

Economische analyse van de integratie van warmtekrachtkoppeling in bedrijven

Gevalstudies

Jasper Olaerts

promotor :
Prof. dr. Theo THEWYS

Woord vooraf

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn opleiding handelsingenieur met als afstudeerrichting technologie-, innovatie- en milieumanagement.

Het onderwerp van deze masterproef ligt volledig in lijn met mijn interesse voor zowel nieuwe technologische ontwikkelingen als de duurzame ontwikkelingen binnen dit thema. Ook sluit dit onderwerp nauw aan bij mijn afstudeerrichting en leek het mij interessant om met verschillende bedrijven te kunnen samenwerken.

Dit werk kon enkel tot stand komen dankzij de steun van verschillende mensen. Via deze weg wens ik hen uitvoerig te bedanken. Eerst en vooral gaat een woord van dank uit naar Prof. dr. Theo Thewys zonder wie deze masterproef onmogelijk zou zijn geweest. Daarnaast wens ik de heer Danny Fenucci te bedanken voor het voorzien van de nodige praktische informatie. Verder wens ik alle milieu- en energieverantwoordelijken te bedanken bij wie ik op gesprek ben mogen komen naar aanleiding van mijn zoektocht naar een goed thema voor deze masterproef. Daarnaast wil ik ook Maarten Kupers bedanken voor de goede samenwerking.

Ten slotte wil ik mijn ouders, broer en vriendin super hard bedanken. Zij waren uiterst belangrijk voor de ontwikkeling en goede afloop van mijn studieloopbaan. Daarenboven hebben ze elk hun steentje bijgedragen aan deze masterproef.

Samenvatting

Bedrijven tonen steeds meer interesse in duurzamere bedrijfsactiviteiten en het reduceren van hun milieu-impact. De redenen hiervoor zijn veelzijdig. Zo functioneert het wettelijk kader op verschillende vlakken als een limiterende factor. Daarnaast zorgt de verschuiving van de maatschappelijke belangen ervoor dat de stakeholders meer en meer die bedrijven steunen met een overeenkomstig gedachtegoed. Bovendien daalt de voorraad fossiele brandstoffen en splijtstoffen die op dit moment dienst doen als hoofdbron voor de energieopwekking. Doordat vele brandstoffen ontgonnen worden in politiek minder stabiele regio's bestaat er tevens onzekerheid over de aanbodzijde. De vraag naar energie kent echter onder invloed van enkele sterk groeiende landen wereldwijd een sterke stijging. Deze ontwikkelingen van vraag en aanbod resulteren in een volatiele evolutie van de energieprijzen op korte termijn en een hoge energieprijsstijging op lange termijn. Geen van deze ontwikkelingen is ideaal voor bedrijven daar deze streven naar minder en beter voorspelbare kosten. Gezien deze evolutie moeten bedrijven bijgevolg op zoek naar technologieën die hun energieafhankelijkheid minimaliseren.

In dit onderzoek wordt onderzocht of de integratie van warmtekrachtkoppeling (WKK) in bedrijven een antwoord biedt op bovenstaand vraagstuk. Om de technologie en de terminologie van deze energieopwekkingmethode beter te begrijpen worden verschillende relevante principes met betrekking tot energie en energieconversie uitgediept. Hierbij gaat er aandacht uit naar de verschillende manieren van rendementsberekening die uitermate belangrijk is voor het vergelijken van verschillende energieconversietechnieken.

Warmtekrachtkoppeling is een energieopwekkingsmethode die zowel elektrische of mechanische energie als thermische energie opwekt op basis van één installatie, daar waar bij gescheiden opwekking van thermische en elektrische energie twee aparte installaties nodig zijn. Door de opwekking van twee verschillende energievormen beoogt men de efficiëntie van het energieverbruik te verhogen om zo primaire energie te besparen.

Vervolgens wordt de integratie van WKK in bedrijven onderzocht. Alvorens nagegaan kan worden of het integreren van een WKK-installatie economisch interessant is, moet worden onderzocht waarvan een goede integratie afhankelijk is.

Eerst wordt onderzocht hoe groot een installatie moet zijn om zo optimaal mogelijk te kunnen functioneren. Hierbij wordt getracht de installatie zo af te stemmen dat aan een zo groot mogelijk deel van de energievraag wordt voldaan zonder daarbij de technische beperkingen uit het oog te verliezen. Daarna worden er verschillende inkomsten en uitgaven in kaart gebracht die betrekking hebben op een investering in WKK. Naast het correct in kaart brengen van de inkomsten en uitgaven is het belangrijk deze op een correcte manier te implementeren in de investeringsanalyse. Aangezien deze investeringsanalyse beoogt na te gaan of de meerkost verbonden aan een WKK-installatie kan worden terugverdiend tijdens de nuttige levensduur van deze installatie, wordt er gewerkt met relatieve kasstromen. Hierbij worden de inkomsten en uitgaven verbonden aan het alternatieve scenario, namelijk de gescheiden opwekking van elektrische en thermische energie, afgewogen ten opzichte van de inkomsten en uitgaven van de WKK-installatie.

Voor twee verschillende gevalstudies wordt vervolgens de juiste dimensie bepaald op basis van de uiteengezette theorie. Verder worden alle relevante inkomsten en uitgaven bepaald behorende bij deze gevalstudie. Door middel van de investeringsanalyse worden vervolgens allerlei economische evaluatiemaatstaven in kaart gebracht. Op die manier wordt onderzocht of de implementatie van een WKK-installatie voor de twee gevalstudies interessant is. Voor elke gevalstudie wordt tevens een sensitiviteitsanalyse opgesteld om de invloed van verschillende economische parameters op de modeluitkomsten na te gaan. Daarnaast wordt voor de eerste gevalstudie de investering in WKK afgewogen ten opzichte van een investering in zonnepanelen. Ook de combinatie van beide technologieën en de sensitiviteit van de belangrijkste parameters worden in kaart gebracht. Voor de investeringsanalyse van de zonnepanelen worden berekeningen van de masterproef van Maarten Kupers geïntegreerd.

Inhoudstabel

WOORD VOORAF	II
SAMENVATTING	III
INHOUDSTABEL.....	V
LIJST MET FIGUREN	X
LIJST MET TABELLEN.....	XI
1 ONDERZOEKSPLAN.....	1
1.1 Praktijkprobleem.....	1
1.2 Centrale onderzoeksvraag.....	2
1.3 Deelvragen	3
2 INLEIDENDE BEGRIPPEN	4
2.1 Energie	4
2.2 Vormen van energie	5
2.3 Nuttige energie.....	5
2.4 Energetisch en exergetisch rendement.....	9
2.5 Verbrandingswaarde en rendement.....	11
2.6 Bronnen van energie	12
3 WARMTEKRACHTKOPPELING	13
3.1 Wat is Warmtekrachtkoppeling	13
3.2 De input.....	13
3.3 De output	15
3.3.1 Mechanische of elektrische energie	16
3.3.2 Thermische energie.....	17
3.3.3 Het energetisch rendement WKK	17

3.3.4	De kracht-warmteverhouding	19
3.3.5	Technische eigenschappen van de warmtekrachtkoppelinginstallatie	20
3.4	Waarom WKK	22
3.4.1	Primaire energie besparing.....	22
3.4.1.1	Het principe	22
3.4.1.2	Berekening en praktijk	25
3.4.2	Ecologische benadering	27
3.4.3	Economische benadering	30
3.4.4	Reputatie.....	31
3.5	Neveneffecten van decentrale elektriciteitsproductie.....	31
4	TECHNISCHE DIMENSIONERING VAN EEN WKK.....	33
4.1	Analyse van de energievraag.....	33
4.1.1	Belastingsprofielen.....	33
4.1.2	Belastingsduurcurven	34
4.2	Werkingsmode van het WKK-systeem	36
4.3	Procedure voor het dimensioneren van een WKK-systeem.....	37
4.3.1	De eerste fase: analyse van de relevante energievraag voor WKK.....	37
4.3.2	De tweede fase: selectie van technisch haalbare systemen	39
4.3.3	Derde fase: analyse van de financiële haalbaarheid.....	42
4.3.4	Vierde fase: gedetailleerd design	43
4.3.5	Vijfde fase: sensitiviteitsanalyse	43
5	ECONOMISCHE HAALBAARHEID VAN WARMTEKRACHTKOPPELING	44
5.1	Belangrijkste kosten.....	44
5.1.1	Investeringskost	45
5.1.2	Werkings- en onderhoudskosten	47
5.2	Belangrijkste baten of opbrengsten.....	49
5.2.1	Productie van warmte.....	49
5.2.2	Productie van elektriciteit.....	50
5.2.3	Subsidies	51
5.2.3.1	Investeringssubsidies.....	51
5.2.3.2	Uitbatingssubsidies	53
6	INVESTERINGSANALYSE.....	66

6.1	Inleiding	66
6.2	Algemene principes	67
6.2.1	Raming van de inkomsten en uitgaven	67
6.2.2	Kasstroom	67
6.2.3	Nominale versus reële kasstromen	68
6.2.4	Relatieve kasstromen	68
6.2.5	De relevante discontovoet.....	70
6.2.6	Lening	72
6.2.7	Levensduur	73
6.2.8	Dimensionering	73
7	GEVALSTUDIE 1	76
7.1	Dimensionering	76
7.2	De relatieve kasstromen	80
7.2.1	Relatief initieel investeringsbedrag	80
7.2.2	Relatieve onderhoudskosten.....	81
7.2.3	Relatieve kasstroom energie	81
7.2.3.1	WKK-installatie.....	81
7.2.3.2	Alternatieve installatie: besparing op de energierekening	82
7.2.4	Uitbatings-, bedienings-, verzekerings- en administratieve kosten	83
7.2.5	Kasstroom verbonden aan een lening	84
7.2.5.1	Belastingsschild interest op lening.....	84
7.2.6	Subsidies	85
7.2.6.1	Verhoogde investeringsaftrek.....	85
7.2.6.2	Ecologiepremie.....	86
7.2.6.3	Warmtekrachtcertificaten	86
7.2.6.4	Groenestroomcertificaten (GSC)	91
7.3	Economische evaluatiemaatstaven	92
7.3.1	Terugverdientijd (TVT)	92
7.3.2	Netto actuele waarde (NAW) en verdisconteerde terugverdientijd (VTVT) ...	92
7.3.3	Interne rendementsvoet (IRR).....	92
7.3.4	Winstgevendheidsindex (WI)	93
7.4	Sensitiviteitsanalyse	93
7.4.1	Kansverdeling van de variabele parameters	93
7.4.2	Waarschijnlijkheid van de uitkomsten	94

7.4.3	Sensitiviteit van de modeluitkomsten	96
7.5	Gevalstudie 1 overdimensionering	98
7.5.1	Waarschijnlijkheid van de uitkomsten	99
7.5.2	Sensitiviteit van de modeluitkomsten	100
7.6	Huidige verwarmingsinstallatie niet versleten	101
7.7	Koppeling met zonnepanelen.....	102
7.7.1	Grootst mogelijke investering	103
7.7.2	Zelfde initiële investering	104
8	GEVALSTUDIE 2	107
8.1	Inleiding.....	107
8.2	Investeringsanalyse	108
8.2.1	Kansverdeling van de variabele parameters	108
8.2.2	Waarschijnlijkheid van de modeluitkomsten	109
8.2.3	Sensitiviteitsanalyse van de modeluitkomsten	110
9	CONCLUSIES	112
9.1	Resultaten investeringsanalyse	112
9.1.1	Resultaten gevalstudie 1	112
9.1.2	Resultaten gevalstudie 2.....	115
9.1.3	Resultaat implementatie WKK in het algemeen	116
9.2	Beslissing WKK te installeren	117
9.2.1	Externe financiering	117
9.2.2	Algemene bekendheid	118
9.2.3	Regelgeving	118
9.3	Modelverbetering	118
9.4	Slotwoord	119
BIJLAGE	120
	Bijlage 1: overzicht van de reserves en voorraden fossiele brandstoffen en splijtstoffen.....	120
	Bijlage 2: belastingsprofielen opgesplitst in verschillende seizoenen	121
	Bijlage 3: tabellen voor berekening referentierendementen	122
	Bijlage 4: tabellen voor berekening referentierendementen	123

Bijlage 5: wetgeving en interpretatie van 'ingrijpende wijziging'	124
Bijlage 6: gemiddelde prijs van WKC per maand	126
Bijlage 7: gekozen parameters ter berekening van de GGK	129
Bijlage 8: aantal vollasturen per maand, gevalstudie 1	132
Bijlage 9: investeringsanalyse, relatieve kasstromen gevalstudie 1, onderdimensionering	133
Bijlage 10: bepaling prijsstijgingen	134
Bijlage 11: modeloutput ondergedimensioneerde installatie	135
Bijlage 12: modeloutput overgedimensioneerde installatie	148
Bijlage 13: investeringsanalyse, relatieve kasstromen gevalstudie 1, overdimensionering	158
Bijlage 14: modeloutput, koppeling met zonnepanelen	159
Bijlage 15: modeloutput gevalstudie 2.....	162
Bijlage 16: investeringsanalyse, relatieve kasstromen gevalstudie 2.....	175
Bijlage 17: investeringsanalyse, relatieve kasstromen, extra vollasturen overgedimensioneerde installatie	176
Bijlage 18: lijst met ervaringsdeskundigen	177
REFERENTIES	178

Lijst met figuren

Figuur 1: omzettingsproces brandstof tot nuttige elektrische energie	8
Figuur 2: verschillende inputbrandstoffen van WKK in Vlaanderen (Cogen Vlaanderen b., 2009) ..	15
Figuur 3: gescheiden productie versus WKK productie (Eyckmans, 2007)	24
Figuur 4: vergelijking van warmtekrachtbesparing volgens gegevens van VITO en VREG (2007-2008)	26
Figuur 5: weergave grootteorde elektriciteitsproductie WKK ten opzichte van totale elektriciteitslevering in Vlaanderen	27
Figuur 6: relatie tussen efficiënt brandstofgebruik en de uitstoot van pollutanten (Cogen Vlaanderen, 2006).....	28
Figuur 7: voorbeeld van een elektrisch vermogensprofiel op basis van het wekelijks verbruik (Agentschap ondernemen, z.j.)	34
Figuur 8: belastingsduurcurve (Cogen Vlaanderen, 2006).....	35
Figuur 9: fase 1 &2, structuur technische dimensionering WKK. (Energik, 2004)	37
Figuur 10: voorbeeld elektrisch profiel bedrijf. (Energik, 2004)	38
Figuur 11: voorbeeld elektrisch profiel. (Energik, 2004)	39
Figuur 12: voorbeeld van een jaarbelastingsduurcurve. (Cogen Vlaanderen, 2006; eigen analyse)	40
Figuur 13: productiecurve, afgeleid uit bovenstaande jaarbelastingsduurcurve (Cogen Vlaanderen, 2006; eigen analyse)	41
Figuur 14: fase 3 & 4, structuur technische dimensionering WKK. (Energik, 2004)	42
Figuur 15: specifieke investeringskost van middelgrote tot grootschalige WKK-systemen (Cogen Vlaanderen, 2006; eigen analyse)	47
Figuur 16: specifieke onderhoudskosten bij gasmotoren (€/kWh) (Energik, 2004)	48
Figuur 17: gemiddelde jaartemperatuur 1833-2007 (KMI, 2008).....	56
Figuur 18: afname van het aantal inleverbare certificaten in de tijd	59
Figuur 19: overzicht van de wetgeving ter berekening van WKC.....	60
Figuur 20: jaarbelastingsduurcurve gevalstudie 1	78
Figuur 21: productiecurve gevalstudie 1	78
Figuur 22: factor X, gevalstudie 1.....	90
Figuur 23: vergelijking TVT, WKK, PV en beide.....	104
Figuur 24: vergelijking TVT van PV en WKK	105
Figuur 25: vergelijking NAW tussen PV en WKK.....	105
Figuur 26: vergelijking IRR tussen PV en WKK	106
Figuur 27: elektrisch vermogensprofiel volgens drie seizoenen. (Cogen Vlaanderen, 2006).....	121
Figuur 28: thermisch vermogensprofiel per uur van de dag volgens drie verschillende seizoenen. (Cogen Vlaanderen,2006).....	121
Figuur 29: voorbeeld van factor X na een ingrijpende wijziging na jaar 10.....	125
Figuur 30: prijzevolutie van de gemiddelde WKC-prijs per maand sinds november 2005. (VREG, 2010)	128

Lijst met tabellen

Tabel 1: vergelijking tussen het energetisch en exergetisch rendement.....	10
Tabel 2: verschillende soorten inputbrandstof WKK (Vlaamse regering b., 2006).....	14
Tabel 3: technische specificaties van verschillende WKK-installaties, onderverdeeld per systeemtype.....	21
Tabel 4: relatieve primaire energiebesparing en warmtekrachtbesparing (Bron: Cogen Vlaanderen b., 2009)	25
Tabel 5: kosten-batenanalyse (Energik, 2004; eigen analyse).....	44
Tabel 6: procentueel aandeel van de verschillende investeringskosten t.o.v. de totale investering. (Jennekens, 1989 in Cogen Vlaanderen, 2006)	46
Tabel 7: gemiddelde onderhoudskosten (Cogen Vlaanderen, 2006)	49
Tabel 8: vergelijking van de twee opties van investeringssubsidies.....	52
Tabel 9: correctiefactoren voor de klimaatomstandigheden.....	55
Tabel 10: gevalstudie factor X (Cogen Vlaanderen, 2006).....	60
Tabel 11: vergelijking tussen elektrische referentierendementen fossiele brandstoffen (Vlaamse regering a. en b., 2006)	61
Tabel 12: vergelijking tussen elektrische referentierendementen hernieuwbare energiebronnen ((Vlaamse regering a. en b., 2006).....	62
Tabel 13: vergelijking tussen thermische referentierendementen hernieuwbare energiebronnen (Vlaamse regering a. en b., 2006).....	62
Tabel 14: scenario's en relevante kasstromen	70
Tabel 15: dimensionering op basis van de warmtevraag, gevalstudie 1	77
Tabel 16: technische gegevens ecoGEN-25 AH gevalstudie 1	79
Tabel 17: elektrisch referentierendement voor WKC, gevalstudie 1 (Vlaamse regering a., 2006) ..	87
Tabel 18: thermisch referentierendement voor WKB, gevalstudie 1 (Vlaamse regering a., 2006) ..	87
Tabel 19: Opbrengst uit WKC, gevalstudie 1	91
Tabel 20: minimum, maximum en meest waarschijnlijke waarde van de verschillende variabele parameters van gevalstudie 1	94
Tabel 21: verwachte waarden economische evaluatie maatstaven	95
Tabel 22: volgorde van invloedrijkste parameters afgeleid uit de sensitiviteitsanalyse.....	97
Tabel 23: technische gegevens ecoGEN-30AG gevalstudie 1	98
Tabel 24: vergelijking resultaten basisscenario van gevalstudie 1 (overgedimensioneerde en ondergedimensioneerde WKK-installatie).....	99
Tabel 25: vergelijkingstabel verwachte waarden gevalstudie 1	99
Tabel 26: volgorde van invloedrijkste parameters afgeleid uit de sensitiviteitsanalyse plus vergelijking met onderdimensionering.....	101
Tabel 27: samenvatting van de evaluatiemaatstaven indien huidige installatie niet versleten is..	102
Tabel 28: variabele parameters gevalstudie 3	109
Tabel 29: verwachten waarden economische evaluatie maatstaven gevalstudie 3.....	110
Tabel 30: investeringsuitgave en onderhoudskosten per eenheid geïnvesteerd vermogen van de verschillende gevalstudies	115

Tabel 31: : referentierendement per brandstoftype (Vlaamse overheid b., 2006)	122
Tabel 32: correctiefactoren voor vermeden netverliezen (Vlaamse regering b., 2006)	122
Tabel 33: thermische basisreferentierendement voor de berekening van RPE.....	123
Tabel 34: opties om na te gaan of de installatie kwalitatief is.....	123
Tabel 35: inflatie in België van 1990 tot en met 2009	129
Tabel 36: aantal vollasturen per maand	132
Tabel 37: economische evaluatiemaatstaven overgedimensioneerde WKK, verhoogde vollasturen	177

1 Onderzoeksplan

Het onderzoeksplan begint met het formuleren van het praktijkprobleem. In deze context wordt vervolgens de centrale onderzoeksvraag afgeleid. Tenslotte volgt een opsomming van deelvragen, waarvan het antwoord moet leiden tot een verduidelijking van de centrale onderzoeksvraag.

1.1 Praktijkprobleem

Heel wat recente ambitieuze doelstellingen duiden op een evolutie naar een duurzamere maatschappij. Zo werd onder andere het Kyoto-protocol opgesteld en wereldwijd geratificeerd door een groot aantal landen en stelde Europa de "20 20 tegen 2020" voornemens op om de vervuiling en klimaatsverandering tegen te gaan. Naast projecten op wereldschaal zijn er verschillende voorbeelden te vinden uit het dagdagelijkse leven die duiden op een verandering van het maatschappelijk bewustzijn. De media, die hier als een weerspiegeling van de maatschappij dienst doet, schenkt meer aandacht aan duurzaamheid. Zo kan men bijvoorbeeld geen autoreclame meer inbeelden zonder vermelding van het energieverbruik en voorziet de krant de Standaard haar artikels betreffende dit thema van een opzichtig eco-label. Daarnaast vallen er steeds meer zonnepanelen op in het straatbeeld of kan je geen gratis plastic zakken meer verkrijgen als je gaat winkelen in een grootwarenhuis.

Ook voor bedrijven stijgt de interesse voor duurzamere bedrijfsactiviteiten en het reduceren van de milieu-impact. De redenen hiervoor zijn veelzijdig. Zo functioneert het wettelijk kader op verschillende vlakken als een limiterende factor. Daarnaast zorgt de verschuiving van de maatschappelijke belangen ervoor dat de stakeholders meer en meer die bedrijven steunen met een overeenkomstig gedachtegoed. Bovendien daalt de voorraad fossiele brandstoffen en splijtstoffen die op dit moment dienst doen als hoofdbron voor de energieopwekking. (Brouwers, Couder, Defrijn Verbruggen, & Wustenberghs, 2007) Een overzicht van de reserves en voorraden van fossiele brandstoffen en splijtstoffen is terug te vinden in bijlage 1. Ook zijn de niet-hernieuwbare brandstoffen vaak afkomstig uit politiek minder stabiele regio's. Dit betekent dat de bevoorrading niet altijd gegarandeerd is en de prijzen vaak erg volatiel zijn.

Om bovenstaande redenen zijn bedrijven bijgevolg verplicht op zoek te gaan naar andere, duurzamere en milieuvriendelijkere vormen van energieopwekking.

Er bestaan verschillende technologieën die kunnen bijdragen tot het duurzamer opwekken van energie. Zo vinden steeds meer bedrijven de weg naar het plaatsen van zonnepanelen. Ook windmolens bepalen steeds vaker de skyline van bedrijventerreinen. Deze manieren van energieopwekking krijgen zeer veel aandacht. Ze zijn, op hun productie na, CO₂-neutraal en dragen, mede dankzij hun visibiliteit, bij tot een duurzamer imago van een onderneming en het bedrijventerrein waar deze is gelegen.

Warmtekrachtkoppeling (WKK) is ook een duurzamere manier van energieopwekking die zeer interessant kan zijn voor bedrijven. Dankzij haar efficiënte manier van energieopwekking kan warmtekrachtkoppeling er voor zorgen dat er minder brandstoffen noodzakelijk zijn om aan de energiebehoeften te voldoen. Indien er enkel hernieuwbare brandstoffen gebruikt worden is ook hier de productie van energie CO₂-neutraal. Door het ontbreken van het visuele karakter van warmtekrachtkoppeling bij een onderneming ten aanzien van de buitenwereld draagt warmtekrachtkoppeling minder bij tot het duurzaam imago van een onderneming dan de eerder vermelde duurzame energieopwekkingstechnologieën.

Voor eender welke investering, dus ook voor investeringen in duurzame technologieën, is het van belang dat het project ook economisch interessant is. Om een beslissing tot investeren in een duurzame technologie te ondersteunen is het noodzakelijk deze investering volledig te analyseren. Een goede en uitgebreide investeringsanalyse maken van een investeringsproject vereist naast een degelijke economische kennis ook relevante technische kennis. Tevens vraagt het opstellen van een investeringsanalyse zeer veel inspanning en tijd. Deze kennis of tijd zijn vaak niet aanwezig in KMO's. Ook grote ondernemingen kampen vaak met tijdsgebrek. Bijgevolg is het voor elk type bedrijf zeer interessant om over een platform te kunnen beschikken waarmee de investeringsbeslissing in een duurzame technologie op een snelle en efficiënte manier kan worden geanalyseerd.

In deze masterproef wordt een platform ontworpen waarmee eenvoudig kan worden nagegaan of het voor een bepaald bedrijf interessant is te investeren in WKK. Tevens wordt er een koppeling voorzien met het platform ontwikkeld door medestudent Maarten Kupers. Op deze manier wordt niet enkel nagegaan of het interessant is te investeren in WKK, maar wordt tevens de integratie van zonnepanelen overwogen.

1.2 Centrale onderzoeksvraag

Alvorens een bedrijf beslist te investeren, wordt normaalgezien grondig nagegaan of de economische consequentie van de investering interessant zijn voor het bedrijf. Voor nieuwere of minder bekende technologieën ligt het minder voor de hand dat de mogelijkheden ervan duidelijk zijn. Daarenboven kan door tijdsgebrek in het bedrijfsleven niet steeds voldoende aandacht worden besteed aan een uitgebreide investeringsanalyse. Daarom heeft deze masterproef de ambitie om op basis van een literatuurstudie en twee gevalstudies een antwoord te vinden op de volgende vraag:

Is de integratie van een warmtekrachtkoppelinginstallatie een interessante investering voor bedrijven?

1.3 Deelvragen

Deze masterproef tracht op een gestructureerde manier een antwoord te vinden op de centrale onderzoeksvraag aan de hand van de volgende deelvragen:

- Wat is WKK en voor welke doeleinden kan deze technologie geïntegreerd worden bij bedrijven?
- Met welke eigenschappen dient rekening te worden gehouden voor het optimaal implementeren van een WKK-installatie?
- Welke economische parameters zijn van belang voor een investeringsproject in WKK?
- Op welke manier kan een investeringsanalyse voor een WKK-installatie best worden opgebouwd?
- Hoe luidt het investeringsadvies voor de implementatie van WKK en/of zonnepanelen voor de verschillende gevalstudies?
- Welke parameters hebben de grootste invloed op het uiteindelijke resultaat van de investeringsanalyses?

2 Inleidende begrippen

2.1 Energie

In de meeste literatuur wordt energie formeel beschreven als "de mogelijkheid om arbeid te verrichten"(Giancoli, 2005; MIRA, 2007). Er bestaan verschillende verschijningsvormen van energie. Echter niet elke verschijningsvorm bezit de mogelijkheid om arbeid te verrichten. Vandaar dat bovenstaande definitie niet als alles omvattend beschouwd mag worden. Het verschil tussen energievormen die veel en die minder mogelijkheden bieden arbeid te verrichten wordt beschreven in sectie 2.3.

Door het ontbreken van een veralgemeenbare definitie wordt hier een informele definitie gegeven ter verduidelijking van het concept energie. Zo stellen Couder, Wustenberghs, Defrijn, Brouwers en Verbruggen (2007) dat "iets of iemand energie bezit wanneer dit voorwerp of lichaam, door de toestand waarin het zich bevindt, in staat is dingen te bewerkstelligen of zaken te veranderen".

Belangrijk voor het begrip van energie is de eerste wet van de thermodynamica, ook de wet van behoud van energie genoemd. Hier stelt men dat in een geïsoleerd systeem de totale energiehoeveelheid constant is. Er gaat geen energie verloren en er wordt ook geen energie gecreëerd. Energie kan wel omgezet worden van de ene naar een andere vorm. Zodoende is de som van de hoeveelheden energie voor het proces, altijd gelijk aan de som van de energiehoeveelheden na het proces. (Giancoli,2005)

Elk van de verschillende verschijningsvormen van energie kan apart gedefinieerd en gemeten worden. Dit gebeurt het vaakst aan de hand van de SI-eenheid van energie: de joule. De joule wordt gedefinieerd als de arbeid die men moet verrichten of de energie die men moet leveren om een kracht van 1 newton uit te oefenen over een afstand van 1 meter. Hierbij is 1 newton de kracht die nodig is om een massa van 1 kg een versnelling van 1 m/s² te geven. De joule, afgekort als J, is een betrekkelijk kleine grootte en komt bijgevolg vaak voor in veelvoud. In de praktijk, evenals in dit werk wordt daarom gebruik gemaakt van een andere eenheid van energie: de kilowattuur (kWh) (Couder et al.,2007). Hierbij staat kilo (k) voor 1000, watt (W) is gelijk aan 1 joule per seconde en uur (h), de eenheid van tijd, is gelijk aan 3600 seconden. Bijgevolg kunnen we 1 kWh omzetten naar SI-eenheden.

$$1 kWh = 1 \times 1000 \times \frac{J}{s} \times 3600 s = 3.6 MJ$$

De kWh vermijdt niet enkel het werken met zeer grote getallen, ook is het een handige eenheid doordat het een vermogen, Watt, met tijd, uur, combineert. Indien er bijgevolg een toestel met een vermogen van 1000 Watt, één uur werkt is het verbruik zeer eenvoudig te berekenen.

$$\text{Verbruik: } 1000 W * 1h = 1000 Wh = 1 kWh$$

2.2 Vormen van energie

Er bestaan meerdere benaderingen voor de beschrijving van de verschillende vormen van energie. Hier worden alle vormen van energie ingedeeld in twee grote categorieën. De eerste categorie is kinetische energie, ook bewegingsenergie genoemd. Potentiële energie, ook opgeslagen energie of inwendige energie genoemd, is de tweede categorie. Zonder volledig te willen zijn worden hier per categorie de belangrijkste vormen van energie gegeven. Voorbeelden van kinetische energie zijn mechanische energie, elektrische energie, stralingsenergie en warmte(stroom). Voorbeelden van potentiële energie zijn elastische potentiële energie, gravitationele potentiële energie, elektrostatische potentiële energie en chemische energie. Met betrekking tot deze masterproef zijn hoofdzakelijk mechanische, elektrische, warmtestroom en chemische energie van belang. (Giancoli, 2005; MIRA, 2007)

2.3 Nuttige energie

Energie wordt pas als nuttig beschouwd indien ze in de juiste vorm, op het juiste moment en op de juiste plaats ter beschikking is. Om de juiste energievorm te bekomen, moet vaak van een bepaalde vorm naar een andere worden overgegaan. De wet van het behoud van energie, beschreven in sectie 2.1, zou doen vermoeden dat de hoeveelheid beschikbare energie oneindig is daar ze stelt dat er in een geïsoleerd systeem geen energie verloren gaat, maar er slechts energie wordt omgezet van de ene vorm naar de andere. Indien we het universum beschouwen als het gesloten systeem, gaat er bijgevolg geen energie verloren. Moesten alle vormen van energie evenwaardig zijn, zou men zich dus geen zorgen moeten maken over de hoeveelheid beschikbare energie in één bepaalde vorm. Indien deze ene vorm is opgebruikt, zou deze energie immers in een andere vorm beschikbaar zijn. Echter, niet elke vorm van energie is evenwaardig. Dit wil zeggen dat niet elke vorm van energie, geheel of gedeeltelijk, kan worden omgezet in een andere vorm.

De tweede wet van de thermodynamica ondersteunt dit en stelt dat de entropie, of de mate van wanorde, van een (geïsoleerd) systeem nooit zal dalen (Giancoli, 2005). De entropie kan dus enkel gelijk blijven of stijgen. Een proces waarbij de entropie constant blijft noemt men een isentropisch proces. Door de opeenvolging van 2 isentropische processen, van energievorm A naar B en vervolgens terug naar A, zou men theoretisch veronderstellen dat een proces omkeerbaar is. In de praktijk is dit echter niet haalbaar. Dit zal ook blijken uit het rendement van de verschillende energieconversieprocessen uit praktijkvoorbeelden die verder in dit werk worden aangehaald.

Men veronderstelt dus dat de entropie van een systeem stijgt bij elk proces. Daardoor is elk proces in een gesloten systeem onomkeerbaar. De oorspronkelijke toestand van een proces kan door de onvermijdelijke stijging van entropie geen tweede keer bekomen worden. (Giancoli, 2005). Zoals gesteld in sectie 2.1 zal bij het optreden van eender welk proces wel geen energie verloren gaan.

Wel kan gesteld worden dat de energie minder nuttig wordt. Dit wordt ook de degradatie van energie genoemd (Giancoli, 2005). Men gaat van een meer geordende vorm, zoals mechanische energie, naar een minder geordende vorm van energie, bijvoorbeeld thermische energie. Een praktijkvoorbeeld van bovenstaande is een vallende steen. Deze steen bezit kinetische (mechanische) energie. Zolang de steen aan het vallen is zou men deze energie kunnen benutten. Echter als de steen neervalt wordt de mechanische energie omgezet in thermische energie en kan men geen nuttige arbeid meer verrichten.

In de thermodynamica gebruikt men de termen exergie en anergie om een onderscheid te maken tussen de kwaliteit van de verschillende energievormen. Exergie slaat op het deel van de energie die volledig kan worden omgezet in een andere energievorm. Anergie daarentegen kan niet volledig worden omgezet naar een andere energievorm. Dit komt overeen met de bovenvermelde tweede hoofdwet van de thermodynamica. Het is vaak dat deel dat in de omgeving terecht komt zonder dat het nuttige arbeid kan leveren. Energievormen die meer uit exergie bestaan worden bijgevolg als hoogwaardiger beschouwd. Elektriciteit is een hoogwaardige energievorm en bestaat enkel uit exergie. Bijgevolg kan elektriciteit volledig in een andere energievorm worden omgezet. Een warmtestroom Q is een energievorm van lagere kwaliteit en bestaat zowel uit exergie (E_x) als anergie (E_a), bijgevolg is $Q = E_x + E_a$. Het aandeel anergie neemt toe naarmate de temperatuur van de warmte lager is. (<http://i-dacta.digibel.be/pages/cogeneration.php?param=nl>; MIRA, 2007)

Aangezien warmte een zeer belangrijke energievorm is in dit werk, wordt het voorbeeld van de warmtestroom hier verder uitgelegd. De exergie van de thermische energie Q kan men gelijkstellen aan:

$$E_x = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \times Q$$

met T : de absolute temperatuur, in Kelvin, van de warmtestroom Q .

en T_0 : de temperatuur, in Kelvin, tot welke men een deel van Q kan afkoelen.

Indien T gelijk is aan T_0 stelt men vast dat E_x gelijk is aan nul. Via deze formule wordt dus bevestigd dat warmte met een hogere temperatuur meer exergie bezit, en dus als waardevoller wordt beschouwd.

De anergie van warmte is het gedeelte dat niet meer omzetbaar is in andere energievormen. In formule vorm wordt dit:

$$E_a = Q - E_x = \left(\frac{T_0}{T}\right) \times Q$$

Hoe kleiner het verschil tussen T en T_0 , met andere woorden hoe lager de temperatuur T , hoe groter de anergie.

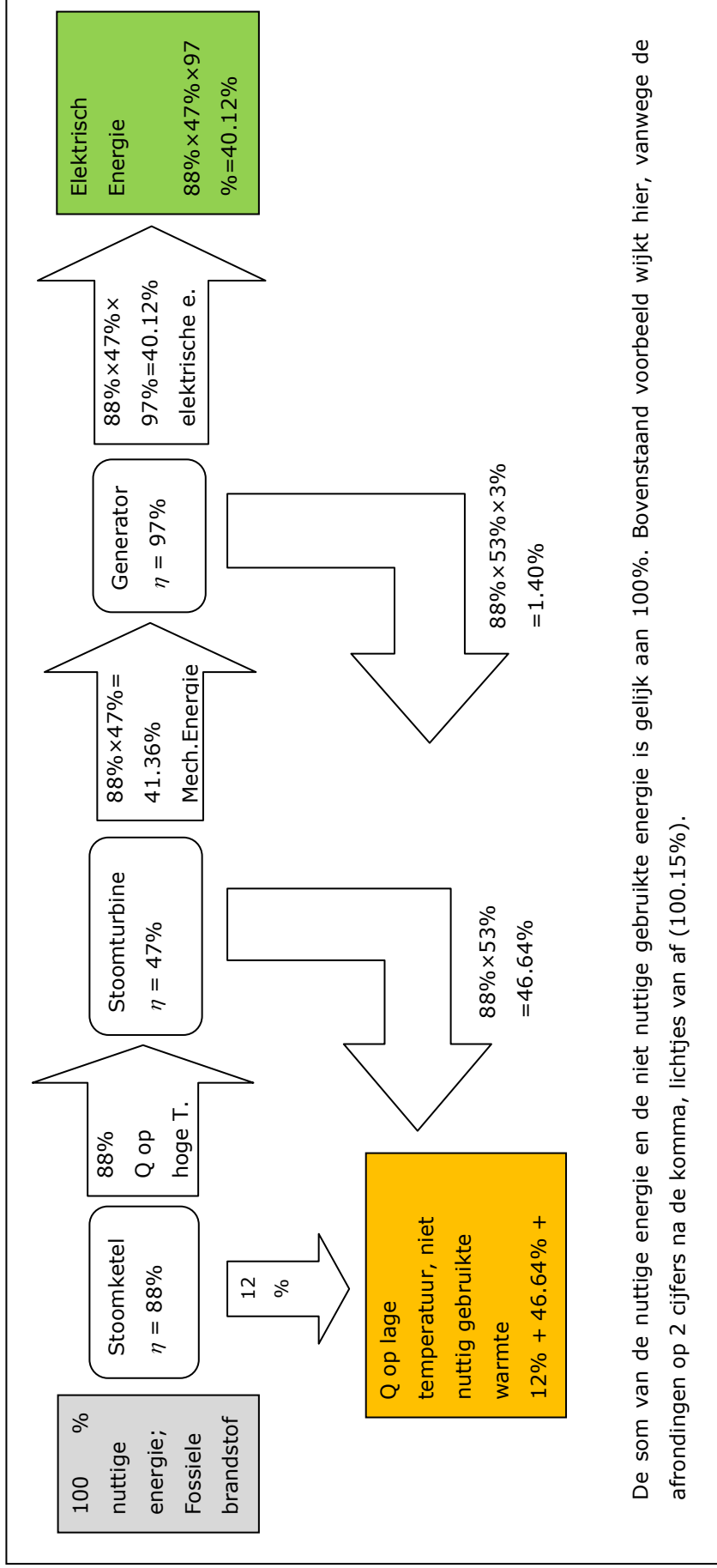
Indien enerzijds rekening gehouden wordt met de onomkeerbaarheid van het omzettingsproces van hoogwaardige energievormen, die hoofdzakelijk uit exergie bestaan, naar laagwaardige

vormen van energie en anderzijds de uitputbaarheid van de hoogwaardige energiebronnen in rekening worden gebracht, moeten we concluderen dat we best zo efficiënt mogelijk omspringen met de voorraad exergie. Men moet er met andere woorden naar streven de hoeveelheid exergie zo nuttig mogelijk aan te wenden.

Om de bovenstaande principes van nuttige energie en kwaliteit van energie te specificeren, wordt hier een voorbeeld uitgewerkt over de omzetting van een fossiele brandstof naar bruikbaar licht.

Fossiele brandstof, zoals steenkool of olie, is een vorm van chemische energie en wordt aan de hand van verschillende processen omgezet naar zichtbaar licht (een vorm van stralingsenergie). De opgeslagen chemische energie van een fossiele brandstof is energie van relatief hoge kwaliteit. De chemische energie in de fossiele brandstof wordt via een exotherme reactie ('verbranding') via bijvoorbeeld een stoomketel voor 88 % omgezet naar warmte op hoge temperatuur in de vorm van stoom, en voor 12 % naar warmte op lage temperatuur. De warmte op lage temperatuur is energie van lage kwaliteit die voornamelijk via de hete rookgassen van de stoomketel en voor een klein deel via warmte uitgestraald door de ketelwanden terecht komt in de omgeving, waar ze vervalt tot warmte op de temperatuur van de omgeving. Vervolgens wordt de warmte op hoge temperatuur, in de vorm van stoom afkomstig van de stoomgenerator, in een stoomturbine voor 47% omgezet naar mechanische energie, de draaiende beweging van de as van de stoomturbine. Deze mechanische energie is energie van relatief hoge kwaliteit. De overige 53 % komt in een klassieke thermische centrale als niet nuttig gebruikte laagwaardige warmte terecht in de omgeving, waar ze vervalt tot warmte op temperatuur van de omgeving. Dit gebeurt hoofdzakelijk aan de hand van condensatie van stoom via het koelwater. Daarna wordt de hoogwaardige mechanische energie in een turbine-generator voor 97 % omgezet in elektrische energie. De overige 3 % komt ten gevolge van wrijvingsweerstand in de omgeving terecht als laagwaardige warmte waar ze vervalt tot warmte op temperatuur van de omgeving.

In dit voorbeeld geldt dat het elektrisch rendement van deze elektriciteitscentrale slechts 40.12% ($88\% \cdot 47\% \cdot 97\%$) is. Bijgevolg wordt ongeveer 60% van de energie, die vervat zit in de fossiele brandstof, niet nuttig gebruikt. Ter vergelijking blijkt uit persoonlijke communicatie met het service centrum van elektrabel (5 januari 2010) dat de elektriciteitscentrale van Langerlo, Genk een elektrisch rendement heeft van slechts 36%.



Figuur 1: omzettingsproces brandstof tot nuttige elektrische energie

Door het bestaan van elektrische weerstand van geleiders vindt er tijdens het transport en distributie van elektriciteit tot bij de gebruiker een verlies plaats. Dit verlies wordt in dit voorbeeld gelijk gesteld aan 10% en wordt als laagwaardige warmte afgegeven aan de omgeving van de elektriciteitskabels waar ze niet nuttig wordt gebruikt en vervalt tot warmte op temperatuur van de omgeving. Op het einde van het parcours wordt de elektrische energie aangewend om licht te produceren op basis van een lamp. In dit voorbeeld wordt een gloeilamp gebruikt. Deze gloeilamp zet 10% van de aangebrachte energie om in licht, als nuttig beschouwde stralingsenergie. Deze elektromagnetische stralingsenergie wordt geabsorbeerd door de voorwerpen uit de omgeving en vervallen uiteindelijk tot warmte op temperatuur van de omgeving.

De overige 90% wordt als laagwaardige warmte uitgestoten om onnuttig te vervallen tot temperatuur van de omgeving. Deze warmte kan eventueel worden gezien als verwarming van de kamer. Dit is echter een zeer inefficiënte manier van verwarmen. Daarenboven is deze warmte in ruimten die voldoende warm zijn een last die moet worden afgevoerd. (MIRA, 2007)

Uit bovenstaand voorbeeld kunnen we concluderen dat 100% van de oorspronkelijk opgeslagen hoogwaardige energie van de fossiele brandstof vervallen is tot warmte op temperatuur van de omgeving. Ook merken we hier op dat uiteindelijk slechts 3.61% van de oorspronkelijk opgeslagen chemische energie is omgezet in nuttige stralingsenergie van de lamp. Wel moet worden opgemerkt dat het rendement van een gloeilamp erg laag ligt in verhouding met modernere lampen zoals een spaarlamp of LED verlichting.

2.4 Energetisch en exergetisch rendement

Om de efficiëntie van verschillende of gelijksoortige technologieën op een consistente manier te kunnen vergelijken is het noodzakelijk de verschillende te hanteren rendementsbepalingen toe te lichten. Traditioneel wordt het rendement gedefinieerd als de verhouding van de hoeveelheid energie die men in de gewenste vorm uit de installatie haalt tot de hoeveelheid energie die men aan deze installatie heeft geleverd.

Het energetisch rendement is bijgevolg:

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

Zoals gesteld in sectie 2.3 is het echter ook belangrijk rekening te houden met de kwaliteit van energie. De meest accurate en eerlijkste vergelijking gebeurt daarom op basis van de hoeveelheid exergie.

In formule vorm geeft men het exergetisch rendement als volgt weer:

$$\eta_{ex} = \frac{\text{hoeveelheid energie die nuttig wordt gebruikt}}{\text{maximale hoeveelheid energie die het proces kan leveren}}$$

In de laatste formule wordt enkel de exergie van de input in rekening gebracht. Om het verschil tussen de twee formules duidelijk te maken wordt hier een fictief voorbeeld gegeven. We veronderstellen één installatie die elektriciteit produceert op basis van stoom onder twee scenario's. In het eerste scenario wordt stoom op hoge temperatuur gebruikt terwijl in het tweede scenario stoom op lage temperatuur wordt gebruik. Eerder werd al aangehaald dat een warmtestroom van hoge temperatuur, meer exergie bevat dan een warmtestroom met een lagere temperatuur. Daarom bevat de stoom in het eerste scenario 90% exergie en het tweede slechts 50% exergie. Bij het omzetten van de input wordt verondersteld dat de installatie telkens de helft van de exergie omzet in elektriciteit, hetgeen als nuttige wordt beschouwd, terwijl de anergie volledig verloren gaat.

Tabel 1: vergelijking tussen het energetisch en exergetisch rendement

	Scenario 1	Scenario 2
	Stoom op hoge T. 90% exergie, 10% anergie	Stoom op lage T. 50% exergie, 50% anergie
η_{en}	$\frac{0.5 \times 90\%}{100\%} = 45\%$	$\frac{0.5 \times 50\%}{100\%} = 25\%$
η_{ex}	$\frac{0.5 \times 90\%}{90\%} = 50\%$	$\frac{0.5 \times 50\%}{50\%} = 50\%$

Bovenstaande resultaten geven een opmerkelijk verschil weer tussen de twee manieren van rendementsberekening. Ondanks dat het over hetzelfde proces gaat is het energetisch rendement opvallend verschillend. Aangezien uitgegaan wordt van de totale energie en niet de exergetische energie zorgt de lage output van nuttige energie bij scenario 2 er voor dat het uiteindelijke rendement erg laag is. Bij de berekening van het exergetisch rendement krijgt men dezelfde resultaten. Hier houdt men niet langer rekening met de totale energie maar wordt enkel de exergie van de input in rekening gebracht. Daar in deze gevalstudie de installatie de helft van de exergie

weet om te zetten in nuttige elektrische energie is het resultaat voor beide scenario's gelijk aan 50%.

2.5 Verbrandingswaarde en rendement

Bij brandstoffen wordt er een onderste en bovenste verbrandingswaarde onderscheiden. De bovenste verbrandingswaarde is de thermische energie die bij verbranding van een brandstof ontstaat waarbij de gevormde waterdamp vloeibaar is. Hierdoor wordt de warmte vervat in de waterdamp van de rookgassen meegerekend, en wordt vaak gesproken van de totale energie-inhoud van de brandstof. De onderste verbrandingswaarde, ook wel de stookwaarde genoemd, is de thermische energie van de verbranding van een brandstof waarbij de gevormde waterdamp gasvormig verdwijnt. De warmte vervat in de waterdamp gaat dus verloren en wordt dus niet in de onderste verbrandingswaarde meegerekend. Bijgevolg is de onderste verbrandingswaarde steeds kleiner dan de bovenste verbrandingswaarde. De verhouding tussen beide verschilt per brandstof. Echter wordt hier ter vereenvoudiging verondersteld dat de onderste verbrandingswaarde steeds 90% bedraagt van de bovenste verbrandingswaarde. (Glasreg, 2005)

Bij de berekening van het rendement van verwarmingsinstallaties wordt meestal uitgegaan van het 'stookrendement' en dus de onderste verbrandingswaarde. Een deel van de warmte die in brandstoffen vervat zit wordt dus niet meegerekend in de rendementsberekening. Dit is historisch ontstaan. Vroeger was het namelijk technisch niet mogelijk om het deel van de energie die vervat zat in de waterdamp te benutten. Voor producenten en verkopers was het gebruik van de onderste verbrandingswaarde bovendien de ideale manier om het rendement op te krikken. Als gevolg van deze vastgeroeste gewoonte bestaan er vandaag installaties die een rendement behalen die hoger is dan 100%. Echter, zoals blijkt uit de eerder besproken wet van het behoud van energie, kan er geen energie worden gecreëerd, maar slechts omgezet van de ene vorm naar de andere. Een rendement hoger dan 100% wordt verklaard door het gebruik van de onderste verbrandingswaarde als maximale energiehoeveelheid die een brandstof bezit. (Glasreg 2005) Echter bestaan er reeds verwarmingsinstallaties die de warmte, vervat in de waterdamp van de uitlaatgassen, wel benutten. Daardoor kan bij de berekening van het exergetisch rendement zoals eerder besproken de teller groter worden dan de noemer. Met bovenstaande bevinding moet in de gevalstudies onder andere rekening worden gehouden bij het omzetten van energetische rendementen naar brandstofverbruik.

2.6 Bronnen van energie

Voor de opwekking van energie wordt gebruik gemaakt van allerlei energiebronnen. Om verschillende opwekkingsmethoden met elkaar te kunnen vergelijken moet de input of output van elk proces vergelijkbaar zijn. Zo drukt men de input van een energieomzettingproces vaak uit in hoeveelheid primaire energie.

Het woord "primair" slaat in deze context op "niet herleidbaar tot iets voorafgaands"(Van Dale groot woordenboek van de Nederlandse taal, 14^e editie, 2005). Primaire energie wordt gedefinieerd volgens het woordenboek van MIRA als de totale energie-inhoud van de ingekochte brandstoffen vermeerderd met de hoeveelheid brandstof die nodig is voor het opwekken van ingekochte, secundaire energiedragers zoals elektriciteit of warmte. Door Kydes (2007) wordt primaire energie beschreven als de energievorm zoals ze voorkomt in de natuur alvorens er door de mens veroorzaakte conversies of transformaties plaatsvonden.

In het geval eenzelfde soort primaire energie gebruikt wordt als input voor een bepaald proces, kunnen de verschillende waarden eenvoudig met elkaar vergeleken worden. Indien twee verschillende inputsoorten gebruikt worden bestaat de mogelijkheid een of beide inputsoorten om te rekenen naar één gemeenschappelijke inputsoort om een vergelijking mogelijk te maken. Zo kan men bijvoorbeeld een ton steenkool-equivalent of 'ton coal equivalent' of tce gebruiken. 1 tce = 29 307,6 MJ. Door het stijgende gebruik van aardolie wordt naast de ton steenkool-equivalent ook de "ton aardolie-equivalent" of 'ton oil equivalent' afgekort "toe" gebruikt. 1 toe is gelijk aan 41 868 MJ. De bovenvermelde eenheden baseren zich op de *gemiddelde* verbrandingswaarde van een stof. De verbrandingswaarden van brandstoffen verschillen niet enkel van brandstof tot brandstof, maar ook per soort brandstof omwille van verschillen in samenstelling. Zo is de bovenste verbrandingswaarde van methaan, het voornaamste bestanddeel van aardgas, gelijk aan 37,652 MJ per m³. Naast methaan bevat aardgas nog andere componenten zoals propaan en ethaan. Afhankelijk van de herkomst van aardgas bevat ze een andere mix van componenten. Hierdoor hebben ze verschillende verbrandingswaarden, en bijgevolg een andere energiehoeveelheid per inhoudseenheid zoals m³. De bovenste verbrandingswaarde van aardgas kan hierdoor schommelen van 35,40 MJ/m³ voor aardgas uit Nederland tot 42,51 MJ/m³ voor aardgas uit Noorwegen. (Glasreg, 2005)

Afhankelijk van het gebruikte proces worden er andere soorten primaire energie als input gebruikt. In deze masterproef maken we gebruik van twee verschillende energieomzettingssystemen. Zowel warmtekrachtkoppeling als fotovoltaïsche cellen worden gebruikt in de verdere berekeningen. Bij warmtekrachtkoppeling maakt men gebruik van een brandstof voor de opwekking van mechanische of elektrische en thermische energie. Bij fotovoltaïsche cellen maakt men gebruik van zonnestralingsenergie voor een rechtstreekse conversie naar elektrische energie. Het proces van warmtekrachtkoppeling wordt uitvoerig besproken in volgende hoofdstukken. Voor fotovoltaïsche

cellen wordt hier verwezen naar de masterproef van Maarten Kupers, met wie voor deze masterproef werd samengewerkt in de gevalstudie van hoofdstuk 8.

3 Warmtekrachtkoppeling

Eerst wordt een algemene beschrijving gegeven van wat warmtekrachtkoppeling (WKK) is. Daarna wordt toegelicht wat de input en de output van een WKK-installatie kan zijn. Ook worden verschillende technische facetten van WKK toegelicht en met elkaar vergeleken. Ten slotte wordt bekeken waarom men al dan niet zou investeren in WKK.

3.1 Wat is Warmtekrachtkoppeling

Bij warmtekrachtkoppeling (WKK) produceert men op basis van eenzelfde toestel en input zowel thermische als mechanische of elektrische energie. In het "basishandboek warmtekrachtkoppeling" van Cogen Vlaanderen gebruikt men volgende definitie:

"Warmtekrachtkoppeling is de gecombineerde productie van elektrische (of mechanische) en nuttige thermische energie, uitgaande van dezelfde primaire energiebron." (Cogen Vlaanderen, 2006, p.9)

Warmtekrachtkoppeling is zeker geen nieuwe uitvinding. Al aan het einde van de 18^e eeuw werd het principe in gebruik genomen in Europa en de Verenigde Staten van Amerika. Bedrijven gebruikten toen stoommachines voor de aandrijving van hun toepassingen terwijl de restwarmte werd gebruikt om aan de warmtebehoeften te voldoen. Door het schaalvoordeel van grote elektriciteitscentrales echter daalde de prijs van de elektriciteit en daarmee ook het aandeel van WKK-installaties. Een eerste heropleving van de WKK ontstond tijdens de energiecrisis van de jaren zeventig. Gesteund door de actuele problematiek rond milieu en energie neemt het aandeel van WKK nog steeds toe. (Centinkaya & Lemmens, 2008)

3.2 De input

Zowel fossiele als hernieuwbare brandstoffen kunnen dienst doen om een WKK-installatie aan te drijven. Op basis van het 'ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties' van 6 oktober

2006 worden hier, in onderstaande tabel, die inputvormen besproken, waar in het besluit rekening mee wordt gehouden.

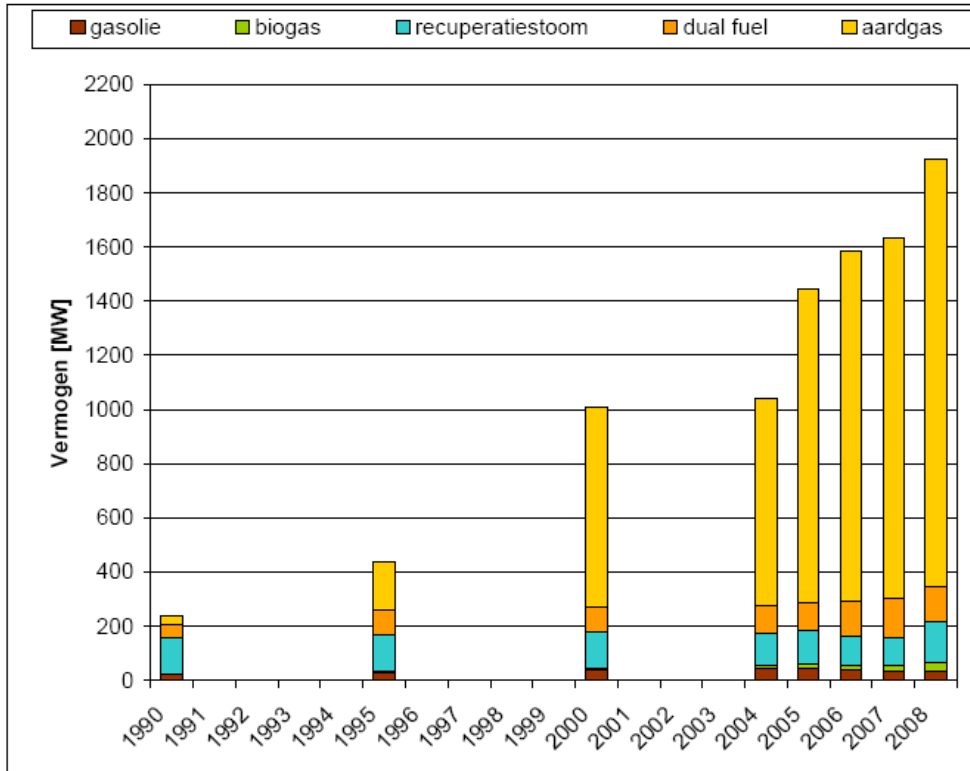
Tabel 2: verschillende soorten inputbrandstof WKK (Vlaamse regering b., 2006)

	Brandstoftype:
Vast	Steenkool/cokes
	Bruinkool/Bruinkoolbriketten
	Turf/Turfbriketten
	Houtbrandstoffen en Houtafval
	Landbouwbiomassa
	Bio-afbreekbaar (stadsafval)
	Niet-hernieuwbaar (stads- en industrie-afval)
	Steenolie
Vloeibaar	Olie (gasolie + stookolie), LPG
	Biobrandstoffen
	Bio-afbreekbaar afval
	Niet-hernieuwbaar afval
Gasvormig	Aardgas
	Raffinaderijgas/Waterstof
	Biogas
	Cokesovengas, hoogovengas, andere afvalgassen, recuperatiewarmte

Ook in een onderzoek van Cogen Vlaanderen wordt de input van de WKK installaties in Vlaanderen afgeleid. Hier kent men een andere indeling toe aan de verschillende inputbrandstoffen voor WKK van bovenstaande tabel. Volgende brandstoffen en brandstofgroepen worden onderscheiden:

- Fossiele gasvormige brandstoffenaardgas, raffinagegas en waterstof;
- Hernieuwbare gasvormige brandstoffen: biogas en stortgas;
- Vloeibare brandstoffen: fossiel (gasolie) als hernieuwbaar (koolzaad- en palmolie);
- Recuperatiestoom;
- Dual fuel: alle installaties die op meer dan één soort brandstof werken

Onderstaande figuur geeft de verschillende gebruikte inputbrandstoffen van WKK's in Vlaanderen grafisch weer.



