

Warmtekrachtkoppeling in de tertiaire sector

Gevalstudie : AZ Sint Jozef Malle

Bert EYCKMANS

promotor :
Prof.dr.ir Frans LEMEIRE

SAMENVATTING

Energie staat centraal in onze maatschappij. De mens gebruikt energie dagelijks zonder dit vaak zelf te beseffen. Gevolg hiervan is het steeds kleiner worden van de voorraden fossiele brandstoffen. Deze zijn immers niet oneindig. Bovendien zorgt de uitstoot die gepaard gaat met de opwekking van energie uit fossiele brandstoffen, voor heel wat ecologische problemen en het o zo actuele begrip "klimaatverandering".

Op de klimaatconferentie van Kyoto in 1997 heeft België zich ertoe verbonden om de CO₂ uitstoot in de periode 2008-2012 met 7,5% te verminderen ten opzichte van 1990. De energiesector is hier voor een groot deel verantwoordelijk voor. Vooral in deze sector dringen veranderingen zich dus op. Dat is geen gemakkelijke opgave gezien de stijgende energievraag en de nakende kernuitstap. Via rationeel energiegebruik, efficiënte energieopwekking en hernieuwbare energiebronnen moeten we toch trachten deze vermindering te realiseren.

Deze eindverhandeling bespreekt een oplossing in het kader van de efficiënte energieopwekking, namelijk warmtekrachtkoppeling. Vanuit energetisch, ecologisch en economisch oogpunt wordt warmtekrachtkoppeling (WKK) gekaderd binnen Vlaanderen. WKK is de gezamenlijke productie van warmte en elektriciteit uit één dezelfde primaire energiebron. Hierdoor wordt er een hoger rendement behaald dan bij de afzonderlijke opwekking van warmte en elektriciteit. De energie van de brandstof wordt met andere woorden efficiënter benut. Minder brandstofverbruik betekent ook minder uitstoot van schadelijke stoffen waaronder CO₂. Op deze manier kan WKK bijdragen tot het behalen van de Kyoto-norm.

Het is essentieel om bij een WKK- installatie de warmte nuttig aan te wenden. Daarom worden deze installaties vaak op de warmtevraag gedimensioneerd. Er bestaan verschillende technologieën om een WKK te implementeren. Voor grootschalige toepassingen bestaan er gas- en stoomturbines. Inwendige verbrandingsmotoren daarentegen worden eerder gebruikt voor kleinschalige projecten, bijvoorbeeld in de tertiaire sector. Verder staan microturbines op de rand van de doorbraak. Stirlingmotoren en brandstofcellen zijn dan weer veelbelovende technologieën waar volop onderzoek naar gedaan wordt. Als brandstof voor een WKK- installatie probeert men ook hernieuwbare

energiebronnen te gebruiken. Deze leveren een aanzienlijke emissiereductie en energiebesparing op.

Trigeneratie is nog een stap verder dan warmtekrachtkoppeling of cogeneratie. In dit geval wordt via een absorptiekoelmachine de warmte ook gebruikt om koude te produceren. Natuurlijk moet er vraag zijn naar koude. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen in de tertiaire en de residentiële sector. Voor deze sectoren kan dit tot de verbetering van de rentabiliteit van de WKK- installatie leiden. De installatie zal namelijk een groter aantal draaiuren hebben.

In de jaren negentig kende warmtekrachtkoppeling een enorme groei in Vlaanderen. Vooral grote industrieën investeerden in WKK maar ook kleinere toepassingen zochten hun heil hierin. Denken we maar aan de tuinbouw, zwembaden of ziekenhuizen. Voor Vlaanderen bedroeg het volledig opgesteld elektrisch vermogen 1 457 MW en 771 MW opgesteld kwalitatief WKK- vermogen. De doelstelling van de Vlaamse overheid is om tegen 2012 een totaal opgesteld vermogen van 1 832 MW via kwalitatieve warmtekrachtkoppeling te realiseren.

Ondanks de gunstige ecologische voordelen blijft het belangrijkste argument om een WKK- installatie al dan niet te installeren zijn financiële rendabiliteit. Het installeren van een WKK brengt heel wat directe en indirecte kosten met zich mee. Denken we maar aan investeringskosten en werkingskosten. Voor kleine vermogens neemt de investeringskost per kW geïnstalleerd vermogen bovendien sterk toe. Verder zijn er ook externe kosten aanwezig. Deze zitten wel niet in de bedrijfsboekhouding vervat. Ze brengen nochtans wel schade toe aan het milieu en de maatschappij. Maar de producent of consument dragen hier niet de financiële gevolgen van deze schade.

Om de doelstelling van de Vlaamse Overheid te behalen bestaan er steunmaatregelen om de techniek toch rendabel te maken. Er bestaan verschillende subsidies, zowel investering- als uitbatingsubsidies. De belangrijkste subsidiesteun is het systeem van warmtekrachtcertificaten. Hierdoor kan de overheid zorgen dat de externe kosten geïnternaliseerd worden. Het certificatenstelsel wordt in België door de drie gewesten, het Vlaams, het Waals en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest verschillend geïmplementeerd. In Vlaanderen worden de certificaten verkregen op basis van de primaire energiebesparing. Het systeem bestaat enerzijds uit de mogelijkheid voor de

eigenaars van kwalitatieve WKK- installaties, die aan bepaalde voorwaarden voldoen, warmtekrachtcertificaten aan te vragen bij de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteit en Gasmarkt (VREG) en anderzijds uit de verplichting voor elektriciteitsleveranciers om voor een minimum aandeel elektriciteit uit kwalitatieve WKK's te zorgen. Indien de elektriciteitsleverancier niet aan zijn verplichting voldoet moet hij een boete betalen. De marktprijs bedraagt ongeveer 90% van de boeteprijs.

Tot slot wordt een voorbeeld van een warmtekrachtkoppeling in de tertiaire sector besproken, namelijk een mogelijke implementatie van een WKK- installatie in het Algemeen Ziekenhuis Sint-Jozef in Malle. Aan de hand van een haalbaarheidsstudie wordt gekeken of het economisch rendabel is om te investeren in een WKK- installatie. Er worden een viertal fasen doorlopen: de analyse van de energievraag, de technische dimensionering van de WKK- installatie, de rentabiliteitsbeoordeling en de sensitiviteitsanalyse.

WOORD VOORAF

Met deze eindverhandeling sluit ik mijn studies Handelsingenieur, afstudeerrichting Technologie, af. Gezien mijn sterke interesse in enerzijds energie en anderzijds in economie, koos ik als onderwerp de haalbaarheid van warmtekrachtkoppeling in de tertiaire sector. Deze eindverhandeling kwam niet alleen tot stand door mijn inspanningen. Ook vele anderen droegen hun steentje bij en zorgden er mee voor dat deze thesis is geworden tot wat ze nu is. Ik zou hen dan ook graag oprecht willen bedanken.

In de eerste plaats wil ik mijn promotor, Professor Dr. Ir. Frans Lemeire bedanken voor de deskundige begeleiding bij de opbouw en uitwerking van deze thesis. Zijn kritische visie en bemerkingen waren een motivatie voor mij om tot het uiterste te gaan. Verder wil ik ook nog Dhr. M. Raskin, afgevaardigd beheerder van COGEN Vlaanderen, bedanken en zijn hele team voor het beschikbaar stellen van informatie en deskundige hulp. Verder wil ik nog Dhr. L. Wuyts, milieucoördinator van de vzw Emmaüs, bedanken. Dankzij hem kreeg ik de kans om de theorie van mijn thesis aan de praktijk te koppelen.

Vervolgens wil ik ook zeker mijn ouders bedanken. Zij maakten het mij de voorbije jaren mogelijk, zowel praktisch als financieel, om te studeren aan de Universiteit Hasselt. Net als mijn broers stonden zij altijd klaar wanneer ik behoefte had aan een luisterend oor. Tot slot wil ik ook zeker mijn vriendin Karolien bedanken voor het nalezen van de eindverhandeling en het corrigeren van taal- en typfouten. Ik kon ook steeds terecht bij haar als ik het even niet meer zag zitten om mij er weer bovenop te helpen en me extra te motiveren.

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING

WOORD VOORAF

INHOUDSOPGAVE

LIJST VAN FIGUREN

LIJST VAN TABELLEN

HOOFDSTUK 1: ENERGIEPROBLEMATIEK - 13 -

1.1 BROEIKASEFFECT - 13 -

1.2 REDUCTIEDOELSTELLINGEN VOOR BROEIKASGASSEN - 14 -

1.3 BELEID IN DE ENERGIESECTOR - 16 -

 1.3.1 *REG decreet* - 17 -

 1.3.2 *Efficiëntere energieomzetting* - 18 -

1.4 PRAKTIJKPROBLEEM EN CENTRALE ONDERZOEKSVRAAG - 19 -

HOOFDSTUK 2: HET PRINCIPE VAN WARMTEKRACHTKOPPELING - 21 -

2.1 THERMODYNAMISCHE PRINCIPES WARMTEKRACHTKOPPELING - 21 -

 2.1.1 *Energie* - 21 -

 2.1.1.1 Kinetische energie - 21 -

 2.1.1.2 Potentiële energie - 22 -

 2.1.2 *Eerst en tweede hoofdwet van de thermodynamica* - 23 -

 2.1.3 *Isentropische processen* - 24 -

 2.1.4 *Exergie en anergie* - 24 -

 2.1.5 *Energetisch en exergetisch rendement* - 25 -

2.2 WARMTEKRACHTKOPPELING - 26 -

2.3 TROEVEN VAN WARMTEKRACHT - 27 -

 2.3.1 *Energie* - 28 -

 2.3.2 *Ecologie* - 30 -

 2.3.3 *Economie* - 30 -

HOOFDSTUK 3: TECHNOLOGIEËN IVM WARMTEKRACHTKOPPELING - 31 -

3.1 WARMTEKRACHTKOPPELING MET TURBINES	- 31 -
3.1.1 Stoomturbine	- 31 -
3.1.2 Gasturbine	- 32 -
3.1.3 Gecombineerde cyclus van stoom en gas (STEG)	- 33 -
3.2 WARMTEKRACHTKOPPELING MET MOTOREN	- 34 -
3.2.1 Gasmotoren (Ottomotoren)	- 36 -
3.2.2 Dieselmotoren	- 36 -
3.3 NIEUWE TECHNOLOGIEËN VOOR WARMTEKRACHTKOPPELING	- 37 -
3.3.1 Microturbines	- 37 -
3.3.2 Stirlingmotoren	- 40 -
3.3.3 Brandstofcellen	- 42 -
3.4 WARMTEKRACHTKOPPELING MET HERNIEUWBARE ENERGIEBRONNEN	- 44 -
3.4.1 Biogassen	- 45 -
3.4.2 Vaste en vloeibare brandstoffen	- 46 -

HOOFDSTUK 4: TRIGENERATE EN ABSORPTIEKOELING - 47 -

4.1 WERKINGSPRINCIPE VAN EEN ABSORPTIEKOELMACHINE	- 47 -
4.2 TOEPASSINGEN VAN TRIGENERATIE	- 48 -
4.3 VOORDELEN VAN TRIGENERATIE	- 48 -

HOOFDSTUK 5: WARMTEKRACHTKOPPELING IN VLAANDEREN - 50 -

5.1 HET VERMOGEN DOOR WKK OPGEWEEKT IN VLAANDEREN ANNO 2005	- 50 -
5.1.1 Kwalitatieve warmtekrachtkoppeling	- 50 -
5.1.2 Evolutie van het opgestelde WKK- vermogen	- 51 -
5.1.3 De verdeling naar technologie van het opgestelde WKK- vermogen	- 53 -
5.2 DE PRODUCTIE VAN ELEKTRICITEIT DOOR WKK IN VLAANDEREN IN 2005	- 54 -

HOOFDSTUK 6: KOSTEN VAN WARMTEKRACHTKOPPELING - 56 -

6.1 DIRECTE KOSTEN	- 56 -
6.1.1 Investeringskost	- 57 -
6.1.2 Werkingskost	- 59 -
6.2 EXTERNE KOSTEN	- 60 -
6.2.1 Internaliseren van externe kosten	- 60 -

6.2.2 Berekening van de externe kosten via de ExternE methode	- 61 -
6.3 REDENEN VOOR AANMOEDIGING VAN WKK.....	- 65 -
6.3.1 Vermeden externe kosten.....	- 66 -
6.3.2 Toekomstvisie	- 66 -
6.3.3. Transgenerationele solidariteit.....	- 67 -
6.3.4 Technologisch multiplicatoreffect	- 67 -
6.3.5 Sociaal- economisch multiplicatoreffect	- 68 -

HOOFDSTUK 7: SUBSIDIES VAN WARMTEKRACHTKOPPELING- 69 -

7.1 INVESTERINGSSUBSIDIES	- 69 -
7.2 UITBATINGSUBSIDIES	- 70 -
7.2.1 Groenestroomcertificaten in Vlaanderen	- 71 -
7.2.2 Warmtekrachtcertificaten in Vlaanderen	- 72 -
7.2.2.1 De toekenning van warmtekrachtcertificaten.....	- 72 -
7.2.2.2 Warmtekrachtcertificatenverplichting	- 74 -
7.2.2.3 Een combinatie met groenestroomcertificaten	- 76 -
7.2.3 Het certificatenstelsel elders in België.....	- 76 -
7.2.3.1 Waalse Gewest.....	- 76 -
7.2.3.2 Brussels Hoofdstedelijk Gewest	- 77 -

HOOFDSTUK 8: HET AZ SINT-JOZEF TE MALLE ALS POTENTIEEL VOORBEELD VOOR WARMTEKRACHTKOPPELING IN DE TERTIAIRE SECTOR.....- 79 -

8.1 AZ SINT-JOZEF MALLE.....	- 79 -
8.2 ANALYSE VAN DE ENERGIEVRAAG.....	- 79 -
8.2.1 Warmtevraag	- 80 -
8.2.2 Elektriciteitsvraag	- 82 -
8.3 DIMENSIONERING VAN DE ENERGIEVRAAG	- 82 -
8.3.1 Jaarbelastingsduurcurve warmte	- 83 -
8.3.2 Jaarbelastingsduurcurve elektriciteit	- 88 -
8.3.3 Evaluatie van de jaarbelastingsduurcurve en bepaling van de meest	- 88 -
geschikte technologie	- 88 -
8.4 RENTABILITEITSBEOORDELING VAN DE WKK.....	- 89 -
8.4.1 Bespreking van de economische evaluatiemethode	- 90 -
8.4.1.1 Investing- en exploitatiekosten.....	- 90 -

8.4.1.2 Energievraag en energieprijzen	- 91 -
8.4.1.3 Besparing op de energierekening.....	- 92 -
8.4.1.4 Subsidies.....	- 92 -
8.4.1.5 WKK- certificaten	- 93 -
8.4.2 <i>Samenvatting en resultaten van het basisscenario</i>	- 93 -
8.4.2.1 Toelichting bij de resultaten	- 93 -
8.5 SENSITIVITEITSANALYSE	- 95 -
8.5.1 <i>Opmerkingen</i>	- 96 -

HOOFDSTUK 9: CONCLUSIES - 97 -

LIJST VAN GERAADPLEEGDE WERKEN - 100 -

LIJST VAN GERAADPLEEGDE SITES - 103 -

LIJST VAN BIJLAGEN

BIJLAGEN

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Trias Energetica.....	- 17 -
Figuur 2: Schematische definitie van warmtekrachtkoppeling.....	- 27 -
Figuur 3: Cijfervoorbeeld van de energiebesparing door middel van warmtekrachtkoppeling	- 28 -
Figuur 4: Schema warmtekrachtkoppeling met stoomturbine	- 32 -
Figuur 5: Schema warmtekrachtkoppeling met gasturbine	- 33 -
Figuur 6: Schema warmtekrachtkoppeling met gecombineerde cyclus.....	- 34 -
Figuur 7: Schema microturbine	- 38 -
Figuur 8: Druk-volumediagram	- 41 -
Figuur 9: Overzicht van de types brandstofcellen.....	- 43 -
Figuur 10: Schema absorptiekoelmachine.....	- 47 -
Figuur 11: Evolutie opgesteld vermogen aan warmtekrachtkoppeling in Vlaanderen .	- 53 -
Figuur 12: Evolutie en aandeel van de technologieën in het totaal opgesteld elektrisch vermogen aan WKK- installaties (in MW)	- 54 -
Figuur 13: kostenbaten analyse WKK.....	- 56 -
Figuur 14: Specifieke investeringskost van middelgrote en grootschalige WKK's	- 58 -
Figuur 15: Indicatieve waarden voor de marginale externe kosten voor Vlaanderen in 2002	- 64 -
Figuur 16: Kost-Tijd relatie voor WKK en klassieke verwarming.....	- 67 -
Figuur 17: Principe van een certificatenstelsel	- 70 -
Figuur 18: De hoeveelheid verbruikt gas in de tijd	- 83 -
Figuur 19: Jaarbelastingsduurcurve voor warmte.....	- 84 -
Figuur 20: Jaarbelastingsduurcurve voor warmte op basis van gemiddelde maandelijkse warmtevraag	- 86 -
Figuur 21: Thermisch vermogen (kWth)	- 87 -

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Evolutie van de uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen tussen 1990 en 2000	- 14 -
Tabel 2: Evolutie van de uitstoot van broeikasgassen voor Vlaanderen	- 16 -
Tabel 3: Vergelijking van de productiekosten (EUR/MWh)	- 65 -
Tabel 4: Emissiefactoren van brandstoffen in het Waalse certificatiesysteem.....	- 77 -
Tabel 5: De emissiefactoren van brandstoffen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest-	77 -
Tabel 6: Het gemiddelde aardgasverbruik en het WKK- relevante verbruik.....	- 81 -
Tabel 7: Gemiddelde calorische bovenwaarden.....	- 81 -
Tabel 8: De gemiddelde warmtevraag voor het AZ Sint-Jozef.....	- 85 -
Tabel 9: Aantal draaiuren in vollast voor een WKK- installatie met een bepaald thermisch vermogen	- 87 -
Tabel 10: Technische specificaties van de WKK- gasmotor, MAN E2842E	- 89 -
Tabel 11: Rentabiliteitsbeoordeling	- 98 -

HOOFDSTUK 1: ENERGIEPROBLEMATIEK

De dag van vandaag staat energie centraal in onze samenleving. Energie brengt ons namelijk welvaart! Elke dag verbruiken we, vaak zonder er bij stil te staan, energie. Het zorgt voor comfort, productiviteit, mobiliteit... Denken we maar aan auto's, computers, koelkasten, verlichting, kookvuren... De lijst is oneindig lang. Zonder energie zou de technologische maatschappij stil vallen.

De wereldbevolking groeit dagelijks ook nog steeds. Tegen 2050 voorspellen de Verenigde Naties (2006) een populatie groter dan 9 miljard mensen. De ontwikkelingslanden zijn verantwoordelijk voor een groot deel van deze groei. Natuurlijk zorgt deze stijgende bevolking ook voor een hogere energievraag.

Het intensieve gebruik van energie heeft ook een negatieve keerzijde. De uitputting van de voorraden van de fossiele brandstoffen gebeurt in een steeds sneller tempo, de verbranding ervan zorgt voor de klimaatsverandering en andere milieuvervuilingen. Een belangrijke oorzaak van de klimaatverandering is het broeikaseffect.

1.1 Broeikaseffect

Het broeikaseffect is deels een natuurlijk en noodzakelijk proces. In de atmosfeer zijn gassen aanwezig die de invallende zonnestraling doorlaten, maar de teruggekaatste straling van het opgewarmde aardoppervlak opnemen. Dit noemen we broeikasgassen en ze zorgen er dus voor dat de warmte niet verloren gaat. Zonder deze gassen zou de gemiddelde aardtemperatuur ongeveer 30°C lager zijn. Het broeikaseffect is echter niet alleen een natuurlijk verschijnsel. De mens versterkt immers het effect.

De voornaamste broeikasgassen zijn waterdamp (H_2O), koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4). Daarnaast bevinden zich in de atmosfeer nog gefluoreerde broeikasgassen (F-gassen) zoals chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's), hun vervangproducten (HFK's, PFK's) en SF_6 . Via veeteelt (CH_4 en N_2O), afvalverwerking (CH_4) of via de verbranding van fossiele brandstoffen (CO_2) neemt de concentratie van

deze broeikasgassen in de atmosfeer toe. Deze toename leidt tot een verhoging van de gemiddelde temperatuur en een verandering van het klimaat. (Vlaams klimaatbeleidsplan 2006-2012, 2006)

Tabel 1 toont ons dat de uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen steeg van 88 Mton CO₂-eq in 1990 tot bijna 91 Mton CO₂-eq. Dat is een toename van 3.6%. Het belangrijkste broeikasgas is waterdamp. Maar dit wordt niet uitgestoten door menselijke activiteiten en is dus niet beïnvloedbaar. CO₂ levert de grootste menselijke bijdrage tot het broeikaseffect. In 1990 zorgde dit voor een totale Vlaamse broeikasgasuitstoot van 77% en in 2004 zelfs voor 85%. Het komt voornamelijk vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen en ontbossing. De andere broeikasgassen, zoals CH₄, N₂O en F-gassen, worden minder uitgestoten in vergelijking met 1990 maar door het grote belang van CO₂ kan men over het algemeen toch nog steeds een positieve tendens vaststellen. We gaan ons in de rest van het hoofdstuk dus voornamelijk richten op de CO₂-problematiek.

Tabel 1: Evolutie van de uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen tussen 1990 en 2004 (Vlaams klimaatbeleidsplan 2006-2012, 2006)

Broeikasgas	1990		2004		Evolutie 1990-2004 (%)
	kton CO ₂ -eq	% aandeel	kton CO ₂ -eq	% aandeel	
CO ₂	67 893	77,3%	77 369	85,0%	+14,0%
CH ₄	7 146	8,1%	5 480	6,0%	-23,0%
N ₂ O	7 972	9,1%	6 875	7,6%	-13,7%
F-gassen	4 759	5,5%	1 249	1,4%	-73,8%
Totaal	87 771	100%	90 970	100%	+3,6%

1.2 Reductiedoelstellingen voor broeikasgassen

De film 'An inconvenient truth' (2006) van voormalig Amerikaans vice-president Al Gore, heeft de afgelopen weken en maanden heel wat stof doen opwaaien. Hierdoor zijn de problemen van de uitstoot van broeikasgassen en de gevolgen van de opwarming van de aarde ook bij het brede publiek bekend geraakt. Natuurlijk zijn verschillende landen al langer bezig met de strijd tegen de uitstoot van broeikasgassen.

Het Europees parlement keurde in 1986 de eerste besluiten over klimaatbeheer goed. De EU nam dan ook het voortouw in de strijd tegen klimaatverandering. Maar het is een internationale zaak. Daarom werd in 1992 in Rio de Janeiro, tijdens een VN conferentie, een raamverdrag betreffende de klimaatverandering ondertekend. De Europese Unie besloot de uitstoot van broeikasgassen in 2000 op hetzelfde peil als 1990 te houden. (VOKA, 2005)

Al snel bleek dat deze maatregel niet voldoende was. Daarom werd in 1997 het Kyoto-protocol opgesteld. Het is een aanvulling op het klimaatverdrag. De industrielanden verbinden zich ertoe om hun jaarlijkse uitstoot met gemiddeld 5% te doen dalen in de periode 2008-2012. Per land gelden andere reductiepercentages. Zo moet de EU de uitstoot van broeikasgassen met 8% verminderen, de VS met 7% en Japan met 6%. *"Om in werking te kunnen treden, moeten ten minste 55 landen, die samen meer dan 55% van de emissies vertegenwoordigen, het protocol ratificeren."* (Vlaamse Gemeenschap, 2004) Het Kyoto-protocol is op 16 februari 2005 in werking getreden, na de bekrachtiging van Rusland.

Tussen de lidstaten van de EU bestaan er nog uiteenlopende emissiereducties. België moet zijn uitstoot met 7,5% verminderen, Nederland met 6%, Duitsland met 21%. Frankrijk daarentegen moet zijn uitstoot niet verkleinen. (Arbeid & Milieu, 2006).

Voor België moet deze 7,5% nog eens herverdeeld worden tussen de gewesten. Er zijn twee mogelijke oplossingen bruikbaar om de doelstellingen te behalen die België ondertekend heeft. Als eerste oplossing kunnen de emissies van broeikasgassen gereduceerd worden door technieken toe te passen die vrij of arm zijn aan schadelijke uitstoten. Ten tweede kunnen emissierechten in het buitenland aangekocht worden. Het Vlaamse gewest zet zich in om de uitstoot van broeikasgassen met 7,5% te reduceren. De doelstelling van het Waalse gewest is een daling van 5,2% terwijl de uitstoot van het Brusselse gewest mag stijgen met 3,475%. Het tekort dat nog niet gereduceerd is, geraamd op 2,46 Mton, gaat de overheid compenseren door de aankoop van emissierechten. (Europese commissie, 2006)

1.3 Beleid in de energiesector

Uit tabel 2 kan men afleiden dat de energiesector verantwoordelijk is voor een stijging van 10,8% in de uitstoot van broeikasgassen voor 2005 ten opzichte van 1990. Dit is zelfs een stijging van 4,7% in vergelijking met het vorige jaar, 2004. Ondanks de implementatie van WKK, het bevorderen van het rationeel energieverbruik en hernieuwbare energiebronnen, is er toch dus toch nog steeds een stijging, zij het een kleinere als zonder deze maatregelen. (Peeters, 2006)

Verder laat tabel 2 ons ook de evolutie in de andere energiesectoren zien. De transportsector en de gebouwensector zijn duidelijk ook sterk gestegen in de broeikasgasemissie ten opzichte van 1990. Toch zien we dat de uitstoot in de transportsector stabiliseert de laatste jaren. De sector van de gebouwen is vooral sterk gestegen door het stijgende aantal huizen en het hogere gewenste comfort van de mensen. In deze sector treedt er de laatste jaren echter een daling op. Het is dus van belang om in de energiesector maatregelen te nemen die de uitstoot beperken en de toenemende trend ombuigen. Vooral de verbranding van fossiele brandstoffen voor energieopwekking veroorzaakt een groot deel van de CO₂ uitstoot en zal moeten afnemen.

Tabel 2: Evolutie van de uitstoot van broeikasgassen voor Vlaanderen (MIRA, 2006)

Sector	1990	2003 (% tov 1990)	2004 (% tov 1990)	2005* (% tov 1990)	Vershil 2005/1990
Energie	100	103,3	106,1	110,8	10,8%
Industrie	100	91,7	90,4	85,0	-15,0%
Gebouwen	100	127,4	124,5	120,2	20,2%
Transport	100	126,2	127,3	126,5	26,5%
Landbouw	100	86,1	84,7	84,9	-15,1%
Totaal	100	104,1	103,6	101,9	1,9%

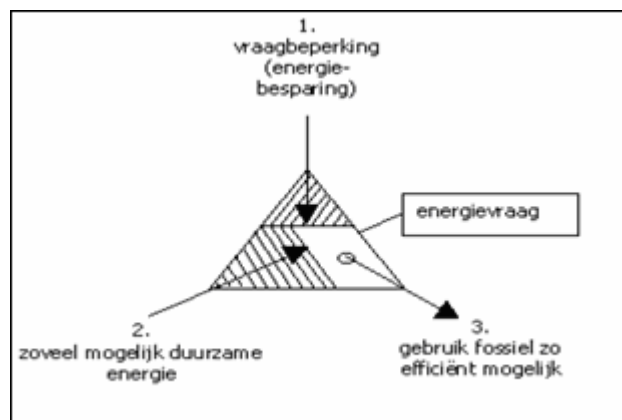
Er zal de komende jaren veel moeten veranderen als we de kwaliteit van onze huidige energievoorziening willen behouden. Bovendien is de voorraad van fossiele brandstoffen eindig. Dus terwijl de voorraad energiebronnen kleiner wordt, neemt de vraag naar energie toe. De wereldbevolking groeit aan en het energieverbruik per hoofd stijgt. Dit is een gevolg van de steeds kleiner wordende gezinnen. (VOKA, Steek WATT in je zak!, 2005)

De schadelijke impact op het milieu en de eindigheid van de voorraad fossiele brandstoffen zorgen ervoor dat men duurzamer met energie moet omgaan, zowel tijdens de opwekking als tijdens het verbruik. Twee pijlers van duurzame energie zijn rationeel energiegebruik en hernieuwbare energiebronnen. (Organisatie voor Duurzame Energie Vlaanderen, 2006) Deze worden ook samengebondeld in het REG decreet. Een andere mogelijkheid om onze bestaande energievoorziening te verzekeren is door middel van efficiënte energieopwekking.

