta_E} \lambda + (1 - \lambda) \frac{\alpha_Q}{\eta_Q}}$$

Met  $RPE > 0$  om een primaire energie besparing te hebben.

### 3.1.8.1 Voor het eerste geval: elektriciteit, warmte en koude produceren

$$RPE = \frac{P_{ref} - P_{WKK}}{P_{ref}} = 1 - \frac{1}{\frac{0.36}{0.5} + \frac{0.7 \cdot 0.45}{3.5 \cdot 0.5} 0.4 + (1 - 0.4) \frac{0.45}{0.9}} = 0.084$$

### 3.1.8.2 Voor het tweede geval: enkel elektriciteit en warmte produceren

Ook voor het tweede geval, blijkt te formule te kloppen en bekomen we dezelfde positieve relatieve energiebesparing als voorheen.

$$RPE = \frac{P_{ref} - P_{WKK}}{P_{ref}} = 1 - \frac{1}{\frac{0.36}{0.5} + \frac{0.45}{0.9}} = 0.18$$

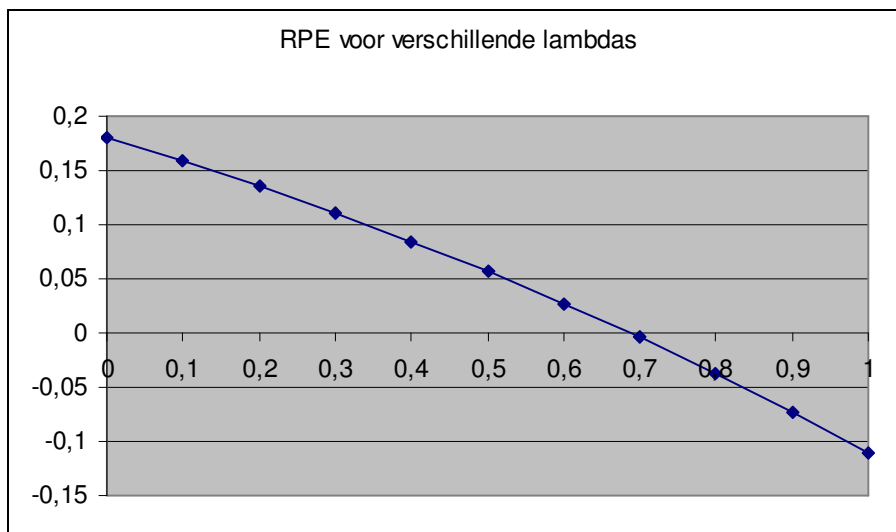
### 3.1.8.3 Voor het derde geval; enkel elektriciteit en koude produceren.

$$RPE = \frac{P_{ref} - P_{WKK}}{P_{ref}} = 1 - \frac{1}{\frac{0.36}{0.5} + \frac{0.7 \cdot 0.45}{3.5 \cdot 0.5}} = -0.11$$

Zoals eerder bekomen we een negatieve RPE wat er dus op duidt dat we geen PEB realiseren en onze installatie het label kwaliteitsinstallatie niet krijgt. (Tchouaté, 2001)

### 3.2.9 Besluit

0.18 en -0.11 zijn de twee uitersten van het spectrum. We kunnen onze  $\lambda$  (percentage warmte dat wordt toegekend om koude te produceren) gaan wijzigen tussen 0, 0%, en 1, 100%, en zo zien wanneer we een primaire energie besparing bekomen. Onderstaande grafiek geeft het hele spectrum weer van RPE's voor verschillende  $\lambda$ 's. We zien dat de RPE positief wordt bij een  $\lambda$  kleiner dan 0.6875. Het is dus belangrijk bij het implementeren van een installatie dat er dus niet boven deze waarde wordt gegaan. Een ander belangrijk punt is dat de RPE ook boven 5% zou moeten liggen. In dit geval spreken we namelijk van een kwaliteitsinstallatie, wat wil zeggen dat er in aanmerking kan gekomen worden voor WKK certificaten. We zien in ons geval dat dit gebeurt bij een  $\lambda$  van 0.52. Dit wil zeggen dat we maximaal 52% van de warmte mogen toekennen om koude te produceren als we een kwaliteitsinstallatie willen hebben.



**Figuur 3: RPE voor verschillende lambda's**

### **3.3 Economie**

De succesvolle installatie van WKK en trigeneratie leidt tot een vermindering van brandstofconsumptie met ongeveer 20% - 25% vergeleken met conventionele elektriciteitsproductie. De energiekosten van trigeneratie eenheden zijn lager dan die van conventionele eenheden. In succesvolle WKK installaties komt de prijsvermindering voor in de waaier van 20-30%.

Op landelijk niveau, vermindert het de behoefte aan installatie van grote stroomeenheden en verhoogt het de stabiliteit van het elektrische netwerk van het land, door een meer gedecentraliseerde elektriciteitsproductie. Het verbetert ook werkgelegenheid op lokaal niveau.

Trigeneratie eenheden bieden significante hulp voor elektriciteitsnetwerken tijdens de hete zomermaanden. De vraag naar koeling wordt verschoven van elektriciteit naar fossiele brandstofnetwerken, sinds het koelprocédé is veranderd van de wijdverspreide compressiecyclus in absorptie koelsystemen. Dit zal de stabiliteit van elektriciteitsnetwerken nog verhogen en verbetert systeemefficiency.(Trigemed, 2003)

### **3.4 De ecologische voordelen van trigeneratie**

De onschadelijkheid van het koudemiddel in absorptiekoelmachines is altijd al een argument geweest in het voordeel van deze techniek. Door de ontwikkeling van veel minder schadelijke koudemiddelen voor compressorkoelmachines en het verbod op gebruik van de oude schadelijke freonen, wordt het milieuargument echter verzwakt. De discussie spitst zich daarom toe op energiegebruik en de daaraan gekoppelde emissies van broeikasgassen. Met de matige rendementen van de traditionele absorptiekoelmachines biedt absorptiekoeling weinig meerwaarde, tenzij er gebruik wordt gemaakt van afvalwarmte. Deze afvalwarmte moet een voldoende hoge temperatuur hebben om koude te kunnen realiseren. Bij een WKK installatie zal dit echter geen probleem zijn. De

restwarmte van een WKK heeft meestal temperaturen rond 90 à 100 °C. Koelen met warmte uit de industrie, die anders verdwijnt in de lucht of in koelwater, is milieutechnisch ijzersterk maar wordt helaas nog veel te weinig toegepast.

**Tabel 2: CO<sub>2</sub>-uitstoot per soort installatie (Verwarming en ventilatie, 2002)**

Soort installatie/systeem	CO <sub>2</sub> -uitstoot [kg/GJ]
Standaard compressiekoelmachine (CKM)	+ 56
CKM met optimale COP	+ 33
Absorptiekoeling (AKM) op afvalwarmte	+ 4
Akm direct gestookt standaard	+ 50
Meertraps AKM direct gestookt max. rendement	+ 37
Wkk met AKM	Nihil*)

\*) de emissie van de wkk is puur op elektriciteit al lager dan die van de mix van de centrales; dit effect wordt gunstiger naarmate het elektrische rendement van de wkk toeneemt.

In de tabel zijn richtgetallen gegeven voor emissie van CO<sub>2</sub>, waarbij voor elektriciteit de gemiddelde emissie van centrales op aardgas, kolen en bruinkool is gehanteerd op basis van een derde voor elk. Uiteraard is dit uitgangspunt arbitrair, maar op de huidige liberale markt is het een redelijke schatting. (Verwarming en ventilatie, 2002)

Het bijplaatsen van een absorptiekoelmachine kan, zeker bij verwarming van gebouwen, de rendabiliteit van een WKK verbeteren. Het complementair zijn van de warmte en koude vraag leidt immers tot een hoger aantal draaiuren. Toch wordt de economische rentabiliteit van trigeneratie eenheden momenteel beperkt door de hoge investeringskosten van de absorptiekoelmachines. Een frequentere toepassing ervan zou de prijs naar beneden kunnen halen, en daarnaast zouden ondersteuningsmaatregelen voor WKK voor een extra stimulans kunnen zorgen.

### 3.4.1 Environnemental Quality Index (EQI)

WKK en trigeneratie zijn manieren om schadelijke uitstoot te verminderen . De EQI is een waarde die aangeeft hoeveel van een schadelijke stof is vermeden met het gebruik van een WKK installatie tegenover gescheiden productie.

Nomenclatuur:

$F_E$  : Emissiefactor van de stof (X) te wijten aan de productie van elektriciteit  
(g(X)/kWh<sub>prim</sub>)

$F_Q$  : Emissiefactor van de stof (X) te wijten aan de productie van warmte (g(X)/kWh<sub>prim</sub>)

$F_C$  : Emissiefactor van de stof (X) te wijten aan de productie van koude (g(X)/kWh<sub>prim</sub>)

$F_C$  : Emissiefactor van de stof (X) voor de trigeneratie eenheid (g(X)/kWh<sub>prim</sub>)

$E$  : Hoeveelheid elektriciteit opgewekt

$Q$  : Hoeveelheid warmte opgewekt

$C$  : Hoeveelheid koude opgewekt

$\lambda$  : deel van de warmte die gebruikt wordt als koude

$\alpha_E; \alpha_Q$  : Elektrische / thermische efficiëntie van de cogeneratie installatie

$\eta_E; \eta_Q$  : Elektrische / thermische efficiëntie voor gescheiden opwekking

$COP$  : Coëfficiënt of performance van de absorptie eenheid

$COP_C$  : Coëfficiënt of performance van de compressie eenheid

Uitstoot van stof X bij gescheiden productie:  $F_E \frac{E}{\eta_E} + F_Q \frac{Q}{\eta_Q} + F_C \frac{C}{(COP_C \cdot \eta_E)}$

Uitstoot van stof X bij de trigeneratie eenheid:  $F_{trig} \frac{E}{\alpha_E}$

Vermeden uitstoot door gebruik van trigeneratie eenheid.

$$F_E \frac{E}{\eta_E} + F_Q \frac{Q}{\eta_Q} + F_C \frac{C}{(COP_C \cdot \eta_E)} - F_{trig} \frac{E}{\alpha_E}$$

Hoeveelheid primaire energie gebruikt door de trigeneratie eenheid:

$$\frac{E}{\alpha_E} = \frac{Q}{\alpha_Q(1-\lambda)} = \frac{C}{(COP \cdot \alpha_Q \cdot \lambda)}$$

De voorwaarde om dus uitstoot te vermijden kunnen we uitdrukken als de volgende ongelijkheid:

$$F_E \frac{E}{\eta_E} + F_Q \frac{Q}{\eta_Q} + F_C \frac{C}{(COP_C \cdot \eta_E)} - F_{trig} \frac{E}{\alpha_E} > 0$$

We brengen het laatste deel ( $F_{trig} \frac{E}{\alpha_E}$ ) naar de andere kant en vermenigvuldigen met  $\frac{\alpha_E}{E}$ ;

we herschrijven Q en C in functie van E en bekomen dan de volgende ongelijkheid met enkel de parameters van de verschillende installaties.

$$F_E \frac{\alpha_E}{\eta_E} + F_Q \frac{\alpha_Q(1-\lambda)}{\eta_Q} + F_C \frac{COP}{COP_C} \frac{\alpha_E}{\eta_E} \lambda \cdot \alpha_Q > F_{trig}$$

$$EQI(CO_2) = \frac{\text{Vermeden CO}_2}{\text{CO}_2 \text{ bij gescheiden productie}} = 1 - \frac{1}{\frac{F_E}{F_{trig}} \frac{\alpha_E}{\eta_E} + \frac{F_Q}{F_{trig}} \frac{\alpha_Q(1-\lambda)}{\eta_Q} + \frac{F_C}{F_{trig}} \frac{COP}{COP_C} \frac{\alpha_E}{\eta_E} \lambda \cdot \alpha_Q}$$

De speciale gevallen:

**Geen koude produceren:** dus enkel WKK, dan is  $\lambda = 0$

We bekommen de volgende formules:

$$F_E \frac{\alpha_E}{\eta_E} + F_Q \frac{\alpha_Q}{\eta_Q} > F_{trig}$$

Met

$$EQI(CO_2) = \frac{\text{Vermeden CO2}}{\text{CO2 bij gescheiden productie}} = 1 - \frac{1}{\frac{F_E}{F_{trig}} \frac{\alpha_E}{\eta_E} + \frac{F_Q}{F_{trig}} \frac{\alpha_Q}{\eta_Q}}$$

**Geen warmte produceren,** enkel koude dan is  $\lambda = 1$

We bekommen de volgende formules:

$$F_E \frac{\alpha_E}{\eta_E} + F_C \frac{COP}{COP_C} \frac{\alpha_E}{\eta_E} \alpha_Q > F_{trig}$$

Met

$$EQI(CO_2) = \frac{\text{Vermeden CO2}}{\text{CO2 bij gescheiden productie}} = 1 - \frac{1}{\frac{F_E}{F_{trig}} \frac{\alpha_E}{\eta_E} + \frac{F_C}{F_{trig}} \frac{COP}{COP_C} \frac{\alpha_E}{\eta_E} \alpha_Q}$$

### 3.4.2 Besluit

Wanneer we even terug naar onze tabel boven gaan kijken zien we dat de uitstoot van CO<sub>2</sub> nihil is. We gaan dus als extreem voorbeeld stellen dat  $F_{trig} = 0$ . Als we dit invullen in onze

algemene vergelijking zien we goed dat 
$$\frac{1}{\frac{F_E}{F_{trig}} \frac{\alpha_E}{\eta_E} + \frac{F_Q}{F_{trig}} \frac{\alpha_Q}{\eta_Q} (1-\lambda) + \frac{F_C}{F_{trig}} \frac{COP}{COP_C} \frac{\alpha_E}{\eta_E} \lambda \cdot \alpha_Q}$$

evolueert naar 0, en de EQI evolueert naar

1. Ons doel is dus een EQI te bekommen die positief is en zo dicht mogelijk bij 1 ligt. Een negatieve EQI duidt op een extra uitstoot van de bepaalde stof, dit is zeker niet gewenst.



## 4. Werkingsprincipe van verschillende types koelmachines

Er bestaan twee types van koelmachines die geschikt zijn om een combinatie te vormen met een WKK installatie. De koelmachine met compressor en de absorptiekoelmachine. Beide hebben hun voor- en nadelen, die later besproken worden. Hier gaan we in op de verschillende werkingsprincipes.