Figuur 2: verschillende inputbrandstoffen van WKK in Vlaanderen (Cogen Vlaanderen b., 2009)

Uit dit onderzoek wordt ook afgeleid dat de productie van warmte en elektriciteit door middel van WKK-installaties uit hernieuwbare energiebronnen slechts 2.8% van de totale productie van 2008 in Vlaanderen. (Cogen Vlaanderen b., 2009)

3.3 De output

De energetische output van de WKK installatie wordt verkregen door de verbranding van brandstoffen. Dit kunnen zowel fossiele als hernieuwbare brandstoffen zijn. Het laatst vernoemde heeft als voordeel het milieu niet of minder te belasten.

3.3.1 Mechanische of elektrische energie

Een deel van de output van een WKK-installatie is mechanische energie. Een eerste manier voor het verkrijgen van mechanische energie, uit chemische energie die vervat zit in brandstoffen, is door verbranding. De hoogwaardige warmte van de uitlaatgassen van het verbrandingsproces bezit omwille van zijn hoge temperatuur (rond de 1200 °C), energie van hoge kwaliteit. Deze kan bijgevolg arbeid verrichten. Afhankelijk van de gewenste output kunnen deze uitlaatgassen rechtstreeks of onrechtstreeks gebruikt worden voor het aandrijven van een toepassing. Zuigermotoren en gasturbines maken rechtstreeks gebruik van de verbrandingsgassen en kunnen geïntegreerd worden in WKK-installaties. De uitlaatgassen kunnen ook onrechtstreeks gebruikt worden, bijvoorbeeld voor de productie van stoom. Deze stoom kan vervolgens gebruikt worden om een stoomgenerator aan te drijven. De verkregen mechanische energie kan daarna worden aangewend in het productieproces voor het aandrijven van hulpapparatuur zoals compressoren en pompen of indien gewenst worden omgezet in elektrische energie door middel van een generator. Het merendeel van de WKK's wordt ingezet voor de productie van elektriciteit. Deze installaties kunnen netgekoppeld zijn. Indien ze aan het net gekoppeld zijn kan de overvloedige hoeveelheid elektrische energie aan het net worden doorgegeven.

Ook kan men elektrische energie verkrijgen via brandstofcellen. Dit is een veelbelovend energieconversiesysteem waarbij brandstof in een continu proces rechtstreeks in energie wordt omgezet. Via dit systeem zijn hogere elektrische rendementen mogelijk in vergelijking met bovenstaande conventionele WKK-installaties. Ook dit proces is een exotherm proces. De vrijgekomen warmte kan ook hier benut worden voor allerlei toepassingen. Voor bepaalde typen brandstofcellen is het aandeel elektriciteit veel hoger en het aandeel warmte kleiner in vergelijking met het gebruik van een gasmotor. Dit zorgt voor een vergroting van de kracht-warmteverhouding en kan onder andere interessant zijn voor toepassingen in de landbouwindustrie. De kracht-warmteverhouding wordt besproken in sectie 3.3.4. Bij belichte teelten is er bijvoorbeeld een grotere vraag naar elektriciteit in verhouding tot de vraag naar warmte op jaarbasis. Hier zou de toepassing van brandstofcellen zeer interessant kunnen zijn. Voor een commerciële introductie is het echter mogelijk nog wachten tot 2012. (De Ruijter, 2008) Belangrijkste redenen hiervoor zijn de nog niet bewezen prestaties van de brandstofcel op het vlak van levensduur, onderhoud en betrouwbaarheid. Ook is de huidige brandstofcelgeneratie erg duur.

3.3.2 Thermische energie

Thermische energie wordt gedefinieerd als de totale som van de energiehoeveelheid van de individuele moleculen in het object. De hoeveelheid energie is afhankelijk van de temperatuur en het aantal moleculen. Warmte wordt gedefinieerd als de hoeveelheid energie die van het ene object naar het andere object wordt overgedragen tengevolge van een verschil in temperatuur. (Giancoli, 2005)

Nadat er gebruik is gemaakt van de hoogwaardige warmte voor mechanische omzetting blijft een restwarmte over. Deze restwarmte varieert afhankelijk van de gebruikte methoden van 80 tot 500°C. Voor toepassingen die hogere temperaturen vereisen is bijverwarming dus noodzakelijk.

De warmte kan voor verschillende industriële toepassingen worden gebruikt. Hier wordt een onderscheid gemaakt op basis van het temperatuurniveau van de warmtevraag.

- Processen op lage temperatuur (<100 °C): de warmte kan worden gebruikt voor het drogen van agrarische producten, het verwarmen of koelen van ruimten zoals productiehal of kantoorgebouwen en het (deels) verwarmen van sanitair water.
- Processen op gemiddelde temperatuur (100 – 300 °C): de warmte kan worden gebruikt voor processen in de pulp en papierindustrie, textielindustrie of chemische industrie. De warmte wordt hier vaak in de vorm van stoom gebruikt.
- Processen op hoge temperatuur (300 - 700 °C): bijvoorbeeld in de chemische industrie.
- Processen van zeer hoge temperatuur (> 700 °C): benodigde warmte is vereist in de cementindustrie, metaalindustrie of glasindustrie. (Cogen Vlaanderen, 2006)

De geproduceerde warmte kan ook gebruikt worden voor de productie van koude. Dit gebeurt aan de hand van een absorptiekoelmachine. Sterk vereenvoudigd kan men stellen dat deze machine warmte gebruikt om koude te produceren. Door deze uitbreiding van zijn toepassingsgebied vergroot de WKK zijn rendement in de zomermaanden. Op deze manier kan een WKK alsnog interessant zijn in situaties waarbij de warmtevraag schommeling kent. (Cogen Vlaanderen, 2006)

3.3.3 Het energetisch rendement WKK

Thermische en elektrische energie zijn van belang voor de berekening van het rendement van een WKK-installatie.

Het elektrisch rendement is de verhouding van het netto elektrisch vermogen geleverd door het systeem (P_E) tot het brandstofvermogen, gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde, verbruikt door het systeem (H_F). In formule vorm geeft dit:

$$\eta_E = \frac{P_E}{H_F} = \frac{P_E}{W_F \times H_U}$$

Met:

- P_E : Het netto elektrisch vermogen geleverd door het systeem. Met "netto" wordt het bruto vermogen van de generator, min het verbruik van de hulpapparatuur van de installatie, bedoeld. (Watt)
- H_F : brandstofvermogen verbruikt in het systeem. $H_F = W_F \times H_U$
- W_F : massadebiet van de brandstof (kg/s).
- H_U : onderste verbrandingswaarde van de brandstof (joule/kg)

Het thermische rendement wordt op zijn beurt door onderstaande formule weergegeven:

$$\eta_Q = \frac{P_Q}{H_F} = \frac{P_Q}{W_F \times H_U}$$

Met:

- P_Q : Het nuttige thermische vermogen geleverd door het WKK-systeem.

De totale brandstofbenutting van de WKK-installatie is de som van het thermische en elektrische vermogen gedeeld door het totale brandstofvermogen gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde. In formulevorm wordt dit:

$$\eta_{WKK} = \eta_E + \eta_Q = \frac{P_E + P_Q}{W_F \times H_U}$$

Zoals reeds vermeld in sectie 2.3 bestaat thermische energie of warmte gedeeltelijk uit anergie en is bijgevolg van lagere kwaliteit dan energievormen die volledig uit exergie bestaan zoals elektrische energie. De kwaliteit neemt af naarmate de temperatuur daalt. Hier kan net zoals weergegeven in sectie 2.4 rekening mee worden gehouden bij de berekening van het totale rendement van de installatie. Bijgevolg is het totale exergetische rendement van de WKK-installatie gelijk aan:

$$\eta_{WKK} = \frac{P_E + P_Q \times \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)}{E_F}$$

Met:

- E_F : exergiestroom van de brandstof met $E_F = W_F \times \epsilon_F$
- ϵ_F : specifieke exergie (exergie per massa-eenheid) van de brandstof.
- 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.

Het thermisch rendement van een WKK ligt altijd lager dan dat van een conventionele verwarmingsketel. Deze laatst genoemde behaalt, afhankelijk van het type, een rendement ten opzichte van de onderste verbrandingswaarde van 90 tot 109%. (Dexters, z.j.; Cogen Vlaanderen 2006; Viessmann, 2009)

3.3.4 De kracht-warmteverhouding

De kracht-warmteverhouding (PHR, Power Heat ratio) van een WKK-installatie is de verhouding van de geproduceerde hoeveelheid elektriciteit tot de geproduceerde hoeveelheid warmte.

In formulevorm wordt dit:

$$PHR = \frac{P_E}{P_Q}$$

De verschillende typen motoren vertonen andere eigenschappen, een verschillend rendement en bijgevolg ook een verschillende PHR. Een lijst met enkele te verwachten rendementen voor verschillende typen motoren worden weergegeven in tabel 3 van sectie 3.3.5. De omstandigheden waarin een WKK-installatie geïmplementeerd moet worden kunnen bepalen welk PHR het meest geschikt is. Hoewel meestal enkel op basis van warmte wordt gedimensioneerd, zoals uitgelegd wordt in hoofdstuk 4, kan bij de keuze van de WKK toch rekening gehouden worden met beide rendementen om een optimale integratie van de WKK te bekomen. Zo is voor de verlichte tuinbouw naast een hoge warmtevraag ook een hoge elektriciteitsvraag. Hier zou het financieel interessant kunnen zijn een WKK-installatie te plaatsen met een hoge kracht-warmteverhouding

3.3.5 Technische eigenschappen van de warmtekrachtkoppelinginstallatie

In onderstaande tabel worden enkele technische eigenschappen van warmtekrachtkoppeling uiteengezet. In de eerste kolom wordt een opsomming gegeven van de verschillende typen systemen. In de tweede kolom wordt het elektrisch vermogen weergegeven. Vervolgens wordt er een kolom voorzien voor de gemiddelde jaarlijkse beschikbaarheid. Deze schatting geeft weer hoeveel procent van het jaar men gemiddeld kan verwachten dat de installatie zal functioneren. Gedurende het overige deel van het jaar moet de eigenaar van de WKK-installatie rekening houden met het aantal benodigde inspecties en onderhoudsbeurten. Daarna wordt voor de verschillende systeemtypen het elektrisch rendement op een rij gezet. Dit zowel voor vollast als voor deellast. Het totale rendement is terug te vinden in de volgende kolom. Vervolgens wordt de kracht-warmteverhouding gegeven. De resterende parameters zijn belangrijk met betrekking tot een economische analyse. Achtereenvolgens worden de levensduur, de installatietijd en de betrouwbaarheid weergegeven.

Dit werk treed niet verder in detail over de technische gegevens van de systemen. Hiervoor wordt doorverwezen naar het Basishandboek warmtekrachtkoppeling van Cogen Vlaanderen (2006).

N.B. betekent in onderstaande tabel: niet bekend

**Tabel 3: technische specificaties van verschillende WKK-installaties, onderverdeeld per systeemtype
(Cogen Vlaanderen, 2006)**

systeemtype	elektrisch vermogen	gemiddelde jaarijke beschikbaarheid	elektrisch rendement		Totaal rendement	Kracht-warmte verhouding	Economische levensduur	Installatie -tijd	Betrouwbaar-heid
	MW	%	last 100%	last 50%	%	/	jaar	maanden	%
Stoomturbine	0,5-100*	90-95	14-35	12-28	60-85	0,1-0,5	25-30	12-18(klein); 36(groot)	95
Gastturbine	0,1-100	90-95	25-40	18-35	60-80	0,5-0,8	15-20	9-14; (> 7MW) 2	95
Diesel motor	0,07-50	80-90	35-45	25-35	70-88	0,6-2	15-25	24-36	n.b.

3.4 Waaron WKK

In dit onderdeel wordt er dieper ingegaan op verschillende redenen waarom warmtekrachtkoppeling gebruikt zou kunnen worden. Hierbij wordt zowel de positieve als negatieve kant van deze technologie belicht.

3.4.1 Primaire energie besparing

3.4.1.1 Het principe

Traditioneel worden warmte en elektriciteit gescheiden geproduceerd. Beide energievormen worden door een afzonderlijke installatie opgewekt. Warmte wordt decentraal gegenereerd, hoofdzakelijk wegens te grote energieverliezen bij transport. Decentraal wil zeggen dat elke afnemer instaat voor zijn eigen productie om zo in zijn eigen warmtebehoefte te voorzien (Centinkaya, & Lemmens, 2008). De opwekking gebeurt meestal door middel van een bepaald type verwarmingsketel of boiler met een typisch thermisch rendement, gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde van de brandstof, van tussen de 90% en 109%.

Elektriciteit, in tegenstelling tot warmte, is gemakkelijk te transporteren en wordt daarom centraal opgewekt in grote elektriciteitscentrales om vervolgens getransporteerd te worden tot bij de afnemer. Het elektrisch rendement van een klassieke elektriciteitscentrale schommelt tussen de 30 en 55%. Bij een WKK-installatie daarentegen ligt de brandstofbenutting, op basis van de onderste verbrandingswaarde, tussen de 80 en 90%.

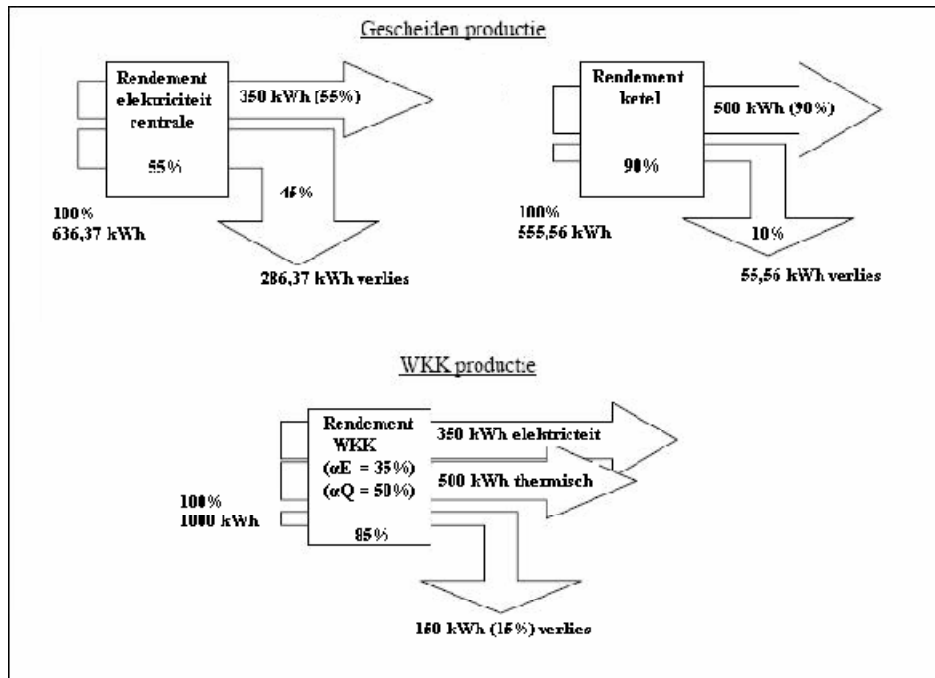
Door de schaarste aan exergiebronnen, zoals vermeld in voorgaande hoofdstukken, moeten deze best zo efficiënt mogelijk worden ingezet. In het geval van gescheiden productie is er ondanks het hoge thermische rendement van 90% of meer wel sprake van een groot kwaliteitsverlies aangezien de brandstof van hoge kwaliteit vaak wordt omgezet in warmte op lage temperatuur. Deze energievorm bestaat, afhankelijk van zijn temperatuur, uit een deel anergie en bevat dus energie van lagere kwaliteit. Bij de productie van elektriciteit wordt een groot deel van de ontwikkelde warmte geloosd in de atmosfeer. Op deze manier gaat een hele hoop thermische energie gewoonweg verloren. De geproduceerde elektriciteit is echter wel volledig omzetbaar in andere energievormen en daarom van hoge kwaliteit. We concluderen dat de te vermijden exergieverliezen of kwaliteitsverliezen bij gescheiden productie aanzienlijk zijn. In het kader van een zo efficiënt mogelijke benutting van brandstoffen is dit een slechte zaak. (Cogen Vlaanderen vzw, 2007)

Bij WKK gaat men brandstof verbranden en omzetten in hoogwaardige thermische energie. Deze energie kan worden ingezet voor de productie van mechanische energie. Meestal wordt een alternator gebruikt zodat de mechanische energie omgezet wordt in elektrische energie. De restwarmte van het proces heeft een lagere temperatuur en dus van lagere kwaliteit. Deze restwarmte gaat men verder gebruiken voor de volledige of gedeeltelijke verwarming van andere toepassingen. Zo kan men gebouwen verwarmen of de warmte gebruiken voor industriële (droog)processen.

Volgend voorbeeld toont aan dat er, gegeven de bovenvermelde rendementen, inderdaad een besparing is van primaire brandstoffen. Om het primair brandstofverbruik van de twee methoden met elkaar te kunnen vergelijken wordt uitgegaan van eenzelfde vraag naar warmte en elektriciteit waaraan voldaan wordt op basis van de twee methoden.

Voor dit voorbeeld veronderstellen we dat het elektrisch rendement van de WKK installatie, η_E , gelijk is aan 35% en het thermisch rendement van deze installatie, η_Q , gelijk is aan 50%. Uit 1000 kWh primaire energie brandstof wordt vervolgens 350 kWh elektrische en 500 kWh thermische energie gehaald. 150 kWh komt in de omgeving terecht als laagwaardige warmte waar ze vervalt tot warmte op temperatuur van de omgeving. Dit deel wordt bijgevolg niet nuttig gebruikt. Het energetisch rendement van de WKK-installatie is bijgevolg gelijk aan $(350+500)/1000 = 85\%$. De formule voor de berekening van het energetisch rendement is terug te vinden in sectie 2.4.

Bij de gescheiden productie maakt men gebruik van een verwarmingsketel met een rendement van 90% en een stoom- en gascentrale, afgekort STEG-centrale, met een elektrisch rendement van 55%. Om 350 kWh elektrisch energie te bekomen is 636.37 kWh aan primaire brandstof nodig. Daarenboven is er voor 555.56 kWh primaire brandstof nodig voor het bekomen van 500 kWh nuttige thermische energie. Samen is er 1191.93 kWh (636.37 kWh + 555.56 kWh) aan primaire brandstof nodig bij gescheiden productie terwijl er slechts 1000 kWh nodig was bij WKK. Het verschil bedraagt 191.93 kWh. Procentueel gezien kan er dus door het inzetten van een WKK in deze situatie $191.93/1191.93 = 16.1\%$ van de primaire brandstoffen bespaard worden. Doordat de WKK de verschillende vormen van vrijgekomen energie nuttig weet te gebruiken vermindert deze methode de hoeveelheid "verloren" energie van 341 kWh naar 150 kWh. Dit is een daling met 56%.



Figuur 3: gescheiden productie versus WKK productie (Eyckmans, 2007)

In het kader van deze masterproef wordt het voorbeeld aangepast aan de situatie van het bedrijventerrein van Genk-Zuid. Het elektrisch rendement van de centrale van Langerlo is gelijk aan 36% (persoonlijke communicatie met elektrabel service, 5 januari 2010). Bijgevolg is met betrekking tot het eerder vermelde voorbeeld 972.22 kWh hoeveelheid primaire brandstof (kolen) nodig voor het bekomen van 350 kWh elektrische energie. In totaal moet er 1527.78 kWh aan primaire energie worden gebruikt. Dit betekent dat het verschil met de opwekking door middel van WKK, 527.78 kWh bedraagt. In dit geval zorgt WKK voor een daling van 34.54% ($527.78/1527.78$) primaire energie.

In bovenstaande tekst en figuur wordt de energie die niet nuttig aangewend kan worden aangeduid als "verlies". Zoals besproken in sectie 2.1 kan volgens de eerste wet van de thermodynamica geen energie verloren gaan. Wat hier, evenals in de rest van dit werk, bedoeld wordt met verlies is dus het degenereren van energie van hoge kwaliteit naar energie van lage kwaliteit zonder er op een nuttige manier gebruik van te kunnen maken.

De meeste WKK-installaties werken op fossiele brandstoffen. Dit hoeft niet noodzakelijk zo te zijn. Ook hernieuwbare brandstoffen, zoals biomassa of biogas, kunnen worden gebruikt. Deze brandstoffen zijn milieuvriendelijker en worden door gebruik te maken van een WKK-installatie ook efficiënt gebruikt.

3.4.1.2 Berekening en praktijk

Vorige sectie toont aan dat het gebruik van WKK een besparing van energiebronnen kan opleveren. Om dit doel te bereiken is het noodzakelijk dat het WKK-systeem nauwkeurig wordt gekozen, ontworpen en ingepast word. Meer informatie hierover is terug te vinden in hoofdstuk 4 en volgenden. (COGEN, basishandboek)

Onderstaande tabel geeft de warmtekrachtbesparing (WKB) en relatieve primaire energiebesparing (RPEB, ook vaak afgekort als RPE) volgens berekeningen van het VITO weer over de periode van 2005 tot en met 2008.

Tabel 4: relatieve primaire energiebesparing en warmtekrachtbesparing (Bron: Cogen Vlaanderen b., 2009)

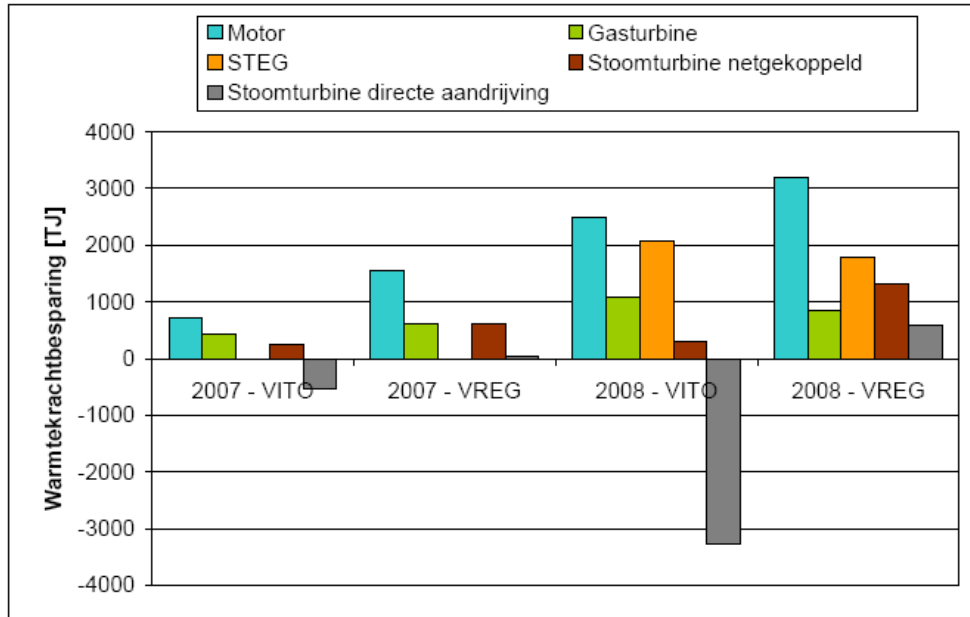
	2005		2006		2007		2008	
	WKB [TJ]	RPEB [%]	WKB [TJ]	RPEB [%]	WKB [TJ]	RPEB [%]	WKB [TJ]	RPEB [%]
Motoren	1037	19%	886	18%	1142	17%	2893	23%
Gasturbines	4133	15%	4284	15%	4226	15%	5619	20%
STEG's	5713	16%	5044	11%	6273	13%	7559	14%
Stoomturb. – netgek.	284	2%	828	4%	668	3%	656	3%
Stoomturb. – dir. aandr.	-3456	-11%	-662	-3%	-705	-3%	-3284	-11%
ALLE	7711	7%	10379	8%	11603	9%	13442	9%

De gegevens tonen aan dat de WKK-motoren de grootste relatieve primaire energiebesparing hebben in Vlaanderen. De berekening van de warmtekrachtbesparing en de relatieve primaire energiebesparing wordt nader toegelicht in hoofdstuk 5.

Stoomturbines leveren de minste, tot zelfs negatieve, besparing op. Afhankelijk van de bron verschillen deze gegevens. Zo kwam de VREG wel op positieve resultaten uit. Dit zou volgens *de WKK-inventaris van 2008* van Cogen Vlaanderen (2009) te wijten kunnen zijn het al dan niet in rekening brengen van productie van energie voor de keuring van de vernieuwde stoomturbines. Zo werkt VITO met cijfers van het hele jaar, onafhankelijk van de goedkeuring. Bijgevolg brengt VITO ook de proefdraaiperiode mee in rekening. Dit doet de VREG niet.

Bekijken we tabel 4 dan kunnen we concluderen dat er in Vlaanderen in 2008 gemiddeld 9% relatieve primaire energie bespaard wordt door het gebruik van WKK. Indien we, bij gebrek aan eenduidigheid, geen rekening houden met de waarden voor de stoomturbine bekomen we een hogere RPE, namelijk 17.72%.

$$17.72\% = \frac{2893}{16071} \times 23\% + \frac{5619}{16071} \times 20\% + \frac{7559}{16071} \times 14\%$$

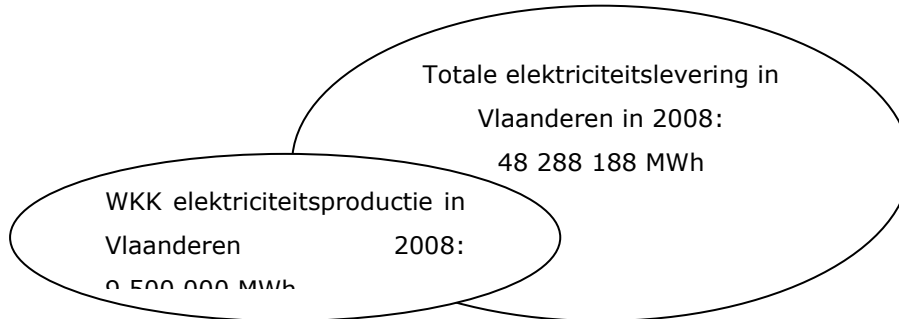


Figuur 4: vergelijking van warmtekrachtbesparing volgens gegevens van VITO en VREG (2007-2008)

De besparing aan niet-hernieuwbare energiebronnen ten opzichte van gescheiden productie is niet enkel te wijten aan het werkingsprincipe van WKK. Door de decentrale opwekking van elektriciteit worden ook transportverliezen vermeden. Deze transportverliezen bedragen gemiddeld 8 tot 10%. (Cogen Vlaanderen, 2007) In bovenstaande figuur zitten deze gegevens echter niet vervat.

Om een indruk te kunnen krijgen van de grootteorde van bovenstaande gegevens vergelijken we hier het totale geplaatste elektrisch vermogen van alle WKK-installaties samen in Vlaanderen met de totale vraag naar elektrische energie in Vlaanderen. Volgens *WKK-inventaris 2008* van Cogen Vlaanderen (2009) produceren alle WKK-installaties samen 34.2 PJ elektrische energie. Peta (P) is gelijk aan 10^{15} , Watt is gelijk aan joule per seconde ($W = J/s$). Bijgevolg is $34.2 * 10^{15} J = 9.5 * 10^{12} Wh$ ofwel 9.500.000 MWh. Uit het marktrapport 2008 van het VREG (2009) blijkt dat de totale hoeveelheid geleverde elektriciteit in 2008 in Vlaanderen 48.288.188 MWh bedroeg. Onder geleverde elektriciteit wordt alle elektriciteit verstaan die geleverd wordt in Vlaanderen aan eindafnemers die aangesloten zijn op het transmissie- en distributienet. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de distributieverliezen als gevolg van het transport van de elektriciteit. Dit is dus inclusief alle elektriciteit die WKK-installaties via het net transporteren naar de eindconsument. Er is dus een overlapping tussen totale elektriciteitslevering in Vlaanderen en de totale elektriciteitsproductie in Vlaanderen. Enerzijds zijn er WKK-installaties die via het elektriciteitsnet elektriciteit leveren aan de eindconsument, anderzijds zijn er WKK-installaties die rechtstreeks elektriciteit leveren aan de eindconsument, zonder hierbij gebruik te maken van het distributie- of transmissienet. Onderstaande figuur geeft dit grafisch weer. De verhouding tussen

beide grootheden is $\frac{9\,500\,000\text{ MWh}}{48\,288\,188\text{ MWh}} = 19,67\%$



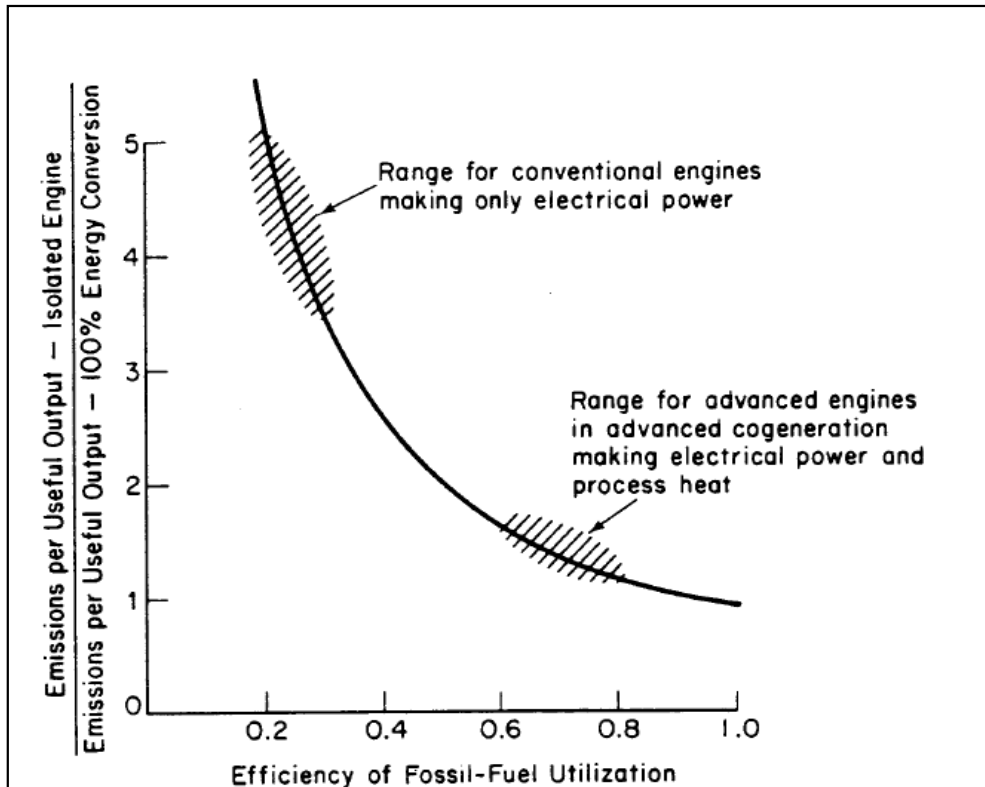
Figuur 5: weergave grootteorde elektriciteitsproductie WKK ten opzichte van totale electriciteitslevering in Vlaanderen

3.4.2 Ecologische benadering

In dit onderdeel bekijken we de invloed van WKK vanuit een ecologisch perspectief. De ecologie bestudeert alle relaties en interacties die bestaan tussen organismen en hun omgeving. De mens maakt deel uit van de biosfeer¹ en de meeste ecosystemen². De impact van de mensen op hun omgeving, en dus op de ecosystemen waarin ze actief zijn, neemt stelselmatig toe. Redenen hiervoor zijn hoofdzakelijk toe te wijzen aan de stijgende bevolking en productie van (afval)materialen en energievormen. WKK heeft betrekking tot dit laatste. Doordat WKK, omwille van zijn verhoogde efficiëntie, de stijging van het gebruik van primaire brandstoffen tegengaat, voorkomt ze deels de uitstoot van enkele luchtverontreinigende stoffen. Echter, maakt WKK meestal nog steeds gebruik van die technieken die verantwoordelijk zijn voor enerzijds de uitstoot van schadelijke stoffen voor mens, dier en omgeving en anderzijds de klimaatverandering.

¹ Biosfeer, ook ecosfeer genoemd, wordt beschouwd als de som van alle ecosystemen.

² "Ecosysteem is de som van alle organismen en hun onderlinge relaties in een begrensde gebied in relatie tot hun abiotische omgeving. Een ecosysteem kan klein zijn (bijvoorbeeld een kleine tuinvijver) maar ook groot (bijvoorbeeld een tropisch regenwoud)." (Vangronsveld, 2008, p.3)



Figuur 6: relatie tussen efficiënt brandstofgebruik en de uitstoot van pollutanten (Cogen Vlaanderen, 2006)

Zoals abstract weergegeven werd in figuur 3 en reëel weergegeven in tabel 4 en figuur 4 zorgt het gebruik van WKK voor een beperkte vermindering van primair brandstofgebruik. Hierbij wordt verondersteld dat de WKK-installatie gebruik maakt van brandstoffen die niet van lagere kwaliteit zijn dan bij de gescheiden opwekking. De impact van de verhoogde efficiëntie van een WKK-installatie ten opzichte van gescheiden opwekking op de uitstoot van pollutanten wordt weergegeven in figuur 6. Op de x-as is de efficiëntie van het brandstofverbruik te zien. Hoe lager de efficiëntie hoe hoger de uitstoot per nuttig gebruikte hoeveelheid brandstof. Hoe groter de efficiëntie hoe minder brandstof nodig is per hoeveelheid nuttige output.

De bescheiden vermindering van het gebruik van primaire energie, door het gebruik van WKK, toont aan dat een sterke evolutie in een energievoorzienende technologie nodig zal zijn om de ommekeer in de uitstoot van milieuverontreinigende stoffen teweeg te brengen. WKK mag dan ook niet het einddoel zijn in de strijd tegen de vervuiling, maar is een goede stap in de richting van efficiënter gebruik van primaire grondstoffen en een sterker energiebewustzijn van de consument.

Wanneer men overstapt van een centrale naar een decentrale productie van elektriciteit, met andere woorden van een grote elektriciteitscentrale naar verschillende kleinere WKK-installaties,

betekent dit niet noodzakelijk een verbetering van de luchtkwaliteit. Grote elektriciteitscentrales zijn normaalgezien ver van woonwijken gelokaliseerd en voorzien van technologie voor de reductie van stikstofoxiden en ontzwaveling. Hoge schoorstenen verspreiden de resterende rookgassen vervolgens over grote oppervlakten. Decentrale productie gebeurt dicht bij de gebruiker, en kan afhankelijk van de locatie, in of in de buurt van stedelijke zones of industriezones geplaatst zijn. Hier kunnen ze een schadelijke impact hebben op de lokale luchtkwaliteit. In wat volgt worden de belangrijkste milieuverontreinigende stoffen opgesomd en kort voorzien van uitleg over de gevolgen die ze teweegbrengen. (Cogen Vlaanderen, 2006)

De verbranding van fossiele brandstoffen in (WKK)-motoren creëert ideale condities voor de vorming van stikstofoxiden (NO_x) en zwaveloxiden (SO_x). Sterk verhoogde concentraties zijn verantwoordelijk voor de ontwikkeling van onder andere fotochemisch smog en zure regen. (Miller, 2005; Vangronsveld, 2008)

De meest besproken milieuverontreinigende stof is koolstofdioxide (CO_2). Door de grote hoeveelheid koolstoffen in brandstoffen zijn ze onvermijdelijk verbonden aan het verbrandingsproces. Het gemeenschappelijk kenmerk van broeikasgassen zoals CO_2 , CO, N_2O , methaan, ..., CFK's, is hun capaciteit om het infrarode deel van het elektromagnetische spectrum te absorberen. De steeds stijgende concentraties aan broeikasgassen in de atmosfeer kunnen leiden tot een stijging van de gemiddelde temperatuur op deze planeet en parallel hiermee een grote invloed uitoefenen op de verschillende ecosystemen. Zo heeft een stijging van de gemiddelde temperatuur onder andere een gevolg voor de waterbevoorrading, zeeniveau en extreme weersomstandigheden. (Miller, 2005)

In de natuur bestaan er een aantal kringlopen van materie. Afbraakproducten kunnen, mits toevoer van energie, opnieuw door producenten als grondstof worden gebruikt. Deze kringlopen worden biogeochemische cycli genoemd. Doordat bovenstaande stoffen met grote hoeveelheden extra in de atmosfeer terechtkomen, beïnvloeden ze onder meer de N-cyclus, de S-cyclus en de CO_2 -cyclus en liggen ze mee aan de basis van verschillende milieuproblemen.

Ook thermische vervuiling kan een invloed uitoefenen op een ecosysteem. Een stijging van de watertemperatuur verlaagt de oplosbaarheid van zuurstof in water waardoor sommige organismen in zuurstofnood komen en bijgevolg minder goed functioneren of sterven. (<http://www.lenntech.nl/water-verontreiniging-faq.htm#ixzz0b7sc3QV4>). In een studie van Kerkum, Vaate, Vendrig & Bijstra (2003) worden de effecten van een temperatuurstijging opgedeeld in directe en indirecte effecten. De waargenomen directe effecten waren acute sterfte, stress en de verlenging en/of verschuiving van voortplantingsperiode en groeiperiode van organismen. De indirecte effecten zijn een verschuiving van de voedselketens, afname van de biodiversiteit en een verhoogde kans op aandoeningen en ziekten. Door het minder goed

functioneren van de organismen die instaan voor de natuurlijke zuivering van water, raakt het water meer vervuild. (<http://www.milieuloket.nl/9353000/1/j9vvhurbs7rzkq9/vhurdyxqjfyu>)

De lozing van koelwater moet dan ook aan strenge normen voldoen. Doordat in een WKK-installatie de thermische energie beter benut wordt bekomt men lagere temperaturen en voldoet men sneller aan de opgelegde maxima.

3.4.3 Economische benadering

De economische rendabiliteit speelt een belangrijke, zo niet de belangrijkste rol in de keuze tot investeren in een duurzamere technologie zoals WKK. De rendabiliteit van een WKK-installatie is afhankelijk van verschillende factoren en wordt uitgebreid besproken vanaf hoofdstuk 5.

WKK zorgt dankzij de decentrale productie van elektriciteit voor een daling van de afhankelijkheid van de elektriciteit van het elektriciteitsnet. Daarenboven moet de elektriciteit, in tegenstelling tot gescheiden productie, niet over lange afstand vervoerd worden. Dit zorgt niet enkel voor een vermindering van de elektrische energie, maar ook voor het wegvallen van de kosten van de netwerkbeheerder voor het transport van de elektriciteit.

In het kader van de afhankelijkheid van België en Vlaanderen voor zijn energiebevoorrading zorgen efficiëntere technieken voor een verlaagde afhankelijkheid. Daar België voor zijn brandstofvoorzieningen voor meer dan 76%³ afhankelijk is van import, wegen de internationale invloeden op de brandstofprijzen zeer zwaar op de nationale en regionale economie. Aangezien WKK tot doel heeft minder primaire energie te verbruiken, zorgt het extra inzetten van WKK's voor een vermindering van de totale benodigde brandstof uit het buitenland en bijgevolg voor een verlaagde afhankelijkheid

Ook zorgt WKK voor werkgelegenheid. Het berekenen en uittekenen van een WKK-installatie is precisiewerk en vergt kennis waar een bedrijf meestal niet over beschikt. Daarom worden vaak ingenieursbureaus aangesproken voor het uittekenen, berekenen en vaak ook de opvolging van een WKK-project. Naast zulke ingenieur bureaus zijn er ook installateurs en producenten die de op maat gemaakte motoren kunnen plaatsen en leveren.

³ 76.1% in 2000, 78% in 2004, 78.2% in 2005, 77.9% in 2006, 77.2% in 2007 (Eurostat, 2009)

3.4.4 Reputatie

In tegenstelling tot het plaatsen van zonnepanelen of windmolens zorgt het gebruik van WKK niet rechtstreeks voor een duurzamere uitstraling van de onderneming daar de eerst genoemden, in tegenstelling tot WKK, wel genieten van een hoge mate van visibiliteit. Ook is WKK een minder goed gekende technologie onder niet-specialisten. De bijdrage van deze technologie aan een positief imago van de onderneming is bijgevolg beperkt. De introductie van micro WKK's op de consumentenmarkt kan daar mogelijk verandering in brengen.

De invloed van een goede reputatie heeft ook een bedenkelijke invloed op het succes van een bedrijf. Hoe graag overheden duurzamer werken en een duurzame reputatie ook stimuleren en hoe graag mensen op lange termijn de voorkeur geven aan een duurzame oplossing voor de energievoorziening, blijft op korte termijn nog steeds de prijs en de kwaliteit van het aangeboden product van belang. Indien WKK enkel zou bijdragen aan de duurzame reputatie zou de technologie slechts weinig worden toegepast. Bijgevolg is opnieuw het economische aspect van belang voor de integratie van deze technologie bij bedrijven.

Warmtekrachtkoppeling past ook in het kader van maatschappelijk verantwoord ondernemen (MVO). Deze kijkt op ondernemen streeft naar een duurzamere ontwikkeling van zijn beleid in een globale economie. De focus ligt hierbij op activiteiten die niet enkel het bedrijf ten goede komen, maar ook de maatschappij vooruit helpen.

3.5 Neveneffecten van decentrale elektriciteitsproductie

Naast de eerder besproken tekortkomingen van WKK op het vlak van ecologie in sectie 3.4.2, zijn er nog andere nadelige neveneffecten.

Door een verhoging van de decentrale opwekking van elektriciteit, al dan niet op basis van WKK, kunnen de nutsbedrijven in de problemen komen. Indien verondersteld wordt dat de vraag naar elektriciteit niet stijgt, zien de elektriciteitsproducenten de vraag naar hun elektriciteit dalen. Bijgevolg ontstaat er een overcapaciteit. De vaste kosten verbonden aan de productie van elektriciteit in centraal opgestelde elektriciteitscentrales, moeten gedeeld worden door minder verbruikte kilowatturen elektriciteit. Bijgevolg brengt dit een algemene stijging van de elektriciteitsprijs teweeg.

Indien we het bovenstaande scenario behouden, kan de aanbouw van meer WKK-installaties verschillende effecten veroorzaken. Stel dat de capaciteit van nieuwe WKK installaties kleiner is

dan de totale vraagstijging naar energie op de (Vlaamse) elektriciteitsmarkt. Dan kan men stellen dat de producenten aan deze vraag zullen gaan voldoen door hun capaciteit uit te breiden. Echter, indien de aanbouw van WKK's groter is dan gepland, vallen de uitbreidingsplannen van producenten in het water en zal op korte termijn van deze plannen moeten worden afgezien. De lange termijn kan verondersteld worden dat WKK nooit de volledige markt zal beslaan en de energieproducenten zich bijgevolg kunnen aanpassen aan de veranderende marktomstandigheden. Daarbovenop komt ook nog de decentrale productie van elektriciteit door middel van zonnepanelen. Ook met deze productie moeten de energieproducenten rekening houden. Deze aanpassingen aan de marktomstandigheden zorgen opnieuw voor een betere afstelling van de productiecapaciteit op de vraag waardoor de prijs van de elektriciteit weer op lange termijn constant zal blijven. (Cogen Vlaanderen vzw, 2006).

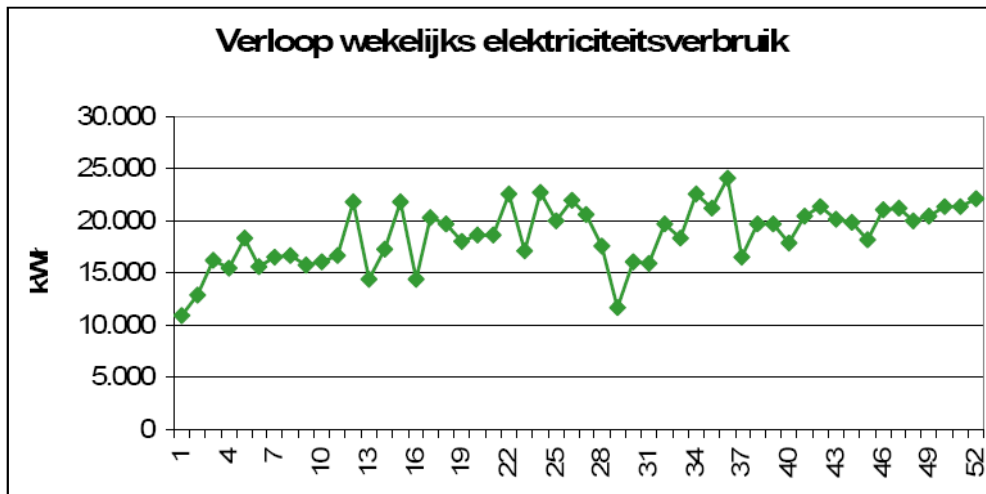
4 Technische dimensionering van een WKK.

In deze paragraaf bespreken we hoe het systeemdesign van de WKK-installatie best wordt bepaald. Het is belangrijk de WKK-installatie juist te dimensioneren daar een foute dimensionering zowel technisch als financieel nadelig is. Om correct te kunnen dimensioneren is kennis van de energievraag essentieel. Daarom wordt alvorens over te gaan tot dimensionering eerst de analyse van de energievraag aan de hand van profielen en belastingscurven nader toegelicht. Vervolgens moet er een keuze worden gemaakt tussen de verschillende systeemeigenschappen. Zo bekomt men uiteindelijk een WKK-installatie die zo lang mogelijk, zo efficiënt mogelijk kan werken. (Cogen Vlaanderen, 2006)

4.1 Analyse van de energievraag

4.1.1 Belastingsprofielen

Een profiel is een overzichtelijke weergave van de vraag naar energie van een bepaald systeem of bedrijf onder een bepaalde vorm in functie van de tijd en wordt gebruikt om de juiste dimensionering van de toekomstige WKK-installatie te onderzoeken. Doordat de vraag naar thermische en elektrische energie niet noodzakelijk op elk tijdstip gelijk- of parallellopend zijn, bevinden de pieken van de profielen zich op verschillende tijdstippen. Een systeem ontwikkelen die voldoet aan de vraag van één van de profielen kan bijgevolg op bepaalde tijdstippen niet volledig voldoen aan de vraag van een ander profiel. Een systeem ontwikkelen op basis van de gemiddelden van de verschillende behoeften, kan eveneens leiden tot een over- of onderschatting. Het gebruik echter van zeer gedetailleerde gegevens voor het ontwikkelen van een WKK-systeem is in de praktijk vaak niet haalbaar en duur. Daarom streeft men naar een vereenvoudigde voorstelling van de realiteit, die toch gedetailleerd genoeg is om voldoende informatie te verschaffen die gebruikt kan worden in de ontwerpprocedure van het WKK-systeem. Belastingsprofielen opgesteld per maand voldoen aan het minimum. Ook kan men kiezen de belastingsprofielen op te splitsen in verschillende seizoenen. Een voorbeeld hiervan is terug te vinden in bijlage 2. Bij het in kaart brengen van de energievraag dient men er zorg voor te dragen dat enkel die energievraag gebruikt wordt die voor WKK van toepassing is. (Cogen Vlaanderen, 2006) In figuur 7 wordt een voorbeeld gegeven van een elektrisch vermogensprofiel op basis van het wekelijks gasverbruik van een onderneming.



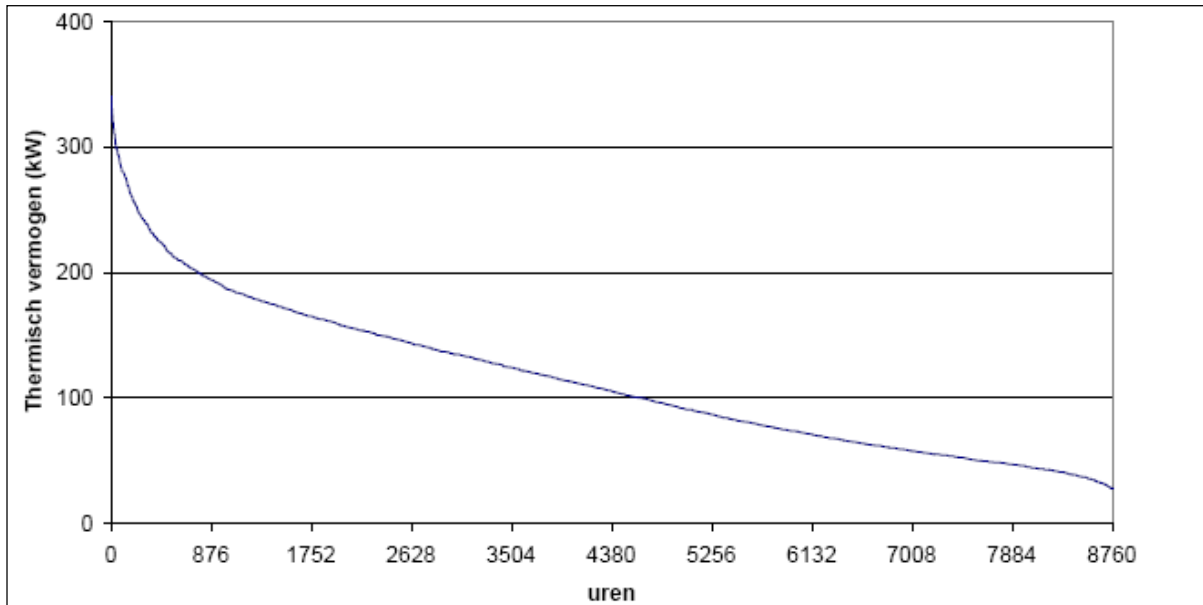
Figuur 7: voorbeeld van een elektrisch vermogensprofiel op basis van het wekelijks verbruik (Agentschap ondernemen, z.j.)

Naast informatie over de huidige situatie moeten ook toekomstige energiebesparingsmaatregelen in acht worden genomen. Deze maatregelen beïnvloeden namelijk de toekomstige profielen en veroorzaken een verschuiving van de huidige evenals toekomstige vraagprofielen. Een voorbeeld van zo'n maatregel, met betrekking tot kantoorgebouwen, kan het plaatsen van dubbele beglazing zijn. Hierdoor zakt de vraag naar thermische energie en verandert bijgevolg het thermische vermogensprofiel van het kantoorgebouw. Door toekomstige maatregelen in acht te nemen bij de berekening of eerst uit te voeren alvorens verder te gaan wordt vermeden dat een installatie met een te groot vermogen geïntegreerd wordt. Met andere woorden, de installatie is overgedimensioneerd. Een teveel aan vermogen zorgt er voor dat de installatie niet op vollast moet werken, wat nadelig is voor het uiteindelijke rendement van de installatie. (Cogen Vlaanderen, 2006; Dexters, z.j.)

4.1.2 Belastingduurcurven

De belastingduurcurve, ook wel monotoondiagram genoemd, geeft het aantal uren gedurende een jaar weer dat een welbepaald vermogen overschreden wordt. Deze curve wordt bekomen door de energiebehoefte van één bepaalde energievorm, elektrisch of thermisch, te ordenen van groot naar klein en ze volgens weer te geven ten opzichte van de cumulatieve tijdsduur. Op basis van deze curve kan de basislast en pieklast van een bepaalde energiebehoefte weergegeven worden. Een voorbeeld van een belastingduurcurve wordt hieronder weergegeven (Cogen Vlaanderen, 2006; Dexters, z.j.). De pieklast is de grootte van de energiebehoefte wanneer deze maximaal is. In

bovenstaande figuur valt deze net boven de 300 kW. Onder basislast verstaat men het niet fluctuerende gedeelte van de energievraag. (<http://www.encyclo.nl/begrip/basislast>)



Figuur 8: belastingsduurcurve (Cogen Vlaanderen, 2006)

Een gewone verwarmingsketel wordt gedimensioneerd op zijn pieklast. Door op basis van de pieklast te dimensioneren kan men onder alle situaties, ook de extreme, aan de warmtevraag voldoen. Dit heeft wel als gevolg dat de verwarmingsketel enkel tijdens zijn piekvraag op vollast, dit is continu, moet werken. In het bovenstaande geval is er slechts tijdens een hele korte periode spraken van een piek boven de 300 kW. Bijgevolg is er tijdens alle overige uren sprake van overcapaciteit. Tijdens deze perioden moet de verwarmingsketel op deellast draaien. Met andere woorden, de ketel springt regelmatig op en af. Dit brengt voor een gewone verwarmingsketel geen problemen met zich mee omdat het op en afslaan van de ketel niet zorgt voor extra vermeldenswaardige technische problemen. Ook het rendement varieert nauwelijks bij deellast. Financieel weegt de meerkost van overdimensionering niet op tegenover de meerkost verbonden aan alternatieve opstellingen van meerdere verwarmingsketels om te allen tijde aan de warmtevraag te kunnen voldoen (Dexters, z.j.). Dit verklaart ook waarom er in de praktijk zo goed als altijd slechts één verwarmingsketel geplaatst wordt.

WKK-installaties zijn om volgende drie redenen niet geschikt voor dimensionering op basis van de pieklast. Ten eerste bezitten WKK-installaties met verbrandingsmotoren een grote thermische traagheid. Onder thermische traagheid wordt verstaan dat het langer duurt alvorens er nuttige warmte aan de verwarming of het sanitair water kan worden afgegeven. Daar waar in de conventionele situatie de brander zijn warmte rechtstreeks afgeeft, wordt bij een WKK eerst de inwendige koelkringloop van de verbrandingsmotor op temperatuur gebracht waarna er pas

restwarmte kan worden afgestaan. Ten tweede wordt in de literatuur vastgesteld dat het rendement van een WKK snel zakt indien men onder deellast werkt. Tenslotte moet het veelvuldig starten en stoppen van een WKK-installatie, als gevolg van werking onder deellast, vermeden worden om extra slijtage, schade en bijgevolg ook bijkomende kosten te vermijden. Een WKK wordt daarom best zo veel mogelijk in vollast gebruikt. Bijgevolg mag de WKK-installatie absoluut niet overgedimensioneerd worden aangezien dit deellast in de hand werkt. (Dexters, z.j.)

4.2 Werkingsmode van het WKK-systeem

Het WKK-systeem kan op verschillende manieren worden afgestemd op de energiebehoefte. Hier worden de 3 belangrijkste werkingsmodes van een WKK-systeem opgesomd:

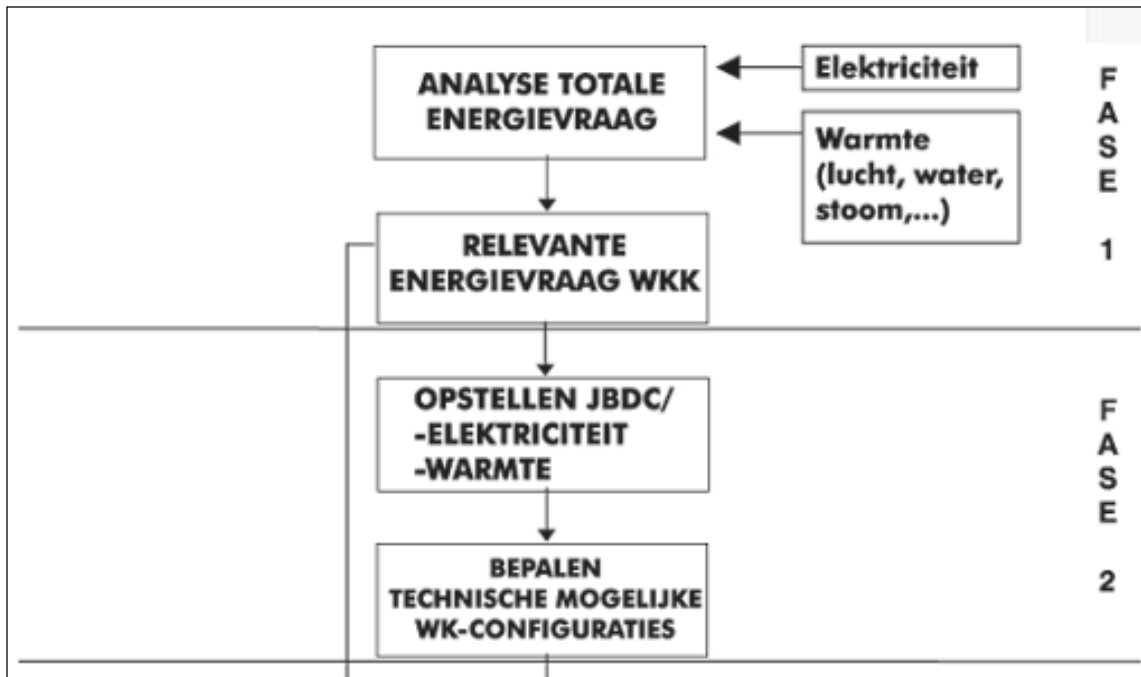
- *Warmtevraag-gestuurd*: De thermische output van het systeem is te allen tijde gelijk aan de warmtevraag. De overschot aan elektriciteit tijdens deze warmteproductie kan bij netkoppeling aan het net worden verkocht. In het omgekeerde geval wordt bijkomende elektriciteit van het net gekocht.
- *Elektriciteitsvraag-gestuurd*: De elektrische output van het systeem is steeds gelijk aan de gevraagde hoeveelheid elektriciteit. Een tekort aan warmte kan worden aangevuld met een supplementaire boiler. Een overschot aan warmte kan men eventueel gebruiken in een absorptie koelmachine. Anders wordt het geloosd in de omgeving waar het vervalt tot warmte op temperatuur van de omgeving, zoals beschreven in sectie 2.3.
- *Gecombineerde sturing*: Afhankelijk van welke periode beschouwd wordt, is een andere van bovenstaande werkingsmethode het meest voordelig. Op deze manier wordt er per periode een keuze gemaakt tussen één van bovenstaande werkingsmodes.