1.3.1 REG decreet

Het REG decreet werd door de Vlaamse regering uitgevaardigd op 2 april 2004. Het decreet creëerde een algemeen kader voor het nemen van maatregelen om de CO₂ uitstoot te verminderen. Energiebesparing en het gebruik van hernieuwbare energiebronnen wordt hierdoor aangemoedigd. (Arbeid & Milieu, 2006)

Rationeel energiegebruik (REG) is het spaarzaam en efficiënt omgaan met energie. Hiervoor is er een beleid nodig dat enerzijds energiebesparingen aanmoedigt en anderzijds energiegebruik ontmoedigt. (Organisatie voor Duurzame Energie Vlaanderen, 2007) De Technische Universiteit (TU) Delft definieert REG aan de hand van de 'Trias Energetica'.



Figuur 1: Trias Energetica (Senternovem, 2007)

De 'Trias Energetica' bestaat uit drie stappen:

1. Energie (elektriciteit, gas, warmte) beperken door de vraag naar energie te beperken;
2. Energie die toch nodig is komt het best van duurzame energiebronnen;
3. Het resterende energiegebruik moet zo efficiënt mogelijk gehaald worden uit fossiele brandstoffen.

Een andere belangrijke maatregel is het gebruik van hernieuwbare energie stimuleren. Deze energie stoot direct bijna geen CO₂ uit. Indirect wordt er wel CO₂ uitgestoten, om de infrastructuur te installeren. Het zijn technologieën die warmte en elektriciteit kunnen produceren uit hernieuwbare bronnen. *"Een energiebron is hernieuwbaar als het verbruik van deze bron, het toekomstig verbruik ervan niet beperkt, bijvoorbeeld door uitputting van deze energiebron of door de schade die ze veroorzaakt aan het milieu en de maatschappij."* (FOD economie, 2006) Voorbeelden van deze energiebronnen zijn zon, wind, waterkracht, biomassa... De doelstelling voor Vlaanderen is tegen 2010 een aandeel van 6% elektriciteit te hebben afkomstig uit hernieuwbare energiebronnen. In 2006 bedroeg het aandeel groene stroom 2,68%. Ongeveer 2% hiervan is afkomstig van biobrandstoffen. (Studiedienst Vlaamse regering, 2006)

1.3.2 Efficiëntere energieomzetting

Door de rendementen te verhogen, kan men uit een bepaalde hoeveelheid brandstof meer elektriciteit winnen. Er moeten dus minder fossiele brandstoffen gebruikt worden en bijgevolg ook minder schadelijke gassen uitgestoten worden. Het rendement van de oudere turbines bedraagt maximaal 45%. Het rendement van de nieuwere STEG's, een soort combinatie van een stoom- en gasturbine, bedraagt 55%. Een STEG centrale maakt gebruik van aardgas. Van alle centrales op fossiele brandstoffen stoten deze centrales het minste CO₂ uit. Het nadeel van deze centrales is dat ze sterk afhankelijk zijn van de prijs voor aardgas. Op langere termijn, tegen 2025, zouden de STEG centrales rendementen moeten kunnen halen tot 65%.

Een andere mogelijkheid is om meer gebruik te maken van warmtekrachtkoppeling (WKK). Zoals we in hoofdstuk 3 zullen zien ligt het rendement van een WKK- centrale

meestal hoger als bij de klassieke en de STEG centrales. Natuurlijk is dit afhankelijk van de gekozen technologie. Maar algemeen gezien kan men dus via WKK een zelfde hoeveelheid elektriciteit produceren met een kleinere hoeveelheid fossiele brandstoffen. Er is dus bijgevolg ook minder CO₂ emissie en kan dus belangrijk zijn om de beoogde Kyoto-norm te halen.

Ook via kerncentrales kan men de hoeveelheid CO₂ uitstoot terug schroeven. De CO₂ uitstoot per geproduceerde kWh bij kernenergie is veel lager dan bij fossiele brandstoffen. Een belangrijk probleem van kernenergie is de productie van radioactief afval, dat moeilijk op te slaan is. Bovendien zijn de meningen over nucleaire energie enorm verdeeld. Velen vrezen ook een ramp zoals wat er in de kerncentrale van Tsjernobyl gebeurde in 1986. Toch ijveren sommigen ervoor om de wet op de kernuitstap te herzien. Momenteel moeten de eerste kerncentrales in België sluiten vanaf 2015.

1.4 Praktijkprobleem en centrale onderzoeksvraag

De stijging in het energieverbruik, de nucleaire uitstap, en de liberalisering van de energiemarkt zijn belemmeringen voor een daling van de CO₂ uitstoot. Het heeft er voor gezorgd dat er actie moet worden ondernomen. Daardoor heeft men dus het Kyoto-protocol opgesteld dat de vermindering van broeikasgassen regelt. Mogelijke oplossingen om aan de Kyoto-doelstellingen te voldoen zijn rationeel energieverbruik, de bevordering van hernieuwbare energieën zoals wind-, zonne-energie, biogas... en het opvoeren van rendementen van bestaande centrales. De oplossing die ik wil bekijken is de technologie van de warmtekrachtkoppeling.

Warmtekrachtkoppeling is een techniek om efficiënter met energie om te gaan. Bovendien is het ook een manier om het leefmilieu te beschermen. WKK is de gezamenlijke productie van warmte en elektriciteit. De EU 15 doelstelling is om van 9,6% aandeel elektriciteit in 2000 naar 18% in 2010 te gaan.

De centrale onderzoeksvraag wordt als volgt geformuleerd: **“In hoeverre kan warmtekrachtkoppeling (WKK) in de tertiaire sector, met als voorbeeld het AZ Sint-Jozef Malle, bijdragen tot het behalen van de Kyoto-norm en het beperken van het energiegebruik?”**

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, moeten eerst volgende deelvragen beantwoord worden:

- Welke principes en eigenschappen gaan er schuil achter warmtekrachtkoppeling?
- Hoe is de situatie in Vlaanderen?
- Welke technieken bestaan er voor WKK?
- Zijn er technologieën die in de toekomst kunnen doorbreken?
- Wat is het principe van trigeneratie?
- Welke kosten moet men in rekening brengen bij een WKK?
- Hoe kan je de kosten doorrekenen?
- Wat zijn redenen om WKK aan te moedigen?
- Hoe dragen de WKK- certificaten bij tot het gebruik van warmtekrachtkoppeling?
- Hoe gaan we de Kyoto-norm halen?
- Hoe ziet het traject van een haalbaarheidsstudie eruit?

Deze deelaspecten worden beantwoord in deze eindverhandeling. Eerst worden enkele algemene begrippen besproken, om de nodige achtergrondkennis op te bouwen. Vervolgens wordt er een overzicht gegeven van de aanwezige technieken van WKK. Er wordt verder ook ingegaan op de kosten en het certificatenstelsel die warmtekrachtkoppeling met zich meebrengt. Tot slot wordt er nog een haalbaarheidsstudie uitgewerkt voor het Algemeen Ziekenhuis Sint-Jozef te Malle, wat als voorbeeld kan dienen voor het traject van een haalbaarheidsstudie.

HOOFDSTUK 2: HET PRINCIPE VAN WARMTEKRACHTKOPPELING

2.1 Thermodynamische principes warmtekrachtkoppeling

Om duidelijk te maken waarom warmtekrachtkoppeling voordelig kan zijn, moet men eerst even teruggrijpen naar de fundamenteën waarop het begrip energie gebaseerd is en naar de hoofdwetten van de thermodynamica en dan in het bijzonder naar de eerste en tweede hoofdwet. (Giancoli, 2005)

2.1.1 Energie

Energie wordt gebruikt om arbeid te verrichten. Meestal drukt men de energie uit met behulp van de verbruikseenheid kilowattuur (kWh) of één van zijn veelvoud, met 1 kWh = 3 600 J. We bespreken hieronder de kinetische en potentiële energie, wat beide vormen zijn van mechanische energie.

2.1.1.1 Kinetische energie

Een voorwerp in beweging kan arbeid leveren. Het bevat dus energie. De energie van bewegende deeltjes noemt kinetische energie. Voor de kinetische energie van een object gelden de wetten van Newton:

$$E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

met m de massa en v is de snelheid. Newton had de relatie tussen de grootheden massa en energie al in 1682 ontdekt. Hij was hiermee ook de grondlegger van de klassieke mechanica of de newtoniaanse mechanica.

In 1905 ontdekte Einstein een nieuw verband tussen massa en energie. Einstein bewees dat de kinetische energie zoals Newton die ontdekt had, niet geldig was bij een hoge snelheid.

$$\begin{aligned} E_{tot} &= mc^2 \\ &= \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \times c^2 \\ &= m_0 c^2 \left(1 + \frac{v^2}{2c^2} + \binom{-1/2}{2} \frac{v^4}{c^4} + \dots \right) \\ &= m_0 c^2 + m_0 \frac{v^2}{2} + \dots \\ E_{tot} &\cong m_0 c^2 + m_0 \frac{v^2}{2} \quad (\text{als } v \ll c) \\ &= E_{rust} + E_k \end{aligned}$$

De formule die hierboven afgeleid wordt, toont aan dat totale energie bestaat uit twee termen: enerzijds een restenergie en anderzijds de kinetische energie. Dus zelfs al is een voorwerp in rust, dan zal het voorwerp toch nog een energie bevatten. In dit geval geldt ook de alom bekende wet van Einstein: $E=mc^2$. (Giancoli, 2005)

Kinetische energie kan zowel macroscopisch als microscopisch voorkomen. Met macroscopisch voorkomen wordt de globale beweging van een voorwerp mee bedoeld.

$$E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

Microscopisch is gericht op de warmte van een voorwerp. De deeltjes in het voorwerp worden door wrijvingskrachten, opgewekt door bewegende deeltjes, omgezet in warmte.

$$Q = \sum \frac{1}{2} m_{0i} v_i^2$$

2.1.1.2 Potentiële energie

Potentiële energie is opgeslagen energie die nog niet is omgezet in een andere vorm van energie. Door een welbepaalde positie van een voorwerp ten opzichte van zijn omgeving in te nemen, krijgt men potentiële energie. Deze energie kan gehaald worden uit de gravitatiekracht, de elektrische of kernenergetische eigenschappen van de materie. Er bestaat geen éénduidige formule voor want de potentiële energie is afhankelijk van de kracht die er op uitgevoerd wordt.

Gravitatie potentiële energie is afhankelijk van de verticale hoogte van een object ten opzichte van zijn referentieniveau en is te wijten aan de gravitatie van de aarde. In formulevorm:

$$E_p = mgh$$

met m de massa van een voorwerp, h de hoogte en g de gravitatieversnelling, namelijk 9.81 m/s^2 op aarde. Vooral het verschil in potentiële energie is van belang om arbeid te leveren. (Giancoli, 2005)

Een andere vorm van potentiële energie is de elektrische potentiële energie. Hier kan men zowel elektrostatische als elektrodynamische energie onderscheiden. Bij elektrostatische energie wordt er arbeid verricht om twee elkaar afstotende ladingen op dezelfde afstand te houden. Er vloeit wel geen stroom. Een voorbeeld hiervan is chemische energie. Bij elektrodynamische energie daarentegen vloeit er wel stroom. Als voorbeeld kunnen we elektromagnetische straling stellen.

Tenslotte is er ook nog kernenergie. Het is in feite niets anders als potentiële energie die zit in de structuur van de atoomkernen.

2.1.2 Eerst en tweede hoofdwet van de thermodynamica

- 1^e hoofdwet van de thermodynamica
De wet van behoud van energie: in een geïsoleerd systeem is de energie constant. Er gaat geen energie verloren en er wordt ook geen energie gecreëerd. Energie kan wel omgezet worden van de ene naar een andere vorm: van potentiële naar kinetische energie en omgekeerd.
- 2^e hoofdwet van de thermodynamica
De wet van de toenemende entropie (wanorde): de entropie van een geïsoleerd systeem dat niet in evenwicht is, zal altijd stijgen. Maximale wanorde wordt bereikt als alles op dezelfde temperatuur is. Warmte kan spontaan van een voorwerp met hogere temperatuur naar een voorwerp met lagere temperatuur stromen. Omgekeerd geldt dit niet. De kwaliteit van energie in een gesloten systeem zal dus voortdurend dalen.

2.1.3 Isentropische processen

De wanorde in een gesloten systeem zal volgens de tweede wet van de thermodynamica steeds toenemen. Het gevolg is dat elk proces in een gesloten systeem onomkeerbaar is. Een vorige toestand kan nooit een tweede maal voorkomen. Men kan wel proberen om de toename van de wanorde zo laag mogelijk of zelfs constant te houden. Een proces waarbij de entropie constant blijft noemt men een isentropisch proces. In principe is zo een proces dus ook omkeerbaar. Maar in de praktijk is dit niet haalbaar.

Een voorbeeld kunnen we nemen om het wat duidelijker te maken: $(1 - T_0 / T) = 60\%$. 100 J warmte wordt via een centrale omgezet in maximum 60 J elektrische energie. Wanneer we deze 60 J nu als input gaan gebruiken voor een warmtepomp, gaat er maximaal 100 J warmte gevormd. Deze maximale waarden kunnen enkel maar bekomen worden bij een isentropisch proces.

2.1.4 Exergie en anergie

Warmte en elektriciteit zijn allebei vormen van energie. Toch zijn ze niet gelijkwaardig. Ze hebben een verschillende omzettingsgraad van energie. Exergie (E_x) is het gedeelte energie dat volledig omzetbaar is in een andere energievorm. Anders geformuleerd: de exergie van een energiedrager is de maximale hoeveelheid geordende energie die uit een hoeveelheid energie kan worden gehaald. Elektriciteit is volledig omzetbaar in andere energievormen. Het bestaat volledig uit exergie. Een warmtestroom Q daarentegen kan worden opgesplitst in een deel exergie en een deel anergie: $Q = E_x + E_A$.

De exergie van de warmte Q is:

$$E_x = (1 - T_0 / T) * Q$$

met T : de absolute temperatuur (in K) van de warmte Q

T_0 : de temperatuur (in K) tot welke men een deel van Q kan afkoelen

Bij een temperatuur T_0 is de exergie van de warmte Q gelijk aan nul. Warmte van een hogere temperatuur is waardevoller dan warmte op een lagere temperatuur. Met hoogwaardige warmte kan je dus meer arbeid verrichten dan met laagwaardige warmte.

Anergie is het gedeelte dat niet meer omzetbaar is in andere vormen. De anergie van Q is:

$$E_A = Q - E_X = (T_0 / T) * Q$$

Dat gedeelte gaat dus verloren. Hier moet dus minder belang aan gehecht worden dan aan exergie. De som van exergie en anergie blijft bij omzettingen steeds constant. Dat komt overeen met de eerste hoofdwet van de thermodynamica. Exergie kan steeds omgevormd worden in anergie, het omgekeerde is nooit mogelijk. Dat is gelijk aan de tweede hoofdwet. (COGEN Vlaanderen, 2004; Senternovem, 2007)

2.1.5 Energetisch en exergetisch rendement

Het energetisch rendement geeft weer in hoeverre de energie-inhoud van de aangewende bron

nuttig kan worden gebruikt. Het energetisch rendement in formulevorm is:

$$\eta_{en} = \frac{\text{hoeveelheid energie die nuttig gebruikt wordt}}{\text{hoeveelheid energie bij de invoer}}$$

In tegenstelling tot het energetisch rendement houdt het exergetisch rendement rekening met de kwaliteit van de energie. In economische zin is het vaak beter het exergetische rendement te gebruiken. Het geeft dus ook het kwaliteitsniveau van de energie weer:

$$\eta_{ex} = \frac{\sum (\text{kwaliteitsfactor} \times \text{energie}) \text{ voor nuttig gebruik}}{\sum (\text{kwaliteitsfactor} \times \text{energie}) \text{ bij de invoer}}$$

Een andere voorstelling van het exergetisch rendement is de volgende:

$$\eta_{ex} = \frac{\text{energie die het proces levert}}{\text{maximale energie die het proces kan leveren}}$$

Twee kleine voorbeelden zullen de betekenis van het exergetisch rendement verduidelijken:

1. Elektriciteit E uit warmte Q (T bij T₀)

$$E_{\max} = \frac{T - T_0}{T} Q; \eta_{ex} = \frac{E}{E_{\max}}$$

Q=100 J → E_{max}= 70 J en E= 50 J bijvoorbeeld

=> het energetisch rendement, η_{en} , bedraagt 50%, en $\eta_{ex} = \frac{50}{70} \cong 70\%$

2. Warmtepomp

E=100 J → E_{max}= 500 J en E= 200 J bijvoorbeeld

=> het energetisch rendement, η_{en} , bedraagt 200%, en $\eta_{ex} = \frac{200}{500} \cong 40\%$

Er gaat dus veel meer energie verloren bij de productie van warmte dan bij de productie van elektriciteit.

Het exergetisch rendement voor een WKK- installatie ziet er uit als volgt:

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

met α_E en α_Q respectievelijk het elektrisch en het thermisch rendement van de WKK- installatie en T₀ is de omgevingstemperatuur. (AMPERE, 2000; Senternovem, 2007)

2.2 Warmtekrachtkoppeling

De definitie luidt: "Warmtekrachtkoppeling is de gecombineerde productie van elektrische (of mechanische) en nuttige thermische energie, uitgaande van dezelfde primaire energiebron." (COGEN Vlaanderen, 2006: 9) Onder primaire energie verstaat men die energie die niet is ontstaan door omzetting van een andere vorm van energie.



Figuur 2: Schematische definitie van warmtekrachtkoppeling

De productie van warmte staat voorop, elektriciteit is het bijproduct. Zo zal er dus een specifieke warmtevraag moeten zijn van een bedrijf, een ziekenhuis, een zwembad... Dit is laagwaardige warmte, warmte op een niet al te hoge temperatuur. De hoogwaardige warmte (1200 °C) die vrijkomt bij de verbranding van de primaire brandstof wordt dan eerst gebruikt om mechanische energie te produceren. Via een generator wordt deze omgezet in elektriciteit. De resterende laagwaardige warmte wordt dan benut om te voldoen aan de specifieke warmtevraag. (COGEN Vlaanderen, 2004)

WKK is dus een slimme manier om warmte te produceren. Het heeft ook enkel maar zin als men de geproduceerde warmte nuttig gebruikt. Daarom wordt een WKK-installatie op de warmtevraag gedimensioneerd en in de nabijheid van de warmteverbruiker geplaatst. De elektriciteitsopwekking hierbij gebruikt men om de warmte op de gewenste temperatuur te brengen en daardoor is er minder exergieverlies en een rationeler energiegebruik. Het totale exergetische rendement bij omzetting van brandstof in warmte en elektriciteit ligt rond 85%. (AMPERE, 2000; COGEN Vlaanderen, 2006)

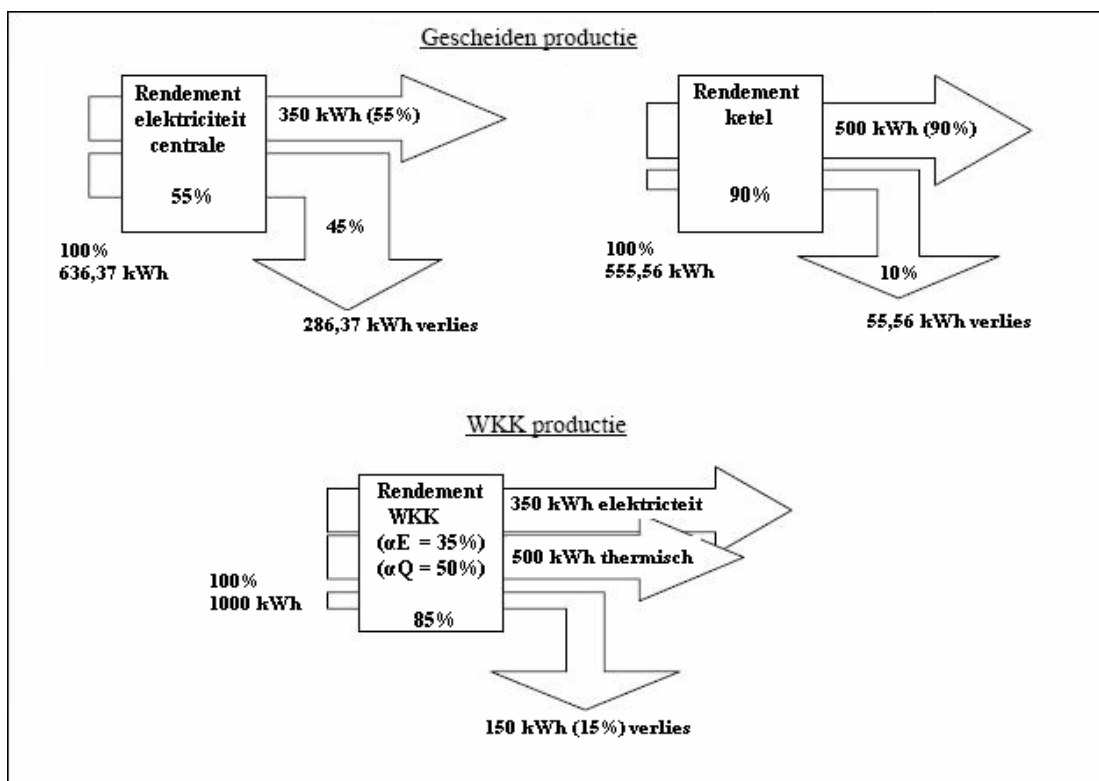
2.3 Troeven van warmtekracht

Warmtekrachtkoppeling kan voordelen hebben ten opzichte van de gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit. WKK zou een ideale combinatie kunnen vormen van de drie E's: energie, ecologie en economie. (Belcogen, 2002; COGEN Vlaanderen, 2004)

2.3.1 Energie

Het grote voordeel van warmtekrachtkoppeling is de efficiëntere energiebenutting. Hierdoor is er bij cogeneratie minder brandstof nodig dan bij een gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit. Dit wordt hierna ook getoond aan de hand van een cijfervoorbeeld, dat schematisch wordt weergegeven in figuur 2. Aangezien bij WKK de brandstof efficiënter benut kan worden, zal er minder primaire energie nodig zijn om een zelfde hoeveelheid elektriciteit en warmte te produceren.

Bij een gescheiden productie van warmte en elektriciteit, wordt de warmte lokaal opgewekt door ketels. Deze ketels hebben meestal een thermisch rendement van 90%. De benodigde elektriciteit wordt aangekocht bij een elektriciteitsmaatschappij, die de elektriciteit in een centrale produceert en vervolgens naar de klant transporteert. Het rendement van de elektriciteitscentrale is afhankelijk van het type centrale en de verliezen die optreden tijdens het transport. In dit voorbeeld gaan we uit van een centrale met een rendement van 55%. Dat komt overeen met een hoogrendement STEG-centrale.



Figuur 3: Cijfervoorbeeld van de energiebesparing door middel van warmtekrachtkoppeling

Stel nu dat we een vermogen aan primaire brandstof hebben van 1000 kWh. Het elektrisch rendement van onze WKK- installatie, α_E , is gelijk aan 35% en het thermisch rendement, α_Q , is 50%. Uit de 1000 kWh primaire brandstof halen we dan 350 kWh elektrische en 500 kWh thermische vermogen. Dat geeft dan een totaal aan nuttige energie van $350 \text{ kWh} + 500 \text{ kWh} = 850 \text{ kWh}$ of een rendement van 85%. Het verlies bedraagt hier 150 kWh.

Wanneer we dezelfde energievraag van 850 kWh willen verkrijgen via de gescheiden productie, komen we tot de volgende resultaten. Het rendement van de elektriciteitscentrale bedraagt slechts 55%, dus hebben we voor een elektrisch vermogen van 350 kWh al een primaire brandstof nodig van 636,37 kWh. Voor de warmte opwekking van 500 kWh via een klassieke ketel met 90% rendement, hebben we behoefte aan een hoeveelheid primaire brandstof van 555,56 kWh. Dat geeft in totaal een vraag naar primaire brandstof van 1191,93 kWh.

Het gebruik van WKK levert ten opzichte van de gescheiden opwekking een primaire energiebesparing op van 191,93 kWh. De procentuele energiewinst die hieruit behaald wordt is dan: $191,93/1191,93 = 16\%$. De verminderde verliezen die optreden bij WKK-productie kunnen we ook procentueel uitdrukken. Het verlies bij gescheiden productie bedroeg 351,93 kWh, terwijl dit bij het geval van WKK maar 150 kWh bedroeg. Dit is procentueel een vermindering van 59% van de verliezen. Dit is wel een ideaal geval, waarbij de WKK op elk moment precies de behoefte aan elektriciteit en warmte kan dekken. In de praktijk kan het mogelijk zijn dat men extra elektriciteit moet produceren via de klassieke wijze. Dat doet de energiebesparing wat dalen.

Dit is erg interessant omdat de reserves aan fossiele brandstoffen eindig is. De meeste WKK's werken op fossiele brandstoffen, maar het is ook mogelijk om hernieuwbare energiebronnen, zoals biomassa of biogas, als brandstof te gebruiken. Dergelijke techniek levert een dubbel voordeel: er wordt een milieuvriendelijk brandstof gebruikt en deze wordt optimaal benut.

2.3.2 Ecologie

Minder brandstofverbruik betekent ook minder CO₂ uitstoot en minder uitstoot van andere schadelijke stoffen (roet, NO_x, SO₂, CO...). Denkend aan de Kyoto-norm kan het van belang zijn om WKK- installaties te promoten. Daarnaast is er weinig behoefte aan koelwater want de warmte wordt hergebruikt. Dit sluit elke vorm van thermische pollutie uit. Dit is voor bedrijven ook een vermeden kost door CO₂ reductie. Op deze kosten komen we in hoofdstuk 6 nog terug.

2.3.3 Economie

Vanuit energetisch en ecologisch oogpunt is de toepassing van WKK interessant ten opzichte van gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit. Toch is de economische rendabiliteit van een WKK- installatie de doorslaggevende factor die leidt tot het al dan niet toepassen van WKK. Dit gebeurt vaak door een kosten-baten-analyse uit te voeren. In de verdere hoofdstukken zullen de kosten, de baten, de certificaten en de subsidies nog behandeld worden. Door een juiste toepassing van deze technologie kunnen industriële en commerciële gebruikers voordeel halen uit de kostenbesparingen.

Een ander gevolg van de toename van WKK- installaties zorgt er voor dat de elektriciteitsproductie opschuift van een sterk centrale productie naar een meer gedecentraliseerde productie. Dat veroorzaakt minder transportverliezen, en maakt een klant minder afhankelijk van één centrale. De beschikbaarheid van elektrische energie vergroot hierdoor. De gedecentraliseerde productie is tevens een reden voor het verkrijgen van subsidies, of een betaling van een hogere prijs per geleverde kWh door warmtekrachtkoppeling.

HOOFDSTUK 3: TECHNOLOGIEËN IVM WARMTEKRACHTKOPPELING

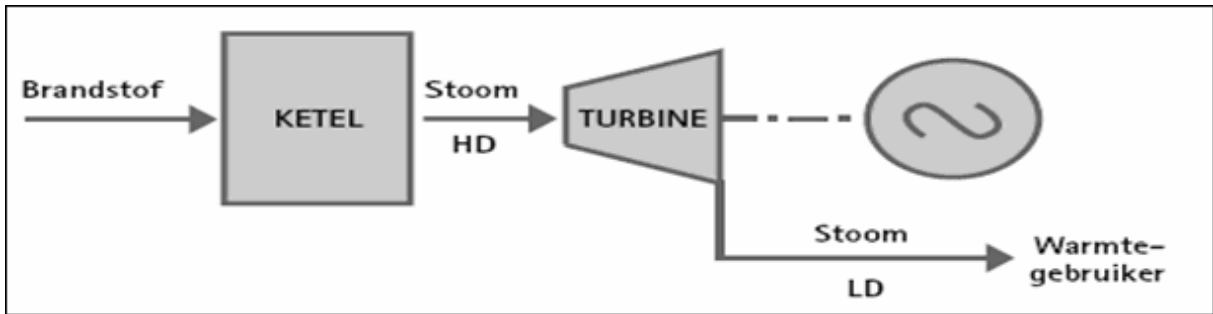
Warmtekrachtkoppeling kan zowel op kleine schaal als op grote schaal toegepast worden. Daarom zijn er verschillende technologieën. In de industrie zijn de meest gebruikte technologieën de stoom- en de gasturbine of een combinatie daarvan. Voor kleinschalige toepassingen, bijvoorbeeld in de tertiaire sector, wordt eerder de inwendige verbrandingsmotor, op gas of diesel, aangewend als technologie. Daarnaast bestaan er nieuwere technologieën of ze staan op de rand van de doorbraak: microturbine, stirlingmotor en de brandstofcel. Verder onderzoekt men ook de WKK met behulp van biobrandstoffen.