### 4.1 Thermodynamica

Neem een koelingproces dat warmte  $Q'$  van een lage temperatuur  $T$  brengt naar de omgevingstemperatuur  $T_0$  met behulp van een hoeveelheid geordende energie  $W$ , waarbij  $T_0$  de hoge temperatuur is en  $T$  de lage temperatuur. De hoeveelheid geproduceerde warmte is  $Q' + W$  bij temperatuur  $T_0$  ten opzichte van de lage temperatuur  $T$ .

Het energetisch en exergetisch rendement zal dan gegeven worden door de volgende vergelijkingen.

- Maximaal energetisch koelrendement ( $\tilde{\eta}_{KM}$ )

Hierdoor verstaan we  $\max\left(\frac{Q'}{W}\right)$ , dus de maximale hoeveelheid warmte die we kunnen onttrekken per eenheid gebruikte geordende energie. Dit zal zich voordoen als het proces isentropisch is. Zij dan  $W_E$  de hoeveelheid nodige geordende energie, dan is

$$\frac{Q'+W_E}{W_E} = \frac{T_0}{T_0 - T} \text{ waaruit } \frac{Q'}{W_E} = \frac{T}{T_0 - T}$$

Dus

$$\tilde{\eta}_{KM} = \frac{Q'}{W_E} = \frac{T}{T_0 - T}$$

Deze waarde kan men bezwaarlijk een energetisch rendement zonder meer noemen, omdat vergeleken wordt wat men verliest met wat men moet geven. Men moet geven om te kunnen verliezen.

- Gerealiseerd energetisch koelingrendement

$$\tilde{\eta}_K = \frac{Q'}{W} < \tilde{\eta}_{KM} \text{ want } W > W_E$$

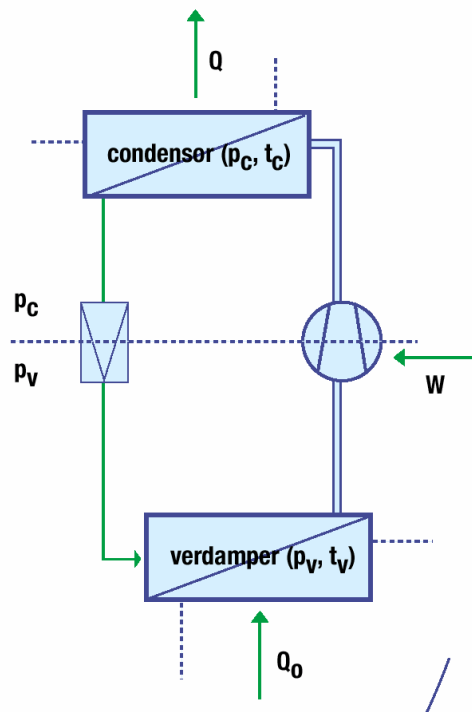
- Exergetisch koelingrendement

$$\tilde{\eta}_{KM} = \frac{W_E}{W} = \frac{Q'}{W} \left( \frac{T_0}{T} - 1 \right) < 1$$

(Lemeire, 2004)

#### 4.2 Algemeen werkingsprincipe van een koelmachine met een compressor.

Het hart in dit systeem is de compressor. Hij zal de koelstof doorheen het systeem pompen. In de verdamper heerst er een lage druk waardoor de koelvloeistof bij een lage temperatuur kan verdampen. Hierbij onttrekt men warmte van de omgeving, waardoor er koelte ontstaat. De koelstofdamp wordt dan door de compressor op hoge druk gebracht, waarna het naar de condensor wordt gestuurd. Hier wordt het gas weer tot vloeistof gebracht en zal het dus warmte afgeven. De vloeistof vloeit weer naar de verdamper en de cyclus begint opnieuw.



Figuur 4: Schematische voorstelling van een compressor koelcyclus (Cogenvl, 2003)

In deze kringloop is  $Q_0$  de hoeveelheid warmte die wordt onttrokken aan de koelruimte, en is dus de koude die geproduceerd wordt. Een compressor heeft als voeding elektriciteit nodig, hier voorgesteld door  $W$ , arbeid. De condensor geeft een hoeveelheid warmte af, voorgesteld door  $Q$ . De wet van energie behoud zegt ons dat energie<sub>in</sub> = energie<sub>uit</sub>. In ons geval is dit  $Q = Q_0 + W$ .

Elke stof heeft een verschillende dampspanningscurve. Dit wil dus zeggen dat een koelstof zal moeten gekozen worden in functie van de koude temperatuur die men wenst te bereiken. Bij de keuze van de koelvloeistof zal er ook gekeken worden naar de veiligheid, en de impact die het op het milieu kan hebben. Vroeger werden nog regelmatig koelmiddelen gebruikt die de ozonlaag aantasten, verbindingen van chloor, fluor, koolstof. Tegenwoordig gebruikt men koelmiddelen die de ozonlaag niet meer aantasten, maar wel nog steeds schadelijk kunnen zijn bij lekkage, zoals ammoniak en water.

Een belangrijk gegeven vooraleer men een koelsysteem gaat implementeren is de COP (Coefficient of performance). Hij geeft de maat voor prestatie aan van de koelmachine. De COP is vooral afhankelijk van het temperatuursverschil tussen de verdamper en de condensor en in minder mate van het type compressor en koelmiddel.

$$COP = \frac{Q_0}{W}$$

Een grote COP impliceert dus meer koude, bij een gegeven hoeveelheid arbeid. De COP waarde van een koelsysteem met een compressor liggen momenteel tussen de 3 en 6. (www.daikin.com; Cogenv,1 2003)

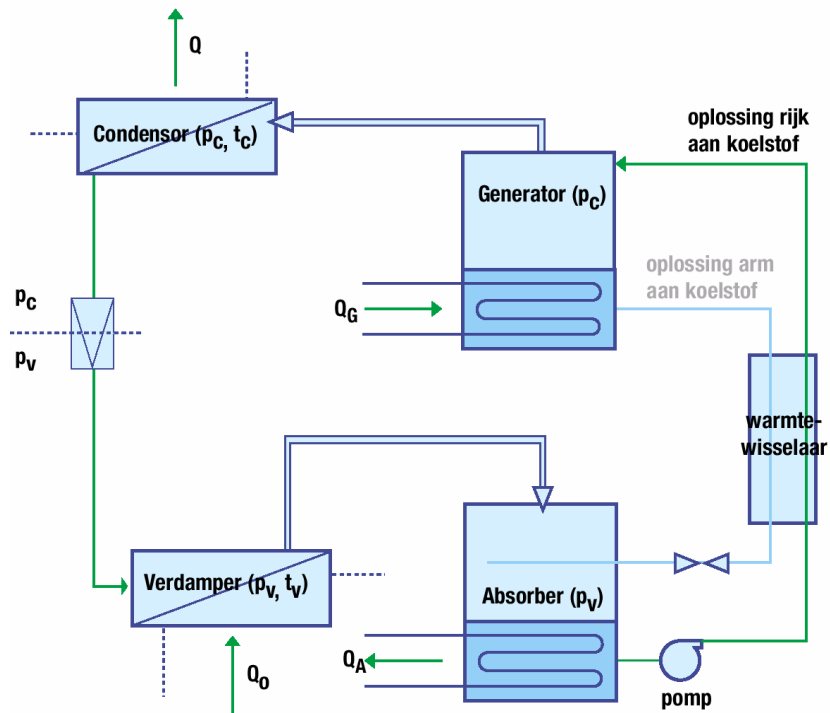
### **4.3 Algemeen werkingsprincipe van een absorptiekoelmachine**

Een absorptiekoelmachine verschilt van de compressorkoelmachine doordat het geen compressor heeft. Buiten een verdamper en een condensor heeft dit systeem ook nog een absorber, een pomp, een generator en een warmtewisselaar. Hieronder wordt het

werkingsprincipe van een absorptiekoelmachine met 1 level weergeven. Over systemen met meerder levels wordt later nog iets verteld.

Zoals bij de compressorkoelmachine verdampt ook hier een koelstof bij lage temperatuur en lage druk in de verdamper. Deze lage druk wordt bekomen doordat het absorptiemiddel in de absorber, in de volgende stap, een sterke aantrekkingskracht uitoefent op de gevormde damp. De damp wordt door de absorber aangezogen en geabsorbeerd. Bij deze absorptie komt warmte vrij, en deze wordt met behulp van koelwater afgevoerd, zodat de temperatuur in de absorber constant blijft. De oplossing wordt door de absorptie rijker aan koelstof. De aangereikte oplossing wordt vervolgens door de pomp naar de generator gebracht. Doordat warmte wordt toegevoegd aan de generator, heerst daar een hogere temperatuur dan in de absorber. Dit betekent dat een deel van de geabsorbeerde koelstof opnieuw verdampt. De damp gaat dan, doorgaans via een vloeistofafscheider, naar de condensor. De arme oplossing wordt van de generator terug naar de absorber gebracht, waar ze opnieuw koelstof absorbeert.

Om de warmtetoevoer naar de generator en het koelwater verbruik van de absorber zo laag mogelijk te houden, voorziet men meestal een warmtewisselaar, waarin de arme oplossing afkoelt en de rijke opwarmt. Daarnaast wordt meestal ook een ontspanningskraan voorzien in de leiding met de arme oplossing; gezien de generator op een hoge druk (condensordruk) staat dan de absorber.



Figuur 5: Schema absorptiekoelmachine (Cogenvl 2003)

Ook hier geldt de wet van energie behoud.  $Q$  is de hoeveelheid warmte die de condensor afgeeft.  $Q_0$  is de warmte die onttrokken wordt aan de omgeving.  $Q_A$  is de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij absorptie en  $Q_G$  is de hoeveelheid warmte die wordt ingevoerd in de generator. We passen de wet van energiebehoud toe,  $Q_0 + Q_G = Q + Q_A$

Ook hier speelt de COP weer een belangrijke rol en wordt weergegeven door.

$$COP = \frac{Q_0}{Q_G}$$

Ook hier is de COP afhankelijk van de temperaturen in de condensor en verdamer, van het koelmiddel en van het temperatuurniveau van de toegevoegde warmte. De waarde van de COP bij absorptiekoeling liggen tussen de 0.5 en 1.2, wat opmerkelijk lager is dan de COP's bij compressorkoeling. De COP van de compressorkoelmachine ligt ongeveer 5

keer hoger dan die bij absorptiekoeling, dit om dezelfde condensor- en verdampertemperaturen te bekomen.

Bij een compressorkoelmachine dient er via het koelwater warmte afgevoerd te worden. Deze afgevoerde warmte  $Q_{afvc}$  is gelijk aan de som van de arbeid  $W$  die in de compressor wordt gestoken en het koeffect  $Q_0$ . Bij een absorptie koelmachine dient ook nog eens van de absorber warmte afgevoerd worden. Hier is de afgevoerde warmte  $Q_{afva}$  gelijk aan de som van het koeffect  $Q_0$  en de toegevoegde warmte aan de generator  $Q_G$ .

Compressor koeling:  $Q_0 + W = Q_{afvc}$

Absorptiekoeling:  $Q_0 + Q_G = Q_{afva}$

We weten ook dat  $Q_G$  ongeveer 5 keer groter is dan  $W$ . Wat uiteindelijk laat zien dat de hoeveelheid afgevoerde warmte bij absorptie koeling ongeveer 3 keer hoger zal liggen dan bij compressorkoeling. Men zal dan ook de parameters (temperatuurstoename van het koelwater, logaritmisches temperatuursverschil in de condensor,...) oordeelkundig moeten kiezen om de koelwaterkosten binnen redelijke grenzen te houden en de condensoroppervlakte te beperken.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Compressor koeling: } Q_0 + W = Q_{afvc} \\ \text{Absorptiekoeling: } Q_0 + 5 \times W = Q_{afva} \end{array} \right\} Q_{afva} = 3 \times Q_{afvc}$$

(Cogenvl, 2003)

### **4.3.1 Direct en indirect linken**

In een trigeneratie systeem gebruikt de AKM de warmte afkomstig van de cogeneratie installatie. Dit gebeurt meestal in de vorm van gassen of warm water. Er zijn twee manieren om deze overdracht van warmte te laten verlopen, de directe en de indirecte manier.

#### *4.3.1.1 Indirecte manier*

Bij deze manier worden de uitlaatgassen van de cogeneratie eenheid gebruikt om stoom of heet water in een boiler te produceren. De absorptiekoelmachine wordt dus gevoed met het heet water of de stoom uit de boiler. Het voordeel van dit systeem is dat de stoom en het heet water niet enkel door de AKM gebruikt kan worden, maar ook kan worden gebruikt voor andere doeleinden.

#### *4.3.1.2 Directe manier*

Hier worden de uitlaatgassen rechtstreeks gebruikt voor de absorptiekoelmachine. Het is belangrijk dat de absorptiekoelmachine en de cogeneratie installatie kort bij elkaar staan, dit om druk vallen te voorkomen en kosten van pijpleidingen te sparen. Het voordeel van dit systeem is dat er geen extra boiler zal moeten geplaatst worden, wat de investeringskost en de onderhoudskosten drukt.

Voor beide manieren van linken geldt dat er geen feedback van de absorptiekoelmachine naar de cogeneratie installatie gaat. De absorptiekoelmachine werkt onafhankelijk van de cogeneratie installatie. Als er geen nood is aan koeling zullen de uitlaatgassen langs de absorptiekoelmachine geleid worden. Wanneer er zich pieken voordoen in de koude vraag, zal er gewerkt worden met een combinatie van absorptiekoelmachine en CP. De CP zal dan de pieken opvangen. (Science Direct, 2001)

### **4.3.2 De verschillende soorten absorptiesystemen, LiBr-H<sub>2</sub>O en H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>**

Als men werkt met een absorptiekoelmachine heeft men altijd een werkend paar nodig, het koelmiddel en het absorbent. Zoals eerder al vermeld zijn er veel verschillende soorten van koelmiddelen, toch zijn er in de loop der jaren maar twee paren die het meest gebruikt worden. Het ene is ammoniak als koelmiddel (NH<sub>3</sub>) met water als absorbent, het andere is een oplossing van het zout Lithiumbromide (LiBr) als absorbent in water als koelmiddel.

