

Warmtekrachtkoppeling

Michel Raskin, COGEN Vlaanderen

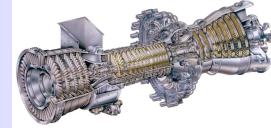
Bron: David Mertens, SPE

Workshop Energiesamenwerking in bedrijvenclusters Brugge, 27 sept 2007

1

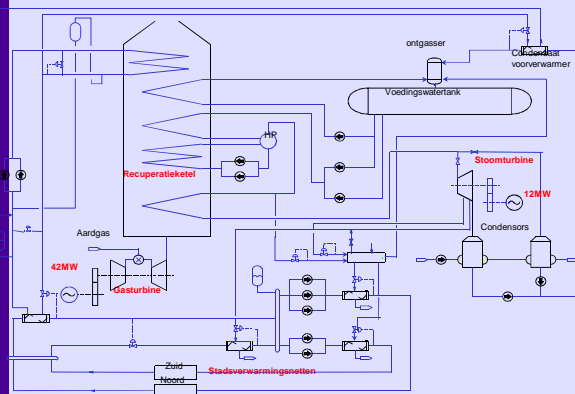
Een voorbeeld ter inleiding (1)

- CHP/CC Gent Ham (54 MW)
 - Gasturbine GE LM 6000PB DLE (42 MW)
 - Afgassenketel zonder bijstook
 - Stoom: 50 t/h @ 32 bar, 450°C
 - Warm water : 9 MW
 - Aftapcondensatiestoomturbine (12 MW)
 - Stadsverwarmingsnet Gent (45 MWth)
 - NOX < 30 ppm, CO < 5 ppm
 - Opstart eind 1994
 - Eerste LM 6000 DLE ter wereld en eerste LM6000 in België
 - Fleetleader LM6000DLE; +/- 90000 draaiuren



2

Een voorbeeld ter inleiding (2)



3

Economische aspecten van warmtekrachtkoppeling



4

Focus op gasturbines

Gebaseerd op meer algemeen paper:

"Combined heat and power in a liberalised energy market"; Energy Conversion and Management, Volume 48, Issue 9, September 2007, Pages 2542-2555; Michel De Paep and David Mertens

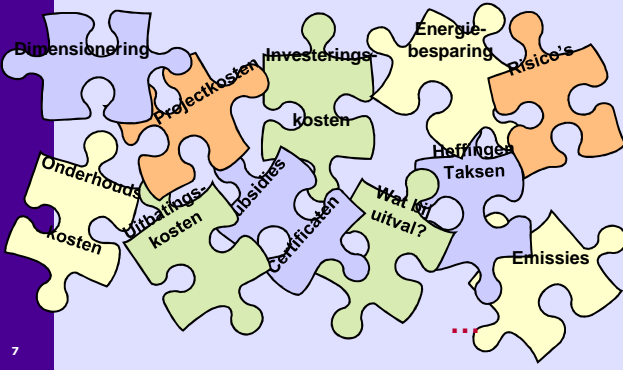
5

Inleiding

- Economische aspecten van WKK...
 - Voor de bouw van de installatie
 - Nagaan of WKK in gegeven omstandigheden rendabel is
 - Motiveren investeringsbeslissing
 - Vastleggen economisch meest interessante configuratie
 - ➔ Haalbaarheidsstudie, business plan,...
 - Na de bouw van de installatie
 - Optimalisatie van de uitbating van de installatie
 - Inspelen op opportuniteiten, reageren op bedreigingen
 - Realisatie van de beoogde winsten

6

- Economics van WKK: een complexe puzzel...



7

- Resultaat van de puzzel
 - Rendabiliteit WKK-project):
 - Net present value (NPV)

$$NPV = -|A_0| + \frac{A_1}{(1+r)} + \frac{A_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{A_n}{(1+r)^n}$$

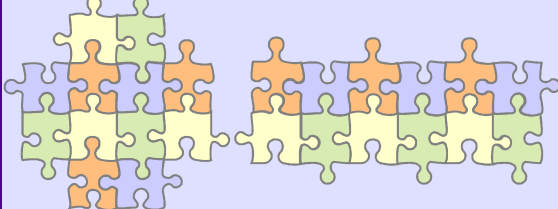
- Internal rate of return (IRR)
 - r waarvoor $NPV = 0$ (bij gegeven n)