Afhankelijk van de situatie zal men voor een andere werkingsmode kiezen. De beste keuze zou gemaakt kunnen worden aan de hand van optimalisatieprocedures. (Cogen Vlaanderen, 2006) In de praktijk kiest men echter nagenoeg altijd voor de warmtevraag gestuurde WKK-installatie. De keuze van werkingsmode en het verband tussen de werkingsmode en de jaarbelastingsduurcurve wordt in sectie 4.3 besproken.

4.3 Procedure voor het dimensioneren van een WKK-systeem

Zowel Cogen Vlaanderen (2006) als Energik (2004) zetten een procedure, bestaande uit 4 fasen , uiteen voor het dimensioneren van een WKK-systeem. Onderstaande procedure wordt hier uit afgeleid en betreft zowel de economische als technische haalbaarheid van een project bij de dimensionering.

Energik (2004) geeft de 4 fasen schematisch weer. Hier worden deze 4 fasen, uit praktische overwegingen voor de lezer, in twee blokken weergegeven.



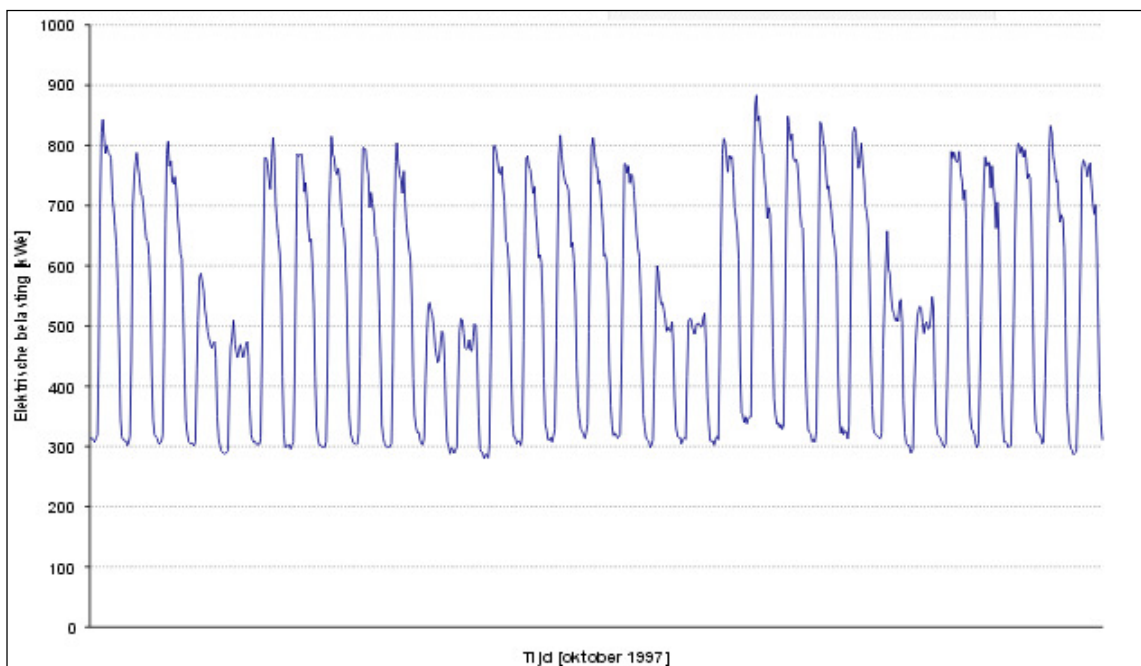
Figuur 9: fase 1 &2, structuur technische dimensionering WKK. (Energik, 2004)

4.3.1 De eerste fase: analyse van de relevante energievraag voor WKK

Hiertoe brengt men eerst de grootte en de profielen van de totale warmte- en elektriciteitsvraag in kaart. Daarbij houdt men rekening met de verschillende mogelijkheden tot energiebesparende maatregelen die men wil uitvoeren alvorens de WKK te installeren. (Cogen Vlaanderen, 2006)

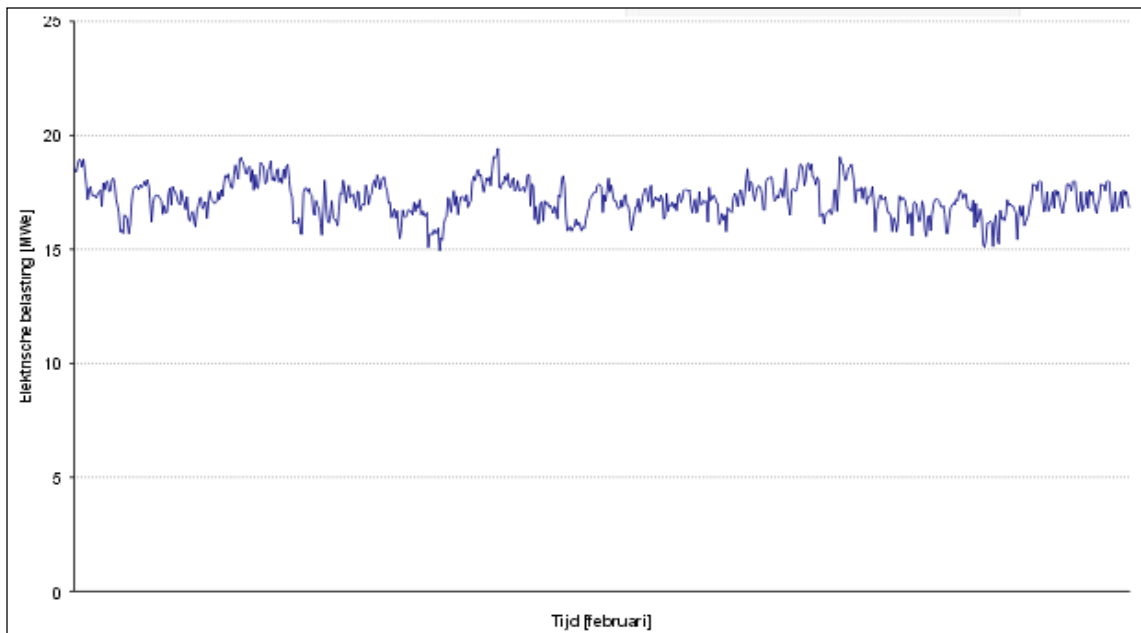
Vervolgens leidt men de energievraag af die relevant is voor WKK. Zo moet onder andere worden nagegaan of men alles, of slechts aan een deel van de warmtevraag wenst te voldoen met behulp van WKK. Bij het analyseren van de reeds bestaande facturen dient men het verschil tussen de gefactureerde waarden en het werkelijke verbruik te analyseren. Zo wordt bijvoorbeeld bij de brandstof aardgas gefactureerd op de bovenste verbrandingswaarde. Echter wordt er in de praktijk, bij het ontbreken van een rookgascondensator nog latente warmte via de rookgassen uitgestoten. Daarom moet men voor de berekening van de energievraag de onderste verbrandingswaarde nagaan. Deze is voor aardgas in het algemeen gelijk aan 90% van de bovenste verbrandingswaarde. Indien we een niet-condenserende ketel met een rendement van 80% veronderstellen moet de energiefactuur vermenigvuldigd worden met 72% ($=90\%*80\%$) om de relevante energievraag te bekomen. (Energik, 2004)

Ook wordt hier opgemerkt dat bij het aanmaken van de profielen er rekening moet worden gehouden met de schaal. Zo laat een jaarprofiel niet toe te zien hoe de energievraag fluctueert gedurende de week ten opzichte van het weekend. Onderstaand voorbeeld geeft een maandprofiel van de vraag naar elektriciteit in een bedrijf waarbij de vraag duidelijk daalt in het weekend.



Figuur 10: voorbeeld elektrisch profiel bedrijf. (Energik, 2004)

Bij een bedrijf met een volcontinu proces verwacht men een constanter profiel. Onderstaand figuur zou hier een voorbeeld van kunnen zijn.



Figuur 11: voorbeeld elektrisch profiel. (Energik, 2004)

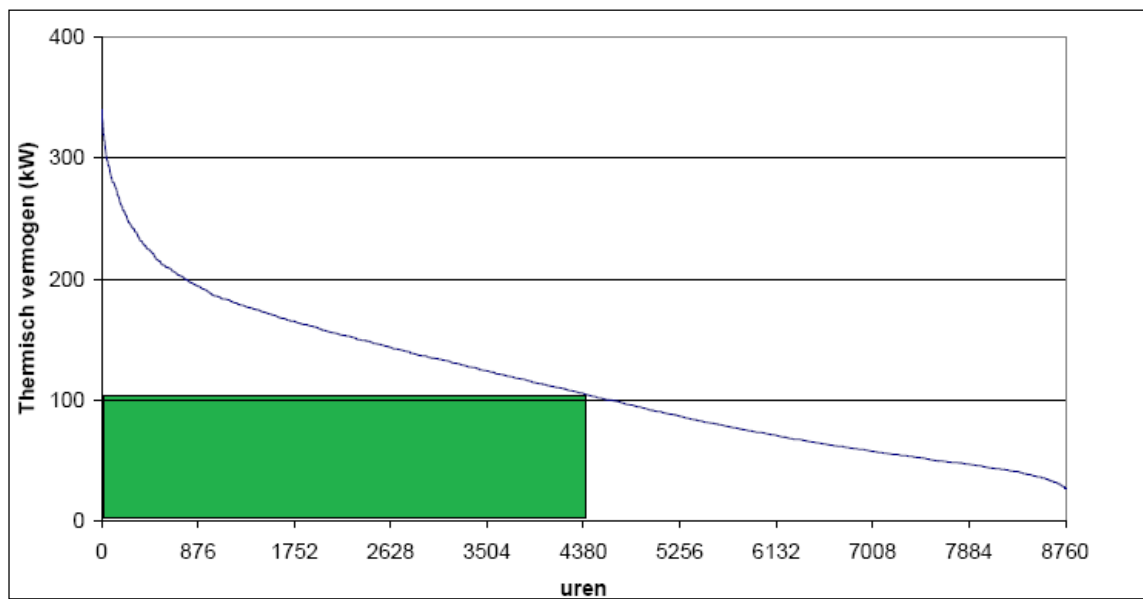
4.3.2 De tweede fase: selectie van technisch haalbare systemen

Zoals reeds vermeld in sectie 4.1.2 mag een WKK zeker niet worden overgedimensioneerd. Het is de bedoeling de installatie zo veel mogelijk in vollast te laten draaien. Daarnaast wenst men de installatie zo lang mogelijk te benutten en uiteindelijk zo veel mogelijk energie mee op te wekken. Het zoeken naar de eigenschappen van een installatie die aan bovenstaande vereisten voldoet, gebeurt aan de hand van het tekenen van een zo groot mogelijke rechthoek onder de jaarbelastingsduurcurves. Bij deze werkwijze laat men deellast buiten beschouwing. Dit om de negatieve gevolgen van deellast te vermijden. Afhankelijk van de gebruikte werkwijze worden de thermische, elektrische of beide jaarbelastingsduurcurves gebruikt. Als hulpmiddel voor het bepalen welke rechthoek nu het grootste is gebruikt men de productiecurve. Bij deze curve zet men de oppervlakte van de rechthoek onder de jaarbelastingsduurcurve, die overeenkomt met de grootte van de energieproductie door de WKK, uit tegen het geplaatste vermogen van het WKK-systeem. De top van deze productiecurve komt overeen met de grootste oppervlakte en dus met de meeste geproduceerde energie.

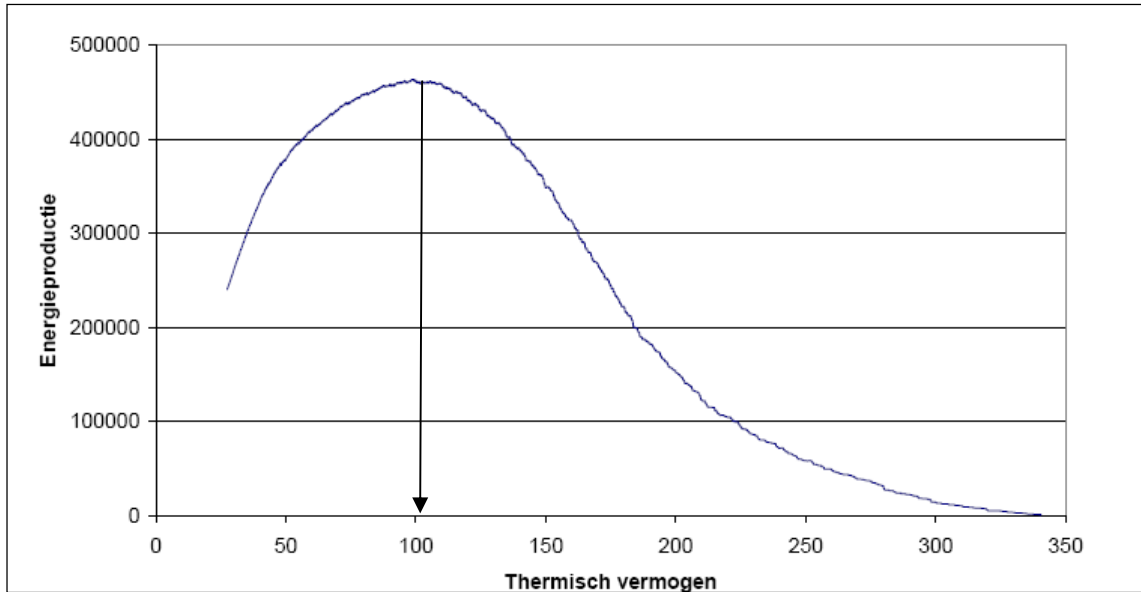
Meestal dimensioneert men de WKK installatie op basis van de warmtevraag. Dit komt omdat er met een overschot aan warmte vaak niets meer kan worden gedaan. Doordat elektriciteit makkelijker transporteerbaar is, kan men overbodige elektriciteit aan het net doorverkopen of een

tekort van het net afkopen. Echter kan het voorkomen dat een bedrijf alsnog opteert de installatie te dimensioneren op basis van de elektriciteitsvraag. Reden hiervoor kunnen onder andere zijn dat een bedrijf vanaf een bepaalde hoeveelheid elektriciteit die ze van het net aankoopt extra moet betalen. Soms kan een te hoge productie van elektriciteit economisch nadelig zijn, bijvoorbeeld wanneer de opbrengsten van verkoop niet opwegen tegen de kosten om de WKK te laten draaien.

In onderstaande figuren wordt eerst een jaarbelastingsduurcurve weergegeven. Vervolgens wordt hier een productiecurve uit afgeleid.



Figuur 12: voorbeeld van een jaarbelastingsduurcurve. (Cogen Vlaanderen, 2006; eigen analyse)

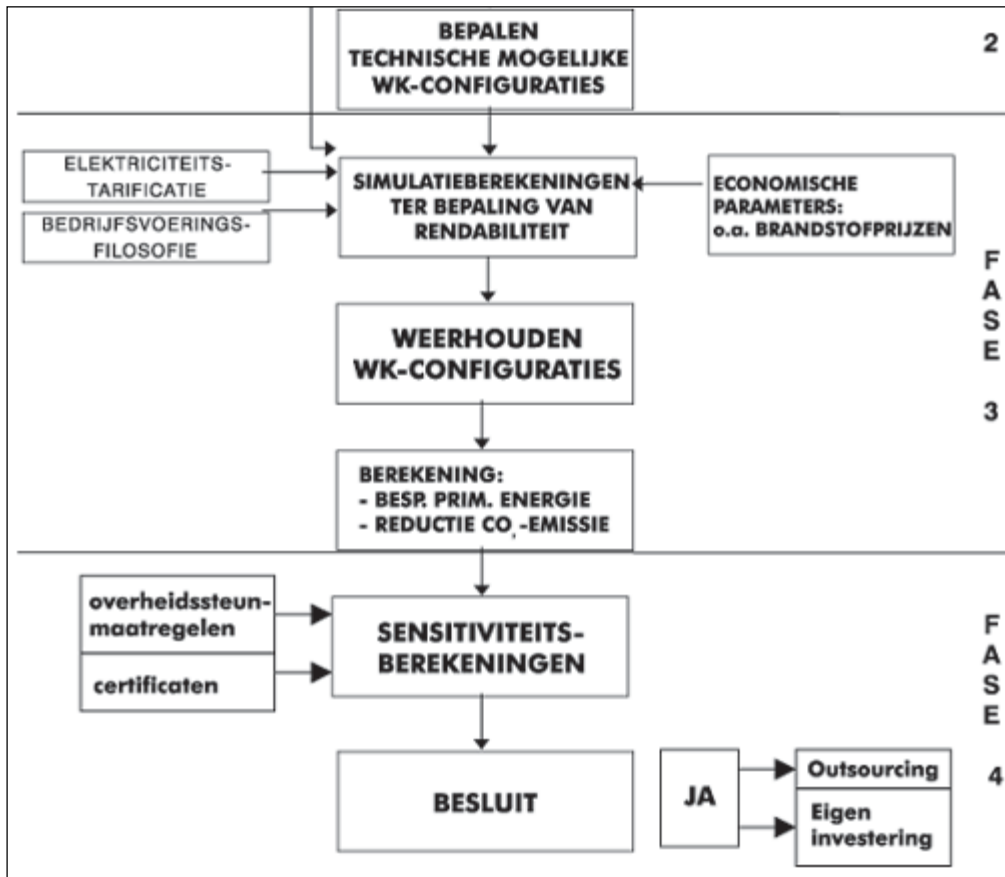


Figuur 13: productiecurve, afgeleid uit bovenstaande jaarbelastingsduurcurve (Cogen Vlaanderen, 2006; eigen analyse)

Bovenstaande groene rechthoek werd afgeleid uit de productiecurve. Het maximum van deze productiecurve ligt bij benadering bij een thermisch vermogen van iets meer dan 100 kW. Deze waarde wordt vervolgens gebruikt in de jaarbelastingsduurcurve als waarde voor het thermische vermogen. De snijlijn met de jaarbelastingsduurcurve bepaalt de waarde van het aantal uren die overeenkomt met deze configuratie. Op deze manier wordt de rechthoek bekomen met de grootst mogelijke oppervlakte onder de curve. De gevonden waarden bepalen verder de ideale configuratie waar het WKK-systeem aan moet voldoen. (Cogen Vlaanderen, 2006)

Verder moeten de eigenschappen van tabel 3 uit sectie 3.3.5 afgewogen worden om een WKK te verkrijgen die zo goed mogelijk is afgestemd op de berekende configuratie. Door een WKK-installatie te plaatsen met de dimensie gelijk aan de rechthoek onder de jaarbelastingsduurcurve met de grootst mogelijke oppervlakte kan niet op elk moment aan de warmtevraag worden voldaan. Zo zal bij bovenstaand voorbeeld de installatie slechts rond de 4380 uren draaien terwijl er gedurende het volledige jaar (8760 uren) vraag naar warmte is. Dit betekent dat de installatie gedurende 4380 uren per jaar zal stilstaan. Wanneer de WKK-installatie stil staat zal de warmtevraag door een andere installatie moeten worden opgevangen. Ook wanneer de warmtevraag groter is dan hetgeen de WKK-installatie kan produceren is er nood aan een extra installatie om aan de resterende warmtevraag te beantwoorden. De vraagschokken kunnen onder andere worden opgevangen via een kleinere, in verhouding tot de situatie zonder WKK, hoogrendementsketel (HR-ketel) en/of een aangepaste warmtebuffer.

Onderstaande figuur vormt samen met figuur 3.5a één geheel en geeft de volgende 2 fasen, respectievelijk fase 3 en 4, weer.



Figuur 14: fase 3 & 4, structuur technische dimensionering WKK. (Energik, 2004)

4.3.3 Derde fase: analyse van de financiële haalbaarheid

Uit de vorige fase kan men de ideale configuratie afleiden. In de realiteit is deze configuratie echter niet noodzakelijk de meest interessante oplossing. Daarom wordt in de praktijk vaak verschillende technische configuraties overwogen die in de buurt liggen van de ideale technische configuratie. Een combinatie van de technische en economische factoren zal dan bepalen welke configuratie gekozen wordt. Een voorbeeld van de afweging van verschillende configuraties is terug te vinden in hoofdstuk 7.

4.3.4 Vierde fase: gedetailleerd design

In het gedetailleerd design worden alle specificaties van alle componenten nader beschreven. Uiteindelijk wordt dit gedetailleerd plan gebruikt om na te gaan of de geplande installatie voldoet aan de financiële verwachtingen van fase drie. Indien deze verwachting positief is kan op basis van de design overgegaan worden op het bouwen van het WKK-systeem.

4.3.5 Vijfde fase: sensitiviteitsanalyse

Bij deze analyse wordt nagegaan wat de invloed van verschillende parameters is op de economische evaluatiemaatstaven die gebruikt worden bij de haalbaarheidsanalyse. Indien er meerdere van deze parameters als variabel worden beschouwd is er sprake van een Monte Carlo analyse. In de hoofdstukken waarin de gevalstudies worden behandeld, wordt steeds een sectie voorzien voor de sensitiviteitsanalyse.

5 Economische haalbaarheid van warmtekrachtkoppeling

Zoals eerder vernoemd in onder andere hoofdstuk 4 zijn er heel wat voordelen verbonden aan het correct implementeren van WKK. De economische haalbaarheid van het investeringsproject is echter nog steeds doorslaggevend. Om de economische haalbaarheid te onderzoeken, moeten een aantal inkomsten- en uitgavenposten in acht worden genomen.

Bij een investeringsproject worden de kosten en baten ten opzichte van elkaar afgewogen. Eerst worden de belangrijkste kosten verbonden aan het installeren van een WKK-installatie uiteengezet. Vervolgens worden de baten verder gespecificeerd. De kosten en baten worden samengevat weergegeven in onderstaand schema.

Tabel 5: kosten-batenanalyse (Energik, 2004; eigen analyse)

Kosten	Baten
Investeringskosten <ul style="list-style-type: none">• Aanschafkosten• Plaatsingskosten• Projectkosten	Besparing energierekening (= energierekening 'geen WKK' ⇔ energierekening 'wel' WKK)
Onderhoudskosten	Subsidies <ul style="list-style-type: none">• Verhoogde investeringsaftrek• Ecologiepremie
Werkingskosten	<ul style="list-style-type: none">• Warmtekrachtcertificaten• Groenestroomcertificaten

5.1 Belangrijkste kosten

Een investering in een WKK-installatie kan opgesplitst worden in twee grote groepen. Enerzijds is er de investeringskost verbonden aan de bouw van de installatie en anderzijds zijn er de vaste en variabele werkingskosten.

5.1.1 Investeringskost

De investeringskost kan opgesplitst worden in drie delen: de aanschaf-, plaatsings- en projectkosten. Zonder volledig te willen zijn wordt er een lijst weergegeven van kosten, afgeleid uit de literatuur, die mogelijk belangrijk kunnen zijn voor de investeringsanalyse. Doordat de vraag naar energie voor elke situatie verschillend is, zijn ook de kosten hieraan verbonden uniek. Sommige van de onderstaande kostenposten zijn bijgevolg niet van toepassing op bepaalde projecten terwijl andere kostenposten mogelijk uitgebreid moeten worden.

De *aanschafkosten* bestaan uit de kosten verbonden aan de aankoop van onderdelen inclusief vervoerskosten en eventueel belastingen. Deze onderdelen zijn onder andere de motorblok en generator, een warmterecuperatiesysteem, bijstook mogelijkheden, uitlaatgassystemen, elektronica en automatisering, brandstof toevoer, elektrische uitrusting en aansluiting, thermische aansluiting, vervoerskosten, belastingen (indien van toepassing), financiële kosten zoals interesten.

Ook de *plaatsingskosten* van de installatie moet in rekening worden gebracht. Hieronder verstaat men de kosten verbonden aan de installatievergunning, de voorbereiding en aankoop van het terrein evenals de kosten verbonden aan het in orde brengen van het gebouw.

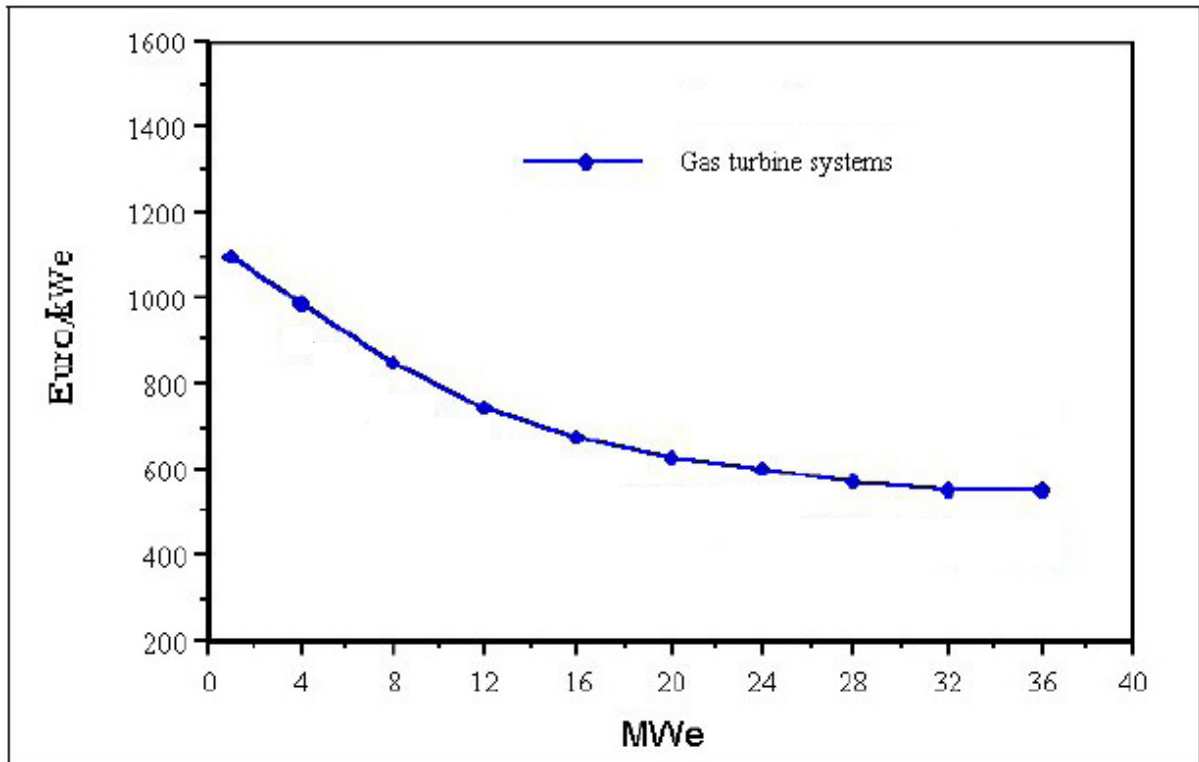
Daarnaast bestaan er nog de zogeheten *projectkosten*. Deze kosten kunnen volgens het basis handboek van Cogen Vlaanderen (2006) tussen de 15 en 30% van de totale investeringskost bedragen. De voornaamste projectkosten zijn de kosten voor het ontwerpen, beheren en opvolgen van het project. Daarnaast zijn er ook nog kosten verbonden aan het voeren van milieustudies, het verkrijgen van milieuvergunningen evenals het bijscholen en opleiden van het personeel.

De investeringskosten zijn sterk projectafhankelijk en kunnen slechts door een gerichte offerte worden weergegeven. Onderstaande tabel dient als ondersteuning voor het inschatten van de verhouding tussen de verschillende investeringskosten. Deze gegevens zijn van toepassing op kleinschalige WKK-installaties. (Cogen Vlaanderen, 2006; Energik, 2004)

Tabel 6: procentueel aandeel van de verschillende investeringskosten t.o.v. de totale investering. (Jennekens, 1989 in Cogen Vlaanderen, 2006)

Type van de kost	% van totaal
WKK-eenheid inclusief warmterecuperatieuitrusting	55
Instrumentatie, voorschriften en regeling	15
Hulpsystemen	5
Verbinding met het net	5
Bouwonkosten en/of akoestische omheining	10
Installatie en commissie loon	5
Project beheerskosten	5
Totaal	100

Investeringskosten worden vaak grafisch uitgezet ten opzichte van het geïnstalleerd vermogen. Algemeen geldt dat de investeringskost per eenheid geïnstalleerd vermogen daalt naarmate het geïnstalleerd vermogen groter wordt. Daarnaast bestaat er ook een onderscheid in kosten tussen de verschillende gebruikte technieken. In onderstaande grafiek wordt de verandering van de prijs per kWe geïnstalleerd vermogen van een gasturbine weergegeven ten opzichte van het totale geïnstalleerde vermogen van deze turbine.



Figuur 15: specifieke investeringskost van middelgrote tot grootschalige WKK-systemen (Cogen Vlaanderen, 2006; eigen analyse)

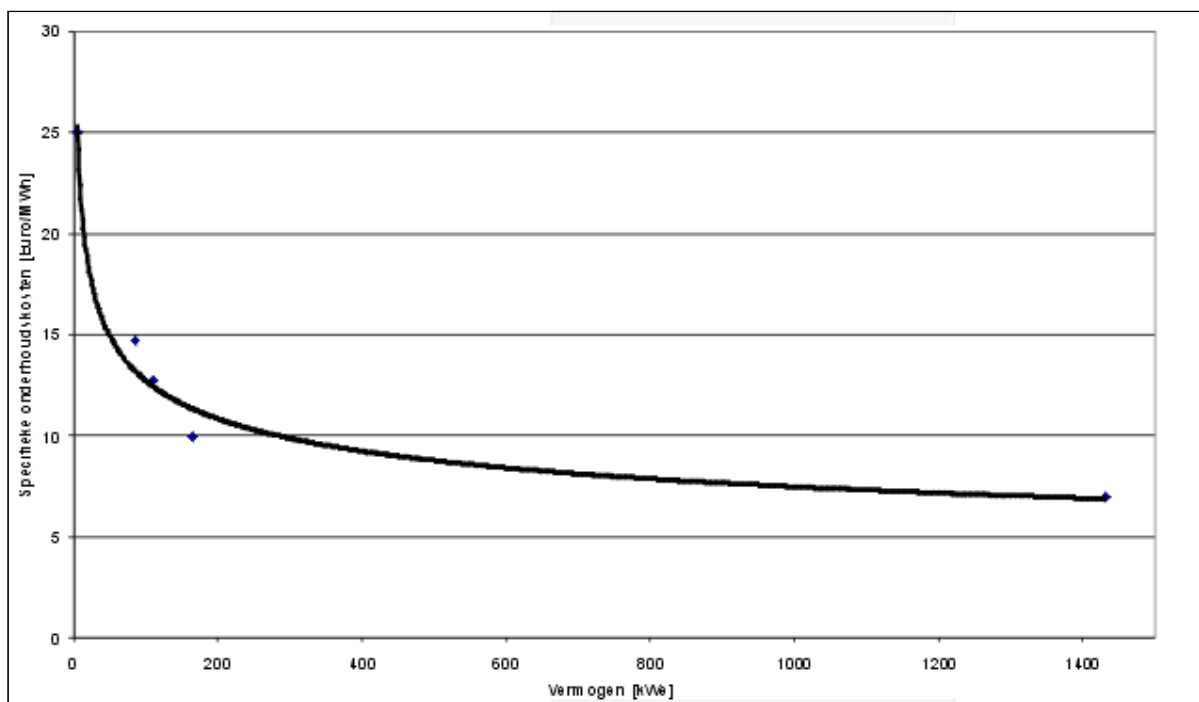
5.1.2 Werkings- en onderhoudskosten

Onder werkings- en onderhoudskosten worden de kosten verstaan die gemaakt worden om de installatie te laten draaien en degelijk te onderhouden. In de literatuur worden onderstaande werkings- en onderhoudskosten onderscheiden.

De gebruikte *brandstof* is de belangrijkste werkingskost mits ze geen restproduct is van een ander intern productieproces. Deze kosten kunnen 80% van de totale werkingskost bedragen. Ook de *uitbatingskost* valt onder de noemer werkingskost. De belangrijkste uitbatingskost is de personeelskost. De personeelskost is gerelateerd aan de complexiteit, grootte en automatisering van het systeem. Zo is het misschien noodzakelijk extra personeel aan te werven of bestaand personeel te onderrichten. Andere uitbatingskosten zijn de kleine onderhoudsproducten die gebruikt moeten worden zoals smeerolie of water. Deze kosten zijn zeer klein ten opzichte van de personeelskosten. Tevens kan men een verzekering afsluiten om zich in te dekken tegen materiële of financiële schade ten gevolge van een faling van de installatie. Deze verzekeringskost bedraagt per jaar, afhankelijk van hetgeen de polis dekt, tussen de 0,25 en 2% van de totale

investeringskost. Andere mogelijke werkingskosten zijn administratieve kosten, interestkosten, etc. en maken slechts een klein deel uit van het totaal van de werkingskosten.

Het onderhouden van het systeem kan in eigen beheer of extern geregeld worden. Een tussenvorm is ook mogelijk. Hierbij doet de externe firma bijvoorbeeld enkel het groot onderhoud en wordt het klein onderhoud in eigen beheer uitgevoerd. De grootte van de onderhoudskost is afhankelijk van de gekozen eigenschappen van de installatie zoals de gebruikte technologie, het brandstoftype of de werkomgeving. Algemeen kunnen we ook hier stellen dat de kosten per geïnstalleerd vermogen dalen naarmate het geïnstalleerd vermogen groter wordt. Dit wordt weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 16: specifieke onderhoudskosten bij gasmotoren (€/kWh) (Energik, 2004)

Ook moet worden rekening gehouden met een groot onderhoud. Aangezien een WKK-installatie niet anders dan een motor is, zijn er na een aantal draaiuren verschillende onderdelen onderworpen aan grote slijtage. Bepaalde onderdelen moeten, naast de tussentijdse onderhoudsbeurten, grondig nagekeken en vervangen worden.

Vanuit accounting standpunt kan het daarenboven ook interessant zijn de werkings- en onderhoudskosten op te splitsen in vaste en variabele kosten. Kosten worden als vast beschouwd indien ze gemaakt worden, ongeacht het werken van de WKK. De variabele kosten daarentegen

zijn wel afhankelijk van het aantal draaiuren of de hoeveelheid geproduceerde energie. Onderstaande tabel geeft de gemiddelde onderhoudskosten weer.

Tabel 7: gemiddelde onderhoudskosten (Cogen Vlaanderen, 2006)

Systeem	Onderhoudskost* (€/MWh_e)
Gasturbine	5,4 - 4,6
*Lagere waarden zijn toepasbaar op grotere systemen.	

Ook dient te worden opgemerkt dat er een interactie-effect bestaat tussen de werkings- en onderhoudskosten enerzijds en de investeringskosten anderzijds. Zo kan bijvoorbeeld een besparing op de investeringskost een verhoging van de werkings- en onderhoudskost teweegbrengen.

De totale investering kan ook gebeuren in samenwerking met een energiebedrijf of andere investeerder. De contractuele condities bepalen vervolgens de kosten en opbrengsten van elke partij. Voor een energiebedrijf kan het winstgevender zijn een WKK te bouwen en de restwarmte en elektriciteit te verkopen. De elektriciteit moet niet meer worden getransporteerd en de restwarmte gaat niet volledig verloren. De consument daarentegen kan, afhankelijk van de overeengekomen voorwaarden, zonder een al te grote investering profiteren van een lagere prijs voor thermische en eventueel ook elektrische energie. Doorgaans geeft een energiebedrijf, volgens Energik (2004), een korting van 10 à 20% op de aangeboden warmte geleverd door de WKK.

5.2 Belangrijkste baten of opbrengsten

Zoals weergegeven in tabel 5 bestaan de baten uit de besparingen op de energierekening en subsidies.

5.2.1 Productie van warmte

In de situatie waarbij de geproduceerde warmte intern gebruikt wordt is de opbrengst gerelateerd aan de productie van warmte gelijk aan de vermeden kosten voor de productie van dezelfde hoeveelheid warmte onder de niet WKK situatie. In deze oorspronkelijke situatie zonder WKK kan bijvoorbeeld de warmte verkregen worden door middel van een hoogrendementsverwarmingsketel. Enkel de variabele kost van de te vervangen ketel is van belang. Dit omdat er nog steeds een gewone ketel nodig is om aan de warmtevraag, bovenop het warmteaanbod van de WKK, te

voldoen en eventueel om te dienen als reserve systeem bij uitval van de WKK-installatie. De opbrengst van de warmteproductie is daarom gelijk aan:

$$\text{Opbrengst} = \frac{Q \cdot V_F}{\eta_B}$$

Q: de hoeveelheid warmte, bijvoorbeeld uitgedrukt in MWh

V_F : de kostprijs van de brandstof in €/hoeveelheid, bijvoorbeeld €/MWh

η_B : rendement van de oorspronkelijke boiler, bijvoorbeeld 90%.

In het geval dat de warmte verkocht wordt aan een derde, is de opbrengst gelijk aan $Q \times V$. Hier is Q net als hierboven gelijk aan de hoeveelheid warmte en V gelijk aan de prijs waartegen verkocht wordt. (Cogen Vlaanderen, 2006)

5.2.2 Productie van elektriciteit

Ook hier wordt de opbrengst berekend op basis van de vermeden kost. Men stelt de opbrengst uit de productie van elektriciteit (O_E) gelijk aan het product van de geproduceerde hoeveelheid elektriciteit (E) en de marktwaarde van deze geproduceerde elektriciteit (V_E).

In formulevorm: $O_E = E \times V_E$

Hierbij wordt E uitgedrukt aan de hand van de eenheid van vermogen, Watt. Bijvoorbeeld in MWh.

V_E wordt uitgedrukt in € per eenheid vermogen, bijvoorbeeld €/MWh.

De waarde van de geproduceerde elektriciteit is situatie afhankelijk.

Indien de elektriciteit volledig lokaal wordt gebruikt, is V_E gelijk aan de kostprijs die betaald zou worden in afwezigheid van de WKK-installatie. Deze kostprijs wordt bepaald door de marktprijs en de bijkomende kosten van taksen, transport- en distributiekosten. Met betrekking tot de marktprijs dient men rekening te houden met de fluctuaties in tarieven afhankelijk van het uur van de dag en de afgenomen hoeveelheid. Daarnaast worden ook taksen, heffingen en kosten verbonden aan transport en distributie vermeden. Wanneer de elektriciteit deels of volledig aan het net wordt doorverkocht heeft V_E een andere waarde. De verkoopprijs van elektriciteit aan het net ligt namelijk lager als de marktprijs en zal de productiekost van in een centrale benaderen.

Door de schommelingen in enerzijds de vraag naar elektriciteit en anderzijds de productie van elektriciteit door de WKK zijn vraag en aanbod niet altijd op elkaar afgestemd. Dit brengt met zich mee dat eventuele tekorten aangekocht moeten worden van het net. Echter doordat men schommelende en onzekere hoeveelheden zal moeten aankopen kunnen de aankoopvoorwaarden minder gunstig zijn dan onder normale omstandigheden. Ook dit moet worden geïntegreerd in de kosten-baten analyse en kan ingebracht worden door een daling van de opbrengsten of een stijging van de kosten. (Cogen Vlaanderen, 2006)

5.2.3 Subsidies

Alvorens nieuwe en/of duurzamere technologieën gecommmercialiseerd kunnen worden, moeten ze financieel aantrekkelijk zijn. Vaak zijn dit soort technologieën erg duur en bijgevolg onaantrekkelijk voor de consument ondanks dat ze beter presteren op verschillende niet-financiële vlakken ten opzichte van de traditionele technologieën. Bijgevolg is het de rol van de overheid om die technologieën te promoten waarvan zij van oordeel is dat ze nu of in de toekomst kunnen bijdragen tot een betere samenleving.

Warmtekrachtkoppeling is op zich geen nieuwe technologie. Het is eerder een andere invulling en verbetering van enkele reeds bestaande technologieën. Deze andere invulling zorgt echter wel voor de in sectie 3.4 vernoemde voordelen voor de totale maatschappij. Vandaar dat de overheden op Europees, federaal (Belgisch) en regionaal niveau besloten hebben deze techniek van energieopwekking te steunen. De complexe structuur van overheden en bevoegdheden in Vlaanderen en België weerspiegelt zich in de subsidiestructuur die betrekking heeft op warmtekrachtkoppeling. Er worden twee typen subsidies onderscheiden. Enerzijds is er de investeringssubsidie, een eenmalige steunmaatregel die proportioneel is met het geïnvesteerde bedrag. Daarnaast bestaan er uitbatingssubsidies, welke over een langere periode worden gespreid en proportioneel zijn met de energetische prestaties.

5.2.3.1 Investeringssubsidies

Op federaal niveau voorziet men een *verhoogde investeringsaftrek* voor energiebesparende maatregelen. WKK valt onder deze noemer en verkrijgt hiervoor een verhoogde investeringsaftrek. De investeringsaftrek wordt opgesplitst in twee onderdelen. Enerzijds is er het basispercentage. Dit is afhankelijk van het inflatiepercentage en mag bij vennootschappen niet lager zijn dan 3% en niet hoger dan 10%. Voor het aanslagjaar 2010 bedraagt ze 5.5% terwijl voor investeringen met betrekking tot latere aanslagjaren een basispercentage van 3.5% voorzien wordt. Dit basispercentage wordt opgeteld bij het verhoogde percentage en bedraagt 10% voor energiebesparende investeringen. WKK valt onder deze noemer. Het totale investeringsaftrekpercentage bedraagt bijgevolg 15.5% voor investeringen in het aanslagjaar 2010 en 13.5% voor investeringen vanaf aanslagjaar 2011. Voorgaande percentages zijn van toepassing indien de investeerder de aftrek in hetzelfde jaar als de investering wil genieten. De investeerder kan ook beslissen de investeringsaftrek te spreiden. De aftrek wordt dan toegestaan naargelang de fiscaal aanvaarde afschrijvingen. Het percentage bedraagt dan 20.5%. (Deloderre, Haulotte,&

Valenduc, 2009)

Voor een investeerder betekent dit, dat bij een belastingvoet van 33.99%, ze een reële steun ontvangt van 5.3% van het totale geïnvesteerde bedrag ($=33.99\% \times 15.5\%$) bij een eenmalige aftrek. (Federale overheidsdienst financiën, 2009; Cogen Vlaanderen, z.j.) Indien we bijvoorbeeld 100 000 EUR investeren in een WKK-installatie in het aanslagjaar 2010 dan is het verkregen belastingskrediet gelijk aan 5268.45 EUR ($\text{€ } 100\,000 * 33.99\% * 15.5\% = \text{€ } 5268.45$).

Stel dat we datzelfde bedrag gedurende 5 jaar zouden kunnen afschrijven wordt dit een jaarlijkse afschrijving van 1.053,69 EUR ($0.2 * 33.99\% * 15.5\% = \text{€ } 1.053,69$). In onderstaande tabel wordt dit voorbeeld weergegeven. Ter informatie werd de berekening van de netto actuele waarde (NAW) toegevoegd. Hier kan uit besloten worden dat bij dit voorbeeld, het voor een bedrijf pas economisch interessant wordt om een eenmalige afschrijving te doen indien ze een discountvoet groter dan 7.86838% veronderstellen. Natuurlijk kan ook voor een van de twee opties gekozen worden afhankelijk van de winstprognoses van het bedrijf. Dit om zoveel mogelijk afschrijvingen door te kunnen schuiven naar dat jaar waar de meeste winst verwacht wordt, om op die manier een zo groot mogelijke belastingvermindering te bekomen.

Tabel 8: vergelijking van de twee opties van investeringssubsidies

	Eenmalige investering	Gespreide investering				
	jaar	Jaar	Jaar	Jaar	Jaar	Jaar
	1	1	2	3	4	5
Reële aftrek	5.268,45 €	1.053,7 €	1.393,6 €	1.393,7 €	1.393,6 €	1.393,6 €
NAW (5%)	5.268,45 €	5.709,80 €				
NAW (7,86838%)	5.268,45 €	5.268,45 €				
NAW (15%)	5.268,45	4.375,96				

Op niveau van het Vlaams gewest wordt er een *ecologiepremie* uitgegeven. Deze steunmaatregel staat in voor de terugbetaling van een deel van de meerkost die verbonden is aan de investering in een duurzamere technologie. Door de populariteit van deze maatregel verloopt de maatregel sinds 2007 volgens een soort van wedstrijdformule. Er worden per jaar drie oproepen georganiseerd waar een bedrijf zich op kan inschrijven. Het bedrag per oproep wordt vervolgens verdeeld onder de meeste beloftevolle projecten. In 2009 bedroeg het jaarbudget 120 miljoen euro en werd er bijgevolg bij elke oproep 40 miljoen verdeeld (Agentschap Ondernemen, 2010). De beoordeling

gebeurt aan de hand van verschillende objectieve parameters. De belangrijkste van deze parameters meet de mate waarin het ingediende project bijdraagt tot het bereiken van de Kyoto-doelstellingen of het milieubeleid van de Vlaamse overheid. De grootte van het subsidiebedrag is afhankelijk van de ecologische meerkost en de grootte van de onderneming⁴. De eerste genoemde factor is door de bevoegde instantie vastgelegd en wordt berekend op basis van het verschil in prijs tussen de klassieke- of standaardtechnologie en de technologie die duurder is maar voordeliger voor het milieu. Voor warmtekrachtkoppeling is dit percentage vastgelegd op 30% van de totale investering. Ook de grootte van de onderneming bepaalt de grootte van de steunmaatregel. Kleine en middelgrote ondernemingen kunnen rekenen op een subsidie van 40%, terwijl grote ondernemingen tevreden moeten zijn met 20%. Dit komt neer op een totale subsidie voor KMO's en grote ondernemingen van respectievelijk $(30\%*40\%=)$ 12% en $(30\%*20\%=)$ 6% van de totale investering met een maximum van 1.75 miljoen euro. De uitbetaling gebeurt in drie schijven en is belangrijk met betrekking tot de verdiscontering van de bedragen. Een eerste schijf, 30% wordt betaald na de start van de investering, een tweede schijf van 30% volgt nadat de helft van het project is gerealiseerd om ten slotte de overige 40% uit te betalen na het beëindigen en goedkeuren van het project. (Cogen Vlaanderen, 2006; Agentschap Ondernemen, 2010)

5.2.3.2 Uitbatingssubsidies

Vlaanderen verdeelt uitbatingssubsidies die betrekking hebben op WKK aan de hand van warmtekrachtcertificaten en, indien van toepassing, groenestroomcertificaten. De systemen in België verschillen per gewest. Hier wordt enkel het Vlaamse systeem besproken daar enkel deze van toepassing is op de gevalstudies die vanaf hoofdstuk 7 worden besproken.

Warmtekrachtkoppelingcertificaten (WKC)

Alvorens een installatie kan genieten van WKC moet ze worden goedgekeurd. Een WKK-installatie wordt pas goedgekeurd als zijnde een "hoogrenderende WKK-installatie" indien voldaan is aan volgende voorwaarden:

- de installatie moet gelegen zijn in het Vlaams gewest,
- de installatie is in dienst genomen of ingrijpend gewijzigd na 1 januari 2002,
- de installatie is voorzien van de nodige meetapparatuur om permanent de netto elektriciteitsproductie en de netto warmteproductie en het brandstof- of energieverbruik te meten. "Het laatstgenoemde is slechts geldig voor installaties met een elektrisch of mechanisch vermogen groter dan 200 kW." (Vreg a., z.j.)

⁴ Kleine onderneming: <50 werknemers, jaaromzet of jaarlijks balanstotaal <10 miljoen euro. Middelgrote onderneming: <250 werknemers, jaaromzet <50 miljoen euro of jaarlijks balanstotaal <43 miljoen euro
Grote onderneming: geen kleine of middelgrote onderneming.

- de installatie kwalitatief is.

De voorwaarden waar een installatie aan moet voldoen om als kwalitatief te worden beschouwd zijn afhankelijk van de grootte van de installatie. Een installatie met een elektrisch of mechanisch vermogen dat kleiner is dan 1 MW wordt als kwalitatief beschouwd indien ze op jaarbasis een positieve relatieve primaire energiebesparing (RPE, soms in de literatuur afgekort als BPE) realiseert. Installaties met een vermogen groter dan 1 MW worden pas als kwalitatief beschouwd indien ze een gemiddelde RPE van 10% of meer bewerkstelligen. (Vlaamse regering a.; Cogen Vlaanderen, 2006) De verschillende opties worden samengevat in tabel ... van bijlage 4.

Relatieve primaire energiebesparing (RPE)

De berekeningswijze van de RPE werd vastgelegd in bijlage 3 van het ministerieel besluit van de Vlaamse regering van 7 juli 2006 ter bevordering van de elektriciteitsopwekking in kwalitatieve warmtekrachtinstallaties.

De RPE wordt als volgt berekend:

$$RPE = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_Q}{\eta_{Q(ref)}} + \frac{\eta_E}{\eta_{E(ref)}}} \right)$$

Met η_Q = het thermisch rendement van de WKK-installatie

η_E = het elektrisch rendement van de WKK-installatie

$\eta_{Q(ref)}$ = het thermisch rendement van de referentie-installatie

$\eta_{E(ref)}$ = het elektrisch rendement van de referentie-installatie

(Bron: Belgisch staatsblad, 2006)

De rendementen van de referentie-installatie verschillen per situatie en dienen te worden berekend. Onderstaande tabellen die gebruikt worden zijn afgeleid uit het eerder genoemde regeringsbesluit. Enkel de tabel voor de berekening van het thermisch referentierendement is verkregen via de Excel-bestand "Cogenscan" van Cogen Vlaanderen. In deze tabel zijn namelijk al enkele bewerkingen opgenomen die in de wetgeving vermeld staan en die bijgevolg de berekeningen in de eigen Excel-bestand een stuk vereenvoudigen.

Elektrisch referentierendement voor de berekening van RPE

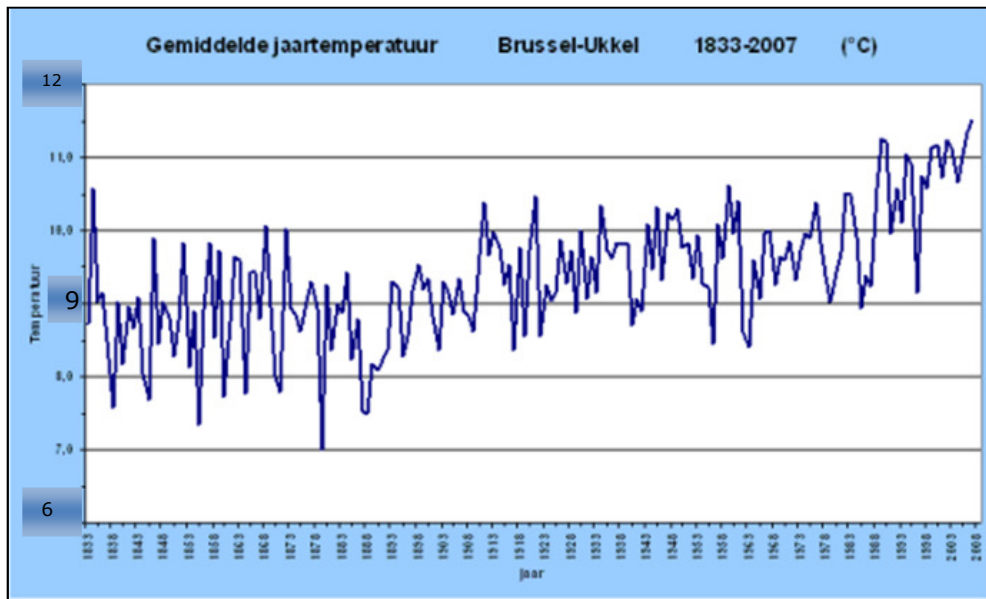
Bij een bepaalde keuze van brandstof voor de WKK-installatie hoort een bepaald referentierendement. De tabel met referentierendementen is terug te vinden in bijlage 3. Indien er meerdere brandstoftypen gebruikt worden, moet het gewogen gemiddelde van de standaard referentierendementen berekend worden.

Daarna wordt een correctiefactor voor de klimaatomstandigheden in rekening gebracht. Deze correctie gebeurt op basis van de grootte van de afwijking tussen de gemiddelde jaartemperatuur en de standaard ISO omstandigheden. Men verhoogt het tot dusver bekomen referentierendement met 0,1 absoluut procentpunt voor elke graad dat de gemiddelde jaartemperatuur lager is dan 15°C. Het omgekeerde verhaal is geldig indien de gemiddelde jaartemperatuur hoger is dan 15°C.

Tabel 9: correctiefactoren voor de klimaatomstandigheden

	<i>Gemiddelde jaartemperatuur</i>	
	<i>< 15°C</i>	<i>> 15°C</i>
<i>referentierendement</i>	+0,1/°C	-0,1/°C
<i>vb: 18°C</i>		-0,30%
<i>vb: 10°C</i>	0,50%	

De hoogst genoteerde gemiddelde jaartemperatuur, gemeten in Ukkel in het jaar 2007, was 11.5°C en wordt als zeer uitzonderlijk beschouwd. Zeer uitzonderlijk wil zeggen dat zo'n gebeurtenis, statisch gezien, slechts eenmaal in de 100 jaar voorkomt. Aangezien 15°C nog een stuk hoger ligt dan 11.5°C, kan geconcludeerd worden dat de kans onbestaande is dat op een, geologisch gezien, korte termijn dat een WKK-installatie actief is, deze 15°C zal overschreden worden in Vlaanderen.



Figuur 17: gemiddelde jaartemperatuur 1833-2007 (KMI, 2008)

Bijgevolg wordt op deze manier de waarde van het referentierendement strenger wanneer de jaarlijkse gemiddelde temperatuur lager ligt dan 15 °C en doet men het omgekeerde wanneer de gemiddelde temperatuur hoger ligt. In het eerste geval zal bij door een verhoogd referentierendement de WKB lager zijn en bijgevolg ook het aantal WKC. Echter zorgt een lage gemiddelde temperatuur ervoor dat de WKK over het hele jaar gezien meer gebruikt zal kunnen worden in het geval deze op basis van de warmtevraag gedimensioneerd wordt. Hierdoor zal de grootte van de WKB stijgen. Op die manier zou men dus kunnen veronderstellen dat de stijging op basis van de temperatuurscorrectie gecompenseerd wordt.

De hoogst genoteerde gemiddelde jaartemperatuur, gemeten in Ukkel, was in het jaar 2007 en bedroeg 11.5°C. Deze gemiddelde jaartemperatuur kan als zeer uitzonderlijk worden beschouwd. Zeer uitzonderlijk wil zeggen dat zo'n gebeurtenis, statisch gezien, slechts eenmaal in de 100 jaar voorkomt. (KMI, 2008) Aangezien 15°C nog een stuk hoger ligt dan 11.5°C, kan geconcludeerd worden dat de kans (nagenoeg) onbestaande is dat op een, geologisch gezien, korte termijn dat een WKK-installatie actief is, deze 15°C zal overschreden worden in Vlaanderen.

Om het uiteindelijke elektrische referentierendement te bekomen wordt ten slotte een correctiefactor voor vermeden netverliezen toegepast. Deze gridcorrectie is een getal gelijk aan of kleiner dan één en wordt samengevat in tabel 32 van bijlage 3. Het tot dusver bekomen elektrische referentierendement moet met deze correctiefactor voor netverliezen vermenigvuldigd worden om het uiteindelijke referentierendement te bekomen.

Het thermisch referentierendement voor de berekening van RPE

De eerste tabel die hier gebruikt wordt, is gehaald uit het Cogen document "COGEN certificaten versie 3.6". Ook deze tabel is gebaseerd op het ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentie-rendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties van 6 november 2006 en is terug te vinden in bijlage 4.

Afhankelijk van het brandstoftype en de gekozen toepassing moet het juiste percentage geselecteerd worden. Ook nu moet het gewogen gemiddelde genomen worden indien er meerdere brandstoftypen en/of toepassingen zijn.

De gevonden resultaten van referentierendementen moeten in de formule van RPE worden ingevuld. Vervolgens bepaalt de grootte van de RPE en de grootte van de installatie of deze kwalitatief is.

Warmtekrachtbesparing (WKB)

Voor het berekenen van de referentierendementen met betrekking tot WKB moet gebruik worden gemaakt van het besluit van de Vlaamse Regering ter bevordering van de elektriciteitsopwekking in kwalitatieve warmtekrachtinstallaties van 7 juli 2006.

De WKB zelf worden berekend volgens de VREG (z.j.) op basis van de warmtekrachtbesparing (WKB). Deze WKB wordt berekend op basis van onderstaande formule:

$$WKB = \frac{E_{netto}}{\eta_{E(ref)}} + \frac{Q_{netto}}{\eta_{Q(ref)}} - F$$

Met E_{netto} = netto elektriciteitsproductie; "is de geproduceerde elektriciteit, verminderd met de gemeten elektriciteitsafname of de equivalente elektriciteitsafname van de utiliteitsvoorzieningen die horen bij de warmtekrachtinstallatie." (De Vlaamse regering a., 2006)

Q_{netto} = netto warmteproductie

$\eta_{E(ref)}$ = het elektrisch rendement van de referentie-installatie

$\eta_{Q(ref)}$ = het thermisch rendement van de referentie-installatie

F = het brandstofverbruik van de WKK-installatie

Cogen Vlaanderen (2006) hanteert een complexere formule voor haar berekeningen van de hoeveelheid WKB en noemt deze de absolute primaire energiebesparing (PEB).

$$PEB = E * \left(\frac{1}{\eta_{E(ref)}} + \frac{\eta_Q}{\eta_E * \eta_{Q(ref)}} - \frac{1}{\eta_E} \right)$$

Met η_Q = het thermisch rendement van de WKK-installatie

η_E = het elektrisch rendement van de WKK-installatie

$\eta_{Q(ref)}$ = het thermisch rendement van de referentie-installatie

$\eta_{E(ref)}$ = het elektrisch rendement van de referentie-installatie

E: de binnen de beschouwde periode door de warmtekrachtinstallatie geproduceerde hoeveelheid elektriciteit (MWh). De 'beschouwde periode' van E is meestal een maand, aangezien de certificaten maandelijks worden toegekend door de VREG.