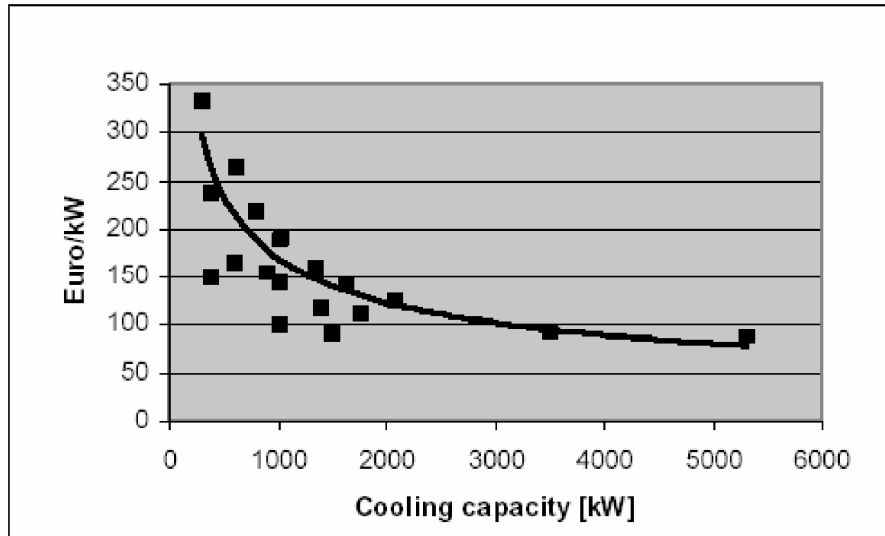
#### *4.3.2.1 LiBr-H<sub>2</sub>O*

Bij dit paar is water de koelstof. Water verdampt onder atmosferische druk (1.013 bar) bij 100°C. Om water nu te laten verdampen bij lage temperatuur is er een sterk verlaagde druk nodig. Een koelmachine met water als koelstof zal dus onder vacuüm moeten werken om verdamping mogelijk te maken. Dit paar wordt gebruikt voor koeling met temperaturen boven 5 °C, dus voor airconditioning en koeling van ruimtes, zoals kantoren, hotels en ook proceskoeling. Er zijn twee vormen van koelen met lithiumbromide. De single-effect machine en de dubbel-effect machine. De single-effect machine heeft een COP die ligt tussen 0.6 en 0.7, de dubbel-effect machine heeft een COP die ligt tussen 0.9 en 1.2. De complexiteit van dubbel-effect machines verhoogt hun kosten over single-effect machines. (Trigemed, 2003; Cogenvl, 2003)

##### 4.3.2.1.1 Kosten

Betreffende absorptie koelwater - lithiumbromide als het werkend paar, spreiden de koelkosten zich van ongeveer € 870 tot € 920 per ton capaciteit (de dubbel-effect voegt ongeveer € 58 toe per ton capaciteit).





**Figuur 6: Geschatte kost voor een water/LiBr eentraps absorptie installatie (Trigemed, 2003)**

In bovenstaande grafiek worden de kosten weergegeven ten opzichte van de capaciteit. Dit zijn gegevens van enkele bedrijven die reeds het single effect LiBr-H<sub>2</sub>O systeem implementeren. De kosten van een eenheid per kWth koelcapaciteit hangen af van zijn grootte, maar worden ongeveer constant boven 2 MWth. Regel is dat een dubbel effect machine ongeveer 20% duurder is dan een single effect met de zelfde capaciteit. De reden voor de hogere kosten is de bijkomende generator en de condensator in het ontwerp. Andere bronnen (ASHRAE handboek en een Duits onderzoek) melden dan weer dat de extra kost hoger ligt, ongeveer 30 tot 40 procent.

#### 4.3.2.1.2 De vergelijking met compressie.

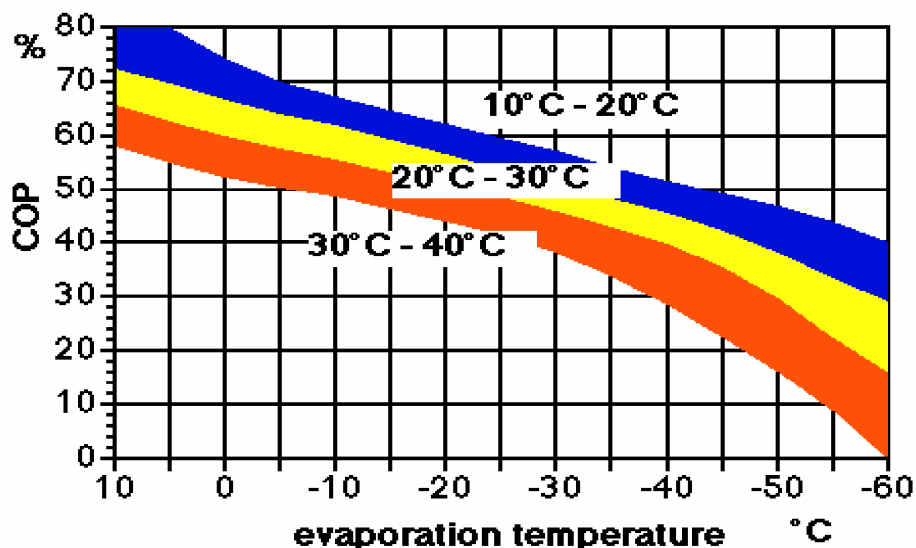
Wanneer we mechanische compressie en absorptie vergelijken moeten de verschillen op gebied van het systeemreactieniveau, onderhoudsniveau en werkende niveausystemen onder de loep genomen worden. De koelladingen kunnen gemakkelijk worden aangepast in de meeste conventionele systemen maar bij absorptie systemen kunnen de koeffecten niet noemenswaardig veranderen tijdens werking. In termen van onderhoud en werking is er een verschil toe te schrijven aan het feit dat het curatieve onderhoud met absorptiesystemen bijna onmogelijk is. Normaal moet de machine naar de fabriek worden

verzonden voor reparatie, terwijl in compressie-eenheden de meeste reparaties, routine onderhoud (filters, enz.) eenvoudig zijn en ter plaatse kunnen worden uitgevoerd.

In lithium-bromide machines wordt dit veroorzaakt door het feit dat de installatie bij zeer lage druk werkt en een eenvoudige poreuze lekkage een belangrijk probleem kan zijn. Bij machines die gebruik maken van ammoniak is er een gevaar in termen van giftigheid voor mensen in de gebouwen. Ze zijn verboden in een deel of het geheel van de dienstgebouwen.

#### 4.3.2.2 H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>

In tegenstelling tot Li-Br zijn er maar enkele ontwikkelaars van enkel H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub> systemen. In dit paar is ammoniak de koelstof en water het absorbent. Deze systemen zijn in de eerste plaats ontworpen voor industriële toepassingen, zoals voedsel invriezen of proces koeling. De temperaturen lopen van -60 °C tot 5 °C. Dit zijn temperaturen die het andere paar niet kan bereiken. De COP van dit systeem ligt tussen 0.5 en 0.7. De temperatuur bij de welke stoom moet geleverd worden om een installatie te laten draaien hangt af van de beschikbare temperatuur van het koelmiddel en de gewenste koude temperatuur.



Figuur 7: COP van een NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O absorptie installatie in functie van de verdampingstemperatuur (Trigemed, 2003)

Het diagram geeft een indicatie van de efficiëntie, COP, van een enkele fase NH<sub>3</sub> absorptie proces, afhankelijk van de verdampingstemperatuur en de temperatuur van het water.

(Trigemed, 2003)

#### 4.3.2.2.1 Kosten

Installaties die werken met ammoniak kosten rond € 1250 tot 1750 per ton capaciteit (dit komt overeen met € 1250 tot 1750 per 3500 kW).

**Tabel 3: Karakteristieken van de verschillende absorptie installaties (Trigemed, 2003)**

Effect	NH <sub>3</sub> -absorptie	LiBr-absorptie	
	enkel	Enkel	Dubbel
Koeling capaciteit (kW)	20 - 2500	300 - 5000	300 - 5000
Thermische COP	0,6 - 0,7	0,5 - 0,6	0,9 - 1,1
Temperatuur bereik (°C)	120 - 132	120 - 132	150 - 170
Machine kost (€/ton)	1250 tot 1750	870 tot 920	930 tot 980

#### **4.4 Adsorptiekoeling (DEC)**

‘Desiccant Evaporative Cooling’, ook wel adsorptiekoeling of cascadekoeling genoemd, werkt op de buitenlaag, waar absorptie op de binnenlaag werkt.

DEC bestaat uit de (cascade) schakeling van diverse processtappen waarbij de toe- en afvoerlucht warmte en vocht uitwisselt met een droogrotor (adsorptiewiel) en een warmtewiel. In de droogrotor wordt het vocht uit de toevoerlucht onttrokken. De toevoerlucht verlaat de droogrotor dus met een lagere vochtigheid, maar met een hogere temperatuur (condensatie warmte). Vervolgens wordt in een warmtewiel deze warmte weer aan de toevoerlucht onttrokken en overgedragen aan de afvoerlucht. De toevoerlucht heeft na deze behandeling de temperatuur van de afvoerlucht temperatuur maar is zeer droog. Tijdens de laatste processtap wordt de toevoerlucht bevochtigd. Hierdoor daalt de temperatuur tot onder de buitentemperatuur (het koeffect), zodat de gewenste

inblaastemperatuur en luchtvochtigheid ontstaat. Tenslotte wordt het vocht in de droogrotor uitgestookt met warmte.

Hiervoor kan restwarmte worden gebruikt, met een temperatuur van ca. 80 °C.

(Warmteopwekking d.m.v. een CV-ketel is energetisch gezien niet zinvol, omdat de benodigde primaire energie in dat geval hoger is dan bij een conventionele koelmachine).

#### **4.4.1 Voor- en nadelen van compressie koeling**

Voordelen ten opzichte van een conventionele (elektrische) koelmachine zijn o.a. het ontbreken van een koeltoren, duur specialistisch onderhoud, koelmiddelen en overige schadelijke stoffen.

Door in de winter ook gebruik te maken van de droogrotor (het adsorptiewiel) en het warmtewiel kan het systeem ook worden gebruikt voor warmte- en vochtterugwinning uit de ventilatielucht, waarbij een rendement tot 90% mogelijk is. Het hoogste rendement van het systeem wordt bereikt bij een hoge mate van ontvochtiging. Het systeem is geschikt voor zowel renovatie als nieuwbouw, waarbij een mechanisch ventilatiesysteem met luchtkoeling wordt toegepast, geplaatst in een centrale luchtconditioneringsruimte.

#### **4.4.2 Vergelijking met absorptiekoeling:**

De COP (Coefficient of performance) van het DEC systeem ligt maximaal rond de 0,7 en gemiddeld zo rond de 0,5. De COP is sterk afhankelijk van de gevraagde inblaascondities (temperatuur en luchtvochtigheid). Standaard is een inblaastemperatuur van 16 °C bij een luchtvochtigheid van 90 %. Het beschikbare koelvermogen bedraagt 32 kW tot 314 kW bij een ventilatiedebiet van 5.000 tot 50.000 m<sup>3</sup>/h [informatie van Verhulst Rotocool].

De COP is vergelijkbaar met die van absorptiekoeling. Ook de investeringskosten zijn vergelijkbaar (rond de 800 EUR/kW koude bij ongeveer 100 kW koude vermogen). Er zijn echter enkele grote verschillen tussen de twee systemen.

- Een DEC systeem kan niet als warmtepomp fungeren. Het DEC systeem werkt in de winter wel als ventilatie warmteterugwinning, echter ventilatie warmteterugwinning vergt geen hoge investeringen.
- Het DEC systeem wordt gedimensioneerd op het leveren van de volledige koudevraag. Hierdoor lopen de investeringskosten sterk op. Het LiBr/ water absorptiesysteem wordt gedimensioneerd op circa 30 tot 50 % van het maximale vermogen. De overige 50 tot 70 % worden gedekt met een bijgeplaatste compressiekoelmachine die ongeveer een factor drie goedkoper is per kW.

(Hebly et al, 2002)

#### **4.5 Het airco systeem.**

Airconditioners worden door de warme zomers en stijgende welvaart steeds populairder. Ze worden in alle maten en vormen gemaakt en zijn beschikbaar voor verschillende sectoren. Het monomodel en splitmodel zijn de voornaamste technieken van werken met een airco systeem.

Een monomodel bestaat uit één apparaat dat de warme lucht via een slang naar buiten afvoert. Ze zijn doorgaans goedkoper (€ 300,- tot € 900,-) maar verbruiken meer energie dan de splitmodellen. Monomodellen werken bijna continu op vol vermogen omdat er bij een open raam of deur (voor de slang) een warme luchtstroom naar binnen ontstaat.

Een splitmodel bestaat uit een binnen- en een buitendeel. Splitmodellen schakelen terug naar 30% of 50% van het vermogen als de ingestelde temperatuur is bereikt. Ze zijn meestal duurder (€ 500,- tot €1800,-) maar verbruiken minder energie dan de monomodellen. Gemiddeld staat een airco 500 uur per jaar aan. De grootste stroomverbruikers gebruiken dan 700 kWh, of € 140,-. De zuinigste airco gebruikt voor 500 uur, 400 kWh of € 80,-. Dat staat ongeveer gelijk een wat u jaarlijks voor verlichting kwijt bent. ([www.milieucentraal.nl](http://www.milieucentraal.nl))

Het verbruik van een aircosysteem zal afhankelijk zijn van het vermogen en het rendement van de installatie. Zo zal bijvoorbeeld een toestel met koelcapaciteit van 3kW ongeveer 1kWh voor één uur koeling verbruiken, ofwel 0,12 EUR/h. Voor een ruime woonkamer zal dit ongeveer 0,25 euro per uur zijn tijdens de warmste uren in volle zomer

Qua onderhoud moeten de luchtfilters regelmatig gereinigd worden. Eens per jaar het stof, vuil en bladeren verwijderen uit buitentoestellen. Een toestel gaat voor privé-verbruik 10 tot 15 jaar mee.

De keuze van het vermogen van het apparaat is afhankelijk van de specifieke kenmerken van het lokaal (ligging, bouwwijze, blootstelling aan zon, aantal personen) en moet voor elke ruimte apart bepaald worden.

Er is een eenvoudige vuistregel die men kan hanteren. Voor het koelen van een ruimte heeft men zo een 30 à 40 Watt koelvermogen per kubieke meter nodig. Bijvoorbeeld: een ruimte van 5 meter op 4,5 meter breed met een hoogte van 2,5 meter heeft een kamervolume van 56,25 kubieke meter. Vermenigvuldig dit getal vervolgens met 30 à 40. Je hebt dus een airconditioner van 1687 tot 2250 Watt nodig.

$$H: x B: x L: = x$$

Het koelvermogen wordt ook gemeten in BTU/h (British Thermal Units). 1 = 3,4121 BTU/h.