3.1 Warmtekrachtkoppeling met turbines

Turbines worden vooral gebruikt in grote WKK- installaties en bij een groot aantal draaiuren. Toch kunnen turbines ook toegepast worden voor middelgrote of zelfs kleine vermogens. Gasturbines hebben elektrische vermogens vanaf één MW. Bij turbines komt de warmte vrij onder de vorm van stoom. Stoomturbines halen hun stoom rechtstreeks uit de turbines. De stoom wordt opgewekt door de verbranding van verschillende brandstoffen. Gasturbines daarentegen gebruiken meestal aardgas en de stoom wordt via de uitlaatgassen geproduceerd. (Stroobandt, 2006)

3.1.1 Stoomturbine

Deze turbine is gebaseerd op Rankinecyclus. In figuur 4 zie je de werking ervan. In de ketel wordt stoom op een hoge druk geproduceerd door de verbranding van een brandstof. Vervolgens stuurt men de stoom door de turbine, waar hij expandeert en de turbine aandrijft. Via een generator wordt er zo elektriciteit opgewekt. Na de turbine wordt de stoom op lage druk gebruikt om aan de warmtevraag te voldoen ofwel treedt er condensatie op en brengt men dit terug naar de ketel, waar de cyclus dan kan herbeginnen. (COGEN Vlaanderen, 2004)



Figuur 4: Schema warmtekrachtkoppeling met stoomturbine (COGEN Vlaanderen, 2004)

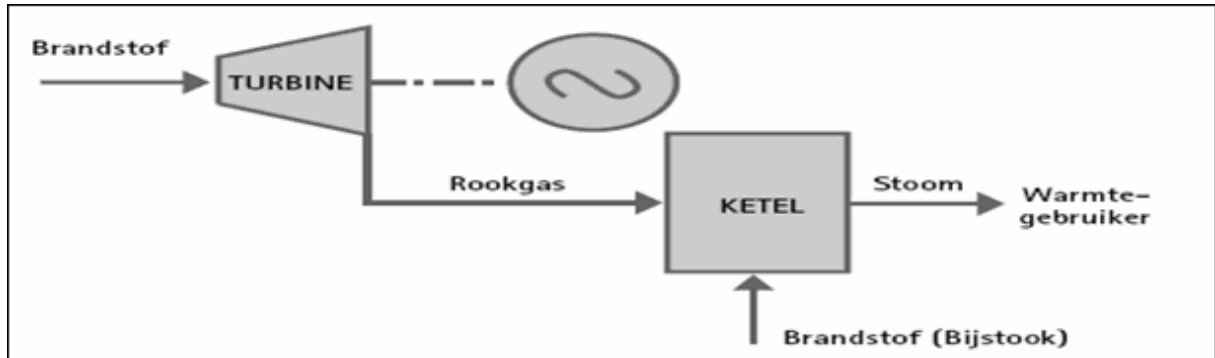
De twee voorkomende uitvoeringsvormen zijn tegendrukstoomturbine en condensatieturbine met stoomaftap. Bij een tegendrukstoomturbine gaat men alle stoom ontspannen tot een druk die hoger is als de atmosferische druk. De lagedruk stoom wordt dan gebruikt om te voldoen aan de warmtevraag. De condensatiestoomturbine gaat een deel stoom aftappen uit de turbine op de gewenste druk, om aan de warmtevraag te vervullen. De rest van de stoom wordt dan gecondenseerd en gebruikt voor elektriciteitsopwekking. (Mertens, 2005)

De verbranding gebeurt hier uitwendig. Het voordeel is dat nagenoeg elke brandstof gebruikt kan worden. Het nadeel is dat er verliezen optreden bij de warmteoverdracht. Het uitgaand vermogen zit tussen 0,5 MW en 100 MW, maar ook hogere vermogens zijn mogelijk. De nadruk ligt op de warmteproductie, dus deze turbine heeft een hoog thermisch rendement (70%) en een lager elektrisch rendement (15%). (Mertens, 2005; Trigemed, 2007)

3.1.2 Gasturbine

De gasturbine is gebouwd volgens de thermodynamische principes van de Braytoncyclus. Lucht wordt aangezogen en samengedrukt in een compressor. Vervolgens voegt men een brandstof toe aan de gecomprimeerde lucht en ontsteekt men dit mengsel. Dat gebeurt in een verbrandingskamer. De hete rookgassen op hoge druk die vrijkomen, worden in een turbine geleid. Hierdoor wordt arbeid geproduceerd en deze kan omgezet worden via een generator in elektriciteit. De rookgassen die de turbine verlaten hebben nog een aanzienlijke warmte-inhoud en worden daarom naar een recuperatieketel gestuurd. In die ketel benut men de warmte om stoom te produceren. Deze stoom is nodig om te voldoen aan de warmtevraag. Indien mogelijk kan men hier nog bij stoken om aan een

grotere warmtebehoefte te voldoen. In de ketel wordt dan nog een hoeveelheid brandstof verbrand, samen met de al in de rookgassen aanwezige zuurstof. (COGEN Vlaanderen, 2004)



Figuur 5: Schema warmtekrachtkoppeling met gasturbine (COGEN Vlaanderen, 2004)

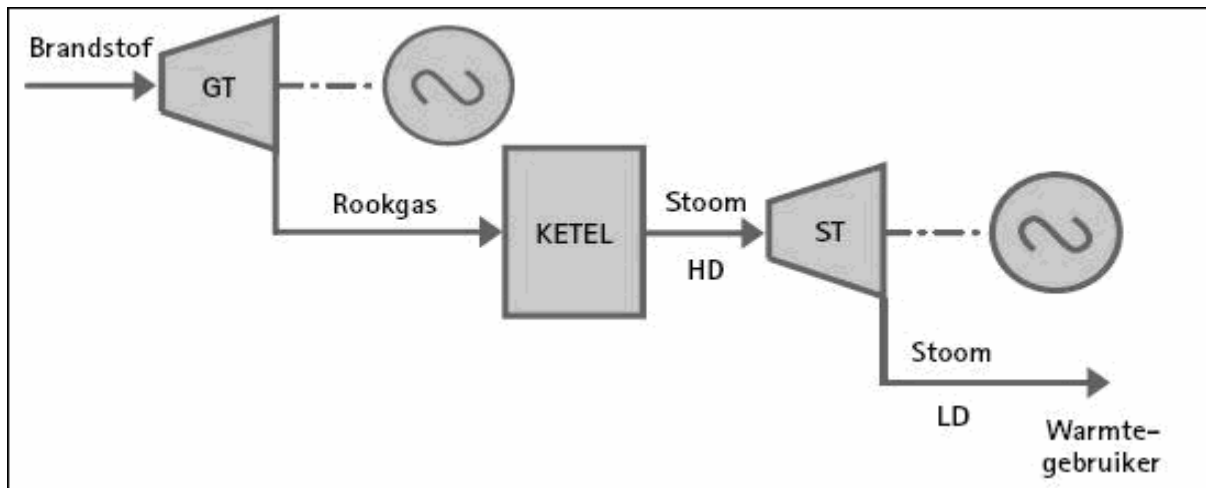
Gasturbines bestaan onder de vorm van twee types: de heavy duty en de aëroderivative gasturbine. De heavy duty is te vergelijken met de stoomturbine en wordt vooral voor industriële toepassingen gebruikt. Het is een grote en zware installatie met één as. Er treedt een langdurige onderbreking op bij een herstelling. De aëroderivative gasturbine is afkomstig uit de luchtvaart en kan men vergelijken met een vliegtuigmotor. Het is een lichte maar meer fragiele installatie. Deze aëroderivative kan sneller opstarten en sneller reageren op een veranderde belasting. De installatie heeft meerdere assen en daardoor zijn verschillende snelheden mogelijk. (Mertens, 2005)

Met de term gasturbine wordt niet enkel de turbine op zich bedoeld, maar wel het geheel compressor- verbrandingskamer- turbine. Een gasturbine is gevoeliger voor de soort brandstof omdat er hier een inwendige verbranding optreedt. De meest gebruikte brandstof is aardgas. Typische waarden voor het elektrisch rendement zijn 35 à 40%. De waarde voor het thermisch rendement schommelt in de range 40 - 50%. Het uitgaand vermogen komt ongeveer overeen met dit van een stoomturbine. (COGEN Vlaanderen, 2004)

3.1.3 Gecombineerde cyclus van stoom en gas (STEG)

Men kan ook kiezen voor een combinatie van een gas- en stoom turbine. De stoom wordt in een ketel opgewekt door de in de rookgassen aanwezige warmte. Deze stoom wordt

nu niet gebruikt om aan de warmtevraag te voldoen maar wel om een stoomturbine aan te drijven. Nu kan er via een generator extra elektriciteit geproduceerd worden. De warmtebehoefte kan men nu vervullen door tegendrukstoom of aftapstoom uit de stoomturbine. Het is in feite een aaneenschakeling van een gasturbine en een stoomturbine zoals figuur 6 illustreert. (COGEN Vlaanderen, 2004)



Figuur 6: Schema warmtekrachtkoppeling met gecombineerde cyclus (COGEN Vlaanderen, 2004)

Dit soort installatie behaalt een erg hoog elektrisch rendement, en bijgevolg een lager thermisch rendement. Ze zijn vergelijkbaar met de STEG's die gebruikt worden voor de elektriciteitsproductie.

3.2 Warmtekrachtkoppeling met motoren

Wanneer er een vraag naar warm water of een niet te grote vraag naar lagedruk stoom of te hete rookgassen is, maakt men eerder gebruik van zuigermotoren met inwendige verbranding. De warmte die uit een motor gerecupereerd wordt, staat op een veel lagere temperatuur. Dat gebeurt vaak in kleinere WKK-toepassingen. Er bestaan twee types: gasmotoren of ottomotoren en dieselmotoren. Beide motortypes hebben cilindervormige verbrandingskamers. Een zuiger die via een krukstang en een drijfstang verbonden is met een roterende as, beweegt heen en weer. De lineaire beweging van de zuiger kan zo omgezet worden in een roterende beweging. Via een generator kan er zo elektriciteit opgewekt worden. (Ecomagazine, 2006; COGEN Vlaanderen, 2004)

Er komt heel wat warmte vrij op diverse plaatsen en diverse temperaturen. Rookgassen en motorblokkoeling zijn de voornaamste warmtebronnen. Ook de oliekoeling en de intercooler, indien de motor voorzien is van een turbolading, zijn warmtebronnen. Doordat er verschillende temperaturniveaus zijn, is het niet simpel om de warmte nuttig aan te wenden. Bovendien komt de warmte voor onder de vorm van warm water, omdat het relatief lage temperaturen betreft. Ook stoomproductie bij motoren is mogelijk, maar dit gaat gepaard met een daling van de totale brandstofbenutting. (COGEN Vlaanderen, 2004)

Het vermogen van motoren schommelt tussen enkele kilowatt en 10 MW. Het elektrisch rendement is ten eerste afhankelijk van het type motor. Dieselmotoren halen een hoger elektrisch rendement als gasmotoren. Ten tweede wordt dit rendement bepaald door de vermogensgrootte van de motor. Grotere motoren hebben grotere doorsnede cilinders en dus ook een groter rendement. Elektrische rendementen van 30% - 42% zijn typisch voor motoren. (COGEN Vlaanderen, 2004)

Het thermisch rendement van een motor is moeilijker te bepalen en kan sterk verschillen. De waarde ervan is afhankelijk van de temperatuur van de gewenste warmte en van de retourwatertemperatuur. Deze bepalen welke warmtebronnen gebruikt moeten worden en hun volgorde. Over het algemeen zijn thermische rendementen van 40 tot 50% haalbaar. Zo komt de totale brandstofbenutting in de buurt van 85% te liggen. (COGEN Vlaanderen, 2004)

Inwendige verbrandingsmotoren hebben als grote voordeel dat het een zeer gekende technologie is. Daardoor bestaan er verschillende uitvoeringen van verschillende fabrikanten. Hierdoor kan men een motor vinden die bij de behoeften van een bedrijf past. Motoren zijn ook relatief goedkoop en hebben een levensduur tot 100 000 draaiuren. (COGEN Vlaanderen, 2004)

Een belangrijk nadeel is de dynamiek van vele onderdelen die aanwezig zijn (kleppen, zuigers,...). Dit leidt tot vrij veel lawaai en veel onderhoud. Ondanks het snel opstarten en elektrisch reageren, reageren motoren thermisch traag. Daarom worden ze vaak enkel gebruikt om aan de basisbehoefte van warmte te voldoen. Ketels zorgen dan voor de pieken in de warmtevraag. (COGEN Vlaanderen, 2004)

3.2.1 Gasmotoren (Ottomotoren)

Gasmotoren werken volgens de thermodynamische Ottocyclus. Men spreekt ook wel eens over een viertaktmotor. De cyclus telt namelijk vier slagen: inlaatslag, compressieslag, expansieslag door verbranding en uitlaatslag. Een mengsel van brandstof en lucht wordt aangezogen in de compressor en samengeperst. Door een externe opgewekte vonk vindt er een ontsteking plaats aan het einde van de compressie. De druk in de cilinder stijgt door de voortschrijdende verbranding en de zuiger wordt achteruitgedreven. Tijdens dit gedeelte levert de motor arbeid. Ten slotte worden de rookgassen uitgedreven. (COGEN Vlaanderen, 2004)

Gasmotoren zijn verkrijgbaar in een vermogensrange van enkele kilowatt tot ongeveer 10 MW. Bovendien hebben ze een elektrisch rendement van 30 tot 40%. De juiste hoeveelheid lucht in het mengsel is belangrijk. Te veel lucht, een arm mengsel, zou nochtans positief zijn voor het rendement. Daarom probeert men met een armer mengsel te werken eens de verbranding op gang is. (COGEN Vlaanderen, 2004)

3.2.2 Dieselmotoren

De dieselmotoren werken ook volgens vier slagen in een cyclus. In tegenstelling tot bij de gasmotor wordt er enkel lucht samengedrukt in de cilinder. Dat gebeurt tot een temperatuur bereikt is die hoger is dan de ontstekingstemperatuur van de brandstof. Op dat moment spuit men de brandstof in en deze ontsteekt. Hierdoor treedt er een drukstijging op en er wordt arbeid geleverd door de zuiger. De arbeid wordt eerst in een roterende beweging gezet en daarna in elektriciteit omgezet. De laatste fase is ook hier de uitdrijving van de rookgassen. (COGEN Vlaanderen, 2004)

Dieselmotoren richten zich meer op grotere vermogens, in een range van 100 kW tot enkele tientallen MW. In de praktijk is het vermogen vaak niet groter dan 4 MW. Indien men grotere vermogens nodig heeft, kiest men voor een aantal motoren in parallel. Een hoger elektrisch rendement wordt behaald bij dieselmotoren. Het thermische rendement ligt hier wel lager als bij gasmotoren. Bij de warmterecuperatie mag men de rookgassen immers niet te diep afkoelen, omwille van het zwavelgehalte van diesel. Een minimale temperatuur van 180° C moet gerespecteerd worden. Bij een temperatuur van 173° C

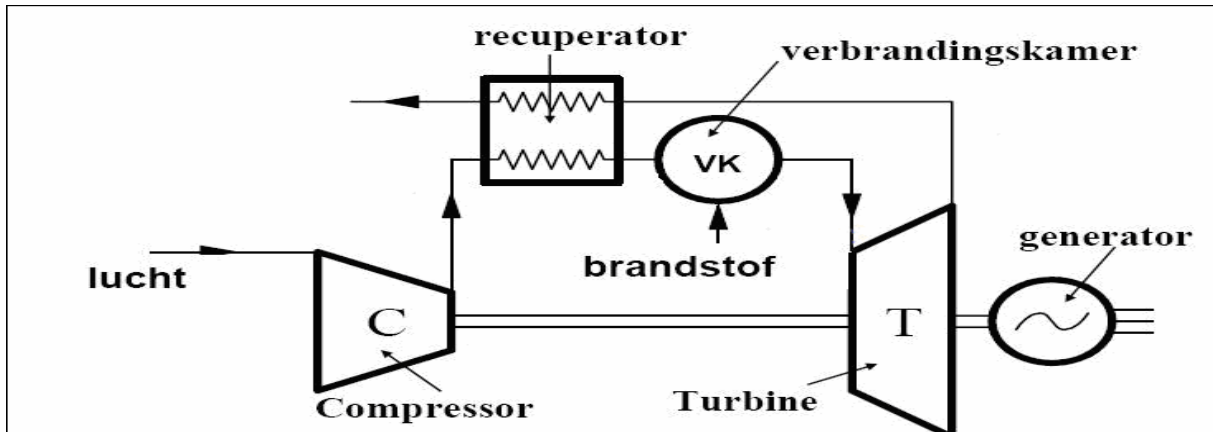
wordt er immers zwavelzuur gevormd en dit leidt tot corrosieproblemen. (COGEN Vlaanderen, 2004)

3.3 Nieuwe technologieën voor warmtekrachtkoppeling

3.3.1 Microturbines

Zoals de naam al doet vermoeden, zijn microturbines niet erg verschillend van de klassieke, grote gasturbines. De vermogensgroottes liggen natuurlijk wel wat lager: de microturbine is beschikbaar voor elektrische vermogens gaande van 25 tot 250 kW. Maar de werking is dezelfde en dus ook gebaseerd op de Braytoncyclus. Lucht wordt aangezogen en gecomprimeerd in een compressor. Zowel de druk als de temperatuur van de lucht stijgt. In een verbrandingskamer wordt dit luchtmengsel in contact gebracht met een brandstof en vervolgens ontstoken. De hete rookgassen die vrijkomen onder hoge druk expanderen over de turbine. Zo kan de turbine mechanische energie leveren, die enerzijds nodig is voor de aandrijving van de compressor en anderzijds voor de productie van elektriciteit via de generator. De rookgassen die de turbine verlaten, hebben nog een aanzienlijke temperatuur en warmte-inhoud. Daarom stuurt men deze naar een warmtewisselaar, waar de warmte benut wordt voor proces- of verwarmingsdoeleinden. (COGEN Vlaanderen, 2004; VITO, 2004)

Figuur 7 geeft een microturbine in schemavorm weer. Op deze figuur kan je zien dat het grote verschil met een gasturbine, de aanwezigheid van een recuperatie-element is. Een deel van de hete rookgassen kan men gebruiken om de gecomprimeerde lucht net voor de verbrandingskamer al voor te verwarmen. Men recupereert dus warmte uit de rookgassen en dit is ongeveer te vergelijken met het proces in moderne STEG-centrales, waar de rookgaswarmte uit een gasturbine gebruikt wordt om stoom te maken voor extra vermogen in een stoomturbine. Bijgevolg is er minder brandstof nodig om de rookgassen op hun temperatuur te brengen om in de turbine te leiden. Dat is erg belangrijk om een hoger elektrisch rendement te halen. Het elektrisch rendement zonder recuperatie-element bedraagt ongeveer 15% terwijl dit met recuperatie-element stijgt tot 25 à 30%. Dat komt ongeveer in de buurt van de grotere gasturbines. (Vito, 2004; energieprojecten, 2007)



Figuur 7: Schema microturbine (VITO, 2004)

Wanneer we de microturbine vergelijken met zijn concurrent op het gebied van de kleinere vermogens, de inwendige verbrandingsmotor, zien we dat de microturbine toch een aantal interessante voordelen biedt.

Een eerste voordeel zijn de lagere emissies. Een microturbine werkt volgens een continu verbrandingsproces. Bovendien zijn de wanden van de verbrandingskamer continu heet en dat zorgt voor een zeer goede verbranding. Door de verbrandingskamer dus zo te ontwerpen, kan een zeer schone en volledige verbranding worden bereikt. Daardoor is de emissie van verbrandingsproducten als NO, NO₂ en CO en van onverbrande brandstofdeeltjes minimaal. In een klassieke inwendige motor gebeurt dat verbrandingsproces discontinu en dat is moeilijker te controleren, met hogere emissies als gevolg.

Een tweede voordeel is de brandstoffenflexibiliteit. Door de veel grotere luchtvermaat die aanwezig is bij de microturbinen, hebben ze meer spelingruimte voor het toepassen van verschillende brandstoffen. Dus ook brandstoffen met een lagere of niet constante energie-inhoud kunnen worden verbrand. Gassen met een methaangehalte vanaf 30% kunnen al verbrand worden. Een gasmotor heeft een brandstof nodig die een methaangehalte heeft van minstens 50%. Microturbinen bieden dus perspectieven voor stortgaswinning uit stortplaatsen en andere biogastoepassingen.

Nog een voordeel is de investeringskost van de microturbine. Momenteel zijn de prijzen van microturbinen en inwendige motoren nog ongeveer gelijk. Gemiddeld genomen bedraagt deze kostprijs 1300 EUR/kW. Maar hoe hoger het vermogen van de

microturbine, hoe lager de prijs per kW vermogen. Ze worden door een aantal fabrikanten aangeboden, zij het nog in beperkte aantallen. Verwacht wordt wel dat door massaproductie de prijs per kW vermogen nog gaat dalen. Deze dalende trend is ondertussen al ingezet. (VITO, 2004)

Het geluid en het onderhoud van de microturbine is een vierde voordeel. Een microturbine bevat weinig bewegende onderdelen maar eerder statische. Hierdoor treden er weinig trillingen op wat er voor zorgt dat het lawaai beheersbaar is. Bovendien is er slechts om de 8760 draaiuren, jaarlijks, een servicebeurt nodig voor een microturbine op aardgas. Dat is ook het gevolg van de weinig bewegende onderdelen. Een motor daarentegen heeft elke 1000 à 1500 draaiuren al een servicebeurt nodig. Overigens kunnen sommige microturbines volledig olievrij werken. In dat geval gebruikt men luchtlagering.

Wat warmtevrijstelling voor WKK- toepassingen betreft biedt de microturbine ook een voordeel ten opzichte van de verbrandingsmotor. Alle warmte bij een microturbine komt vrij via rookgassen. Er is dus ook maar één warmtewisselaar nodig om de warmte terug te winnen en dat is eenvoudiger om de warmte te benutten. De maximale temperatuur bedraagt in dat geval 250°C. Wanneer het recuperatie-element wordt weggelaten in de microturbine bedraagt de temperatuur 650°C. Stoomproductie is in dat geval wel mogelijk maar het elektrisch rendement is dan lager. Bij een gasmotor komt de warmte vrij op verschillende plaatsen en op verschillende temperatuurniveaus. Dit maakt het complexer om de warmte goed te benutten. De benutting is immers afhankelijk van de benodigde temperatuur. Motoren zijn slechts in staat om water tot een temperatuur van 90 à 110°C op te warmen.

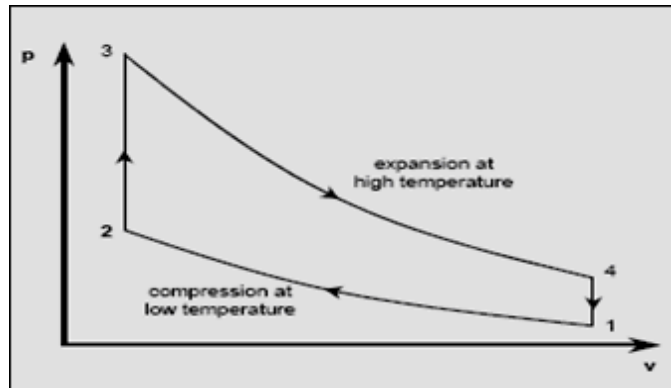
Jammer genoeg is er ook een nadeel aan deze techniek. Het elektrisch rendement bedraagt ongeveer 25 à 30% en dat is lager dan bij een diesel- of gasmotor van hetzelfde vermogen. Ook het totaal rendement ligt lager: 72 à 78% voor een gerecupereerde microturbine, terwijl een kleine gasmotor gemakkelijk een rendement boven de 80% behaalt. Dit is zeker het geval indien een gascompressor de brandstof eerst nog moet comprimeren vooraleer deze in de verbrandingskamer wordt gebracht. In het begin waren er ook nog heel wat kinderziektes aan de microturbines, maar ondertussen zijn deze al wel grotendeels opgelost. (Vito, 2004; energieprojecten, 2007; COGEN Vlaanderen, 2004; Belcogen, 2004)

3.3.2 Stirlingmotoren

Een andere technologie om WKK toe te passen is de stirlingmotor. Deze technologie staat nog wel niet helemaal op punt. Hij wordt dus ook nog niet veel toegepast, maar er zit wel toekomst in vanwege een aantal voordelen. Men zou een hoger rendement kunnen behalen, er is een flexibiliteit wat brandstof betreft, een lage emissie, weinig trillingen en beperkte lawaaihinder.

De stirlingmotor bestaat uit een warm en een koud deel. Dat deel wordt continu verwarmd respectievelijk continu gekoeld. In de motor zelf zit het arbeidsfluidum, lucht of een edelgas zoals helium, opgesloten. De werking steunt verder op het thermodynamisch gegeven dat een gas bij verhitting uitzet en bij afkoeling krimpt. Vaak wordt in een stirlingmotor ook een regenerator gebruikt. Deze regenerator slaat de warmte tijdelijk op en zorgt dus voor een zuinigere motor. (Wikipedia, 2007)

In het druk-volumediagram (figuur 8) zie je dat de cyclus bestaat uit twee isochoren en twee isothermen. De overgang 1→2 stelt een isotherme compressie op lage temperatuur voor. Er wordt warmte onttrokken uit de motor. De temperatuur wordt hier constant gehouden door uitwendige koeling. Voor de compressie is uiteraard ook arbeid nodig. Overgang 2→3 is een isochoor proces. Het gecomprimeerde gas gaat door de regenerator en het gas wordt opgewarmd met een bepaalde hoeveelheid warmte opdat het volume niet verandert. Daarna gebeurt een expansie bij constante, hoge temperatuur (3→4). Dat gebeurt via een uitwendige verbranding. Tijdens deze fase wordt er arbeid vrijgesteld. Tenslotte geeft overgang 4→1 nog de afkoeling van het gas in de generator weer. In het theoretische en ideale geval wordt aangenomen dat alle warmte die het gas afgeeft aan de regenerator (4→1), ook weer door het gas wordt opgenomen tijdens overgang 2→3. In de praktijk is de warmterecuperatie niet volledig wegens warmteverliezen. De vrijgestelde arbeid tijdens de expansie is groter als de benodigde arbeid bij compressie. Deze netto geproduceerde arbeid kan dan via een generator omgezet worden in elektriciteit. (Belcogen, 2004; COGEN Vlaanderen, 2004; COGEN Vlaanderen 2005; COGEN Vlaanderen 2006)



Figuur 8: Druk-volumediagram (COGEN Vlaanderen, 2005)

Zoals al eerder aangegeven kan men een hoger rendement behalen, omdat de Stirlingcyclus de Carnotcyclus benadert. Het theoretisch rendement van een stirlingmotor is hetzelfde als het rendement van een Carnotmotor. Dat wordt algemeen beschouwd als het hoogst mogelijke rendement. In de praktijk ligt dit natuurlijk wel lager.

$$e_{ideal} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

T_L en T_H zijn de temperaturen (in Kelvin) aan de koude zijde respectievelijk de warme zijde van de motor. Hoe groter het verschil tussen beide temperaturen, hoe hoger het rendement zal zijn. Het is dus belangrijk dat er naast een goede warmtetoevoer ook een goede warmteafvoer is. De reële stirlingmotor haalt ongeveer een elektrisch rendement van 40% à 50%. Dat is hoger als bij de inwendige verbrandingsmotor. (Giancoli, 2005)

Het primaire product van een stirlingmotor is de warmte. De elektrische energie die de motor levert, is een bijproduct. De stirlingmotor wordt dus het beste ingebouwd in de verwarmingsketel op die plaats waar de temperatuur zorgt voor de meest optimale werking. Het is dus niet nodig om een extra warmteopslag te voorzien. Bovendien is de warmtebron vrij te kiezen omdat de verbranding uitwendig gebeurt. Men is dus helemaal niet verplicht om fossiele brandstoffen te nemen. Men kan evengoed opteren voor biogas of warmte via zonnespiegels.

De totale brandstofbenuttigingsgraad is 65-90%. Bovendien is de verbranding hier ook continu, waardoor de stirlingmotoren een lager trillingsniveau hebben. Dat maakt ze stiller en daardoor stoten ze ook minder schadelijke stoffen uit. Een nadeel is de trage

opstart. Het warme deel moet immers op een voldoende hoge temperatuur gebracht worden. Bovendien moet men ervoor zorgen dat het gas in een gesloten systeem zit en dus niet in contact komt met de verbranding. Men moet dus zorgen voor een effectieve dichting die lekken vermijdt. Dit kan een probleem zijn omdat het nog een technologie in ontwikkeling is.