- Payback time (PBT)
 - n waarvoor $NPV = 0$ (bij gegeven r)

- IRR, NPV, PBT worden berekend na belastingen
- Project is rendabel als $NPV > 0$; $IRR > x$ of $PBT > y$

8

- Resultaat van de puzzel
 - Afhankelijk van hoe elk puzzelstukje eruitziet
 - Belang van correcte inschatting van de evolutie van de belangrijkste parameters over de uitbatingsperiode
 - Afhankelijk van hoe de stukjes in mekaar passen
 - Belang van de dimensionering

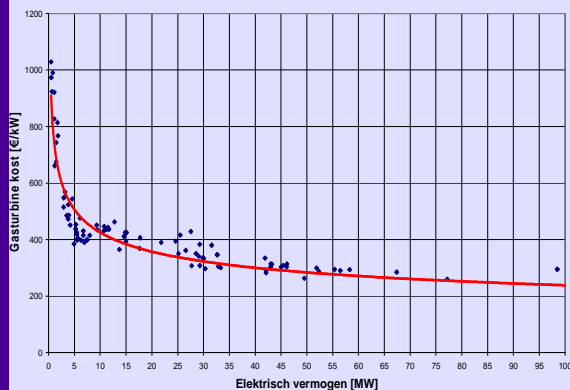


9

- Investeringskost van een WKK-project met gasturbine
 - Niet enkel gasturbine-generatorpackage
 - Ook:
 - Toestellen voor warmterecuperatie (afgassenketel,...)
 - Elektrische aansluiting (aansluiting, opvoertransfo, hulpdiensten, noodvoeding)
 - Gasaansluiting (aansluiting, ontpanstation,...)
 - Procesaansluiting (stoom, condensaat,...)
 - Koeling (alternator, smeeroliecircuit,...)
 - Luchtaanzuigsysteem
 - Civiele werken
 - Instrumentatie
 - Meetsystemen (tellers, emissie monitoring,...)
 - Diverse voorzieningen (waterbehandeling, brandbestrijding,...)
 - Constructie
 - Commissioning
 - Engineering
 - Soft costs (verzekering, vergunningen,...)
 - ...

10

- Kostprijs gasturbinepackages



11

- Totale investeringskosten
 - Sterk projectafhankelijk
 - Sterk afhankelijk van voorkeuren/wensen klant en wetgevende eisen (emissiereducertechnieken, dual fuel, fresh air firing, spray intercooling)
 - Richtwaarde: ...750 €/kW ... 1250 €/kW ...
 - Recente evoluties
 - Toegenomen prijzen van de meeste metaalsoorten en -legeringen
 - Toegenomen vraag naar gasturbines/elektriciteitscentrales in de markt
- ➔ Stijgende tendens in investeringskosten gasturbines en WKK

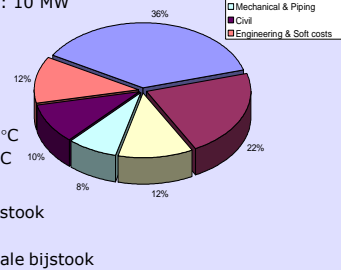
12

Investeringskost

Voor de promotie van WKK in Vlaanderen

Voorbeeld

- Elektrisch vermogen: 10 MW
- Stoomcondities
 - 40 bar
 - 360°C
- Condensaatretour:
 - Retour: 85%
 - Temperatuur: 95°C
 - Deminwater: 15°C
- Stoomproductie:
 - 20 t/h zonder bijstook
 - 30 t/h nominaal
 - 40 t/h op maximale bijstook
- Ketel in gebouw



➔ Totale investeringskost: 12.9 M€

13

Investeringsubsidies

Voor de promotie van WKK in Vlaanderen

- Ecologiepremie
 - Steunmaatregel van Vlaamse Overheid
 - Subsidie van 10.5% voor KMO; 7.5% voor GO
 - Beperkingen
 - Maximum steunbedrag: € 1.5 miljoen
 - Enkel voor ondernemingen, sommige sectoren uitgesloten
 - Dossier in te dienen voor eerste factuur
 - Hervorming naar callsysteem met lagere steunpercentages aangekondigd
- Verhoogde investeringsaftrek
 - Federale steunmaatregel
 - Fiscale maatregel: Verminderen belastbare winst van de onderneming met 14.5% van het investeringsbedrag
 - ➔ netto-subsidie +/- 5% van investeringsbedrag