Natuurlijk is het niet enkel de grootte van de ruimte die bepaalt welke installatie men nodig heeft en wat het vermogen moet zijn. Andere factoren zijn:

- Aantal personen aanwezig in de ruimte en het werk dat ze verrichten (150 à 650 Watt per persoon)
- Oriëntatie van de vensters: de oriëntatie (bijvoorbeeld een zuidelijke ligging) van de ruimte heeft een belangrijke invloed op de berekening van het koelvermogen. De stralingswarmte (in Watt) door een venstervlak verschilt naargelang de

windrichting. Zo heeft een zuidelijke ligging de meeste stralingswarmte rond de middag.

- Soort beglazing: zijn de ramen van enkel of dubbel glas. Is het zonnwerend of reflecterend glas?
- Zonnewering: een zonnewering levert een aanzienlijke bijdrage aan de stralingsvermindering. Een zonnestore of zonnescerm buiten, vermindert de warmtepenetratie met 75%, zonneblinden, rolluiken of gordijnen verminderen de straling met 35%
- Oppervlakte van kamer en de onderdelen zoals deur, vloer, ramen, plafond. Ook de kleur is van belang. Donker metselwerk zal meer warmte absorberen dan witgeverfde gevels die zonlicht weerkaatsen.
- Warmtebronnen of het aantal elektrische apparaten die bevinden in de kamer.
- Aantal ramen en deuren in de ruimte
- Dak en plafonds: hoe zijn ze geïsoleerd en is er een verdieping of plat dak erboven?
- Ventilatie: Natuurlijke luchtverversing ( $1 \times \text{volume/uur} \times 6$ ) of geforceerde ventilatie ( $\text{m}^3/\text{uur} \times 6$ )?

Voor elke energieklassen legt men de EER (Energy Efficiency Ratio) of COP (Coefficient of Performance) vast. COP wordt gebruikt voor verwarming en EER voor de koeling. Deze twee waarden worden als volgt berekend: het koelvermogen moet gedeeld worden door het opgenomen vermogen. De maximale EER/COP-waarde per energieklassen verschilt naargelang het type airconditioner. Hoe hoger deze getallen, hoe efficiënter het toestel werkt.

Om een A-label bij de bvb. mobiele toestellen (enkel koelen) te krijgen moet de EER hoger liggen dan 2.60. Bij bvb. de split-units moet de EER hoger zijn dan 3,20. ([www.air4u.nl](http://www.air4u.nl))

Zowel voor de commerciële sector, de residentiële sector en de industriële sector zijn er heel veel mogelijkheden van koelen met airconditioning. Er bestaan veel energiezuinige

installaties die weinig verbruiken. Het is dus zeer belangrijk om alle mogelijke keuzes van koeling te bestuderen, en deze te kiezen die het voordeligst is.



## **5. Hoe ver staan we met het toepassen van trigeneratie?**

### **5.1 Binnenland.**

In België is trigeneratie een technologie die nog niet veel geïmplementeerd wordt, maar wel veel toekomst potentieel heeft. Dit wil dan ook zeggen dat er momenteel weinig vraag naar is met als gevolg ook een beperkt aanbod. Er zijn wel enkele grote bedrijven gevestigd in België die koelmachines produceren, maar dit aantal is beperkt. Volgens COGEN Vlaanderen zijn er in België twee gebouwen die trigeneratie gebruiken: het Berlaymont gebouw in Brussel en het AZ St-Jan Ziekenhuis in Brugge.

#### **5.1.1 Berlaymont gebouw**

Naast de noodstroomgeneratoren is het gebouw eveneens uitgerust met een cogeneratiecentrale werkend op gas en opgesteld op de bovenste (technische) verdieping van het gebouw.

De centrale omvat twee verbrandingsmotoren, die elk een alternator van 1.250 kVA aandrijven. De centrale produceert gelijktijdig elektriciteit en warmte.

De door de cogeneratie opgewekte elektriciteit wordt gebruikt voor de elektriciteitsbehoeften van het gebouw (in parallel met het openbaar net). De teruggewonnen warmte wordt gestuurd naar de collector van de warmwaterproductie. Deze thermische energie laat in voorkomend geval toe de absorptiekoelmachines aan te drijven, die op hun beurt, koelwater produceren ten behoeve van de installaties voor de klimaatregeling. Het voordeel van deze cogeneratie-installatie ligt in het feit dat de gecombineerde productie van elektriciteit en warmte minder brandstof verbruikt dan de productie van deze warmte en elektriciteit door twee afzonderlijke eenheden.

Elektriciteitsvermogen van de cogeneratie: 2.500 kVA

Thermisch vermogen van de cogeneratie: 2.600 kW

De koelcentrale bevindt zich in de infrastructuur van het gebouw en is uitgerust met 4 koelmachines. Twee absorptiekoelmachines die gevoed worden door de warmte van de cogeneratie vervolledigen de installatie. De koeltorens van deze koelmachines bevinden zich verspreid over twee vleugels op het dak.

Om het vermogen van de koelmachines te beperken werd beroep gedaan op een installatie voor opslag van ijs. Het ijs wordt 's nachts aangemaakt wanneer de vraag naar koeling en de energieprijzen het laagst zijn. Het ijs wordt opgeslagen in de benedenverdiepingen van het gebouw in speciaal daarvoor voorziene bakken en wordt gebruikt tijdens de dag om de klimaatregeling van het gebouw verzekeren.

Het totale vermogen van de verwarmingsinstallatie bedraagt 7.800 kW en deze van de koelinstallatie 10.000 kW.([www.berlaymont2000.com](http://www.berlaymont2000.com))

### **5.1.2 AZ St-Jan te Brugge.**

Het AZ St. Jan ziekenhuis heeft in 1998 een studie laten uitvoeren om een WKK installatie en 2 absorptiesystemen te implementeren. De resultaten waren positief en dus is er deze energie besparende investering gekomen. Wegens een negatief advies, omwille van milieutechnische redenen werd de warmtekrachtkoppeling voorlopig niet opgenomen in de installatie. De twee Absorptie koelsystemen zijn dus wel geïnstalleerd en vormen nu een energie besparing van ongeveer € 50.000. Voor meer info Zie Bijlage ([www.azbrugge.be](http://www.azbrugge.be))

## **5.2 Wereldwijd**

De grootste fabrikanten van absorptiekoelmachines zijn te vinden in Azië en niet in Amerika, waar doctor Carrier de eerste machine volgens dit principe bouwde. In Azië heeft de absorptiekoelmachine zelfs een groter marktaandeel dan het waterkoelaggregaat met elektrisch gedreven compressoren. Belangrijker voor ons is, dat in Azië ook heel veel technologische ontwikkeling plaatsvindt op dit gebied. Vooral in Japan is men al lang bezig met het verbeteren en verfijnen van de absorptiekoeltechniek voor airconditioning. Drijfveren zijn in Japan de beperkte beschikbaarheid van elektriciteit en de zware belasting van het elektriciteitsnet. Het zal niet lang meer duren bij ons vooraleer in de zomer maanden het elektriciteitsnetwerk overbelast zal geraken, door de vraag naar koude. WKK en trigeneratie zijn hier een oplossing voor. (Verwarming en ventilatie, 2002)

## **5.3 Europa**

In Europa zijn het vooral de mediterrane landen die gebruik maken van WKK in combinatie met trigeneratie. Dit heeft vooral te maken met het klimaat. Deze landen hebben meer dan bij ons, België en Nederland en Duitsland, te maken met extreme warme zomers en zullen daarom eerder nood hebben aan koeling dan bij ons. Ook de hogere welvaart en opwarming van de aarde zorgen ervoor dat er meer vraag zal zijn naar koeling en dat aircosystemen geen overbodige luxe meer zijn.

Door deze nood aan koude is er een project, een co-operatie, ontstaan tussen acht partners van verschillende Europese landen: het TriGeMed project. Dit project staat in voor de promotie van trigeneratie technologie in de tertiaire sector in de mediterrane zone. De landen die meewerken aan dit project zijn: Frankrijk, Portugal, Griekenland, Italië en Spanje. In de volgende paragrafen worden de doelstellingen, de beoogde resultaten en de behaalde resultaten kort besproken.

Zoals eerder vermeld lost trigeneratie het probleem van afvalwarmte op, door het aan te wenden voor de productie van koude. Trigeneratie technologie is daarom een efficiënte oplossing om tegemoet te komen aan de stijgende toekomstige vraag naar elektriciteit, warmte en koude. Gebruik makend van vernieuwde gas technologieën en de gewijzigde regelgevende omgeving is trigeneratie dus een perfecte optie.

### **5.3.1 Objectieven**

De algemene doelstelling van het TriGeMed- project is het promoten van het gebruik van trigeneratie binnen de tertiaire sector in de landen van het Middellandse-Zeegebied, zowel binnen de EU, in het bijzonder, in Zuid-Europa i.e. Griekenland, Italië, Portugal en Spanje als erbuiten e.g. Cyprus, Malta, Marokko, Tunesië enz.

Meer specifieke doelstellingen:

- De competitieve voordelen van trigeneratietoepassingen aan te tonen voor de dekking van de energiebehoefte (i.e. elektriciteit, hitte en het koelen) in de tertiaire sectorgebouwen, e.g. hotels, de ziekenhuizen, commerciële en openbare gebouwen, luchthavens enz
- Om technische, wettelijke, regelgevende en financiële barrières voor het doordringen van trigeneratie in deze sector te identificeren.
- Om op oplossingen te wijzen om die barrières te overbruggen en om gunstige voorwaarden voor trigeneratieinvesteringen tot stand te brengen.
- Om de bevindingen van deze studie op een breder geografisch gebied toe te passen maar ook het Bassin van het Zuiden van het Middellandse-Zeegebied omvatten. (Trigemed, 2003)

### **5.3.2 Beschrijving van het werk programma**

Het “werk programma” van het project bestaat uit twee fasen:

- Fase I "Onderzoek" om het technische en marktpotentieel voor de promotie van de trigeneratietechnologieën in de tertiaire sector van de deelnemende landen te evalueren.
- Fase II "Verspreiding" voor de tenuitvoerlegging van een volwaardige verspreidingsstrategie, op het niveau van de EU en verder, voor de bevordering van de resultaten die door het onderzoek worden afgeleid.

### **5.3.3 Verwachte resultaten**

Het algemene voordeel van het TriGeMed- project en bijgevolg het verwachte resultaat bereikt tegen het eind van het project zal de promotie van trigeneratie zijn rekening houdend met:

- Technische, economische en financiële barrières
- De institutionele structuur en het regelgevende kader
- De rol van de elektrische utilities
- De milieukwesties en
- De voordelen resulterende uit het doordringen van trigeneratie in elk land

(Trigemed, 2003)

## **6. Plan voor mogelijke implementatie van de trigeneratie technologie in de nieuwe vleugel van het Virga Jesse ziekenhuis te Hasselt**

### ***6.1 Algemene informatie***

Het Virga Jesse ziekenhuis is een openbaar algemeen ziekenhuis dat naast alle klassieke medische specialismen ook een ruim aanbod heeft aan topklinische diensten. Met uitzondering van sommige heel specifieke gevallen, kunnen ze alle ziekten en kwetsuren behandelen. Enkele voorbeelden van topklinische diensten zijn het Hasselts hartcentrum, de dienst neurochirurgie, de verschillende oncologische diensten en het centrum voor moleculaire diagnostiek.

Sinds kort zijn er plannen om een nieuwe vleugel te bouwen aan het bestaande complex. Voor deze nieuwe vleugel zijn uiteraard alle nutsvoorzieningen nodig. Ook koeling is noodzakelijk. Met behulp van de theoretische achtergrond van deze thesis zal ik dan ook een voorstel doen om, met de toepassing van trigeneratie technologie, koude en koeling te voorzien in dit nieuwe gedeelte van het ziekenhuis. Het ziekenhuis heeft al een WKK installatie staan, wat dus de investering van een WKK installatie overbodig maakt.

### ***6.2 Interne kosten***

De private kosten van een bedrijf zijn de kosten die het bedrijf rechtstreeks toewijst aan het produceren van een goed. Hierin zitten het gebruik van de installaties, het verbruik van de brandstof, arbeid van de werknemers,... Interne kosten verbonden aan het koelen via trigeneratie zouden zijn de kosten van de WKK installatie en absorptie installatie inclusief leidingen, onderhoudskosten van de installatie, brandstofkosten, ...

Het onderzoek in het Virga Jesse ziekenhuis houdt in dat ik een vergelijkende studie maak tussen het gebruik van de huidige WKK installatie met een nieuw absorptie systeem en de installatie van 2 nieuwe ijskoelcompressoren in de nieuwe vleugel van het Virga Jesse

ziekenhuis (project VIPA1). Tot op heden koelt het Virga Jesse ziekenhuis heel het gebouw via compressorkoelsystemen. Enkele lokalen moeten constant gekoeld worden omdat er zich medische apparatuur in bevindt. Wanneer de buitenlucht koel genoeg is wordt deze lucht gebruikt om te koelen. Vanaf een bepaalde buitentemperatuur zullen de ijskoelmachines worden ingeschakeld om verder te koelen. Vooral in de zomer zal er veel koeling nodig zijn en zal er dus ook het meeste elektriciteit verbruikt worden.

### **6.3 Warmte en elektriciteit**

Zoals eerder vermeld heeft het Virga Jesse in het verleden al geïnvesteerd in een WKK installatie model Zantec 312HR met motor H24GLD-HR. De installatie bestaat uit 2 installaties, met elk een vermogen van 300 kWe en 560 kWth. Het beheer is niet in handen van het Virga Jesse zelf maar wordt uitgbaat door Aspirava. Voorheen was het beheer van de WKK installatie in handen van Electrabel. Omdat het Virga Jesse de installaties niet zelf beheert koopt het de warmte die de installatie produceert van Aspiravi. De elektriciteit die wordt geproduceerd, plaatst men op het netwerk en het Virga Jesse koopt zijn elektriciteit gewoon aan bij Aspiravi.

### **6.4 De ijskoelsystemen**

Om de twee opties te vergelijken moet er dus naar kosten en baten van de verschillende investering gekeken worden, aan de ene kant het absorptiekoelsysteem, aan de andere kant de twee monoblok ijswatermachines (model Lennox 1x WA 150D K SLN S E). De koelcapaciteit voor het project VIPA 1 werd geraamd op 1.6 MW rekening houdend met

- het feit dat er geen behoefte is voor het toepassen van warmterecuperatie op de eventueel watergekoelde condensoren,
- de benodigde oppervlakte voor de buitenopgestelde condensoren of de volledige koelmachine is
- buitenopgestelde koelmachines budgettair de goedkoopste oplossing is.