Zowel de WKB als de PEB berekenen exact hetzelfde. In dit werk zal verder het woord warmtekrachtbesparing gebruikt worden om verwarring met de relatieve primaire energiebesparing te voorkomen.

De hoeveelheid warmtekrachtkoppelingcertificaten dat een bepaalde WKK-installatie ontvangt is afhankelijk van de hoeveelheid WKB. Eén certificaat wordt verkregen per 1000 kWh WKB. De berekening van het aantal WKC gebeurt op basis van de gemeten resultaten van de installatie. Echter indien de installatie niet groter is dan 200 kW mogen de gegevens van de fabrikant worden gebruikt bij de berekening. De berekening van de referentierendementen die in de formule worden gebruikt werden vastgelegd in het ministerieel besluit van de Vlaamse regering van 7 juli 2006. De berekeningen van de referentierendementen toegepast op een gevalstudie is terug te vinden in hoofdstuk 7.

Een WKK-installatie wordt pas goedgekeurd als zijnde een "hoogrenderende WKK-installatie" en kan bijgevolg WKC ontvangen indien voldaan is aan drie voorwaarden. De installatie moet gelegen zijn in het Vlaams gewest, ze moet in dienst genomen zijn na 1 januari 2002 en de gemiddelde relatieve primaire energiebesparing moet groter zijn dan 10%. De berekening van dit laatst genoemde, gebeurt volgens de in deze sectie eerder opgegeven formule voor de berekening van RPE. Het rendement van de referentiecentrales wordt ditmaal afgeleid uit het besluit van 6 oktober 2006. Figuur 20 geeft een overzicht weer waar de referentierendementen van de het de twee wetten gebruikt worden.

Factor X

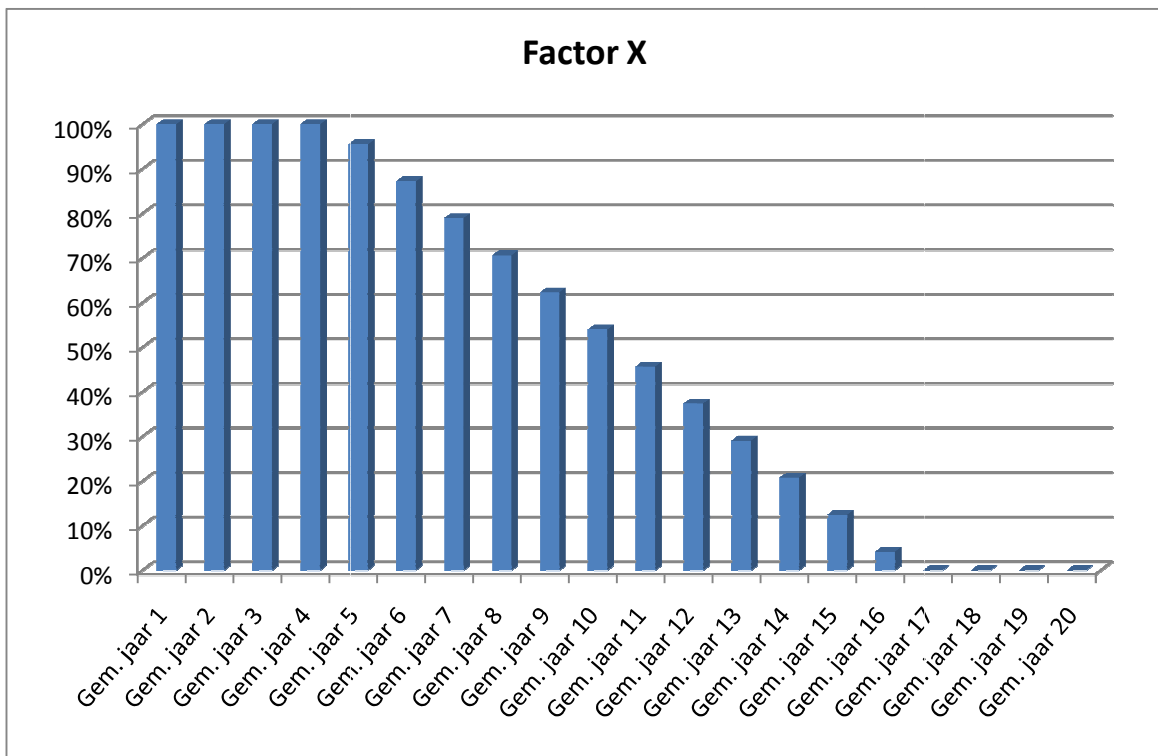
Het aantal WKC neemt na 4 jaar, of te wel vanaf de 49^{ste} maand, met een bepaalde fractie stelselmatig af. De grootte en berekeningswijze van de afname van deze fractie X werd vastgelegd in het besluit van de Vlaamse regering van 6/10/2006.

$$X = \frac{RPE - 0.2 * (T - 48)}{RPE}$$

T: de tijd in maanden sinds de indienstneming van de installatie

RPE: de relatieve primaire energiebesparing uitgedrukt absolute waarden, of te wel vermenigvuldigd met 100

Doordat in de formule het aantal maanden dat de WKK in gebruik is (T), in de teller wordt meegerekend, neemt het aantal certificaten evenals hun opbrengst stelselmatig af. Het patroon van afname wordt in onderstaande figuur weergegeven. De mate van afnamen is situatieafhankelijk. Een installatie die veel primaire energie bespaart, met andere woorden een grote RPE heeft, kan langer genieten van de steun van WKC. Indien T stijgt en RPE groot is, heeft de stijging van T een minder groot effect dan indien RPE klein is.



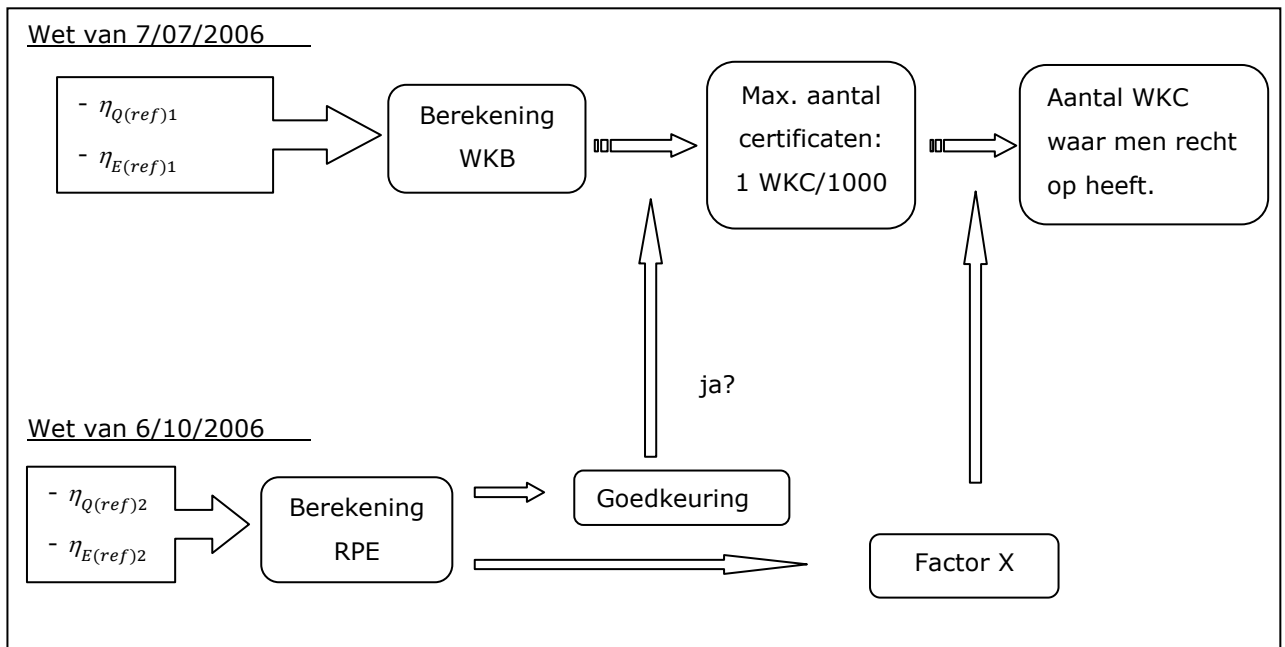
Figuur 18: afname van het aantal inleverbare certificaten in de tijd

Bovenstaand voorbeeld is gebaseerd op een gevalstudie, terug te vinden in het basishandboek warmtekrachtkoppeling van Cogen Vlaanderen (2006).

Tabel 10: gevalstudie factor X (Cogen Vlaanderen, 2006)

elektrisch vermogen (vollast)	kW	1000
thermisch vermogen (vollast)	kW	1130
elektrisch rendement	%	40%
thermisch rendement	%	45%

Opmerkelijk is dat de referentierendementen die gebruikt worden voor de berekening van de WKB niet gelijk zijn aan de referentierendementen gebruikt om te bepalen of de WKK-installatie kwalitatief is. Dit maakt dat het berekenen van de grootte van de subsidies een redelijk complexe berekening vereist. Onderstaande figuur geeft de volgorde weer in een overzicht van welke wetten wanneer gebruikt moeten worden voor het bekomen van de hoeveelheid WKC waar men recht op heeft.



Figuur 19: overzicht van de wetgeving ter berekening van WKC

Verder wordt ook opgemerkt dat de factor X door middel van een zogeheten 'ingrijpende wijziging' opnieuw gelijkgesteld kan worden aan 100%. Om van deze steunmaatregel te kunnen genieten moet voldaan zijn aan één van de drie voorwaarden die terug te vinden zijn in bijlage 5. In deze bijlage is ook een grafiek toegevoegd die aanduidt hoe het verloop van de factor X in de tijd zou kunnen zijn indien er in jaar 10 een ingrijpende wijziging plaatsvindt.

Echter vraagt het veel financiële evenals technische inspanningen om aan een van de voorwaarden te kunnen voldoen. Vandaar dat in de praktijk er slechts zelden gebruik wordt gemaakt van deze

extra steunmaatregel. (persoonlijke communicatie Chris Geers, CI engineer Sappi Lanaken nv, 4 mei 2010; persoonlijke communicatie met Jo Verbiest, Cogen Vlaanderen, 28 april 2010)

Vergelijking tussen de twee elektrische referentierendementen

In het besluit van de Vlaamse regering van 7 juli 2006 liggen de waarden voor fossiele brandstoffen lager dan het ministerieel besluit van 6 oktober 2006. In onderstaande tekst en tabellen worden de waarden van beide besluiten tegen elkaar afgewogen. De waarden uit het besluit van Vlaamse regering van 6 oktober 2006 worden weergegeven zonder rekening te houden met de correctiefactoren. De eerste correctiefactor op basis van de gemiddelde jaartemperatuur leidt immers meestal tot een relatief kleine stijging. Zoals eerder besproken in deze sectie wordt hier geen rekening gehouden met het uiterst onwaarschijnlijke scenario waarbij de gemiddelde jaartemperatuur hoger ligt dan 15°C. Indien we de gemiddelde jaartemperatuur, volgens het KMI, gelijkstellen aan de normale waarde van 9.7°C, dan bekomen we een stijging van slechts 0.5%. Ook dan nog zijn alle waarden van het besluit van 7 juli, met uitzondering van aardgas, groter. De volgende correctiefactor vraagt het bekomen referentierendement te vermenigvuldigen met een getal gelijk of kleiner dan 1. Bijgevolg zullen de reële waarden van de tweede kolom, met uitzondering van aardgas, steeds lager liggen dan de weergegeven waarden in deze tabel.

Tabel 11: vergelijking tussen elektrische referentierendementen fossiele brandstoffen (Vlaamse regering a. en b., 2006)

	6/10 (zonder correcties)	7/07
Steenkool/cokes	44,20%	50-55%
Bruinkool/Bruinkoolbriketten	41,80%	50-55%
Steenolie	39,00%	50-55%
Olie (gasolie + stookolie), LPG	44,20%	50-55%
Aardgas	52,50%	50-55%

Tussen de elektrische referentierendementen, aangaande hernieuwbare energie, wordt haast geen verschil waargenomen. Onderstaande tabel geeft de verschillende waarden weer.

Tabel 12: vergelijking tussen elektrische referentierendementen hernieuwbare energiebronnen ((Vlaamse regering a. en b., 2006)

	6/10 (zonder correcties)	7/07
Houtbrandstoffen en Houtafval	33,00%	34,00%
Bio-afbreekbaar (stadsafval)	25,00%	25,00%
Biobrandstoffen	44,20%	42,70%
Biogas	42,00%	42,00%

Algemeen kan geconcludeerd worden dat fossiele brandstoffen een hoger referentierendement vereisen in beide wetten. Echter in de wet van 7 juli 2006, die dient voor de bepaling van de grootte van de WKB, wenst de wetgever nog strenger te zijn voor het gebruik van fossiele brandstoffen.

Vergelijking tussen de twee thermische referentierendementen

Ook wat de thermische referentierendementen betreft, hanteert het besluit van de Vlaamse regering van 7 oktober 2006 hogere referentiewaarden. Dit wordt in onderstaande samenvattende tabel weergegeven. Voor de volledige tabel van de het besluit van 6 oktober 2010 wordt verwezen naar bijlage 4.

Tabel 13: vergelijking tussen thermische referentierendementen hernieuwbare energiebronnen (Vlaamse regering a. en b., 2006)

		stoom	warm water	direct firing/lucht <250°C	direct firing/lucht >250°C	koelen (automatisch)
6/10/2010	brandstoftype	84-75%	70-90%	93%	62-81%	246%
7/07/2006		85%	90%	93%	93%	500%

Gevolg van verschillende referentierendementen

Het eerste gevolg van het gebruik van verschillende referentierendementen is dat het subsidie verhaal ingewikkelder wordt ten opzichte van het gebruikmaken van slechts één

referentierendement. Daarnaast hanteert men grotere waarden bij het besluit van 7/07/2006 waardoor de eigenaar van een WKK-installatie minder WKB en bijgevolg minder WKC kan bemachtigen. Ook merken we op dat de WKB sterker daalt bij het gebruik van fossiele brandstoffen aangezien dan de waarden opvallend hoger liggen. Dit ligt in lijn met andere maatregelen die de Vlaamse overheid organiseert ter bevordering van het gebruik van hernieuwbare energie.

De prijs van warmtekrachtcertificaten (WKC)

De prijs van de WKC wordt op basis van verschillende factoren gevormd. Eerst en vooral zorgen de bevoegde instanties er voor dat er steeds een artificieel tekort aan WKC ontstaat op de WKC-markt door de quota's dusdanig af te stemmen op de vraag naar WKC. Daarnaast wordt de distributienetbeheerder verplicht WKC aan te kopen tegen een minimum prijs van 27 EUR per certificaat bij installaties die aangesloten zijn op het distributienet en niet langer dan 10 jaar in bedrijf zijn. Ten slotte bepaalt de boete die de elektriciteitsleveranciers moeten betalen, samen met het belastingschild als gevolg van de aftrekbaarheid van certificaten, de maximale prijs die quotaplichtigen zullen betalen. De boete per ontbrekend WKC bedraagt 45 EUR en is niet aftrekbaar van de belastingen. De aankoop van WKC is dit wel. Bijgevolg kan men, rekening houdend met het belastingsvermindering die aankoop van een WKC met zich meebrengt, de maximale theoretische prijs berekenen op basis van volgende formule:

$$A - x * A \leq \text{€ } 45$$

Met "A" gelijk aan de maximale prijs voor een WKC en "x" de belastingvoet. Er wordt bijgevolg nagegaan wanneer de prijs voor een certificaat min het belastingschild dat deze teweeg brengt gelijk is aan de prijs van een boete, m.a.w. wanneer is het even interessant de boete te betalen als het certificaat aan te kopen. Vanaf dat de prijs hoger ligt als deze A is het financieel voordeliger de boete te betalen. Hierbij wordt echter geen rekening gehouden met eventuele administratieve kosten verbonden aan het betalen van de boete.

Indien we veronderstellen dat de belastingvoet gelijk is aan 33.99% wordt bovenstaande berekening:

$$A - 0.3399 * A = \text{€ } 45 \Leftrightarrow 0.6601 * A = \text{€ } 45 \Leftrightarrow A = \text{€ } 68.17$$

Bijgevolg is een bedrijf met bovenstaande belastingvoet bereid een prijs tot 68.17 EUR te betalen. In de praktijk ligt de gemiddelde prijs echter het dichtst bij de boeteprijs van 45 EUR. Bijlage 6 toont een tabel met het prijzenverloop van de afgelopen jaren. Deze prijs schommelt steeds rond de 40 EUR per certificaat. Bijgevolg kan men deze prijs gebruiken als uitgangspunt bij investeringsanalyses vanaf hoofdstuk 6. In het basishandboek warmtekrachtkoppeling van Cogen

Vlaanderen (2006) wordt de prijs van een WKC geschat op basis van de verhouding tussen de marktprijs en de boeteprijs. In formule vorm geeft dit:

$$\frac{\text{marktprijs}}{\text{boeteprijs}} = X$$

Onder normale omstandigheden stellen ze deze verhouding gelijk aan 90%. Dit komt neer op een gemiddelde geschatte marktprijs van 40.5 EUR (marktprijs= 45*0.9=40.5). Volgens hun voorzichtigere/pessimistische schatting stellen ze de verhouding gelijk aan 60%. Bijgevolg bedraagt de geschatte marktprijs 27 EUR (=45*0.6). De prijsbepaling betreffende de gevalstudies in dit werk wordt besproken in hoofdstuk 7.

Groenestroomcertificaten (GSC)

Indien de WKK-installatie deels of volledig gebruik maakt van hernieuwbare energiebron, ontvangt ze naast WKC ook groenestroomcertificaten (GSC). Men ontvangt één GSC in ruil voor 1 MWh geproduceerde elektrische energie op basis van hernieuwbare energie. Het is de Vlaamse regering die in 'het besluit van de Vlaamse regering inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen' afgelijnd heeft wanneer men voldoet aan de definitie van hernieuwbare energiebron. Indien men slechts gedeeltelijk gebruik maakt van hernieuwbare energie komt slechts dat deel van de geproduceerde elektriciteit in aanmerking dat geproduceerd werd door de hernieuwbare energiebron. Een productie installatie die zowel gebruik maakt van hernieuwbare als fossiele brandstoffen noemt men een hybride installatie. (VREG c., z.j.) In de praktijk aangaande WKK betekent dit dat de procentuele bijdrage aan input in kWh hernieuwbare energie gebruikt wordt om de totale output elektriciteit mee te vermenigvuldigen. Zo bekomt men het deel geproduceerde elektriciteit uit hernieuwbare energie.

De waarde van GSC is anders dan deze van WKC. Ook voor GSC wordt er een minimum prijs door de Vlaamse overheid vastgelegd. Dit minimum is afhankelijk van de gebruikte hernieuwbare energiebron en de gebruikte productietechnologie. Voor installaties in gebruik genomen voor 1 januari 2010 wordt de minimumsteun vastgelegd in het decreet tot wijziging van het decreet van 17 juli 2000 houdende de organisatie van de elektriciteitsmarkt, art 5, °2. 1 GSC kan minimaal 60 of 90 EUR opbrengen, afhankelijk van de toepassing. Dit bepaalt bijgevolg de ondergrens van de waarde van 1 GSC verkregen aan de hand van WKK-installaties. Net als bij WKC is er een boeteprijs opgelegd door de Vlaamse overheid indien iemand niet voldoet aan zijn quotaverplichting. Deze boeteprijs bedraagt, nog tot 2015, 125 EUR en bepaalt mede de bovengrens die GSC kunnen bedragen. (Febeliec, 2010) Net als bij WKC, kan ook bij GSC de boete niet worden afgetrokken van de belastingen terwijl dat wel kan bij de aankoop van de certificaten.

Vandaar dat de berekening voor de theoretische maximale prijs ook hier geldig is. Enkel de boeteprijs moet worden aangepast. Zo verkrijgt men bij de veronderstelling dat de belastingvoet gelijk is aan 33.99%:

$$A - 0.3399*A = \text{€}125 \Leftrightarrow 0.6601*A = \text{€}125 \Leftrightarrow A = \text{€}189.37$$

Met 'A' de maximale prijs die de netbeheerder zal betalen aangezien het bij een hoger bedrag goedkoper is de boete te betalen.

6 Investeringsanalyse

Eerst wordt besproken wat er verstaan wordt onder een investeringsanalyse en waarom deze van belang is. Daarna volgt een korte bespreken van enkele algemene principes die mee het algemeen kader schetsen van deze investeringsanalyse. De informatie van dit hoofdstuk dient verder als basis voor de bespreking van de investeringsanalyse van de verschillende gevalstudies die vanaf hoofdstuk 7 aan bod komen.

6.1 Inleiding

Het nemen van goede investeringsbeslissingen is een zeer belangrijke taak van de ondernemingsleiding en bepaalt mede het succes of falen van een onderneming. Door middel van een investering gebruikt een onderneming nu geld, om in de toekomst meer geld te kunnen genereren. Een investering nu, bepaalt de winstgevendheid in de toekomst. Vaak heeft een investering een onherroepelijk karakter en verbindt het de onderneming voor een langere periode. De lengte van deze periode bepaalt mee het risico van de investering. Daarenboven gebruikt een onderneming geld dat, vanaf dan, niet ergens anders voor kan worden gebruikt. Het is dus van uiterst belang een zo goed mogelijke beslissing te nemen.

Een investering kan op een bedrijfseconomische als boekhoudkundige manier worden gedefinieerd. "Bedrijfseconomisch kan het begrip investeren worden gedefinieerd als het vastleggen van vermogen met de bedoeling in de toekomst een bepaalde opbrengst te realiseren. Boekhoudkundig wordt een uitgave 'investering' genoemd indien zij op de balans onder de rubriek vaste activa wordt opgenomen (d.w.z. dat de uitgave wordt geactiveerd)." (Laveren, Engelen, Limère & Vandermaele, 2004)

In een investeringsanalyse wordt uitdrukkelijk de voorkeur gegeven aan de bedrijfseconomische criteria. De waardeveranderingen ten gevolge van een investering worden bijgevolg weergegeven aan de hand van kasstromen in plaats van boekhoudkundige resultaten. Kasstromen zijn de inkomsten en uitgaven die betrekking hebben op de investering. Het bepalen van de relevante kasstromen is zeer belangrijk met het oog op een correcte evaluatie van het investeringsproject. Bijgevolg wordt daar in volgende secties veel aandacht aan besteed. Boekhoudkundige resultaten moeten voldoen aan de boekhoudkundige principes en lopen daarom niet steeds parallel met kasstromen. Daarenboven zijn er ook boekhoudkundige kosten zoals afschrijvingen, waardeverminderingen en voorzieningen die niet rechtstreeks toe te wijzen zijn aan een kasstroom en bijgevolg niet geïntegreerd horen te worden in een investeringsanalyse. Ook de verschillende te waarderinggrondslagen en afschrijvingsmethodes hebben een grotere invloed op de boekhoudkundige resultaten waardoor het gebruik van kasstromen als objectiever kan worden

beschouwd. (Mercken, 2004) De eerder vermelde kosten en baten van een WKK-installatie in hoofdstuk 5 moeten bijgevolg vertaald worden in kasstromen.

Het doel van een investeringsanalyse van een WKK-installatie is nagaan of de meerkost die een WKK-installatie met zich meebrengt economisch interessant is.

6.2 Algemene principes

6.2.1 Raming van de inkomsten en uitgaven

Bij het plaatsen van een WKK-installatie moet erkend worden dat elke situatie anders is. Dit betekent dat voor elk project de inkomsten en uitgaven anders zullen zijn. Omdat het opgestelde berekeningsmodel niet met alle parameters rekening kan houden, worden er een aantal assumpties gemaakt en verklaard. Door de grote onzekerheid met betrekking tot de kostenraming moet erkend worden dat een kleine situationele verandering, een groot verschil in kasstromen met zich mee kan brengen. Daarom is een sensitiviteitsanalyse noodzakelijk om een inschatting te kunnen maken van de gevoeligheid van bepaalde inkomsten- en uitgavenposten.

Om een zo goed mogelijke inschatting te kunnen maken van de inkomsten en uitgaven, wordt tijdens de berekeningen van de eerste gevalstudie steeds gebruik gemaakt van ramingen afkomstig van Ineltra Systems nv. Deze ramingen zijn gebaseerd op hun ervaring met het verkopen en plaatsen van installaties. Voor de tweede gevalstudie worden reële cijfers van het bedrijf waarop de studie van toepassing is gebruikt.

6.2.2 Kasstroom

Bij de inleiding werd reeds aangegeven dat bij een investeringsanalyse met kasstromen gewerkt wordt. Dit komt neer op het samenbrengen van alle relevante inkomsten en uitgaven met betrekking tot de investering. De som van de inkomsten wordt verminderd met de som van de uitgaven en geeft zo de uiteindelijke kasstroom van een bepaalde periode weer. In het geval van WKK-installatie wordt op basis van de gegevens van sectie 3.3.5 gekozen voor een nuttige gebruiksduur van 20 jaar. Omdat het moment van de investering als een aparte periode wordt beschouwd, worden alle kasstromen over 21 perioden gespreid.

De eerste periode is 'jaar 0'. Dit is de periode van de investering en bevat de inkomsten en

uitgaven die gebeuren om de installatie bedrijfsklaar te maken. Vanaf het moment dat de installatie werkt begint jaar 1. Alle inkomsten en uitgaven die gegenereerd worden in dat eerste jaar worden hier aan toegewezen. Hetzelfde principe wordt gebruikt voor de volgende 19 jaren. Op die manier kan van elk van de 20 jaar evenals van jaar 0 een totale kasstroom (totale inkomsten – totale uitgaven) worden berekend. Zo wordt verondersteld dat alle inkomsten en uitgaven van een bepaald jaar op het einde van dat jaar gegenereerd worden. Door deze vereenvoudiging wordt er bijgevolg geen rekening gehouden met de spreiding van de inkomsten doorheen elk jaar. Met andere woorden, of de inkomst of uitgave in januari of december wordt gegenereerd speelt geen rol. Wel wordt een onderscheid gemaakt tussen kasstromen van de verschillende jaren.

6.2.3 Nominale versus reële kasstromen

Er kan gekozen worden om de inkomsten en uitgaven weer te geven tegen nominale of reële waarden. Hierbij is $(\text{nominale kasstroom})_t = (\text{reële kasstroom})_t \times (\text{prijsindex})_t$. Hier wordt geopteerd om de prijsindex in de kasstroom in rekening te brengen, en bijgevolg met nominale kasstromen te werken. Met prijsindex wordt hier, voor alle niet brandstofgebonden kasstromen, de algemene inflatie-indicator van het betrokken jaar bedoeld. Voor de brandstoffen wordt een aparte prijsindex berekend op basis van de historische prijsevolutie van die brandstof. Meer hierover is terug te vinden in hoofdstuk 7. Ter vereenvoudiging wordt er ook een constante inflatie verondersteld gedurende de volledige periode (Mercken, 2004). De inflatiegevoelige kasstromen verschillen per jaar ten opzichte van de andere jaren. De inflatie (j) wordt op jaarbasis weergegeven. Bijgevolg worden de kasstromen per jaar vermenigvuldigd met de factor $(1+j)^t$. Hierbij is 't' gelijk aan het jaar van de kasstroom en varieert bijgevolg van 0 tot en met 20. Het 'jaar 0' is het moment van de investering.

6.2.4 Relatieve kasstromen

De bedoeling van de investeringsanalyse is nagaan of de meerkost, die een WKK-installatie met zich meebrengt, financieel interessant is. In de literatuur zijn verschillende voorbeelden terug te vinden van investeringsanalyses van WKK-installaties. Daar wordt steeds uitgegaan van de volledige kostprijs van een installatie, die vervolgens op basis van allerlei inkomsten wordt terugverdiend. Eén van de grootste inkomsten van deze analyses zijn de besparingen aan uitgaven verbonden aan de energiefacturen van gescheiden opwekking. Dit zijn geen werkelijke uitgaven maar opportuniteitskosten die in rekening worden gebracht. Bijgevolg vormen deze opportuniteitskosten samen met de werkelijke uitgaven aan brandstoffen relatieve kasstromen.

Deels met relatieve kasstromen werken en deels zonder zou het doel van de investeringsanalyse niet nagaan, namelijk "bepalen of de meerkost van een WKK-installatie financieel interessant is". Dit doel op zich is relatief, en betekent een afweging tussen twee alternatieven. Enerzijds de WKK-installatie, anderzijds een alternatieve installatie plus een koppeling aan het elektriciteitsnet die dezelfde energievraag voorziet.

De inkomsten en uitgaven worden in de investeringsanalyses van deze masterproef allemaal relatief bekeken. Een inkomst of uitgave is bijgevolg slechts een inkomst of uitgave indien ze niet bij het alternatieve scenario noodzakelijk zou zijn geweest. De relatieve kasstromen zijn dus het gevolg van de vergelijking tussen de situatie waarbij een WKK-installatie wordt gebruikt en de situatie waarbij de huidige installatie blijft staan, of een nieuwe wordt geplaatst. Belangrijk, om met relatieve kasstromen te mogen werken, is dat het gaat om installaties die met elkaar mogen worden vergeleken. In het geval van WKK-installaties worden de uitgaven van de WKK vergeleken met een verwarmingsinstallatie, die dezelfde warmteoutput produceert, en de aankoop van dezelfde hoeveelheid elektriciteit als met de WKK wordt geproduceerd.

Omdat het niet steeds voor de hand liggend is een betrouwbare schatting te kunnen maken van de uitgaven tussen de twee te beschouwen alternatieven wordt hier een belangrijke assumptie gemaakt. Indien er geen gegevens voor handen zijn met betrekking tot de inkomsten of uitgaven van de alternatieve installatie, wordt er ter vereenvoudiging verondersteld dat deze kasstromen slechts $\frac{1}{4}$ van de waarde van een WKK-installatie bedraagt. (persoonlijke communicatie met de heer Jo Verbiest, technisch-wetenschappelijk medewerker Cogen Vlaanderen, 29 april 2010). Deze verhouding wordt doorgetrokken naar alle andere inkomsten en uitgaven. Natuurlijk wordt er gebruik gemaakt van reële schattingen indien deze beschikbaar zijn.

Belangrijk voor het gebruik van alternatieve kasstromen is het correct toewijzen van de kasstromen behorende bij het alternatieve scenario. Indien er sprake is van een vervanging van een installatie die niet volledig versleten is, worden de volledige uitgaven van de initiële investering aan de investeringsanalyse toegewezen. Bijgevolg geldt eerder vermelde verhouding niet. Als de installatie echter noodzakelijk vervangen moet worden, of een nieuwe installatie sowieso noodzakelijk is, dan wordt slechts dat deel als uitgave gezien dat kan worden toegewezen aan de meerkost van de WKK-installatie. De uitgaven aan de initiële investering in de installatie van het alternatief wordt dus afgetrokken van de uitgave voor het WKK-scenario. Indien er geen gegevens voor handen zijn geldt hier de eerder besproken verhouding en wordt bijgevolg slechts $\frac{3}{4}$ van de installatiekost van de WKK als uitgave beschouwd. $\frac{1}{4}$ van de totale investeringskost wordt namelijk beschouwd als een 'sunk cost'. Onder sunk kost wordt verstaan dat deze kost sowieso zou moeten worden gemaakt, onafhankelijk van het gekozen scenario, en bijgevolg geen invloed heeft op het terugverdienen van de meerkost die de WKK-installatie met zich meebrengt. Schematisch kan dit als volgt worden weergegeven:

Tabel 14: scenario's en relevante kasstromen

Scenario	Relevante kasstroom
<ul style="list-style-type: none"> Oude, versleten installatie vervangen Nieuwe gevalstudie, geen bestaande installatie vervangen 	Het alternatieve scenario is een nieuw verwarmingsinstallatie plus de aankoop van elektriciteit via het elektriciteitsnet. Bijgevolg $\frac{1}{4}$ van de kost is onvermijdelijk en $\frac{3}{4}$ van de kasstromen zijn relevant.
<ul style="list-style-type: none"> Bestaande installatie vervangen die <i>niet</i> versleten is 	Het alternatieve scenario is het behouden van de huidige installatie. Dit is een 'sunk' kost, bijgevolg geen rekening mee houden. 100% van de kasstromen in rekening brengen.

6.2.5 De relevante discontovoet

Het doel van de discontovoet is de tijdswaarde van geld in rekening te brengen van de investeringsanalyse. Deze discontovoet zal gebruikt worden om alle kasstromen uit te drukken in termen van nu, met andere woorden alle kasstromen te verdisconteren. "Eén euro die ik nu bezit is namelijk meer waard dan één euro die ik later zal ontvangen." (Mercken, 2004) De reden hiervoor is veelzijdig. Eerst is er de alternatieve beleggingsopbrengst. Indien we nu één euro hebben, kunnen we deze gebruiken. Zo kan deze euro belegt worden waardoor ze interest oplevert. Op die manier is de ene euro nu, al meer geld waard dan de euro die ik morgen zal ontvangen. Ook de inflatie heeft invloed op de tijdswaarde van geld. De koopkracht van één euro die ik later zal ontvangen, m.a.w. de reële waarde van geld, is door de invloed van inflatie kleiner dan één euro die ik nu bezit en kan uitgeven. Risico heeft ook een invloed op de tijdswaarde van geld. Hogere risico's vereisen een hoger rendement in de toekomst en bijgevolg een hogere discontovoet. Echter moet voorzichtig worden omgesprongen met het laatstgenoemde argument daar een grote discontovoet discriminerend werkt voor lange termijnprojecten. Inkomsten in een verdere toekomst hebben dan af te rekenen met een zware discontofactor en vervolgens slechts een kleine invloed op de netto actuele waarde. (Mercken, 2004; Laveren et al., 2004)

Daar gekozen wordt te werken met nominale kasstromen moet tegen het nominale vereiste rendement worden geactualiseerd. Voor de keuze van de waarde van de discontovoet wordt hier de financieringsbeslissing beoordeeld op niveau van de organisatie en wordt abstractie genomen van de financieringsbeslissing op niveau van het investeringsproject. Er wordt bijgevolg niet enkel rekening gehouden met de voorwaarden van de laatste lening die werd afgesloten, maar

verondersteld dat de financiering van het project gebeurt op basis van de volledige pool van middelen die een bedrijf tot zijn beschikking heeft. Daarom wordt om de actualisatievoet of discontovoet te berekenen uitgegaan van de gewogen gemiddelde kapitaalkost. (Mercken, 2004; Laveren et al., 2004) Op deze manier wordt vermeden dat een bepaald project wordt afgestraft met een hoge discontovoet omdat de bank een relatief slechte rentevoet hanteert voor de lening van het laatste project omwille van reeds bestaande leningen of economische minder gunstig tijden. Ook wordt opgemerkt dat het eigen vermogen duurder is dan het vreemd vermogen. Normaalgezien verschillen de wensen van de aandeelhouders per bedrijf en per sector. Bij deze berekeningen wordt hier abstractie van gemaakt en gekozen voor een return van 12% op het eigen vermogen.

De gewogen gemiddelde kapitaalkost (GGK) wordt als volgt berekend:

$$GGK = \frac{EV}{TV} \times r_i + \frac{VV}{TV} \times r_v$$

EV: Eigen Vermogen

TV: Totale Vermogen

r_i : vereiste rendement van het eigen vermogen na belastingen

r_v : vereiste rendement van het vreemd vermogen na belastingen

Hierbij moet een duidelijk onderscheiden worden of bovenstaande vereiste rendementen reëel of nominaal worden uitgedrukt. Indien men de nominale of reële rentevoet kent, kan men, mits de inflatie gekend is, omrekenen via onderstaande formule. Dit is de vergelijking van Fisher:

$$(1 + i) \times (1 + j) = (1 + r)$$

r : nominale (vereiste) rendement van het eigen of vreemd vermogen

i : reële (vereiste) rendement van het eigen of vreemd vermogen

j : inflatie

Met betrekking tot de vanaf hoofdstuk 7 besproken gevalstudies worden onderstaande veronderstellingen gemaakt. De verantwoording van de gekozen waarden is terug te vinden in bijlage 7.

j : 2,5%

r_i : 12% (nominaal)

r_v : 5% (nominaal)

Vervolgens bepaald de verhouding tussen de lening en het eigen vermogen het gewogen gemiddelde rendement. De gebruikelijke verhoudingen verschillen vaak per sector. Echter wordt met het oog op een goede corporate governance een 1/3 EV en 2/3 VV verondersteld. Deze veronderstelling worden als volgt doorgetrokken naar de berekening van de gewogen gemiddelde kapitaalkost:

$$GGK = \frac{EV}{TV} \times r_i + \frac{VV}{TV} \times r_v = \frac{1}{3} \times 0,12 + \frac{2}{3} \times 0,05 = 0,0733 = 7,33\%$$

De gevonden kasstromen moeten bijgevolg best tegen bovenstaand percentage worden verdisconteerd. Aangezien dit percentage gebaseerd is op allerlei veronderstellingen is een sensitiviteitsanalyse aangewezen om de invloed van schommelingen in deze GGK weer te geven.

6.2.6 Lening

Tot dusver werd enkel gesproken over de kasstromen verbonden aan het investeringsproject, zonder hierbij rekening te houden met de kasstromen verbonden aan de financiering van het project. Met betrekking tot het integreren van een lening in een investeringsanalyse wordt in het boek 'de investeringsbeslissing' van Mercken (2004) aangeraden ofwel geen, ofwel alle kasstromen die externe financiering met zich meebrengt te integreren. Zoals beschreven bij de berekening van de GGK wordt er met betrekking tot de externe financiering geen rekening gehouden met de voorwaarden van de laatst overeengekomen lening maar gerekend met het gewogen gemiddelde van alle voorwaarden van de pool van externe financieringsmiddelen waar het bedrijf gebruik van maakt. Dit vormt ook de basis voor het niet integreren van de financieringsstromen in de investeringsanalyse. Door te verdisconteren tegen de GGK wordt de kost van de externe financiering reeds inbegrepen in de berekening. Hierbij wordt dus geen specifieke lening toegewezen aan de investering, maar wordt verondersteld dat de kapitaalkost van de totale pool van het vreemd vermogen waar de onderneming over beschikt jaarlijks doorweegt op de som van alle projectgebonden kasstromen doorheen de totale nuttige levensduur van de investering.

Ondanks dat de lening en de aflossing ervan niet aan de projectkasstromen en dus niet aan de investeringsanalyse wordt toegewezen, wordt het belastingschild ten gevolge van een lening wel beschouwd als een projectgebonden kasstroom. Door een extra lening aan te gaan voor een project maakt een onderneming gedurende de aflossing van de lening extra bedrijfsgerelateerde kosten. Hierdoor verminderen de boekhoudkundige opbrengsten waardoor er minder belastingen dienen betaald te worden. Dit laatste wordt het belastingschild genoemd en is met betrekking tot de investering een positieve kasstroom. Echter moet er wel opnieuw rekening worden gehouden met het gebruik van relatieve kasstromen. Omdat er twee projecten met elkaar worden vergeleken en er op zoek gegaan wordt naar welke van de twee alternatieven de meest interessante optie is, wordt ook hier slechts dat deel van het belastingschild toegewezen dat overeenstemt met de meerkost van de WKK-installatie en de lening die voor deze meerkost wordt aangegaan.

6.2.7 Levensduur

Een typisch kenmerk van de verschillende kasstromen is dat de inkomsten en uitgaven in verschillende tijdsperioden plaatsvinden. Bijgevolg moet de investering over een langere periode worden bekeken. Met betrekking tot warmtekrachtinstallaties is de nuttige gebruiksduur van de installatie van belang. Het is tijdens deze nuttige gebruiksduur dat de installatie inkomsten en uitgaven voortbrengt. Reeds in hoofdstuk 3 werd de geschatte levensduur van een WKK-installatie uiteengezet. Deze varieert van 15 tot 25 jaar. In de praktijk blijkt men vaak het gemiddelde van deze perioden te hanteren. (persoonlijke communicatie met Danny Fenucci, project & sales manager Ineltra systems nv, 15 april 2010) Daarom wordt ook hier rekening gehouden met een nuttige levensduur van de WKK-installatie van 20 jaar.

6.2.8 Dimensionering

Zoals reeds besproken in het hoofdstuk over de dimensionering van een WKK-installatie, hoofdstuk 4, is het doel de ideale dimensie van de WKK-installatie te bepalen. Als basis voor de berekening wordt gebruik gemaakt van maandelijks gegevens van het (geraamde) brandstofverbruik. Echter is het niet het brandstofverbruik maar wel de warmtevraag die van belang is voor de correcte dimensionering. Daarom wordt uit de brandstofvraag de warmtevraag afgeleid. De reden voor het integreren van deze extra stap is dat de meeste gebruikers niet hun warmtevraag kennen, maar wel hun brandstofvraag. Dit laatste is namelijk eenvoudigweg af te lezen op de energiefactuur.

Om het brandstofverbruik om te zetten naar warmtevraag wordt rekening gehouden met het rendement van de huidige of alternatieve verwarmingsketel en de verbrandingswaarden van de brandstof. Aangezien het brandstofverbruik op een factuur uitgedrukt wordt in bovenste verbrandingswaarde en het rendement van een verwarmingsinstallatie gebaseerd is op de onderste verbrandingswaarde is het nodig het brandstofverbruik te vermenigvuldigen met beide waarden. Hierbij wordt de onderste verbrandingswaarde uitgedrukt als een procent van de bovenste verbrandingswaarde.

$$Q_v = B \times \eta_a \times V$$

Q_v : warmtevraag per maand in kWh

B : brandstofverbruik per maand in kWh

η_a : rendement ten opzichte van de onderste verbrandingswaarde van de huidige/alternatieve verwarmingsketel (%)

V : Onderste verbrandingswaarde gedeeld door de bovenste verbrandingswaarde

Ondanks dat er gewerkt wordt met gegevens per maand wordt er toch rekening gehouden met een verandering in het vraagprofiel gedurende deze maand. Deze heeft namelijk een grote invloed op de uiteindelijke dimensionering. Zo wordt rekening gehouden of de installatie in het weekend moet werken of niet. Indien een bedrijf niet produceert tijdens de weekenden wordt bijgevolg verondersteld dat de WKK-installatie dan niet actief is. Om dit te integreren en om straks de dimensie van de ideale situatie correcter te kunnen bepalen worden de maandgegevens omgerekend tot urengegevens. Afhankelijk van het aantal dagen per maand worden er minder uren aan die maand toegewezen. Indien in een gevalstudie niet in het weekend gewerkt wordt, wordt verondersteld dat 2/7 van die maand de installatie stil ligt. Daarnaast wordt rekening gehouden met het soort ploegensysteem. Hier worden 3 opties beschouwd: dagdienst, 2 ploegen of volcontinu. Indien een bedrijf volcontinu werkt, wordt de installatie verondersteld 24u te werken. Bij een 2 ploegen-systeem worden er 2 ploegen van 8 uur tewerk gesteld. Echter wordt ook rekening gehouden met de eerder besproken thermische traagheid die eigen is aan een WKK-systeem. Bijgevolg wordt verondersteld dat de installatie 1 uur eerder opstart dan dat de ploegen beginnen te werken. De warmtevraag begint om 6u 's morgens, rekening houdend met de thermische traagheid bijgevolg om 5u, en eindigt om 22u 's avonds. Dit komt overeen met een spreiding van de warmtevraag over 17 van de 24 uur per werkdag. Gedurende deze periode wordt verondersteld dat de installatie in werking is. Indien het gescande bedrijf enkel tijdens dagdienst werkt zal de warmtevraag slechts gespreid worden over een kortere periode. Men veronderstelt dat de warmtevraag begint om 8u en eindigt om 18u. Rekening houdend met de thermische traagheid is er bijgevolg 11u lang per werkdag vraag naar warmte. Het overeenkomstig aantal uren per maand dat de installatie actief is, wordt bijgevolg als volgt berekend:

$$u = \left(u_T - \left(\frac{2}{7} \right) \times \text{dagen in de maand} \times 24u \right) \times u_p$$

u : aantal uren per maand waar de warmtevraag aan wordt toegewezen

u_T : totaal aantal uren van die maand

u_p : breuk van het aantal uren overeenkomstig het ploegensysteem

Dagdienst = 11/24; 2 ploegen = 17/24; volcontinu = 24/24 = 1

Om vervolgens de dimensie van de installatie te bepalen wordt de warmtevraag per maand geordend van groot naar klein. Op deze manier wordt de jaarbelastingsduurcurve bekomen. Om de grootste rechthoek onder de jaarbelastingsduurcurve te bepalen wordt de gemiddelde warmtevraag per uur van iedere maand berekend. Deze wordt vervolgens vermenigvuldigd met het cumulatief aantal uren dat de installatie kan draaien. Dit product kan worden uiteengezet in een productiecurve. Het maximum van deze curve bepaalt de streefwaarde van de thermische dimensie en komt overeen met de grootste rechthoek onder de jaarbelastingsduurcurve. Bij deze thermische streefwaarde kan de installatie aan de grootste warmtevraag voldoen tegen vollast. Uit deze dimensionering wordt de thermische streefwaarde van de installatie afgeleid. Vervolgens moet

gezocht worden naar een installatie waarvan het thermische vermogen zo dicht mogelijk aansluit bij deze installatie. Het overeenkomstig aantal cumulatieve uren zijn het totaal aantal vollasturen dat de installatie kan draaien en zijn in de verdere berekeningen nog van belang.

7 Gevalstudie 1

De gegevens die gebruikt worden voor de eerste gevalstudie zijn afkomstig van het 'Vlaams agentschap ondernemen'. De gevalstudie wordt verder bondig toegelicht.

Relevante informatie:

- aantal werknemers: 100 personen
Op basis hiervan veronderstelling: KMO
- 2 ploegensysteem
veronderstelling: er wordt niet gewerkt tijdens het weekend
- aard van het gebouw:
 - Burelen, refter, werkplaats, magazijn
- warmtevraag per maand gegeven op basis van de maandelijkse gasfactuur
totale factuur op jaarbasis: 282.400,00 kWh
- huidige rendement van de verwarmingsketel: 103%
- verwarmingsketel is aan vervanging toe
- de warmte wordt gebruikt voor sanitaire verwarming
- kostprijs brandstof: $\frac{€ 11296,1}{282402 \text{ kWh}} = 0.0400001 \text{ €/kWh}$
- gem. prijs elektriciteit: 0.12 €/kWh
(Vlaams agentschap ondernemen, z.j.)

7.1 Dimensionering

Op basis van hoofdstuk 4 over de dimensionering van een WKK-installatie en de eerder vermelde procedure in sectie 6.2.8 worden de jaarbelastingsduurcurve en de productiecurve afgeleid.

De twee curven worden op basis van onderstaande tabel berekend. De derde kolom in het rood vormt de jaarbelastingsduurcurve. De laatste kolom zet de productiecurve uit en is hier aangegeven in het blauw.

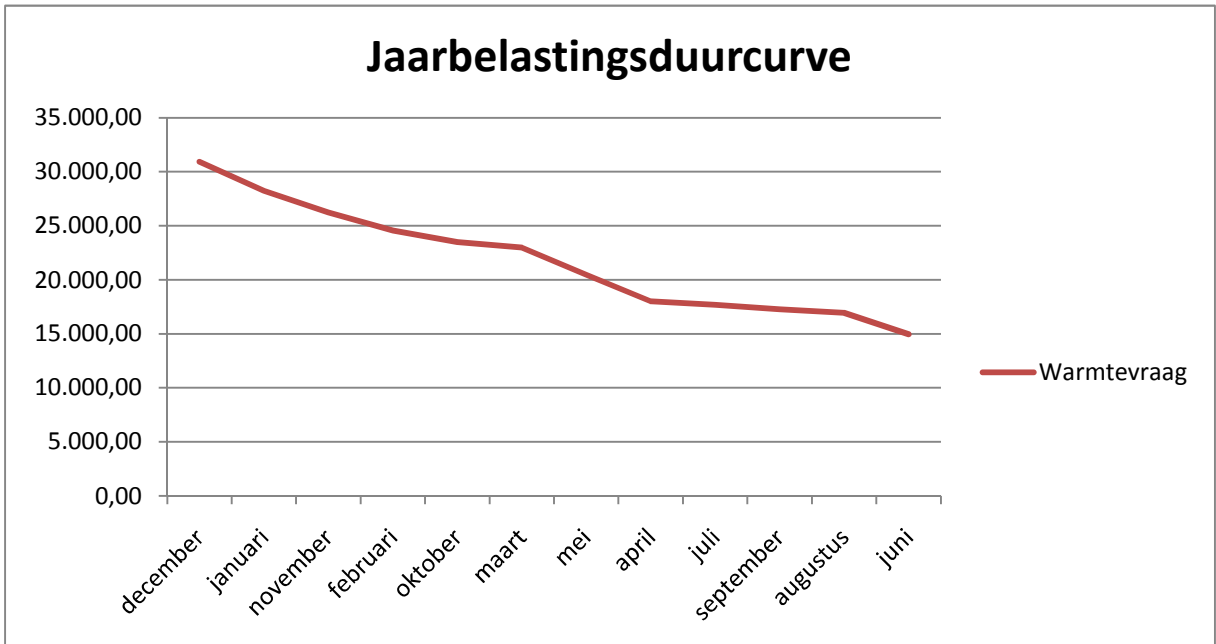
Om tot onderstaande dimensioneringstabel te komen worden eerst in de eerste kolom de maanden gerangschikt volgens de grootte van de warmtevraag. Hier hebben de maand december en juni respectievelijk de grootste en kleinste warmtevraag. De warmtevraag wordt in de tweede kolom in kWh per maand weergegeven. In de derde kolom wordt er voor elke maand het aantal uren berekend dat er gewerkt wordt en er bijgevolg vraag is naar warmte. Dit gebeurt op basis van de

assumpties uit sectie 6.2.8. Vervolgens wordt voor elke maand de gemiddelde warmtevraag per uur berekend door kolom 2 te delen door kolom 3. Deze gemiddelde warmtevraag per uur wordt gelijkgesteld aan het potentiële vermogen waartegen een installatie die maand, evenals alle maanden met een hogere energievraag, zou kunnen draaien om mee aan de warmtevraag te kunnen voldoen. In de maanden dat er een lagere warmtevraag is, wordt dit potentiële vermogen van de installatie als te groot beschouwd daar ze niet elk uur in vollast zal moeten draaien om aan de warmtevraag te kunnen voldoen. Daar deellast wordt vermeden op basis van de argumenten uit hoofdstuk 4 en 5 is het aantal vollasturen in de kolom ernaast het resultaat van de som van het 'aantal uren per maand' van die maand en alle maanden met een groter energieverbruik. De installatie wordt bijgevolg verondersteld stil te liggen tijdens de maanden met een kleinere energievraag. Vervolgens wordt voor het berekenen van de totale energieproductie, oftewel de grootste oppervlakte onder de productiecurve, de gemiddelde warmtevraag per uur vermenigvuldigd met het aantal vollasturen uit kolom 5.

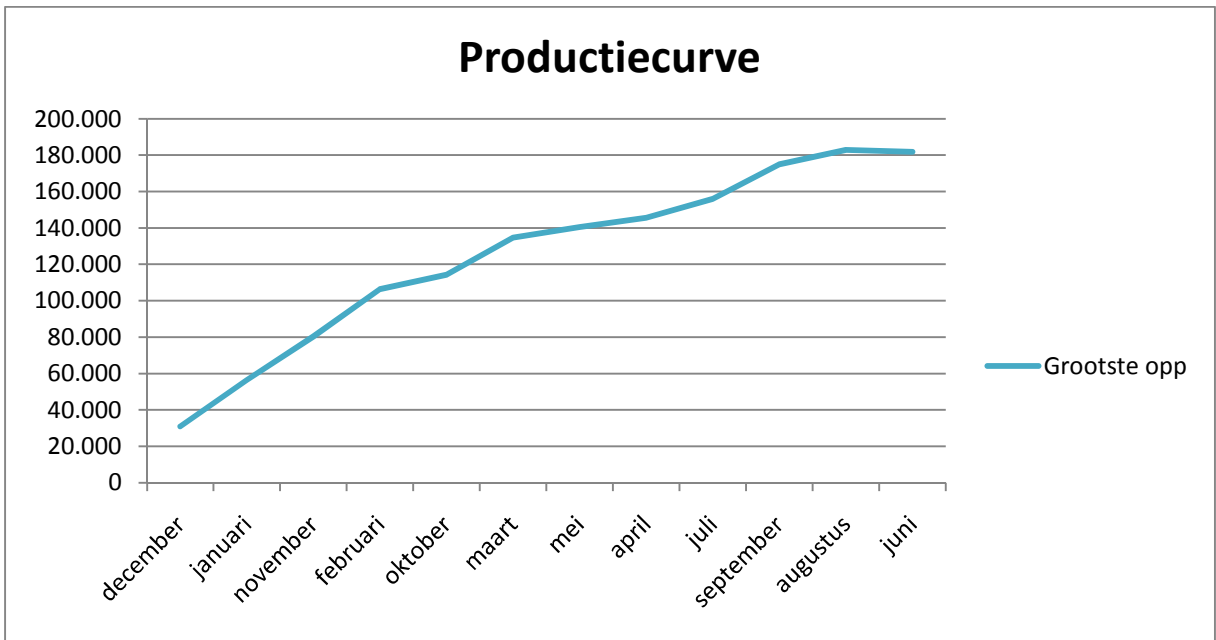
Tabel 15: dimensionering op basis van de warmtevraag, gevalstudie 1

Maand	Warmtevraag per maand	Aantal uren in maand	Gemiddelde per uur/ potentieel vermogen	aantal draaiuren vollast	Grootste opp/totale energieproductie
december	30.922,07	376,4285714	82,15	376,4285714	30.922
januari	28.247,01	376,4285714	75,04	752,8571429	56.494
november	26.220,86	364,2857143	71,98	1117,142857	80.411
februari	24.552,26	335,1428571	73,26	1452,285714	106.393
oktober	23.506,07	376,4285714	62,44	1828,714286	114.194
maart	22.976,36	376,4285714	61,04	2205,142857	134.597
mei	20.473,46	376,4285714	54,39	2581,571429	140.408
april	18.010,29	364,2857143	49,44	2945,857143	145.643
juli	17.679,21	376,4285714	46,97	3322,285714	156.033
september	17.281,93	364,2857143	47,44	3686,571429	174.893
augustus	16.950,86	376,4285714	45,03	4063	182.960
juni	14.964,43	364,2857143	41,08	4427,285714	181.868

Op basis van kolom 1 en 2 wordt de jaarbelastingsduurcurve opgesteld. Kolom 1 en 6 vormen de productiecurve.



Figuur 20: jaarbelastingsduurcurve gevalstudie 1



Figuur 21: productiecurve gevalstudie 1

Op basis van bovenstaande grafieken wordt de grootste oppervlakte onder de jaarbelastingsduurcurve, en het daarmee gepaard gaande optimum van de productiecurve bereikt in de maand augustus. Deze dimensionering stelt dat een thermisch vermogen van 45.03 kW ideaal is. Dit komt

overeen met 4063 draaiuren per jaar waarin de installatie in vollast zal kunnen draaien. Enkel tijdens de maand juni is de elektriciteitsvraag dan te klein en zal de installatie niet werken. Bij de berekeningen wordt geen rekening gehouden met werking in deellast om de redenen besproken in hoofdstuk 4.

Vervolgens moet een installatie gezocht worden waarvan het thermische vermogen het dichtst aanleunt bij de ideale dimensie. Voor deze gevalstudie wordt gebruik gemaakt van WKK-installaties die in de portfolio van installaties van Ineltra systems nv zitten. Vermits Ineltra systems nv niet over een installatie beschikt die zeer dicht in de buurt ligt van deze thermische streefwaarde, worden hier 2 verschillende WKK-installaties uit hun portfolio onderzocht.

De eerste installatie uit het portfolio van Ineltra Systems nv is de EcoGen 18 AG. Onderstaande tabel vat de technische en economische gegevens van deze installatie samen.

Tabel 16: technische gegevens ecoGEN-25 AH gevalstudie 1

Thermisch vermogen	32 kW
Elektrisch vermogen	17,7 kW
Thermisch rendement	58,5 %
Elektrisch rendement	31,5 %
Spanning	400 V
Brandstof	aardgas
Onderhoudskost	0,52 €/kWh _{elektrisch}
Investeringsbedrag (inclusief aanschaf-, plaatsings-, en projectkosten)	€ 76 000

Het thermisch vermogen van deze installatie is kleiner dan het streefrendement, met andere woorden de installatie is te klein gedimensioneerd. Dit betekent dat de geproduceerde warmte gedurende het volledige jaar nuttige gebruikt zal kunnen worden. Het maximaal aantal draaiuren komt nu overeen met het maximaal aantal uren dat er geproduceerd wordt. Vermits er twee ploegen werken, komt dit neer op 17 vollasturen per werkdag. Daar er niet in het weekend gewerkt wordt, komt dit overeen met een maximum van 4427,29 draaiuren. In bijlage 8 is een tabel terug te vinden waarin het aantal vollasturen per maand, die betrekking hebben op deze gevalstudie, weergegeven worden.