14

Onderhouds- en uitbatingskost

Voor de promotie van WKK in Vlaanderen

- Veel meer dan enkel revisies...
 - Gepland onderhoud (revisies en inspecties)
 - Correctief onderhoud
 - Dagelijks onderhoud
 - Spare parts
 - Consumables (deminwater voor spray intercooling,...)
 - Chemie (waterbehandeling)
 - Dagelijkse bedrijfsvoering
 - Online en offline turbinewas
 - Monitoring
 - Permanentie 24/24 (onderhoud en bedrijfsvoering)
 - Dagelijkse rondgang en checklists (cf. stoomwetgeving)
 - Rapportering, planning, documentatie

15

Onderhouds- en uitbatingskost

Voor de promotie van WKK in Vlaanderen

- Gepland gasturbine-onderhoud
 - Periodieke inspectie (trimestriële, semestriële, jaarlijks)
 - Onderhoud hulpapparatuur
 - Boroscopie
 - ...
 - Grote revisie
 - "Hot section" of "Hot gas path": na 25000 – 32000 draaiuren
 - "Major overhaul": na 50000 – 64000 draaiuren
 - Tijdstip gepland onderhoud: functie van draaiuren
 - Aeroderivatives: werkelijk aantal draaiuren
 - Heavy duty machines: EOH of Equivalent Operating Hours
- ➔ Tijdstip revisie afhankelijk van aantal starts
- # X uren extra tellen per startbeurt
- # grafiek

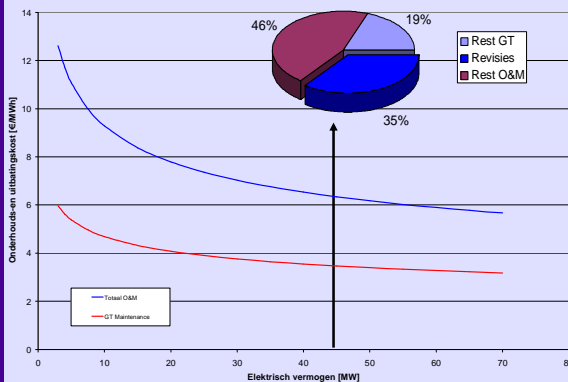


16

Onderhouds- en uitbatingskost

Voor de promotie van WKK in Vlaanderen

Richtwaarden



17

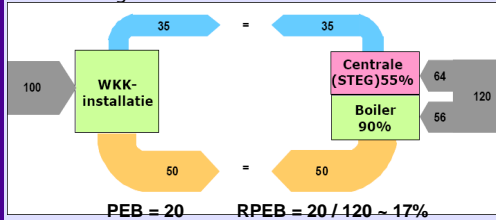
Reductie energiefactor

Voor de promotie van WKK in Vlaanderen

- Belangrijkste verschuivingen energiefactor ten gevolge van WKK
 - Toename brandstofafluur
 - Behoud brandstofverbruik voor warmteproductie
 - Bijkomend brandstofverbruik voor elektriciteitsproductie
 - Verhoogde capaciteitsreservatie
 - Reductie elektriciteitsfactor
 - Vermeden aankoop van door WKK geproduceerde en lokaal verbruikte elektriciteit
 - Beperkte elektriciteitsaankoop (backup en eventueel bijkomend verbruik)
 - Behoud capaciteitsreservatie (eventueel met korting)
 - Eventueel verkoop van overschot aan geproduceerde elektriciteit

18

- Energiebesparing als maat voor de reductie van de energiefactuur
 - Brandstofverbruik STEG-centrale en boiler als maat voor energiekost zonder WKK
 - Brandstofverbruik WKK als maat voor energiefactuur met WKK