De ijswatermachines hebben een koelcapaciteit van 151.0 kW en een COP van 2.8. Deze modellen worden momenteel al gebruikt voor het koelen van andere vleugels in het ziekenhuis.

### **6.5 De absorptie koelmachine**

De absorptie koelmachine is gedimensioneerd naar de koelvraag van 1.6 MW. Om aan deze koelcapaciteit te kunnen voldoen is er gekozen voor een eentrapsinstallatie, model YIA7D1 van de firma York. De installatie heeft een COP van 0.709 en wordt geïnstalleerd met een koelcapaciteit van 1564 kW. Belangrijk bij de installatie van een absorptie installatie aan een WKK installatie is de warmte die men beschikbaar heeft, als restwarmte, van de WKK installatie. Helaas ben ik er niet kunnen achter komen wat deze is bij de WKK installatie van het Virga Jesse. Voor de installatie die hier is voorgesteld heeft men, voor maximale werking, 2197 kW warmte nodig. Het is meestal wel zo dat maar 30 tot 50% van de maximale koelcapaciteit wordt gedimensioneerd voor de absorptiekoelmachine. De rest wordt bijgepast door compressie koelmachines.

Er zijn drie belangrijke factoren die meespelen bij het dimensioneren van een absorptie koelmachine.

- De koelcapaciteit
- De temperatuur van het ijswater dat geleverd moet worden
- De hoeveelheid restwarmte en de temperatuur van de restwarmte.

Zoals eerder vermeld is de koelcapaciteit geraamd op 1.6 MW. Dit is een schatting en zal waarschijnlijk boven de werkelijke capaciteit liggen.

Voor de temperatuur van het ijswater dat geleverd moet worden ben ik uitgegaan van de ijskoelinstallaties die ze momenteel gebruiken. Hierbij is de temperatuur van het geleverde ijswater 6°C en de temperatuur van het water dat terug binnen komt 12°C.



De output temperatuur van de WKK bedraagt 100°C en is zeer geschikt als inputtemperatuur voor absorptiekoelsystemen. Ik ben er ook van uit gegaan dat Aspiravi niets zal aanrekenen voor het gebruik van de restwarmte.

Welke kosten en baten moeten er in acht genomen worden bij de installatie van de systemen?

## **6.6 Kosten van de koelsystemen**

### **6.6.1 Compressiekoelsystemen**

Om de kosten van de twee monoblok ijskoelmachines te bepalen is er meer nodig dan alleen maar de prijs te bepalen van de installatie zelf. Het is namelijk zo dat de firma de installatie klaar maakt maar niet zorgt voor het transport noch voor de eigenlijke installatie ter plaatse. Deze kosten moeten betaald worden door de betreffende koper. Dit houdt in dat de koper instaat voor het transport, een kraan ter plaatse regelt en de kosten voor het plaatsen van de installatie op zich neemt. Een kraan ter plaatse is nodig omdat het blokken zijn die op het dak geplaatst kunnen worden. Extra eenmalige vaste kosten zijn verder, de kosten van de leidingen en het plaatsen ervan. Bij Lennox kon ik terecht voor een budget prijs van de koelmachine. De budget prijs is dus de prijs van het apparaat exclusief het transport en de installatie. De machine (model Lennox 1x WA 150D K SLN S E) heeft een budget waarde van € 30.000 en komt van een fabriek in Mions Frankrijk. De laatste jaren was de tendens dat de prijzen van de installaties daalden. Dit jaar is er terug een lichte stijging op te merken. Voor 2 apparaten is dit dan € 60.000. Kosten zoals onderhoudskosten, elektriciteitskosten zijn mij onbekend over deze installatie. Het is dus voor mij niet mogelijk om een schatting te maken van wat deze installatie per jaar zou kosten.

### **6.6.2 Absorptiesysteem**

Voor een absorptie systeem ben ik te raden gegaan bij de firma York. De volgende prijs is ook een prijs exclusief transportkosten en installatiekosten. Deze komen nog ten laste van de koper. De totale investeringsprijs voor het model YIA7D1 met een koelcapaciteit van 1.564 kW bedraagt € 503.962. In bijlage vindt u een gedetailleerde weergave welke kosten er voor deze investering gedaan worden. Om deze installatie draaiende te houden gedurende het hele jaar, er worden 6000 draaiuren vooropgesteld, bedraagt de kost per jaar € 100.230.

## **6.7 Vermeden kosten**

### **6.7.1 Elektriciteit**

De kosten die in deze situatie worden vermeden zijn vooral elektriciteitskosten. De twee ijskoelmachines zullen constant gevoed moeten worden met stroom, terwijl in het geval van de absorptie eenheid de voeding gebeurt met de restwarmte van de WKK installatie. Om de vermeden kosten te berekenen vergelijken we dus het elektriciteitsverbruik van beide alternatieven met elkaar.

### **6.7.2 Vermeden externe kosten.**

Aan de ene kant zijn dit de vermeden kosten van de daling van de uitstootgassen bij gebruik van de absorptie eenheid gekoppeld aan de WKK installatie. Aan de andere kant worden de uitstootgassen van de twee compressorkoelsystemen vermeden.

## **6.8 Besluit**

We zien dadelijk dat de investering van een absorptiekoelsysteem grotere eenmalige kosten met zich meebrengt dan de investering van de twee compressorkoelsystemen. Men mag zeker niet vergeten dat de kostenraming van de compressorkoelsystemen niet volledig is. Ook zijn er geen gegevens in verband met de vermeden elektriciteitskosten en vermeden externe kosten die een investering van de absorptiekoelmachine met zich meebrengt.

Met deze gegevens is het dan ook niet mogelijk een besluit te vormen of men de investering van de absorptieinstallatie moet doorvoeren. Het is hier de bedoeling een alternatief voor te stellen, voor de installatie van compressorkoelsystemen. Een alternatief dat, wanneer het goed uitgevoerd wordt, zou kunnen zorgen voor een kostenbesparing en kan zorgen voor een beter leefmilieu. Het is volgens mij dan ook zeker de moeite waard om bij mogelijke realisatie van dit project een uitgebreide voorstudie te maken en te analyseren welke de effectief bekomen meerwaarde en gerealiseerde winsten zouden kunnen zijn.

## 7. Conclusie

De meeste sectoren, zeker de industriële sectoren, hebben wel behoefte aan warmte en elektriciteit en zijn daarom ook geschikt voor toepassing van warmtekrachtkoppeling technologie. Warmtekrachtkoppeling houdt in dat er gelijktijdig elektriciteit en warmte wordt opgewekt. Dit gebeurt op een rationele manier zodat er een vermindering van het brandstofverbruik kan gerealiseerd worden. Voor bedrijven waar een lokale warmtevraag aanwezig is, is warmtekrachtkoppeling dan ook een ideale manier om kosten te besparen. Natuurlijk zijn het niet enkel brandstofkosten die men kan uitsparen, maar ook externe kosten. Bij de productie van warmte en elektriciteit via WKK zal een vermindering van schadelijke uitstootgassen (roet, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO,...) kunnen waargenomen worden. Zeer belangrijk is hier de daling van de uitstoot van CO<sub>2</sub> gassen. Dankzij het Kyoto protocol wordt er nu streng toegekeken hoeveel ton elk land mag uitstoten. Bedrijven die WKK implementeren kunnen België helpen de norm te halen en kunnen zo hun bijdrage leveren aan een beter en duurzaam leefmilieu. Voor bedrijven die hier niets aan doen en hun verantwoordelijkheid niet nemen zou de overheid boetes kunnen uitschrijven.

De overheid heeft dus heel wat mogelijkheden achter de hand om WKK van de grond te krijgen. Daarom heeft de overheid gezorgd voor speciale subsidiemaatregelen voor bedrijven die een WKK installatie installeren. Zo is voor deze bedrijven de ecologiesteun en de extra intrestaftrek voorzien. Ook met het certificaten systeem wil de overheid er voor zorgen dat de bedrijven meer gebruik gaan maken van de WKK installaties. Al deze maatregelen zouden er op termijn voor moeten zorgen dat we in een gezonder leefmilieu kunnen leven en dat onze eindige voorraad fossiele brandstof langer meegaat.

Om nog een stapje verder te gaan in de milieuproblematiek. De meerderheid van de WKK installaties werken op fossiele brandstof. Tegenwoordig is het ook mogelijk om dit met hernieuwbare energie te doen zoals biogas, biodiesel, bio-olie, hout, afval, mest. Het gebruik van deze brandstoffen in een WKK levert een dubbel voordeel op inzake emissiereductie en energiebesparing: niet alleen wordt een zogenaamd 'groene' brandstof

gebruikt, maar bovendien wordt deze op een zeer efficiënte manier aangewend via het principe van warmtekrachtkoppeling. Voor het gebruik van hernieuwbare energie kan men daarnaast ook nog groenstroomcertificaten bekomen.

Al deze argumenten zijn een mooi betoog om WKK te installeren. Maar wat met de nog steeds verloren restwarmte bij de WKK installatie? Deze restwarmte kan aangewend worden om koude op te wekken of te koelen. We kunnen dus met één installatie warmte, elektriciteit en koude gaan opwekken. Dit wordt dan trigeneratie genoemd.

In verschillende sectoren, denk aan ziekenhuizen en bedrijven die met vriesproducten werken, is er naast warmte en elektriciteit ook koude nodig. Deze koude zal nu door een absorptie-installatie gekoppeld aan een WKK rationeel opgewekt kunnen worden. Blijkbaar is er bij de bevolking nog geen behoefte aan koeling. Het is dan ook niet onmiddellijk nodig dat producenten van absorptiekoelsystemen zich concentreren op de residentiële sector. Blijkbaar heeft de toenemende welvaart en de opwarming van de aarde weinig invloed op Belgische bevolking.

Trigeneratie kan zeker in het voordeel van een WKK installatie werken wanneer we te maken hebben met een installatie die in de zomer moet stilgelegd worden omdat de warmte vraag te klein is. Nu kan deze warmte worden aangewend om koude op te wekken. Het zal bepaalde WKK installaties rendabeler maken dan voorheen. Trigeneratie zal er ook voor zorgen dat de elektriciteitsvraag in de zomer wordt afgevlakt. Airco systemen vragen veel elektriciteit van het net, daarom kan het wel eens zijn dat dit net overbelast gaat geraken (zie stroompanne VSA 2003). Trigeneratie zal er dus voor zorgen dat er in de eerste plaats een gedecentraliseerde productie van elektriciteit is (door de WKK) en zal de belasting op het net ook nog eens afzwakken (door absorptiekoeling).

Absorptie systemen waren in het verleden niet rendabel genoeg om te implementeren naast een WKK installatie met relatief weinig restwarmte. Met de huidige technieken is dit geen probleem meer en zijn er absorptie systemen die een COP (coëfficiënt of performance)

halen tot 1.3 (vgl compressorkoeling ongeveer 3.5). Dit is een zeer positieve vooruitgang en men blijft zoeken naar technieken om een absorptie installatie nog te verbeteren.

Een trigeneratie eenheid zal goed gedimensioneerd moeten worden opdat het een rendabele installatie is. Hier zijn enkele begrippen zeer belangrijk, met name de primaire energie besparing (PEB) en de relatieve primaire energie besparing (RPE). Uit berekeningen in deze eindverhandeling is gebleken dat het zeker mogelijk is om een primaire energie besparing te realiseren met een trigeneratie eenheid. Ook is gebleken dat we een relatieve primaire energie besparing kunnen bekomen van boven 5% wanneer we zowel warmte, elektriciteit als koude opwekken. Dit is zeer positief in verband met het deelnemen aan het warmtekracht certificatensysteem. Er moet wel opgepast worden voor het aanwenden van koude via trigeneratie, wanneer men alle warme die een WKK beschikbaar heeft wil gebruiken. Uit de cijfers is gebleken dat deze installatie geen primaire energie besparing (PEB) meer realiseert en als gevolg een negatieve relatieve primaire energie besparing (RPE) heeft. Enkel wanneer de COP (coëfficiënt of performance) hoog genoeg is, wordt een primaire energie besparing mogelijk.

De nieuwe regeling in verband met de relatieve primaire energie zou een goede zaak zijn voor trigeneratie. Het is dan immers niet meer noodzakelijk 5 % RPE te behalen voor installaties onder 1 MW. Het zou dus voor installaties die onder 5 % RPE vallen door de implementatie van een absorptie systeem een heel goede zaak zijn dat deze regeling er komt. Aan de andere kant moeten installaties die boven 1 MW zitten een RPE bekomen van 10 %. Voor zulke installaties lijkt het me dan ook iets moeilijker om daar nog een absorptiekoelsysteem aan te koppelen en een RPE van boven 10 % te realiseren.

Dankzij trigeneratie zal een bedrijf ook nog eens een extra externe kost kunnen uitsparen. Omdat we met dezelfde hoeveelheid brandstof, warmte, elektriciteit én koude opwekken zorgt dit dus voor een extra vermindering van de CO<sub>2</sub> uitstoot. De lagere CO<sub>2</sub> uitstoot van de compressorkoelsystemen is de reden voor vermeden externe kost.

In België is het concept trigeneratie nog vrij onbekend. Zoals eerder vermeld zijn er maar twee sites waar trigeneratie wordt toegepast. Het AZ Sint Jan heeft eigenlijk ook nog geen Trigeneratie installatie. Het heeft afgezien van zijn WKK installatie en produceert koude met absorptiekoelsystemen gevoed door restwarmte van hun ketels. Maar het initiële plan was er wel om een hele trigeneratie installatie te bouwen. Het is logisch dat België nog niet zo ver staat met implementatie van trigeneratie als andere landen zoals Spanje, Griekenland en andere Mediterrane landen. Het klimaat en het warmer weer lenen er zich beter toe, en er is dan ook veel meer vraag naar koeling dan in België. Misschien kan een promotie van trigeneratie en extra subsidies, twijfelende bedrijven overhalen om tot een implementatie van trigeneratie over te gaan.

Het onderzoek dat gedaan is voor het Virga Jesse heeft zeker nood aan extra uitdieping. Er zijn verschillende aspecten en gegevens, die voor een verdere studie en onderzoek noodzakelijk zijn, nog niet besproken

Enkele aspecten die nog besproken zouden kunnen worden.