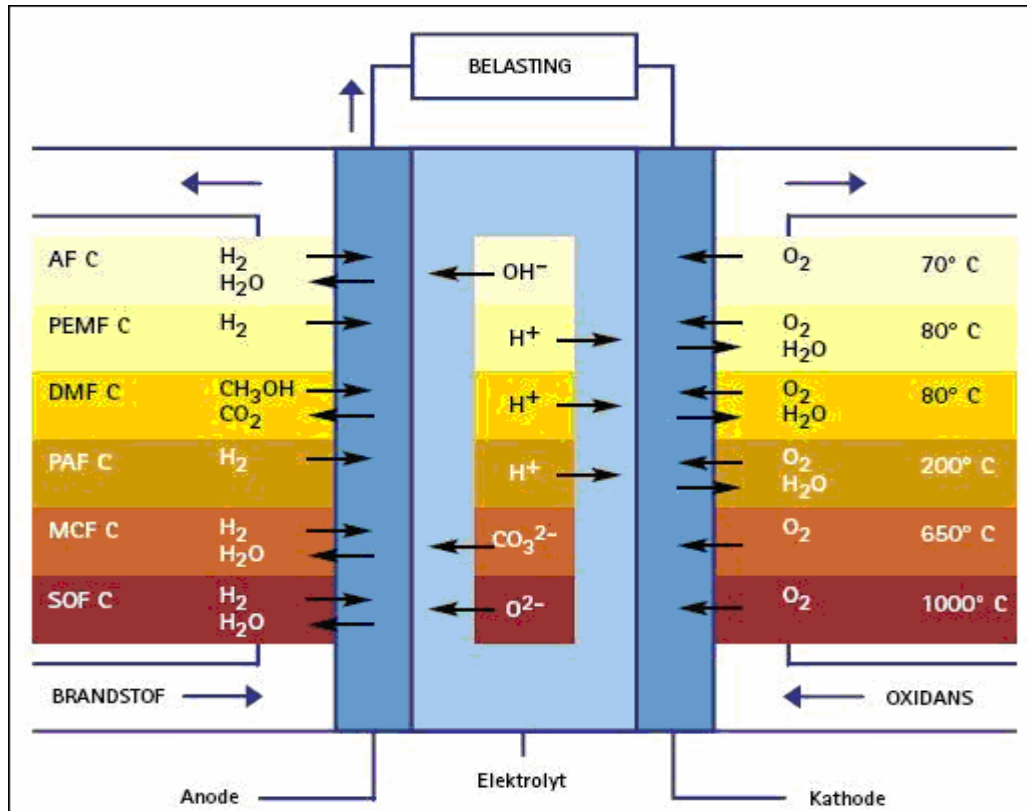
3.3.3 Brandstofcellen

Een brandstofcel is een elektrochemisch proces waarin chemische energie rechtstreeks wordt omgezet in elektriciteit. Er treedt een reactie op tussen de oxidatie van waterstof (H_2) en het oxidans zuurstof (O_2). Deze reactie is exotherm dus er komt ook warmte vrij. Die warmte moet afgevoerd worden om de brandstofcel op de juiste temperatuur te houden. Men kan de brandstofceltechnologie dus ook gaan toepassen voor warmtekrachtkoppeling. Sommigen noemen de brandstofceltechnologie zelfs het 'ei van Columbus'. Ze wordt gezien als erg beloftevol maar op dit ogenblik staat de technologie nog niet helemaal op punt. De erg hoge kostprijs vormt immers een groot nadeel. (COGEN Vlaanderen, 2006)

De opwekking van elektriciteit bij een brandstofcel verschilt fundamenteel met deze bij een klassieke opwekking. Klassiek wordt de warmte, die vrijkomt bij de verbranding, langs een thermodynamische cyclus omgezet in mechanische energie. Een generator zet deze mechanische energie dan om in elektrisch energie. Brandstofcellen daarentegen maken geen gebruik van een thermodynamische cyclus. De chemische energie wordt direct omgezet in elektrische energie. Belangrijk gevolg daarvan is dat het rendement nu niet begrensd wordt door het Carnotrendement. (AMPERE, 2000)

Elke cel beschikt over twee elektroden: een anode en een kathode (zie figuur 9). Brandstof, meestal waterstof, wordt aan de anode toegevoegd en zuurstof aan de kathode. De elektrochemische reacties vinden plaats aan deze elektroden. Tussen de kathode en de anode zit een elektrolyt. Deze laat enkel ionen door. Het elektrolyt zorgt er dus voor dat er een behoud van ladingen is aan de elektroden. De elektronen die vrijkomen aan de anode, worden via een externe belasting naar de kathode gevoerd.

Figuur 9 laat ons zien dat er verschillende soorten brandstofcellen zijn. Ze worden gecatalogeerd aan de hand van het gebruikte elektrolyt. De werkingstemperatuur verschilt ook afhankelijk van welke brandstofcel je gebruikt. Verder kan ook de brandstof verschillen en de vorming van water kan zowel aan de anode als aan de kathode gebeuren, maar niet aan beiden tegelijk. PEM, PA, MC en SO zijn het meest geschikt voor warmtekrachtkoppeling.



Figuur 9: Overzicht van de types brandstofcellen (COGEN Vlaanderen, 2004)

Het potentiaalverschil tussen de anode en kathode, de celspanning, bedraagt tussen de 0.5 en 1,2 V. Om hogere vermogens te bereiken gaat men dan meerdere cellen in serie (fuel cell stack) plaatsen. Dat geeft de kans om een breed spectrum van vermogens te genereren. De brandstofcel levert gelijkstroom. Een omzetter zorgt voor de omzetting naar wisselspanning, die nodig is om aan het net te leveren. (AMPERE, 2000)

Figuur 9 toont ons ook dat de brandstof die men gebruikt waterstof is, op één uitzondering na. Deze is erg milieuvriendelijk want de enige uitstoot is waterdamp. Maar het grote probleem is de afwezigheid van waterstof als primaire energie. Het moet dus

eerst nog gevormd worden. Een eerste methode is de reformatie van fossiele brandstoffen. Daarvoor heeft men warmte nodig. Men kan zowel intern als extern reformeren. Hoge temperatuur brandstofcellen halen de warmte uit de exotherme reactie van de brandstofcel (interne reformatie). Bij lage temperatuur brandstofcellen vindt het reformeren buiten de brandstofcel plaats (externe reformatie). Het spreekt voor zich dat bij deze methode nog steeds CO₂ wordt uitgestoten. Een tweede manier om waterstof te vormen is via de elektrolyse van water. Water wordt gesplitst in waterstof en zuurstof onder invloed van elektrische energie. Het zou ideaal zijn als men deze elektrolyse kan doen met behulp van groene energie.

Uit de voorgaande paragrafen is al gebleken dat de brandstofceltechnologie heel wat voordelen heeft. Hoge elektrische rendementen tot zelfs 60% zijn mogelijk, zeker voor de hoge temperatuur brandstofcellen. Ook de hoge brandstofbenutting van 80-90% is goed. Zelfs voor deellast zijn deze rendementen nog hoog, terwijl dit voor andere technologieën alleen maar dalend is. Door de serieschakeling van brandstofcellen kan men het gewenste vermogen leveren. Verder is de enige emissie van een brandstofcel water(damp), tenzij men fossiele brandstoffen gebruikt voor de productie van waterstof. Tot slot zijn er geen bewegende delen wat de betrouwbaarheid en duurzaamheid van deze technologie zou kunnen versterken, maar dat is op dit ogenblik nog niet echt het geval. Vooral de lage emissie en het lage geluidsniveau maken brandstofcellen zeer geschikt voor toepassingen in de residentiële en tertiaire sector (ziekenhuizen, kantoren, hotels...)

3.4 Warmtekrachtkoppeling met hernieuwbare energiebronnen

Warmtekrachtkoppeling is geen vorm van groene energie. Een klassieke WKK- installatie gebruikt nog steeds fossiele brandstoffen. Er worden dus nog steeds broeikasgassen uitgestoten. Door het efficiëntere gebruik van de brandstof zorgt WKK wel voor een vermindering van de CO₂ uitstoot. Maar warmtekrachtkoppeling is dus niet hetzelfde als windmolens of zonnepanelen. Deze laatste produceren elektriciteit uit hernieuwbare energie. Nochtans is het ook mogelijk om WKK te laten werken met hernieuwbare energiebronnen. We denken dan aan biogas, biodiesel, bio-olie, hout, afval, mest... Het gebruik daarvan levert een dubbel voordeel op wat emissiereductie en energiebesparing

betreft. Er wordt een 'groene' brandstof gebruikt die daarenboven op een efficiënte manier aangewend wordt.

Deze hernieuwbare energiebronnen worden in het algemeen gedefinieerd als biomassa. Ceulemans en Deraedt (1997) definiëren biomassa als "alle organische niet-fossiele materialen en hernieuwbare grondstoffen (van plantaardige of dierlijke oorsprong), bestemd voor industriële toepassingen (niet-voeding) of voor energieopwekking." We kunnen de biomassa indelen in biogassen, vaste en vloeibare brandstoffen.

3.4.1 Biogassen

Biogassen zijn de meest bekende 'groene' brandstoffen voor WKK- doeleinden. Deze gasvormige brandstoffen kunnen verbrand worden in een gasmotor. Voorafgaand hebben we al gezien dat dit een zeer gekende technologie is en in verschillende vermogensgroottes beschikbaar is. Verder kan men biogassen ook gebruiken in een soort dieselmotor, de dual-fuel motor genaamd. Dit is een soort motor waarbij de brandstof voor 5 tot 20% bestaat uit diesel en voor de rest uit biogas. Bij de microturbines hebben we al geleerd dat de grote luchtvermaat zorgt voor een brandstoffenflexibiliteit. Daarom is de microturbine uitermate geschikt voor de verbranding van laagcalorisch biogas en stortgas. (COGEN Vlaanderen, 2006)

Biogassen kunnen op verschillende manieren bekomen worden. We beperken ons tot de vergassing en de vergisting, wat de twee meest gebruikte zijn. Een eerste manier is vergassing. Vergassen is het thermisch ontleden van biomassa, bijvoorbeeld hout, met weinig lucht. De biomassa wordt op hoge temperatuur, 750°C tot 1400°C, gebracht. Door het tekort aan zuurstof gaat de biomassa smeulen. De gassen die vrijkomen zijn CO, H₂, N₂ en in mindere mate CO₂ en CH₄. De assen kunnen gerecycleerd worden en door het hoge stikstofgehalte gebruikt worden als meststof. (Manca, 2006)

Een tweede manier is de anaërobe vergisting. Verschillende biomassaproducten kunnen in de vergister gebracht worden: organische afvalstoffen, planten, rioolwaterzuiverings-slib of mest. Meestal worden deze producten nog wel op voorhand behandeld om de snelheid en rendement te verhogen en vervuiling te verminderen. De biomassa in de luchtdichte tank wordt dan op de juiste temperatuur, ± 35°C of ± 55°C,

gebracht zodat de bacteriën actief worden. Deze bacteriën zetten de biomassa via opeenvolgende transformaties om tot 55 à 75% methaan (CH₄), CO₂ en een zeer kleine hoeveelheid reststoffen (H₂S, H₂O...). In Vlaanderen is mestvergisting wettelijk niet toegestaan.

3.4.2 Vaste en vloeibare brandstoffen

Warmtekrachtinstallaties kunnen ook werken op vloeibare en vaste brandstoffen. De directe verbranding van vaste brandstoffen levert warmte. Wanneer hieraan een stoomturbine gekoppeld wordt, kan er ook elektriciteit geleverd worden. De hoogwaardige warmte, afkomstig van de verbranding, wordt dan omgezet in stoom. Deze stoom gaat een turbine aandrijven en de draaiende beweging kan via een generator omgezet worden in elektriciteit. Om van een echte WKK- installatie te kunnen spreken, is het nodig om de stoom ook te gebruiken om aan de warmtevraag te voldoen. Dat kan gebeuren met afgetapte stoom of met de stoom die de turbine verlaat. (COGEN Vlaanderen, 2006)

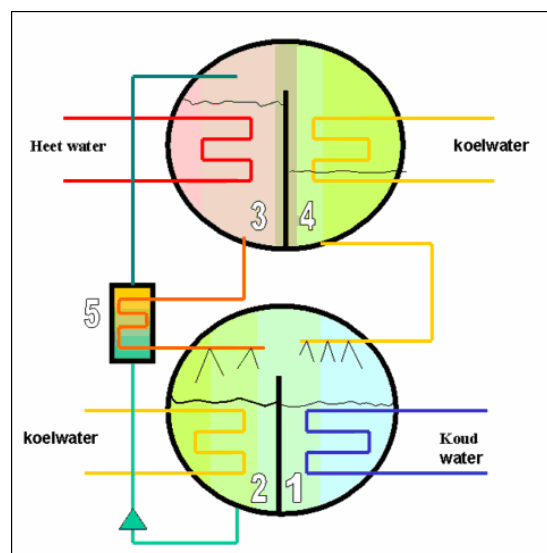
Bio-olie, biodiesel en biobenzine zijn vloeibare biobrandstoffen. Bio-olie is een mengsel van verschillende soorten plantaardige oliën en vetten. Bio-olie kan rechtstreeks in een licht aangepaste dieselmotor, gebruikt worden. Voor biodiesel worden dezelfde plantaardige oliën als basis gebruikt. Vaak voegt men er ook methanol aan toe. Ook een mengvorm met gewone diesel komt vaak voor. In dat geval doet de dieselmotor dienst als WKK. Deze zijn beschikbaar in diverse types en vermogengroottes, en tegen een redelijke prijs. De benzinemotor heeft ook een 'groene' brandstof alternatief: de bio-ethanol. Enzymen zorgen ervoor dat ze suiker halen uit suikerbieten, suikerriet, maïs... Via vergisting en destillatie kan men die suiker dan omzetten in ethanol en CO₂. (COGEN Vlaanderen, 2006)

HOOFDSTUK 4: TRIGENERATE EN ABSORPTIEKOELING

Cogeneratie heeft nog steeds verliezen in de vorm van warmte. Deze verliezen hebben een negatief effect op het milieu. Daarom is het belangrijk om de energie-efficiëntie proberen te verhogen. De restwarmte van een WKK kan namelijk gebruikt worden om een absorptiekoelmachine aan te drijven en zo koude te produceren. Dat is in ieder geval beter als het te lozen in het milieu. (De Jong, 2002)

4.1 Werkingsprincipe van een absorptiekoelmachine

De werking van een absorptiekoelmachine steunt op het fysische principe dat een vloeistof bij verdamping warmte opneemt, en bij condensatie warmte afgeeft. Een absorptiekoelmachine bevat de volgende componenten (figuur 10): een verdamper, een absorber, een generator, een condensor en een warmtewisselaar. Verder is de afwezigheid van een compressor bijzonder. Chemische aantrekkingskrachten spelen een belangrijke rol.



Figuur 10: Schema absorptiekoelmachine (energieprojecten, 2007)

In de verdamper (1) verdampt een koelvloeistof bij een lage temperatuur en lage druk. Dat is mogelijk door de sterke aantrekkingskracht van een waterige oplossing met een

zout, vaak lithiumbromide, in de absorber (2) . Deze oplossing trekt waterdamp aan, want het staat in een openverbinding met de verdamper. De concentratie zout moet steeds op peil blijven om het proces draaiende te houden, daarom moet er steeds vers water naar de verdamper gaan. Vloeistof van de absorber, rijk aan koelvloeistof, wordt daarom om die reden dus steeds naar de generator (3) gepompt, waar water uitgedampt wordt door toevoeging van warmte. De geconcentreerde vloeistof, arm aan koelvloeistof, stroomt terug naar de absorber en wisselt in een warmtewisselaar (5), warmte uit met de oplossing uit de absorber. De ontstane waterdamp in de generator wordt in de condensor (4) weer omgevormd tot water met behulp van koelwater.

4.2 Toepassingen van trigeneratie

Naast elektriciteit en warmte wordt er dus ook nog koude geproduceerd. De productie van deze drie energievormen noemt men trigeneratie. Toepassingen die naast warmte en elektriciteit ook nog behoefte hebben aan koude, komen voor trigeneratie in aanmerking. Denken we maar slachthuizen, die de warmte gebruiken in het productieproces en de koude voor de opslag in koelruimtes. Maar ook voor ziekenhuizen, residenties en grote gebouwen kan trigeneratie zorgen voor koeling tijdens de zomermaanden. Dit leidt tot een hoger aantal draaiuren voor de WKK en dus tot een hogere jaarlijkse elektriciteitsproductie. (Trigemed, 2003)

Voor een goede WKK is het immers van belang dat de geproduceerde warmte nuttig aangewend kan worden. De warmte in de zomerperiode wordt dan gebruikt om aan de koudevraag te voldoen. Momenteel wordt trigeneratie nog niet veel toegepast in Vlaanderen omwille van de onbekendheid van de technologie en de hoge kostprijs. Maar de klimaatverandering en de stijgende vraag naar comfort zouden trigeneratie wel eens populair kunnen maken. (COGEN Vlaanderen, 2006)

4.3 Voordelen van trigeneratie

De voordelen van trigeneratie situeren zich voornamelijk op milieuvlak. Er wordt een besparing op primaire energie gerealiseerd. Door het groter aantal draaiuren van de installatie zal deze besparing zelfs groter zijn dan bij warmtekrachtkoppeling. Een gevolg

van die besparing is ook een verminderde uitstoot van broeikasgassen. Tot slot is de gebruikte koelvloeistof bij de absorptiekoelmachines onschadelijk. Dit was vroeger vaak een delicaat punt. (COGEN Vlaanderen, 2006)

HOOFDSTUK 5: WARMTEKRACHTKOPPELING IN VLAANDEREN

Voor bedrijven die nood hebben aan warmte en elektriciteit kan warmtekrachtkoppeling een interessante technologie zijn om een daling van de energiekosten te bekomen. Verschillende industrietakken, zowel op grote als op kleine schaal, komen in aanmerking voor WKK. Denken we maar aan raffinaderijen, chemie, petrochemie, papier, voeding, metaalverwerking, maar ook aan tuinbouw, zwembaden, ziekenhuizen en woningcomplexen. In de jaren negentig kende WKK een enorme groei in Vlaanderen. De periode 2000-2004 betekende dan eerder bijna een stabilisatie van het aantal WKK-installaties. In dit hoofdstuk gaan we de situatie van WKK in Vlaanderen anno 2005 bekijken.

5.1 Het vermogen door WKK opgewekt in Vlaanderen anno 2005

De Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) maakt sinds 1990 een inventaris op van het opgesteld elektrisch vermogen aan warmtekrachtkoppeling met gasturbines en motoren in Vlaanderen. Vanaf 2002 wordt de inventaris uitgebreid met stoomturbines. (COGEN Vlaanderen, 2006)

Toch mogen de laatst beschikbare getallen in verband met WKK en hun vermogens niet zomaar vergeleken worden, omwille van een veranderde berekeningswijze. In 2006 werden er immers belangrijke wijzingen doorgevoerd betreffende de kwaliteitsdefinitie en de Vlaamse en Europese referentierendementen voor het berekenen van de energieperformantie van WKK-installaties. (Peeters et al, 2007)

5.1.1 Kwalitatieve warmtekrachtkoppeling

Eerst gaan we bepalen wat we verstaan onder kwalitatieve WKK, aangezien er in de VITO-inventaris en in andere publicaties vaak een onderscheid gemaakt wordt. Ook in verband met de toekenning van WKK-certificaten (zie hoofdstuk 7) is het van belang om het begrip duidelijk te definiëren.

'De Europese richtlijn 2004/8/EG van het Europees parlement en de raad' of het 'besluit van de Vlaamse Regering van 7 juli 2006 ter bevordering van de elektriciteitsopwekking in kwalitatieve warmtekrachtinstallaties' hebben de volgende voorwaarden opgesteld:

- Voor WKK- installaties groter of gelijk aan 1 MW moet een kwalitatieve WKK- installatie een relatieve primaire energiebesparing (RPE) opleveren van ten minste 10%.
- Voor WKK- installaties kleiner dan 1 MW moet een kwalitatieve WKK- installatie een relatieve primaire energiebesparing opleveren.

De Vlaamse reguleringsinstantie voor de elektriciteit- en gasmarkt (VREG) (2007) definieert de relatieve primaire energiebesparing (RPE) als volgt: "de verhouding tussen enerzijds de energiebesparing door gebruik van een warmtekrachtinstallatie ten opzichte van het energieverbruik nodig om dezelfde hoeveelheid netto elektriciteit en benutte warmte op te wekken in een referentiecentrale en een referentieketel, en anderzijds het energieverbruik van de referentiecentrale en referentieketel." Die referentiecentrale en referentieketel zijn de best beschikbare technologieën voorhanden in Vlaanderen.

5.1.2 Evolutie van het opgestelde WKK- vermogen

De inventaris van de Studiedienst van de Vlaamse regering (APS Vlaanderen, 2007) toont de evolutie van de warmtekrachtkoppeling in Vlaanderen. Deze evolutie wordt geschetst in figuur 11. In 1990 was er een vermogen aan WKK- installaties aanwezig van 194 MW. In 1995 was dit vermogen meer dan verdubbeld, 444 MW. De volgende jaren is het opgestelde vermogen nog steeds gestegen: 577 MW in 1996, 722 MW in 1998 tot 1 003 MW in 2000. Op tien jaar tijd is het opgestelde vermogen aan WKK met circa 500% gestegen. Het opgestelde vermogen aan kwalitatieve WKK is wel minder gestegen. Waar dit in 1990 ongeveer gelijk was aan het totale opgestelde vermogen, bedroeg dit in het jaar 2000 825 MW. Maar algemeen genomen was vooral de tweede helft van de jaren '90 een enorme bloeiperiode.

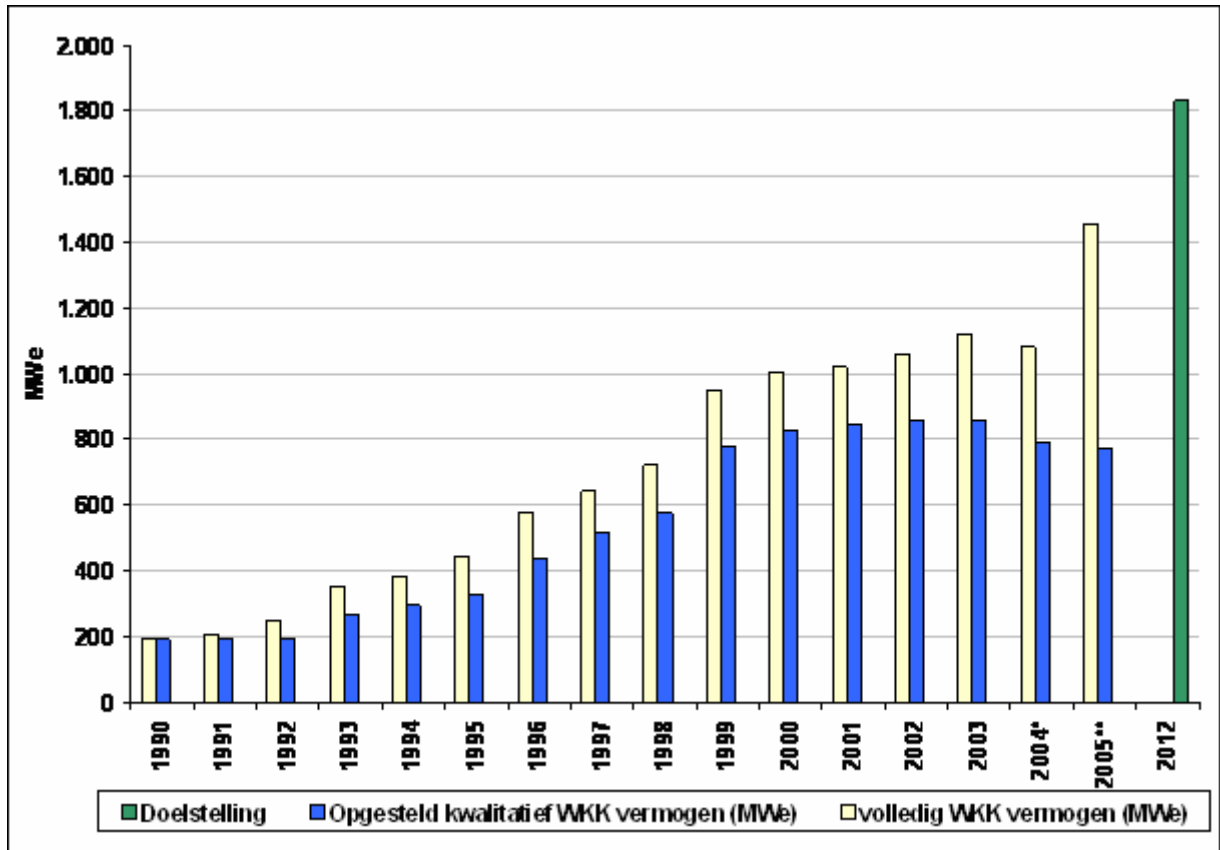
Vervolgens kende WKK gedurende de periode 2001-2003 eerder een stabiliserend fase. Oorzaken hiervan waren onder andere de liberalisering van de energiemarkt, de stijgende gasprijs en het uitblijven van de invoering van het WKK- certificatenstelsel. Er werd amper geïnvesteerd in nieuwe WKK- installaties. In 2001 was het opgesteld

vermogen aan WKK 1021 MW, waarvan 845 MW kwalitatief. Twee jaren later, in 2003, bedroeg het opgestelde vermogen 1 121 MW, waarvan 858 MW kwalitatief. Na de enorme groei in de jaren '90 betekenden de eerste jaren van het derde millennium eerder een stagnatie.

In 2004 gebeurde het verzamelen van cijfers voor de eerste keer op basis van de verplichte rapportering. Hierdoor zijn de gegevens correcter. Er was nu een opgesteld vermogen aan kwalitatieve WKK van 791 MW en een totaal opgesteld vermogen van 1 081 MW. Deze cijfers liggen lager als in 2003. Maar de veranderde manier van gegevensverzameling heeft er voor gezorgd dat je niet mag en kan vergelijken met de voorgaande reeks.

Voor het jaar 2005 werd het aandeel kwalitatieve WKK- installaties herberekend. VITO (2006) stelt immers vast: "in 2006 werden er belangrijke wijzigingen doorgevoerd betreffende de kwaliteitsdefinitie en de Vlaamse en Europese referentierendementen voor het berekenen van de energieperformantie van WKK- installaties." De cijfers voor 2005 zijn daarom niet meer te vergelijken met alle voorgaande. Het volledig opgestelde elektrische vermogen bedroeg nu 1 457 MW en 771 MW opgesteld kwalitatief WKK-vermogen. Bovendien zijn er in 2005 nog voor een vermogen van 378 MW aan bijkomende WKK- projecten gestart. Natuurlijk werken deze in de opstartfase nog niet allemaal als kwalitatieve WKK- installaties. Vandaar zien we in figuur 11 dit grote verschil tussen het kwalitatief WKK- vermogen en het opgestelde vermogen.

De doelstelling van de Vlaamse overheid is om tegen 2012 een totaal opgesteld vermogen van 1 832 MW via kwalitatieve warmtekrachtkoppeling te realiseren. Dat moet een haalbare doelstelling zijn, zeker nu de woelige beginfase van de vrijmaking van de energiemarkten achter de rug is en het systeem van WKK- certificaten in werking is getreden. Dat maakt vele nieuwe energiebesparende projecten toch rendabel.

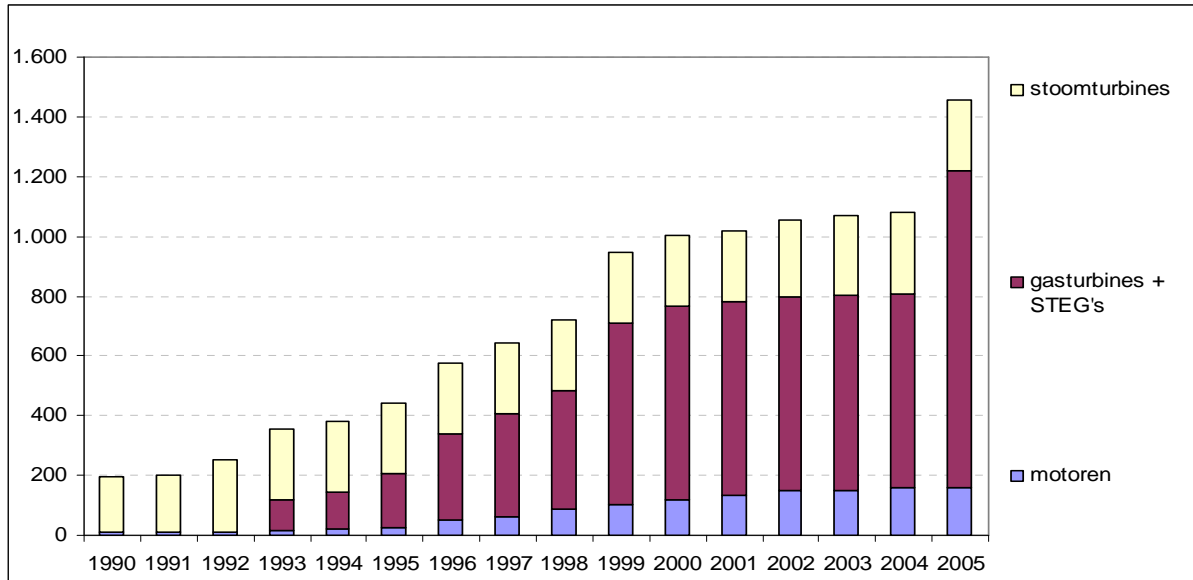


Figuur 11: Evolutie opgesteld vermogen aan warmtekrachtkoppeling in Vlaanderen (APS Vlaanderen, 2007)

5.1.3 De verdeling naar technologie van het opgestelde WKK- vermogen

Figuur 12 toont het aandeel van de technologieën in dit totaalcijfer. Tevens zien we ook de evolutie aan opgesteld WKK- vermogen die we voorheen al besproken hebben. We kunnen stellen dat stoomturbines in het begin van de jaren '90 zowat de enige vorm van belang was om WKK toe te passen. Slechts 4% van het WKK- vermogen was afkomstig van motoren. Vanaf 1993 heeft de gasturbine zijn intrede gedaan. Daardoor is men ook kunnen overgaan op STEG's, een combinatie van een stoom- en een gasturbine. Tijdens de bloeiperiode van de warmtekrachtkoppeling in Vlaanderen werden in de grote industrie heel wat nieuwe installaties op basis van een gasturbine gebouwd. Ook de motor werd meer en meer toegepast, voornamelijk dan voor toepassingen met kleinere vermogens. De volgende jaren hebben de STEG's en gasturbines aan potentieel gewonnen. Het absolute aandeel aan stoomturbines is de hele periode vrij constant

gebleven. Relatief gezien is het aandeel aan stoomturbines wel enorm gedaald: van 96% in 1990 naar nog slechts 17% in 2005.