In wat volgt worden de verschillende posten van de kasstromentabel besproken. Deze dienen als basis van de investeringsanalyse. Elke post wordt besproken evenals zijn berekeningswijze. Om de formules en berekeningswijzen duidelijke over te brengen, worden ze steeds uitgelegd op basis van de gegevens van gevalstudie 1. De spreadsheet van de relatieve kasstromen is terug te vinden in bijlage 9.

7.2 De relatieve kasstromen

7.2.1 Relatief initieel investeringsbedrag

Aan het relatief investeringsbedrag worden alle uitgaven toegewezen die het gevolg zijn van de investering in de WKK-installatie. Zoals eerder werd aangegeven, bestaat dit uit meer dan enkel de geactiveerde uitgaven die in de balans zijn opgenomen. Ook niet-geactiveerde investeringskosten die het gevolg zijn van de investering in WKK, zoals installatiekosten, vervoerskosten, erelonen, etc., worden mee opgenomen. In hoofdstuk 5 werd reeds een onderscheid gemaakt tussen de aanschaf-, plaatsings- en projectkosten. Dit maakt duidelijk dat het noodzakelijk is alle uitgaven die met het project te maken hebben, geïntegreerd moeten worden.

Met betrekking tot de initiële investering wordt met twee scenario's rekening gehouden. Het eerste scenario omvat een nieuwe situatie waar moet worden nagegaan of een WKK of HR-ketel het beste alternatief is. In een tweede scenario wordt een bestaande, nog goed werkende installatie vervangen door een WKK-installatie.

Bij het eerste scenario wordt er verondersteld dat er sowieso een nieuwe installatie moet worden aangekocht. Deze installatie wordt vervolgens afgewogen ten opzichte van de WKK-installatie. De waarde van de alternatieve installatie stellen we, zoals besproken in sectie 6.2.4, gelijk aan $\frac{1}{4}$ van de initiële investering van een WKK-installatie. Bijgevolg moet bij dit scenario steeds $\frac{1}{4}$ van het investeringsbedrag van de WKK als een 'sunk cost' worden beschouwd daar dit bedrag sowieso minstens aan de alternatieve installatie zou moeten worden besteed.

Ook bij het tweede scenario worden 2 alternatieven met elkaar vergeleken. Echter is de alternatieve installatie deze keer niet een nieuwe installatie, maar wel de huidige installatie. Daar het volledige initiële investeringsbedrag van deze installatie een 'sunk' kost is wordt het bedrag van de WKK-installatie integraal aangerekend. Gevalstudie 1 komt overeen met het eerste scenario. Slechts $\frac{3}{4}$ van de initiële investering is van belang.

7.2.2 Relatieve onderhoudskosten

De onderhoudskosten van de WKK worden hier bepaald per geproduceerde kWh_e. In deze onderhoudskosten zit een marge die betrekking heeft op een mogelijk revisie of herstel bij technische problemen. De gemiddelde onderhoudskost per kWh_e van deze installatie bedraagt 0,52 EUR per kWh_e.

De alternatieve installatie dient ook onderhouden te worden. Dit zorgt bijgevolg voor uitgaven die niet worden gedaan vanuit het kasstromen standpunt. Eenvoudig wordt hier verondersteld dat een gewone verwarmingsketel minder complex is, minder onderdelen bevat en bijgevolg minder kosten met zich meebrengt. Bijgevolg wordt opnieuw slechts ¾ van de uitgaven in rekening gebracht.

7.2.3 Relatieve kasstroom energie

Eerst worden de uitgaven aan energie met betrekking tot WKK uiteengezet. Vervolgens wordt de opportuniteitskost berekend. De uitgaven van de WKK vermindert met de opportuniteitskost van de niet-gemaakte uitgaven onder het alternatieve scenario vormen de relatieve kasstroom van de energie.

7.2.3.1 WKK-installatie

Om de totale kostprijs te berekenen voor het laten draaien van een WKK moet eerst de elektrische en thermische output van de installatie worden bepaald. Als input dienen hier de gegevens van de installatie. Het aantal draaiuren werd reeds bepaald tijdens de dimensionering. De jaarlijkse output van elektriciteit bijgevolg gelijk aan:

$$\text{jaarlijkse output kWh}_e(E_e) = \text{aantal draaiuren} \times \text{elektrisch vermogen van de installatie}$$

De jaarlijkse output thermische energie wordt vervolgens:

$$\text{jaarlijkse output kWh}_{th}(E_Q) = \text{aantal draaiuren} \times \text{thermisch vermogen van de installatie}$$

Met betrekking tot gevalstudie 1 worden bovenstaande formules:

$$\text{jaarlijkse output kWh}_e = 4427,29u \times 17,7 \text{ kW} = 78\,363,03 \text{ kWh}$$

$$\text{jaarlijkse output kWh}_{th} = 4427,29u \times 32 \text{ kW} = 141\,673,28 \text{ kWh}$$

De som van bovenstaande thermische en elektrische output dient vervolgens als basis voor de berekening van de totale benodigde brandstof. Hierbij wordt opnieuw rekening gehouden met het rendement van de installatie, uitgedrukt op basis van de onderste verbrandingswaarde. Ook wordt

de gewogen gemiddelde verhouding van de onderste verbrandingswaarde tot de bovenste verbrandingswaarde van alle brandstoffen in rekening gebracht. In gevalstudie 1 wordt enkel aardgas gebruikt. De verhouding voor aardgas wordt gelijkgesteld aan 90%. (Glasreg, 2005) Bijgevolg is de benodigde brandstof in kWh bovenste verbrandingswaarde gelijk aan:

$$\text{benodigde hoeveelheid brandstof} = \frac{\text{totale geproduceerde hoeveelheid } E}{(\eta_E + \eta_Q) \times 0.9}$$

η_E : elektrisch rendement van de WKK-installatie, gelijk aan 31,5% voor gevalstudie 1.

η_Q : thermisch rendement van de WKK-installatie, gelijk aan 58,5% voor gevalstudie 1.

Bijgevolg geldt voor gevalstudie 1:

$$\text{benodigde hoeveelheid brandstof} = \frac{87\,363,03 \text{ kWh} + 141\,673,28 \text{ kWh}}{(0.315 + 0.585) \times 0.9} = 271\,649,77 \text{ kWh}$$

Vervolgens wordt deze totale benodigde hoeveelheid brandstof toegewezen aan de verschillende soorten gebruikte brandstoffen. Rekening houden met meerdere brandstoffen is noodzakelijk aangezien vele installaties op meerdere brandstoftypes kunnen werken. Daarenboven bestaan sommige brandstoftypes uit meerdere componenten. De brandstofkeuze heeft uiteindelijk invloed op de subsidies die kunnen worden verkregen evenals op de prijs die voor de energie betaald moet worden.

Voor gevalstudie 1 wordt 100% van de brandstof voorzien door aardgas. Daarom wordt de 271 649,77 kWh, die er aan aardgas nodig is, vermenigvuldigd met de aardgasprijs per kWh om de uiteindelijke uitgave aan brandstof voor de WKK te bekomen.

$$271\,649,77 \text{ kWh} \times 0.0400001 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \text{€ } 10\,866,02$$

7.2.3.2 Alternatieve installatie: besparing op de energierekening

De energieopwekking volgens het gescheiden opwekkingsscenario wordt beschouwd als het alternatief dat men niet kiest. Een relatieve inkomst is daardoor het resultaat van de kosten die men bespaart door dit scenario niet te kiezen. De hoeveelheid thermische energie die de alternatieve installatie produceert, is gelijk aan datgene de WKK-installatie produceert. Opnieuw wordt rekening gehouden met het rendement dat gebaseerd is op de onderste verbrandingswaarde van de brandstof. Vandaar dat de totale gebruikte hoeveelheid brandstof gelijk is aan:

$$\text{totale hoeveelheid gebruikte brandstof (kWh)} = \frac{E_Q(\text{totaal})}{(\eta_q * 0.9)}$$

E_q (totaal): totale geproduceerde warmte (gelijk aan de WKK warmteproductie), 141 673,28 kWh

η_q : thermisch rendement van de alternatieve verwarmingsketel, gevalstudie 1: 103%

Voor gevalstudie 1 wordt de totale gebruikte hoeveelheid brandstof bijgevolg:

$$\frac{141\,673,28\text{ kWh}}{1.03 \times 0.9} = 152\,829,86\text{ kWh}$$

Vervolgens wordt de totale gebruikte hoeveelheid brandstof (kWh) vermenigvuldigd met de prijs per kWh van de gebruikte brandstof.

$$152\,829,86\text{ kWh} \times 0.0400001 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \text{€ } 6113,21$$

Deze brandstofprijs wordt elk jaar nominaal geïntegreerd in de kasstromen.

Een WKK-installatie produceert ook elektriciteit. Op die manier wordt de aankoop van het elektriciteitsnet vermeden. Deze kost wordt berekend door de totale elektriciteitsproductie te vermenigvuldigen met de aankoopprijs per kWh van het elektriciteitsnet. In gevalstudie 1 is de aankoopprijs van elektriciteit gemiddeld gelijk aan 12 cent per kWh. Zo wordt de uitgespaarde uitgave aan elektriciteit gelijk aan:

$$78\,363,03\text{ kWh} \times 0.12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \text{€ } 9403,56$$

Om de uiteindelijke relatieve kasstroom, verbonden aan de energiekosten, te bekomen, dient de uitgespaarde brandstofuitgaven vermindert te worden met de uitgaven verbonden aan de energiebehoefte van de WKK-installatie.

De stijging van energieprijzen in de tijd is afhankelijk van vele factoren. Vaak is het stijgingspercentage van de energieprijzen groter dan dat van andere producten. Doordat de prijs van de energie erg belangrijk is in deze investeringsanalyse wordt ze hier apart beschouwd. Om een schatting te maken van de te gebruiken gemiddelde stijging per jaar van de energieprijzen inclusief inflatie wordt gebruik gemaakt van gegevens van Eurostat. Met betrekking tot gevalstudie 1 wordt gekeken naar de prijsstijging van aardgas en elektriciteit tussen 2002 en 2007. In bijlage 10 zijn de gegevens terug te vinden. Op basis van deze schattingen van historische gegevens wordt verondersteld dat de aardgasprijzen elk jaar gemiddeld met 6% zullen stijgen, terwijl de elektriciteitsprijs met 5% verwacht wordt te stijgen gedurende de volledige levensduur van de installatie.

7.2.4 Uitbatings-, bedienings-, verzekerings- en administratieve kosten

Naast bovenstaande uitgaven kunnen er ook extra uitgaven verbonden zijn aan de uitbating van de WKK-installatie. Hier gaat het om kosten die *niet* gemaakt zouden moeten worden indien men zou werken met de alternatieve verwarmingsmethode. Deze kosten worden per jaar nominaal weergegeven. Met betrekking tot gevalstudie 1 zijn er geen extra kosten verbonden aan de WKK-

installatie.

7.2.5 Kasstroom verbonden aan een lening

In gevalstudie 1 wordt verondersteld dat 70% van het geïnvesteerde bedrag geleend wordt van de bank. Zoals aangehaald in sectie 6.2.6 wordt de inkomst of de aflossing van de lening niet bij de investeringsanalyse betrokken daar dit financiële kasstromen zijn en geen projectkasstromen. Er wordt echter wel rekening gehouden met het extra belastingschild vanwege de interest op de lening die extra wordt aangegaan om de meerkost van de WKK-installatie te kunnen betalen.

7.2.5.1 Belastingschild interest op lening

Om het belastingschild van de interest op de lening te integreren in de investeringsanalyse dient eerst het af te lossen bedrag van de lening te worden bepaald.

Om een lening terug te betalen, wordt hier verondersteld dat er jaarlijks een vast bedrag terugbetaald wordt. Dit bedrag bevat zowel een deel ter aflossing van de hoofdsom als een deel ter aflossing van de interest. In wat volgt wordt uiteengezet hoe dit jaarlijks af te betalen bedrag bepaald wordt. De berekeningen zijn volledig gebaseerd op 'het handboek financieel beheer' (Laveren et al., 2004).

Voor de berekening van het aflossingschema zijn volgende gegevens nodig:

- K : het volledige geleende bedrag
Dit bedrag is gelijk aan 70% van het geïnvesteerde bedrag; 53 200 (=70%× 76 000 EUR) in gevalstudie 1.
- N : de afbetalingstermijn, 5 jaar in gevalstudie 1.
- i : de rentevoet op de lening (nominaal), 5% in gevalstudie 1.

Uit bovenstaande gegevens kan de gecumuleerde actualisatiefactor (g.a.f. (N,i)) worden berekend.

$$g.a.f.(N,i) = \frac{1 - \frac{1}{(1+i)^N}}{i} = \frac{1 - \frac{1}{(1+0.05)^5}}{0.05} = 4,3295$$

Het af te betalen bedrag per jaar (C) is vervolgens gelijk aan:

$$C = \frac{K}{g.a.f.(N,i)} = \frac{€ 53\,200}{4,3295} = € 12287,79$$

Van dit bedrag is een deel bestemd voor de aflossing van de hoofdsom, een ander deel dient voor de afbetaling van de rente op het nog uitstaande bedrag. Dit laatste deel is van belang voor de berekening van het belastingschild. Het deel bestemd voor de aflossing van de rente wordt als volgt berekend:

$$\left(K - (C - K \times i) \times \frac{(1+i)^{k-1} - 1}{i} \right) \times i$$

Hierbij komt k overeen met het jaar waarvoor de rente berekend wordt. Voor het eerste jaar wordt dit vervolgens:

$$\left(53\,200 - (12287,79 - 2660) \times \frac{(1+0,05)^{2-1} - 1}{0,05} \right) \times 0,05 = \text{€ } 2189,14$$

Het belastingschild bedraagt bij een belastingvoet van 33,99% vervolgens:

$$\text{€ } 2189,14 \times 33,99\% = \text{€ } 744,088$$

Afhankelijk van het scenario wordt ofwel het volledige bedrag ofwel 3/4 van deze aflossing toegewezen aan de investering in WKK en bijgevolg elk jaar geïntegreerd in de investeringsanalyse. Voor gevalstudie 1 is slechts ¾ van deze aflossing, of 558,06 EUR, van belang voor de berekening van het belastingschild op de interesten.

7.2.6 Subsidies

In hoofdstuk 5 werden reeds alle verschillende subsidievormen besproken. Deze verschillende subsidievormen worden hier opnieuw vermeld en berekend. Omdat deze steunmaatregelen de groenere productie van energieopwekking stimuleren, wordt hier verondersteld dat deze subsidies niet van toepassing zijn voor de alternatieve installatie. Bijgevolg worden de subsidies integraal aan het desbetreffende jaar toegewezen.

De verhoogde investeringsaftrek en de ecologiepremie zijn twee subsidievormen die tijdens het eerste jaar na de investering (in schijven) uitbetaald worden. Daar er hier met kasstromen per jaar wordt gewerkt, rekent men deze inkomsten aan het eerste jaar toe.

7.2.6.1 Verhoogde investeringsaftrek

In sectie 5.2.3.2 werd de verhoogde investeringsaftrek reeds besproken. Hierbij wordt verondersteld dat de belastingvoet van de vennootschap gelijk is aan 33.99% en dat de investering in aanslagjaar 2010 gebeurt. Bijgevolg bedraagt het verhoogde investeringsaftrek-percentage

15,5%. Dit komt neer op een reële steun van 5,2685%. Zodoende wordt het totale geïnvesteerde bedrag in WKK met deze reële steunvoet vermenigvuldigd om de uiteindelijke steun te bekomen. Voor gevalstudie 1 betekent dit een reële steun van € 76 000 × 5,2685% = € 4004,02. Dit bedrag wordt in jaar 1 ontvangen.

7.2.6.2 Ecologiepremie

Ondanks dat men in de praktijk niet zeker is van het verkrijgen van deze steunmaatregel vanwege het lotingsysteem, wordt de ecologiepremie hier wel als gegeven beschouwd. Deze premie houdt rekening met een wettelijk gesteund prijsverschilpercentage van 30% en een percentage dat afhangt van de grootte van de onderneming. Voor een grote onderneming is dit 20%, voor een niet grote, 40%. Dit komt neer op een reële premie van 12% of 6%. Voor gevalstudie 1 wordt dit: $0.3 \times 0.4 \times € 76\ 000 = € 9120$

7.2.6.3 Warmtekrachtcertificaten

Om tot de waarde van het totaal aantal WKC te komen moet rekening gehouden worden met het schema van figuur 21. Eerst dient de WKB te worden berekend. Dit gebeurt op basis van de formule die reeds in sectie 5.2.3.2 werd besproken en die hier wordt herhaald:

$$WKB = E * \left(\frac{1}{\eta_{E(ref)}} + \frac{\eta_Q}{\eta_E * \eta_{Q(ref)}} - \frac{1}{\eta_E} \right)$$

η_Q = het thermisch rendement van de WKK-installatie, 58,5%

η_E = het elektrisch rendement van de WKK-installatie, 31,5%

$\eta_{Q(ref)}$ = het thermisch rendement van de referentie-installatie

$\eta_{E(ref)}$ = het elektrisch rendement van de referentie-installatie

E: de binnen de beschouwde periode door de warmtekrachtinstallatie geproduceerde hoeveelheid elektriciteit (MWh). Deze werd reeds berekend en is gelijk aan 87 363,03 kWh.

De referentierendementen verschillen per situatie en moeten worden berekend. Op die manier wordt een WKB bekomen die als constant over de tijd wordt beschouwd.

Het elektrisch referentierendement ($\eta_{E(ref)}$) voor de berekening van WKB

Afhankelijk van de toepassing verschilt het referentierendement. Op basis van onderstaande tabel, afkomstig uit de specifieke wetgeving, wordt een onderscheid gemaakt tussen fossiele brandstoffen en hernieuwbare brandstoffen. Per soort brandstof of aansluiting wordt een ander basis referentierendement opgelegd. Indien er rekening gehouden dient te worden met verschillende brandstoffen, wordt het gewogen gemiddelde genomen op basis van het relatief aandeel van de brandstof in het geheel. Onderstaande tabel geeft de verschillende mogelijke keuzes weer. Voor gevalstudie 1 wordt aardgas gebruikt en wordt de installatie aangesloten op het net lager dan 15 kV. Dit betekent dat het referentierendement gelijk is aan 50%.

Tabel 17: elektrisch referentierendement voor WKB, gevalstudie 1 (Vlaamse regering a., 2006)

Fossiele brandstof aangesloten op netspanning > 15 kV	55,00%
Fossiele brandstof aangesloten op netspanning = <15 kV	50,00%
Hernieuwbare energie (Biogas)	42,00%
Hernieuwbare energie (vloeibare biobrandstoffen)	42,70%
Hernieuwbare energie (hout of houtafval)	34,00%
Hernieuwbare energie (andere vaste biomassastromen)	25,00%

Het thermisch referentierendement ($\eta_{Q(ref)}$) voor de berekening van WKB

Onderaan wordt een tabel weergegeven die afgeleid is uit de wetgeving van toepassing op dit referentierendement. Indien de warmte benut wordt voor meerdere toepassingen, wordt het gewogen gemiddelde genomen van de verschillende vormen. Daar in gevalstudie 1 de opgewekte warmte louter voor sanitaire verwarming dient, wordt $\eta_{Q(ref)}$ hier gelijkgesteld aan 90%.

Tabel 18: thermisch referentierendement voor WKB, gevalstudie 1 (Vlaamse regering a., 2006)

Thermisch rendement	
warmte afstaan in de vorm van water	90%
hete lucht (droogtoepassingen)	93%
hete lucht (droogtoepassingen)	93%
stoom	85%
productie van koude	500%

De uiteindelijke WKB is bijgevolg gelijk aan:

$$WKB = 101\,575 \text{ kWh} \times \left(\frac{1}{0,50} + \frac{0,585}{0,315 \times 0,9} - \frac{1}{0,315} \right) = 69\,656,03 \text{ kWh}$$

Per 1000 kWh WKB kan men maximaal 1 WKC ontvangen. Dit maakt voor deze gevalstudie dat er jaarlijks maximaal 69,66 WKC ontvangen kunnen worden. Of deze kunnen worden ontvangen is afhankelijk van de goedkeuring van de WKK-installatie en de factor X.

Goedkeuring

Of de berekende WKB goedgekeurd wordt om certificaten te ontvangen, hangt af van de goedkeuring van de installatie. De goedkeuring gebeurt op basis van 3 vragen. Indien de drie vragen positief worden beantwoord, wordt de installatie goedgekeurd en kan ze WKC ontvangen.

- Is de installatie gelegen in het Vlaams gewest?
- Is de installatie voorzien van de nodige meetapparatuur?
- Is de installatie kwalitatief?

Met betrekking tot de eerste gevalstudie worden deze vragen affirmatief beantwoord. De laatste vraag wordt berekend op basis van de RPE zoals reeds werd vermeld in sectie 5.2.3.2. Deze formule wordt hier herhaald:

$$RPE = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_Q}{\eta_{Q(ref)}} + \frac{\eta_E}{\eta_{E(ref)}}} \right)$$

Zoals reeds vermeld in de literatuurstudie zijn de η_Q en η_E gelijk aan de rendementen die eerder werden gebruikt. De $\eta_{Q(ref)}$ en $\eta_{E(ref)}$ verschillen. Ze worden berekend op basis van ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties van 6 november 2006.

Elektrisch referentierendement voor de berekening van RPE

De procedure voor de berekening van de RPE werd reeds uitgebreid besproken. Hier wordt deze procedure nog eens kort herhaald en toegepast op gevalstudie 1.

Op basis van de verschillende brandstoftypen moet uit de tabel van bijlage 3 een keuze worden gemaakt. Indien er meerdere brandstoftypen gebruikt worden, moet het gewogen gemiddelde van de standaard referentierendementen berekend worden. Voor gevalstudie 1 wordt aardgas gebruikt.

Hiervoor geldt een voorlopig referentierendement van 52.5%.

Daarna wordt een correctiefactor voor de klimaatomstandigheden in rekening gebracht. Deze correctie gebeurt op basis van de grootte van de afwijking tussen de gemiddelde jaartemperatuur en de standaard ISO omstandigheden. Bij deze gevalstudies wordt een gemiddelde jaartemperatuur van 10°C verondersteld. Dit betekent dat het eerder geformuleerde tijdelijke referentierendement verhoogd wordt met 0.5%.

Om het uiteindelijke elektrische referentierendement te bekomen, wordt ten slotte een correctiefactor voor vermeden netverliezen toegepast. Deze gridcorrectie is een getal gelijk aan of kleiner dan één en wordt samengevat de tabel 30 van bijlage 3. Met betrekking tot gevalstudie 1 wordt de installatie aangesloten op een elektriciteitsnet tussen de 400 en 50 000 Volt. Bijgevolg valt ze onder de voorlaatste rij. Er wordt tevens vastgesteld dat er geen elektriciteit moet worden afgestaan aan het net omdat de minimale elektriciteitsvraag van de onderneming te allen tijde groter is dan hetgeen de WKK-installatie per maand levert.

Het tot dusver bekomen elektrische referentierendement moet met de bovenstaande correctiefactor voor netverliezen vermenigvuldigd worden om het uiteindelijke referentierendement te bekomen. Dit betekent voor de voorbeeldgevalstudie: $(52,5\% + 0,5\%) \times 0,925 = 49,025\%$

Het thermisch referentierendement voor de berekening van RPE

De eerste tabel, die gebruik wordt, is terug te vinden in bijlage 4 en werd gehaald uit het Cogen document "COGEN certificaten versie 3.6". Ook deze tabel is gebaseerd op het ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties van 6 november 2006.

Afhankelijk van het brandstoftype en de gekozen toepassing moet het juiste percentage geselecteerd worden. Ook nu moet het gewogen gemiddelde genomen worden indien er meerdere brandstoftypen en/of toepassingen zijn. Voor gevalstudie 1 is de rij met de gasvormige brandstoffen van toepassing. Daar de opgewekte warmte voor sanitaire verwarming dient, is de kolom 'warm water' van toepassing. Bijgevolg is dit thermische referentierendement gelijk aan 90%.

Met de gevonden waarden kan de RPE worden berekend:

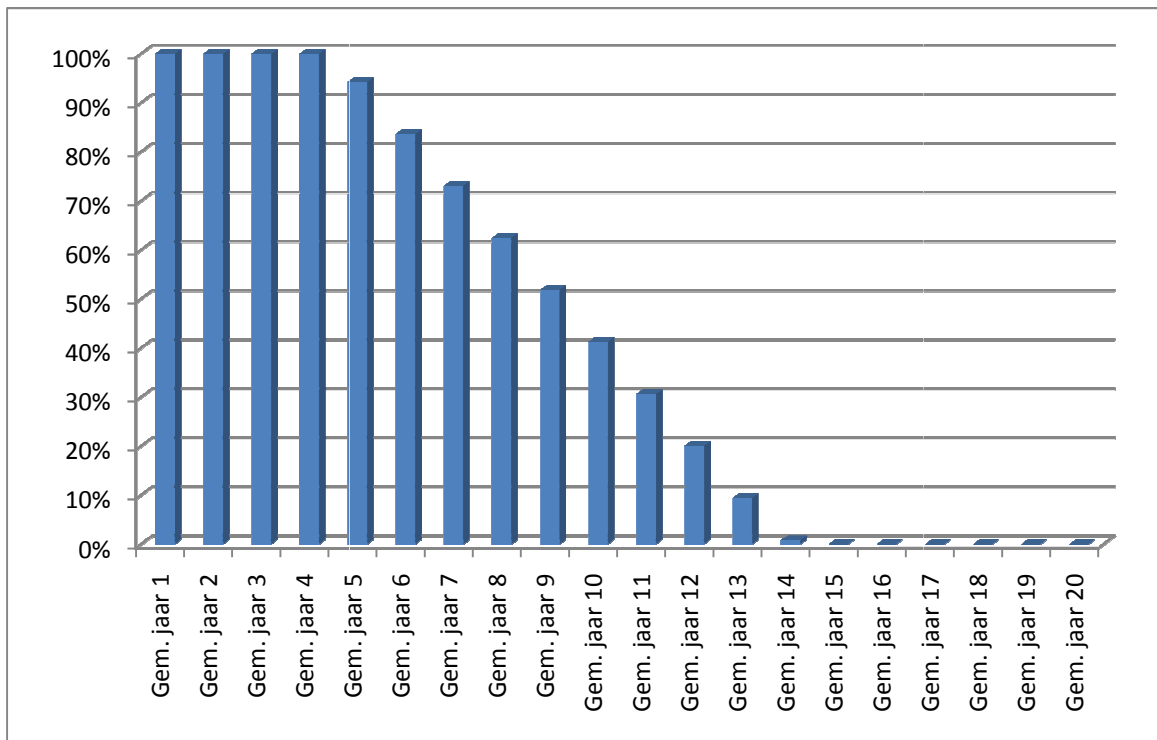
$$RPE = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_Q}{\eta_{Q(ref)}} + \frac{\eta_E}{\eta_{E(ref)}}} \right) = \left(1 - \frac{1}{\frac{0,585}{0,90} + \frac{0,315}{0,49025}} \right) = 22,63\%$$

Tabel 32 van bijlage 4 bepaalt of deze RPE voldoende groot is om de installatie als kwalitatief te kunnen beschouwen. Uit deze tabel wordt afgeleid dat daar het totale vermogen van de volledige installatie kleiner is dan 1000 kW en de RPE groter is dan 10, de installatie goedgekeurd wordt. Aangezien ook de 2 eerste vragen positief konden worden beantwoord voor deze gevalstudie, komt de installatie in aanmerking voor WKC. De uiteindelijke hoeveelheid te ontvangen WKC is afhankelijk van de factor X.

Factor X

Dit is de factor die bepaalt hoeveel certificaten er jaarlijks ontvangen mogen worden mits de installatie werd goedgekeurd. Afhankelijk van de factor X zijn dit 100% van deze 69,66 WKC of minder. De formule voor de berekening van factor X is terug te vinden in sectie 5.2.3.2.

Het profiel met betrekking tot gevalstudie 1 wordt in onderstaande figuur weergegeven en geeft aan dat tot en met het 14^{de} jaar, subsidies kunnen worden ontvangen. Om tot onderstaande staafdiagram te komen, worden de gewogen gemiddelde van factor X van alle maanden per jaar genomen. Dit gedurende 20 jaar.



Figuur 22: factor X, gevalstudie 1

De gemiddelde prijs per WKC wordt in dit werk gelijkgesteld aan 40 EUR per certificaat. De motivering van dit bedrag is terug te vinden in sectie 5.2.3.2 en bijlage 6. Bijgevolg moet het aantal WKC waar men dat jaar recht op heeft, vermenigvuldigd worden met dit bedrag om de totale subsidie per jaar te bekomen. Onderstaande tabel vat dit kort samen:

Tabel 19: Opbrengst uit WKC, gevalstudie 1

WKC		Jaar 1	...	Jaar 5	...	Jaar 14	Jaar 15	...	Jaar 20
Installatie goedgekeurd?		ja	...	ja	...	ja	ja	...	ja
Aantal WKC		69,6560	...	69,6560	...	69,6560	69,65603	...	69,6560
Factor X		100%	...	0,9425	...	0,00796	0	...	0
verkregen WKC		69,6563	...	65,6549	...	0,554396	0	...	0
Gem prijs WKC	€	40	...	40	...	40	40	...	40
Opbrengst uit WKC	€	2786,24117	...	2626,19951	...	22,17583	0	...	0

7.2.6.4 Groenestroomcertificaten (GSC)

Enkel indien er gebruik gemaakt wordt van hernieuwbare energie kan een WKK-installatie GSC ontvangen voor het relatief aandeel van de opgewerkte elektrische energie op basis van deze hernieuwbare energiebron. Gebaseerd op het besluit van de Vlaamse Regering inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen van 5 maart 2004 wordt besloten of een bepaalde brandstof hernieuwbaar is of niet. Volgende 6 opties uit de tabel van bijlage 4 worden hier onderscheiden en als hernieuwbaar beschouwd: "Houtbrandstoffen en Houtafval", "Landbouwbiomassa", "Bio-afbreekbaar (stadsafval)", "Biobrandstoffen", "Bio-afbreekbaar afval" en "Biogas". In dat geval spreekt men van biobrandstoffen en verkrijgt men GSC. Voor elke 1000 kWh die opgewerkt wordt uit hernieuwbare energie ontvangt men 1 GSC. Aangezien de installatie in gevalstudie 1 niet op hernieuwbare energie werkt, is de inkomst van GSC gelijk aan nul. In gevalstudie 2 wordt wel gebruik gemaakt van een WKK op hernieuwbare energie en wordt de berekening van het aantal GSC in rekening gebracht.

In de veronderstelling dat elk jaar gemiddeld even veel elektriciteit geproduceerd wordt vanwege het constant aantal draaiuren, is het aantal GSC elk jaar hetzelfde. De gemiddelde waarde per GSC wordt gelijk gesteld aan € 106,25 oftewel 85% van de boeteprijs.

7.3 Economische evaluatiemaatstaven

7.3.1 Terugverdiëntijd (TVT)

Om inzicht te krijgen in de kasstromen worden verschillende evaluatiemaatstaven gebruikt. De eerste is de terugverdiëntijd. Men berekent hier hoe snel de investering wordt terugverdiend zonder daarbij rekening te houden met de tijdswaarde van geld. Met andere woorden wordt er berekend in welk jaar de som van de positieve kasstromen groter is dan die van de negatieve kasstromen. Voor een bedrijf is het steeds interessanter als deze terugverdiëntijd zo kort mogelijk is. Voor gevalstudie 1 is de terugverdiëntijd gelijk is aan 6,60 jaar.

7.3.2 Netto actuele waarde (NAW) en verdisconteerde terugverdiëntijd (VTVT)

Verder wordt de netto actuele waarde van de kasstroom evenals de verdisconteerde terugverdiëntijd berekend op basis van de verdisconteerde kasstroom. Een verdisconteerde kasstroom houdt rekening met de tijdswaarde van geld.(Mercken, 2004) De NAW is best zo groot mogelijk, terwijl de verdisconteerde terugverdiëntijd best zo klein mogelijk is.

Voor gevalstudie 1 wordt de eerder berekende discontovoet van 7,33% gebruikt. De NAW is dan gelijk aan € 19 892,60 en de verdisconteerde terugverdiëntijd is gelijk aan 9,98 jaar.

7.3.3 Interne rendementsvoet (IRR)

Vervolgens wordt de interne rendementsvoet (IR) of internal rate of return (IRR) berekend. Deze evaluatiemaatstaf berekent hoeveel de discontovoet moet bedragen om de NAW gelijk aan nul te laten zijn en geeft het rendement van de totale investering weer. Hoe groter de IRR, hoe interessanter. Ook moet het rendement van de investering best groter zijn dan de financiële middelen die voor deze investering worden gebruikt. Vandaar dat de IRR best groter is dan GGK. Voor de eerste gevalstudie is de IRR gelijk aan 12,73%. Deze interne rendementsvoet is groter dan de GGK van 7,33%. De IR is zelfs net groter dan de strengste rendementseis, die op het eigen vermogen.

7.3.4 Winstgevendheidsindex (WI)

De winstgevendheidsindex bedraagt 2,39. De som van de toekomstige kasstromen, uitgedrukt in termen van het investeringsjaar is 2,39 keer groter dan het geïnvesteerde bedrag.

7.4 Sensitiviteitsanalyse

7.4.1 Kansverdeling van de variabele parameters

Bij het opstellen van bovenstaande investeringsanalyse worden verschillende variabelen geschat. Deze schattingen hebben een grote weerslag op het uiteindelijke resultaat van de analyse. Om een inschatting te kunnen maken van de grootte van de invloed van verschillende geschatte parameters, worden deze betrokken bij een sensitiviteitsanalyse. Op basis van Crystal Ball, een toepassing die op Excel runt, wordt er voor verschillende parameters een verdeling gekozen die de kans weerspiegelt dat deze parameter een bepaalde waarde hanteert. Vervolgens overloopt het programma 100 000 keer de investeringsanalyse en kiest ze telkens willekeurig een waarde voor elke parameter rekening houdend met de toegewezen verdeling van elke parameter. Hier wordt gekozen voor een driehoekskansverdeling voor elke gekozen parameter. Deze driehoekskansverdeling wordt bepaald door 3 waarden: de minimum waarde, de maximum waarde en de meest waarschijnlijke waarde. Het minimum en maximum liggen steeds respectievelijk 10% lager en hoger dan de meest waarschijnlijke waarde. Dit heeft als gevolg dat de invloed van de verschillende parameters op het eindresultaat proportioneel vergeleken kunnen worden. De meest waarschijnlijke waarde wordt gelijkgesteld aan de eerder bepaalde waarden voor de gevalstudie. Er wordt dus verondersteld dat een aantal van de schattingen, die eerder gemaakt werden, bij het bovenstaande model niet absoluut zijn maar kunnen afhangen van de bedrijfsspecifieke situatie. Zo wordt bijvoorbeeld het investeringsbedrag als variabel beschouwd. De kosten van een project kunnen wat duurder of goedkoper uitvallen onder invloed van verschillende omgevingsfactoren. Ook de energieprijzen worden als variabel beschouwd. Deze prijs hangt af van de onderhandelingspositie van de onderneming. Grote afnemers kunnen globaal genomen rekenen op een lager tarief per energie-eenheid. Een tabel van alle parameters die als variabel worden beschouwd, is onderaan terug te vinden. Een visuele voorstelling van de driehoekskansverdeling is terug te vinden in bijlage 11.

Tabel 20: minimum, maximum en meest waarschijnlijke waarde van de verschillende variabele parameters van gevalstudie 1

Variabele parameter	Minimum	Gemiddelde	maximum
<i>Aankoopprijs elektriciteit (€/kWh)</i>	<i>0,108</i>	<i>0,12</i>	<i>0,132</i>
<i>Kostprijs brandstof voor de productie van warmte (€/kWh)</i>	<i>0,03600009</i>	<i>0,0400001</i>	<i>0,04400011</i>
<i>Het aantal draaiuren van de WKK (uren/jaar)</i>	<i>3984,56</i>	<i>4427,29</i>	<i>4870,02</i>
<i>Investeringsuitgave (€)</i>	<i>630 000</i>	<i>700 000</i>	<i>770 000</i>
<i>Onderhoudsuitgave (€/jaar)</i>	<i>90 000</i>	<i>100 000</i>	<i>110 000</i>
<i>Brandstofprijs WKK (€/kWh)</i>	<i>0.01053</i>	<i>0.0117</i>	<i>0.01287</i>
<i>Gemiddelde prijs WKC (€/WKC)</i>	<i>36</i>	<i>40</i>	<i>44</i>
<i>Veronderstelde inflatiepercentage (%)</i>	<i>2.25</i>	<i>2.5</i>	<i>2.75</i>
<i>Veronderstelde brandstofprijsstijging (%)</i>	<i>5.4</i>	<i>6</i>	<i>6.6</i>
<i>Veronderstelde elektriciteitsprijsstijging (%)</i>	<i>4,5</i>	<i>5</i>	<i>5,5</i>

Op basis van de 100 000 scenario's worden frequentietabellen en sensitiviteitsanalyses opgesteld van de terugverdientijd op basis van de absolute kasstromen, de terugverdientijd op basis van de verdisconteerde kasstromen, de netto actuele waarde, de interne rendementsvoet en de winstgevendheidsindex. De resultaten worden grafisch weergegeven in bijlage 11.

7.4.2 Waarschijnlijkheid van de uitkomsten

Een frequentietabel geeft weer hoeveel keer een bepaalde waarde bekomen wordt tijdens de simulaties van het model. Op basis van deze tabel kan een inschatting gemaakt worden van de waarschijnlijkheid dat een bepaalde waarde zich voordoet, gegeven de eerder gestelde assumpties. Met betrekking tot gevalstudie 1 worden in onderstaande tabel de resultaten van de frequentietabellen van verschillende evaluatiemaatstaven samengevat. Een visuele voorstelling van de frequentietabellen is terug te vinden in bijlage 11. In de tweede kolom wordt een zekerheidsinterval van 99% uiteengezet. 99% van de gevonden waarden bevinden zich tussen deze waarden. Op deze manier worden de extreme waarden er uit gefilterd. De waarden '25%' en '75%' duiden er op dat respectievelijk 25% en 75% van de gevonden uitkomsten kleiner zijn dan deze waarden. Een investeerder kan zich dus 50% van de gevallen verwachten aan een resultaat dat zich tussen deze waarden, terug te vinden in de 3^{de} en 4^{de} kolom van onderstaande tabel, bevindt.

Tabel 21: verwachte waarden economische evaluatie maatstaven

Evaluatiemaatstaf	99% zekerheidsinterval	25%	75%
TVT (jaar)	5,27-8,78	6,19	7,09
VTVT (jaar)	7,13-19,17	8,99	11,30
NAW (€)	661,88-40 666,28	14 403,33	25 419,74
WI	1,64-3,22	2,17	2,60
IRR (%)	7,59-17,23	11,47	13,94

De terugverdientijd (TVT) is steeds kleiner dan de helft van de nuttige levensduur. Hier wordt een interval van 5,27 tot 8,78 jaar gevonden. Hierbij bestaat er 50% kans dat de TVT tussen 6,19 en 7,09 jaar ligt. De verdisconteerde terugverdientijd (VTVT) heeft een grotere spreiding en het minimum en maximum zijn groter daar de kasstromen verdisconteerd worden. Zoals aangegeven in bijlage 11 bevinden 99% van de waarden zich tussen 7,62 en 15,51 jaar. De NAW is, zoals aangegeven in de bijlage, in 99% van de gevallen positief. De negatieve waarden worden beschouwd als outliers. De winstgevendheidsindex stelt dat in 99% van de scenario's deze evaluatiemaatstaf groter is dan 1,64. Indien de toekomstige kasstromen niet verdisconteerd worden, zijn ze dus steeds meer dan anderhalf keer groter dan de meerkost van de installatie. Bovendien is de IRR in meer dan 90% van de gevallen steeds groter dan de GGK van 7,33%. Het rendement van de investering is dus bijna altijd groter dan de kostprijs van de financiële middelen om de meerkost van deze investering te financieren. Daar de waarden van het basisscenario steeds gelijk zijn aan de meest waarschijnlijke waarden, ligt het gemiddelde van elke economische evaluatiemaatstaf dicht in de buurt van de waarden van de basiscase.

Om als een goede investering beschouwd te worden, moet de meerkost van de WKK-installatie ten opzichte van het alternatief minstens worden terugverdiend binnen de levensduur van deze installatie. Dit is hier onder alle scenario's binnen het 99 procent zekerheidsinterval het geval. Er moet echter ook worden opgemerkt dat een bedrijf geld vrij moet kunnen maken op korte termijn om de installatie te betalen. Dit maakt dat dit geld niet voor andere doeleinden gebruikt kan worden. Daar komt bovenop dat een extra lening die nu wordt afgesloten, een invloed heeft op toekomstige financieringsmiddelen. Hier moet een onderneming bijgevolg afwegen of de investering in WKK geen andere investeringen met een grotere invloed op de continuïteit van de onderneming in gevaar brengt. Ook kan worden opgemerkt dat een terugverdientijd van over de 5 jaar in absolute kasstromen en van over de 7 jaar in verdisconteerde kasstromen in het huidige economisch klimaat wel overwogen zal worden. In hoofdstuk 9 wordt verder ingegaan op de conclusies van deze en de volgende gevalstudies.

7.4.3 Sensitiviteit van de modeluitkomsten

Van elk van de economische evaluatiemaatstaven wordt een sensitiviteitsanalyse gemaakt. Dit betekent dat de invloed van elke variabele parameter op de economische evaluatiemaatstaven in kaart wordt gebracht. De grootte van de invloed wordt bepaald op basis van de correlatie tussen de variabele parameters en de resultaten van de economische evaluatiemaatstaven. Een parameter met een grote correlatie heeft een grote invloed op de variantie van het uiteindelijke resultaat. De grootte geeft aan in welke mate de uitkomst van het model verandert bij een verandering van de variabele parameter. De correlatie kan zowel positief als negatief zijn. Bij een positieve correlatie vergroot de waarde van de modeluitkomst als de waarde van de variabele parameter vergroot. Bij een negatieve correlatie verkleint de waarde van de modeluitkomst als de waarde van de variabele parameter vergroot. Hoe groter de absolute waarde van deze correlatie, hoe groter de invloed van de parameter op de uitkomst van het model. In bijlage wordt de sensitiviteit per economische evaluatiemaatstaf visueel weergegeven. Daar wordt de correlatie vertaald in 'bijdrage tot de variantie'. Op die manier wordt op een schaal van 100% weergegeven hoe de correlaties zich onderling verhouden en welke correlatie de grootste invloed heeft. Doordat deze laatste eenvoudiger te analyseren zijn dan de correlaties, worden deze verder voor de analyses van de gevalstudies gebruikt.

Onderstaande tabel geeft een kort overzicht van de invloed van de verschillende parameters. De volledige analyse is terug te vinden in bijlage 11. Voor gevalstudie 1 kan geconcludeerd worden dat de aankoopprijs van elektriciteit de grootste invloed heeft op alle economische evaluatiemaatstaven. Voor elk van de maatstaven bepaalt de aankoopprijs van elektriciteit voor meer dan 50% de variantie van het resultaat. Een verandering in de aankoopprijs van elektriciteit heeft dus de grootste invloed op een verandering in het resultaat. Als deze prijs stijgt, is dit ten gunste van de rendabiliteit WKK-installatie. Voor het volledige bedrijf zal een hogere prijs voor elektriciteit hoogstwaarschijnlijk niet voordelig uitkomen. Vervolgens geeft de sensitiviteitsanalyse de kostprijs van aardgas aan als de op één na invloedrijkste parameter. Deze parameter heeft steeds de tweede grootste invloed op de variantie en de invloed schommelt tussen de 13% en 16%. Een stijging in deze prijs heeft een ongunstige invloed op de evaluatiemaatstaven daar het scenario met de WKK-installatie meer aardgas verbruikt dan het alternatieve scenario. Verder is de grootte van de investeringsuitgave van belang. Een verandering in deze parameter heeft voornamelijk invloed op de IRR, TVT en VTVT en is positief gecorreleerd met de twee laatstgenoemden terwijl ze negatief gecorreleerd is met de IRR. Bij de TVT en VTVT bepaalt de investeringsuitgave steeds meer dan 10% van de variantie. Verder zorgt een verandering in de investeringsuitgave voor een beperkte verandering in de WI.

Aangezien de aankoopprijs van elektriciteit de grootste invloed heeft op de variantie van alle evaluatiemaatstaven is het niet verwonderlijk dat de prijsstijging van elektriciteit ook belangrijk is voor het uiteindelijke resultaat. Een goede inschatting van deze parameter is dus eveneens

noodzakelijk om een betrouwbaar resultaat te bekomen. Zowel voor de NAW als de WI heeft deze parameter de 3^e grootste invloed. Daarnaast heeft ze ook een vermeldenswaardige invloed de IRR. Ook het aantal vollasturen bepaalt voor verschillende evaluatiemaatstaven mee de totale variantie. Ten slotte wordt onderstaande tabel nog aangevuld met de gemiddelde prijsstijging van de brandstof die 6,2% van de variantie van de WI bepaalt.

De veranderingen binnen het domein van de andere parameters kunnen als minder invloedrijk en belangrijk worden beschouwd daar ze nooit meer dan 5% bijdragen tot de variantie van één economische evaluatiemaatstaf. Algemeen kan geconcludeerd worden dat de assumpties met de grootste invloed van groter belang zijn is voor de investeerder. De uitkomst van het model verandert het sterkst onder invloed van deze parameters. Voor een investeerder is het bijgevolg van belang in de eerste plaats deze parameters op voorhand goed in te schatten en tijdens de investering nauwkeurig op te volgen.

Tabel 22: volgorde van invloedrijkste parameters afgeleid uit de sensitiviteitsanalyse

Variabele parameter (in dalende volgorde van belangrijkheid)	Volgorde van bijdrage aan variantie	evaluatiemaatstaf	Waarde
aankoopprijs van elektriciteit	1 ^e	alle evaluatie-maatstaven	51-55%
kostprijs aardgas	2 ^e	alle evaluatie-maatstaven	13-16%
investeringsuitgave	3 ^e	IRR, (V)TVT, WI	8,2%, 10-13% 5,2%
	4 ^e		
Gem. prijsstijging Elektriciteit	3 ^e	NAW, WI IRR	9%, 14% 6,3%
	5 ^e		
vollasturen	4 ^e	(V)TVT, NAW, IRR WI	7-13% 5%
	6 ^e		
Gem. prijsstijging brandstof	4 ^e	WI	6,2%
Andere parameters	≥5 ^e	alle	<5%

De volgorde van belangrijkheid van de 'investeringsuitgave en 'gem. prijsstijging elektriciteit' valt te betwisten. Afhankelijk van de waarde die een bedrijf aan een bepaalde evaluatiemaatstaf hecht, kunnen deze twee van plaats verwisseld worden. De aangegeven waarden zijn ruwe schattingen en houden geen rekening met het teken van de correlatie.

7.5 Gevalstudie 1 overdimensionering

In bovenstaande gevalstudie werd tot dusver een te kleine WKK installatie geplaatst. Aangezien Ineltra Systems nv niet beschikt over een op maat gemaakte WKK-installatie, wordt hier nagegaan hoe het resultaat beïnvloed wordt door een te grote installatie. De geïntegreerde installatie is de EcoGen-30AG. Onderstaande tabel vat de technische en economische gegevens van deze installatie samen.

Tabel 23: technische gegevens ecoGEN-30AG gevalstudie 1

Thermisch vermogen	67 kW
Elektrisch vermogen	30 kW
Thermisch rendement	62 %
Elektrisch rendement	28 %
Spanning	400 V
Brandstof	Aardgas, LPG
Onderhoudskost	0,65 €/kWh _{elektrisch}
Investeringsbedrag (inclusief aanschaf-, plaatsings-, en projectkosten)	€ 85 000

Het thermisch vermogen van deze installatie is groter dan het streefrendement, met andere woorden de installatie is te groot gedimensioneerd. Dit betekent dan ook dat de geproduceerde warmte niet gedurende het volledige jaar nuttige gebruikt zal kunnen worden. Het maximaal aantal draaiuren in vollast komt nu overeen met 1640 draaiuren en betekent dat de installatie in deze gevalstudie slechts gedurende 4,5 maanden per jaar zal draaien. De andere parameters en hun assumpties, zoals weergegeven in tabel 28, blijven onveranderd. Het rapport met de resultaten van de 100 000 willekeurige scenario's is terug te vinden in bijlage 12. De resultaten van het basisscenario van de te groot gedimensioneerde WKK-installatie worden vergeleken met deze van het eerder opgestelde scenario in onderstaande tabel. De kasstromentabel is terug te vinden in bijlage 13. De waarden tussen haakjes stellen negatieve getallen voor.

Tabel 24: vergelijking resultaten basisscenario van gevalstudie 1 (overgedimensioneerde en ondergedimensioneerde WKK-installatie)

	Overgedimensioneerd	Ondergedimensioneerd
Terugverdientijd	10,20 jaar	6,60 jaar
Verdisconteerde terugverdientijd	≥20jaar	9,98 jaar
Netto actuele waarde	(1485,55)EUR	19 892,60 EUR
Winstgevendheidsindex	1,67	2,39
Interne rendementsvoet	6,94%	12,73%

Uit bovenstaande kolom is duidelijk te zien dat de kleinste WKK-installatie voor alle evaluatiemaatstaven het beste scoort. De resultaten doen vermoeden dat een correct gedimensioneerde WKK-installatie nog meer zal opbrengen daar er bij de te klein gedimensioneerde WKK nog een deel van de vraag naar energie onbeantwoord blijft en een WKK installatie meer opbrengt als deze meer energie opwekt.

7.5.1 Waarschijnlijkheid van de uitkomsten

In onderstaande tabel wordt de verdeling van de resultaten van de ondergedimensioneerde installatie vergeleken met die van de overgedimensioneerde installatie. De frequentietabellen zijn respectievelijk terug te vinden in bijlage 11 en 12. De waarden in het groen zijn van de te kleine installatie. Die in het zwart zijn van de ondergedimensioneerde installatie. De waarden tussen haakjes duiden op een negatieve waarde. Opnieuw wordt een zekerheidsinterval van 99% gekozen om de outliers uit de resultaten te filteren. De kleinste waarden van de intervallen worden in de 2^{de} kolom weergegeven, terwijl de grootste in de 3^{de} kolom terug te vinden zijn.

Tabel 25: vergelijkingstabel verwachte waarden gevalstudie 1

Evaluatiemaatstaf	99% zekerheidsinterval		25%	75%
TVT (jaar)	5,27/8,14	8,78/13,85	6,19/9,55	7,09/10,98
NAW (€)	661,88/ (14 280)	40 666/ (12 304)	17763/(5139)	28 802/2124
WI	1,64/1,24	3,22/2,15	2,17/1,55	2,60/1,79
IRR (%)	7,59/3,11	17,23/10,27	11,47/5,95	13,94/7,86

De vergelijking van de verdisconteerde terugverdientijd wordt uit bovenstaande vergelijkingstabel weggelaten. Zoals de frequentietabel van deze evaluatiemaatstaf in bijlage 12 laat zien is de

terugverdiëntijd haast altijd gelijk aan 20 jaar. Dit komt omdat het model dat de resultaten genereert alle terugverdiëntijden die groter of gelijk aan 20 zijn, gelijkstelt aan 20 jaar. Bijgevolg kan uit de frequentietabel de juiste verdeling niet worden afgeleid. Wel kan er geconcludeerd worden dat de VTVT in meer dan 60% van de gevallen groter is dan of gelijk aan 20 jaar.

Daar alle waarden van de overgedimensioneerde installatie steeds minder gunstig zijn dan deze van de ondergedimensioneerde installatie kan algemeen geconcludeerd worden dat de ondergedimensioneerde installatie het interessantst is. In de vergelijking van de verschillende evaluatiemaatstaven valt onder andere de negatieve waarden voor de NAW van de overgedimensioneerde installatie op. Zoals kan worden teruggevonden in bijlage 12, is in meer dan 60% van de gevallen de NAW negatief. Ook springt de hogere terugverdiëntijd in het oog. In 50 procent van de gevallen wordt de te grote installatie in iets meer dan de helft van de nuttige levensduur terugverdiend. Wanneer er echter naar de verdisconteerde terugverdiëntijd wordt gekeken, moet geconcludeerd worden dat, net zoals bij de NAW, de meerkost van de WKK die overgedimensioneerd wordt, rekening houdend met de tijdswaarde van geld, niet altijd wordt terugverdiend. Daarenboven kan opnieuw vastgesteld worden dat in meer dan 60% van de scenario's de IRR kleiner dan de GGK, wat opnieuw duidt op een slechte investering. Voor een investeerder is de keuze tussen beide alternatieven snel gemaakt daar de te kleine installatie wel overwogen kan worden en de te grote niet.

7.5.2 Sensitiviteit van de modeluitkomsten

In onderstaande tabel wordt de sensitiviteit van de parameters op het resultaat opnieuw nagegaan. Opvallend is dat opnieuw dezelfde parameters een invloed uitoefenen. De investeringsuitgave mag dan in relatieve rangorde zijn gedaald, toch blijft de bijdrage tot de variantie ongeveer hetzelfde in vergelijking met de eerder besproken implementatie van de ondergedimensioneerde installatie.

Tabel 26: volgorde van invloedrijkste parameters afgeleid uit de sensitiviteitsanalyse plus vergelijking met onderdimensionering

Variabele parameter (in dalende volgorde van belangrijkheid)	Volgorde van bijdrage aan variantie	evaluatiemaatstaf	Waarde
aankoopprijs van elektriciteit	1 ^e	<i>alle</i> evaluatie-maatstaven	51-55%
kostprijs aardgas	2 ^e	<i>alle</i> evaluatie-maatstaven	15-17%
Gem. prijsstijging Elektriciteit	3 ^e	IRR, NAW, WI	8-9%, 13%
	5 ^e	VTVT	6,3%
vollasturen	3 ^e	(V)TVT	8-12%
	4 ^e	IRR	7%
	5 ^e	NAW, WI	7%, 5%
investeringsuitgave	4 ^e	(V)TVT, NAW	8-12%
	5 ^e	IRR	7,5%
	6 ^e	WI	5,7%
Gem. prijsstijging brandstof	4 ^e	WI	7,1%
Andere parameters	≥5 ^e	<i>alle</i>	<5%

7.6 Huidige verwarmingsinstallatie niet versleten

In het begin van deze gevalstudie wordt verondersteld dat de huidige installatie versleten is. Indien er echter van uit wordt gegaan dat de huidige installatie nog enkele jaren mee zal kunnen gaan, heeft dit een invloed op verschillende relatieve kasstromen. Dit werd reeds besproken in hoofdstuk 6. In deze sectie wordt nagegaan hoe bij deze assumptie de economische evaluatiemaatstaven veranderen. Indien verondersteld wordt dat de installatie nog X jaren meegaat, wordt in jaar X een positief bedrag toegevoegd ter waarde van de prijs van de installatie die niet moet worden aangekocht vermits de installatie reeds eerder werd vervangen door een WKK-installatie. Er wordt verondersteld dat de nieuwe installatie die wordt aangekocht in jaar X opnieuw ¼ van de aankoopwaarde van de WKK-installatie heeft. Bovenop deze waarde wordt er inflatie aangerekend. Er wordt bij dit scenario geen rekening gehouden met de resterende boekwaarde van de installatie die in jaar 0 zou kunnen worden ingebracht als extra afschrijving of als opbrengst bij een verkoop. Indien er voor gevalstudie 1 verondersteld wordt dat de huidige installatie nog 10 jaar meegaat,

geeft dit onderstaande waarden, weergegeven in het zwart. Voor een installatie die nog maar 5 jaar meegaat, zijn de waarden weergegeven in het rood. In het groen staan de waarden van de oorspronkelijke berekening waarbij de huidige installatie wel versleten is.

Tabel 27: samenvatting van de evaluatiemaatstaven indien huidige installatie niet versleten is

Dimensionering	TVT	VTVT	NAW	IRR	WI
	9,15	12,9	12873	9,78	2,11
Te klein	6,29	11,68	15608	10,65	2,07
	6,60	9,98	19893	12,73	2,39

Opgemerkt wordt dat de TVT, onder de voorwaarde dat de installatie nog maar 5 jaar meegaat, groter is dan bij het oorspronkelijke scenario. Dit komt omdat de positieve kasstroom in jaar 5 niet verdisconteerd wordt en er wel een weerwaarde van de inflatie aangerekend wordt. Alle andere evaluatiemaatstaven duiden wel op een minder goede investering ten opzichte van het eerste scenario.

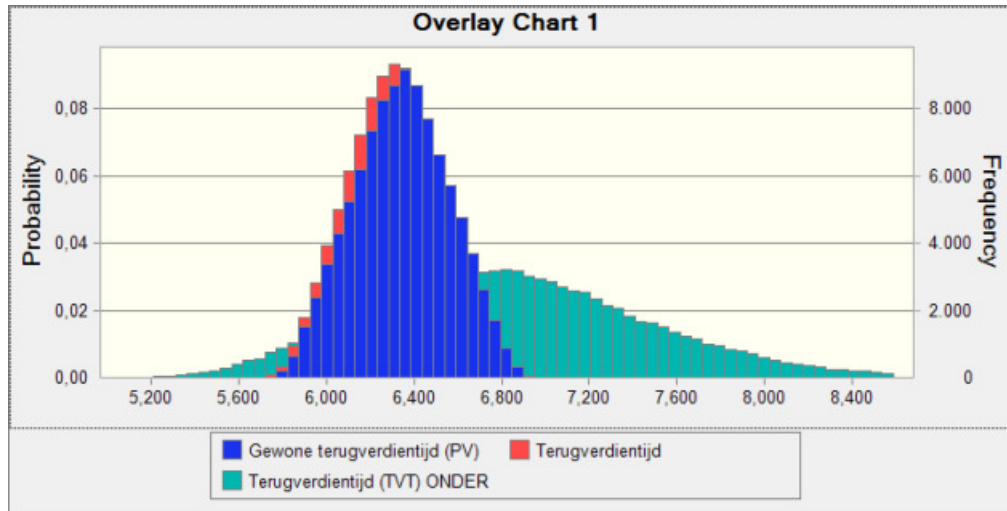
7.7 Koppeling met zonnepanelen

In deze sectie wordt nagegaan voor gevalstudie 1 wat het effect van een extra investering in zonnepanelen zal zijn. De resultaten van deze investeringsanalyse met betrekking tot de investering in zonnepanelen zijn gebaseerd op het investeringsmodel ontwikkeld door Maarten Kupers. Meer informatie over zijn analyses is terug te vinden in zijn masterproef "De haalbaarheid van investeringen in fotovoltaïsche systemen bij bedrijven, opstellen van een analysemodel". Door het integreren van zonnepanelen kan aan een groter deel van elektriciteitsvraag worden voldaan. Ook wordt berekend welke van de twee investeringen het meest interessant is indien men slechts over een beperkt budget beschikt. De eerder gemaakte assumpties blijven opnieuw geldig. Aanvullend worden er twee extra assumpties toegevoegd. Een eerste heeft betrekking op de investeringskostprijs per kilowattpiek (kWp) geïnstalleerd vermogen. De tweede heeft betrekking op de prijs waartegen elektriciteit aan het elektriciteitsnet kan worden verkocht. Beide assumpties zijn terug te vinden in bijlage 14.

7.7.1 Grootst mogelijke investering

In deze invulling van de eerste gevalstudie wordt nagegaan wat het resultaat is van het gelijktijdig investeren in WKK en zonnepanelen. Voor WKK betekent dit de implementatie van de best beschikbare WKK-installatie. De resultaten van deze installatie werden reeds besproken in sectie 7.3 en 7.4. Bovenop deze investering worden er ook zonnepanelen geplaatst. Het aantal geplaatste zonnepanelen wordt beperkt door de beschikbare dakoppervlakte. Door deze investering wordt in 38,6% van de totale jaarlijkse elektriciteitsproductie en 50% van de jaarlijkse warmtebehoefte voorzien. Voor de zonnepanelen moet een bedrag van 1 047 210 EUR worden voorzien. Voor de WKK-installatie moet slechts een meerkost van 57 000 EUR worden betaald ten opzichte van het alternatieve scenario. De investeringsanalyse wordt vervolgens voor het overgrote deel door de investering in zonnepanelen bepaald.

Onderstaande figuur bevestigt deze grote afhankelijkheid van de investering in zonnepanelen. In deze figuur is de terugverdientijd van de drie investeringsanalyses terug te vinden. In het groen is de terugverdientijd weergegeven van de WKK-installatie. De terugverdientijd van de zonnepanelen zijn in het blauw weergegeven terwijl de rode figuur de terugverdientijd weergeeft van de gezamenlijke investering. Hierbij valt op dat de zonnepanelen de grootste invloed hebben. Slechts een kleine verschuiving van de TVT kan worden waargenomen. De gemiddelde TVT van het volledige project ligt met 6,41 jaar iets hoger dan deze van het WKK project. Echter valt uit de grafiek ook meteen op te merken dat de spreiding van de resultaten van de WKK veel breder is dan deze van de zonnepanelen en het volledige project. De investering in WKK brengt bijgevolg relatief bekeken meer risico met zich mee. De spreiding van de resultaten is onder andere te wijten aan het verschil in aantal variabele parameters die relevant zijn voor de modeluitkomst. Zo zijn er 6 variabele parameters geïntegreerd in het model die enkel invloed uitoefenen op de uitkomsten van de WKK-installatie. 4 variabele parameters worden gezamenlijk gebruikt en de twee parameters die bij de inleiding van dit hoofdstuk werden besproken, zijn enkel van toepassing op het model van de zonnepanelen. De verschillende variabele parameters en hun verdeling zijn in onderstaande figuur weergegeven.



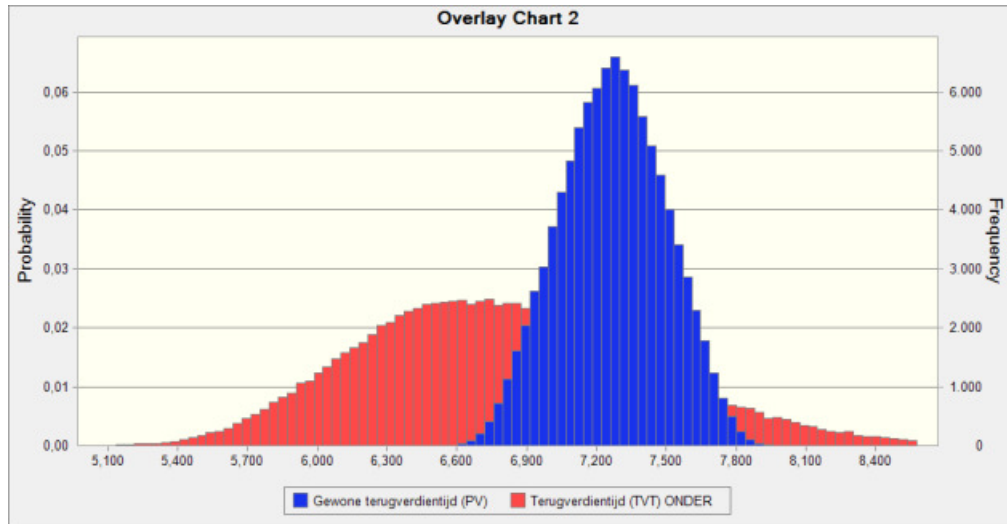
Figuur 23: vergelijking TVT, WKK, PV en beide

In de sensitiviteitsanalyse van de zonnepanelen wordt 95% van de variantie van de TVT bepaald door de richtprijs per kWp. Voor het volledige model zakt deze invloed tot 91,5% ten koste van een relatieve stijging van de invloed gemiddelde aankoopprijs van elektriciteit. Ook de NAW en de IRR van het volledige project zijn hoofdzakelijk afhankelijk van de richtprijs per kWp. De resultaten van deze sensitiviteitsanalyse zijn terug te vinden in bijlage 14.

7.7.2 Zelfde initiële investering

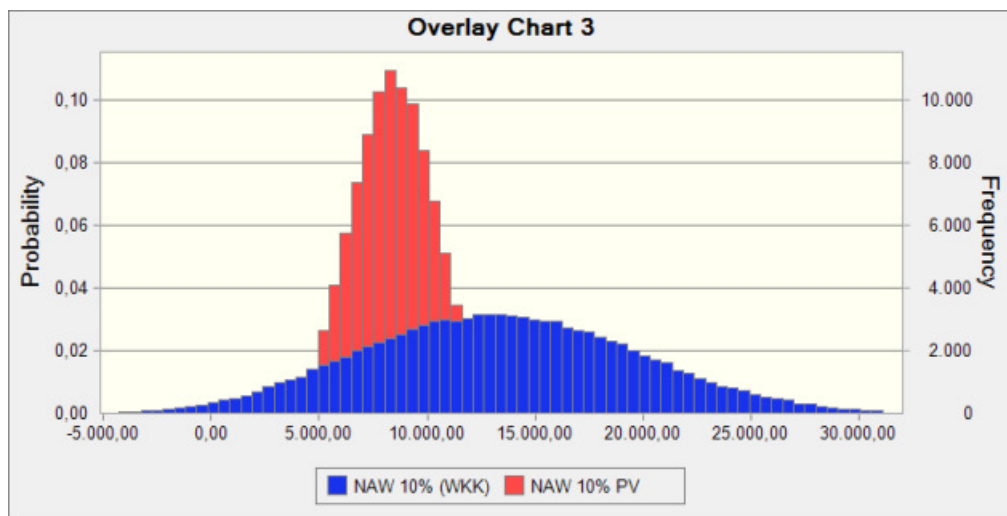
Door uit te gaan van hetzelfde initiële investeringsbedrag kan worden nagegaan in welke technologie een investeerder vanuit financieel standpunt bekeken best kan investeren indien er een bedrag van 57 000 EUR ter beschikking is.

Indien de terugverdientijd van beide projecten wordt bekeken, valt opnieuw op dat de terugverdientijd van WKK lager ligt dan deze van de zonnepanelen. De TVT van de zonnepanelen is groter geworden onder invloed van het verlies aan schaalvoordeel ten opzicht van bovenstaande investering. Bijgevolg ligt de aankoopprijs per kWp hoger. Ook wordt opnieuw waargenomen dat de spreiding breder is voor de WKK-installatie.



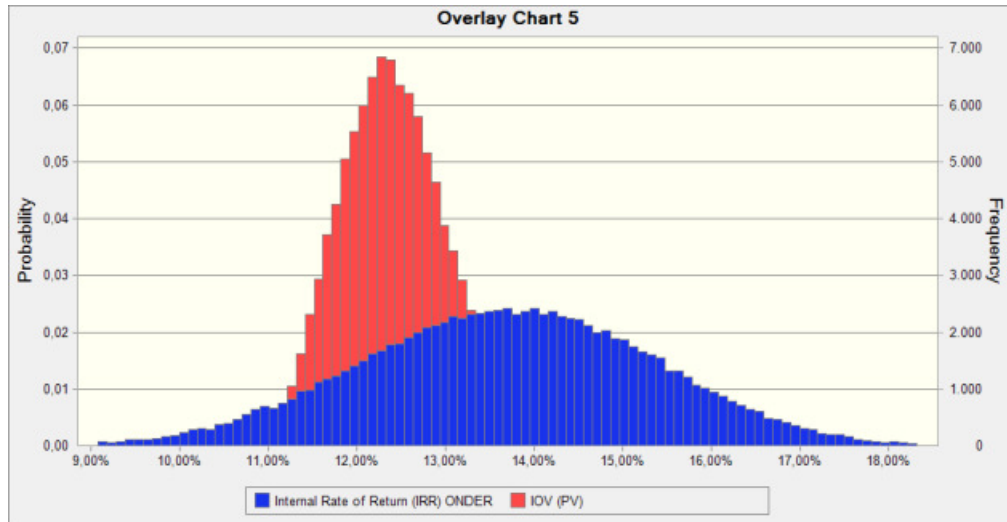
Figuur 24: vergelijking TVT van PV en WKK

De NAW bij een discontovoet van 7,33% ligt gemiddeld genomen hoger voor de investering in WKK. Opnieuw is de spreiding van het resultaat voor de zonnepanelen kleiner.



Figuur 25: vergelijking NAW tussen PV en WKK

De interne rendementsvoet duidt opnieuw op gelijkaardige resultaten. Onderstaande figuur geeft dit grafisch weer.



Figuur 26: vergelijking IRR tussen PV en WKK

Uit de resultaten blijkt dat beide investeringsprojecten tot vergelijkbare positieve resultaten leiden. De investering in zonnepanelen brengt vanwege zijn kleinere spreiding minder onzekerheid met zich mee. Dit kan voor een investeerder een doorslaggevende rol spelen. Er moet echter worden opgemerkt dat de gemiddelde NAW, TVT en IRR van de WKK-installatie gunstiger zijn. Ook zou een correcte dimensionering hoogstwaarschijnlijk nog betere resultaten opleveren voor het WKK-verhaal.

8 Gevalstudie 2

8.1 Inleiding

Algemeen

- Het gaat om een reeds geplaatste WKK-installatie
- Grote onderneming
- Gevestigd in Vlaanderen
- Volcontinu proces
- WKK voor voorverwarmen water
- Op de tactische investeringen na streeft deze onderneming bij elke investering naar een terugverdientijd kleiner dan 1 jaar
- Bij de investeringsanalyse wenst het bedrijf geen rekening te houden met de ecologiepremie

Procesbeschrijving

Ter ondersteuning van het productieproces wordt water opgewarmd tot stoom. Om het oppervlaktewater voor te verwarmen wordt een WKK-installatie ingezet. De gebruikte brandstof voor deze WKK-installatie is biogas. Dit biogas is een restproduct van het waterzuiveringsproces dat deze onderneming noodzakelijkerwijs uitvoert om het bedrijfswater te zuiveren na het productieproces.

Om dit restproduct van het productieproces om te vormen tot bruikbaar biogas zijn er chemicaliën nodig. Deze chemicaliën kosten 11,7 €/MWh biogas. Het bedrijf produceert op basis van een continu proces waardoor de WKK-installatie zo goed als altijd werkt. Dit komt neer op een gemiddelde van 7500 draaiuren per jaar.

De installatie wordt verondersteld in 2009 te zijn geplaatst. Hierdoor is de verhoogde investeringsaftrek gelijk aan 13,5%.

WKK

- thermisch vermogen: 742 kW
- elektrisch vermogen: 647 kW
- elektrisch rendement: 37%
- thermisch rendement: 43%
- aantal uren vollast: 7000 uren
- onderhoudskosten: 100 000 €/jaar (jaarcontract)

- biogas:
- verhouding onderste tot de bovenste verbrandingswaarde van dit biogas is gelijk aan 90%
- aankoopprijs elektriciteit: 0,065 €/kWh
- spanningsnet waarop de installatie is aangesloten: 10 kV
- 100% van de opgewekte elektriciteit wordt intern gebruikt

Alternatieve ketel

- rendement van 85% ten opzichte van de onderste verbrandingswaarde
- kostprijs aardgas: 0,025 €/kWh

Financiële en economische parameters

- gebruikte GGK door de onderneming 11%, invloed van extra lening op de GGK is verwaarloosbaar
- geleend bedrag bedraagt steeds 80% van de investering (interne bedrijfsregel)

8.2 Investeringsanalyse

8.2.1 Kansverdeling van de variabele parameters

Onderstaande tabel geeft een opsomming van de waarden van de parameters weer die tijdens het opstellen van de steekproef als variabel worden beschouwd. Om de invloeden van de verschillende gekozen variabele parameters vergelijkbaar te maken, wijken de extreme waarden opnieuw maximaal 10% af van de eerder gekozen waarden van het basisscenario. Alle variabele parameters worden verondersteld een driehoeksverdeling te volgen. Onderstaande tabel geeft de minimum-, gemiddelde- en maximumwaarde van de variabele parameters weer.

Tabel 28: variabele parameters gevalstudie 3

Variabele parameter	Minimum	Gemiddelde	maximum
<i>Aankoopprijs elektriciteit (€/kWh)</i>	<i>0.0585</i>	<i>0.065</i>	<i>0.0715</i>
<i>Kostprijs brandstof gescheiden productie (€/kWh)</i>	<i>0.0225</i>	<i>0.0250</i>	<i>0.0275</i>
<i>Het aantal draaiuren van de WKK (uren/jaar)</i>	<i>6750</i>	<i>7500</i>	<i>8250</i>
<i>Investeringsuitgave (€)</i>	<i>630 000</i>	<i>700 000</i>	<i>770 000</i>
<i>Onderhoudsuitgave (€/jaar)</i>	<i>90 000</i>	<i>100 000</i>	<i>110 000</i>
<i>Percentage van het investeringsbedrag dat geleend wordt (%)</i>	<i>72</i>	<i>80</i>	<i>88</i>
<i>Brandstofprijs biogas (€/kWh)</i>	<i>0.01053</i>	<i>0.0117</i>	<i>0.01287</i>
<i>Gemiddelde prijs WKC (€/WKC)</i>	<i>36</i>	<i>40</i>	<i>44</i>
<i>Gemiddelde prijs GSC (€/GSC)</i>	<i>95.625</i>	<i>106.25</i>	<i>116.875</i>
<i>Veronderstelde inflatiepercentage (%)</i>	<i>2.25</i>	<i>2.5</i>	<i>2.75</i>
<i>Veronderstelde elektriciteitsprijsstijging (%)</i>	<i>4,5</i>	<i>5</i>	<i>5,5</i>
<i>Veronderstelde prijsstijging biobrandstof</i>	<i>2,25</i>	<i>2,5</i>	<i>2,75</i>

De eerste 7 parameters, tot en met brandstofprijs WKK, zijn door de omstandigheden van de gevalstudie opgelegd. De volgende 4 parameters, tot en met de veronderstelde elektriciteitsprijsstijging zijn hetzelfde als gevalstudie 1. Ten slotte is de veronderstelde prijsstijging van de brandstof anders dan in gevalstudie 1. Hier is de prijs van de biobrandstof afhankelijk van de prijsevolutie van de gebruikte chemicaliën. In dit werk wordt de prijsstijging van deze chemicaliën verondersteld gemiddeld even groot te zijn als de inflatie. De gewogen gemiddelde kapitaalkost wordt niet als variabel beschouwd omdat de onderneming zo groot is dat het investeringsbedrag voor deze WKK geen verschil zal uitmaken op de uiteindelijke GGK.

8.2.2 Waarschijnlijkheid van de modeluitkomsten

De resultaten van de basis gevalstudie en enkele vermeldenswaardige resultaten van de steekproef van 100 000 scenario's zijn in onderstaande tabel samengevat. In bijlage 16 zijn de relatieve kasstromen van de investeringsanalyse terug te vinden.

Tabel 29: verwachten waarden economische evaluatie maatstaven gevalstudie 3

Evaluatie- maatstaf	Minimum 99% interval	25%	Basis gevalstudie	75%	Maximum 99% interval
<i>TVT (jaar)</i>	0,42	0,47	0,49	0,51	0,57
<i>VTVT (jaar)</i>	0,47	0,52	0,54	0,57	0,63
<i>NAW (€)</i>	7 340 749	8 068 768	8 375 552	8 678 181	9 474 395
<i>WI</i>	37,42	42,09	44,01	46,01	51,64
<i>IRR (%)</i>	174,74	195,18	203,74	212,54	237,30

Bovenstaande economische parameters geven op alle vlakken extreem interessante waarden weer. Zo is onder elk scenario de terugverdientijd, zelfs de verdisconteerde terugverdientijd kleiner dan 8 maanden. Dit ligt in lijn met de wens van de onderneming om een TVT van kleiner dan 1 jaar na te streven. De NAW is bijzonder hoog in vergelijking met het geïnvesteerde bedrag van rond de 700 000 EUR. De niet-verdisconteerde toekomstige kasstromen zijn dan ook minstens 37 keer zo groot als het geïnvesteerde bedrag zoals blijkt uit de WI. De IRR is daarenboven ruimschoots groter dan de vereist 11% van het GGK van deze onderneming. Wat de invloed is van de verschillende variabele parameters op de resultaten van de investeringsanalyse blijkt uit onderstaande sensitiviteitsanalyse.

8.2.3 Sensitiviteitsanalyse van de modeluitkomsten

In onderstaande tabel worden de resultaten van de sensitiviteitsanalyse samengevat. De volledige analyse is terug te vinden in bijlage 15.

Variabele parameter (in dalende volgorde van belangrijkheid)	Volgorde van bijdrage aan variantie	evaluatiemaatstaf	Waarde
Vollasturen per jaar	1 ^e	NAW	69%
	2 ^e	IRR, TVT, VTVT, WI	39-42%
Investeringsuitgave	1 ^e	IRR, TVT, VTVT, WI	39-42%
GSC	2 ^e	NAW	13,6%
	3 ^e	NAW, TVT, VTVT,	±10%
	4 ^e	WI	7%
Aankoopprijs elektriciteit	3 ^e	NAW, WI	±10%, ±8%
Andere parameters	≥4 ^e	<i>alle</i>	<5%

Het aantal vollasturen en de investeringsuitgave worden in het algemeen beschouwd als de parameters met de grootste invloed op het resultaat van de economische evaluatiemaatstaven. Opvallend is dat deze parameters voor alle evaluatiemaatstaven, met uitzondering van de NAW, een even grote correlatie hebben. Ze verschillen echter wel steeds van teken. Zo is het aantal vollasturen steeds positief gecorreleerd met de gunstige uitkomst van de evaluatiemaatstaven terwijl de investeringsuitgave negatief gecorreleerd zijn met deze uitkomsten. De grote jaarlijkse positieve kasstromen maken dat schommelingen van het investeringsbedrag niet van belang zijn voor de NAW. Nieuw ten opzichte van vorige gevalstudie zijn de groenestroomcertificaten (GSC) die verkregen worden dankzij het gebruik van de biobrandstof. De gemiddelde waarde van de GSC bepaalt ieder jaar voor een groot stuk mee hoe groot de jaarlijkse positieve kasstroom is. De waarden van de GSC zijn elke periode gemiddeld meer dan 2,5 keer groter dan de inkomsten van de WKC. Tevens vormen de GSC de grootste relatieve kasstroom van de investeringsanalyse zoals na te lezen is in bijlage 16. De aankoopprijs van elektriciteit is hier pas de 4^{de} belangrijkste parameter terwijl in gevalstudie 1 dit de belangrijkste parameter is. Een reden hiervoor kan de relatief lage aankoopprijs van elektriciteit zijn. Een maximale stijging van 10% van de erg lage prijs heeft klaarblijkelijk een relatief kleine invloed op het uiteindelijke resultaat.

Voor de investeerder in deze gevalstudie is het bijgevolg van belang de installatie zo lang mogelijk te laten draaien aangezien het aantal vollasturen steeds positief gecorreleerd is met de gunstige waarden van de economische evaluatiemaatstaven. De investeringsuitgave mag dan wel een grote invloed hebben op de variantie van de evaluatiemaatstaven, gezien de snelle terugverdientijd moet hier minder aandacht aan besteed worden. Verder vormen de GSC de belangrijkste bron van inkomsten en bepalen ze mee de aantrekkelijkheid van dit investeringsproject. Een hogere aankoopprijs van elektriciteit mag dan positief gecorreleerd zijn met de investeringsanalyse van deze installatie, toch zal dit te allen tijden worden vermeden daar dit de kostprijs van andere processen van deze onderneming verhoogt.

9 Conclusies

Warmtekrachtkoppeling (WKK) is een technologie die door middel van eenzelfde proces twee energievormen opwekt. In een eenvoudige opstelling wordt zowel mechanische als thermische energie geproduceerd. De mechanische energie kan, indien gewenst, omgezet worden in elektrische energie op basis van een generator. Dit gebeurt in nagenoeg alle WKK installaties. In plaats van de warmte vervolgens onbenut via de uitlaatgassen te laten verdwijnen, kan de resterende warmte benut worden voor verwarmingstoepassingen. Op basis van dit principe is het zowel mogelijk de volgorde van de energieconversieprocessen als het aantal toepassingen van de WKK-installatie uit te breiden.

Het benutten van de warmte die anders verloren gaat is de kracht van de WKK-technologie. Het is door het benutten van deze warmte dat het rendement van het toestel hoger ligt dan de productie van dezelfde hoeveelheid energie op basis van gescheiden productieprocessen. Dit wordt uitvoerig besproken in hoofdstuk 3, sectie 3.4.1. Er ontstaat dankzij het gebruik van WKK een besparing aan primaire energie. Onafhankelijk van de gekozen niet-hernieuwbare of hernieuwbare brandstof, is het steeds voordeliger om een brandstof zo efficiënt mogelijk te benutten. Op die manier is er namelijk minder brandstof nodig om aan de energiebehoeften te voldoen, moet er minder voor worden betaald en komen er minder schadelijke stoffen vrij. Het is echter belangrijk op te merken dat deze technologie in meer dan 97% van de gevallen in Vlaanderen nog steeds gebruik maakt van fossiele brandstoffen. De gebruikte brandstoffen worden voor Vlaanderen in sectie 3.2 besproken. Bijgevolg draagt het gebruik van WKK niet meteen veel bij tot een CO₂-neutrale manier van energieopwekking. In één van de besproken gevalstudies wordt echter wel gebruik gemaakt van een hernieuwbare brandstof en worden de voordelen hiervan in kaart gebracht.

9.1 Resultaten investeringsanalyse

9.1.1 Resultaten gevalstudie 1

Uit gevalstudie 1 blijkt dat het zeer belangrijk is de WKK-installatie juist te dimensioneren. Het belang van een juiste implementatie van een WKK-installatie wordt ook afgeleid uit de literatuurstudie en is na te lezen in hoofdstuk 4. Voor gevalstudie 1 wordt een investeringsanalyse en sensitiviteitsanalyse gemaakt op basis van de integratie van 3 verschillende implementaties. De eerste berekening, terug te vinden in sectie 7.1 tot en met 7.4 is een installatie die een kleiner thermisch vermogen heeft dan de theoretische streefwaarde. Vaak wordt deze implementatie aangeduid als de 'ondergedimensioneerde installatie'. Bij de tweede berekening, uiteengezet in sectie 7.5, wordt een installatie geplaatst die groter gedimensioneerd is dan de ideale theoretische

thermische streefwaarde en dus overgedimensioneerd is. Deze twee implementaties worden met elkaar vergeleken om vervolgens de beste installatie te integreren in een investeringsanalyse waarbij ook nagegaan wordt wat het effect is op de resultaten van een extra investering in zonnepanelen.

De financiële resultaten van gevalstudie 1 van de te groot gedimensioneerde installatie zijn niet interessant voor een investeerder daar waar de resultaten van de ondergedimensioneerde installatie wel voordelig zijn. Verwacht wordt dat een betere dimensionering nog gunstigere resultaten zou opleveren. Indien er een keuze dient gemaakt te worden uit de twee onderzochte implementaties zal een investeerder steeds kiezen voor het alternatief met de beste resultaten. Dit betekent voor de eerste gevalstudie dat gekozen wordt voor de ecoGEN-25 AH, een WKK-installatie met een thermisch en elektrisch vermogen van respectievelijk 32 kW en 17,7 kW. De rest van de relevante technische specificaties zijn terug te vinden in hoofdstuk 7. Deze installatie geeft binnen het interval van 99% voor de steekproef van 100 000 scenario's een gunstig resultaat voor alle evaluatiemaatstaven. Zo kan de investeerder verwachten dat de terugverdientijd (TVT) tussen de 5,27 en de 8,78 jaar ligt. In 50% van de gevallen ligt deze TVT tussen de 5,85 en de 7,09 jaar. De netto actuale waarde (NAW) voor deze investering is steeds positief en ligt voor 50% van de steekproef tussen 14 403 EUR en 25 419 EUR. Deze positieve cijfers kennen ook hun weerklank in de winstgevendheidsindex (WI). De WI ligt voor de helft van de steekproef tussen 2,17 en de 2,60 terwijl ze in het aller slechtste geval binnen een 99% zekerheidsinterval 1,64 bedraagt. Ten slotte is de interne rendementsvoet (IRR) binnen de gestelde assumpties steeds groter dan de GGK.

De resultaten rondom de base case, en daarmee de meest waarschijnlijke scenario's, tonen aan dat de investering voor alle onderzochte evaluatiemaatstaven een gunstig resultaat bekommt. De resultaten worden samengevat in tabel 20 van sectie 7.4.2. De volledige resultaten zijn terug te vinden in bijlage 11.

Uit de resultaten van de te groot gedimensioneerde installatie kan worden geconcludeerd dat het fout dimensioneren schadelijke financiële gevolgen heeft. In meer dan 60% van de gevallen is voor deze implementatie de NAW negatief en de IRR kleiner dan de GGK. Verder zijn alle resultaten van deze WKK-installatie minder voordelig dan deze van de ondergedimensioneerde WKK. De oorzaak van deze minder goede resultaten moeten gezocht worden bij de te grote dimensie van de installatie evenals de assumptie dat er enkel in vollast mag worden gedraaid. Dit maakt dat de installatie in deze case slechts 4,5 maanden actief kan zijn en bijgevolg niet geschikt is voor deze gevalstudie.

De installatie op zich kan wel erg rendabel zijn. Indien de assumptie gesteld wordt dat de installatie evenveel vollasturen zou kunnen draaien als de ondergedimensioneerde installatie dan wordt een TVT van 4,33 jaar bekomen terwijl de TVT 5,58 jaar bedraagt. Hierbij wordt verondersteld dat de geproduceerde warmte nuttig kan worden gebruikt. Ook alle andere evaluatiemaatstaven zijn bij deze veronderstelling nog beter dan die van de ondergedimensioneerde installatie. Zo is de NAW gelijk aan 58 687 EUR, de IRR groter dan 20% en de WI gelijk aan 3,48. De betere resultaten als

gevolg van het verhogen van het aantal draaiuren werd reeds afgeleid uit de sensitiviteitsanalyse. Daar werd namelijk vastgesteld dat het aantal vollasturen een positieve correlatie heeft met de gunstige evolutie van de economische evaluatiemaatstaven. Meer details over de resultaten van de te grote installatie zijn terug te vinden in bijlage 12. In bijlage 17 zijn de kasstromen terug te vinden die het groter aantal draaiuren weergeven. Wanneer deze grotere installatie geïntegreerd wordt in een omgeving met een grotere warmtevraag, kan deze zeer voordelig zijn.

Bij de integratie van de investeringsanalyse van WKK en zonnepanelen wordt gebruik gemaakt van de te klein gedimensioneerde installatie daar deze de voorkeur geniet. Om de resultaten met betrekking tot de zonnepanelen te bekomen werd gebruik gemaakt van het model van Maarten Kupers. Meer info over de berekening van de resultaten van de zonnepanelen zijn terug te vinden in zijn masterproef "De haalbaarheid van investeringen in fotovoltaïsche systemen bij bedrijven, opstellen van een analysemodel".

Eerst wordt het WKK-verhaal aangevuld met een investering in zonnepanelen die zo goed mogelijk aan de resterende elektriciteitsvraag voldoet. Aangezien de resterende vraag naar elektriciteit nog zeer groot is, vormt het dakoppervlakte de limiterende factor. Voor deze gevalstudie is er plaats voor een investering van meer dan 1 miljoen euro aan zonnepanelen. Een erg groot bedrag in vergelijking met de WKK installatie. Het gevolg is dan ook dat de resultaten sterk gedomineerd worden door deze van de zonnepanelen. Het geheel van de investering kan voor 38,6% aan de jaarlijkse elektriciteitsvraag en voor 50% aan de jaarlijkse warmtebehoefte voldoen. De terugverdientijd van het gezamenlijke investeringsproject ligt met 99% zekerheid voor de gemaakte steekproef tussen de 5,83 en de 6,79 jaar. Ook de NAW is positief en gezien de omvang van de initiële investeringsuitgave redelijk groot. In 60% van de steekproef lag de NAW tussen de 536 147 EUR en de 728 801 EUR.

De resultaten van beide investeringen zijn vergelijkbaar indien het investeringsbedrag in de zonnepanelen gelijk wordt gesteld aan de meerkost van de WKK-installatie. Zo blijkt namelijk dat beide investeringsprojecten tot positieve resultaten leiden. Telkens liggen de resultaten van de zonnepanelen binnen het bereik van de resultaten van de WKK-installatie. Deze laatstgenoemde heeft een breder bereik van resultaten en vormt daarmee ook een groter risico voor de investeerder. Dit risico is echter beperkt daar de waarden bij de pessimistischere scenario's die beschouwd worden nog steeds redelijk goed zijn. Ook zijn de gemiddelden van de NAW, TVT en IRR steeds gunstiger bij de implementatie van de WKK-installatie. Daarenboven zou een correcte dimensionering hoogstwaarschijnlijk nog betere resultaten opleveren voor het WKK-verhaal. Door een investeerder die moet kiezen tussen de twee alternatieven moet bijgevolg worden afgewogen aan welke factoren het meest belang wordt gehecht.

9.1.2 Resultaten gevalstudie 2

Bij de tweede gevalstudie wordt nagegaan wat de financiële resultaten zijn van een WKK-installatie die op biogas werkt. Zoals uiteengezet wordt in hoofdstuk 8 is deze WKK-installatie een zeer goede investering en duiden alle economische evaluatiemaatstaven zelfs bij de minst goede scenario's op een zeer succesvolle besteding. Zo is de TVT en de VTVT steeds kleiner is dan 8 maanden. De WI geeft aan dat de niet verdisconteerde toekomstige kasstromen in meer dan 75% van de gevallen 43 keer groter zijn dan het geïnvesteerde bedrag. En met een IRR die steeds groter is dan 174% is dit een zeer goede investering. De volledige samenvatting van de resultaten is terug te vinden in tabel 27. De volledige output kan worden geraadpleegd in bijlage 15.

Deze goede resultaten zijn onder andere te wijten aan de gebruikte brandstof. Aangezien het biogas een licht aangepast restproduct is van het productieproces ligt de kostprijs per eenheid brandstof erg laag. Daarenboven worden er voor deze brandstof groenestroomcertificaten (GSC) ontvangen. Aangezien de totale hoeveelheid geproduceerde elektrische energie erg hoog ligt en er per MWh 1 GSC ter waarde van gemiddeld 106,25 EUR wordt ontvangen, maken deze inkomsten de helft van de totale relatieve kasstromen uit. Ook gaat het om een redelijk grote installatie in vergelijking met de eerste gevalstudie. Zoals blijkt uit de literatuurstudie daalt de kostprijs van de investeringskost evenals de onderhoudskost per eenheid van vermogen. Dit wordt grafisch weergegeven in figuren 15 en 16 van hoofdstuk 5. Met betrekking tot alle gevalstudies wordt in onderstaande tabel de investeringskost per kWh elektrisch geïnstalleerd vermogen en per kWh totaal vermogen uiteengezet. Dit stemt overeen met de prijsdaling die teruggevonden wordt in de literatuur. Ook de onderhoudskosten per kWh geproduceerde elektrische energie worden in onderstaande tabel weergegeven. Deze kosten stijgen lichtjes voor de grotere installatie van gevalstudie 1. Dit komt echter door het integreren van de grote onderhoudsbeurt in de variabele onderhoudskost en het erg lage aantal draaiuren van de installatie voor gevalstudie 1. Ten slotte kan er geconcludeerd worden dat de onderhoudskosten evenals de investeringskosten per eenheid voor de grootste installatie duidelijk lager liggen.

Tabel 30: investeringsuitgave en onderhoudskosten per eenheid geïnvesteerd vermogen van de verschillende gevalstudies

	Gevalstudie 1 onder	Gevalstudie 1 over	Gevalstudie 2
Investeringsuitgave(€)/kWhe	4293,79	2833,33	1081,92
Investeringsuitgave(€)/kWh	1529,18	876,29	503,96
Onderhoudskosten/kWhe	0,52	0,65	0,02

Naast het gebruik van biobrandstof en het duidelijke schaalvoordeel met de bijhorend lagere kosten per eenheid geïnstalleerd vermogen kunnen de goede resultaten van deze WKK-installatie worden toegewezen aan het groot aantal vollasturen dat de installatie kan draaien. Daar de

installatie geïntegreerd is in een volcontinu productieproces wordt het gemiddeld aantal vollasturen per jaar op 7500 geschat. Uit de sensitiviteitsanalyse blijkt dat deze parameter de grootste positieve correlatie heeft met de gunstige uitkomsten van alle economische parameters voor deze gevalstudie.

9.1.3 Resultaat implementatie WKK in het algemeen

De technologie is, indien de juiste dimensie geïmplementeerd wordt, erg succesvol. Ook blijkt duidelijk dat hoe groter de installatie is hoe gunstiger de evaluatiemaatstaven zijn bij eenzelfde aantal vollasturen. De nadelen van het gebruik van WKK worden besproken in sectie 3.5. Geen van deze nadelen zijn echter rechtstreeks een nadeel voor de investeerder in een WKK-installatie. Daarenboven zijn de voordelen erg afgetekend. Naast het deels ontzien van vervuilende emissies die de investeerder mogelijk een positief imago kunnen opleveren, duiden de 2 gevalstudies op positieve financiële resultaten.

Wat houdt mogelijke investeerder dan toch tegen gebruik te maken van WKK? In de eerste gevalstudie kwam aan bod dat de terugverdientijd relatief lang kan zijn. Met relatief wordt hier bedoeld in verhouding met andere investeringen. Zo blijkt uit gesprekken met ervaringsdeskundigen (Jozef Peuters, milieudeskundige Sadepan Chimica nv, 24 november 2009; Johnny Vaesen, milieudeskundige Lear Corporation Belgium cva, 18 september 2009) dat het huidige economische klimaat bedrijven in een zwakke kaspositie heeft gebracht. Bijgevolg zijn kortere terugverdientijden voor projecten nog noodzakelijker dan anders. Uit de gesprekken met bovenvermelde personen blijken terugverdientijden van onder de 3 jaar wenselijk te zijn. Zoals ook aangegeven wordt in gevalstudie 2 is onder extreme omstandigheden een TVT van minder dan 1 jaar wenselijk. In het kader van een dergelijke korte terugverdientijd zijn de resultaten van de tweede gevalstudie uit hoofdstuk 8 een schoolvoorbeeld.

De bekomen terugverdientijden voor de eerste gevalstudie kunnen als redelijk lang worden bestempeld daar deze in 50% van de gevallen onder de beste optie, zijnde de onderdimensionering, tussen de 6 en 7 jaar ligt. In het geval de terugverdientijd verdisconteerd bekeken wordt, ligt deze terugverdientijd zelfs hoger en kan men met 50% zekerheid rekenen op een terugverdientijd van tussen de 9 en 11,3 jaar. Ook wordt afgeleid uit contact met het bedrijf van gevalstudie 2 dat managers, die verantwoordelijk zijn voor de uiteindelijke investeringsbeslissing, vaak beloofd en geëvalueerd worden op basis van korte termijn resultaten. Hierdoor krijgen investeringsprojecten met een relatief langere termijn, zoals WKK-installaties, vaak minder aandacht.

Aangezien verondersteld wordt dat een WKK-installatie een verwarmingsinstallatie vervangt met een gelijkaardige levensduur is de beslissing die genomen wordt bepalend voor de volgende 20

jaar. Doordat er in ieder geval een investering gemaakt moet worden om aan de warmtebehoefte te voldoen is het logisch te kiezen voor die investering die het meeste opbrengt tijdens de volledige levensduur. Op die manier krijgt de WKK-installatie ontegensprekelijk de voorkeur!

9.2 Beslissing WKK te installeren

Op economisch vlak staat er volgens dit werk geen enkele investeerder iets in de weg om te investeren in WKK. Toch ontstond tijdens mijn persoonlijke gesprekken met verschillende milieu- en energiedeskundigen⁵ van bedrijven die ik gecontacteerd heb de indruk dat de markt verre van verzadigd is. Hiervoor kunnen verschillende mogelijke verklaringen bedacht worden.

9.2.1 Externe financiering

De meerkost van een WKK-installatie brengt op het eerste zicht een nadeel met zich mee met betrekking tot de toegang en de kost van externe financieringsmiddelen. Door een extra lening aan te gaan, om de meerkost te kunnen betalen, kan men toekomstige leningen tegen dezelfde (goede) voorwaarden in gevaar brengen. Een onderneming die meer leningen afsluit, biedt proportioneel minder eigen vermogen als garantie voor de afbetaling. Daarenboven verhoogt de onderneming zo de kosten vermits er interestaflossingen moeten worden betaald. In hoofdstuk 6 werd echter gesteld dat de voorwaarden van een extra lening niet toegeschreven mogen worden aan het laatste project daar die extra lening deel uitmaakt van de totale pool van financieringsmiddelen waarover een onderneming beschikt. Bijgevolg is de gewogen gemiddelde kapitaalkost van tel voor de evaluatie van een investering. Daarom mag een mogelijke relatieve verslechtering van de voorwaarden die bij de bank worden verkregen voor een toekomstige investering geen excuus zijn om nu geen investering te doen in bijvoorbeeld een WKK-installatie. Bovendien kan uit de sensitiviteitsanalyse worden afgeleid dat de gewogen gemiddelde kapitaalkost slechts in zeer beperkte mate invloed heeft op het resultaat van de economische evaluatiemaatstaven die gebruikt worden voor de interpretatie van de gevalstudies. Een verbetering of verslechtering van de economische voorwaarden van financieringsmiddelen heeft vaak slechts een beperkte invloed op de GGK, en bijgevolg een verwaarloosbaar effect op de economische evaluatiemaatstaven. Tevens geeft de sensitiviteitsanalyse aan dat de grootte van de lening geen invloed heeft op diezelfde economische evaluatiemaatstaven. Samengevat hebben de

⁵ De lijst met de verschillende ervaringsdeskundigen, het bedrijf evenals de datum van het gesprek is terug te vinden in bijlage 18.

voorwaarden van de externe financiering een verwaarloosbare invloed op toekomstige en huidige investeringsprojecten. Natuurlijk mag het nooit de bedoeling zijn nu een lening aan te gaan die het onmogelijk zou maken om een extra lening aan te gaan voor een noodzakelijk project in de toekomst.

9.2.2 Algemene bekendheid

Telkens als ik het onderwerp van deze masterproef moest uitleggen, wist nagenoeg niemand wat WKK nu juist is. Enkel ingenieurs bleken al in aanraking te zijn gekomen met deze technologie en dan meestal die ingenieurs die ooit als afstudeerrichting elektromechanica hebben gevolgd. Daar waar grote ondernemingen vaak over specialisten beschikken, is het voor kleinere ondernemingen niet meteen evident om over de nodige kennis te beschikken. Daardoor ontstaat er een drempel die het voor KMO's minder gemakkelijk maakt de stap te zetten naar een investering in WKK. Door duidelijk in kaart te brengen wat andere drempels tot investeren zijn voor KMO's zou bijgevolg mee kunnen helpen deze technologie te promoten.

Doordat binnenkort micro WKK's geïntroduceerd zullen worden op de consumentenmarkt kan verwacht worden dat WKK een breder maatschappelijk draagvlak zal verkrijgen. Dit kan mogelijk leiden tot een boost van deze technologie bij KMO's.

9.2.3 Regelgeving

Ondanks dat er weinig regelgeving bestaat over WKK zorgt ze toch voor verwarring. Het gebruik van verschillende referentierementen voor de berekeningen zorgt al snel voor verwarring. Ook dit draagt allesbehalve bij tot het verlagen van de drempel om in een WKK-verhaal te stappen.

9.3 Modelverbetering

Om te komen tot de resultaten van de gevalstudie is een uitgebreid model opgesteld. Dit model maakt gebruik van alle parameters die in hoofdstuk 7 worden toegelicht. Ondanks dat er vele parameters worden geïntegreerd, moet worden opgemerkt dat het model nog verbeterd zou kunnen worden. Zo zou de dimensionering verfijnder kunnen verlopen door bijvoorbeeld te werken met uur of weekgegevens. Om dit te kunnen verwezenlijken is er echter ook nood aan meer gedetailleerde inputgegevens. Zoals vermeld in hoofdstuk 4 is dit niet altijd evident. Doordat het

model werkt met relatieve kasstromen en het alternatieve scenario steeds wordt betrokken bij de berekeningen, beïnvloedt de kwaliteit van de inkomsten en uitgaven van dit scenario mee het eindresultaat. Er wordt bij de berekening van de gevalstudies in dit werk uitgegaan van een vaste ratio die het verschil aanduidt tussen de uitgaven van een WKK en deze van de alternatieve installatie. Ondanks dat deze ratio gebaseerd is op informatie van een ervaringsexpert zoals aangegeven in hoofdstuk 6, zou het gebruik van exacte gegevens een veel betrouwbaarder beeld opleveren. Ook de evolutie van deze prijzen heeft een duidelijke invloed op de modeluitkomsten. Daarom is het van belang een juiste inschatting te maken van deze percentages. Bij de berekeningen in dit werk werden historische prijsevoluties gebruikt. Er zijn echter een aantal factoren die het toekomstige prijsverloop zouden kunnen beïnvloeden. Zo is er onder andere de politieke afkeer voor kernenergie en de groeiende vraag naar energie in groeilanden.

Verder is het ook jammer dat voor de eerste gevalstudie geen WKK-installatie gevonden werd die nauwer aansloot bij het streefvermogen. Hierdoor zijn de resultaten daar niet volledig representatief voor de opportuniteit die er voor die onderneming is. Ten slotte wordt in dit werk een afweging gemaakt tussen enerzijds WKK of gescheiden opwekking en anderzijds een vergelijkbare investering in zonnepanelen. Ook voor andere duurzame technologieën kan het interessant zijn na te gaan of deze investering vergelijkbare financiële resultaten zal behalen. Zo zou het plaatsen van een windmolen een ander alternatief kunnen zijn.

9.4 Slotwoord

Het oorspronkelijke idee van deze masterproef bestond er uit nog meer te interageren met bedrijven. Dit bleek echter niet evident daar tijdgebrek veel bedrijven parten speelde. Zelfs een goede gevalstudie verkrijgen was niet evident. Uiteindelijk hoop ik dat de resultaten van deze masterproef van enig nut kunnen zijn voor die bedrijven die mij ondersteunden of met wie ik goede contacten heb gehad.

Bijlage

Bijlage 1: overzicht van de reserves en voorraden fossiele brandstoffen en splijtstoffen

Onderstaande tabel duidt op de eindigheid van de reserves in kolom 4 "beschikbare reserves".

Tabel 2: Overzicht van de reserves en voorraden fossiele brandstoffen en splijtstoffen (Wereld, 2005)

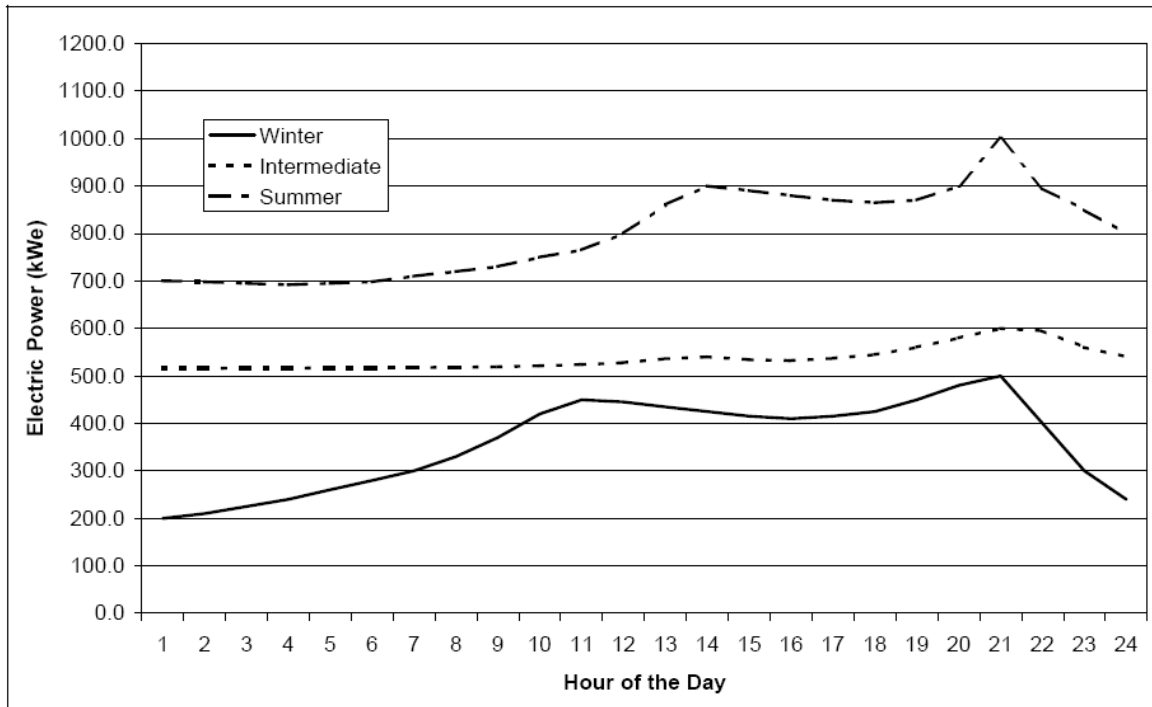
	reserves ¹ 2005 (EJ)	voorraden ² 2005 (EJ)	winning ³ 2005 (EJ)	beschikbaarheid reserves ⁴ (jaar)	beschikbaarheid voorraden ⁴ (jaar)
conventionele olie	6 755	3 430	163	41	21
niet-conventionele olie ⁵	2 761	10 460			
aardgas	5 676	6 555	90	63	73
niet-conventioneel aardgas ⁶	63	48 633			
harde steenkool	18 347	104 573	123	150	853
zachte bruinkool	2 062	10 184	9	224	1 107
uranium	799	5 304	17	47	314
thorium	908	964	402	2	2
<i>totaaal</i>	<i>37 371</i>	<i>190 103</i>	<i>804</i>		

¹ Reserves zijn hoeveelheden niet-hernieuwbare energiebronnen die op dit ogenblik technologisch en economisch winbaar zijn.
² Voorraden zijn hoeveelheden niet-hernieuwbare energiebronnen waarvan geologen het bestaan weliswaar al hebben aangetoond, maar die nog niet technologisch en economisch winbaar zijn.
³ Winning is de hoeveelheid die gewonnen werd in 2005.
⁴ Beschikbaarheid: periode gedurende dewelke de reserves/voorraden nog beschikbaar zijn aan de huidige productiehoeveelheden.
⁵ Niet-conventionele aardolie: aardolie die men niet kan winnen uit ondergrondse reservoirs door gebruik te maken van putten en/of aardolie die een aanvullende behandeling vereist om er 'kunstmatige ruwe aardolie' van te maken (bv. olieschalie, teerzanden, zeer ruwe aardolie).
⁶ Niet-conventioneel aardgas: aardgas afkomstig van reservoirs die niet via normale technieken kunnen geëxploiteerd worden (bv. waterijs waarin aardgas zit gevangen).

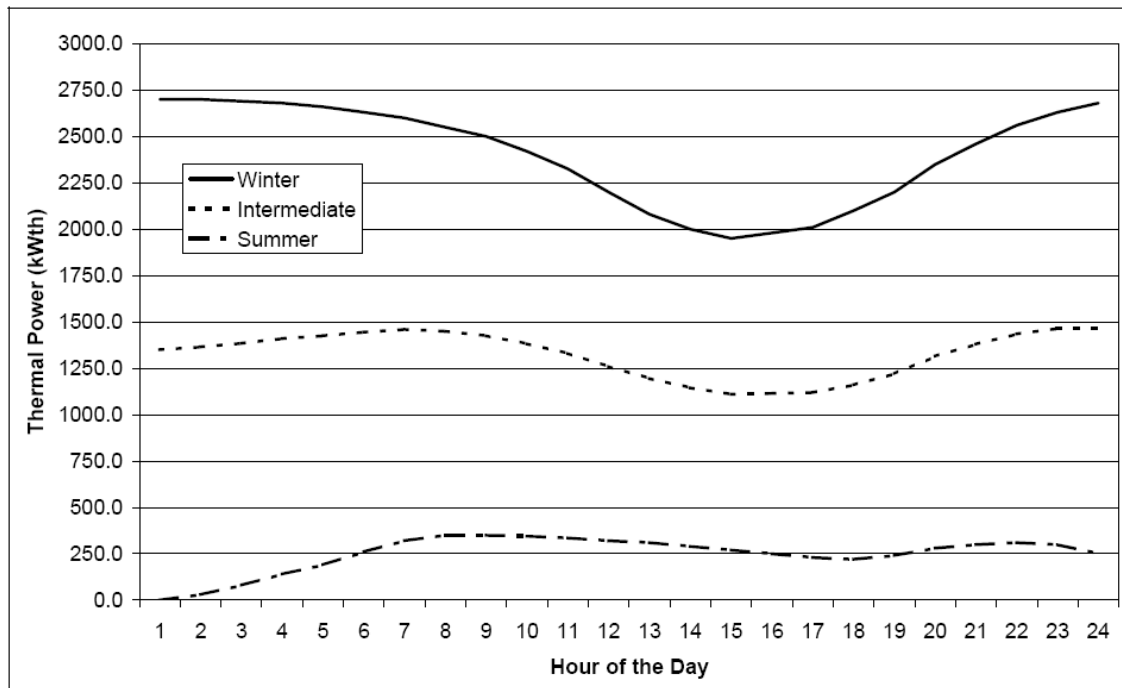
Bron: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2007)

Bron: Milieuraaport Vlaanderen- achtergronddocument Sector Energie (2007)

Bijlage 2: belastingsprofielen opgesplitst in verschillende seizoenen



Figuur 27: elektrisch vermogensprofiel volgens drie seizoenen. (Cogen Vlaanderen, 2006)



Figuur 28: thermisch vermogensprofiel per uur van de dag volgens drie verschillende seizoenen. (Cogen Vlaanderen, 2006)

Bijlage 3: tabellen voor berekening referentierendementen

Tabel 31: : referentierendement per brandstoftype (Vlaamse overheid b., 2006)

	Brandstoftype:	2006-2011
Vast	Steenkool/cokes	44,20%
	Bruinkool/Bruinkoolbriketten	41,80%
	Turf/Turfbriketten	39,00%
	Houtbrandstoffen en Houtafval	33,00%
	Landbouwbiomassa	25,00%
	Bio-afbreekbaar (stadsafval)	25,00%
	Niet-hernieuwbaar (stads- en industrie-afval)	25,00%
	Steenolie	39,00%
Vloeibaar	Olie (gasolie + stookolie), LPG	44,20%
	Biobrandstoffen	44,20%
	Bio-afbreekbaar afval	25,00%
	Niet-hernieuwbaar afval	25,00%
Gasvormig	Aardgas	52,50%
	Raffinaderijgas/Waterstof	44,20%
	Biogas	42,00%
	Cokesovengas, hoogovengas, andere afvalgassen, recuperatiewarmte	35,00%

Tabel 32: correctiefactoren voor vermeden netverliezen (Vlaamse regering b., 2006)

Spanning:	Voor elektriciteit geleverd aan het net	Voor elektriciteit ter plaatse verbruikt
> 200 kV	1	0,985
100-200 kV	0,985	0,965
50-100 kV	0,965	0,945
0.4-50 kV	0,945	0,925
< 0.4 kV	0,925	0,86

Bijlage 4: tabellen voor berekening referentierendementen

Tabel 33: thermische basisreferentierendement voor de berekening van RPE

	Brandstoftype	stoom	warm water	direct firing/lucht <250°C	direct firing/lucht>250°C	Niet vermelde media	koelen (automatisch)
Vast	Steenkool/cokes	83%	88%	93%	80%	85%	246%
	Bruinkool/Bruinkoolbriketten	81%	86%	93%	78%	85%	246%
	Turf/Turfbriketten	81%	86%	93%	78%	85%	246%
	Houtbrandstoffen en Houtafval	81%	86%	93%	78%	85%	246%
	Landbouwbiomassa	75%	80%	93%	72%	85%	246%
	Bio-afbreekbaar (stadsafval)	75%	80%	93%	72%	85%	246%
	Niet-hernieuwbaar (stads- en industrieafval)	75%	80%	93%	72%	85%	246%
Vloeibaar	Steenolie	81%	86%	93%	78%	85%	246%
	Olie (gasolie + stookolie), LPG	84%	89%	93%	81%	85%	246%
	Biobrandstoffen	84%	89%	93%	81%	85%	246%
	Bio-afbreekbaar afval	75%	80%	93%	72%	85%	246%
Gasvormig	Niet-hernieuwbaar afval	75%	80%	93%	72%	85%	246%
	Aardgas	85%	90%	93%	82%	85%	246%
	Raffinaderijgas/Waterstof	84%	89%	93%	81%	85%	246%
	Biogas	65%	70%	93%	62%	85%	246%
	Cokesovengas, hoogovengas, andere afvalgasen, recuperatiewarmte	75%	80%	93%	72%	85%	246%

Tabel 34: opties om na te gaan of de installatie kwalitatief is

	< 1000 kW	> 1000 kW
RPE > 10	ja	ja
RPE > 0, < 10	ja	nee
RPE < 0	nee	nee

Bijlage 5: wetgeving en interpretatie van 'ingrijpende wijziging'

Ingrijpende wijziging

Zoals hoger beschreven staat, wordt voor de berekening van Factor X gebruik gemaakt van T, het aantal maanden dat de installatie actief is sinds zijn datum van indienstneming. Hoe kleiner deze T is, hoe groter de factor X en bijgevolg hoe meer WKC men kan ontvangen. In het besluit van 7 juli 2006 wordt deze datum van indienstneming als volgt beschreven:

"Art 1, §2, 6°: definitie voor datum van indienstneming:

datum waarop een warmtekrachtinstallatie voor het eerst in dienst werd genomen of datum waarop een warmtekrachtinstallatie ingrijpend gewijzigd werd" (Vlaamse regering a., 2006)

Hier wordt aandacht besteed aan de datum waarop een installatie ingrijpend werd gewijzigd. Om als ingrijpende wijziging te worden beschouwd moet volgens ditzelfde besluit aan volgende voorwaarden worden voldaan:

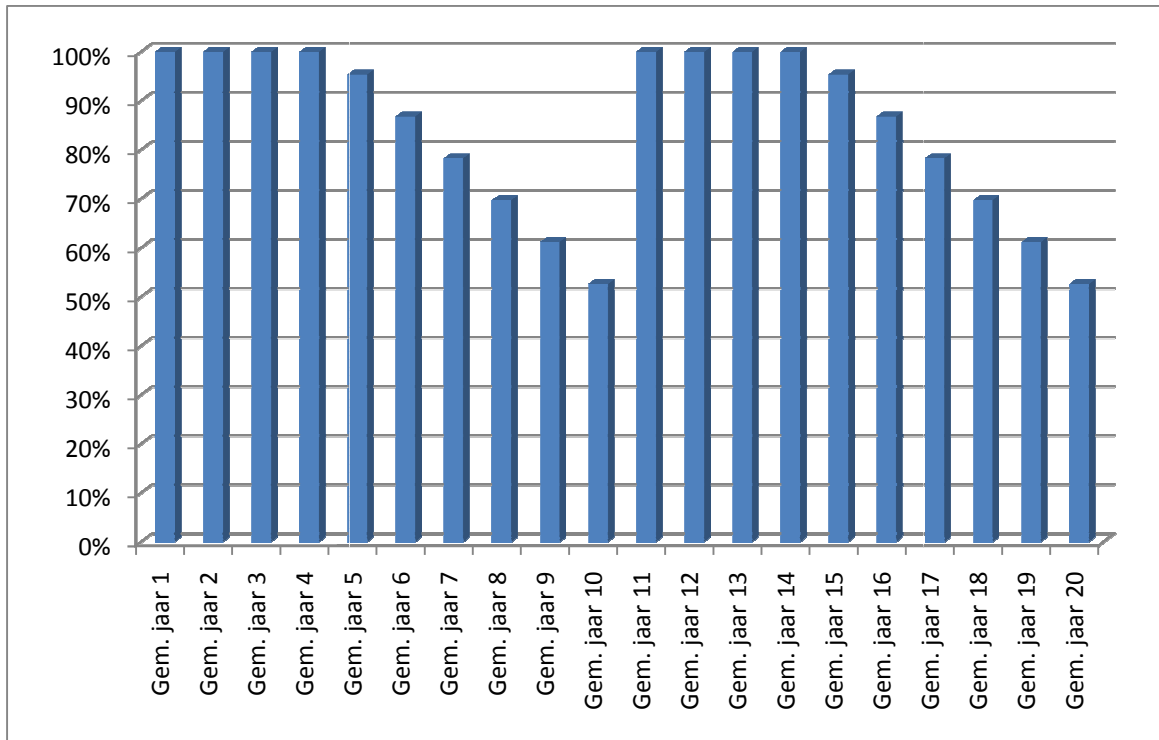
"Art 1, §2, 7°: definitie voor ingrijpende wijziging:

wijziging waarbij minstens voldaan is aan een van de volgende voorwaarden:

- a) de relatieve primaire energiebesparing, uitgedrukt in procenteenheden, stijgt met minstens 5 procenteenheden, waarbij de relatieve primaire energiebesparing wordt berekend op basis van de referentierendementen die voor de bestaande warmtekrachtinstallatie werden vastgelegd;
- b) de warmtekrachtinstallatie vervangt een warmtekrachtinstallatie die ouder is dan tien jaar voor motoren en twintig jaar voor turbines. Daarbij moet minstens de motor of de turbine vervangen worden door een nog niet gebruikte motor of turbine;
- c) het elektrisch of mechanisch vermogen neemt toe met minstens 25 %, terwijl de relatieve primaire energiebesparing eveneens toeneemt;" (Vlaamse regering a., 2006)

Indien een installatie voldoet aan één van bovenstaande voorwaarden kan ze terug 100% genieten van WKC daar de datum van indienstneming gelijk wordt gesteld aan de datum van de ingrijpende wijziging. Dit betekent een grote bron van inkomsten. Gezien het belang van deze inkomst voor de rendabiliteit van een WKK-installatie wordt dit principe verder uitgediept in een 'mededeling van de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt van 29 januari 2008'. Hier wordt meer gedetailleerd besproken wanneer een installatie aan één van de drie bovenstaande voorwaarden voldoet.

Dit zou betekenen voor dat de factor X er bijvoorbeeld als volgt uit zal zien:



Figuur 29: voorbeeld van factor X na een ingrijpende wijziging na jaar 10

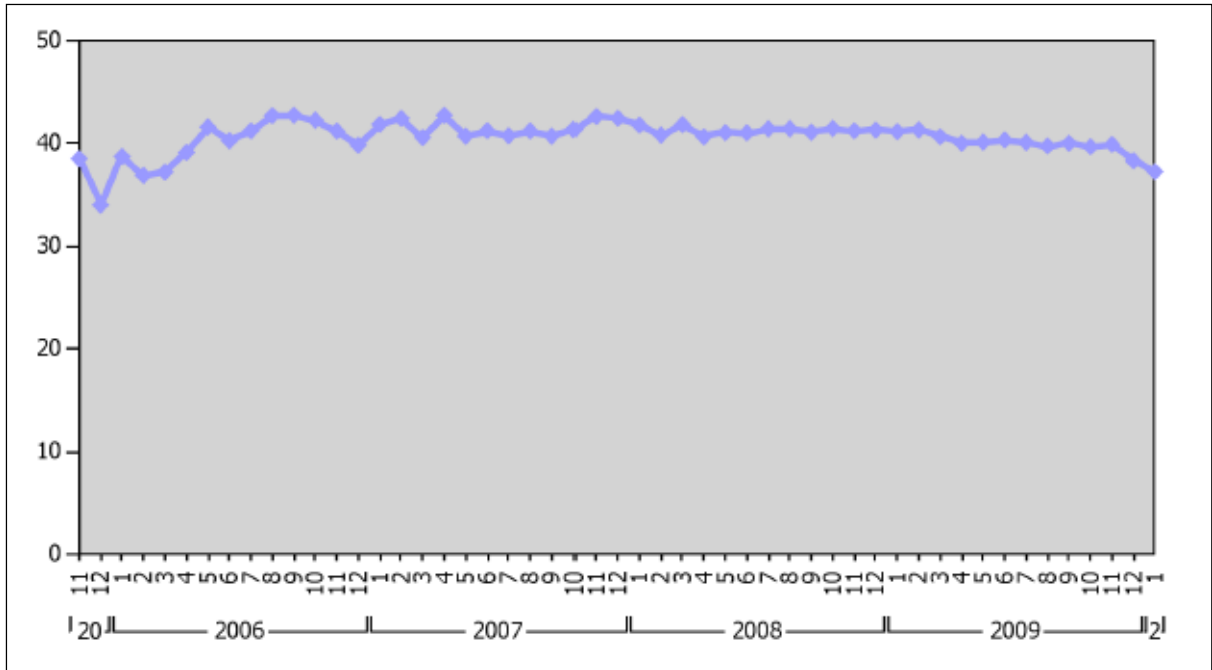
In bovenstaand voorbeeld vindt de ingrijpende wijziging plaats na 10 jaar. Hier wordt bijvoorbeeld voldaan aan het vervangen van de motor. Vervolgens ontvangt men in jaar 11 terug 100% van de WKC daar de datum van indienstneming gelijk wordt gesteld aan de datum van de ingrijpende wijziging. Om een ingrijpende wijziging te kunnen betrekken bij de investeringsanalyse moet er zekerheid zijn over de kosten die verbonden zijn aan deze ingrijpende wijziging.

Bijlage 6: gemiddelde prijs van WKC per maand

Maand	Jaar	Gemiddelde prijs per maand
januari	2006	38,72
februari	2006	36,88
maart	2006	37,21
april	2006	39,11
mei	2006	41,59
juni	2006	40,25
juli	2006	41,22
augustus	2006	42,71
september	2006	42,75
oktober	2006	42,26
november	2006	41,2
december	2006	39,82
januari	2007	41,85
februari	2007	42,43
maart	2007	40,57
april	2007	42,75
mei	2007	40,71
juni	2007	41,24
juli	2007	40,76
augustus	2007	41,22
september	2007	40,72
oktober	2007	41,34
november	2007	42,62
december	2007	42,44
januari	2008	41,78
februari	2008	40,81
maart	2008	41,83

april	2008	40,64
mei	2008	41,05
juni	2008	41,03
juli	2008	41,42
augustus	2008	41,42
september	2008	41,09
oktober	2008	41,45
november	2008	41,22
december	2008	41,289
januari	2009	41,14
februari	2009	41,3
maart	2009	40,65
april	2009	40,01
mei	2009	40,13
juni	2009	40,33
juli	2009	40,1
augustus	2009	39,75
september	2009	40,01
oktober	2009	39,67
november	2009	39,9
december	2009	38,3
januari	2010	37,26
februari	2010	40,23
Gemiddelde prijs		41,55467347

(Cogen Vlaanderen, 2009)



Figuur 30: prijzevolutie van de gemiddelde WKC-prijs per maand sinds november 2005. (VREG, 2010)

Bijlage 7: gekozen parameters ter berekening van de GGK

$j : 2.5\%$.

De inflatie wordt constant gehouden gedurende de volledige analyse. Aangezien het over een periode van 20 jaar gaat, kan verondersteld worden dat de inflatie tussen de 2 en 3% schommelt. Dit komt overeen met een normale inflatie volgens de handboeken macro-economie en ligt in lijn met de inflatiecijfers van België de afgelopen 20 jaar. In onderstaande tabel zijn de inflatiegegevens van België van de afgelopen 20 jaar weergegeven. Deze lag gemiddeld tussen de 2 en 3%. Vandaar dat 2.5% hier als een aanvaardbare schatting wordt beschouwd.

Tabel 35: inflatie in België van 1990 tot en met 2009

jaar	inflatie jaargemiddelde
2009	-0,04
2008	4,49
2007	1,82
2006	1,79
2005	2,78
2004	2,1
2003	1,59
2002	1,65
2001	2,47
2000	2,55
1999	1,12
1998	0,96
1997	1,63
1996	2,06
1995	1,47
1994	2,38
1993	2,75
1992	2,45
1991	3,22
1990	2,45
Gewogen gemiddelde	2,0845

(FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, z.j.)

i (eigen vermogen): 12% (nominaal)

Het vereiste rendement op het eigen vermogen komt overeen met de opbrengst die de aandeelhouders verwachten of wensen voor de door hun beschikbaar gestelde financiële middelen. Er bestaan verschillende waarderingsmodellen voor het bepalen van het vereiste rendement op het eigen vermogen. De twee bekendste modellen zijn het capital asset pricing model (CAPM) en het dividendwaarderingsmodel. Deze waarderingsmodellen maken echter gebruik van verschillende bedrijfs- en sectorspecifieke gegevens, die met betrekking tot de verder besproken case studies niet steeds voor handen zijn.

Zoals het CAPM model stelt, verhoogt het vereiste rendement naarmate het risico groter is. Bij aandelen is het risico erg hoog daar er onder andere geen zekerheid van return gegeven wordt. Echter wordt het risico van een investeerder afgezwakt naarmate deze zijn portefeuille diversifieert. Hier wordt er dan ook van uitgegaan dat de gemiddelde investeerder bij onderstaande gevalstudies zijn portefeuille diversifieert en bijgevolg een rendement verwacht dat gelijk is aan een gemiddeld rendement verwacht van een portefeuille aangeboden door (investerings)-banken. Voor portefeuilles die grotendeels uit aandelen bestaan wordt een gemiddeld nominaal rendement verwacht van rond de 12%.

r (vreemd vermogen): 5% (nominaal)

De lening die aangegaan wordt door ondernemingen voor een investering te financieren wordt vaak een investeringskrediet genoemd. De overeenkomstige rentevoet die de investeerder moet betalen hangt van verschillende factoren af en wordt door gespecialiseerde kantoren van banken berekend. Om de rentevoet te bepalen wordt een rating aan elk bedrijf toegekend. Deze rating is enerzijds afhankelijk van objectieve gegevens zoals de balans en resultatenrekening en anderzijds afhankelijk van subjectieve gegevens zoals de inschatting van het management en de marktpositie van het bedrijf. De grootte van de rating bepaalt hoeveel procent de investeerder bovenop de Euribor moet betalen. Eenvoudig gesteld moeten bedrijven met een gunstige rating gemiddeld 1% bovenop de Euribor betalen. Bedrijven met een gemiddelde rating betalen 2% extra terwijl deze met een slechte rating gemiddeld 3% bovenop de Euribor betalen. (persoonlijke communicatie Gert Claes van KBC bedrijvencentrum Limburg, 5 mei 2010).

Zoals in onderstaande grafiek is weergegeven is de Euribor sinds eind 2008 zwaar gedaald onder invloed van de financiële crisis. Echter gemiddeld genomen over de afgelopen 11 jaar schommelde deze rentevoet rond de 3%. In de cases vanaf hoofdstuk 7 wordt telkens een gemiddeld gezonde onderneming verondersteld. Dit komt neer op een investeringsrente van 5%.



<http://www.homefinance.nl/english/international-interest-rates/euribor-interest-rates.asp?i1=40&i2=82>

Bijlage 8: aantal vollasturen per maand, gevalstudie 1

Tabel 36: aantal vollasturen per maand

Maand	Aantal uren
december	376,4285714
januari	376,4285714
november	364,2857143
februari	335,1428571
oktober	376,4285714
maart	376,4285714
mei	376,4285714
april	364,2857143
juli	376,4285714
september	364,2857143
augustus	376,4285714
juni	364,2857143
totaal	4427,285714

Bijlage 9: investeringsanalyse, relatieve kasstromen gevalstudie 1, onderdimensionering

	begin jaar	eind jaar 1	eind jaar 2	...	eind jaar 19	eind jaar 20
Relatieve kasstromen	1			...		
investering	-57.000,00					
aanschafkosten	0,00					
plaatsingskosten	0,00					
projectkosten	0,00					
onderhoudskosten						
jaarlijkse onderhoudskosten		-2.302,19	-2.359,75	...	-3.590,63	-3.680,40
groot onderhoud						
werkingskosten						
kostprijs energie		4.650,76	4.835,77	...	9.064,67	9.382,24
uitbatingskost (personeelskost, onderhoudsproducten,...)		0,00	0,00	...	0,00	0,00
andere						
bedieningskosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
verzekeringskosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
administratieve kosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
subsidies						
investeringssubsidies						
verhoogde investeringsaftrek		4.004,02				
ecologiepremie		9.120,00				
uitbatingssubsidies						
WKC		2.786,24	2.786,24	...	0,00	0,00
GSC		0,00	0,00	...	0,00	0,00
andere						
belastingsschild op afschrijvingen		968,72	968,72	...	968,72	968,72
extra belastingsschild van de interesten mbt WKK		678,10	555,38	...	0,00	0,00
Kasstroom	-57.000,00	19.905,64	6.786,36	...	6.442,75	6.670,56

Bijlage 10: bepaling prijsstijgingen

Evolutie prijs aardgas

Algemene formule ter berekening van de gemiddelde groeivoet

Table 4.21: Gas prices for industrial end-users, VAT excluded, in EUR per GJ

	1997	2002	2003	2004	2005	2006	2007
EU-27	:	:	:	:	6.50	8.62	9.37
BE	4.16	5.25	5.42	5.28	5.32	7.11	7.03
BG	:	:	:	3.50	3.78	4.50	5.22
CZ	:	4.68	4.14	4.20	5.11	7.34	6.56
DK	4.44	5.10	5.87	5.21	6.79	6.97	6.52

'02: gemiddeld € 5,25; 2007 gemiddeld € 7,03

Kijken we naar de prijsstijging van de laatste 5 jaren (tussen 2002 en 2007): 6,01%.

Evolutie prijs elektriciteit

Table 4.18: Electricity prices for industrial end-users, VAT excluded, in EUR per 100 kWh

	1997	2002	2003	2004	2005	2006	2007
EU-27	:	:	:	:	7.56	8.42	9.18
BE	7.46	7.61	7.68	7.71	7.75	9.69	9.69
BG	:	:	:	4.09	4.29	4.60	4.70
CZ	:	5.18	4.99	4.92	6.01	7.31	7.83

Laatste 5 jaar: $r = 5\%$

Bijlage 11: modeloutput ondergedimensioneerde installatie

Run preferences:

Number of trials run	100.000
Extreme speed	
Monte Carlo	
Random seed	
Precision control on	
Confidence level	95,00%

Run statistics:

Total running time (sec)	88,40
Trials/second (average)	1.131
Random numbers per sec	16.968

Crystal Ball data:

Assumptions	15
Correlations	0
Correlated groups	0
Decision variables	0
Forecasts	5

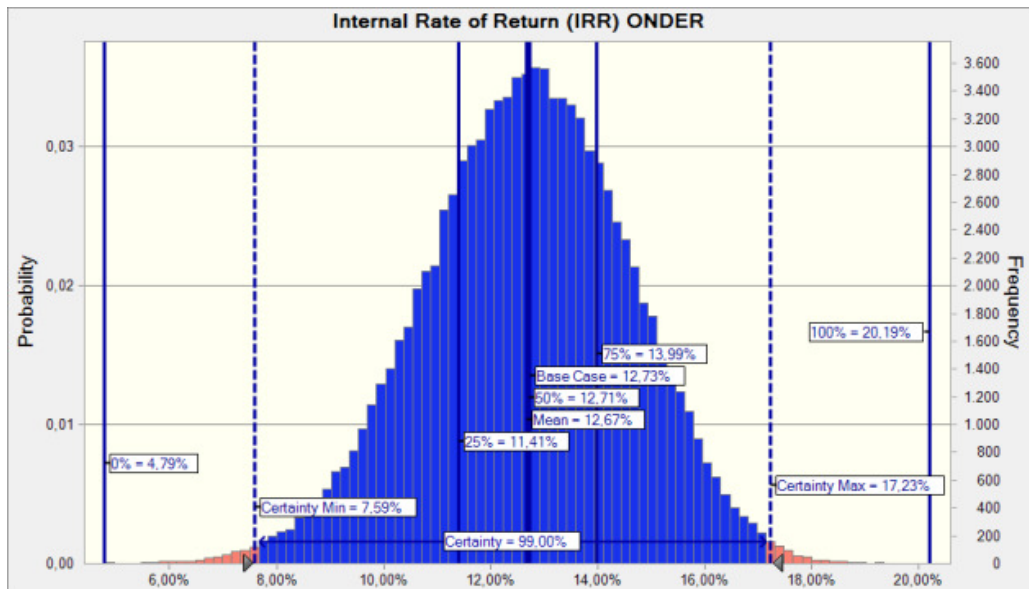
Forecasts

Worksheet: [CASE 1 WKK 24-05 (onderdimensionering).xlsx]investeringsanalyse

Forecast: Internal Rate of Return (IRR) ONDER

Summary:

- Certainty level is 99,000%
- Certainty range is from 7,59% to 17,23%
- Entire range is from 4,79% to 20,19%
- Base case is 12,73%
- After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,01%



Forecast: Internal Rate of Return (IRR) ONDER (cont'd)

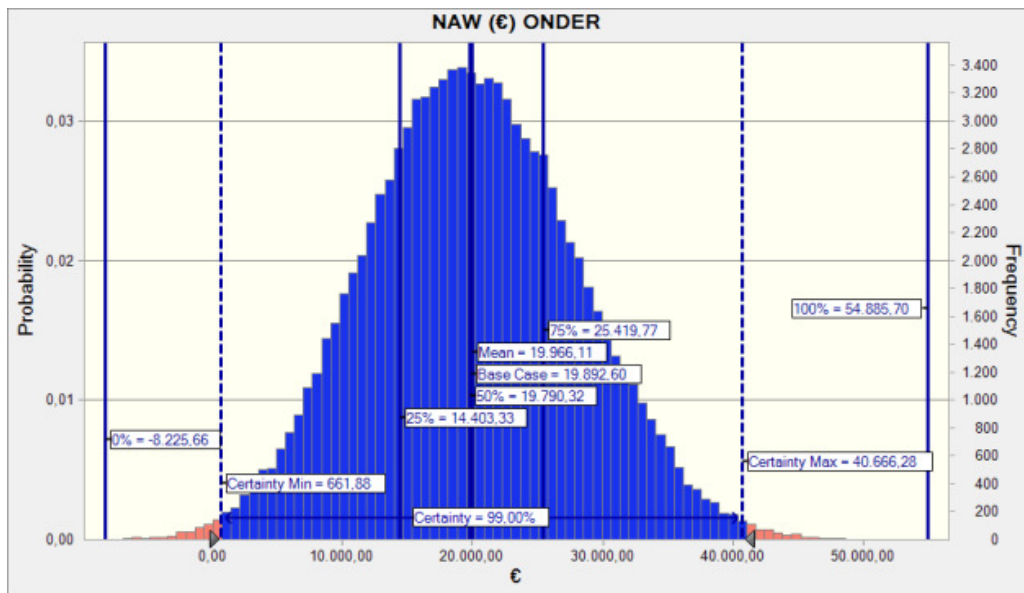
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	12,73%
Mean	12,67%
Median	12,71%
Mode	---
Standard Deviation	1,90%
Variance	0,04%
Skewness	-0,1354
Kurtosis	2,94
Coeff. of Variability	0,1499
Minimum	4,79%
Maximum	20,19%
Range Width	15,39%
Mean Std. Error	0,01%

Percentiles:	Forecast values
0%	4,79%
10%	10,20%
20%	11,08%
30%	11,69%
40%	12,22%
50%	12,71%
60%	13,20%
70%	13,70%
80%	14,30%
90%	15,10%
100%	20,19%

Forecast: NAW (€) ONDER

Summary:

Certainty level is 99,000%
Certainty range is from 661,88 to 40.666,28
Entire range is from -8.225,66 to 54.885,70
Base case is 19.892,60
After 100.000 trials, the std. error of the mean is 25,33



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	19.892,60
Mean	19.966,11
Median	19.790,36
Mode	---
Standard Deviation	8.008,73
Variance	64.139.746,86
Skewness	0,0971
Kurtosis	2,84
Coeff. of Variability	0,4011
Minimum	-8.225,66
Maximum	54.885,70
Range Width	63.111,36
Mean Std. Error	25,33

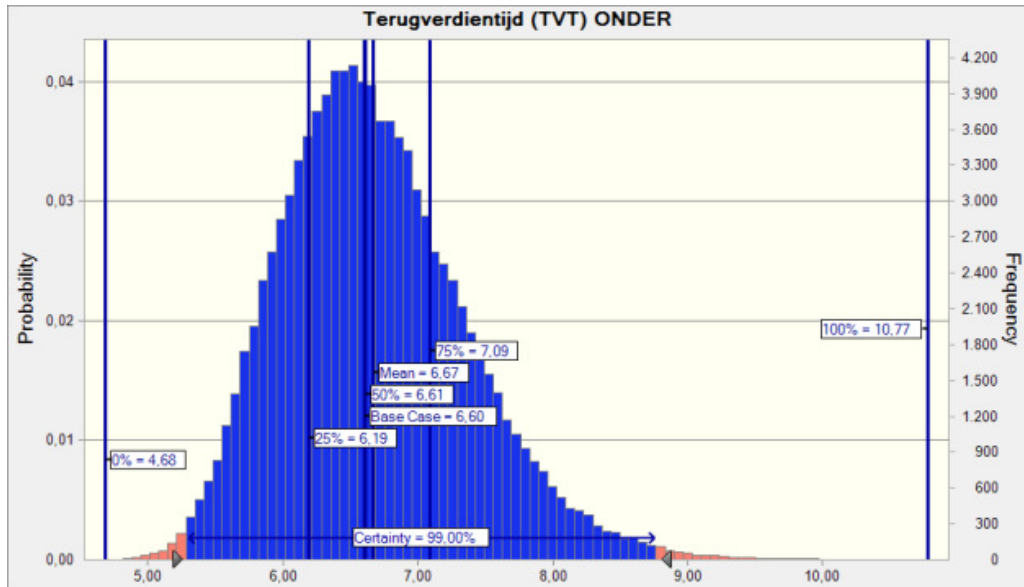
Forecast: NAW (€) ONDER (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	-8.225,66
10%	9.706,45
20%	13.082,17
30%	15.571,55
40%	17.737,26
50%	19.790,32
60%	21.896,09
70%	24.178,20
80%	26.775,24
90%	30.476,76
100%	54.885,70

Forecast: Terugverdientijd (TVT) ONDER

Summary:

- Certainty level is 99,000%
- Certainty range is from 5,27 to 8,78
- Entire range is from 4,68 to 10,77
- Base case is 6,60
- After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	6,60
Mean	6,67
Median	6,61
Mode	---
Standard Deviation	0,68
Variance	0,47
Skewness	0,5570
Kurtosis	3,48
Coeff. of Variability	0,1025
Minimum	4,68
Maximum	10,77
Range Width	6,09
Mean Std. Error	0,00

Forecast: Terugverdientijd (TVT) ONDER (cont'd)

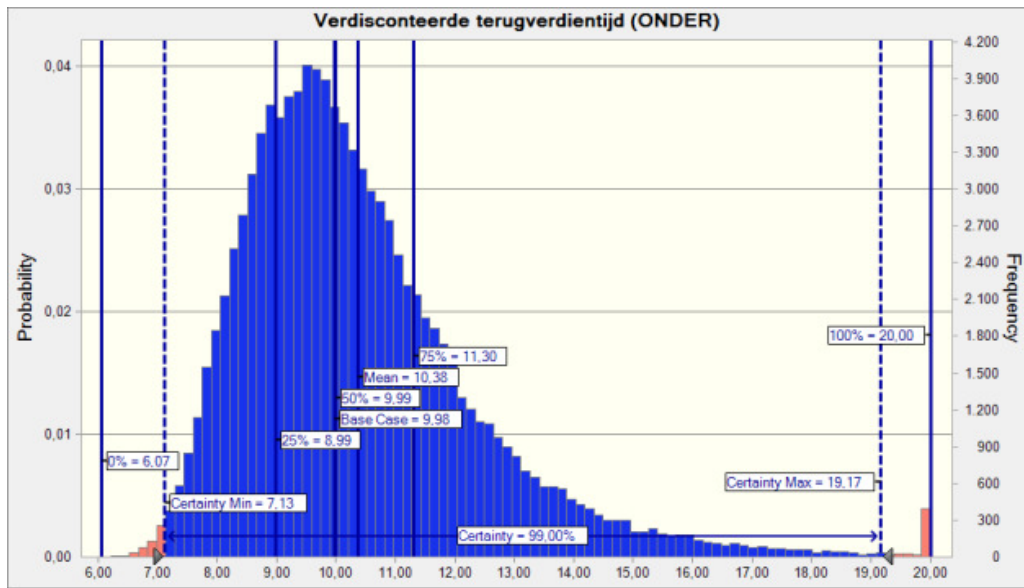
Percentiles:	Forecast values
0%	4,68

10%	5,85
20%	6,09
30%	6,28
40%	6,45
50%	6,61
60%	6,79
70%	6,98
80%	7,22
90%	7,58
100%	10,77

Forecast: Verdisconteerde terugverdiertijd (ONDER)

Summary:

Certainty level is 99,000%
 Certainty range is from 7,13 to 19,17
 Entire range is from 6,07 to 20,00
 Base case is 9,98
 After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,01



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	9,98
Mean	10,38
Median	9,99
Mode	20,00
Standard Deviation	2,01
Variance	4,03
Skewness	1,43
Kurtosis	6,24

Coeff. of Variability	0,1934
Minimum	6,07
Maximum	20,00
Range Width	13,93
Mean Std. Error	0,01

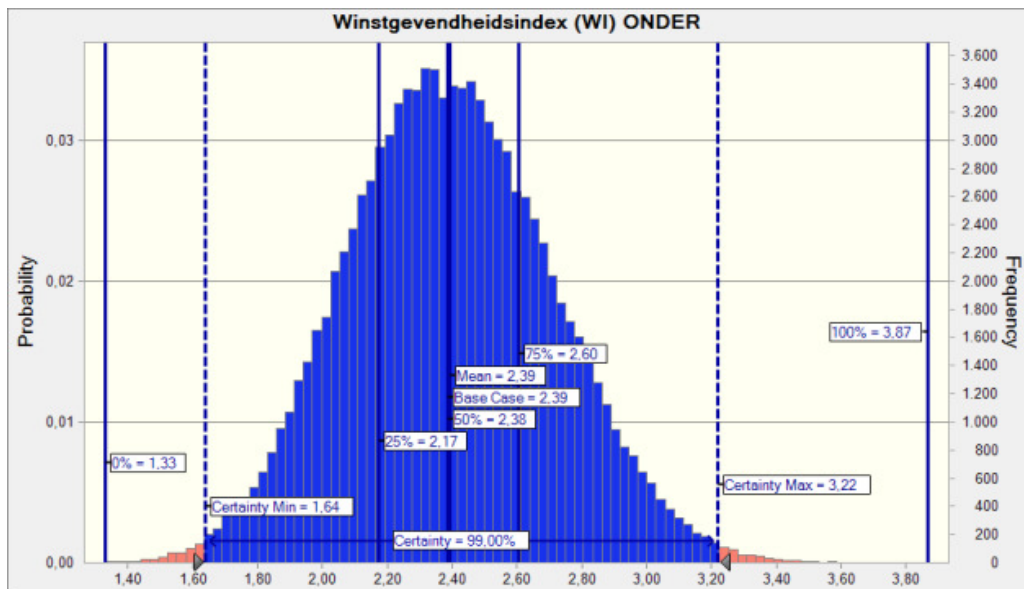
Forecast: Verdisconteerde terugverdiëntijd (ONDER) (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	6,07
10%	8,28
20%	8,79
30%	9,21
40%	9,60
50%	9,99
60%	10,45
70%	10,98
80%	11,69
90%	12,89
100%	20,00

Forecast: Winstgevendheidsindex (WI) ONDER

Summary:

- Certainty level is 99,000%
- Certainty range is from 1,64 to 3,22
- Entire range is from 1,33 to 3,87
- Base case is 2,39
- After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	2,39
Mean	2,39
Median	2,38
Mode	---
Standard Deviation	0,31
Variance	0,10
Skewness	0,1254
Kurtosis	2,87
Coeff. of Variability	0,1316
Minimum	1,33
Maximum	3,87
Range Width	2,54
Mean Std. Error	0,00

Forecast: Winstgevendheidsindex (WI) ONDER (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	1,33
10%	1,99
20%	2,12
30%	2,22
40%	2,30
50%	2,38
60%	2,47
70%	2,56
80%	2,66
90%	2,81
100%	3,87

End of Forecasts

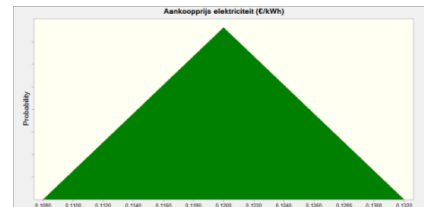
Assumptions

Worksheet: [CASE 1 WKK 24-05 (onderdimensionering).xlsx]variabele gegevens

Assumption: Aankooprijs elektriciteit (€/kWh)

Triangular distribution with parameters:

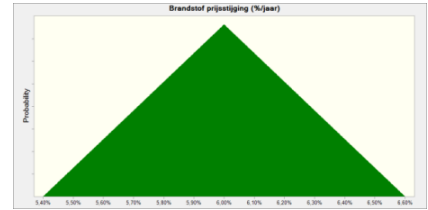
Minimum	0,1080
Likeliest	0,1200
Maximum	0,1320



Assumption: Brandstof prijsstijging (%/jaar)

Triangular distribution with parameters:

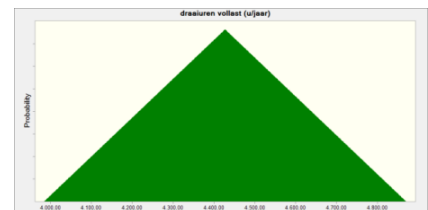
Minimum	5,40%
Likeliest	6,00%
Maximum	6,60%



Assumption: draaiuren vollast (u/jaar)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	3.984,56
Likeliest	4.427,29
Maximum	4.870,02



Assumption: Gem. prijsstijging elektriciteit

Triangular distribution with parameters:

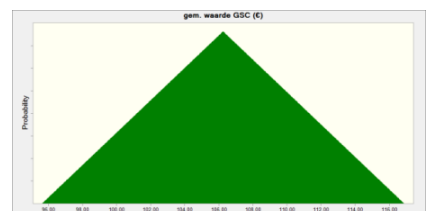
Minimum	4,50%
Likeliest	5,00%
Maximum	5,50%



Assumption: gem. waarde GSC (€)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	95,63
Likeliest	106,25
Maximum	116,88

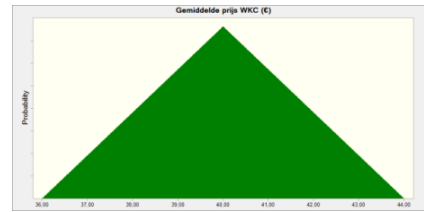


Assumption: Gemiddelde prijs WKC (€)

kan ook uitgedrukt worden als x% van de boeteprijs.

Triangular distribution with parameters:

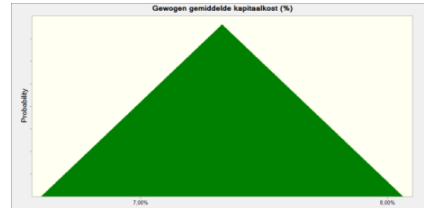
Minimum	36,00
Likeliest	40,00
Maximum	44,00



Assumption: Gewogen gemiddelde kapitaalkost (%)

Triangular distribution with parameters:

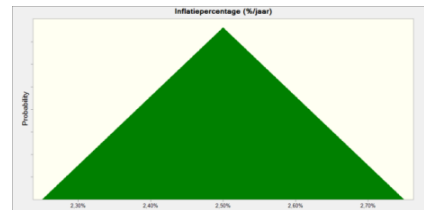
Minimum	6,60%
Likeliest	7,33%
Maximum	8,06%



Assumption: Inflatiepercentage (%/jaar)

Triangular distribution with parameters:

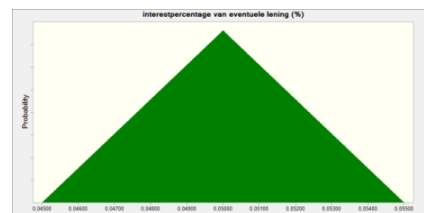
Minimum	2,25%
Likeliest	2,50%
Maximum	2,75%



Assumption: interestpercentage van eventuele lening (%)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	0,04500
Likeliest	0,05000
Maximum	0,05500

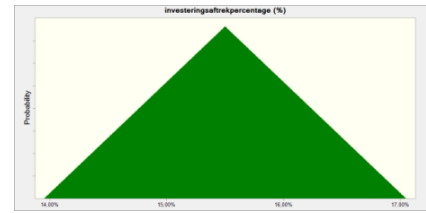


Assumption: investeringsaftrekpercentage (%)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	13,95%
---------	--------

Likeliest 15,50%
 Maximum 17,05%

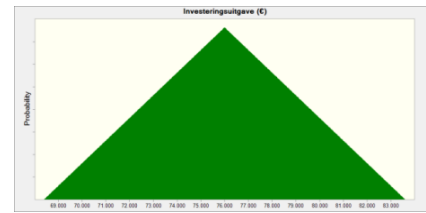


Assumption: Investeringsuitgave (€)

Indien deze kosten niet gekend zijn kunnen ze worden geschat op basis van de grafiek die weergegeven is in tabblad "grafieken"

Triangular distribution with parameters:

Minimum 68.400
 Likeliest 76.000
 Maximum 83.600

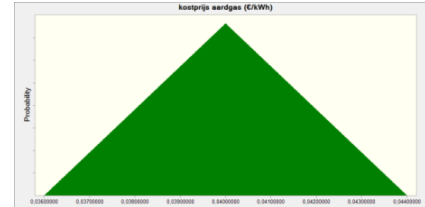


Assumption: kostprijs aardgas (€/kWh)

Jasper:
 de waarschijnlijkheid dat ze met een lagere prijs beginnen in jaar 0.

Triangular distribution with parameters:

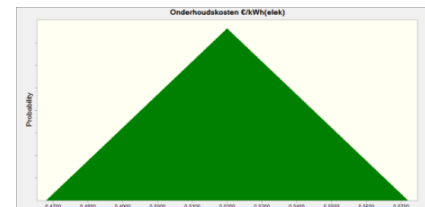
Minimum 0,03600009
 Likeliest 0,04000010
 Maximum 0,04400011



Assumption: Onderhoudskosten €/kWh(elek)

Triangular distribution with parameters:

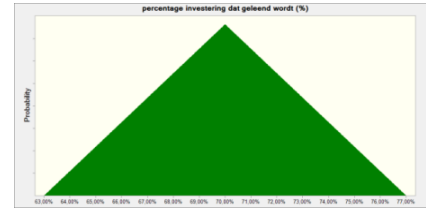
Minimum 0,4680
 Likeliest 0,5200
 Maximum 0,5720



Assumption: percentage investering dat geleend wordt (%)

Triangular distribution with parameters:

Minimum 63,00%
 Likeliest 70,00%
 Maximum 77,00%

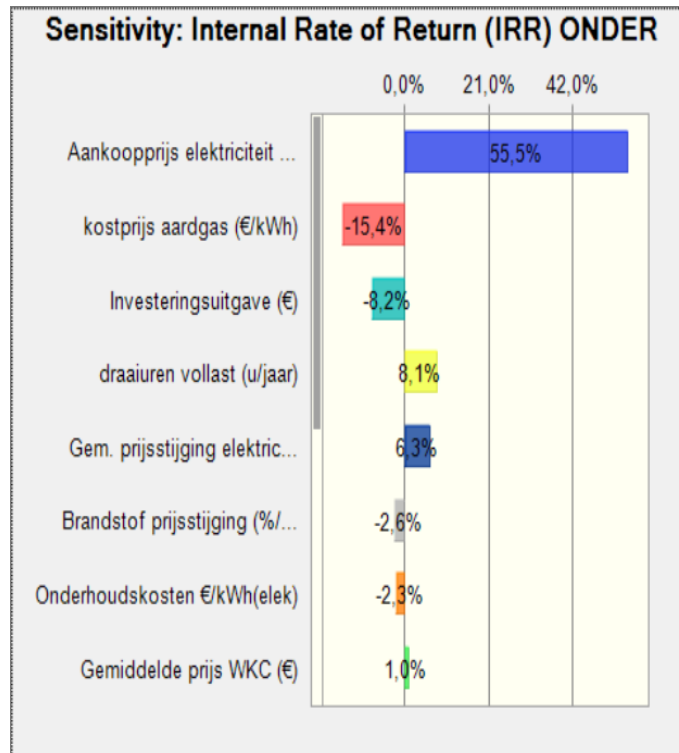
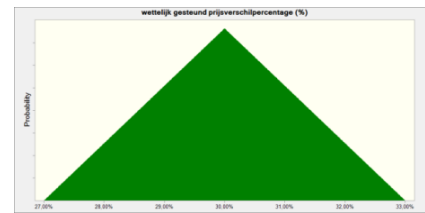


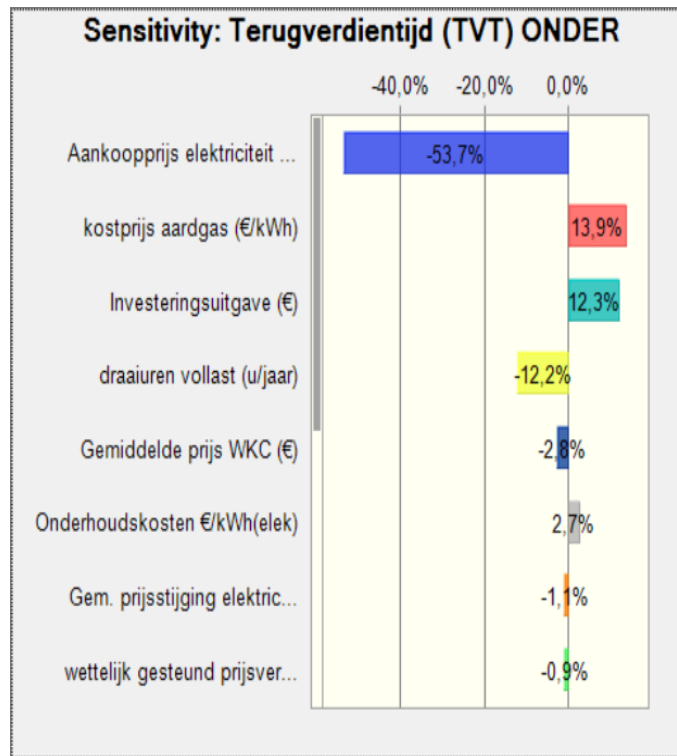
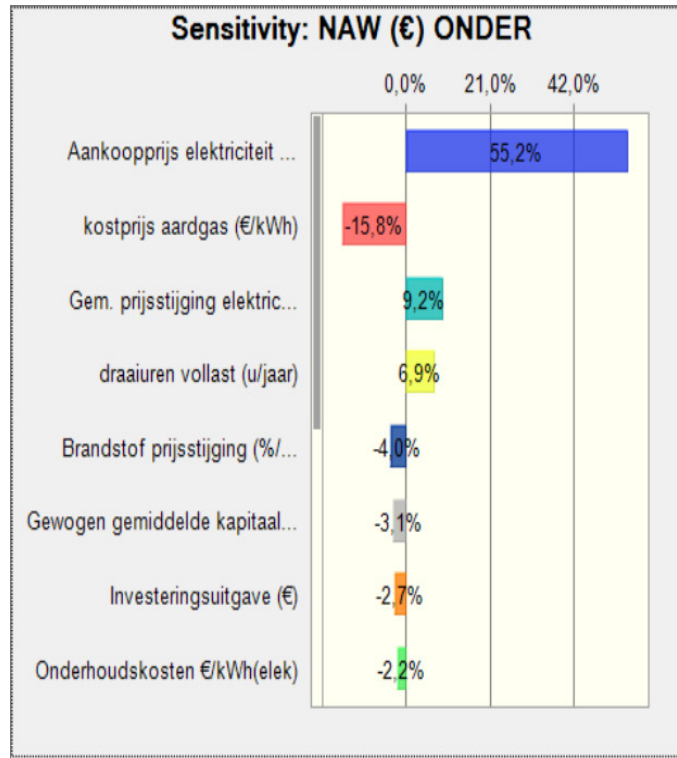
Assumption: wettelijk gesteund prijsverschilpercentage (%)

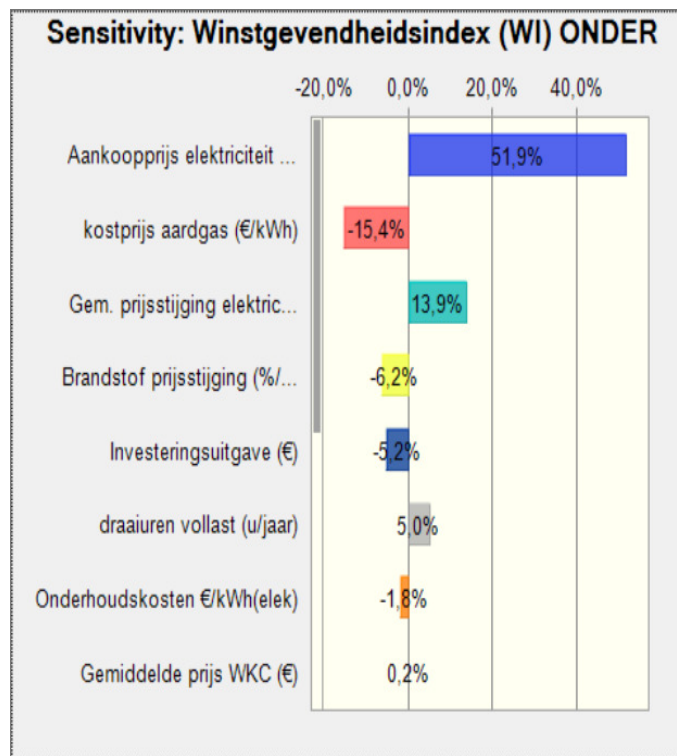
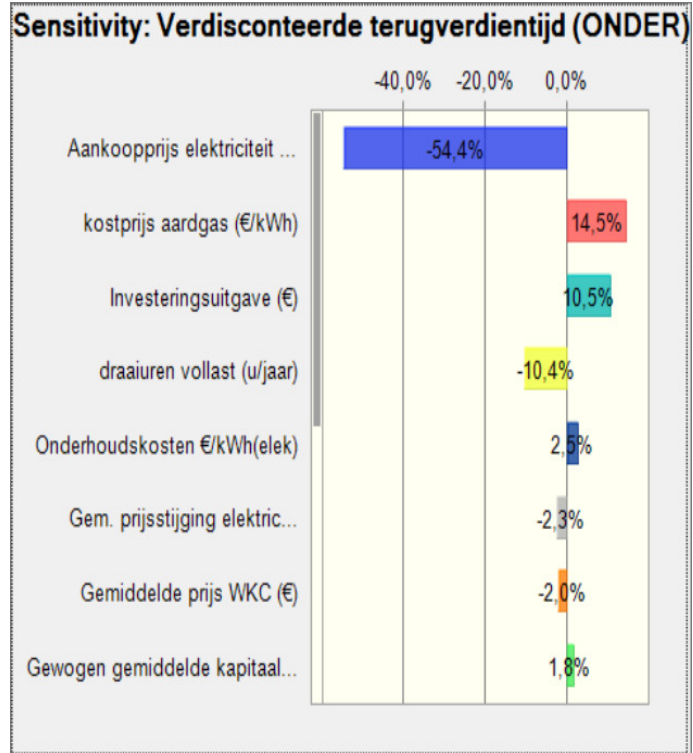
Voor 2010 vastgelegd op 30%.

Triangular distribution with parameters:

Minimum 27,00%
 Likeliest 30,00%
 Maximum 33,00%







Bijlage 12: modeloutput overgedimensioneerde installatie

Run preferences:

Number of trials run	100.000
Extreme speed	
Monte Carlo	
Random seed	

Run statistics:

Total running time (sec)	24,11
Trials/second (average)	4.148
Random numbers per sec	62.223

Crystal Ball data:

Assumptions	15
Correlations	0
Correlated groups	0
Decision variables	0
Forecasts	5

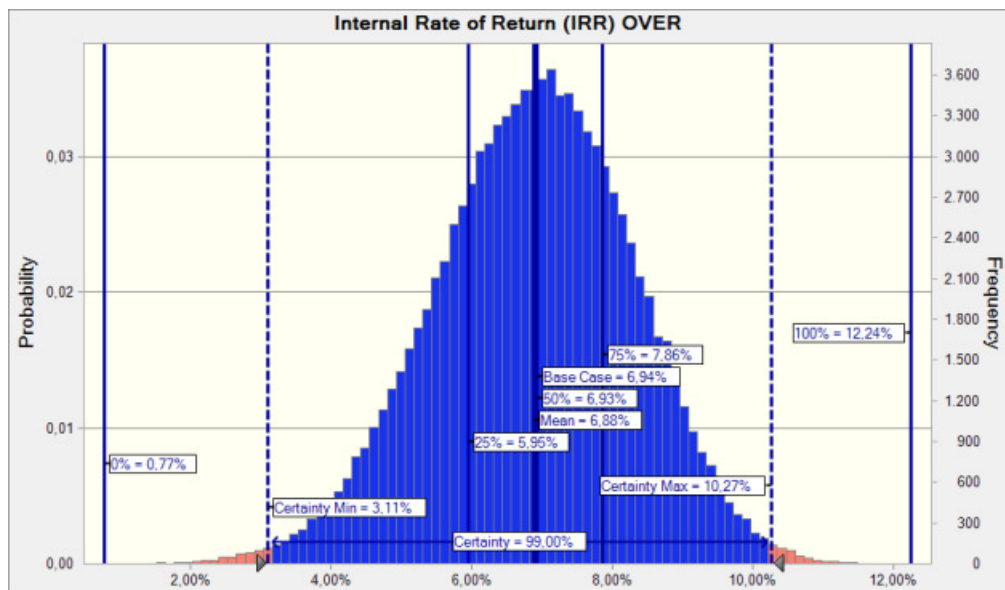
Forecasts

Worksheet: [CASE 1 WKK 28-05 (overdimensionering).xlsx]investeringsanalyse

Forecast: Internal Rate of Return (IRR) OVER

Summary:

Certainty level is 99,000%
Certainty range is from 3,11% to 10,27%
Entire range is from 0,77% to 12,24%
Base case is 6,94%
After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00%



Forecast: Internal Rate of Return (IRR) OVER (cont'd)

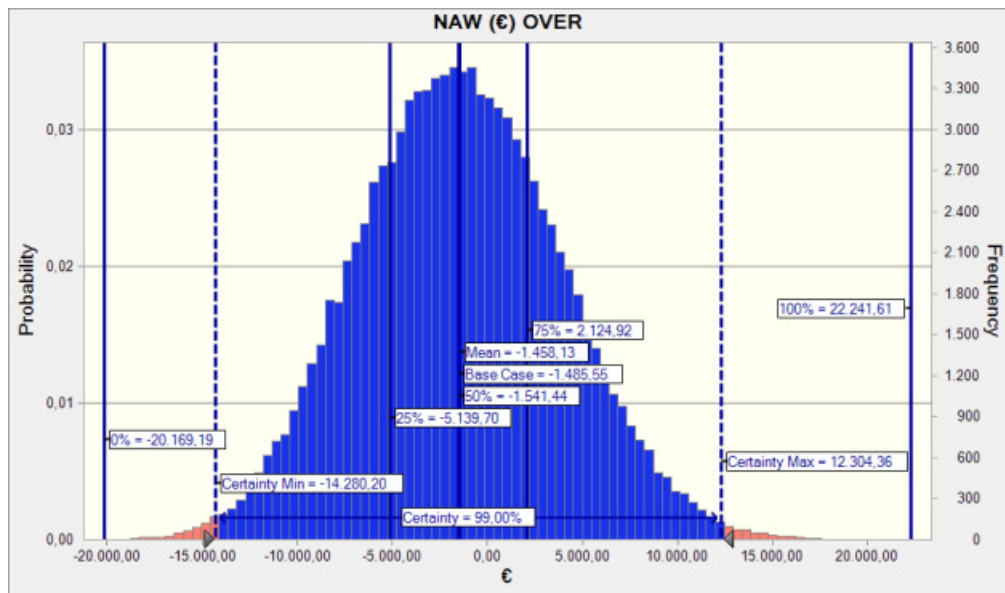
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	6,94%
Mean	6,88%
Median	6,93%
Mode	---
Standard Deviation	1,40%
Variance	0,02%
Skewness	-0,1549
Kurtosis	2,94
Coeff. of Variability	0,2039
Minimum	0,77%
Maximum	12,24%
Range Width	11,48%
Mean Std. Error	0,00%

Percentiles:	Forecast values
0%	0,77%
10%	5,04%
20%	5,71%
30%	6,17%
40%	6,56%
50%	6,93%
60%	7,28%
70%	7,66%
80%	8,08%
90%	8,66%
100%	12,24%

Forecast: NAW (€) OVER

Summary:

- Certainty level is 99,000%
- Certainty range is from -14.280,20 to 12.304,36
- Entire range is from -20.169,19 to 22.241,61
- Base case is -1.485,55
- After 100.000 trials, the std. error of the mean is 16,71



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	-1.485,55
Mean	-1.458,13
Median	-1.541,31
Mode	---
Standard Deviation	5.283,42
Variance	27.914.510,33
Skewness	0,0951
Kurtosis	2,86
Coeff. of Variability	-3,62
Minimum	-20.169,19
Maximum	22.241,61
Range Width	42.410,80
Mean Std. Error	16,71

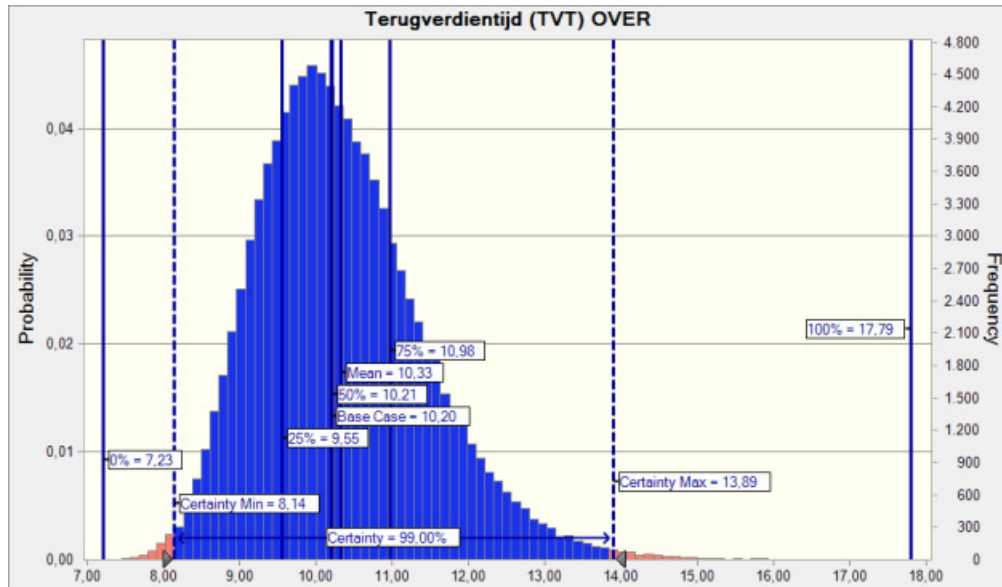
Forecast: NAW (€) OVER (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	-20.169,19
10%	-8.250,82
20%	-6.005,53
30%	-4.338,65
40%	-2.905,50
50%	-1.541,44
60%	-165,24
70%	1.313,88
80%	3.039,17
90%	5.397,36
100%	22.241,61

Forecast: Terugverdiertijd (TVT) OVER

Summary:

- Certainty level is 99,000%
- Certainty range is from 8,14 to 13,89
- Entire range is from 7,23 to 17,79
- Base case is 10,20
- After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	10,20
Mean	10,33
Median	10,21
Mode	---
Standard Deviation	1,10
Variance	1,20
Skewness	0,6950
Kurtosis	3,84
Coeff. of Variability	0,1060
Minimum	7,23
Maximum	17,79
Range Width	10,56
Mean Std. Error	0,00

Forecast: Terugverdiertijd (TVT) OVER (cont'd)

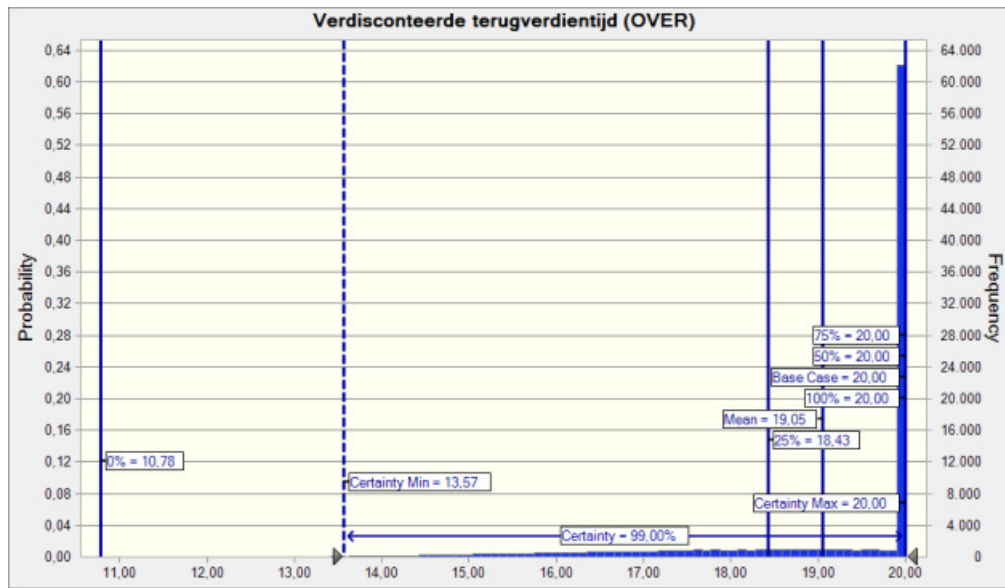
Percentiles:	Forecast values
0%	7,23

10%	9,04
20%	9,40
30%	9,69
40%	9,95
50%	10,21
60%	10,49
70%	10,80
80%	11,19
90%	11,78
100%	17,79

Forecast: Verdisconteerde terugverdientijd (OVER)

Summary:

- Certainty level is 99,000%
- Certainty range is from 13,57 to 20,00
- Entire range is from 10,78 to 20,00
- Base case is 20,00
- After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00



Statistics:

Forecast values

Trials	100.000
Base Case	20,00
Mean	19,05
Median	20,00
Mode	20,00
Standard Deviation	1,56
Variance	2,45
Skewness	-1,66
Kurtosis	4,88

Coeff. of Variability	0,0821
Minimum	10,78
Maximum	20,00
Range Width	9,22
Mean Std. Error	0,00

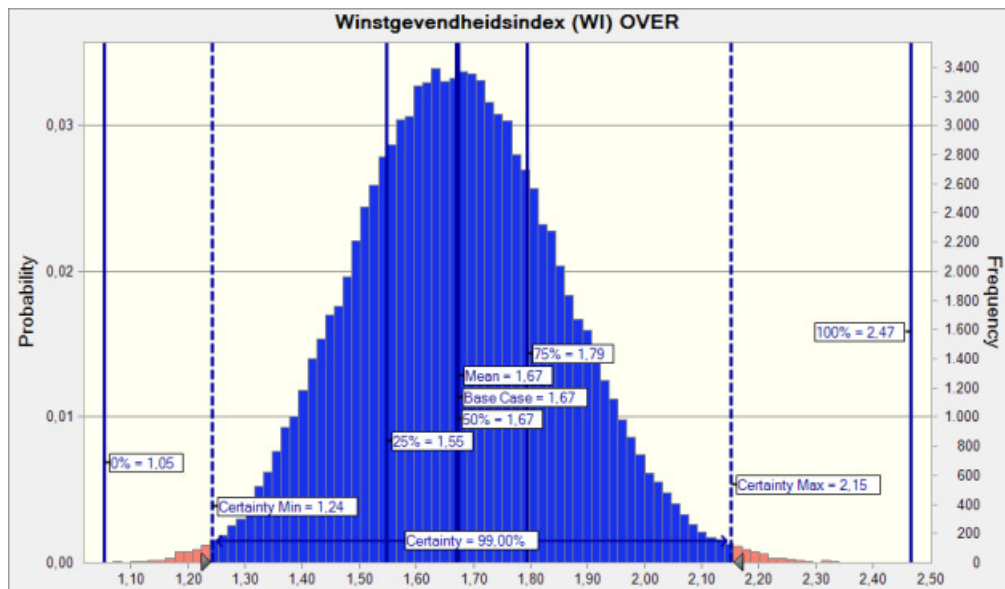
Forecast: Verdisconteerde terugverdiertijd (OVER) (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	10,78
10%	16,50
20%	17,84
30%	18,99
40%	20,00
50%	20,00
60%	20,00
70%	20,00
80%	20,00
90%	20,00
100%	20,00

Forecast: Winstgevendheidsindex (WI) OVER

Summary:

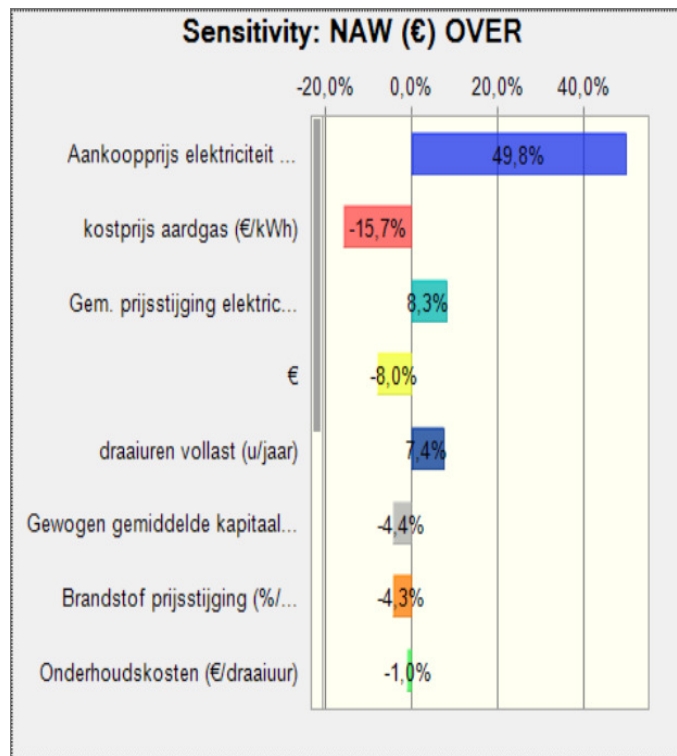
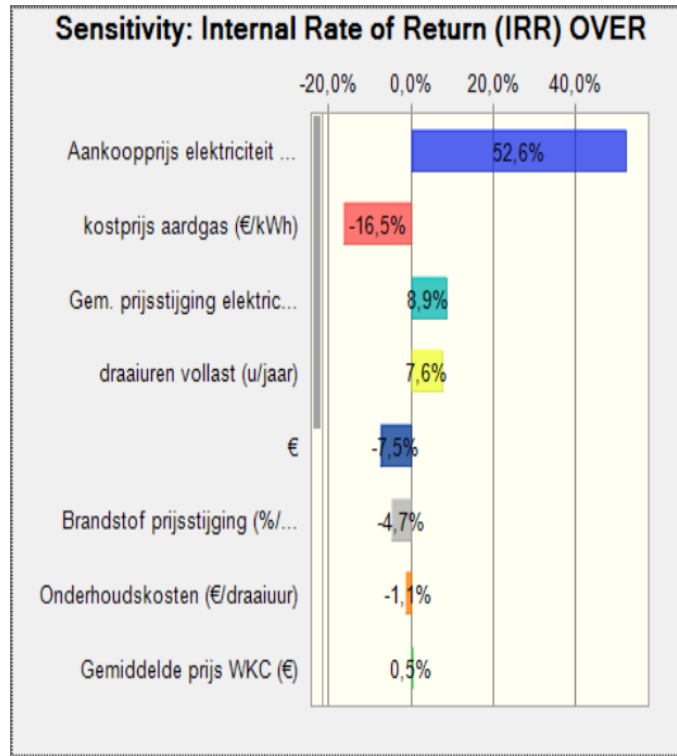
- Certainty level is 99,000%
- Certainty range is from 1,24 to 2,15
- Entire range is from 1,05 to 2,47
- Base case is 1,67
- After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00

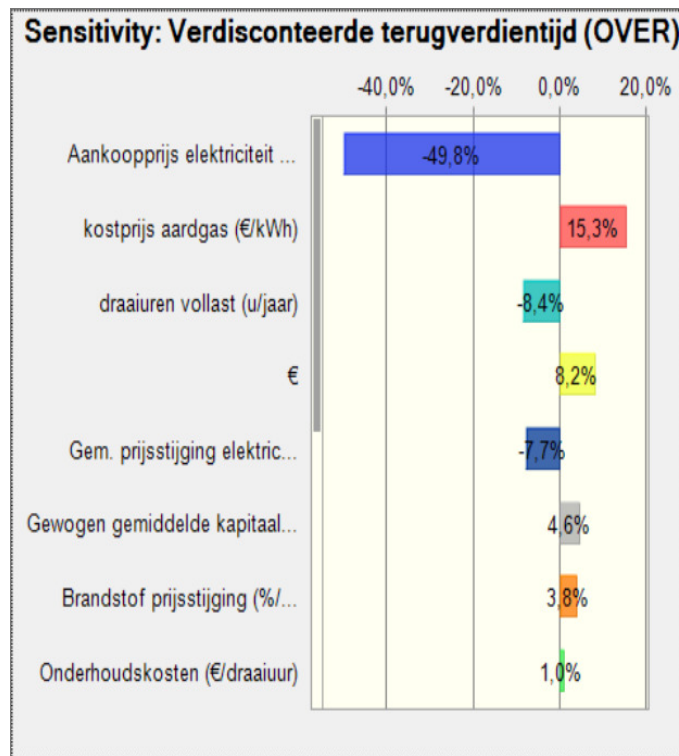
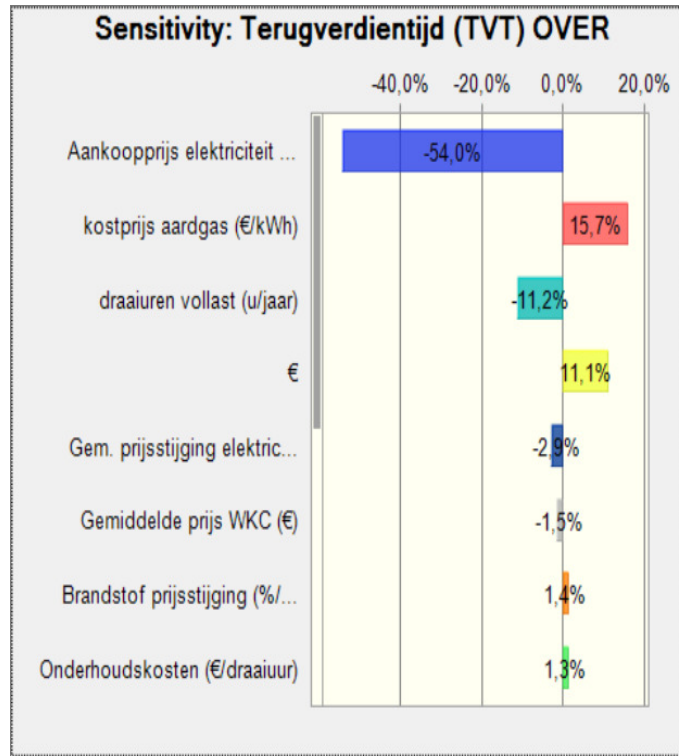


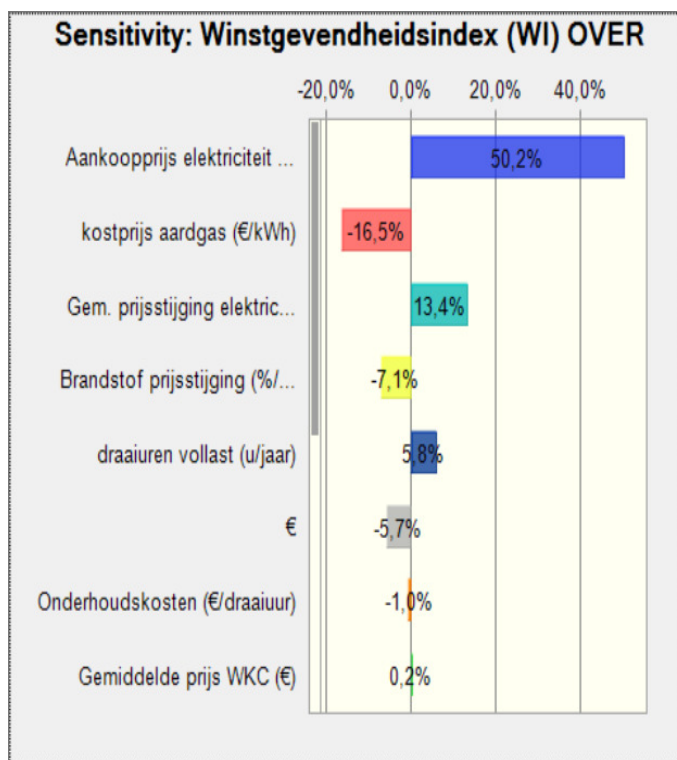
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	1,67
Mean	1,67
Median	1,67
Mode	---
Standard Deviation	0,18
Variance	0,03
Skewness	0,1275
Kurtosis	2,87
Coeff. of Variability	0,1072
Minimum	1,05
Maximum	2,47
Range Width	1,41
Mean Std. Error	0,00

Forecast: Winstgevendheidsindex (WI) OVER (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	1,05
10%	1,44
20%	1,52
30%	1,57
40%	1,62
50%	1,67
60%	1,72
70%	1,77
80%	1,83
90%	1,91
100%	2,47







Bijlage 13: investeringsanalyse, relatieve kasstromen gevalstudie 1, overdimensionering

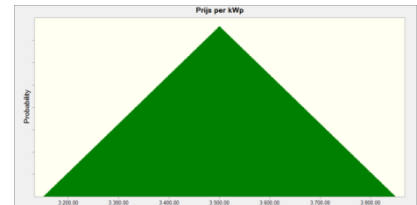
	begin jaar	eind jaar 1	eind jaar 2	...	eind jaar 19	eind jaar 20
Relatieve kasstromen	1			...		
<i>investering</i>	-63.750,00					
<i>aanschafkosten</i>	0,00					
<i>plaatsingskosten</i>	0,00					
<i>projectkosten</i>	0,00					
onderhoudskosten						
jaarlijkse onderhoudskosten		-1.066,00	-1.092,65	...	-1.662,60	-1.704,16
groot onderhoud						
werkingskosten						
kostprijs energie		2.789,51	2.897,84	...	5.318,86	5.495,90
uitbatingskost (personeelskost, onderhoudsproducten,...)		0,00	0,00	...	0,00	0,00
andere						
bedieningskosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
verzekeringskosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
administratieve kosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
subsidies						
investeringssubsidies						
verhoogde investeringsaftrek		4.478,18				
ecologiepremie		10.200,00				
uitbatingssubsidies						
WKC		1.749,33	1.749,33	...	0,00	0,00
GSC		0,00	0,00	...	0,00	0,00
andere						
belastingsschild op afschrijvingen		1.083,43	1.083,43	...	1.083,43	1.083,43
extra belastingsschild van de interesten mbt WKK		758,40	621,15	...	0,00	0,00
Kasstroom	-63.750,00	19.992,85	5.259,10	...	4.739,69	4.875,17

Bijlage 14: modeloutput, koppeling met zonnepanelen

Assumption: Prijs per kWp

Triangular distribution with parameters:

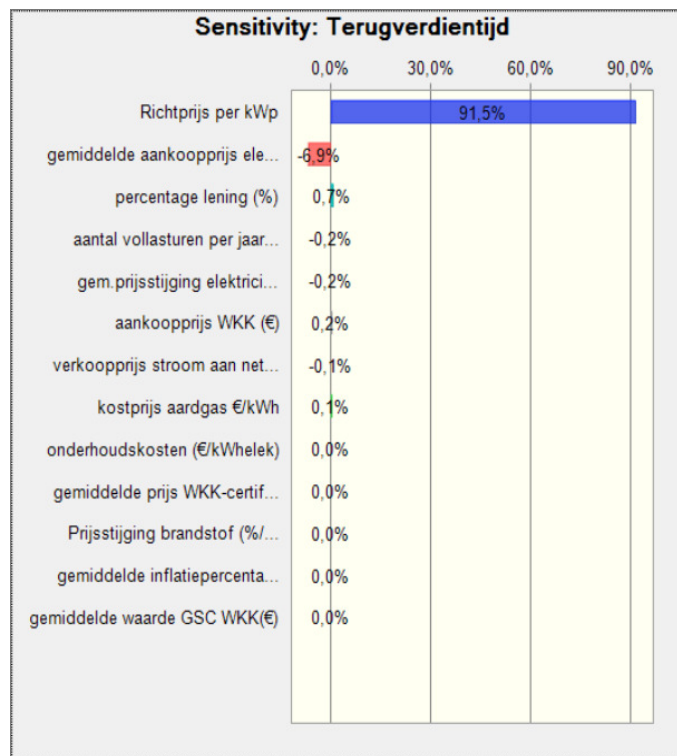
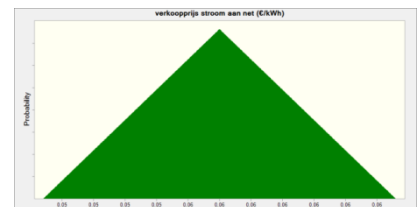
Minimum	3.150,00
Likeliest	3.500,00
Maximum	3.850,00

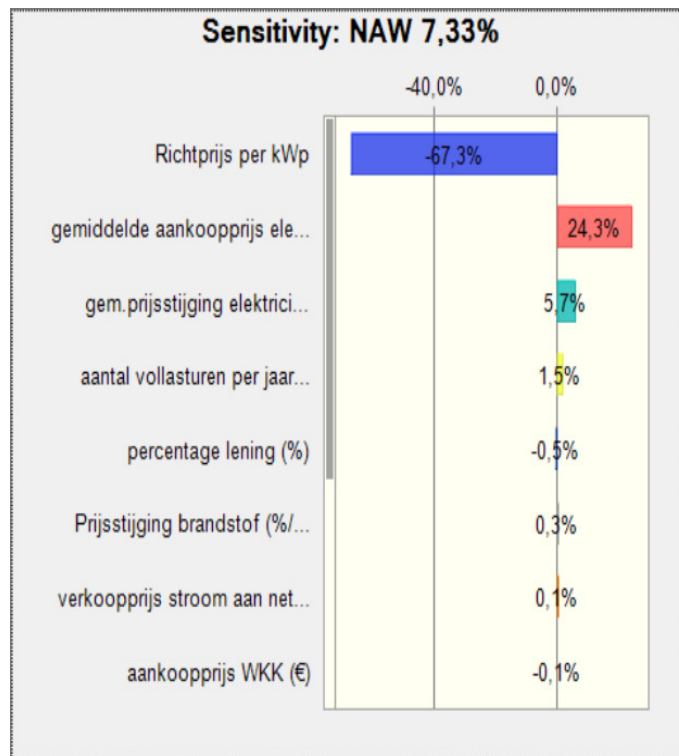
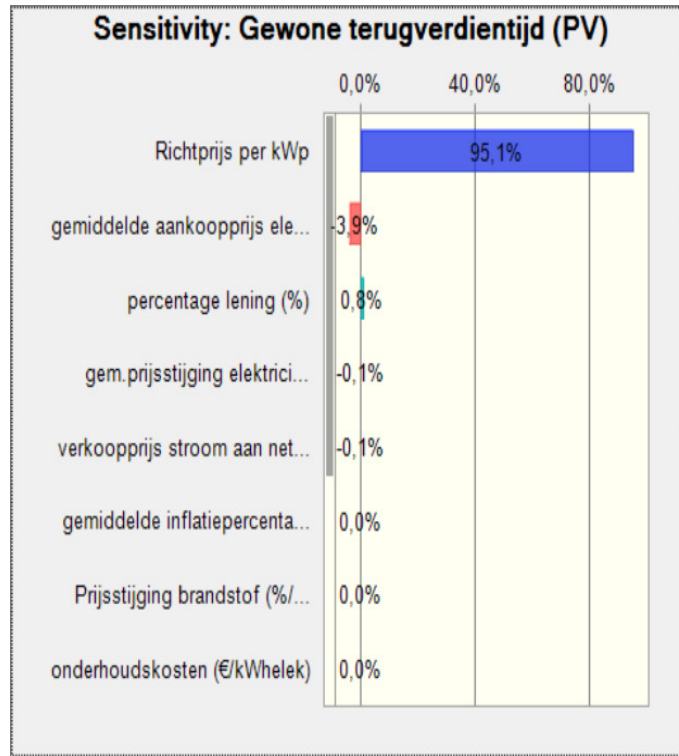


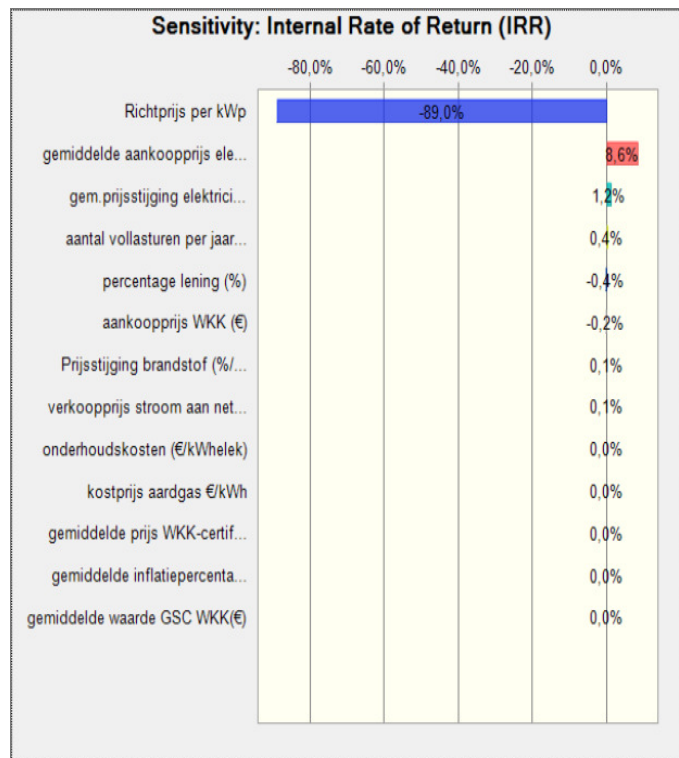
Assumption: verkoopprijs stroom aan net (€/kWh)

Triangular distribution with parameters:

10%	0,05
Likeliest	0,06
90%	0,06







Bijlage 15: modeloutput gevalstudie 2

Run preferences:

Number of trials run 100.000
 Extreme speed
 Monte Carlo
 Random seed

Run statistics:

Total running time (sec) 95,57
 Trials/second (average) 1.046
 Random numbers per sec 15.696

Crystal Ball data:

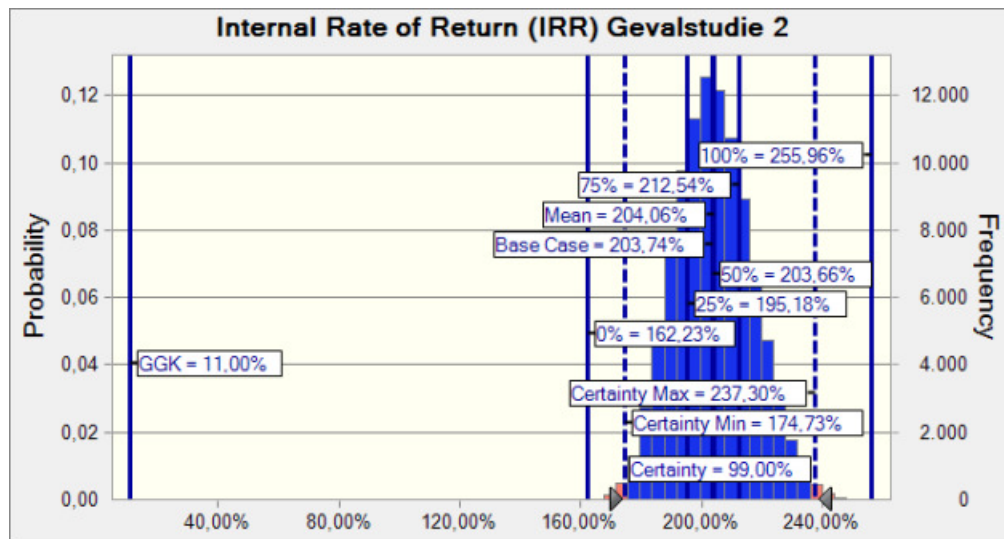
Assumptions 15
 Correlations 0
 Correlated groups 0
 Decision variables 0
 Forecasts 5

Forecasts

Forecast: Internal Rate of Return (IRR) Gevalstudie 2

Summary:

Certainty level is 99,000%
 Certainty range is from 174,73% to 237,30%
 Entire range is from 162,23% to 255,96%
 Base case is 203,74%
 After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,04%



Statistics:

Trials 100.000
 Base Case 203,74%
 Mean 204,06%
 Median 203,66%

Forecast values

Mode	---
Standard Deviation	12,57%
Variance	1,58%
Skewness	0,1596
Kurtosis	2,83
Coeff. of Variability	0,0616
Minimum	162,23%
Maximum	255,96%
Range Width	93,72%
Mean Std. Error	0,04%

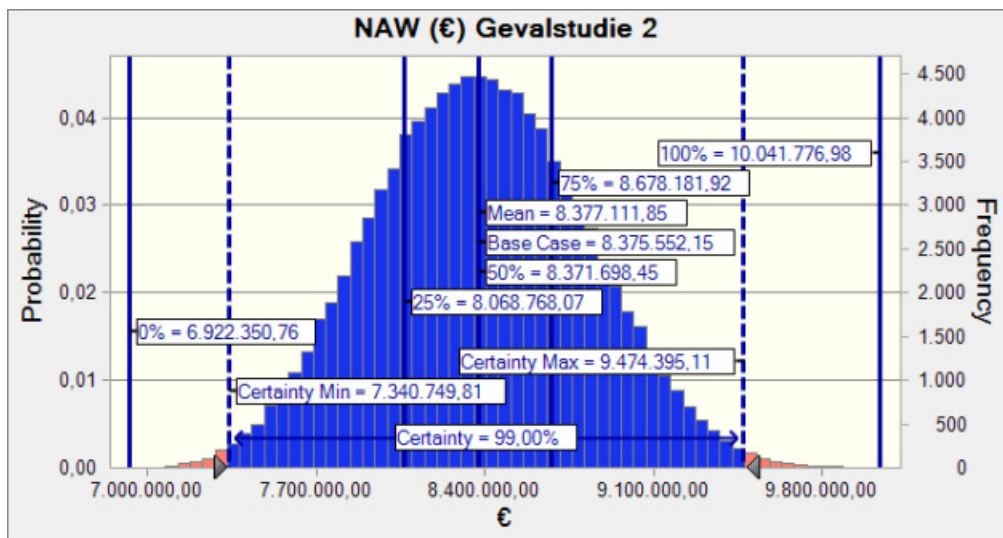
Forecast: Internal Rate of Return (IRR) Gevalstudie 2 (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	162,23%
10%	188,07%
20%	193,20%
30%	197,07%
40%	200,45%
50%	203,66%
60%	206,93%
70%	210,51%
80%	214,77%
90%	220,62%
100%	255,96%

Forecast: NAW (€) Gevalstudie 2

Summary:

Certainty level is 99,000%
 Certainty range is from 7.340.749,81 to 9.474.395,11
 Entire range is from 6.922.350,76 to 10.041.776,98
 Base case is 8.375.552,15
 After 100.000 trials, the std. error of the mean is 1.380,29



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	8.375.552,15
Mean	8.377.111,85
Median	8.371.703,22
Mode	---
Standard Deviation	436.485,58
Variance	190.519.664.214,50
Skewness	0,0682
Kurtosis	2,72
Coeff. of Variability	0,0521
Minimum	6.922.350,76
Maximum	10.041.776,98
Range Width	3.119.426,22
Mean Std. Error	1.380,29

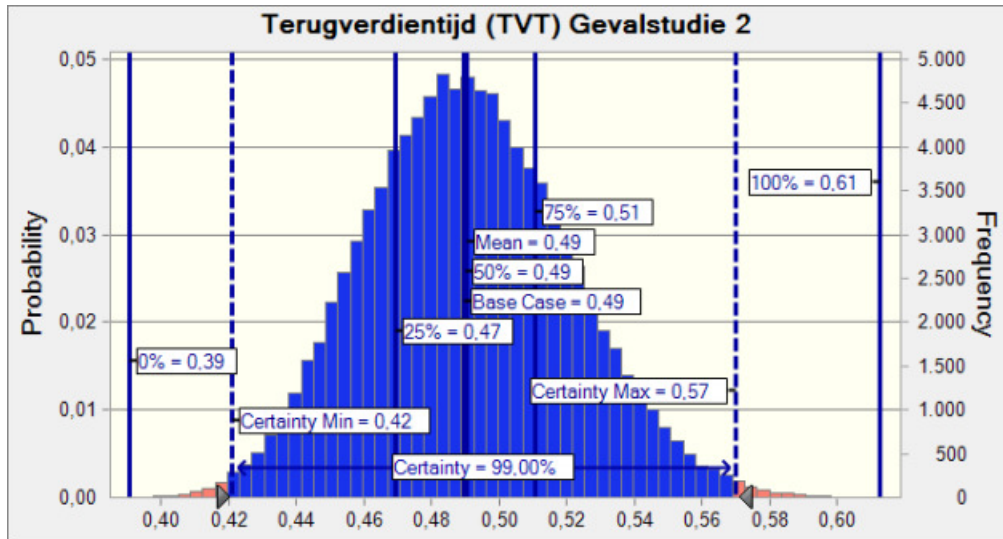
Forecast: NAW (€) Gevalstudie 2 (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	6.922.350,76
10%	7.811.780,00
20%	7.996.469,98
30%	8.134.889,27
40%	8.257.149,88
50%	8.371.698,45
60%	8.487.332,74
70%	8.610.920,98
80%	8.753.826,55
90%	8.949.923,73
100%	10.041.776,98

Forecast: Terugverdientijd (TVT) Gevalstudie 2

Summary:

- Certainty level is 99,000%
- Certainty range is from 0,42 to 0,57
- Entire range is from 0,39 to 0,61
- Base case is 0,49
- After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	0,49
Mean	0,49
Median	0,49
Mode	---
Standard Deviation	0,03
Variance	0,00
Skewness	0,1671
Kurtosis	2,84
Coeff. of Variability	0,0610
Minimum	0,39
Maximum	0,61
Range Width	0,22
Mean Std. Error	0,00

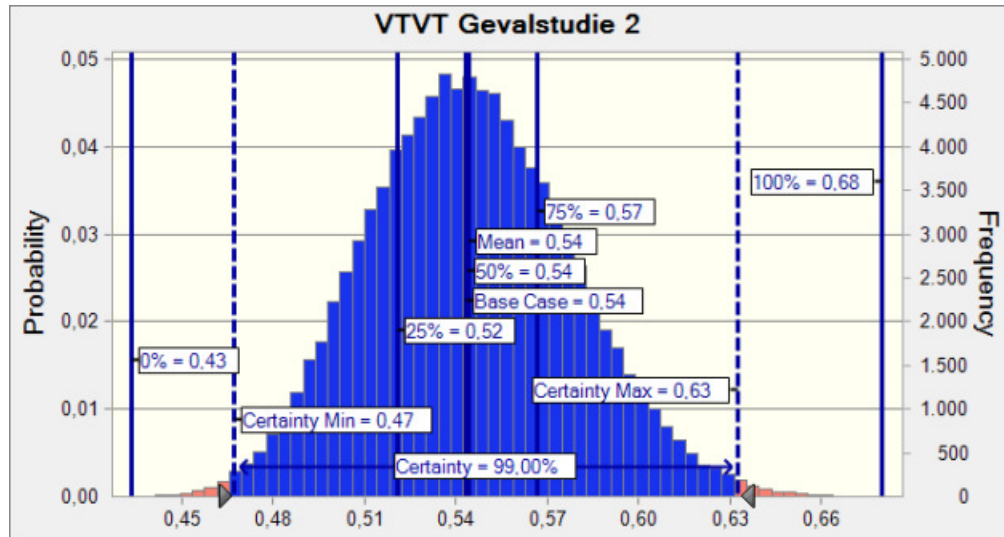
Forecast: Terugverdientijd (TVT) Gevalstudie 2 (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	0,39
10%	0,45
20%	0,46
30%	0,47
40%	0,48
50%	0,49
60%	0,50
70%	0,51
80%	0,52
90%	0,53
100%	0,61

Forecast: VTVT Gevalstudie 2

Summary:

Certainty level is 99,000%
 Certainty range is from 0,47 to 0,63
 Entire range is from 0,43 to 0,68
 Base case is 0,54
 After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	0,54
Mean	0,54
Median	0,54
Mode	---
Standard Deviation	0,03
Variance	0,00
Skewness	0,1671
Kurtosis	2,84
Coeff. of Variability	0,0610
Minimum	0,43
Maximum	0,68
Range Width	0,25
Mean Std. Error	0,00

Forecast: VTVT Gevalstudie 2 (cont'd)

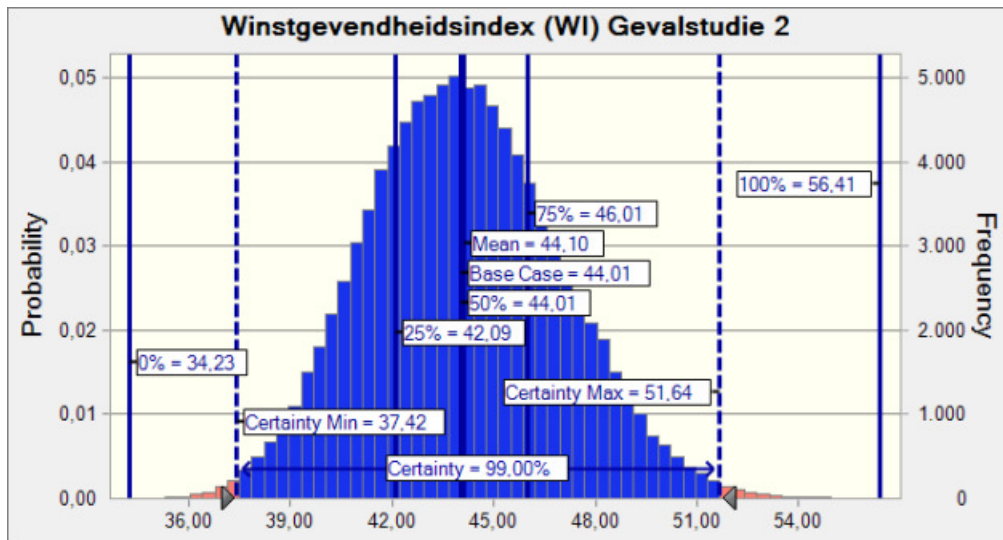
Percentiles:	Forecast values
0%	0,43
10%	0,50
20%	0,52
30%	0,53
40%	0,54
50%	0,54

60%	0,55
70%	0,56
80%	0,57
90%	0,59
100%	0,68

Forecast: Winstgevendheidsindex (WI) Gevalstudie 2

Summary:

- Certainty level is 99,000%
- Certainty range is from 37,42 to 51,64
- Entire range is from 34,23 to 56,41
- Base case is 44,01
- After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,01



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	44,01
Mean	44,10
Median	44,01
Mode	---
Standard Deviation	2,84
Variance	8,09
Skewness	0,1660
Kurtosis	2,85
Coeff. of Variability	0,0645
Minimum	34,23
Maximum	56,41
Range Width	22,18
Mean Std. Error	0,01

Forecast: Winstgevendheidsindex (WI) Gevalstudie 2 (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	34,23
10%	40,48
20%	41,64
30%	42,50
40%	43,27
50%	44,01
60%	44,74
70%	45,55
80%	46,52
90%	47,84
100%	56,41

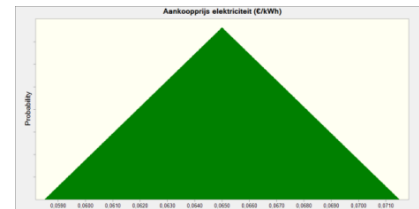
End of Forecasts

Assumptions

Assumption: Aankooprijs elektriciteit (€/kWh)

Triangular distribution with parameters:

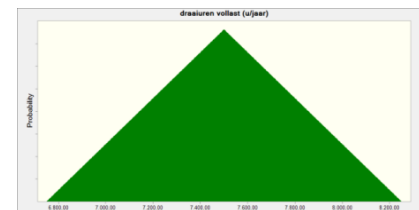
Minimum	0,0585
Likeliest	0,0650
Maximum	0,0715



Assumption: draaiuren vollast (u/jaar)

Triangular distribution with parameters:

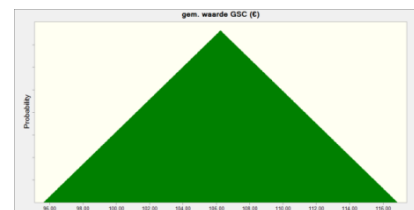
Minimum	6.750,00
Likeliest	7.500,00
Maximum	8.250,00



Assumption: gem. waarde GSC (€)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	95,63
Likeliest	106,25
Maximum	116,88

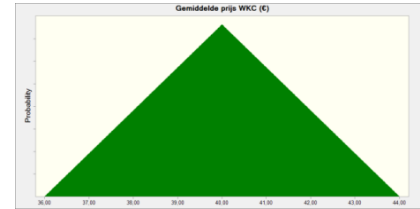


Assumption: Gemiddelde prijs WKC (€)

kan ook uitgedrukt worden als x% van de boeteprijs.

Triangular distribution with parameters:

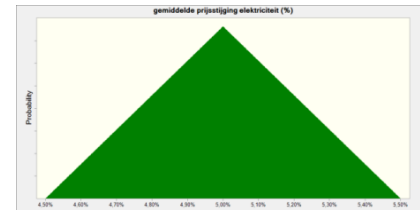
Minimum	36,00
Likeliest	40,00
Maximum	44,00



Assumption: gemiddelde prijsstijging elektriciteit (%)

Triangular distribution with parameters:

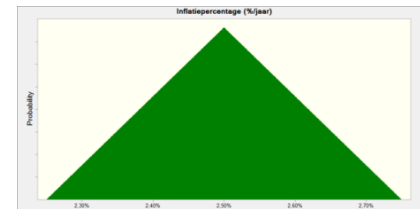
Minimum	4,50%
Likeliest	5,00%
Maximum	5,50%



Assumption: Inflatiepercentage (%/jaar)

Triangular distribution with parameters:

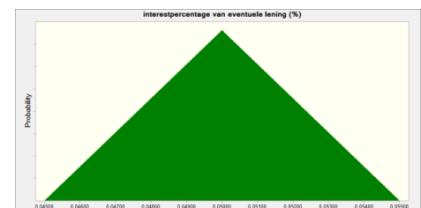
Minimum	2,25%
Likeliest	2,50%
Maximum	2,75%



Assumption: interestpercentage van eventuele lening (%)

Triangular distribution with parameters:

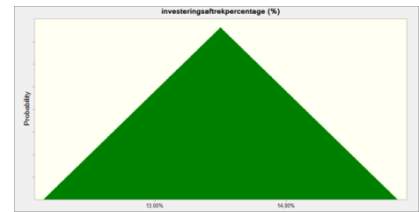
Minimum	0,04500
Likeliest	0,05000
Maximum	0,05500



Assumption: investeringsaftrekpercentage (%)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	12,15%
Likeliest	13,50%
Maximum	14,85%



Assumption: Investeringsuitgave (€)

Indien deze kosten niet gekend zijn kunnen ze worden geschat op basis van de grafiek die weergegeven is in tabblad "grafieken"

Triangular distribution with parameters:

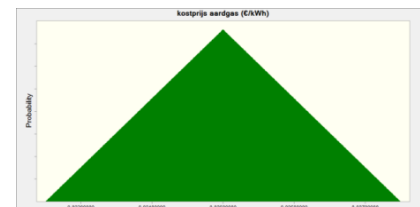
Minimum	630.000
Likeliest	700.000
Maximum	770.000



Assumption: kostprijs aardgas (€/kWh)

Triangular distribution with parameters:

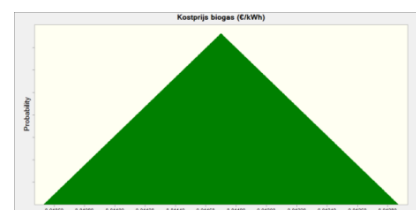
Minimum	0,02250000
Likeliest	0,02500000
Maximum	0,02750000



Assumption: Kostprijs biogas (€/kWh)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	0,01053
Likeliest	0,01170
Maximum	0,01287

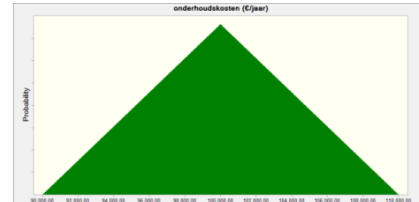


Assumption: onderhoudskosten (€/jaar)

Indien deze kosten niet gekend zijn kunnen ze worden geschat op basis van de grafiek die weergegeven is in tabblad "grafieken"

Triangular distribution with parameters:

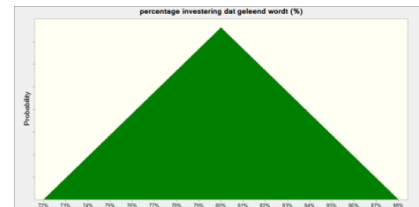
Minimum	90.000,00
Likeliest	100.000,00
Maximum	110.000,00



Assumption: percentage investering dat geleend wordt (%)

Triangular distribution with parameters:

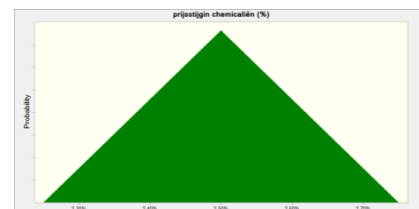
Minimum	72%
Likeliest	80%
Maximum	88%



Assumption: prijsstijgin chemicaliën (%)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	2,25%
Likeliest	2,50%
Maximum	2,75%

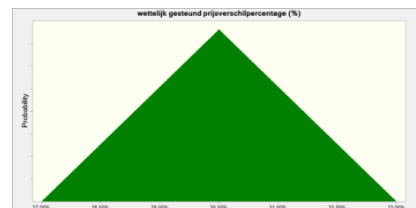


Assumption: wettelijk gesteund prijsverschilpercentage (%)

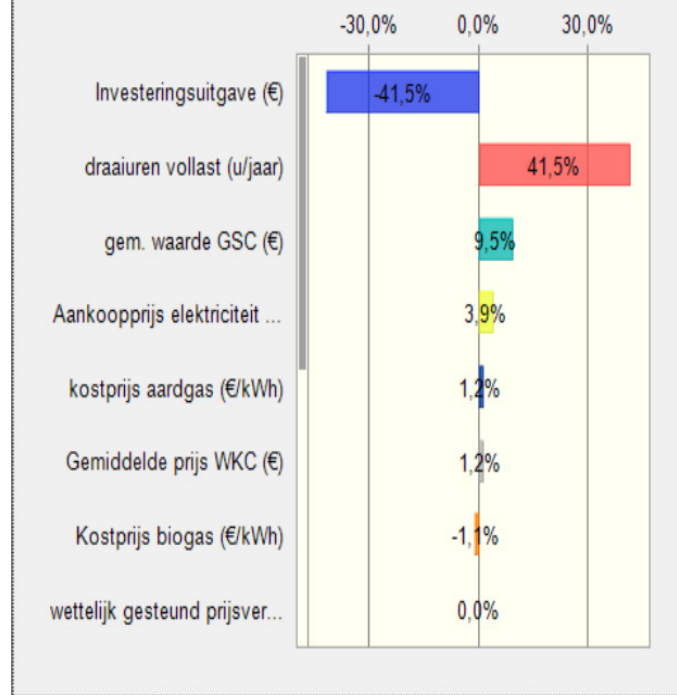
Voor 2010 vastgelegd op 30%.

Triangular distribution with parameters:

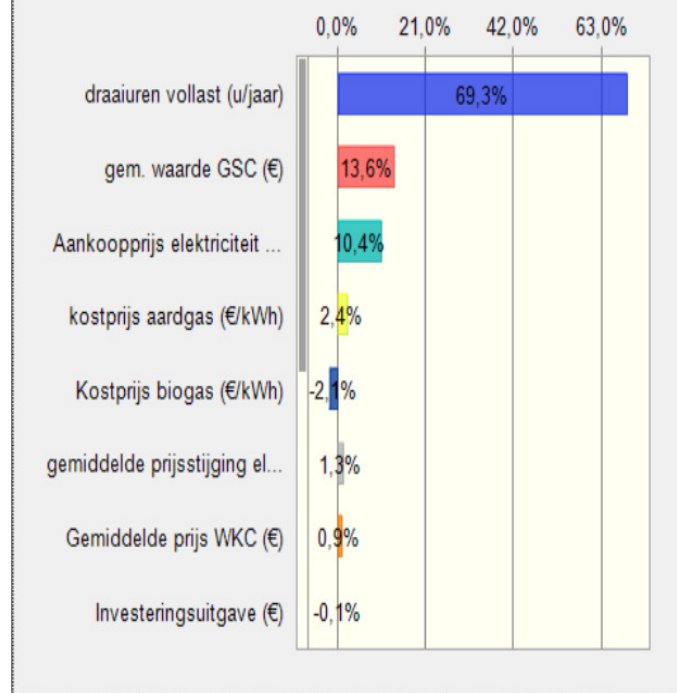
Minimum	27,00%
Likeliest	30,00%
Maximum	33,00%

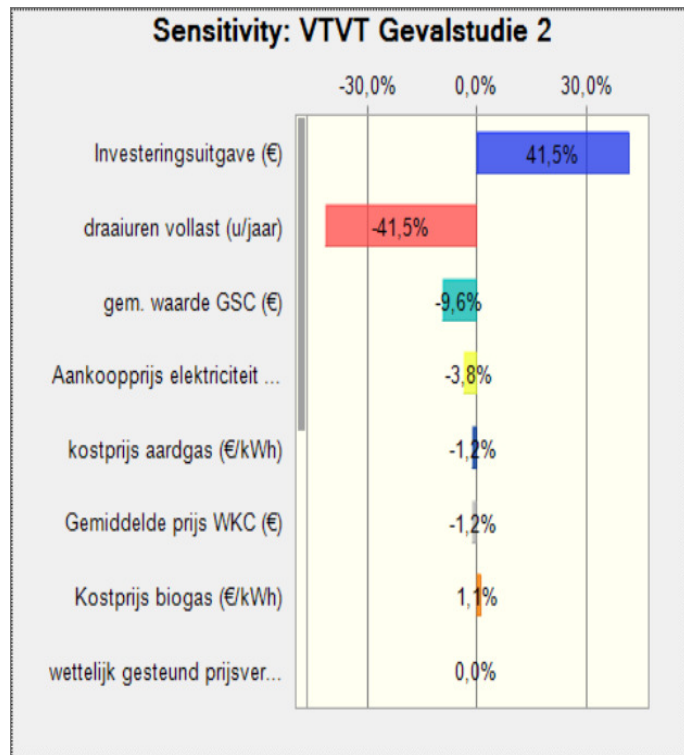
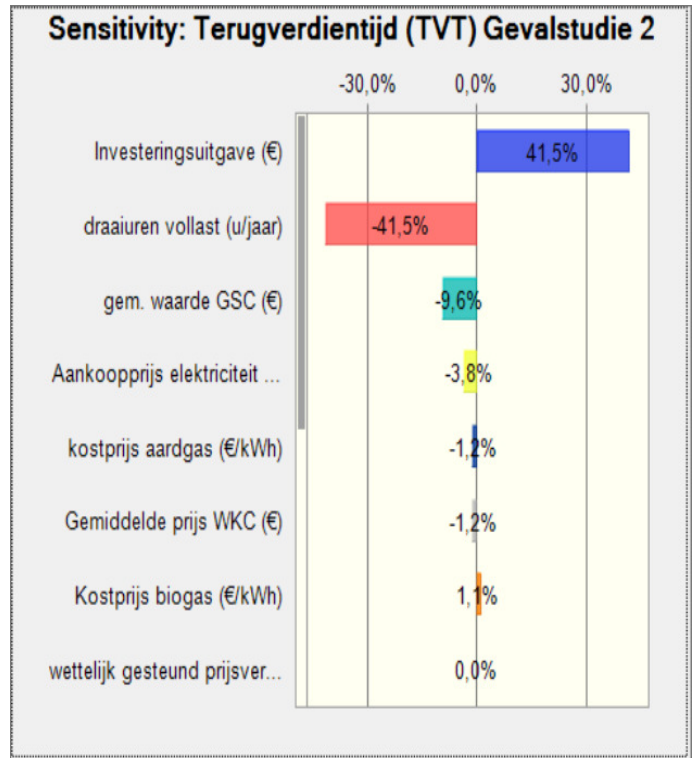


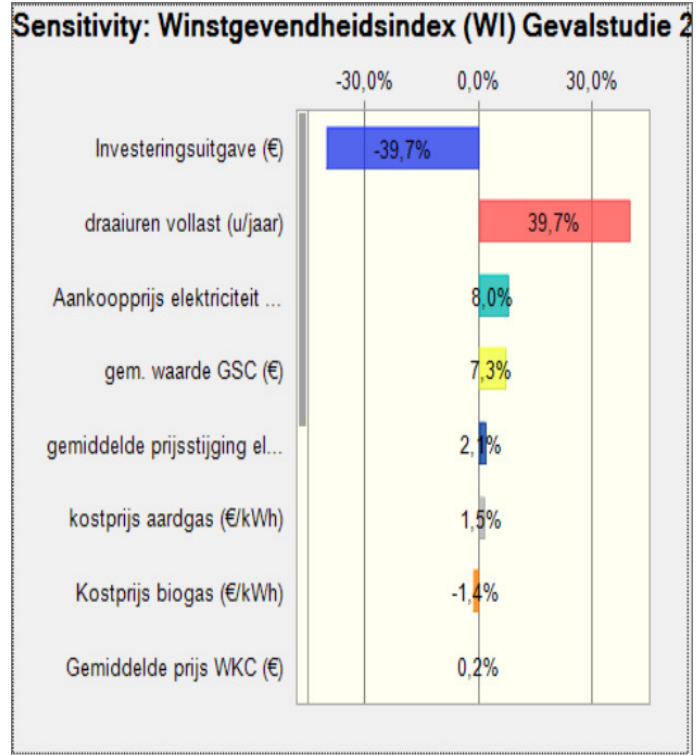
Sensitivity: Internal Rate of Return (IRR) Gevalstudie 2



Sensitivity: NAW (€) Gevalstudie 2







Bijlage 16: investeringsanalyse, relatieve kasstromen gevalstudie 2

	begin jaar	eind jaar 1	eind jaar 2	...	eind jaar 19	eind jaar 20
Relatieve kasstromen	1			...		
<i>investering</i>	-525.000,00					
<i>aanschafkosten</i>	0,00					
<i>plaatsingskosten</i>	0,00					
<i>projectkosten</i>	0,00					
onderhoudskosten						
jaarlijkse onderhoudskosten		0,00	0,00	...	0,00	0,00
groot onderhoud						
werkingskosten						
kostprijs energie		327.990,87	344.075,95	...	778.695,75	817.140,09
uitbatingskost (personeelskost, onderhoudsproducten,...)		0,00	0,00	...	0,00	0,00
andere						
bedieningskosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
verzekeringskosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
administratieve kosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
subsidies						
investeringssubsidies						
verhoogde investeringsaftrek		32.120,55				
ecologiepremie						
uitbatingssubsidies						
WKC		180.611,79	180.611,79	...	0,00	0,00
GSC		515.578,13	515.578,13	...	515.578,13	515.578,13
andere						
belastingsschild op afschrijvingen		8.922,38	8.922,38	...	8.922,38	8.922,38
extra belastingsschild van de interesten mbt WKK		7.171,67	6.955,32	...	1.071,83	549,05
Kasstroom	-525.000,00	1.072.395,38	1.056.143,56	...	1.304.268,08	1.342.189,64

Bijlage 17: investeringsanalyse, relatieve kasstromen, extra vollasturen overgedimensioneerde installatie

	begin jaar	eind jaar 1	eind jaar 2	...	eind jaar 19	eind jaar 20
Relatieve kasstromen	1			...		
investering	-63.750,00					
aanschafkosten	0,00					
plaatsingskosten	0,00					
projectkosten	0,00					
onderhoudskosten						
jaarlijkse onderhoudskosten		-2.877,74	-2.949,68	...	-4.488,29	-4.600,50
groot onderhoud						
werkingskosten						
kostprijs energie		7.530,46	7.822,90	...	14.358,61	14.836,56
uitbatingskost (personeelskost, onderhoudsproducten,...)		0,00	0,00	...	0,00	0,00
andere						
bedieningskosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
verzekeringskosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
administratieve kosten/jaar		0,00	0,00	...	0,00	0,00
subsidies						
investeringssubsidies						
verhoogde investeringsaftrek		4.478,18				
ecologiepremie		10.200,00				
uitbatingssubsidies						
WKC		4.722,44	4.722,44	...	0,00	0,00
GSC		0,00	0,00	...	0,00	0,00
andere						
belastingsschild op afschrijvingen		1.083,43	1.083,43	...	1.083,43	1.083,43
extra belastingsschild van de interesten mbt WKK		758,40	621,15	...	0,00	0,00
Kasstroom	-63.750,00	25.895,18	11.300,25	...	10.953,75	11.319,49

Tabel 37: economische evaluatiemaatstaven overgedimensioneerde WKK, verhoogde vollasturen

Economische evaluatiemaatstaf	Waarde
TVT	3,96 jaar
VTVT	5,03 jaar
NAW	62 559 EUR
WI	3,55
IRR	21,87%

Bijlage 18: lijst met ervaringsdeskundigen

Naam	Bedrijf	Datum gesprek
Hans de Bruycker	Recyclage Gielen NV	22 juni 2009
Walter Lemmens	Claessen ELGB	22 juni 2009
Johnny Vaesen	Lear Corporation Belgium cva	18 september 2009
Jozef Peuters	Sadepan Chimica NV	24 november 2009
Danny Fenucci	Ineltra systems nv	15 april 2010
Kevin Schrijvers	Encon	23 april 2010

Opmerking: de ervaringsdeskundige die de informatie voor gevalstudie 2 verschaft is niet bij bovenstaande lijst toegevoegd daar ter bescherming van het bedrijfsgeheim zowel de persoon als het bedrijf anoniem wensen te blijven.

Referenties

Centinkaya, E., & Lemmens, J. (2008). *Dimensionering van Micro-WKK voor residentiële gebouwen*. (Rapport over de masterproef, Katholieke Hogeschool Limburg, 2008). Ontleend aan <https://doks.khlim.be/do/record/Get?dispatch=view&recordId=SIWT413eb8681a58cfe3011a6d872ea00134>.

Cogen Vlaanderen a. (2006). *Basishandboek warmtekrachtkoppeling*. Opgevraagd op 20/11/2009 via www.cogenvlaanderen.be.

Cogen Vlaanderen b. (2009). *WKK-inventaris in Vlaanderen 2008*. Opgevraagd op 30/12/2009, via www.cogenvlaanderen.be.

Cogen Vlaanderen c. (z.j.). *Verhoogde investeringsaftrek voor WKK-installaties*. Opgevraagd op 25/02/2010 via http://www.cogenvlaanderen.be/beheer/uploads/2008.12.02_-_investeringsaftrek.pdf

Cogen Vlaanderen. (2009). Aantal verhandelde warmtekrachtcertificaten en gemiddelde prijs. Opgevraagd op 31/03/2010 via <http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/54945.pdf>

Couder J., Wustenberghs H., Defrijn S., Brouwers J. en Verbruggen A.. (2007). *Milieurapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2007, Energie*. Opgevraagd via www.milieurapport.be

De Ruijter, J.,A.,F.(2008) *QuickScan verkenning haalbaarheid en marktaanbod brandstofcelwarmtekracht voor de glastuinbouw*. Op 26 december geraadpleegd op www.energiek2020.nu.

Deloderre, E., Haulotte, S., & Valenduc, C. (2009). *Het fiscaal memento*. Geraadpleegd op 06/03/2010) via http://www.docufin.fgov.be/intersalgnl/thema/publicaties/memento/pdf/FM2009_V11_volledig.pdf.

Dexters, A. (z.j.). *Hoe dimensioneert men een WKK?* Opgevraagd op 9/02/2010, via <http://www.vei.be/technische-bib>.

Energik vzw. (2004). *Handboek warmtekrachtkoppeling*. Geraadpleegd op www.energiek.be.

Eurostat. (2009). *Energy, transport environment indicators*. Opgevraagd op 29 april 2010 via

Eyckmans, B. (2007). *Warmtekrachtkoppeling in de tertiaire sector. Gevalstudie: AZ Sint Jozef Malle*. (Thesis, Universiteit Hasselt, 2007). Ontleend aan <http://doclib.uhasselt.be/dspace/bitstream/1942/1894/1/eyckmans.pdf>.

Federale overheidsdienst financiën. (2009). *Bericht in verband met de investeringsaftrek-aanslagjaar 2010*. Geraadpleegd op 27/02/2010 via <http://fiscus.fgov.be/interfaoifnl/Investeringsaftrek/Bericht-aj2010.pdf>.

FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie. (2009). *De energiemarkt in 2007*. Opgevraagd op 18/01/2010 via http://statbel.fgov.be/nl/binaries/evolution_energy_market_2007_nl_tcm325-64918.pdf.

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie. (2008). *Vademecum van de onderneming*. Geraadpleegd op 24/02/2010 via http://economie.fgov.be/nl/binaries/4_3_1_NL_tcm325-35892.pdf

Giancoli, D. C. (2005). *Physics: Principles with applications*. New Jersey: Pearson Education, Inc.

Glasreg. (2005) *Energieprijzen vergelijken*. Opgevraagd op 23 april 2010 via <http://glasreg.khk.be/energie/publicaties/Energieprijzenvergelijken.pdf>.

Kerkum, F.C.M., Vaate, A. bij de, Vendrig, K., Bijstra, D. (2003) *Effecten van thermische verontreiniging op aquatische flora en fauna*. Opgevraagd op 29/12/2009, via <http://www.verkeerenwaterstaat.nl/kennisplein/1/2/129287/2003.082X.pdf>.

Koninklijk meteorologisch instituut van België.(2008). *Jaarverslag 2007*. Opgevraagd op 6/04/2010 via <http://www.meteo.be/meteo/view/nl/103541-Publicaties.html?keyword=klimatologisch+jaaroverzicht&categorygrouplist=>

Kydes, A. (2007) *Primary energy*. Geraadpleegd op http://www.eoearth.org/article/Primary_energy.

Laveren, E., Engelen, P., J., Limère, A., Vandermaele, S.(2004). *Handboek financieel beheer*. Antwerpten: Intersentia.

Mercken, R. (2004). *De investeringsbeslissing: een beleidsgerichte analyse*. Antwerpen: Garant.

Miller, T. (2005). *Living in the environment: Principles, Connections, and Solutions*. (aanvullen met drukgegevens)

Van Dale groot woordenboek van de Nederlandse taal, 14^e editie. (2005).

Vangronsveld, J., (2008). *Duurzame ontwikkeling & milieutechnologie: onderdeel 'ecologie'*. Campus Diepenbeek: Universiteit Hasselt.

Viessman. (2009). *Verwarmen met gas*. Opgevraagd op 20/03/2010 via http://www.viessmann.be/etc/medialib/internet-be/technische_dokumentatie/nederlands/folders.Par.95976.File.File.tmp/Brochure-verwarmen-met-gas-NL.pdf.

Vlaams agentschap ondernemen. (z.j.). Energiescan xxx nv. Opgevraagd op 12 maart 2010 via <http://www.rationeelenergiegebruik.be/images/voorbeeldscan2.pdf>.

Vlaamse Milieumaatschappij. (2009). *Genk-Zuid*. Opgevraagd op 28/12/2009, via http://www.vmm.be/publicaties/2009/Genk_22-jan-2009_infoavond_TW.pdf.

Vlaamse regering **a**. (2006). *Besluit van de Vlaamse Regering ter bevordering van de elektriciteitsopwekking in kwalitatieve warmtekrachtinstallaties*. Opgevraagd op 25/03/2010 via www.codex.vlaanderen.be.

Vlaamse regering **b**. (2006). *Ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties*. Opgevraagd op 27/02/2010 via www.codex.vlaanderen.be.

VREG. (2010). *Aantal verhandelde warmtekrachtcertificaten en gemiddelde prijs*. Opgevraagd op 26/02/2010 via <http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/54945.pdf>.

VREG. (2009). *Marktrapport 2008*. Opgevraagd op 10/12/2009, via http://www.vreg.be/nl/03_algemeen/05_publicaties/02_rapporten.asp#anker2008.

VREG (2008). *Mededeling van de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt van 29 januari 2008*. Opgevraagd op 30/04/2010 via: http://www.vreg.be/nl/03_algemeen/04_beslissingen/02_mededelingen.asp

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Economische analyse van de integratie van warmtekrachtkoppeling in bedrijven: gevalstudies

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen: handelsingenieur-technologie-, innovatie- en milieumanagement**

Jaar: **2010**

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.

Voor akkoord,

Olaerts, Jasper

Datum: **1/06/2010**