- Een goede technische dimensionering is nodig aan de hand van de gegevens zoals: de restwarmte die aanwezig is via de WKK installatie, de ruimte voor de installatie, de optimale hoeveelheid warmte (in het RPE model) die men nodig heeft van de WKK om een kwaliteitsinstallatie te zijn.
- Berekening van de primaire energiebesparing en de relatieve primaire energiebesparing op basis van de parameters van de installaties.
- Berekening van de EQI om zo te bepalen wat onze uitstoot is. De externe vermeden kosten berekenen aan de hand van de vergelijkende installatie, Lennox ijsblokkoelsysteem, en van de installatie zelf.
- Een exacte kostenbaten analyse waarin alle mogelijk kosten verwerkt zitten, zoals kosten van leidingen, de installatie van de machines en leidingen, de onderhoudskosten, de brandstofkosten.
- Levensduur van de machines om zo een goede schatting te kunnen maken van de investering.

Het onderzoeken van deze case kan veel nuttige informatie voor het Virga Jesse ziekenhuis opleveren. Het lijkt mij daarom ook aangewezen om dit door een professioneel bureau te laten doen, want zoals het onderzoek in het AZ St Jan in Brugge al heeft bewezen is het wel degelijk een haalbare kaart. Zeker omwille van het feit dat het Virga Jesse ziekenhuis de WKK installatie reeds heeft staan.



### **Lijst van figuren**

Figuur 1: Kostenbaten analyse WKK installatie (Belcogen, 2003)

Figuur 2: Schematisch diagram van trigeneratie (Trigemed, 2003)

Figuur 3: RPE voor verschillende lambda's

Figuur 4: Schematische voorstelling van een compressor koelcyclus (Cogenvl, 2003)

Figuur 5: Schema absorptiekoelmachine (Cogenvl 2003)

Figuur 6: Geschatte kost voor een water/LiBr eentraps absorptie installatie (Trigemed, 2003)

Figuur 7: COP van een NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O absorptie installatie in functie van de verdampingstemperatuur (Trigemed, 2003)

### **Lijst van tabellen**

Tabel 1: WKK technologieën en hun karakteristieken (Trigemed, 2003)

Tabel 2: CO<sub>2</sub>-uitstoot per soort installatie (Verwarming en ventilatie, 2002)

Tabel 3: Karakteristieken van de verschillende absorptie installaties (Trigemed, 2003)

## **Lijst van geraadpleegde werken**

AIR4U: 'Wat is koelvermogen', geraadpleegd via  
[http://www.air4u.nl/docuhand.cfm?user\\_mkeus=g&doc\\_nr=91](http://www.air4u.nl/docuhand.cfm?user_mkeus=g&doc_nr=91)

AMPERE, 2000: Rapport voor de AMPERE aan de staatssecretaris voor energie en duurzame ontwikkeling, oktober 2000 geraadpleegd via  
[http://mineco.fgov.be/energy/index\\_nl.htm](http://mineco.fgov.be/energy/index_nl.htm), Rapport van de Ampère- commissie

AZ SINT- JAN: "Warm wordt koud?" Een ecologische primeur voor ons ziekenhuis!', mei 2005, geraadpleegd via  
[http://www.azbrugge.be/html/index.asp?hoofd\\_id=1&rubriek\\_id=17](http://www.azbrugge.be/html/index.asp?hoofd_id=1&rubriek_id=17)

BELGIUM: 'Kyoto in België: Een lastenverdeling tussen de Gewesten en de Federale Overheid', Federale portaalsite België geraadpleegd via  
<http://www.belgium.be/eportal/application?origin=navigationBanner.jsp&event=bea.portal.framework.internal.refresh&pageid=indexPage&navId=1080>

BERLAYMONT : 'Elektrische uitrusting' , geraadpleegd via  
[http://www.berlaymont2000.com/nl/Home\\_Equipements\\_Elect.htm](http://www.berlaymont2000.com/nl/Home_Equipements_Elect.htm)

BERLAYMONT (a): 'Verwarming- verluchting en klimaatregeling', geraadpleegd via  
[http://www.berlaymont2000.com/nl/Home\\_Equipements\\_Chauffage.htm](http://www.berlaymont2000.com/nl/Home_Equipements_Chauffage.htm)

BOVEA 2004: Bovea, M.D., Vidal, R., 'Increasing product value by integrating environmental impact, costs and customer valuation', Resources, conservation & recycling, 2004, Vol. 41

BROEKMANS 2002: Broekmans, J., 'Methoden van onderzoek en rapportering', Diepenbeek, Limburgs Universitair Centrum, 2002

COGEN VLAANDEREN 2003: Nieuwsbrief van COGEN Vlaanderen juni 2003.

COGEN VLAANDEREN 2004: Wegwijzer van COGEN Vlaanderen juni 2004.

COGEN VLAANDEREN 2004 (a): Nieuwsbrief van COGEN Vlaanderen december 2004.

DE NOCKER 2004: De Nocker, L., '*Kwantificeren van milieu impacten*' VITO, 2004  
<http://www.vito.be/milieu/milieustudies5a.htm>

ELECTRABEL: '*Hernieuwbare energie, altijd onuitputtelijk*', geraadpleegd via  
[http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv\\_generation\\_renewable\\_nl.pdf](http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv_generation_renewable_nl.pdf)

ELECTRABEL (a): '*Kerncentrales, solide en veilig*', geraadpleegd via  
[http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv\\_generation\\_nuclear\\_nl.pdf](http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv_generation_nuclear_nl.pdf)

ELECTRABEL (b): '*Klassiek thermische centrales, sterk door verscheidenheid*',  
geraadpleegd via  
[http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv\\_generation\\_conventional\\_nl.pdf](http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv_generation_conventional_nl.pdf)

ELECTRABEL (c): '*STEG-centrales, tweemaal energie*', Electrabel, oktober 2005,  
[http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv\\_generation\\_CCGT\\_nl.pdf](http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv_generation_CCGT_nl.pdf)

ELECTRABEL (d): '*Warmtekrachtkoppeling, stoom en stroom tegelijk*', geraadpleegd via  
[http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv\\_generation\\_cogeneration\\_nl.pdf](http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv_generation_cogeneration_nl.pdf)

GEBREMEDHIN 2002: Gebremedhin, A, Carlson, A., '*Optimization of merged district-heating systems – benefits of co- operation in the light of externality costs*', Applied energy, 2002, Vol. 73

GIANCOLI: Giancoli, Douglas, C., '*Physics, fifth edition*'. Prentice Hall, 1998.

HELBY E.R, VAN AMERONGEN G.A.H., CAELEN E.W.H., LEENDERS F., SCHAAP A.B., '*Haalbaarheid thermische gevelcollector; zonnekoeling en –verwarming in kantoren.*' Juli 2002.

INVENTARIS 2002: Inventaris 2002, 'WKK met motoren en turbines', Cogen Vlaanderen, 2002

LAMBERT 2001: Lambert, A.J.D, 'Energie en productie'. Utrecht: Lemma BV, 2001

LEMEIRE 2002: Lemeire, F., 'Seminarie technologie, thermodynamica en energieproductie'. Diepenbeek: LUC, 2004

MERTENS 2003: Mertens, D., 'Trigeneratie en absorptiekoeling', Nieuwsbrief COGEN Vlaanderen, 2003.

MILIEUCENTRAAL: 'Grote energieverbruikers', geraadpleegd via <http://www.milieucentraal.nl/pagina?onderwerp=Grote%20energieverbruikers>

SCIENCE DIRECT 2001: Bassols, J. e.a., 'Trigeneration in the food industry', Vaals, 2001, geraadpleegd via <http://www.sciencedirect.com>

SMEKERS 1995: Smekers, K., 'Milieu' KB xeeekberichten, juni 1995, geraadpleegd via <http://users.pandora.be/jvl-economie/Milieu.pdf>

SPE 2005: 'Wat is groene energie', geraadpleegd via <http://www.spe.be/nl/vert.cfm>

TCHOUATE 2001: Tchouaté, P., 'What is trigeneration', geraadpleegd via [www.term.ucl.ac.be/cours/meca3130/2000\\_01/trigene/index.htm](http://www.term.ucl.ac.be/cours/meca3130/2000_01/trigene/index.htm)

TRIGEMED 2003: Europese commissie, 'Promotion of tri-generation technologies in the tertiary sector in mediterranean countries', Augustus 2003, geraadpleegd via <http://www.trigemed.com>

VERWARMING EN VENTILATIE: De Jong, K., 'Koelen met restwarmte is best wel aantrekkelijk!', Verwarming en ventilatie, April 2002.

## **Lijst van geraadpleegde sites**

[www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)  
[www.electrabel.be](http://www.electrabel.be)  
[www.spe.be](http://www.spe.be)  
[www.belcogen.be](http://www.belcogen.be)  
[www.vito.be](http://www.vito.be)  
[www.belgium.be](http://www.belgium.be)  
[www.energie.nl](http://www.energie.nl)  
[www.vreg.be](http://www.vreg.be)  
[www.krispeters.be](http://www.krispeters.be)  
[www.daikin.be](http://www.daikin.be)  
[www.milieucentraal.nl](http://www.milieucentraal.nl)  
[www.cogenvlaanderen.be](http://www.cogenvlaanderen.be)  
[www.aspiravi.be](http://www.aspiravi.be)

## **Lijst van bijlagen**

Bijlage 1: Marketing report absorptieinstallatie YORK

Bijlage 2: Specificaties gasmotor WKK installatie van het Virga Jesse ziekenhuis

Bijlage 3: Kosten en specificaties van de absorptie installatie

Bijlage 4: Berekening RPE in Excel

Bijlage 5: Absorptie koeling in het AZ Sint-jan te Brugge

Bijlage 6: Raming koelcapaciteit voor de nieuwe vleugel in het Virga Jesse ziekenhuis

Bijlage 7: Info over de koudeproductie voor VIPA

Bijlage 8: Technische specificatie Lennox compressie koelmachine

Bijlage 9: Info WKK installatie Virga Jesse ziekenhuis

# Bijlage 1: Marketing report absorptieinstallatie YORK

Marketing Report

pagina 1 van 1



Issue Date: 12/04  
Project: absorptie  
Engineer: Dirk

Program: Isoflow  
Rev: v1\_07  
Date: May 08 2006  
Page: 1

Model	YIA7D1
Modification Level	C
Capacity (kW)	1600.0
COP	0.709
Altitude (m)	0
Ambient Temperature (°C)	0.0
Evaporator Passes	2
Absorber Passes	1
Condenser Passes	1
Generator Passes	1

## Evaporator

Liquid Type	Chilled Water	Concentration (%)	100.0
Flow Rate (l/sec)	63.78	Fouling (m <sup>2</sup> K/kW)	0.01760
Entering temperature (°C)	12.0	Leaving temperature (°C)	6.0
Tube Material	COPPER	Tube Wall (mm)	0.711

## Absorber/Condenser

Liquid Type	Cooling Water	Concentration (%)	100.0
Flow Rate (l/sec)	155.00	Fouling (m <sup>2</sup> K/kW)	0.04400
Entering temperature (°C)	27.0	Leaving temperature (°C)	33.0
Absorber Tube Material	COPPER	Absorber Tube Wall (mm)	0.711
Condenser Tube Material	COPPER	Condenser Tube Wall (mm)	0.711

## Generator

Liquid Type	Hot Water	Concentration (%)	100.0
Flow Rate (l/sec)	70.22	Fouling (m <sup>2</sup> K/kW)	0.01760
Entering temperature (°C)	99.0	Leaving temperature (°C)	91.0
Tube Material	90/10 CUNI	Tube Wall (mm)	0.889

## Pressure Drops

Chilled Fluid In Evap (kPa)	39.0	Cooling Fluid In Abs/Cond (kPa)	36.2
Hot Fluid In Generator (kPa)	35.4		
Fisher 3-Way Cage Hot Fluid Valve Size (DIN)	DN100	Hot Fluid In Valve (kPa)	81.0
Samson 2-Way Cage Hot Fluid Valve Size (DIN)	DN150	Hot Fluid In Valve (kPa)	60.9
Samson 3-Way Cage Hot Fluid Valve Size (DIN)	DN150	Hot Fluid In Valve (kPa)	69.9

## Warning :

Note 1: Add appropriate PD for all field piping.

# Bijlage 2: Specificaties gasmotor WKK installatie van het Virga Jesse ziekenhuis

## S&L Energie-Projekte



### KURZSPEZIFIKATION GASMOTOR H24GLD-HR NORMALKÜHLUNG - Daten für Heißkühlung auf Anfrage NO<sub>x</sub>: 500 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>

Erdgas L (H<sub>u</sub>=8,62 kWh/m<sup>3</sup>) ICWT=80 °C

#### Leistungsdaten

ISO-Standardleistung ICXN	365 kW
Elektrische Leistung *)	350 kW
Zugeführte Brennstoffleistung	973 kW
Spez. Kraftstoffverbrauch	2,67 kWh/kWh <sub>mech</sub>
Nutzwirkungsgrad	37,5 %

\*) bei Generatorantrieb mit 96,0 % Generatorwirkungsgrad

#### Wärmebilanz

- Kühlwasser	246 kW
- Schmieröl	44 kW
- Gemisch (80 °C Kühlwassereintritt)	40 kW
- Abgas (total)	249 kW
- Abgas (Abkühlung 120 °C)	210 kW
- Strahlung Motor	29 kW

#### Allgemeine Motordaten

Hersteller	WAUKESHA
Typ	H24GLD-HR
Arbeitsweise	4-Takt Gas-Otto
Ansaugsystem	Abgas-Turboaufladung
Gemisch	Magergemischverbrennung
Zylinderzahl	8
Zylinderanordnung	Reihe
Drehrichtung (auf Schwungrad ges.)	links
Bohrung	152 mm
Hub	165 mm
Hubraum	24,0 l
Verdichtungsverhältnis	11:1
Drehzahl	1.500 min <sup>-1</sup>
Mittl. Kolbengeschwindigkeit	8,25 m/s
Mittl. eff. Druck bei Nennleistung	12,2 bar
Massenträgheitsmoment	14,2 kgm <sup>2</sup>
Spez. Schmierölverbrauch	0,45 g/kWh <sub>mech</sub>
Inhalt Schmierölwanne (vergr.)	212 l

#### Motorkühlwasserdaten

Motoraustrittstemperatur	99 °C
Kühlwasservolumenstrom	40 m <sup>3</sup> /h
Druckverlust Kühlwasser	350 mbar
Inhalt Kühlwasser	75 l

#### Brenngasdaten

Mindestmethanzahl (100% Leistung)	ca. 70 MZ
Gasverbrauch (bei H <sub>u</sub> =8,62 kWh/Nm <sup>3</sup> )	113 Nm <sup>3</sup> /h
Min. erforderlicher Gasdruck	25 mbar

#### Verbrennungsluftdaten

Verbrennungsluftmassenstrom	2.058 kg/h
Verbrennungsluftvolumenstrom	1.592 Nm <sup>3</sup> /h
Max. zul. Ansaugunterdruck	38 mbar