Figuur 12: Evolutie en aandeel van de technologieën in het totaal opgesteld elektrisch vermogen aan WKK- installaties (in MW) (Peeters et al, 2006)

Wat is nu de stand van zaken voor Vlaanderen in 2005? In 2005 bedroeg het volledig opgestelde elektrisch vermogen in Vlaanderen 1 457 MW. Motoren zijn goed voor 161 MW ofwel een aandeel van 11%. Gasturbines zorgen voor een vermogen van 326 MW. Dat is gelijk aan 22% van het totaal opgesteld vermogen. STEG's hebben maar liefst een aandeel van 50% oftewel 731 MW is afkomstig hiervan. De stoomturbines zijn goed voor 293 MW. Vaak worden deze opgedeeld in netgekoppelde en stoomturbines met directe aandrijving, goed voor respectievelijk 126 MW (9%) en 113 MW (8%). (Peeters et al, 2007)

5.2 De productie van elektriciteit door WKK in Vlaanderen in 2005

Voor Vlaanderen bedroeg het totale vermogen 1 457 MW aan WKK- installaties, wat een totale netto elektriciteitsproductie in 2005 opleverde van 7 918 GWh. Het Vlaams Gewest was goed voor een totale elektriciteitsproductie van 48 918 GWh in 2005. De opgestelde WKK's in Vlaanderen zorgen dus voor 16% van de totale elektriciteitsproductie. Een vergelijking; elektriciteit afkomstig van kernenergie in Vlaanderen is goed voor 44,7%.

De relatieve primaire energiebesparing van WKK- installaties, op basis van Vlaamse referentierendementen bedraagt gemiddeld gezien 10%. WKK zorgt zo voor een relatieve energiebesparing van $16\% * 10\% = 1,6\%$ in Vlaanderen. (APS Vlaanderen, 2007; Peeters et al, 2007)

HOOFDSTUK 6: KOSTEN VAN WARMTEKRACHTKOPPELING

De installatie van een WKK- systeem mag dan wel efficiënt op het vlak van energie zijn, maar het moet bovendien ook financieel rendabel zijn om te investeren in WKK. In dit hoofdstuk gaan we de kosten bespreken die gepaard gaan met een WKK- installatie en in hoofdstuk 7 worden de subsidies in verband met warmtekrachtkoppeling behandeld. Figuur 13 geeft de structuur van de kosten en de baten weer die aanwezig zijn bij WKK. De WKK- certificaten en de subsidies vormen de tegenhanger van de externe kosten.

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

Figuur 13: kostenbaten analyse WKK (Belcogen, 2004)

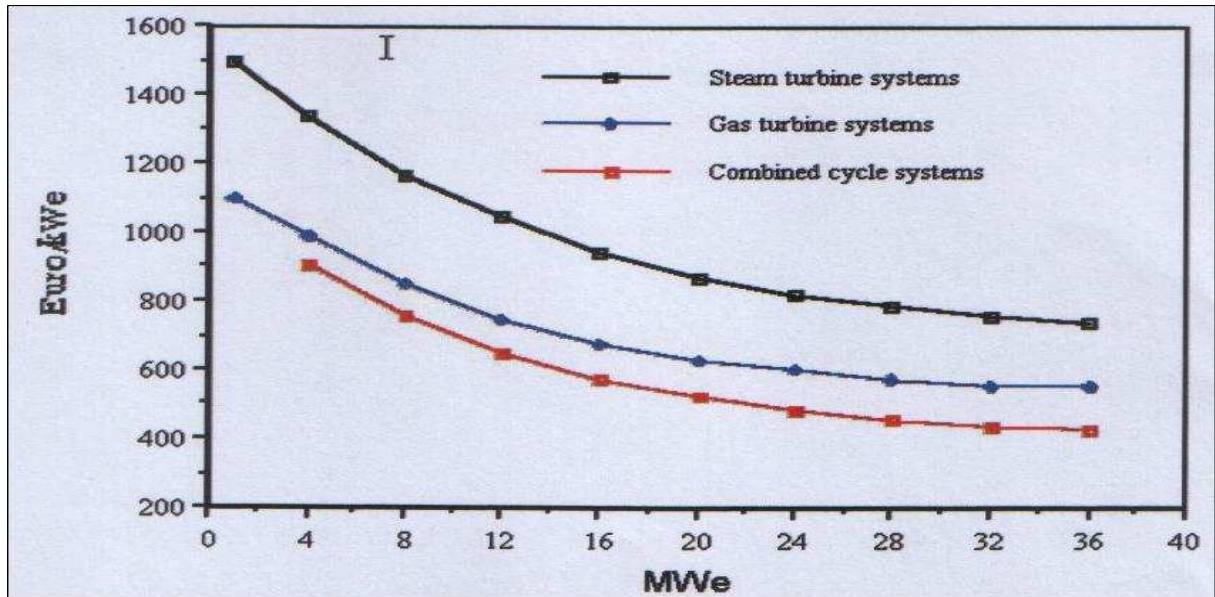
6.1 Directe kosten

De directe of private kosten zijn kosten die eenvoudig toe te wijzen zijn aan het product, aan de WKK. Ze omvatten enerzijds kosten die nodig zijn voor de bouw van WKK- installatie, en anderzijds de kosten die optreden bij de werking ervan. Normaal is deze kostencategorie vrij concreet in een project. De directe kosten worden in de

bedrijfsboekhouding opgenomen en worden soms ook wel aangeduid als interne kosten. Deze kosten moeten afgewogen worden tegen de besparing van de energierekening, die aan de batenzijde staan. We gaan deze aspecten van baten dan ook niet apart behandelen. Ze kunnen evengoed bekeken worden vanuit het standpunt van de vermindering van de directe kosten. Bijvoorbeeld de hoeveelheid brandstof die nodig zal zijn voor de WKK- installatie, moet betaald worden. Maar ten opzichte van de klassieke gescheiden manier is er minder brandstof nodig en het verschil hiertussen is vermeden directe brandstofkost, wat ook een baat genoemd wordt.

6.1.1 Investeringskost

De investeringskost is een kapitaalkost. Uitrustingskosten, de installatiekosten ervan, en de projectkosten behoren tot deze initiële kosten. Bovendien is het nuttig om een toeslag voor onvoorziene kosten in rekening te brengen, een soort risicopremie. Hoe vroeger in de productiecycclus men zit, hoe groter deze toeslag zal zijn. De investeringskosten zijn sterk projectafhankelijk en dus voor iedere installatie verschillend. Daarom is het beter om de investeringskost op basis van een gerichte offerte te bepalen. Deze houdt immers rekening met specifieke kenmerken van het project. De investeringskost per kW geïnstalleerd vermogen neemt voor kleine vermogens sterk toe. Dit is ook te zien in figuur 14. (COGEN Vlaanderen, 2006)



Figuur 14: Specifieke investeringskost van middelgrote en grootschalige WKK's (COGEN Vlaanderen, 2006)

Uitrustingskosten bevatten naast de aanschafkosten van de onderdelen ook de vervoerskosten van die onderdelen naar de plaats. Maar erg belangrijk is dus het type WKK- installatie dat geïnstalleerd wordt. Belangrijke onderdelen kunnen zijn: een motorblok, generator, warmterecuperatiesysteem, extra branders voor bijstook, een uitlaatgassysteem, een brandstoftoevoersysteem,

De installatiekosten zijn kosten zoals installatievergunningen, aankoop en voorbereiding van een terrein, constructie en bouw van de uitrusting, bouwtekeningen, ... Deze kosten zijn nodig om een WKK te kunnen en mogen installeren. Voor bepaalde projecten zijn bepaalde kosten niet vereist, bijvoorbeeld voor een vervanging van een WKK op dezelfde plaats.

Ontwerpkosten en professionele dienstverleningskosten voor de analyse, planning en ontwikkeling van een WKK- systeem worden projectkosten genoemd. Deze bedragen ongeveer 15 tot 30% van de totale investeringskost.

6.1.2 Werkingskost

Werkingskosten zijn net als investeringskosten systeemspecifiek. Ze hangen ook deels af van beslissingen die genomen zijn in de ontwerp- of constructiefase. Sommige beslissingen die goed zijn om de investeringskosten te doen dalen, hebben een negatief effect op de werkingskosten. De belangrijkste werkingskosten zijn de volgende: brandstofkosten, uitbatingkosten en onderhoudskosten. Vaak worden deze kosten ook opgedeeld in variabele of vaste kosten. Vaste kosten zijn onvermijdbare kosten ongeacht de werking, terwijl variabele kosten afhangen van het aantal draaiuren of de geproduceerde energiehoeveelheden. (COGEN Vlaanderen, 2006)

Als voornaamste werkingskost kunnen we de brandstofkost beschouwen. Deze kan tot 80% van de totale werkingskost inhouden. Op basis van het aantal draaiuren en de rendementen van de WKK, kan men een schatting maken over hoeveel brandstof nodig is. De kostprijs is beschikbaar bij de brandstofleverancier. Vooral kleinschalige WKK heeft een hoge brandstofkost. De reden is hier het kleinere afnamevolume in tegenstelling tot bij grootschalige WKK. Soms kan brandstof ook gehaald worden uit afvalstromen of als bijproduct van een ander proces.

Uitbatingkosten zijn voornamelijk personeelskosten. Hier is dus de grootte van het systeem en de graad van automatisering belangrijk. Deze kost is dus ook weer erg afhankelijk van het gekozen WKK- type: aanwezigheid van een afgassenketel, grotere installaties of een vaste brandstof vereisen meer personeel.

Een andere belangrijke werkingskost is de kost van het onderhoud. Hier is het belangrijk om de machine op vollast te laten draaien. Werken op deellast veroorzaakt een stijging van de onderhoudskosten per kWh omdat onderhoudscontracten vaak uitgedrukt worden per draaiuur. Onderhoud is namelijk een erg belangrijke factor voor een optimale werking van de installatie. Men kan drie soorten onderhoud onderscheiden: klein onderhoud, groot onderhoud en volledige controle. Het onderhoud kan met eigen personeel gebeuren of uitbesteed worden aan een externe firma. Er bestaan dan ook verschillende onderhoudscontracten, gaande van enkel het noodzakelijke onderhoud tot een alles omvattend contract. Vanzelfsprekend heeft de laatste optie een hogere prijs. (Belcogen, 2004; COGEN Vlaanderen, 2006; Warmtekrachtkoppeling, 2006)

Verder hangen de werkingskosten af van verschillende factoren: de gekozen WKK-technologie, het brandstoftype, de werkingscyclus, de werkingsomgeving, ... Zwaardere of vuile brandstoffen en de werking in vuile omstandigheden doen de onderhoudskosten stijgen. Ook frequent opstarten en afzetten leidt tot hogere onderhoudskosten. (Belcogen, 2004; COGEN Vlaanderen, 2006)

Uiteraard kan men zich ook verzekeren tegen materiële schade en de schade aan derden door machinebreuk. Bovendien kunnen verlies aan inkomsten, verlies aan intresten, ... verzekerd worden. Daardoor kunnen de verzekeringskosten oplopen, vooral bij grotere installaties.

6.2 Externe kosten

Emissies die vrijkomen bij de productie van elektriciteit leveren een bijdrage tot de luchtverontreiniging en de opwarming van de aarde. De uitstoot van de vervuilende stoffen kan bovendien de gezondheid van de mensen schade toe brengen. Dit veroorzaakt kosten die op de maatschappij afgeschoven worden. Daarom noemen we dit externe kosten. Noch de producent, noch de consument draagt de financiële gevolgen van deze schade. Omdat ze terugvallen op de maatschappij in haar geheel, worden externe kosten soms ook sociale kosten genoemd. Ze zitten namelijk niet vervat in de kostprijs van elektriciteit. In principe zou er in de boekhouding van het bedrijf rekening mee gehouden moeten worden. (Bovea, 2004, Torfs et al. 2005)

6.2.1 Internaliseren van externe kosten

Externe kosten worden niet aangerekend in het ketenproces van productie tot consumptie. Er zijn geen specifieke taksen die rechtstreeks gekoppeld zijn aan emissies of milieuprestaties. Een correcte prijszetting zet zowel producenten als verbruikers van elektriciteit aan tot energie-efficiënt handelen. Het juist aanrekenen van interne en externe kosten is dus een stimulans voor een correct gebruik van hernieuwbare energie en WKK. Het opnemen van de externe kosten in de prijs noemt internaliseren. Om het maatschappelijk aanvaarde emissieniveau te realiseren zijn er twee mogelijkheden.

Een eerste mogelijkheid bestaat erin het principe van 'de vervuiler betaalt' toe te passen. Met behulp van taksen gaat men de prijs proberen te verhogen voor zij die zondigen tegen de emissienorm. In België is men hier geen voorstander van. Het zou oneerlijke concurrentie kunnen teweegbrengen. Rijke bedrijven zouden zo meer kunnen uitstoten terwijl arme bedrijven nieuwe technologieën, die geld kosten, moeten implementeren. Bovendien gaan sommige verbruikers de hogere prijs niet meer kunnen betalen. Dit is dus asociaal.

Een tweede mogelijkheid is om de vermeden externe kosten te subsidiëren. Dit gebeurt sinds 2006 via de toekenning van WKK- certificaten in het geval van warmtekrachtkoppeling. Voor de productie van groene stroom bestaan er ook groene stroom certificaten. Het systeem van certificaten heeft twee voordelen ten opzichte van regulering: het geeft de actoren de vrijheid hoe ze de doelstellingen wensen te bereiken en geeft hen hierbij vrijblijvend prijzenprikkelers. Op de WKK- certificaten komen we later nog uitgebreid terug. Ook de CO₂- emissiehandel kan ervoor zorgen dat het aanvaardbare emissieniveau bereikt wordt.

6.2.2 Berekening van de externe kosten via de ExternE methode

Volgens Torfs et al. (2005) moeten volgende elementen onderzocht worden om de externe kosten te berekenen die gepaard gaan met de elektriciteitsproductie:

- De uitstoot van pollutanten zoals deeltjes, NO_x, SO₂ en sommige metalen tijdens de aanvoer en productie van brandstoffen, tijdens de productie van elektriciteit, tijdens de bouw en afbraak van centrales en tijdens de verwerking van afvalproducten.
- De uitstoot van radioactieve stoffen bij de productie van kernenergie.
- De uitstoot van CO₂ van niet-hernieuwbare brandstoffen. Door de grote onzekerheid in de bepaling van de impact van klimaatverandering in de toekomst, wordt gebruik gemaakt van een schaduwprijs voor de uitstoot van CO₂. Volgens de ExternE methode, waar we later nog op terugkomen, bedraagt deze schaduwprijs 20 EUR/ton CO₂.
- De luchtvervuiling die gezondheidseffecten bij de bevolking en schade aan gebouwen en ecosystemen veroorzaakt.

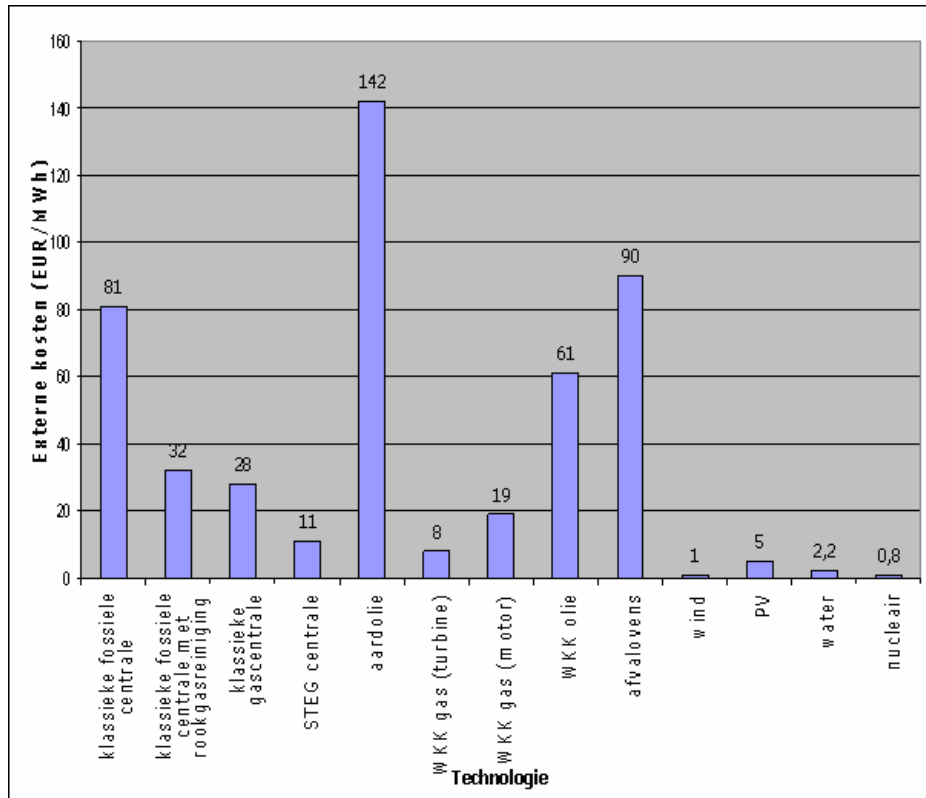
- De hinder en de belevingswaarde die ontstaan door onder andere zichtbaarheid en geluid.
- De beroepsongevallen. Als deze nog niet in de kostprijs van de elektriciteitsproductie verwerkt zijn. Dat kan gebeuren door bijvoorbeeld de verzekeringsbijdragen.
- Ernstige ongevallen bij de opwekking van kernenergie en bij de ontginning en het transport van fossiele brandstoffen.
- De transgenerationele solidariteit: het al dan niet doorgeven van energierijkdom aan komende generaties.

De ongewenste neveneffecten zoals luchtvervuiling berokkenen schade. Deze schade moet men proberen uit te drukken in monetaire eenheden om de externe kosten te kennen. Schade, hinder, vervuiling,... zijn meestal in andere eenheden, zoals bijvoorbeeld in tijd en in gram, dan in geld uitgedrukt. Daarom moet men dus een beroep doen op waarderingstechnieken. De berekening van externe kosten bevat heel wat onzekerheden, wat zowel te maken kan hebben met de inschatting van de impact van de neveneffecten als met het waarderen in geldtermen. (De Ceuster, 2004)

Voor de berekeningen van de externe kosten wordt een beroep gedaan op de ExternE (Externalities of Energy) methode. Sinds het begin van de jaren '90 wordt in opdracht van de Europese Commissie, gewerkt aan dit ExternE- project met als doel om de externe kosten te kunnen becijferen. ExternE volgt de bijkomende uitstoot van vervuilende stoffen vanaf de bron tot aan de impact en kwantificeert vervolgens de marginale impact op de gezondheid en het leefmilieu. De resultaten geven momenteel de beste en meest volledige antwoorden die in een beleids- of beslissingscontext gebruikt worden, niet enkel om in absolute waarden op te tellen bij de interne productiekosten, maar vooral als maatstaf voor diversificatie van het energiebeleid en als leidraad voor verdere technologieontwikkelingen. Er bestaan nog andere methoden om de milieu-impact van menselijke activiteiten weer te geven, maar ExternE heeft zijn nut al bewezen in verscheidene kosten-batenanalyse en in het kader van scenarioberekeningen voor emissiereducties. (Torfs et al. 2005)

De bekomen marginale externe kosten (in EUR/MWh) voor de verschillende technologieën kunnen we aflezen van figuur 15. Klassieke fossiele centrales stoten heel wat pollutanten zoals NO_x, SO₂ en deeltjes uit. Bijgevolg bedraagt de externe kost 81

EUR/MWh. Wanneer die klassieke centrales uitgerust worden met een rookgaszuivering gaat de uitstoot van pollutanten verminderen en de externe kosten dalen naar 32 EUR/KWh. Klassieke gascentrales hebben door hun lagere uitstoot van deeltjes en SO₂ nog een lagere externe kost. STEG centrales daarentegen hebben door een elektrisch rendement van 55% en meer, een externe kost in het bereik van 11 EUR/MWh. De hoogste externe kost, 142 EUR/MWh, is voor aardolie. Dat is het gevolg van het lage rendement en de hoge emissie van een centrale werkend op aardolie. Hetzelfde geldt voor de WKK's die op olie werken. Ook de afvalovens behalen een hoge externe kost van 90 EUR/MWh. Ook dit is te verklaren door een laag rendement. Een WKK op aardgas heeft echter een lagere externe kost: 19 EUR/MWh voor een gemotoriseerd type en 8 EUR/MWh voor de efficiëntere turbine. Figuur 15 toont ons verder ook dat de externe kost van hernieuwbare energiebronnen, windenergie, fotovoltaïsche cellen of kleinschalige waterkrachtcentrales, zeer laag is. De laagste externe kost is voor de elektriciteitsproductie afkomstig van kerncentrales, ondanks de risico's bij afvalberging en de mogelijkheid op ernstige ongevallen die nucleaire energie met zich meebrengen. Het gegeven dat er zeer weinig uranium nodig is voor de productie van 1 MWh en het feit dat er nagenoeg geen emissies vrijkomen bij kernenergie zijn twee factoren die de zeer lage externe kost van 0,8 EUR/MWh veroorzaken.



Figuur 15: Indicatieve waarden voor de marginale externe kosten voor Vlaanderen in 2002 (Torfs et al., 2005)

Op basis van de externe kosten kunnen we concluderen dat elektriciteit afkomstig van een nucleaire energiecentrale een betere keuze is dan elektriciteit opgewekt door fossiele brandstoffen. Het is dus vanuit milieustandpunt bekeken, een betere keuze. Maar ook uranium is een eindige grondstof. Denkend aan de transgenerationale solidariteit is dit een minder goede keuze als duurzame energiebronnen. Bovendien belasten we toekomstige generaties met het radioactief afval. Hernieuwbare energiebronnen zoals wind, zon en kleinschalige waterkracht moeten dus zeker aangemoedigd worden.

Natuurlijk moet er ook vanuit het standpunt van de productiekosten gekeken worden. Tabel 3 geeft deze kosten weer in EUR/MWh. We zien dat de hernieuwbare energieën ook hogere productiekosten met zich meebrengen. Op basis van de externe kosten situeert windenergie zich ongeveer op hetzelfde niveau als nucleaire energie. Als we de productiekosten ook in beschouwing brengen, zien we dat windenergie minder aantrekkelijk is als nucleaire.

Tabel 3: Vergelijking van de productiekosten (EUR/MWh) (Torfs et al., 2005)

TECHONOLGIE	PRODUCTIEKOST
Klassieke fossiele centrale	25-50
Klassieke fossiele centrale met rookgasreiniging	25-50
STEG centrale	20-56
WKK gas (turbine)	30-70
WKK gas (motor)	40-130
Wind	30-125
PV	375-625
Water	40-100
Nucleair	30-75 (inclusief ontmanteling)

Torfs et al. (2005) schetsen in hun rapport ook de evolutie van externe kosten in Vlaanderen voor de periode 1990-2002. De gemiddelde marginale externe kost wordt berekend aan de hand van het bestaand procentueel aandeel van elke technologie in de jaarlijkse productie van elektriciteit. In 2002 bedroeg deze kost 19 EUR/MWh, terwijl deze in 1990 nog 45 EUR/ MWh was. Deze daling is het gevolg van de geleidelijke vervanging van steenkoolcentrales door STEG centrales, de opkomst van WKK's op aardgas en de installatie van een rookgaszuivering in de steenkoolcentrale van Langerlo. De elektriciteitsproductie is in dezelfde periode met 25% gestegen, wat de totale externe kost minder evenredig laat dalen als de gemiddelde.

Wat de toekomst betreft, gaat deze daling zich waarschijnlijk niet verder zetten. De kernuitstap verplicht ons om de elektriciteitsproductie door kerncentrales te vervangen door een andere methode en nucleaire energie heeft net de laagste externe kost. Het bouwen van nieuwe centrales met verbeterde milieuprestaties, in plaats van de oude, en het stijgende aantal WKK- installaties kunnen de gevolgen van de kernuitstap nog wel deels compenseren.

6.3 Redenen voor aanmoediging van WKK

De overheid promoot warmtekrachtkoppeling door investeringssubsidies en WKK-certificaten toe te kennen. Deze steunmaatregelen maken WKK rendabeler. Maar ook

hierbuiten zijn er verschillende redenen waarom men een WKK- installatie zou installeren. In wat volgt worden allerlei redenen kort besproken. Uiteraard is deze lijst van redenen niet exhaustief.

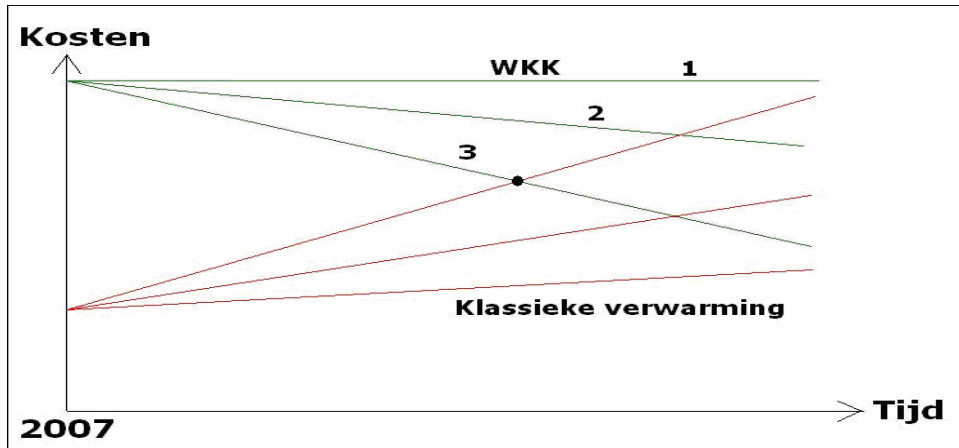
6.3.1 Vermeden externe kosten

Deze vermeden externe kosten worden gesubsidieerd door WKK- certificaten. Maar indien de subsidie niet voldoende zou zijn om de externe kosten te dekken, dan zou WKK toch aangemoedigd moeten worden omwille van de lagere externe kosten. Dat komt het milieu ten goede.

6.3.2 Toekomstvisie

Een tweede reden om WKK aan te moedigen is de economische en technologische toekomstvisie. Door WKK te gebruiken gaan de kosten ervan in de toekomst dalen. De brandstofkosten gaan in de tijd ook variëren. Op korte termijn zullen de prijzen moeilijk te voorspellen zijn. Soms zullen ze stijgen, soms zullen ze dalen. Dat is pure speculatie. Op halflange tijd gaan de brandstofprijzen stijgen. Devriendt et al (2005) merken de stijging in de brandstofprijzen in hun studie ook op. Op lange termijn daarentegen zijn de prijzen een groot vraagteken. Tegen het jaar 2060 of 2100 is de techniek van kernfusie misschien zodanig geëvolueerd dat we een overvloed aan energie hebben. Daardoor zou energie zeer goedkoop worden zodat een besparing, en dus WKK, niet meer nodig is.

Figuur 16 geeft de zonet gemaakte veronderstellingen weer. De lijnen met nummers stellen de situatie voor met een WKK- installatie. Op dit moment zijn de kosten van WKK nog hoger dan klassieke verwarming. Maar er zijn verschillende scenario's in de toekomst mogelijk, afhankelijk van het gebruik. Hoe meer de techniek van WKK gebruikt gaat worden, hoe sneller de kostencurve gaat dalen. Dus in geval 1 wordt WKK niet gebruikt, in geval 2 al meer en in geval 3 maakt men veel gebruik van WKK. Het omgekeerde is merkbaar bij de klassieke verwarmingen. De stijgende brandstofprijs doet de kostencurve van de klassieke verwarming stijgen. Het doel is nu om het snijpunt proberen te zoeken. Zo weet je welke technologie het meest voordelig is.