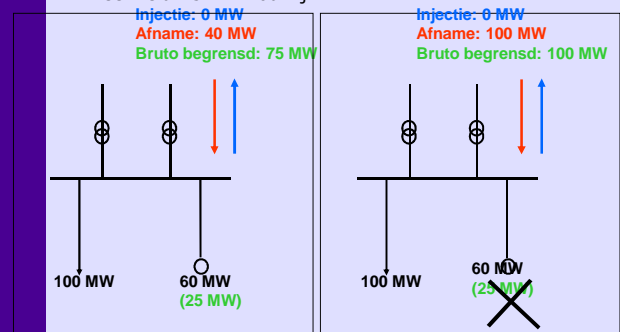
- Reductie energiefactuur tegengewerkt door extra kosten bij uitval of modulatie gasturbine
 - Verhoogde kost voor aankoop elektriciteit tijdens stilstand GT (intraday of day-ahead markt)
 - Verhoogde vermogenterm elektriciteit indien te lange stilstandtijd
 - Balancing
 - basisflexibiliteit inbegrepen in reservatie
 - overschrijding basisflexibiliteit mogelijk bij stilstand gasturbine

- Onderscreven vermogen
 - Normaal tarief
 - 380/220/150 kV: 8.75 €/kW/jaar
 - 70/36/30 kV: 19.54 €/kW/jaar
 - Korting decentrale productie (WKK): 30%

Voorwaarden:

 - Jaaronderschrijving
 - Onderscreven vermogen gedekt door lokale productie, max. 75 MW
 - Afname van het net gedurende max. 1000 h/jaar
 - Indien meer: aangerekend als bijkomend vermogen: seizoen- en tijdstipafhankelijk
 - Injectie en afname zijn zelfde 'toegangspunt'
 - Meerdere aansluitingspunten op zelfde spanningsniveau kunnen één toegangspunt vormen
 - Verschillende spanningsniveau's → verschillende toegangspunten

- Variabele netkosten: definitie 'Bruto begrensde energie'
 - Afgenomen energie indien de lokale productie-eenheid 25 MW zou zijn



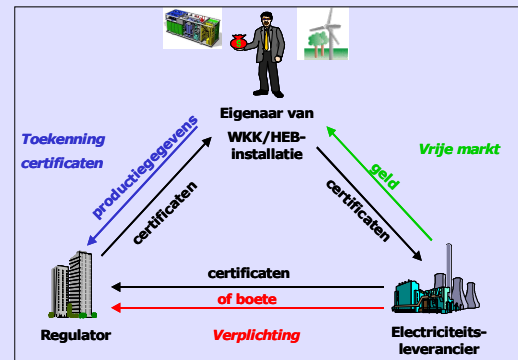
- Variabele netkosten: Systeembeheer en ondersteunende diensten
 - Normaal tarief
 - 1.14 €/MWh bruto begrensd
 - 0.05 – 0.44 €/MWh netto afgenomen
 - Voordeel WKK:
 - 1.19 – 1.58 €/MWh lokaal verbruikt voor eerste 25 MW
 - 0.05 – 0.44 €/MWh lokaal verbruikt voor resterende MW

- Heffingen en taksen
 - Te betalen op afgenomen energie
 - Sommige heffingen en taksen hebben degressief tarief voor grotere verbruikers
 - Met WKK: vermeden bij lokale afname
 - Maximum voordeel (2007):
 - Compensatie gemeenten : 4.91 €/MWh
 - Federale bijdrage : 2.11 €/MWh
 - Promotie REG : 0.07 €/MWh
 - Groenestroomcertificaten : 4.69 €/ MWh (→ 7.5 €/MWh)
 - Warmtekrachtcertificaten : 1.33 €/MWh (→ 2.35 €/MWh)
 - Theoretisch maximum (2007): 13.11 €/MWh
 - Reëel voordeel beperkt door:
 - Vrijstelling van sommige heffingen op hoogspanningsnet
 - Degressiviteit voor grote bedrijven