#### Abgasdaten

Abgasmassenstrom (feucht)	2.152 kg/h
Abgasvolumenstrom (feucht)	1.695 Nm <sup>3</sup> /h
Abgastemperatur nach Motor	425 °C
Abgasvolumenstrom bei t <sub>abg</sub>	4.334 m <sup>3</sup> /h
Max. zul. Abgasgegendruck	30 mbar
Abgasemissionen (bez. auf 5% O <sub>2</sub> )	NO <sub>x</sub> < 500 mg/Nm <sup>3</sup>
	Oxi-Kat für CO und NMHC

#### Schallemissionsdaten

Schalldruckpegel Motor	98 dB(A)
Schalldruckpegel Abgas	113 dB(A)
	Schallspektren auf Anfrage

#### Abmessungen, Gewicht und Anschlußmaße

Länge	2.450 mm
Breite	1.015 mm
Höhe	1.725 mm
Motorgewicht (trocken)	3.270 kg
Kühlwasserein- u. austritt	80/16 DN/PN
Abgasaustritt	200/6 DN/PN

### LIEFERUMFANG

#### Grundmotor

Zylinderblock und Kurbelwanne aus legiertem Gußeisen  
9-fach gelagerte, gesenkgeschmiedete Kurbelwelle  
Hydraulischer Schwingungsdämpfer  
Auswechselbare, nasse Zylinderlaufbuchsen  
Einzel demontierbare Zylinderköpfe mit 4 Ventilen  
Ölgekühlte Kolben aus Aluminiumlegierung  
Gesenkgeschmiedete Pleuel  
Schwungrad SAE 18", Schwungradgehäuse SAE 0

#### Optionen

Thermoelemente für Abgastemperaturmessung je Zylinder  
Lambdaregelung (Waukesha AFM oder Woodward-Deitec)  
Klopüberwachung und -regelung (Waukesha KDM)  
Oxidationskatalysator  
Motorsteuerschrank  
*weitere Optionen auf Anfrage*

#### Standardausstattung

Vollelektronische Zündanlage, 1 Zündspule je Zylinder  
Elektrostarter 24 V DC  
Zweistufiges Verbrennungsluftfilter mit Wartungsanzeige  
Deltec Gas/Luft-Mischer  
Abgasturbolader, trockene Ausführung  
Gemischkühler als wassergek. Rippenrohrwärmetauscher  
Öldruckumlaufschmierung mit Schmierölzahnradpumpe  
Schmierölkühler als Rohrbündelwärmetauscher  
Schmierölfilter im Hauptstrom, elektrische Vorschmierpumpe  
Wassergekühlte Abgassammelleitung  
Kurbelgehäuseentlüftung, geschlossenes System

#### Dokumentation

Bedienungs- und Wartungsanleitung  
Werksprüfprotokoll  
Ersatzteillisten

Leistungsangaben bezogen auf Vollastbetrieb unter Normbezugsbedingungen  
nach DIN ISO 3046 (Luftdruck 100 kPa, Lufttemperatur 25 °C, rel. Luftfeuchte 30%).  
Toleranzen: Kraftstoffverbrauch +5%, therm. Leistung +/-8%. Änderungen vorbehalten.

H24GLD-HR-Erdgas L-500 NO<sub>x</sub>

Stand: 07/04

S&L Energie-Projekte GmbH

wir sind Partner von:





### Bijlage 3: Kosten en specificaties van de absorptie installatie

<b>YORK</b>		YorkOpti Comparison of systems with liquid chillers - Input Data			
Sales engineer	Dirk Goovaerts	Project file:	virga Jesse		
Department	ESG	Performed at:	08.05.2006		
Telephone	32 3 451 06 03	<b>Currency: EUR</b>		Exchange rate to Euro: 1,00000	
Facsimile	32 3 458 24 44	<b>Calculation basis</b>			
Mobile	32 475 69 09 48	Chiller units [%]: 100			
		Heat rejection devices [%]: 100			
<b>Selected energy costs, water costs, maintenance costs</b>					
<b>Electric energy</b>			<b>Water/waste water</b>		
Consumption average	[EUR/kWh]	0,0750	Water costs	[EUR/m <sup>3</sup> ]	1,50
Demand average/year	[EUR/kW]	0,00	Waste water costs	[EUR/m <sup>3</sup> ]	2,00
<b>Heating energy</b>			Ratio waste/supply	%	25,00
Consumption distr.heat	[EUR/kWh]	0,0000	<b>Maintenance costs</b>		
Demand district heat	[EUR/(kW*a)]	0,00	Compressor + cool.tower + elect.install.[%]	4,00	
Consumption steam	[EUR/kWh]	0,0220	Absorption + cool.tower + elect.install.[%]	1,00	
Demand steam	[EUR/(MW*a)]	0,00	System auxiliary components [%]	1,00	
Average costs gas (LHV)	[EUR/kWh]	0,0200			
<b>System</b>		YIA 7D1			
Requested cooling capacity	kW	1.600			
Installed cooling capacity:	kW	1.564			
Ratio of selection:	%	98			
Chilled liquid return	°C	12,0			
Chilled liquid supply	°C	6,0			
Air entry temperature	°C	-			
Condensing temperature	°C	-			
Wet bulb temperature	°C	22,0			
Cooling liquid in	°C	27,0			
Cooling liquid out	°C	33,0			
Steam pressure generator	bar g	-			
Hot water entry	°C	100,0			
Hot water leaving	°C	90,0			
<b>Method of calculating the operating costs</b>					
Operating hours	h/a	6.000			
Average capacity	%	51,15			
Full load hours	h/a	3.069			
<b>Selected system design</b>					
System	Absorption				
Chiller	Hot water				
Model	YIA HW				
Type	YIA 7D1				
Number of units	1				
Heat rejection system	Cooling to wer open m anuf.2				
Number of units	1				
Life cycle in years	25				

Determination of the system load: Average capacity  
 All information are estimate values only. Separate detailed evaluations are to be performed for designing the system.  
 Calculation of the operating costs with estimated part load values.

**YORK** YorkOpti Comparison of systems with liquid chillers - Result table

Sales engineer	Dirk Goovaerts	Project file:	virga Jesse
Department	ESG	Performed at:	08.05.2006
Telephone	32 3 451 06 03		
Facsimile	32 3 458 24 44		
Mobile	32 475 69 09 48		

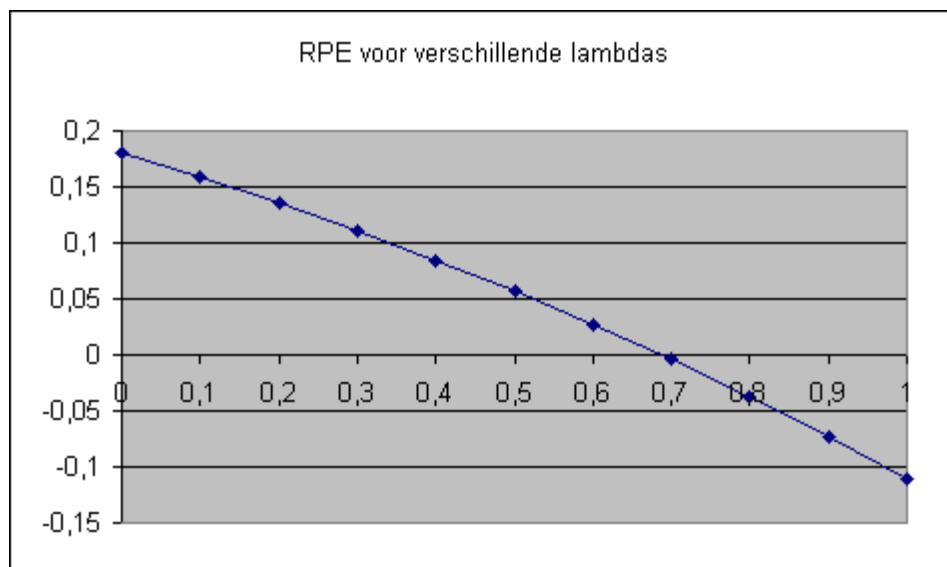
**Project file: virga Jesse**

Cooling system data		YIA 7D1			
Capacity chiller system	[kW]	1.564			
Operating hours	[h/a]	6.000			
Average part load	[%]	51,2			
<b>Input/consumption</b>					
Electric input chiller	[kW]	-			
Elect.input cond./cooling tower	[kW]	85			
Electric input chilled liquid	[kW]	12			
Electric input cooling liquid	[kW]	22			
Electric input total	[kW]	120			
Heating capacity	[kW]	2.197			
Water volume	[m <sup>3</sup> /a]	23.919			
Waste water volume	[m <sup>3</sup> /a]	5.980			
<b>Investment (VAT not incl.)</b>					
Chiller	[EUR]	149.949			
Condenser/cooling tower	[EUR]	91.176			
Costs for peripheral systems	[EUR]	262.837			
Chilled liquid piping	[EUR]	70.072			
Insulation	[EUR]	35.036			
Cool.liquid/refrigerant piping	[EUR]	144.590			
Elec.panel / installation	[EUR]	13.139			
Others (summary)	[EUR]	-			
Total investment	[EUR]	503.962			
<b>Consumption costs (VAT not incl.)</b>					
Electricity costs	[EUR/a]	27.194			
Heating costs	[EUR/a]	-			
Water costs	[EUR/a]	35.879			
Waste water costs	[EUR/a]	11.960			
Maintenance costs	[EUR/a]	5.040			
<b>Summary</b>					
Operating costs per year	[EUR/a]	80.072			
Capital costs per year	[EUR/a]	20.158			
Total costs per year	[EUR/a]	100.230			

All information are estimate values only. Separate detailed evaluations are to be performed for designing the system.  
Calculation of the operating costs with estimated part load values.

## Bijlage 4: Berekening RPE in Excel

lamda	RPE
0	0,180328
0,1	0,158249
0,2	0,134948
0,3	0,11032
0,4	0,084249
0,5	0,056604
0,6	0,027237
0,7	-0,00402
0,8	-0,03734
0,9	-0,07296
1	-0,11111



## Bijlage 5: Absorptie koeling in het AZ Sint-Jan te Brugge

### Persconferentie - 4 mei 2005

De permanente zorg binnen de beleidsorganen van het AZ Sint-Jan AV voor ecologie en economie leidde tot een uitzonderlijk project, dat door de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie van de Vlaamse Gemeenschap terecht als een demonstratieproject werd erkend en daarvoor specifieke financiële steun werd toegewezen.



#### **. "Warm wordt koud?" Een ecologische primeur voor ons ziekenhuis!**

Het is duidelijk dat de bevoegde diensten in het verleden steeds hebben getracht om de exploitatie van het ziekenhuis in al zijn aspecten en randvoorwaarden te optimaliseren. Evenzo naar energiegebruik en milieubewustzijn. Het binnenklimaat van onze instelling brengt immers een grote vraag naar energie met zich en wie zegt energiegebruik zegt automatisch milieubelasting door verbranding van primaire grondstoffen, waarbij milieuvriendelijke afvalstoffen uitgestoten worden. Reeds in 1982 werd een formele stap in die milieu- en energiebewuste richting gezet door de verwarmingsinstallaties aan te sluiten op de afstandsleidingen van IVBO. Hierbij kan het verbruik van aardgas en stookolie als primaire energiebron uitgeschakeld worden en werd gebruik gemaakt van de restwarmte van de huisvuilverbrandingsoven. Deze omschakeling bracht niet alleen de energiefactuur naar beneden, maar vermeerde milieubelasting vanuit de schoorsteen van het ziekenhuis. De samenwerking tussen het AZ Sint-Jan AV en IVBO heeft aldus al lange jaren zijn vruchten afgeworpen.

Naar aanleiding van deze optimalisatie-interventie, die een succes was, werd het energieverbruik in het ziekenhuis zeer nauwlettend opgevolgd en werden jaarlijks goed gestoffeerde energierapporten opgesteld. Hieruit bleek dat het energiegebruik voor verwarming langzaam daalde tengevolge van allerlei energiebesparende maatregelen. Anderzijds werd vastgesteld dat het verbruik aan elektrische energie snel stijgend was en dat de factuur voor elektrische energie nog sneller steeg, niettegenstaande ook hier energiebesparende maatregelen ingevoerd werden.

Vanuit de gedetailleerde cijfers die nauwkeurig werden bijgehouden door de energieverantwoordelijke konden de oorzaken hiervan gevonden worden. De zeer snel evoluerende medische wetenschap vergt alsmaar meer zware medische apparatuur die grote hoeveelheden elektrische energie verbruikt. Ook het alomtegenwoordig informaticapark blijkt veel elektrische energie op te slopen. Uit een basiswet van de thermodynamica weten we dat alle opgenomen elektrische energie volledig omgezet wordt in warmte. Vandaar dat de lokalen waar de medische apparatuur in dienst is, zeer snel in temperatuur stijgen, zelfs boven een aanvaardbare comforttemperatuur en dat er alom gevraagd wordt naar klimaatregeling en koeling in deze ruimten.

Tot op vandaag werd de koude-energie opgewekt op basis van elektrische energie. Dit betekent dat simultaan met de uitbreiding van de informatica en de medische apparatuur ook een stijging van koelvermogen optreedt, zodat het verbruik aan elektrische energie kwadratisch stijgt ten gevolge van de kwaliteitsverbetering van de medische zorg.

Anderzijds moet nog genoteerd worden dat bij stijgend energiegebruik de kostprijs op de energiefactuur de hoogte ingaat omwille van de grote kwartierspitsen die hierbij opgemeten worden. Vandaar het dubbel negatief effect op de ecologische en economische balans.

Reeds in maart 1998 werd door het Brugse ingenieursbureau INGENIUM een eerste onderzoeksrapport uitgebracht om met alternatieve energievoorziening een antwoord te vinden voor de gestelde problematiek. Uit dit eerste onderzoeksrapport en op basis van de op dat ogenblik bekende verbruiksgegevens bleek dat het opstellen van absorptiekoelmachines, geïntegreerd met een warmtekrachtkoppeling, aanzienlijke besparingen aan energiekosten zou opleveren en de uitstoot van pollutanten drastisch zou worden ingeperkt.