Figuur 16: Kost-Tijd relatie voor WKK en klassieke verwarming

6.3.3. Transgenerationale solidariteit

Zelfs al treden er geen vermeden externe kosten op, of is de toekomstvisie niet positief, dan nog moeten we WKK aanmoedigen vanuit het standpunt van de transgenerationale solidariteit. We moeten rekening houden met de komende generaties. Deze hebben ook behoefte aan energie. Het zou ethisch niet verantwoord zijn om nu de hele voorraden fossiele brandstoffen op te maken. Wij hebben van onze ouders eenvoudig ontginbare brandstoffen gekregen, onze volgende generatie verdient dit ook te krijgen.

6.3.4 Technologisch multiplicatoreffect

In hoofdstuk 1 hebben we al gezien dat België door het Kyoto-protocol gebonden is aan een daling van 7,5%. België kan deze doelstelling behalen door het gebruik van hernieuwbare energiebronnen en door een rationeel energieverbruik te stimuleren. In hoofdstuk 6 hebben we gezien dat dit kan gebeuren onder de vorm van subsidies, welke later nog uitgebreid besproken worden, of boetes door de overheid. Verder is het ook mogelijk via de CO₂-emissiehandel, om emissierechten in het buitenland aan te kopen. dat is mogelijk via de zogenoemde flexibiliteitsmechanismen. Zo kan België bijvoorbeeld CO₂-emissierechten aankopen van landen die een overschot aan emissierechten hebben. Dit systeem van emissiehandel zorgt ervoor dat de reductiedoelstelling behaald wordt aan lagere totale kosten. (climateregistry, 2007)

De beste manier om aan de Kyoto- doelstelling te halen is via een intern beleid. De overheid moet ervoor zorgen dat de mensen de CO₂-emissiereductie verwerven via schone technologieën. De overheid kan dit bekomen door bijvoorbeeld subsidies te geven. Het positieve hieraan is dat het geld dat België investeert, ook daadwerkelijk ten goede komt van België. Bovendien treden er zelfs multiplicatoreffecten op indien er een intern beleid gevoerd wordt.

Investerings in WKK's en in andere hernieuwbare technologieën doen het technologisch onderzoek hiernaar toenemen. Door nieuwe WKK- technologieën, zoals de microturbine, de Stirling motor, de brandstofcel... te onderzoeken, bestaat de mogelijkheid om nieuwe technologieën te ontwikkelen. WKK is immers een spitstechnologie en moet correct geïmplementeerd worden. Verder moet men ernaar streven om bestaande technologieën te verbeteren, wil men concurrentieel blijven. Bedrijven gaan dus extra investeren. Bovendien ontwikkelt men zo kennis, die nadien naar het buitenland uitgevoerd kan worden. Dit multiplicatoreffect is van technische aard.

6.3.5 Sociaal- economisch multiplicatoreffect

Een sociaal- economisch multiplicatoreffect is een tweede voordeel van het interne beleid. Door te investeren in WKK en andere technologieën om de CO₂ uitstoot te beperken, worden er extra arbeidsplaatsen geschapt in België. Een WKK- installatie is een erg arbeidsintensieve technologie, zowel voor de voorafgaande technische studie, de installatie als het onderhoud. Het gevolg hiervan is een stijgende consumptie wat op zijn beurt weer aanleiding geeft tot een hogere productie. Het geeft met name een extra positieve stimulans aan de economie. In het verleden zagen we het invers multiplicatoreffect bijvoorbeeld optreden bij de sluiting van Ford Genk waar het enorm negatieve gevolgen had. Het multiplicatoreffect werd geschat op ongeveer 2, maar er is geen concrete studie naar gebeurd. Mensen die hun baan bij Ford verloren, gingen minder consumeren, gingen bijvoorbeeld minder op restaurant wat op zijn beurt leidde tot banenverlies in andere sectoren. Zo werd geschat dat er ongeveer 6 000 werklozen waren in plaats van de 3 000 die afgedankt werden bij Ford.

HOOFDSTUK 7: SUBSIDIES VAN WARMTEKRACHTKOPPELING

Warmtekrachtkoppeling heeft een positieve invloed op het brandstofverbruik en op het milieu. Bovendien hebben we zonet nog andere redenen van aanmoediging gezien (cfr. 6.3). Daarom wordt het in verschillende landen door de overheid gepromoot door middel van subsidies. Het systeem dat gehanteerd wordt, verschilt in elke land. Zelfs binnen België worden er verschillende regelingen toegepast: Wallonië en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest hebben een ander systeem als Vlaanderen. We gaan ons vooral toespitsen op de situatie in België en meer bepaald de situatie in Vlaanderen.

Voor België moeten we een onderscheid maken tussen de investeringssubsidies en de uitbatingsubsidies. De investeringssubsidies zijn eenmalig en proportioneel met het investeringsbedrag. De uitbatingsubsidies daarentegen lopen over een langere tijd en zijn evenredig met de prestaties van de installatie.

7.1 Investeringsubsidies

Er bestaan verschillende soorten investeringssubsidies. Sommigen zijn feitelijke terugbetalingen van een deel van het investeringsbedrag, andere zijn eerder fiscale voordelen. De twee meest voorkomende subsidies zijn de verhoogde investeringsaftrek en de ecologiepremie voor Vlaanderen.

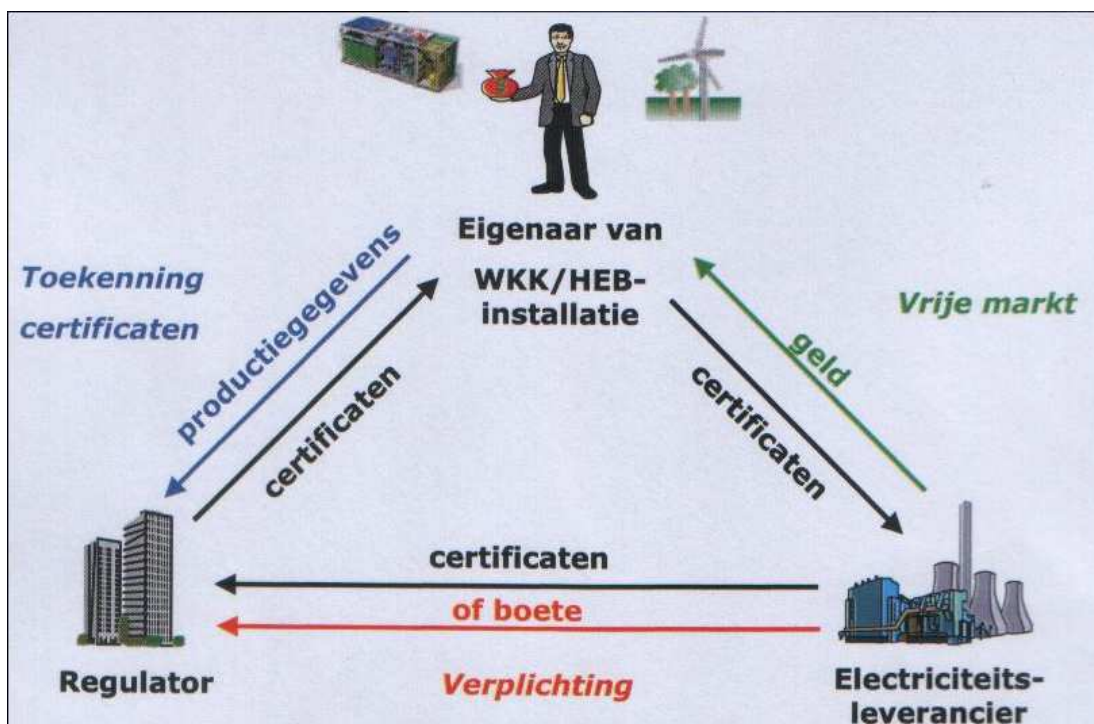
Een verhoogde investeringsaftrek is een federale steunmaatregel. Concreet betekent deze maatregel dat er een bepaald percentage van het investeringsbedrag kan afgetrokken worden voor de belastbare winst. Voor energiebesparende ondernemingen bedraagt dit 14,5% in 2007. Deze maatregel geldt alleen voor nieuwe investeringen en is eenmalig. (Federale Overheid, 2006)

De ecologiepremie is alleen geldig in het Vlaamse gewest. Het is een steun van de Vlaamse Overheid voor bedrijven die investeren in milieutechnologie of energiebesparing. Deze steun is van toepassing op de meerkost, bekeken ten opzichte van een gescheiden productie, van de investering. De ecologiepremie is verschillend voor grote en kleine ondernemingen: een grote onderneming kan rekenen op 25% steun en een kleine of

middelgrote onderneming op 35%. Dit percentage kan nog verhoogd worden indien het bedrijf in het bezit is van een milieucertificaat. De uitbetaling van de steun gebeurt normaal in drie schijven. (Vlaamse Overheid, 2005)

7.2 Uitbatingsubsidies

Een tweede soort steun waarvan bedrijven gebruik zouden kunnen maken in geval van warmtekrachtkoppeling, is via een systeem van verhandelbare certificaten. Dat systeem werd door de drie gewesten; het Vlaamse Gewest, het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en het Waalse Gewest, geïmplementeerd. Maar de implementatie gebeurde op een verschillende manier. In Vlaanderen worden de WKK- certificaten verkregen op basis van de bespaarde energie. Bovendien heeft men ook nog groenestroomcertificaten voor de elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen. Het Waalse Gewest en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest daarentegen hebben één systeem van groenestroomcertificaten, voor zowel hernieuwbare energie als WKK. De certificaten worden daar toegekend op basis van een vermindering van de CO₂ uitstoot.



Figuur 17: Principe van een certificatenstelsel (COGEN Vlaanderen, 2006)

Het principe van een certificatenstelsel, hetzij voor groene stroom, hetzij voor warmtekrachtkoppeling, wordt weergegeven in figuur 17. De eigenaar van een WKK of een installatie voor elektriciteitsproductie uit hernieuwbare energie krijgt certificaten, nadat hij de nodige productiegegevens doorgegeven heeft aan de regulator. De regulator voor Vlaanderen is de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de elektriciteits- en gasmarkt (VREG). Deze certificaten kan de eigenaar dan verkopen aan elektriciteitsleveranciers. Dat gebeurt aan de marktprijs want de certificatenmarkt is een vrije markt. Het marktmechanisme regelt er alles. Dat betekent verder dat men kan kiezen aan welke elektriciteitsleveranciers men wil verkopen. De leveranciers van elektriciteit worden periodiek verplicht, voor Vlaanderen jaarlijks, een bepaald aantal certificaten in te leveren bij de regulator. Het aantal certificaten wordt op voorhand vastgelegd, het quotum. Wanneer de elektriciteitsleveranciers het quotum niet halen, moeten ze per ontbrekend certificaat een boete betalen.

7.2.1 Groenestroomcertificaten in Vlaanderen

In Vlaanderen is het systeem van groenestroomcertificaten sinds 1 januari 2002 in werking. Het doel is om elektriciteit afkomstig uit hernieuwbare energiebronnen aan te moedigen. Per 1 MWh geproduceerde elektriciteit krijgt de producent één certificaat.

Elke elektriciteitsleverancier is verplicht om een bepaalde hoeveelheid 'groene' elektriciteit te leveren. Die hoeveelheid wordt bepaald aan de hand van zijn totale elektriciteitsproductie. In 2002 bedroeg die minimale hoeveelheid 0,8% van de totale productie. Voor 2010 is de doelstelling 6%. Op basis daarvan berekent de VREG hoeveel certificaten elke leverancier moet indienen. Via het aantal binnen geleverde certificaten controleert de VREG of de leveranciers het minimum behaald hebben. Eén certificaat toont immers aan dat 1 000 kWh opgewekt werd uit een hernieuwbare energiebron. (VREG, 2007)

De boete die de elektriciteitsleverancier moet betalen indien hij onvoldoende certificaten inlevert, bedraagt 125 EUR per ontbrekend certificaat. De huidige marktprijs bedraagt 110 EUR per certificaat. In principe is de boeteprijs ook de maximale marktprijs voor een certificaat. Toch kan deze marktprijs de boeteprijs soms licht overstijgen. Bij een schaarste aan certificaten benadert de marktprijs de boeteprijs. Door voldoende hoge

quota op te leggen aan de elektriciteitsleveranciers kan de schaarste bekomen worden. Bovendien kunnen groenestroomcertificaten verkocht worden tegen vastgestelde prijzen aan ELIA of aan de distributienetbeheerder. (Vlaamse Energieagentschap, 2007)

7.2.2 Warmtekrachtcertificaten in Vlaanderen

Het systeem van warmtekrachtcertificaten is sinds 1 januari 2005 operationeel in Vlaanderen. Reeds op 5 maart 2004 keurde de Vlaamse Regering het besluit inzake warmtekrachtcertificaten goed. Het is nodig om de doelstelling van de Vlaamse overheid, een opgesteld elektrisch vermogen aan kwalitatieve warmtekrachtkoppeling van 1 832 MW in 2012, te behalen. Dit systeem bevordert de primaire energiebesparing door de aanwending van kwalitatieve WKK- installaties voor de productie van elektriciteit en warmte.

7.2.2.1 De toekenning van warmtekrachtcertificaten

De eigenaar van een kwalitatieve WKK- installatie moet zich wenden tot het VREG om warmtekrachtcertificaten te verkrijgen. De basis van dit certificatenstelsel in Vlaanderen is de besparing van primaire energie, bekeken ten opzichte van de gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit. Deze energiebesparing leidt ertoe dat CO₂ uitstoot, een externe kost van de elektriciteitsproductie, vermeden wordt. (COGEN Vlaanderen, 2006)

Er wordt gewerkt met rendementen van referentie- installaties om de gescheiden productie te kunnen beoordelen. De Vlaamse overheid (2006) heeft deze referentierendementen voor Vlaanderen vastgelegd in een besluit van 7 juli 2006. De VREG kan deze op elk moment aanpassen aan de stand van de techniek. Momenteel bedraagt het referentierendement van een ketel voor gescheiden warmteproductie 85% respectievelijk 90% indien de warmte geleverd wordt onder de vorm van stoom respectievelijk warm water. Voor een WKK- installatie op biogas wordt als thermisch referentierendement 70% gekozen.

Voor een gescheiden opwekking van elektriciteit neemt men 55% als rendement van de referentiecentrale indien de WKK- installatie aangesloten is op een elektriciteitsnet met

nominale spanning hoger dan 15 kV. Indien deze WKK- installatie aangesloten is op een elektriciteitsnet met nominale spanning lager of gelijk aan 15 kV, dan neemt men 50% als referentierendement. Voor warmtekrachtinstallaties die gebruik maken van hernieuwbare energiebronnen wordt het elektrisch rendement van de referentiecentrale gelijkgesteld aan 42 % bij de toepassing van biogas, 42,7 % bij de toepassing van vloeibare biobrandstoffen, 34 % bij de toepassing van hout of houtafval, en 25 % bij de toepassing van andere vaste biomassastromen. (Vlaamse Overheid, 2006)

Het aantal certificaten dat een WKK- producent voor een installatie kan krijgen, kan worden bepaald door de absolute primaire energiebesparing van de installatie te berekenen. Per gerealiseerde MWh primaire energiebesparing in de voorbije maand ontvangt de producent één certificaat. Maandelijks worden deze toegekend door de VREG. De formule (Stroobandt, 2007) om de absolute primaire energiebesparing (PEB) te bepalen is:

$$PEB = E \times \left(\frac{1}{\eta_E} + \frac{\alpha_Q}{\alpha_E \times \eta_Q} - \frac{1}{\alpha_E} \right)$$

Hierin is:

PEB :de absolute primaire energiebesparing

E :de binnen de beschouwde periode (maand) door de warmtekrachtinstallatie geproduceerde hoeveelheid elektriciteit (in MWh)

α_Q :het thermisch rendement van de warmtekrachtinstallatie

η_Q :het thermisch rendement van de referentieketel

α_E :het elektrisch rendement van de warmtekrachtinstallatie

η_E :het elektrisch rendement van de referentiecentrale

De afleiding van de formule is als volgt:

Voor een WKK- installatie op warmte gedimensioneerd met een thermisch vermogen P_{th} is het elektrisch vermogen P_e :

$$P_e = \frac{\alpha_E}{\alpha_Q} P_{th}$$

- De nodige brandstof per seconde bij afzonderlijke productie:

$$\frac{P_e}{\eta_E} + \frac{P_{th}}{\eta_Q} = \left(\frac{\alpha_E}{\alpha_Q} \cdot \frac{1}{\eta_E} + \frac{1}{\eta_Q} \right) \cdot P_{th}$$

- De nodige brandstof per seconde bij gezamenlijke productie:

$$\frac{P_{th}}{\alpha_Q}$$

- De relatieve besparing ten opzichte van een elektriciteitsproductie E geleverd door een vermogen P_e :

$$\frac{PEB}{E} = \frac{\left(\frac{\alpha_E}{\alpha_Q} \cdot \frac{1}{\eta_E} + \frac{1}{\eta_Q} - \frac{1}{\alpha_Q} \right) \cdot P_{th}}{\frac{\alpha_E}{\alpha_Q} \cdot P_{th}} = \frac{1}{\eta_E} + \frac{\alpha_Q}{\alpha_E \cdot \eta_Q} - \frac{1}{\alpha_E}$$

Het elektrisch en thermisch rendement van de warmtekrachtinstallaties worden bepaald na meting van de nuttige output en de verbruikte brandstof. Het zijn gemiddelden beschouwd over een bepaalde periode. Enkel voor installaties kleiner dan 200 kW mogen de rendementen van de ontwerpgegevens gebruikt worden.

Om certificaten te kunnen ontvangen moet de WKK- installatie aan een aantal voorwaarden voldoen: de installatie moet in het Vlaams Gewest gelegen zijn, in dienst genomen zijn na 1 januari 2002 en voldoen aan de definitie van kwalitatieve warmtekrachtkoppeling. Deze definitie hebben we voorheen al besproken en luidt als volgt: een gemiddelde relatieve primaire energiebesparing van minimaal 10% realiseren ten opzichte van de referentie-installaties voor gescheiden opwekking en voor kleinschalige installaties is een relatieve primaire energiebesparing van 0% voldoende.

7.2.1.2 Warmtekrachtcertificatenverplichting

Net als bij de groenestroomcertificaten is iedere elektriciteitsleverancier verplicht, sinds 2005, bij te dragen tot een besparing van een bepaalde hoeveelheid primaire energie en dat door middel van warmtekrachtkoppeling. De hoeveelheid te besparen primaire energie komt overeen met een bepaald minimumaandeel van de elektriciteit die hij in totaal levert aan zijn klanten. In 2005 bedroeg dit minimumaandeel 1,19% en op dit ogenblik 2,96%. Dat zal toenemen tot 5,23% vanaf 2012. De controle gebeurt bij de VREG aan de hand van het aantal certificaten dat iedere leverancier heeft ingeleverd. Hij

kan het aantal certificaten bekomen door zelf een besparing te realiseren via warmtekrachtkoppeling of hij kan certificaten aankopen van eigenaren van een WKK-installatie. (VREG, 2007)

De warmtekrachtcertificaten hebben wel een uitdovend karakter. De eerste vier jaar dat een WKK operationeel is, kunnen alle certificaten ingeleverd worden om te voldoen aan het minimumaandeel. Nadien vertoont het warmtekrachtcertificatensysteem een degressieve inleverbaarheid. Vanaf maand 49, wordt er nog slechts een fractie X van de certificaten aanvaard. Deze fractie X wordt bepaald op basis van de relatieve primaire energiebesparing.

$$X = \frac{RPE - 0,2 \times (T - 48)}{RPE}$$

Met:

RPE : de relatieve primaire energiebesparing

T : periode tussen de datum van indienstneming en productiemaand vermeld op het warmtekrachtcertificaat, uitgedrukt in maanden

Een installatie die dus relatief veel brandstof bespaart, kan dan langer genieten van steun. Een goede WKK kan een degressieperiode van acht jaar of zelfs langer hebben. Dit betekent een steun, die wel afneemt in de tijd, van twaalf jaar. (Stroobandt, 2007)

Indien de elektriciteitsleverancier te weinig warmtekrachtcertificaten binnen brengt, voldoet hij dus niet aan zijn verplichting. Hij zal dan een boete moeten betalen die de externe kost dekt. Deze boete bedraagt momenteel 45 EUR per ontbrekend certificaat. De huidige marktwaarde van een certificaat is 40,5 EUR. De verhouding marktprijs boeteprijs bedraagt steeds ongeveer 90%. Evenals bij de groenestroomcertificaten is de boeteprijs in feite de maximale marktprijs, maar dat is niet altijd zo. Het kopen van een certificaat is immers aftrekbaar van de belastingen maar het betalen van een boete niet. (VREG, 2007)

7.2.2.3 Een combinatie met groenestroomcertificaten

Een combinatie van groenestroomcertificaten en warmtekrachtcertificaten is ook mogelijk. Een WKK- installatie aangedreven door een hernieuwbare energiebron maakt dit mogelijk. Omdat het rendement van een groene WKK- installatie niet zo hoog ligt, mogen voor de berekening van het aantal certificaten andere en lagere referentierendementen gebruikt worden. Anders zouden er amper certificaten kunnen worden behaald. Als thermisch referentierendement gebruikt men 70% indien de brandstof biogas is. Het elektrisch referentierendement is afhankelijk van de gebruikte brandstof: 42% voor biogas, 42,7% voor vloeibare biobrandstoffen, 34% voor hout of houtafval en 25% voor andere vaste biomassaströmen. (COGEN Vlaanderen, 2006)

7.2.3 Het certificatenstelsel elders in België

7.2.3.1 Waalse Gewest

Het certificatenstelsel in het Waalse Gewest verschilt van dat van het Vlaamse Gewest. Waar men in Vlaanderen twee aparte systemen heeft, bestaat er in het Waalse Gewest maar één systeem. Dat systeem omvat zowel de elektriciteitsproductie uit hernieuwbare energiebronnen als warmtekrachtkoppeling. Het voordeel van één certificatenstelsel is dat de certificatenmarkt meer liquide wordt en de administratie eenvoudiger is. Natuurlijk vereist één systeem ook een andere basis om het aantal certificaten te berekenen. Er wordt gekozen voor de CO₂ emissiereductie die de installatie realiseert. Het systeem van het Waalse Gewest is minder objectief dan in Vlaanderen. Het Vlaamse Gewest pakt het CO₂ probleem bij de bron aan door het verbruik van minder primaire energie te belonen.

Om de CO₂ emissiereductie te bepalen zijn er referentierendementen nodig. Deze rendementen zijn gebaseerd op de emissiefactoren voor brandstoffen. Internationaal is vastgelegd hoeveel CO₂ uitgestoten wordt bij de verbranding van een eenheid brandstof. Maar het Waalse Gewest neemt buiten de uitstoot van de verbranding, ook die van de productie, het transport en de voorbehandeling op in de emissiefactoren, om zo de emissie- uitstoot te bepalen.

Tabel 4: Emissiefactoren van brandstoffen in het Waalse certificatenstelsel (CWaPE, 2007)

Energiebron	kg CO₂/MWh
Fossiel	
Aardgas	251
Gasolie	306
Lichte-zware stookolie	310
Extra zware stookolie	320
Steenkool	385
Niet Fossiel	
wind/zon/biologisch afbreekbare organische stoffen (*)	0
Hout (energieteelt)	45
Hout (andere types)	23
(*) Opmerking: waar nodig worden ook volgende processen verrekend:	
Vermalen van hout	4
Drogen van hout	10
Transport over een afstand van minder dan 100km	5

Tabel 4 geeft de emissiefactoren weer die gelden in het Waalse Gewest. Steeds wordt er vergeleken ten opzichte van een STEG- centrale met een elektrisch rendement van 55% en ten opzichte van een ketel met een thermisch rendement van 90%. Dus een gasgestookte STEG- centrale heeft, per 1 MWh, een uitstoot van 456 kg CO₂/ MWh.

Om in aanmerking te komen voor het ontvangen van certificaten, moet de installatie een minimale relatieve emissiebesparing van 10% realiseren. Het maximum van de relatieve energiebesparing is vastgelegd op 200%. De quota bedraagt 7% in 2007. Het betreft hier wel het gezamenlijke aandeel voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling. De boeteprijs per ontbrekend certificaat ligt in het Waalse Gewest op 100 EUR.

7.2.3.2 Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Het Brussels Hoofdstedelijk Gewest heeft net als het Waalse Gewest slechts één systeem. De groene certificaten zijn gebaseerd op de vermeden CO₂ emissies, net als in Wallonië. De emissiefactoren worden op dezelfde manier berekend maar de resultaten zijn anders.

Tabel 5: De emissiefactoren van brandstoffen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Aardgas	217kg CO ₂ / MWh
Stookolie	306kg CO ₂ / MWh
steen­kool	385kg CO ₂ / MWh

De warmtekrachtinstallatie wordt hier ook vergeleken ten opzichte van de rendementen 55% (voor elektriciteit) en 90% (voor warmte).

De berekening van het aantal certificaten verschilt in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest ten opzichte van Wallonië. Bovendien ligt de minimumvereiste hier ook lager, namelijk een primaire emissiebesparing van 5% is al voldoende voor het verkrijgen van certificaten. De quota liggen op 2,5%. De boete, die de elektriciteitsleveranciers dienen te betalen per ontbrekend certificaat, bedraagt 75 EUR. (COGEN Vlaanderen, 2006)

HOOFDSTUK 8: HET AZ SINT-JOZEF TE MALLE ALS POTENTIEEL VOORBEELD VOOR WARMTEKRACHTKOPPELING IN DE TERTIAIRE SECTOR

In dit hoofdstuk gaan we na of het rendabel is om een WKK- installatie te installeren in een ziekenhuis. Eerst wordt de gevalstudie gesitueerd en daarna voeren we de vier stappen van een haalbaarheidsstudie uit.

8.1 AZ Sint-Jozef Malle

Het Algemeen Ziekenhuis Sint-Jozef is een regionaal ziekenhuis dat gesitueerd is in het domein Zoersel-Malle. (zie bijlage 1) Het domein bevat verder ook nog het psychiatrisch centrum Bethanië. Om aan de noden van de psychiatrische patiënten te voldoen, werd in 1949 het ziekenhuis opgericht. Naast een brede waaier van basisdiensten en specialismen biedt het de dag van vandaag ook een aantal gespecialiseerde diensten aan: een afdeling voor niervervangende therapie, een afdeling voor spoedgevallen en een sterk uitgebouwde dringende hulpverlening met Mug-functie. Het AZ Sint-Jozef behandelt jaarlijks meer dan 17 000 patiënten jaarlijks en heeft een capaciteit van 255 bedden. Het ziekenhuis maakt deel uit van de vzw Emmaüs, een christelijke vereniging voor gezondheids- en welzijnszorg.

8.2 Analyse van de energievraag

Het uitgangspunt van een haalbaarheidsstudie is de analyse van de energievraag. De analyse moet zo nauwkeurig mogelijk gebeuren. Het verloop van de energievraag kan bekomen worden op basis van metingen, facturen, kengetallen of ervaringscijfers. Eens de energievraag gevonden is, dient het voor WKK relevante deel van de warmte en elektriciteit beschouwd te worden. In het eenvoudigste geval is deze gelijk aan de totale energievraag.

Metingen zijn de meest nauwkeurige methode om deze energievraag te bepalen. Maar ze brengen een aanzienlijke kost mee en vergen heel wat tijd. De metingen moeten immers over een voldoende lange periode gebeuren. Daarom wordt voor een haalbaarheidsstudie vaak gebruikt gemaakt van 12 maandelijks facturen om zo een totaal jaaroverzicht te bekomen. Door middel van typeprofielen wordt dan de spreiding van de energievraag over een week of een dag weergegeven.

In de tertiaire sector bestaat de energievraag meestal uit een elektriciteitsverbruik voor diverse toepassingen en een brandstofverbruik voor het verwarmen van ruimtes en het produceren van warm water. Hoewel energiefacturen een eerste idee geven van de energievraag, is het toch te verkiezen de dimensionering van een WKK- installatie te baseren op metingen, zeker wanneer de totale energievraag niet gelijk is aan de relevante energievraag. (Belcogen)

8.2.1 Warmtevraag

Momenteel maakt men in het AZ Sint-Jozef gebruik van gasgestookte ketels om warmte op te wekken. Hun vermogen bedraagt 2 933,1 kW (=3 x 977,7 kW) of ongeveer 3 MW. Om de warmtevraag te bepalen, zijn er geen meetgegevens of facturen van een gans jaar beschikbaar. Er zijn enkel jaarlijkse verbruiksgegevens beschikbaar. Dat verbruik wordt aangewend voor drie verschillende doeleinden: verwarming, warm water en overige toepassingen zoals bijvoorbeeld koken en stoomproductie. Het gemiddelde aardgasverbruik van de jaren 2003, 2004 en 2005 is terug te vinden in tabel 6. Het aardgasverbruik dat nodig is voor de overige toepassingen is niet relevant voor de WKK- installatie. In bijlage 2 zien we hoe we aan die gemiddelde waarden zijn gekomen.

Tabel 6: Het gemiddelde aardgasverbruik en het WKK- relevante verbruik

	Gemiddelde
Verbruik	
in Nm ³	408.512,00
in kWh	4.174.040,77
Verwarming (66,5%)	2.775.737,11
Warm water (20%)	834.808,15
Andere toepassingen (13,5%)	563.495,50
Relevant verbruik	
in kWh	3.610.545,27

Aardgas wordt steeds gefactureerd op de bovenste verbrandingswaarde. Maar deze bovenste verbrandingswaarde is enkel relevant indien de latente warmte van de waterdamp in de rookgassen gerecupereerd wordt: zoals bijvoorbeeld gebeurt bij het condenseren van de rookgassen. De gemiddelde calorische bovenwaarden voor 2003, 2004 en 2005 worden weergegeven in tabel 7. Deze gemiddelden zijn gebaseerd op meetgegevens van Indexis (zie bijlage 3). Voor 2003 waren enkel gegevens beschikbaar vanaf juli.

Tabel 7: Gemiddelde calorische bovenwaarden

Jaar	kWh/Nm³	kJ/Nm³
2003	10,15	36.543,30
2004	10,22	36.788,61
2005	10,28	37.003,02

In de praktijk wordt deze warmte echter niet gebruikt en maakt men gebruik van de onderste verbrandingswaarde, die gemiddeld 90% van de bovenste verbrandingswaarde bedraagt. Het verschil tussen de onderste en bovenste verbrandingswaarde is de afwezigheid respectievelijk aanwezigheid van latente warmte. De bovenste verbrandingswaarde bevat ook de hoeveelheid warmte die vrijkomt wanneer de waterdamp in de verbrandingsgassen condenseert. Indien het rendement van een niet condenserende ketel 90% op basis van de onderste verbrandingswaarde bedraagt, dan is de warmtevraag gelijk aan $0.9 \times 0.9 = 0.81$ maal het aardgasverbruik in kWh op de factuur. De gemiddelde warmtevraag bedraagt 2 924 541,67 kWh. Indien men dus zonder nadenken een WKK op basis van de aardgasfactuur plaatst, zou het kunnen dat de installatie te groot gedimensioneerd wordt voor wat betreft de warmtevraag.

8.2.2 Elektriciteitsvraag

Metingen zijn ook de beste manier om de elektriciteitsvraag het nauwkeurigst te bepalen. Toch maakt men ook hier vaak gebruik van maandelijks facturen. Voor het domein Zoersel-Malle zijn wel maandelijks facturen beschikbaar, maar we zijn enkel geïnteresseerd in het elektriciteitsverbruik voor het AZ Sint-Jozef. We maken hiervoor gebruik van kengetallen. Echter voor een definitieve concrete haalbaarheidsstudie kan je beter geen gebruik maken van kengetallen. (Belcogen)

Als kengetal voor het elektriciteitsverbruik van een ziekenhuis in België heb ik 7,370 MWh per bed per jaar gevonden. Aangezien er in het AZ Sint-Jozef 255 bedden opgesteld staan, bedraagt het jaarlijkse elektriciteitsverbruik, ruwweg berekend, 1 879,350 MWh.

8.3 Dimensionering van de energievraag

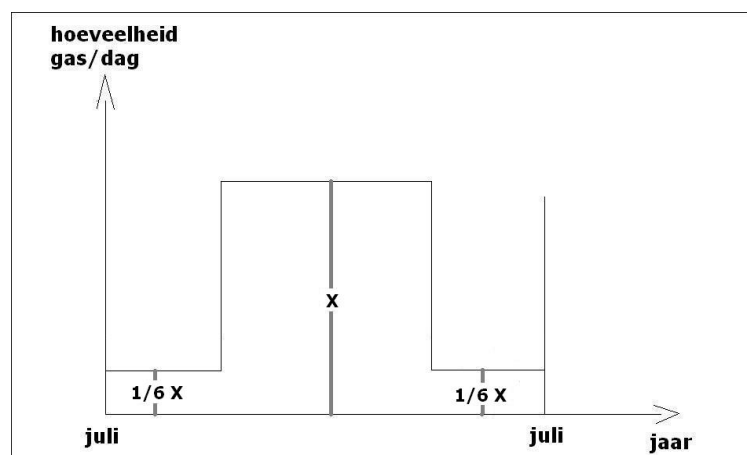
Nadat de energievraag in kaart is gebracht, kan de WKK- installatie gedimensioneerd worden. Een WKK- installatie levert zowel warmte als elektriciteit in een bepaalde verhouding. Meestal komt de vraag naar warmte en elektriciteit niet in deze verhouding overeen. De WKK- installatie moet dus zo gedimensioneerd worden dat er zoveel mogelijk een constant vermogen wordt geleverd zonder warmte te moeten weg koelen, zonder te veel op deellast te moeten werken en zonder de installatie voortdurend stil te moeten leggen. (COGEN Vlaanderen, 2006)

Een hulpmiddel om juist te dimensioneren zijn de jaarbelastingsduurcurven (jbdc) voor elektriciteit en warmte. Beide curven worden soms ook wel monotone diagramma's genoemd. Ze geven het aantal uren per jaar weer dat men een bepaalde energievraag heeft. Op de X-as ziet men de totale periode uitgedrukt in uur, één jaar of 8760 uur. Deze waarden per uur worden niet chronologisch gerangschikt maar volgens grootte. Uit deze curven kan men dan het vermogen en het aantal draaiuren bepalen van de installatie die het meeste warmte of elektriciteit produceert. Hiervoor wordt naar de grootste rechthoek onder de jbdc gezocht. Dat geeft dan een goed idee van de grootte en het type van machine dat nodig is. Op de markt kan men dan op zoek gaan naar bestaande configuraties die het theoretisch optimum qua grootte benaderen.

8.3.1 Jaarbelastingsduurcurve warmte

Een WKK wordt meestal gedimensioneerd op de warmtevraag. De warmte is immers energetisch het belangrijkste aangezien deze niet stockeerbaar is. Overbodige warmte kan men enkel maar weg koelen. Elektriciteit daarentegen kan men gemakkelijk transporteren. Een warmtegedimensioneerde WKK die meer elektriciteit produceert dan nodig, kan deze elders nuttig aanwenden. Een elektrisch gedimensioneerde WKK daarentegen kan een teveel aan warmte niet altijd nuttig aanwenden en moet deze overtollige warmte dan weg koelen. Daarom is de jbdc van warmte het belangrijkste en op basis daarvan wordt de vermogensgrootte van een WKK- installatie bepaald.

Aangezien we niet over maandelijkse facturen beschikken, gaan we de jbdc op een andere manier benaderen. In figuur 18 stellen we, op een grove wijze, de hoeveelheid gas voor in functie van de periode van het jaar. De maanden juli, augustus, september, april, mei en juni stellen we voor als de zomermaanden. Het ganse jaar door is er vraag naar warm water. Verwarming is in deze zomermaanden niet nodig. Daarnet hebben we gezien dat 20% en 66,5% van het aardgasverbruik respectievelijk voor warm water en verwarming werd gebruikt. Dit komt overeen met 23% (= 20% / 86,5%) van de warmtevraag voor warm water. Dit betekent dat verwarming 77% (= 66,5% / 86,5%) van de warmtevraag inneemt. Warm water bedraagt dus 1/4 van de totale warmtevraag. In figuur 18 kiezen we ervoor om tijdens de zomermaanden slechts 1/6 van de totale warmtevraag aan warm water toe te kennen. In de zomer neemt men meestal minder warm water, bijvoorbeeld om zich te wassen. Daarom deze kleine correctie.



Figuur 18: De hoeveelheid verbruikt gas in de tijd

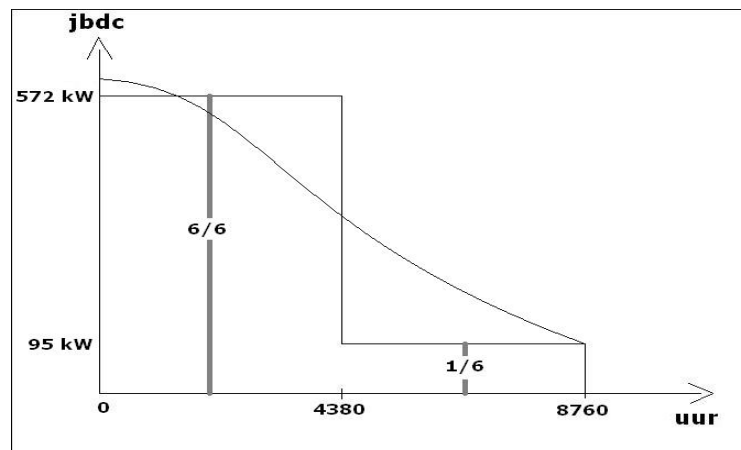
We weten dat de oppervlakte in figuur 18 gelijk is aan de totale warmtevraag, namelijk 2 924 541 kWh. Om de waarde X te kennen lossen we de volgende vergelijking op:

$$0,5X + 0,5 \times \frac{X}{6} = 2\,924\,541$$

Hieruit volgt dat X, de hoeveelheid gas dat er in de wintermaanden nodig is, gelijk is aan 5 013 499 kWh. De basisbehoefte aan warm water die er heel het jaar door is, bedraagt 835 583 kWh.

Op basis van deze gegevens kunnen we de jbdc nu gaan opstellen (figuur 19). De waarden worden hier volgens grootte gerangschikt. De gebogen lijn is een meer realistische jaarbelastingsduurcurve. Maar we gaan ons hier eerst toespitsen op de geblokte figuur. De Y-waarden zijn we bekomen doordat de oppervlakte gelijk is aan de totale warmtevraag. De figuur kan opgedeeld worden in zeven gelijke delen.

- (1) $1/7 \times 2\,924\,541 = 417\,791$ kWh
→ $417\,791 \text{ kWh} / 4380 \text{ uur} = 95 \text{ kW}$
- (2) $6/7 \times 2\,924\,541 = 2\,506\,749$ kWh
→ $2\,506\,749 \text{ kWh} / 4380 \text{ uur} = 572 \text{ kW}$



Figuur 19: Jaarbelastingsduurcurve voor warmte

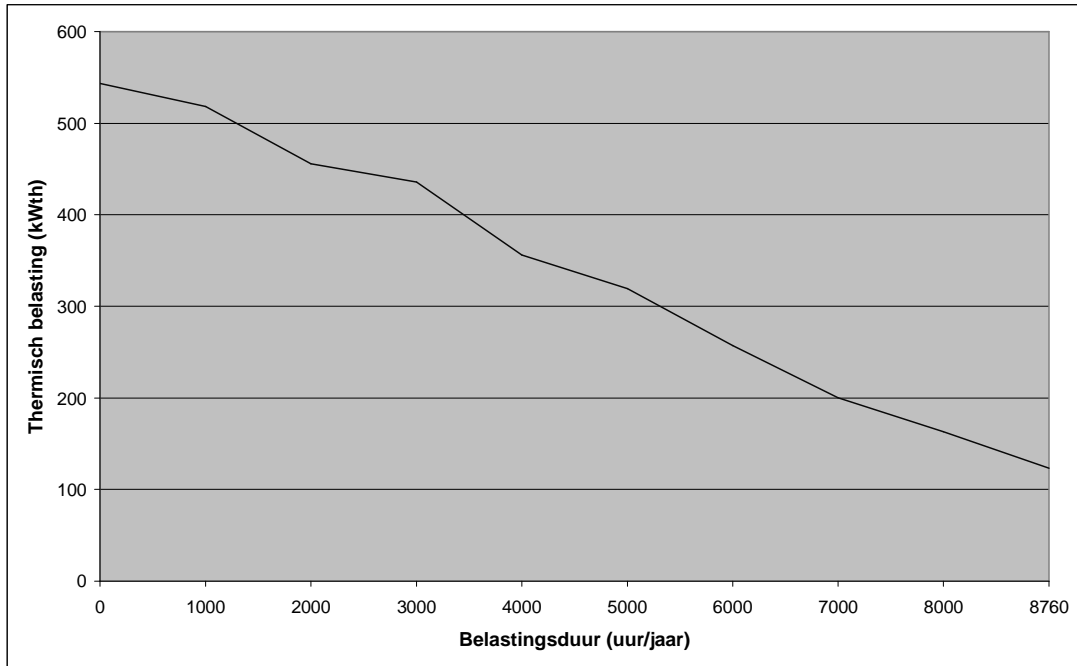
Nu gaan we proberen een meer realistischere jaarbelastingsduurcurve op te stellen. Figuur 19 is een extreem geval. De jbdc gaat eerder een meer vloeiend verloop kennen, net zoals in de figuur al is geschetst door de gebogen lijn. Hiervoor gaan we gebruik maken van temperatuuren. Deze werkwijze steunt op het feit dat de verwarmingsvraag afhankelijk is van het verschil tussen binnen- en buitentemperatuur. De warmtevraag

daarentegen, 95 kWth, blijft constant het ganse jaar door. De gemiddelde binnentemperatuur in het ziekenhuis bedraagt 18°C. In een ziekenhuis vindt er een continue activiteit plaats, 7 dagen op 7 en 24 uur op 24 uur. Als buitentemperatuur hebben we gekozen voor maandelijkse temperatuurgegevens, afkomstig van het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI, 2007) voor het weerstation in Deurne (Antwerpen). De berekening van de temperatuururen is als volgt: het totaal aantal uren van een maand wordt vermenigvuldigd met het verschil tussen de gewenste binnentemperatuur en de gemiddelde buitentemperatuur. Vervolgens wordt de totale verwarmingsvraag opgedeeld per maand in verhouding met het aantal temperatuururen die maand. Hieruit wordt dan de gemiddelde verwarmingsvraag berekend. Wanneer men daarbij de vaste verwarmingskost van 95 kWth optelt, bekomt men de gemiddelde warmtevraag. In bijlage 4 worden de resultaten van de methode weergegeven. Tabel 8 toont ons de uiteindelijke gemiddelde warmtevraag.

Tabel 8: De gemiddelde warmtevraag voor het AZ Sint-Jozef

MAAND	GEMIDDELDE WARMTEVRAAG (kWth)
Januari	543,66
Februari	518,10
Maart	455,63
April	356,24
Mei	256,86
Juni	163,15
Juli	123,40
Augustus	126,24
September	200,07
Oktober	319,33
November	435,75
December	515,26

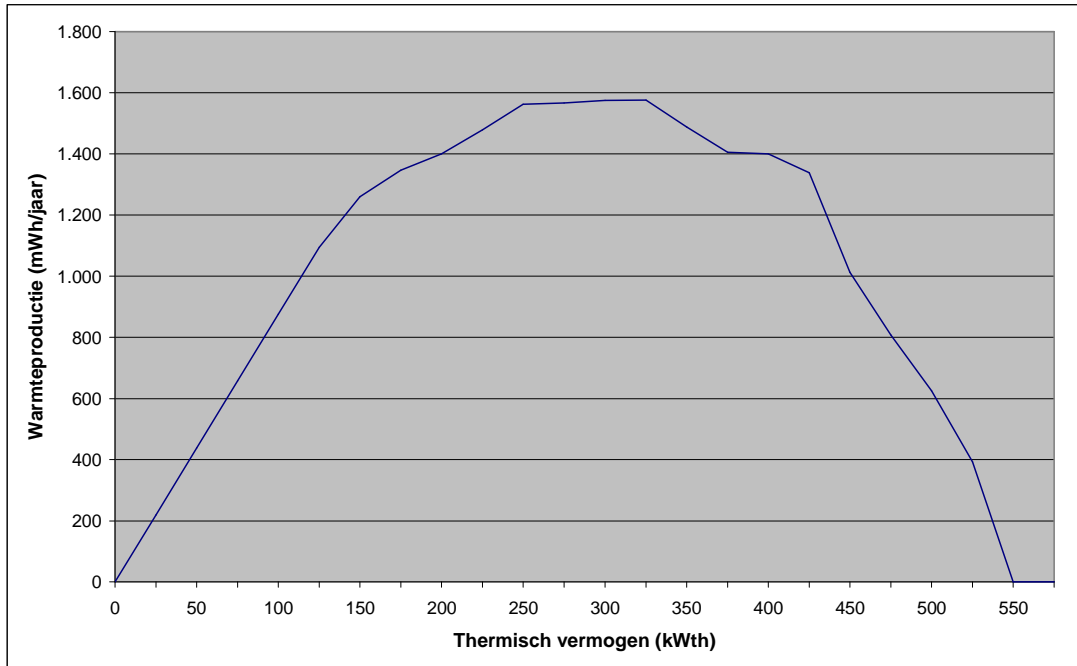
Op basis van de gemiddelde gegevens uit tabel 8 wordt dan de jaarbelastingsduurcurve voor warmte opgesteld. Deze gemiddelde gegevens worden niet chronologisch gerangschikt maar volgens grootte.



Figuur 20: Jaarbelastingsduurcurve voor warmte op basis van gemiddelde maandelijks warmtevraag

Uit deze curve kunnen we concluderen dat er een basisbelasting is van 123 kWth, waarvan 95 kWth afkomstig voor de vraag naar warm water. Er bestaan nu allerlei mogelijkheden om een WKK op basis van deze jbdc te dimensioneren. Er kunnen verschillende horizontale lijnen getrokken worden om zo de ideale thermische belasting en belastingsduur te bepalen. We kunnen met andere woorden uit figuur 20 afleiden hoeveel uur een WKK met een specifiek thermisch vermogen op vollast kan werken. Bijvoorbeeld een WKK- installatie met een thermisch vermogen van 400 kWth zal gedurende 3500 uur op vollast kunnen draaien. Een installatie met een vermogen van 500 kWth daarentegen, kan maar maximaal 1250 uur op vollast draaien.

Wanneer wordt er nu de meeste winst behaald? Daarvoor kunnen we figuur 21 opstellen. Deze figuur vertelt ons hoeveel warmte een machine met een bepaald vermogen jaarlijks op vollast kan produceren (figuur 21). Dat is enkel geldig indien de vraag naar warmte in de toekomst gelijk is aan de huidige vraag.



Figuur 21: Thermisch vermogen (kWth)

Uit deze figuur blijkt dat met een installatie met een thermisch vermogen tussen 250 kWth en 325 kWth, de grootste hoeveelheid elektriciteit geproduceerd kan worden. Maar deze waarde houdt geen rekening met de elektriciteitsvraag en met het werken op deellast. Nochtans kunnen sommige machines op deellast werken. Verder zegt deze curve ook niets over de rentabiliteit. Een WKK van 300 kWth kan weliswaar meer produceren dan een installatie met een thermisch vermogen van bijvoorbeeld 200 kWth, maar de investeringskost kan in het eerste geval ook veel hoger liggen.

Tabel 9: Aantal draaiuren in vollast voor een WKK- installatie met een bepaald thermisch vermogen

Thermisch vermogen WKK- installatie (KW)	Aantal draaiuren in vollast
325	4.800
300	5.300
287,5	5.500
260	6.000
200	7.000
123	8.760

8.3.2 Jaarbelastingsduurcurve elektriciteit

Toch zijn er ook twee argumenten om wel op basis van de elektriciteitsvraag te dimensioneren. Bij een warmtegedimensioneerde WKK kan het voorkomen dat de WKK niet actief is bij een hoge elektriciteitsvraag. Bijgevolg moet deze aangekocht worden bij het openbare net en dat kan leiden tot een hoge penalisatie voor het piekverbruik. Bovendien is de teruglevering van overtollige elektriciteit economisch niet meer aantrekkelijk sinds de liberalisering van de elektriciteitsmarkt. Op basis van deze argumenten kan men er toch voor kiezen om de WKK elektrisch te dimensioneren, maar dat is in de praktijk erg onwaarschijnlijk.

Wij kiezen ervoor om te dimensioneren op warmte. Overschot aan elektriciteit kan immers aan het net geleverd worden of naar andere gebouwen op het domein Zoersel-Malle getransporteerd worden en mogelijke tekorten kunnen bij het net aangekocht worden. Voor warmte is dit niet zo eenvoudig. Bovendien zijn er te weinig gegevens beschikbaar om de jbdc voor elektriciteit op te stellen. Maar het principe verloopt hetzelfde als bij de jbdc van warmte.

8.3.3 Evaluatie van de jaarbelastingsduurcurve en bepaling van de meest geschikte technologie

De volgende stap is een keuze maken tussen de verschillende beschikbare technologieën op basis van de verzamelde gegevens. In theorie is het voldoende om de grootste rechthoek onder de jbdc te zoeken, maar in praktijk is dat niet zo gemakkelijk. Je moet rekening houden met de kostprijs van de installatie, met de beperking dat niet alle vermogens op de markt beschikbaar zijn, de betrouwbaarheid van de installatie, is deellastwerking mogelijk... (Dexters, 2007)

Voor het AZ Sint-Jozef geldt dat de gewenste warmte een temperatuurniveau lager dan 120 °C heeft. Aan stoom is er niet echt behoefte, enkel aan warm water. Daarom lijkt een verbrandingsmotor het meest aangewezen. Als brandstof kiezen we voor aardgas. De huidige verwarmingsketel werkt al op aardgas en een dieselmotor produceert meer schadelijke uitlaatgassen. Daarenboven zien we in figuur 20 dat een WKK- installatie met

een thermisch vermogen groter als 500 kW niet optimaal is aangezien de capaciteit van de machine dan slechts gedurende maximaal 1200 uur benut kan worden.

De jaarbelastingcurven kunnen helpen met het zoeken naar de theoretische optimale installatie. Uit de jbdc voor warmte (figuur 20) kunnen we concluderen dat een thermisch vermogen van 325 kW vereist is om zoveel mogelijk warmte te produceren. Het aantal uren in vollast bedraagt dan 4 800 uren. Dat is slechts in 55% van het jaar, een half jaar ongeveer, dat de machine op vollast kan draaien. Door de machine te onderdimensioneren kunnen we het aantal uren in vollast opdrijven en de overtollige warmte verminderen.

8.4 Rentabiliteitsbeoordeling van de WKK

Na de analyse en de dimensionering van de energievraag, analyseren we nu de technisch mogelijke configuraties economisch. Deze analyse gaat na of de voorgestelde investering rendabel is. Hiervoor gaan we de situatie met WKK- installatie vergelijken met de situatie zonder WKK- installatie. In figuur 13 (hoofdstuk 6) hebben we de structuur van de kosten en baten al weergegeven.

De WKK- installatie die we gekozen hebben is een aardgasmotor van het model Nedalo, met als type motor MAN E2842E van producent Cogenco. Deze heeft een thermisch vermogen van 261 kWth. Volgens de jbdc van warmte kan deze installatie 5850 uur in vollast draaien. Andere technische specificaties zijn terug te vinden in tabel 10.

Tabel 10: Technische specificaties van de WKK- gasmotor, MAN E2842E (CHPQA, 2007)

Thermisch vermogen	261 kWth
Elektrisch vermogen	168 kWe
Opgenomen vermogen	542 kW of 53,03 Nm ³ /u
Thermisch rendement	48%
Elektrisch rendement	31%

Wat investerings-, onderhouds- en uitbatingskosten betreft, maken we gebruik van algemene richtcijfers uit de literatuur. Deze cijfers zijn enkel waardevol voor een eerste benadering. Voor concrete projecten is het steeds aangewezen een gerichte offerte aan te vragen bij verschillende leveranciers. Voor het onderhoud wordt verondersteld dat dit

uitbesteed wordt aan een externe firma. In Vlaanderen is uitbesteding de meest gangbare vorm van onderhoud. In dat geval liggen de onderhoudskosten wel hoger en is men afhankelijk van de onderhoudsfirma. Een voordeel is dat men een betere kijk heeft op de kosten en de verantwoordelijkheid ligt bij de externe firma. Onderhoudscontracten worden gedefinieerd per draaiuur en het aantal draaiuren wordt daarbij geschat.

Buiten deze kosten vinden we ook baten die mee helpen beslissen over de rentabiliteit van een project. Zo hebben we te maken met de vermeden brandstofkost van een ketel. De warmte wordt nu niet meer door de ketel geleverd maar door de WKK- installatie. Verder kunnen we ook subsidies en WKK- certificaten behalen die de rentabiliteit doen stijgen.

8.4.1 Bespreking van de economische evaluatiemethode

De economische evaluatie gebeurt op basis van verwachte kasstromen. De investering van een WKK- installatie brengt in- en uitgaven met zich mee die over verschillende perioden gespreid zijn. Het werken met verwachte kasstromen heeft twee voordelen ten opzichte van het werken met boekhoudkundige resultaten (opbrengsten en kosten). Een inkomende kasstroom kan steeds belegd worden en een kasstroom is objectiever te bepalen dan een boekhoudkundige opbrengst. Zij worden onder andere beïnvloed door afschrijfmethodes en waarderingsgrondslagen.

Om de kasstromen te bepalen is het noodzakelijk enkel de differentiële kasstromen op te nemen. Dat zijn in- en uitgaven die ontstaan ten gevolge van het installeren van een WKK en die niet zouden voorkomen in de huidige situatie, zonder WKK. De jaarlijkse netto- kasstromen worden berekend door de jaarlijkse uitgaven te verminderen met de jaarlijkse inkomsten. Op basis hiervan zullen we dan enkele beoordelingscriteria berekenen en bespreken.

8.4.1.1 Investerings- en exploitatiekosten

Zoals we daarnet al aangehaald hebben, maken we hiervoor gebruik van kengetallen. Voor de investeringskost wordt een bedrag van 900 EUR/kWe aangerekend. In deze prijs

zit alles inbegrepen. Deze kan natuurlijk variëren met de specifieke behoeften die een bedrijf kan hebben. Het onderhoud werd verondersteld uitbesteed te worden en hiervoor is er een onderhoudskost gelijk aan 2,184 EUR/draaiuur. De bedieningskosten bedragen 10 000 EUR/jaar. In deze getallen zit nog geen BTW vervat. Onderhoudskosten en bedieningskosten worden verondersteld gedurende 10 jaren constant te blijven, aangezien dat de standaard afschrijvingsperiode is van een WKK- installatie. De technische fiche van de gekozen WKK- motor en algemene gegevens betreffende de investerings- en exploitatiekosten zijn terug te vinden in bijlage 5.

8.4.1.2 Energievraag en energieprijzen

Bij de economische evaluatie wordt verondersteld dat de energievraag in de volgende 10 jaar gelijk is aan de huidige energievraag. Een tweede veronderstelling die we maken is het feit dat de energieprijzen de komende 10 jaren constant blijven. Het is moeilijk te voorspellen hoe deze cijfers zullen evolueren op de korte termijn. Op halflange termijn verwacht men eerder een stijging van de energieprijzen. Met deze veronderstellingen wordt dan een basisscenario opgesteld. In een latere fase kunnen we dan de gevolgen op de rentabiliteit bekijken van een stijging of daling van de energieprijzen. Dat kan gemakkelijk berekend worden door het aangemaakte Microsoft Excel programma.

De aardgasprijs die het AZ Sint-Jozef werd aangerekend, vertoonde in 2005 een sterke stijging. In januari 2005 bedroeg de gasprijs 0,022883 EUR/kWh en in december 2005 was de gasprijs gestegen tot 0,029649 EUR/kWh. De trend voor 2006 is een relatief stabiele, maar aanhoudende hoge gasprijs op het niveau van december 2005.

De gemiddelde elektriciteitsprijs per kWh in het AZ Sint-Jozef bedroeg 0,0755 EUR/kWh. Deze prijs was lichtjes gedaald ten opzichte van de vorige jaren door een nieuw contract met Electrabel. Maar hier wordt verwacht dat de eerste golf van dalende prijzen, te wijten aan de liberalisering van de elektriciteitsmarkt, voorbij is en de prijs dus eerder terug gaat stijgen naar het niveau van voor de liberalisering.

8.4.1.3 Besparing op de energierekening

In het basisscenario wordt verondersteld dat de energievraag en ook de energieprijzen de volgende 10 jaar hetzelfde blijven. Daarom is de jaarlijkse energierekening zonder WKK gelijk aan de huidige aardgas- en elektriciteitsrekening (bijlage 6).

Om de energierekening met WKK te berekenen, wordt de energievraag vergeleken met de door WKK geproduceerde energie. Deze wordt berekend op basis van het aantal draaiuren en het elektrisch en thermisch vermogen van de installatie. Het brandstofverbruik van de WKK- installatie wordt bepaald door het gasverbruik per draaiuur, oftewel het opgenomen vermogen in vollast, uitgedrukt in kWh, te vermenigvuldigen met het aantal draaiuren.

Het tekort aan warmte door de WKK wordt door de verwarmingsketel aangevuld. De hoeveelheid aardgas die de ketel daarbij verbruikt, wordt berekend door de overgebleven warmtevraag, in kWh, te delen door het jaarrendement van de ketel en de verhouding calorische onderwaarde op calorische bovenwaarde. Bijkomende elektriciteit wordt, indien nodig, aangekocht bij de elektriciteitsleverancier. Bij een overschot aan elektriciteit geproduceerd door de WKK, stellen we voor dat deze elektriciteit geleverd kan worden aan andere voorzieningen in het domein Zoersel-Malle.

De gerealiseerde jaarlijkse besparing op de energierekening bedraagt 36 080,60 EUR. Bijlage 6 geeft de situatie voor de komende 10 jaar weer, gerekend volgens het basisscenario.

8.4.1.4 Subsidies

Zoals we vroeger gezien hebben, bestaan er verschillende investeringssubsidies. Het AZ Sint-Jozef zou in aanmerking kunnen komen voor de verhoogde investeringsaftrek. Deze bedraagt momenteel 14,5% op het geïnvesteerde bedrag. Dat bedrag kan dus van de initiële investeringsuitgave afgetrokken worden.

8.4.1.5 WKK- certificaten

Het aantal certificaten wordt bepaald op basis van de primaire energiebesparing. De formules zijn terug te vinden in hoofdstuk 7. De huidige marktprijs van een WKK-certificaat wordt geschat op 90% van de boete, die 45 EUR per ontbrekend certificaat bedraagt. De inleverbaarheid van de certificaten vertoont een degressief verloop (bijlage 8). De looptijd van de WKK- certificaten bedraagt 10 jaar.

8.4.2 Samenvatting en resultaten van het basisscenario

Het basisscenario bevatte een aantal veronderstellingen:

- Exploitatievorm: eigen beheer, onderhoud wordt uitbesteed
- Investeringskost: 900 EUR/kWe (exclusief BTW)
- Onderhoudskost: 2,184 EUR/draaiuur (exclusief BTW)
- Bedieningskost: 10 000 EUR/jaar
- Energievraag: constant en gelijk aan de energievraag van 2005
- Energieprijzen: constant en gelijk aan de energieprijzen van 2005
- Marktwaaarde van de WKK- certificaten: 90% van de boeteprijs, die 45 EUR/MWh bedraagt

De investeringsanalyse van het basisscenario geeft volgende resultaten weer (bijlage 7):

- Terugverdiëntijd= 6 jaar
- NCW (2%)= 64 395,31 EUR
- NCW (4,36%)= 42 611,61 EUR
- NCW (5%)= 37 279,40 EUR
- NCW (7,5%)= 18 464,85 EUR
- NCW (10%)= 2 404,65 EUR
- Interne opbrengstvoet= 10,41%

8.4.2.1 Toelichting bij de resultaten

De terugverdiëntijd is een voor de hand liggend criterium en wordt dan ook vaak gebruikt. Een goed project moet minimaal in staat zijn om zichzelf terug te verdienen.

Hierbij wordt er geen rekening gehouden met de tijdswaarde van het geld. De som van de inkomende kasstromen moet de som van de uitgaande kasstromen overtreffen. Een snelle terugverdientijd is vanzelfsprekend beter als een trage. In ons geval wordt de initiële investeringsuitgave dus binnen de 6 jaar terugbetaald door de cumulatieve kasstroom. Deze terugverdientijd wordt beoordeeld ten opzichte van een vooraf bepaalde termijn.

De netto contante waarde (NCW) daarentegen houdt wel rekening met de tijdswaarde van het geld. Alle kasstromen worden hier verdisconteerd naar eenzelfde tijdstip, het moment van de investering, tegen een gekende kapitaalkost of vereist rendement k . Indien de NCW positief is, zal men de investering aanvaarden, in het andere geval verwerpen. In formulevorm betekent dit:

$$NCW = \sum_{t=1}^n \frac{KS_t}{(1+k)^t} - I_0 > 0$$

Met KS_t = netto kasstroom in jaar t
 I_0 = initiële investeringsbedrag
 n = economische levensduur van het project
 t = tijdsindex voor de perioden
 k = kapitaalkost of discontovoet

Als discontovoet hebben we verschillende percentages genomen. Allereerst 2%, omdat dit ongeveer het percentage is dat je bekomt wanneer je je geld op de bank spaart. De tweede discontovoet, 4,36%, is het percentage dat je krijgt bij aanschaffing van een overheidsobligatie. Verder hebben we nog discontovoeten 5%, 7,5% en 10% gebruikt. Bij elke gebruikte kapitaalkost is de netto contante waarde positief en dus interessant om te investeren.

Een methode die nauw samenhangt met de NCW is de interne opbrengstvoet (IOV). Deze bestaat erin te bepalen voor welke discontovoet de NCW gelijk aan 0 wordt. Als deze rendementsvoet hoger ligt dan de door het management bepaalde vereiste rendement, dan zal de investering uitgevoerd worden. Hoewel de NCW- methode betrouwbaarder is, blijkt uit verscheidene investeringsanalyses dat de IOV- methode de meest populaire is. De IOV van het basisscenario bedraagt 10,41%. (Laveren et al, 2002; Mercken, 2003)

8.5 Sensitiviteitsanalyse

De resultaten worden sterk beïnvloed door het aantal draaiuren, dat liefst zo hoog mogelijk is; door de elektriciteitsprijs; die ook liefst zo hoog mogelijk is, en door de certificaten en hun marktwaarde. Uiteraard speelt ook de gasprijs een rol. Een lage gasprijs is gunstiger, maar de invloed van de gasprijs is kleiner dan deze van de elektriciteitsprijs, aangezien aardgas zowel aan de kosten- als aan de batenzijde tussenkomt. Al deze factoren kunnen variëren in de tijd. Het verdient de aanbeveling de economische analyse niet uit te voeren voor één bepaalde waarde van deze parameters, maar ook na te gaan wat de invloed van een wijziging van deze parameters zal betekenen voor de economische haalbaarheid van een project.

Door in bijlage 9 de jaarlijkse prijsverandering van aardgas of elektriciteit in te vullen, worden automatisch de resultaten aangepast. Verder kunnen we hier ook de onderhoudskosten per draaiuur laten variëren of de boeteprijs van de certificaten aanpassen.

Een stijging van de gasprijs zal steeds een stijging van de elektriciteitsprijs veroorzaken en vice versa. Een stijging van de elektriciteitsprijs is gunstig voor de rentabiliteit terwijl een stijging van de aardgasprijs een ongunstig effect heeft. We hebben dus onderzocht hoeveel beide prijzen mogen stijgen zonder effect te hebben op de rentabiliteit. De gasprijs mag twee keer zo sterk stijgen als de elektriciteitsprijs. Indien de gasprijs niet het dubbele stijgt van de prijs van elektriciteit, verbetert de rentabiliteit.

Bij het constant houden van alle parameters zien we dat de NCW met een discontovoet van 10% negatief wordt...

- indien de aardgas jaarlijks met meer als 1% stijgt;
- indien de elektriciteitsprijs met meer als 1% per jaar daalt;
- als de onderhoudskost per draaiuur met 3% stijgt;
- wanneer de marktprijs van een certificaat daalt onder de 39,45 EUR.

Dit zijn erg kleine verschillen omdat ons basisscenario maar een IOV heeft van 10,41%. We rekenen hier natuurlijk ook met een discontovoet van 10%, wat toch al wel een vrij hoog vereist rendement inhoudt.

Wanneer we hetzelfde doen maar dan met een discontovoet van 7.5%, komen we tot de volgende resultaten:

- De aardgasprijs mag jaarlijks met meer als 7,05% stijgen voordat de NCW negatief wordt.
- Een jaarlijkse daling van de elektriciteitsprijs van 3,6% maakt de NCW negatief.
- De onderhoudskost mag maximaal 2,56 EUR/draaiuur bedragen om net geen negatieve NCW te krijgen. Dit is een stijging van maar liefst 17,3%.
- De marktprijs van een certificaat lager dan 33,17EUR zou ons een negatieve NCW opleveren.

8.5.1 Opmerkingen

Zonder de investeringssubsidies en WKK- certificaten zou de interne opbrengstvoet negatief worden en het project niet rendabel zijn.

Een machine installeren die deellastwerking aankan, zal het aantal draaiuren nog doen stijgen wat positief is. Echter is deellastwerking ook verantwoordelijk voor een daling van het elektrisch rendement en een stijging van de onderhoudskosten wat dan weer nadelig is voor de rentabiliteit

In deze haalbaarheidsstudie werd verder geen rekening gehouden met de mogelijkheid tot trigeneratie. Nochtans zou dit ook wel interessant kunnen zijn. De warmte- en koudevraag van het AZ Sint-Jozef zijn immers complementair en dat komt de rentabiliteit ten goede. De WKK- installatie kan men zo tijdens de zomerperiode ook laten draaien en de geproduceerde warmte via een absorptiekoelmachine omzetten in koude.

Bovendien zou ook het idee kunnen onderzocht worden, om een WKK te installeren voor het gehele domein Zoersel-Malle. Er zal dan natuurlijk wel moeten afgewogen worden of het interessant is om één grote WKK- installatie te installeren of enkele kleinere om zo de transportverliezen van warmte in te dijken.

HOOFDSTUK 9: CONCLUSIES

Vele sectoren hebben behoefte aan warmte en elektriciteit en zijn daarom geschikt voor toepassing van de warmtekrachtkoppeling technologie. Warmtekrachtkoppeling is de gelijktijdige productie van warmte en elektriciteit. Het is een vorm van rationele energiebesparing. Hierdoor worden er minder fossiele brandstoffen verbruikt. Buiten de brandstofkosten die men kan besparen door middel van WKK, worden er ook externe kosten bespaard. Doordat de brandstoffen efficiënter gebruikt worden, daalt ook de uitstoot van schadelijke stoffen (roet, NO_x, SO₂, CO,...). Belangrijk hierin is de vermindering van de CO₂ uitstoot. Dankzij het Kyoto-protocol wordt er streng toegekeken op hoeveelheid ton elk land mag uitstoten.

Bedrijven die nood hebben aan warmte, kunnen dus niet alleen geld besparen, maar ook België helpen om de Kyoto-norm te halen en om bij te dragen aan een beter en duurzaam leefmilieu. De overheid probeert deze bedrijven te belonen en andere bedrijven te overhalen om een WKK- installatie te implementeren. Daarvoor bestaan er verschillende steunmaatregelen. Zo kunnen bedrijven een ecologiesteun en een extra investeringsaftrek ontvangen. Verder heeft de overheid een systeem van certificaten ingevoerd. Bedrijven die niets doen om hun CO₂ uitstoot te beperken, kunnen boetes ontvangen.

Deze maatregelen moeten er verder voor zorgen dat de doelstelling van de Vlaamse overheid behaald wordt. De doelstelling is om tegen 2012 een opgesteld vermogen aan kwalitatieve warmtekrachtkoppeling van 1 832 MW elektrisch vermogen te hebben. Het merendeel van dit potentieel situeert zich in de industrie, maar ook de glastuinbouw en tertiaire sector hebben nog een groot potentieel.

Ziekenhuizen behoren tot deze categorie die nog een groot potentieel hebben. Zo hebben we een haalbaarheidstudie voor het Algemeen Ziekenhuis Sint-Jozef in Malle uitgevoerd. Het doel was om de rentabiliteit van een mogelijke WKK- installatie te beoordelen. Hieruit bleek dat de overheidsmaatregelen nodig zijn om warmtekrachtkoppeling rendabel te maken. En hoe je het ook draait of keert, de economische rentabiliteit blijft toch de doorslaggevende factor om al dan niet te investeren.

Met een verhoogde investeringsaftrek en met een systeem van warmtekrachtcertificaten werd het project wel rendabel. Hiervoor hebben we de terugverdiëntijd, de netto contante waarde en de interne opbrengstvoet berekend. De resultaten zijn de volgende:

Tabel 11: Rentabiliteitsbeoordeling

Terugverdiëntijd (TVT)	6 jaar
Netto constante waarde (NCW)	
discontovoet	
2,00%	64.395,31 €
4,36%	42.611,61 €
5,00%	37.279,40 €
7,50%	18.464,85 €
10,00%	2.404,65 €
Interne opbrengstvoet (IRR)	10,410%

Hieruit kunnen we dus besluiten dat het implementeren van een WKK- installatie in het AZ Sint-Jozef economisch rendabel is. Een sensitiviteitsanalyse toonde verder aan dat wanneer de aardgasprijs twee keer zo sterk stijgt als de elektriciteitsprijs, de resultaten hetzelfde blijven. Elektriciteitsprijzen zijn dus gevoeliger voor de rentabiliteit dan aardgasprijzen. Ook de marktprijs van de certificaten is van belang. Indien deze voldoende hoog blijft, wordt het project minder afhankelijk van andere invloedsfactoren en gaat de onzekerheid bij investeerders wegnemen. De overheid moet dus proberen om een stabiel investeringsklimaat te creëren.

Het onderzoek dat gedaan is voor het AZ Sint-Jozef heeft zeker nood aan extra uitdieping want er zit potentieel in. Er kan een kostenreductie behaald worden, zowel voor het AZ Sint-Jozef zelf als voor het milieu. Maar er zijn zeker ook nog andere aspecten die onderzocht zouden kunnen worden:

- 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.
- De implementatie van naast een WKK- installatie, ook een absorptiekoelmachine. Dat biedt de mogelijk om naast warmte en elektriciteit, ook koude te produceren. Dit noemt trigeneratie. Het zorgt bovendien voor een hoger rendement. In het Virga Jesse ziekenhuis in Hasselt wordt trigeneratie al toegepast.

- Het toepassen van warmtekrachtkoppeling op het gehele domein Zoersel-Malle.

Het onderzoeken van deze gevalstudie kan veel nuttige informatie voor het AZ Sint-Jozef opleveren. Het lijkt mij daarom ook aangewezen om dit door een professioneel bureau te laten doen, want zoals het onderzoek in verscheidene ziekenhuizen al heeft bewezen is het wel degelijk een haalbare kaart.

LIJST VAN GERAADPLEEGDE WERKEN

AMPERE (2000) '*Rapport voor de AMPERE aan de staatssecretaris voor energie en duurzame ontwikkeling*', geraadpleegd via

http://www.mineco.fgov.be/energy/ampere_commission/Rapport_nl.htm

ARBEID & MILIEU (2006) '*KYOTO laat je niet koud*', geraadpleegd via

http://www.a-m.be/AM_Kyotobrochure_def.pdf

BELCOGEN (2002) '*Handboek warmtekrachtkoppeling*', Mechelen, Energik

BELCOGEN (2004) '*Handboek warmtekrachtkoppeling addendum*', Mechelen, Energik

BELCOGEN, '*Handleiding "haalbaarheidsstudies warmtekrachtkoppeling"*', Mechelen, Energik

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

CEULEMANS, R. en Deraedt, W. (1997) '*Snelgroeiende energie*', Natuur en Techniek, 22-31

COGEN VLAANDEREN (2004) '*Wegwijzer 2004*', Leuven, Cogen Vlaanderen vzw

COGEN VLAANDEREN (2006) '*Basishandboek warmtekrachtkoppeling*', Leuven, Cogen Vlaanderen vzw

DE CEUSTER, G. (2004) '*Internalisering van externe kosten*', studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, Transport & Mobility geraadpleegd via

http://www.tmleuven.be/project/externekosten/2004-03_samenvatting.pdf

DE JONG, K. (2002) '*Koelen met restwarmte is best wel aantrekkelijk!*', Verwarming en ventilatie, April 2002

DEXTERS, A. (2007) '*Kleine WKK's*', Excursie Duurzaam Bouwen (9/05/2007)

EUROPESE COMMISIE (2006) '*DRAFT Belgian National Allocation Plan for CO2-emission allowances 2008-2012*', geraadpleegd via
http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/nap_belgium_final.pdf

GIANCOLI, D.C. (2005) '*Physics, sixth edition*', New Jersey, Prentice Hall.

ISMAËL, D. en Lebbe, Y. (2005) '*Inleiding tot warmtekrachtkoppeling. Bepaal de relevantie van de installatie van een centrale met warmtekrachtkoppeling.*', Brussels instituut voor milieubeheer (BIM) geraadpleegd via
http://www.ibgebim.be/nederlands/pdf/Entreprise/Energie/2_WKK_Brochure_mei%202006.pdf

LAVAREN, E., Engelen, P., Limère, A., en Vandemaele, S. (2004) '*Handboek financieel beheer*' (2^e editie), Antwerpen, Intersentia

MANCA, J. (2006) '*Het Energievraagstuk: situering, uitdagingen en oplossingen*', Diepenbeek, U Hasselt

MERCKEN, R. (2004) '*De investeringsbeslissing. Een beleidsgerichte analyse.*', Antwerpen, Garant

MERTENS, D. (2005) '*Warmtekrachtkoppeling: technische aspecten*', Leuven, Cogen Vlaanderen vzw

ORGANISATIE VOOR DUURZAME ENERGIE VLAANDEREN (2007) Duurzame Energie: Wegwijzer 2007, Kessel-Lo, ODE-Vlaanderen

PEETERS, E., Aernouts, K., Daems, T. (2007) '*WKK-inventaris Vlaanderen Stand van zaken 2005 (2)*', VITO geraadpleegd via
http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/economie/energiesparen/doc/energiegegevens_wkkinventaris.pdf

PEETERS, K. (2006) '*Sterke daling van de Vlaamse broeikasgasemissies in 2005*', geraadpleegd via

http://www.emis.vito.be/EMIS/Media/nieuwsbericht_07-11-06_sterke_daling_vlaamse_broeikasgasemissies_in_2005.pdf

STROOBANDT, A. '*Warmtekrachtcertificaten in Vlaanderen*', Leuven, Cogen Vlaanderen vzw

STROOBANDT, A. (2006) '*Hoe interessant is WKK voor een KMO?*', EcoMagazine, 22, 10-12

TORFS, R., De Nocker, L., Schrooten, L., Aernouts, K., Liekens, I. (2005), '*Internalisering van externe kosten voor de productie en de verdeling van elektriciteit in Vlaanderen*', studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2005/02, VITO geraadpleegd via

http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/03_GEVOLGEN/03_03/ECON_O&O_07.PDF

VITO (2004) '*Microturbines, een nieuwe opportuniteit voor de toekomst*', geraadpleegd via

http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/economie/energiesparen/doc/wkk_microturbine.pdf

VLAAMSE OVERHEID, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (2006) '*Het Klimaat verandert. U ook? Vlaams Klimaatbeleidsplan 2006-2012*', geraadpleegd via

http://www.lne.be/themas/klimaatverandering/toncontract/vkp_2006-2012_def.pdf

VOKA, '*Steek WATT in je zak!*', VOKA, geraadpleegd via

<http://www.steekwattinjezak.be/PDF/Steek%20Watt%20in%20je%20zak.pdf>

LIJST VAN GERAADPLEEGDE SITES

<http://aps.vlaanderen.be/>
<http://aps.vlaanderen.be/sgml/largereeksen/1745.htm>
<http://www.belgium.be/eportal/index.jsp>
http://www.chpqa.com/guidance_notes/CHPQA_UNIT_LIST.pdf
http://www.climatechange.be/climat_klimaat/nl
<http://www.climateregistry.be>
<http://www.cwape.be/>
<http://www.electrabel.be>
<http://www.energieprojecten.nl>
http://www.energieprojecten.nl/edu/ut_absorptiekoeling.html
<http://www.energiesparen.be>
http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/wkk.php
<http://www.indexis.be>
<http://www.meteo.be>
<http://www.milieurapport.be>
<http://www.mineco.fgov.be>
http://www.mineco.fgov.be/energy/renewable_energy/renewable_energy_nl_001.htm
http://www.mineco.fgov.be/enterprises/vademecum/Vade23_nl-04.htm
<http://www.senternovem.nl>
<http://www.statbel.fgov.be>
<http://www.trigemed.com>
<http://www.vlaanderen.be>
http://www.vlaanderen.be/MVG_CMS/uploads/EP%20infoteksten%2020051206.pdf
<http://www.vreg.be>
<http://www.warmtekrachtkoppeling.be>
<http://www.wikipedia.be>

LIJST VAN BIJLAGEN

BIJLAGE 1: Domeinplan Zoersel- Malle	
BIJLAGE 2 : Het aardgasverbruik van 2003, 2004 en 2005 van het AZ Sint-Jozef	
BIJLAGE 3: De calorische bovenwaarde van het aardgas geleverd aan het AZ Sint-Jozef...	
BIJLAGE 4: De maandelijkse gemiddelde warmtevraag van het AZ Sint-Jozef	
BIJLAGE 5: Inputgegevens voor de economische analyse	
BIJLAGE 6: Besparing op de energierekening	
BIJLAGE 7: Investeringsanalyse	
BIJLAGE 8: Bepaling van het aantal WKK- certificaten	
BIJLAGE 9: Sensitiviteitsanalyse	

BIJLAGE 2 : Het aardgasverbruik van 2003, 2004 en 2005 van het AZ Sint-Jozef

	2003	2004	2005	Gemiddelde
Verbruik				
in Nm ³	398.689,00	399.270,00	427.577,00	408.512,00
in kWh	4.047.058,81	4.080.163,42	4.394.900,08	4.174.040,77
Verwarming (66,5%)	2.691.294,11	2.713.308,67	2.922.608,55	2.775.737,11
Warm water (20%)	809.411,76	816.032,68	878.980,02	834.808,15
Andere toepassingen (13,5%)	546.352,94	550.822,06	593.311,51	563.495,50
Relevant verbruik				
in kWh	3.500.705,87	3.529.341,36	3.801.588,57	3.610.545,27
Warmtevraag (aangepast aan onderste verbrandingswaarde en ketelrendement)				
in kWh	2.835.571,76	2.858.766,50	3.079.286,74	2.924.541,67

BIJLAGE 3: De calorische bovenwaarde van het aardgas geleverd aan het AZ Sint-Jozef

Calorische bovenwaarde (kWh/Nm³)			
maand	2003	2004	2005
januari		10,2642	10,0822
februari		10,3315	10,1093
maart		10,3401	10,0530
april		10,3753	10,3587
mei		10,3938	10,3620
juni		10,0419	10,3896
juli	10,0038	9,9744	10,3996
augustus	10,0084	9,9456	10,4148
september	10,0189	10,3503	10,4061
oktober	10,2416	10,3504	10,4094
november	10,3129	10,2877	10,3067
december	10,3199	9,9735	10,0520
Gemiddelde calorische bovenwaarde (kWh/Nm³)			
	10,15091667	10,21905833	10,27861667
Gemiddelde calorische bovenwaarde (kJ/Nm³)			
	36.543,30	36.788,61	37.003,02

(1kWh = 3600 kJ)

BIJLAGE 4: De maandelijkse gemiddelde warmtevraag van het AZ Sint-Jozef

MAAND	GEMIDDELDE TEMPERATUUR (°C)	TOTAAL AANTAL UREN	TEMPERATUUREN
Januari	2,2	744	11.755
Februari	3,1	672	10.013
Maart	5,3	744	9.449
April	8,8	720	6.624
Mei	12,3	744	4.241
Juni	15,6	720	1.728
Juli	17,0	744	744
Augustus	16,9	744	818
September	14,3	720	2.664
Oktober	10,1	744	5.878
November	6,0	720	8.640
December	3,2	744	11.011
		8.760	73.565

MAAND	TOTALE VERWARMINGSVRAAG (kWh)	GEMIDDELDE VERWARMINGSVRAAG (kWh)	GEMIDDELDE WARMTEVRAAG (kWh)
Januari	333.802,54	448,66	543,66
Februari	284.325,07	423,10	518,10
Maart	268.309,64	360,63	455,63
April	188.096,17	261,24	356,24
Mei	120.422,44	161,86	256,86
Juni	49.068,57	68,15	163,15
Juli	21.126,74	28,40	123,40
Augustus	23.239,42	31,24	126,24
September	75.647,37	105,07	200,07
Oktober	166.901,27	224,33	319,33
November	245.342,83	340,75	435,75
December	312.675,80	420,26	515,26
	2.088.958	2.873,69	
	GEWENSTE BINNENTEMPERATUUR (°C) 18		
	VERWARMINGSVRAAG (kWh) 2.088.957,86		
	WARM WATERVRAAG (kWh/uur) 95,00		

BIJLAGE 5: Inputgegevens voor de economische analyse

Technische fiche van de WKK- installatie

Thermisch vermogen	261	kWth	
Elektrisch vermogen	168	kWe	
Opgenomen vermogen	542	kW	53,03 Nm ³ /u
Thermisch rendement	48%		
Elektrisch rendement	31%		

Calorische bovenwaarde van het geleverde aardgas

Aardgas 37.003,02 kJ/Nm³

Kosten

Investeringskost	900	EUR/kW geïnstalleerd elektrisch vermogen
Onderhoudskost	0,020	EUR/kWh geïnstalleerd elektrisch vermogen
Bedieningskosten	3,36	EUR/draaiuur
	10.000	EUR/jaar

BTW

21%

Ketelrendement

90%

Verhouding cow/cbw aardgas

90%

De grijze vakjes kunnen aangepast worden aan de specificaties van het type motor.

BIJLAGE 8: Bepaling van het aantal WKK- certificaten

maand	RPE (%)	X	aantal inleverbare certificaten	jaar
1...12	14,19	100,00%	486	1
13...24	14,19	100,00%	486	2
25...36	14,19	100,00%	486	3
37...48	14,19	100,00%	486	4
49	14,19	98,59%	479	5
50	14,19	97,18%	472	
51	14,19	95,77%	465	
52	14,19	94,36%	459	
53	14,19	92,95%	452	
54	14,19	91,54%	445	
55	14,19	90,13%	438	
56	14,19	88,72%	431	
57	14,19	87,31%	424	
58	14,19	85,90%	417	
59	14,19	84,49%	411	
60	14,19	83,08%	404	
61	14,19	81,67%	397	6
62	14,19	80,27%	390	
63	14,19	78,86%	383	
64	14,19	77,45%	376	
65	14,19	76,04%	370	
66	14,19	74,63%	363	
67	14,19	73,22%	356	
68	14,19	71,81%	349	
69	14,19	70,40%	342	
70	14,19	68,99%	335	
71	14,19	67,58%	328	
72	14,19	66,17%	322	
73	14,19	64,76%	315	7
74	14,19	63,35%	308	
75	14,19	61,94%	301	
76	14,19	60,53%	294	
77	14,19	59,12%	287	
78	14,19	57,71%	280	
79	14,19	56,30%	274	
80	14,19	54,89%	267	
81	14,19	53,48%	260	
82	14,19	52,07%	253	
83	14,19	50,66%	246	
84	14,19	49,25%	239	
85	14,19	47,84%	233	8
86	14,19	46,43%	226	
87	14,19	45,02%	219	
88	14,19	43,62%	212	
89	14,19	42,21%	205	

90	14,19	40,80%	198	
91	14,19	39,39%	191	
92	14,19	37,98%	185	
93	14,19	36,57%	178	
94	14,19	35,16%	171	
95	14,19	33,75%	164	
96	14,19	32,34%	157	
97	14,19	30,93%	150	9
98	14,19	29,52%	143	
99	14,19	28,11%	137	
100	14,19	26,70%	130	
101	14,19	25,29%	123	
102	14,19	23,88%	116	
103	14,19	22,47%	109	
104	14,19	21,06%	102	
105	14,19	19,65%	96	
106	14,19	18,24%	89	
107	14,19	16,83%	82	
108	14,19	15,42%	75	
109	14,19	14,01%	68	10
110	14,19	12,60%	61	
111	14,19	11,19%	54	
112	14,19	9,78%	48	
113	14,19	8,37%	41	
114	14,19	6,96%	34	
115	14,19	5,56%	27	
116	14,19	4,15%	20	
117	14,19	2,74%	13	
118	14,19	1,33%	6	
119	14,19			
120	14,19			

BIJLAGE 9: Sensitiviteitsanalyse

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AARDGAS										
aardgasprijs	0,02965	0,02965	0,02965	0,02965	0,02965	0,02965	0,02965	0,02965	0,02965	0,02965
index	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
jaarlijkse verandering	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ELEKTRICITEIT										
elektriciteitsprijs	0,075500	0,075500	0,075500	0,075500	0,075500	0,075500	0,075500	0,075500	0,075500	0,075500
index	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
jaarlijkse verandering	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ONDERHOUDSKOSTEN										
onderhoudskost	2,184									
WKK- CERTIFICATEN										
marktprijs	40,5									

De grijze vakjes kunnen ingevuld worden met de gewenste verandering. Zo wordt automatisch de terugverdientijd, de NCW en de IOV berekend.

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, de gevraagde informatie in te vullen (en de overeenkomst te ondertekenen en af te geven).

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

Warmtekrachtkoppeling in de tertiaire sector. Gevalstudie : AZ Sint Jozef Malle

Richting: **Handelsingenieur**

Jaar: **2007**

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

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik 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 mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Ik ga akkoord,

Bert EYCKMANS

Datum: **04.06.2007**