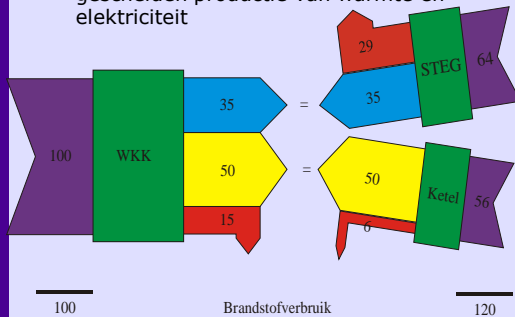
- Onderschrijving capaciteit
 - Tarief Fluxys vaste capaciteit : +/- 30 €/Nm³/h (per jaar)
 - Voor WKK met 8000h/jaar: +/- 0.4 €/MWh LHV
- Variabele gridkosten en heffingen
 - Voor HD-gas: +/- 0.4 €/MWh LHV
- Toename kosten door WKK
 - Afhankelijk van Q/E verhouding WKK
 - Capaciteit en verbruik stijgen minder naarmate Q/E groter is

$$\frac{F_{CHP}}{F_{NOCHP}} \approx 1 + \frac{1}{Q/E}$$

- Basisprincipes certificatenmechanisme



- Aantal bekomen certificaten
 - 1 certificaat per MWh primaire energiebesparing ten opzichte van referentie-installaties voor gescheiden productie van warmte en elektriciteit



- Rendementen referentie-installaties gescheiden productie

- Elektriciteit
 - 55% voor fossiele brandstoffen en netaansluiting > 15 kV
 - 50% voor fossiele brandstoffen en netaansluiting <= 15 kV
 - 42.7% voor vloeibare biobrandstoffen
 - 42% voor biogas
 - 34% voor hout of houtafval
 - 25% voor andere vaste biomassa
- Warmte
 - 93% voor warme lucht in droogtoepassingen
 - 90% voor warm water
 - 85% voor stoom en andere warmtemedia
 - 70% voor eender welk warmtemedium, als de brandstof biogas is

- Beperkingen (1)
 - Erkenning als kwalitatieve WKK, op basis van relatieve primaire energiebesparing (RPEB)
 - Voorwaarde:
 - RPEB > 0 voor WKK met elektrisch vermogen < 1MW
 - RPEB > 10% voor andere WKK

$$RPEB = 1 - \frac{1}{\frac{\alpha_o}{\eta_o} + \frac{\alpha_E}{\eta_E}}$$

- Referentierendementen zijn vastgelegd op Europees niveau, maar zijn in veel gevallen vergelijkbaar met de Vlaamse

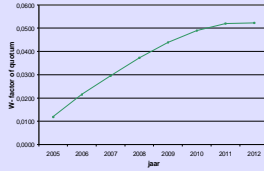
- Beperkingen (2)
 - Installatie gelegen in Vlaams gewest
 - Installatie in dienst genomen of ingrijpend gewijzigd na 1/1/2002
 - Inleverbaarheid certificaten verloopt degressief
 - volledig aantal certificaten gedurende 4 jaar
 - daarna slechts fractie X, met:

$$X = \frac{RPEB - 0,002 \cdot (T - 48)}{RPEB}$$



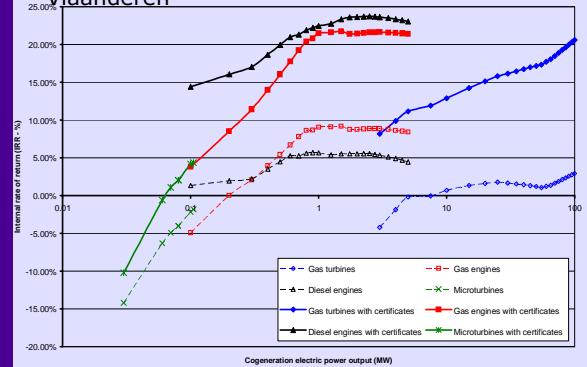
- hierin is T de tijd in maanden vanaf ingebruikname van de installatie, en RPEB is de relatieve primaire-energiebesparing

- Financiële aspecten
 - Boetewaarde
 - 45 € per ontbrekend certificaat
 - Betalen van boete is niet aftrekbaar van belastbare winst
 - Marktwaaarde
 - Ongeveer 40 € per certificaat
 - Voorlopige marktdata huidige inleverperiode (1/4/06 – 31/1/07): 41.62 €/cert
 - Marktschaarste wordt nagestreefd om marktwaaarde hoog te houden: stijgende quota
 - Gegarandeerde waarde
 - 27 € per certificaat
 - Distributienet
 - Tot 10 jaar na indiening



31

- Impact op algemene rendabiliteit WKK in Vlaanderen

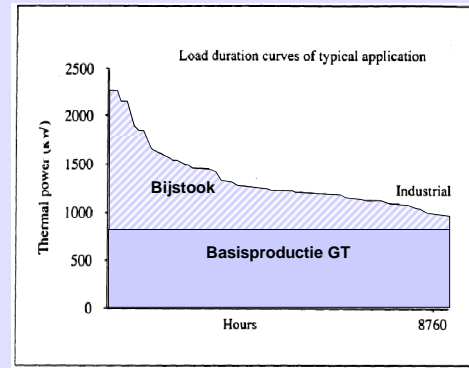


32

- Belangrijke aandachtspunten bij dimensionering WKK
 - Inschatting toekomstige warmtevraag
 - Inschatting toekomstige productiehoeveelheden
 - Impact toekomstige besparingsmaatregelen
 - Gevoeligheid proces
 - Wat bij uitval van de stoomvoorziening?
 - Terugkeer condensaat
 - Percentage
 - Temperatuur
 - Profiel van de stoomvraag
 - Gradiënten
 - Aantal draaiuren en aantal stops van de WKK

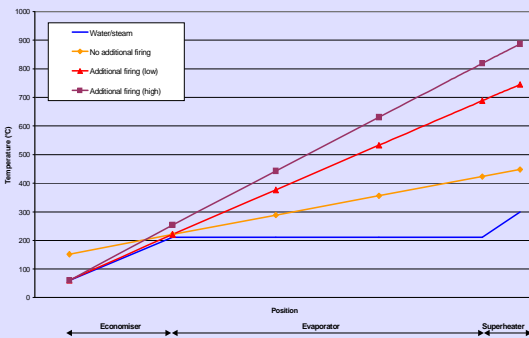
33

- Klassieke dimensionering gasturbine-WKK's



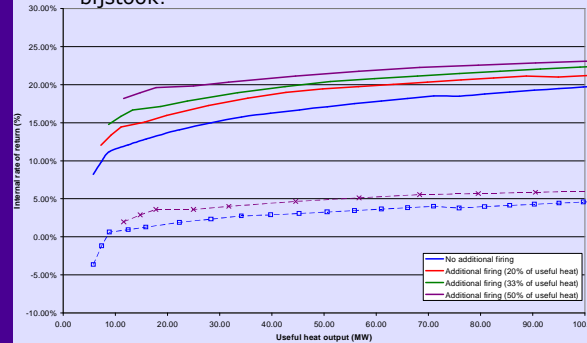
34

- Bijstook (1)
 - Basisprincipes energiebesparing



35

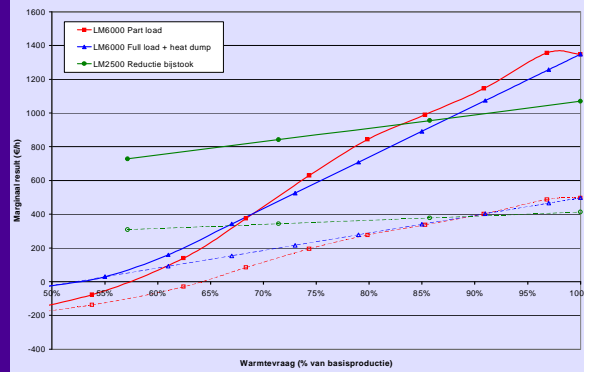
- Bijstook (2)
 - Economisch optimaal design: voldoende bijstook!



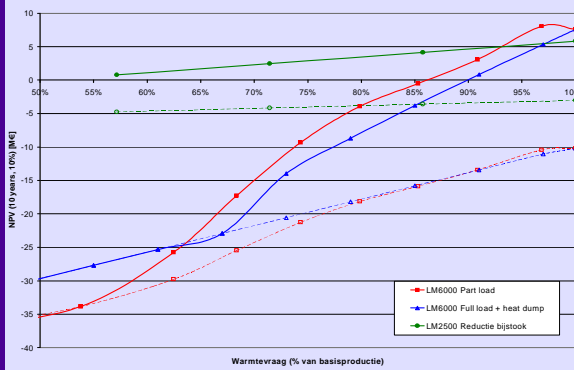
36

- Suboptimale dimensionering
 - Onderdimensionering
 - Kleiner project heeft lagere IRR en lagere waarde (NPV)
 - Overdimensionering
 - Te lage warmtevraag doet IRR en NPV dalen
 - Impact ook afhankelijk van oorspronkelijk design
 - Verminderen bijstook
 - Deellast
 - Dumpen warmte (condenseren)

- Overdimensionering – reductie warmtevraag



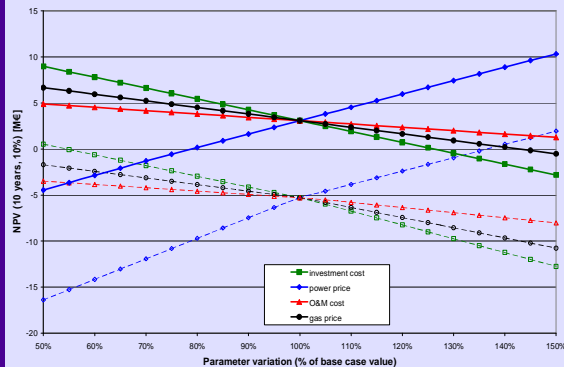
- Overdimensionering – reductie warmtevraag



Sensitiviteit

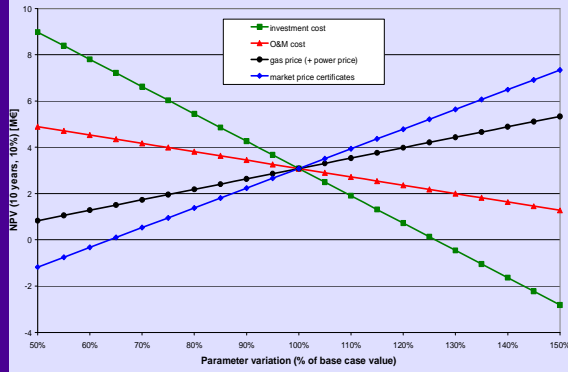
- Belangrijkste invloedsparameters / Risico's
 - Investeringskost
 - Onderhoud- en uitbatingskost
 - Brandstofkost
 - Vermeden kosten: elektriciteitsprijs en netkosten
 - Certificaten: bestaan, waarde
 - Performantie
 - Beschikbaarheid
 - Constructie: vergunningen, leveringstermijn,...

- Marktgerelateerde parameters

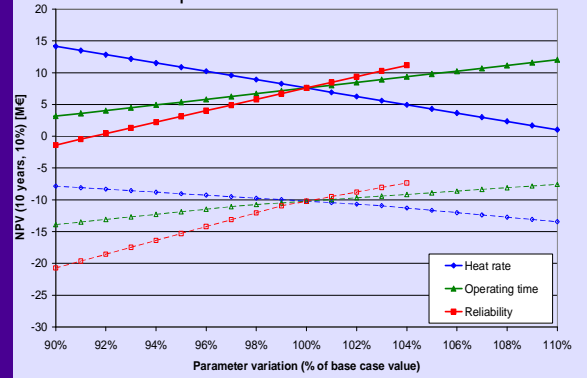


- Marktgerelateerde parameters
 - Vrije energiemarkt
 - Prijs elektriciteit op een bepaald moment wordt bepaald door de duurste eenheid die op dat moment moet draaien
 - Baseload eenheden en must-runs bepalen zelden de prijs
 - Gasgestookte eenheden (STEG's en OCGT's) bepalen vaak de prijs
- Gasprijs en elektriciteitsprijs zijn geen twee onafhankelijke parameters in sensitiviteitsanalyse
 Elektriciteitsprijs vertoont sterke correlatie met de gasprijs:
- $$P_E = A + B \cdot P_G$$
- Gasprijs meestal uitgedrukt in €/MWh HHV
 - A : Spark Spread
 - B : Inverse van het rendement (op HHV) van de prijsbepalende eenheid
 - Richtwaarden: A = 8 ... 12 en B = 2 ... 2.4

Marktgerelateerde parameters



Technische parameters



Vragen ?



Meer informatie...



COGEN Vlaanderen VZW

Voor de promotie van WKK in Vlaanderen
 Zwarte Zustersstraat 16 b9
 3000 Leuven
 Tel. 016 58 59 97
<http://www.cogenvlaanderen.be>
info@cogenvlaanderen.be