In diezelfde periode besteedt de Vlaamse Gemeenschap veel aandacht aan rationeel energiegebruik (REG) in het licht van milieubescherming en om de uitputting van de eindige voorraad aan primaire energie te vertragen. De Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie kreeg van de Vlaamse Gemeenschap budget en mandaat om toekomstgerichte energiebesparende projecten financieel te ondersteunen als demonstratieproject in uitvoering van een koninklijk besluit van 10 februari 1983. Met deze wetenschap werd in mei 1999 het dossier voor steun voor demonstratieprojecten overgemaakt aan het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Na grondig onderzoek van de vooruit berekende cijfers en van het innovatieve karakter van het project werd ten gepaste tijde gunstig advies verleend voor de steun. Dit gunstig advies vanwege de overheid gaf het sein voor het beleid van het ziekenhuis om definitief door te gaan met het project en gaf INGENIUM begin 2000 de opdracht om het project uit te werken naar realisatie toe.

Ondertussen bleef de dynamiek van het ziekenhuis niet stilstaan en werd nagedacht over de toekomst. Hieruit bleek duidelijk dat de vraag naar koeling en klimaatregeling verder zou toenemen van 1.800 kW in 2000 tot 2.600 kW in 2010, rekening houdend met de lopende en geplande projecten. Indien men rekening houdt met alle ruimten en functies waar ooit koeling van toepassing kan zijn, moet gerekend worden met een maximale koellast van 4.000 kW.

Het project werd dan ook opgezet om in finale fase 4.800 kW te kunnen leveren, waarvan in een eerste fase twee machines van elk 1.600 kW worden geïnstalleerd en de voorzieningen getroffen zijn om in een latere fase een derde machine van 1.600 kW te kunnen bijvoegen. Wegens een negatief advies om milieutechnische redenen werd de warmtekrachtkoppeling voorlopig niet opgenomen in de installatie.

Het innovatieve van het project bestaat erin dat de koudeproductie die het ijswater moet leveren in de distributie van het ganse ziekenhuis hier niet meer gebeurt met machines die aangedreven worden door dure elektriciteit maar door machines, aangedreven door goedkopere restwarmte van de verbrandingsoven. Gezien het koelvermogen hoofdzakelijk in zomerregime moet geleverd worden, waarbij de warmtelevering van IVBO vermindert, wordt hier de zomerse restwarmte van IVBO opgewaardeerd.

Als algemeen principe geldt dat koude-energie opgewekt wordt in een verdampingsproces - denk aan het verdampen van ether op de huid. In de klassieke koelmachines en huisfrigo's gebeurt dit proces met een vluchtige vloeistof als bijvoorbeeld ammoniak, die na verdamping terug tot vloeistof wordt samengedrukt door elektrisch aangedreven compressoren. Bij absorptiekoelmachines is water het koelmedium in plaats van ammoniak. Bij het verdampen van water bij lage druk wordt warmte onttrokken en ontstaat koude-energie. Een zoutoplossing absorbeert deze waterdamp en wordt in de koelmachine rondgepompt. Onder invloed van de warmte, hier geleverd door IVBO, lost de zoutoplossing op in waterdamp die gecondenseerd wordt door kanaalwater en opnieuw dienstig is om te verdampen en koude te produceren. Dit is een continu proces waarbij hoofdzakelijk elektrische energie verbruikt wordt voor het rondpompen van de zoutoplossing.

Samengevat kan de koelcentrale van het ziekenhuis als volgt omschreven worden: er is een kringloop van ijswater doorheen de gebouwen van het ziekenhuis die de warmte opneemt uit de lokalen en eventueel aangesloten machines. Deze kring brengt de warmte naar de koelcentrale in de absorptiekoelmachines en onder impuls van de warmte-energie, aangeleverd door IVBO, wordt de overtollige ziekenhuiswarmte in het kanaal gedumpt.

Wat voor ons beleid duidelijk mag zijn, is dat onze energiefactuur jaarlijks met 50.000 ? zal dalen in vergelijking met de bestaande installaties, die overigens aan vervanging toe zijn om


milieutechnische regelgeving en dat het AZ Sint-Jan AV met deze alternatieve oplossing als eerste officiële instantie nu reeds voldoet aan het Kyoto-protocol!

**. Hebben meegewerkt aan dit "groen project" :**

- . IVBO, de heer B. De Cuyper, Ir. M. Davans en zijn equipe waarmee wij reeds jaren "energetisch" samenwerken;
- . de Stad Brugge bij monde van de Schepen J.P. Vandenberghe en de Stadsecoloog dr. Paul Van Acker;
- . de Provincie West-Vlaanderen hier vertegenwoordigd door Ir. Bettina Bouckaert;
- . Aminor Milieuvergunningen West-Vlaanderen, Ir. Daniel Gunst en Ir. Robrecht Vermoortel;
- . de Vlaamse Milieumaatschappij, mevr. Kathleen Vanmaele die weliswaar verontschuldigd is;
- . het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - afdeling Waterwegen Kust, ing. Frank Proot;
- . het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap ANRE (Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie), dhr. Frank Van Droogenbroeck
- . het Studiebureau Ingenium o.l.v. Ir. Herwig Vincke die samen met een ploeg van onze eigen Technische dienst o.l.v. Ir. Franky Gotelaere dit project tot stand bracht.



## Bijlage 6: Raming koelcapaciteit voor de nieuwe vleugel in het Virga Jesse ziekenhuis

	PAG. N° 3	DATUM 12/04/06
	TE BEHANDELEN	
	DOOR	DATUM
<p><b>3. KOELING</b></p> <p><u>Capaciteiten :</u> De geraamde capaciteit tbv VIPA 1 bedraagt <b>1.6 MW</b> Rekening houdend met het feit dat;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• er GEEN behoefte is voor het toepassen van warmterecuperatie op de eventueel watergekoelde condensors</li><li>• de benodigde oppervlakte voor buitensopgestelde condensors of volledige koelmachines gelijk is</li><li>• buitensopgestelde koelmachines budgettair de goedkoopste oplossing is</li></ul> <p>wordt er in dit stadium geopteerd voor twee monoblok ijswatermachines met free cooling mogelijkheden dewelke buiten op het terrein opgesteld worden</p> <p><u>Leidingtracé</u> De op het terrein opgestelde ijswatermachines worden via ondergrondse leidingen verbonden met het technisch lokaal in VIPA 1</p>		

## Bijlage 7: Info over de koudeproductie voor VIPA

1

### 3. KOUDEPRODUCTIE

Er wordt koeling voorzien voor de lokalen/zones met een specifieke HVAC zoals OP's, nierdialise en intensieve.

De algemene ventilatie wordt NIET van mechanische koeling voorzien. Er wordt WEL de nodige voorzieningen getroffen om in een later stadium eventueel topkoeling te implementeren in de algemene ventilatie. *Topkoeling is GEEN koeling. Topkoeling is het maximaal koelen van de ventilatielucht. Het koelvermogen zal in het geval van topkoeling tussen de 10 en 30 % van het normaal benodigde koelvermogen zijn. Het is als het ware het "topje" van de koellast dat weggekoeld wordt.*

De huidige koudeproductie gebeurt gedecentraliseerd en verspreid over de site. Er is momenteel geen overschot op de productie.

Gezien de huidige constellatie wordt er voor de ijswaterbehoefte van deelproject VIPA 1 geselecteerd om in de nabijheid van het gebouw 2 monoblok ijswatermachines met free cooling mogelijkheid te plaatsen. Er wordt tevens reserveplaats voorzien voor een derde koelmachine.

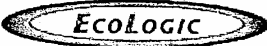
*Er worden geen units van het type "omkeerbare warmtepomp" of de zogenaamde exergie machines gebruikt omdat er in de zomer geen toepassing is voor de restwarmte. Er is momenteel op de site een overschot van de sanitaire warm waterproductie via condensorrecuperatiewarmte.*

De koelmachines worden verbonden met een ondergrondse leiding naar het technisch lokaal.

*A.601W genoemd bij VIPA*



## Bijlage 8: Technische specificatie Lennox compressie koelmachine

RO46608C/PV 22/11/2005	<b>Vloeistof koelmachine MET LUCHTGEKOELDE CONDENSOR</b>  <b>1 x WA 150D K SLN S E</b>	<b>LENNOX</b>
Virga Jesse Operatiekwartier		

### TECHNISCHE SPECIFICATIE

*COP = 2,8*

Capaciteit	151.0 kW
Opgenomen vermogen	53.1 kW
Opgenomen stroom bij ontwerpconditie $\phi = 0.95$	80.8 A
Capaciteitsregeling	0-25-50-75-100 %
Aantal koudemiddel circuits	2
Aantal compressoren	4
Koudemiddel	R407C

#### **VERDAMPER**

Verdamper in werking	12.0 / 6.0 °C
Verdamper glycolpercentage	30.0 %
Verdamper waterhoeveelheid	23.5 M3/h
Drukverlies verdamper	41.7 kPa
Water pijpleidingen	2 - 2

#### **LUCHTGEKOELDE CONDENSOR**

*Axiaal ventilator(en)*

buitenluchttemperatuur	35.0 °C
Aantal ventilatoren	4
Luchthoeveelheid Condensor	41300 m3/h

#### **ELEKTRISCHE GEGEVENS**

Elektrische hoofvoeding	400/III/50Hz+T V/P
Maximum vermogen	73 kW
Maximum stroom	119 A
Aanloopstroom	289 A

*Om te overwegen (zonder extra) voor Berekening van de voedingskabels*

#### **AFMETINGEN**

Lengte	3304 mm
Breedte	1904 mm
Hoogte	1959 mm
Bedrijfgewicht	1699 kg

*Noot: Afmetingen gelden alleen voor standaard units*

## Bijlage 9: Info WKK installatie Virga Jesse ziekenhuis

### 3.1.4 Elektrische start-stop inrichting 24 V

De start-stop inrichting bestaat uit:

- startmotor
- complete bedrading naar de op het fundatieframe gemonteerde klemmenkast
- 2 in serie geschakelde accu's
- automatische accu laadinrichting

### 3.1.5. Ontstekingsinrichting

De ontstekingsinrichting bestaat uit:

- elektronische ontsteking
- bobines
- bougies

### 3.1.6. Luchtinlaat en uitlaatsysteem

Het luchtinlaat en uitlaatsysteem bestaat uit:

- droogluchtfilter
- inlaatspruitstuk
- turbocompressor
- interkoeler
- watergekoeld uitlaatspruitstuk

### 3.1.7 Warmteterugwinningssysteem

Het warmteterugwinningssysteem bestaat uit:

- motorwaterkoeler
- smeeroliekoeler (in motor geïntegreerd)
- interkoeler
- uitlaatgaskoeler

## 3.2 GENERATOR

- fabrikaat: Stamford
- type en vermogen: synchrone borstelloze alternator van 500 kVA.
- $\cos \phi = 0,97$ , de  $\cos \phi$  is instelbaar tussen 0,8 - 1 inductief.
- omgevingstemperatuur: max. 40 °C
- spanning: 230/400 Volt
- frequentie: 50 Hz
- statische spanningsconstante: 1% tussen nul- en vollast
- isolatieklasse rotor en stator: H
- toerental: 1.500 omw./min.

### TYPE WKK machine

Zantec	312HR
Merk motor	Waukesha
Type motor	H24GLD-HR
Aantal cilinders	8 in lijn
Mechanisch asvermogen (kW)	363
Cilinderinhoud (liter)	24
Ontsteking	8 bobines
Toerental (omw./min.)	1500

$\eta = 37,5\%$

### 3.3 CARTERVENTILATIE

Carterdampen worden via de inlaat afgevoerd. Uitlaatgassen worden afgevoerd conform GAVO/VISA. Condens wordt via een olieafscheidend waterslot afgevoerd. De olieopvangruimte is afgestemd op een reiniginginterval gelijk aan de service-interval. Max. sliplaagdikte in het waterslot 8 centimeter, olie/vetlaag wordt bij elke inspectie verwijderd.

### 3.4 FUNDATIEFRAME

Door middel van een elastische koppeling en een flenshuis is de draaistroomgenerator direct aan de gasmotor geflenst (monobloksysteem). De tot één geheel geflensde gasmotor en generator zijn afgeveerd door trillingsdempers, die op een profielstalen fundatie gemonteerd zijn.

### 3.5 BESTURING

De warmtekrachtinstallatie is uitgevoerd met een MasterControl besturingsunit. De MasterControl verzorgt alle besturing- en bewakingsfuncties welke voor een veilige bedrijfsvoering noodzakelijk zijn.

#### 3.5.1 ABB Zantingh schakelpaneel

De MasterControl plus hulpapparatuur is ingebouwd in een schakelpaneel.

- Het schakelpaneel is op de vloer opgesteld en is vervaardigd uit plaatstaal. De onderzijde is voorzien van een schoplint. De beschermingsgraad is IP 54.
- Aan de voorzijde is het paneel voorzien van afsluitbare deuren.
- Het schakelpaneel voldoet aan de eisen zoals omschreven in de NEN 1010.

De volgende onderdelen bevinden zich op het front van de schakelkast:

- Display en intoets eenheid t.b.v. uitlezing en bediening van de warmtekracht installatie.
  - Op het display bevinden zich de volgende druktoetsen met stand indicatie t.b.v. bediening van de warmtekrachtinstallatie:
    - uit
    - onbelast
    - stand-by
    - automatisch
    - handbediend
  - Voor bediening van het display zijn de volgende toetsen aanwezig:
    - clear
    - enter
    - ▲ (pijl omhoog)
    - ▼ (pijl omlaag)
  - Ledtableau voor storingsmelding en visuele proces indicatie.
- Noodstop, uitgevoerd met een mechanische vergrendeling.
- Hoofdschakelaar t.b.v. spanningsloos maken van het stuurstroom paneel.
- Resetdrukknop, voor het ontgrendelen van storingen.
- Hoofdschakelaar t.b.v. spanningsloos maken van het hoofd- en stuurstroom paneel (met hangslot vergrendelbaar)

#### 3.5.2 Parallelbedrijf

Ten behoeve van het parallel schakelen aan het net is de MasterControl voorzien van een dubbel

# Auteursrechterlijke overeenkomst

*Opdat de Universiteit Hasselt uw eindverhandeling wereldwijd kan reproduceren, vertalen en distribueren is uw akkoord voor deze overeenkomst noodzakelijk. Gelieve de tijd te nemen om deze overeenkomst door te nemen en uw akkoord te verlenen.*

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

## **Warmte-kracht koppeling en trigeneratie**

Richting: **Handelsingenieur**

Jaar: **2006**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt houdt in dat ik/wij als auteur de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij kan reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

U bevestigt dat de eindverhandeling uw origineel werk is, en dat u het recht heeft om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. U verklaart tevens dat de eindverhandeling, naar uw weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

U verklaart tevens dat u voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen hebt verkregen zodat u deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal u als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze licentie

Ik ga akkoord,

**Stijn VERCAMPT**

Datum: