



## ***Adviesnota 2016***

***De rol van WKK in een noodstroomvoorziening***

Zwartzustersstraat 16, bus 0102 - 3000 Leuven

016 58 59 97 | [info@cogenvlaanderen.be](mailto:info@cogenvlaanderen.be) | [www.cogenvlaanderen.be](http://www.cogenvlaanderen.be)



## Inhoud

1	Managementsamenvatting .....	3
2	Inleiding .....	4
3	Basisvereisten voor noodstroom .....	5
3.1	Maximaal toelaatbare onderbrekingstijd.....	5
3.2	Stabiliteit & robuustheid .....	5
3.3	Bedrijfszekerheid.....	6
4	Gasmotor versus dieselmotor .....	8
4.1	Werking .....	8
4.1.1	Dieselmotor .....	8
4.1.2	Gasmotor.....	9
4.2	Evaluatie .....	10
5	Aandachtspunten voor WKK in eilandbedrijf.....	12
5.1.1	Synchrone generator .....	12
5.1.2	Frequentie- en spanningssturing.....	12
5.1.3	Gegarandeerde voeding hulpdiensten/auxiliaries .....	13
5.1.4	Noodkoeling .....	13
5.1.5	Inpassing netontkoppelingsbeveiling en kritische verbruikers .....	13
5.1.6	Procedure bij een stroomonderbreking.....	14
6	Overzicht en conclusie.....	15
7	Voorbeeldproject van WKK in eilandbedrijf: Brussels Health Campus .....	17
8	Bibliografie .....	19

## 1 Managementsamenvatting

De afgelopen jaren is de leveringszekerheid van de elektriciteitsvoorziening in België een belangrijk thema geworden en duikt regelmatig de vraag op of WKK kan ingezet worden als noodstroom. De criteria voor noodstroom verschillen echter sterk van die voor WKK-toepassingen. Bij WKK-toepassingen ligt de focus op efficiëntie, een lage operationele kost en lage emissies. Bij noodstroom is o.a. de maximale toelaatbare onderbrekingstijd relevant omdat het bepaalt hoelang de gebruiker zonder stroom zit. Daarnaast is de stabiliteit van de elektriciteitsproductie belangrijk omdat grote schommelingen van de frequentie en spanning een negatieve impact kunnen hebben op de verbruikers. Ten slotte is het belangrijk dat men de nodige garantie heeft dat de noodstroom daadwerkelijk beschikbaar is wanneer dit noodzakelijk is.

Voor noodstroom worden typisch dieselmotoren ingezet vanwege hun robuustheid ten opzichte van grote belastingschommelingen, het feit dat ze snel kunnen opstarten en bijna onmiddellijk belasting kunnen opnemen. Door hun specifieke ontwikkeling is dit voor gasmotoren minder het geval. Behalve dat ze trager opstarten, hebben ze liefst een zo stabiel mogelijke werking en niet al te grote belastingsprongen. Desalniettemin zijn er modellen beschikbaar die beter geschikt zijn voor eilandbedrijf en waarbij de prestaties qua robuustheid en de efficiëntie tussen deze van een gasmotor en dieselmotor liggen.

Wil men de voordelen van beide systemen (WKK en noodstroom) combineren zou men in principe een noodstroomdiesel kunnen uitbaten als warmte-krachtkoppeling. Echter in de praktijk wordt dit niet gedaan. Daarentegen komt het wel voor dat een gasmotor-WKK gebruikt wordt als een soort noodstroom. De toepassingen waarvoor dit mogelijks zinvol is, zijn toepassingen waarbij een langdurige onderbreking gedurende de eerste minuten niet kritisch is en de verbruikers in kleine stappen aangeschakeld kunnen worden en geen grote schommelingen veroorzaken. Daarnaast moet men ermee rekening houden dat een WKK meer onderhoud vraagt ten gevolge van de vele draaiuren en bijgevolg tijdens de onderhoudswerkzaamheden ook niet dienst kan doen als back-up. Volgens de communicatie van de netbeheerders zou er geen probleem zijn met de aardgasbevoorrading bij in werking treden van het afschakelplan, wat evenwel geen garantie biedt bij andere problemen. Het belangrijkste voordeel is dat de technische ingrepen die nodig zijn om een WKK te laten functioneren als noodstroom goedkoper zijn dan een bijkomende diesel. Echter, bij een dergelijke installatie komen er meer randvoorwaarden bij kijken dan bij een afzonderlijke dieselnoodgroep.

Qua betrouwbaarheid is de combinatie van één of meerdere dieselmotoren met een WKK een beter alternatief. Hierbij zorgen de dieselmotoren voor de voeding van de kritische verbruikers in geval van een stroomonderbreking terwijl de WKK zorgt voor extra vermogen dat kan gebruikt worden om eveneens de niet-kritische verbruikers te voeden of als reserve vermogen indien één van de generatoren zou uitvallen. De dieselmotoren vangen hierbij de belastingschommelingen op terwijl de WKK gebruikt wordt om een baseload elektriciteitsvraag in te vullen.

Hoewel WKK in een noodstroomvoorziening mogelijk is en op zich interessant is, zijn er verschillende aandachtspunten die goed doorgesproken moeten worden met een gespecialiseerde leverancier wanneer men dergelijk project opzet.

## 2 Inleiding

De afgelopen jaren is de leveringszekerheid van de elektriciteitsvoorziening in België een belangrijk thema geworden. Dit is voornamelijk ten gevolge van de onzekerheid over de beschikbaarheid van de kerncentrales, de sluiting (of mottenballen) van klassieke thermische eenheden en een toenemend aandeel van hernieuwbare bronnen met een intermitterend productieprofiel (windturbines, PV, ...). Hoewel de berichtgeving over mogelijke stroomtekorten ondertussen geluwd is, zijn bovenstaande factoren nog steeds relevant.

Sinds de eerste berichten over het eventueel in werking treden van het afschakelplan heeft men regelmatig de vraag gesteld of WKK kan worden ingezet als noodstroom. Deze nota tracht hier een antwoord op te geven.

Onafhankelijk van de rol die WKK kan spelen ten opzichte van het verhogen van de betrouwbaarheid van de lokale stroomvoorziening, heeft WKK ook een meerwaarde voor de betrouwbaarheid van de globale stroomvoorziening. Immers, een productiepark met veel kleine installaties heeft een hogere betrouwbaarheid dan een elektriciteitsproductiepark met enkele grote centrales. Per slot van rekening heeft de uitval van één kleine centrale veel minder impact dan de uitval van één grote centrale [Klimstra, 2007]. Daarnaast kan men de flexibiliteit van stuurbare productie-installatie inzetten voor netondersteuning (R1, R3DP, ...).

Deze nota is opgesteld op basis van de inzichten van verschillende leveranciers en geeft een antwoord op de vraag welke rol een WKK kan spelen bij noodstroombedrijf van een site. Hoofdstuk 3 bespreekt enkele basisvereisten die relevant zijn voor een noodstroomvoorziening. Hoofdstuk 4 bespreekt de verschillen tussen een gas- en dieselmotor, zowel qua werking als qua impact op relevante parameters voor een noodstroomvoorziening. Hoofdstuk 5 behandelt de bijkomende technische vereisten om WKK in eilandbedrijf te laten draaien. In Hoofdstuk 6 wordt besproken welke rol WKK kan spelen in een noodstroomvoorziening. Hoofdstuk 7 geeft tenslotte een voorbeeldcase van een WKK in een noodstroomvoorziening in een ziekenhuis.

### 3 Basisvereisten voor noodstroom

De criteria voor motoren voor noodstroom zijn sterk verschillend ten opzichte van die voor WKK-toepassingen. Bij WKK-toepassingen ligt de focus op hoge elektrische en thermische efficiëntie, de lage operationele kost en lage emissies. Enkele basisvereisten voor een noodstroomvoorziening worden hieronder opgesomd.

#### 3.1 Maximaal toelaatbare onderbrekingstijd

De maximaal toelaatbare onderbrekingstijd van de stroomvoorziening is toepassingsafhankelijk. Voor bepaalde kritische toepassingen is elke onderbreking ontoelaatbaar en wordt er een *Uninterruptable Power Supply* (UPS) vereist op basis van bv. batterijen of een vliegwiel. Deze technologieën kunnen gedurende een korte periode stroom leveren, daarna moeten andere bronnen (typisch een dieselgroep) aangesproken worden. De kostprijs van deze UPS-systemen is sterk afhankelijk van de opgeslagen energie, vandaar dat de alternatieve bronnen binnen een zo kort mogelijke tijd beschikbaar zijn.

Bij andere kritische toepassingen is geen UPS vereist, maar is de maximale onderbrekingstijd niettemin relevant. Voor sommige toepassingen legt de wetgever het gebruik van één of meerdere autonome stroombronnen op en bepaalt hiervoor de maximale toelaatbare onderbrekingstijd:

- Het KB 12 van juli 2012 betreft de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing voor nieuwe gebouwen. Zodra de normale stroom uitvalt, moeten autonome bronnen automatisch en binnen één minuut de werking verzekeren van bepaalde installaties die bij brand absoluut in dienst moeten blijven. [Vos, 2013]
- Het KB november 1979 bepaalt dat autonome stroombronnen automatisch en maximum binnen de dertig seconden, de voeding moeten verzekeren van de aangesloten installaties, zodra de normale voeding van de elektrische energie uitvalt. De autonome stroombronnen moeten binnen de minuut volop kunnen werken. [Vos, 2013]
- De technische nota T013 biedt een leidraad voor een veilig ontwerp en beheer van elektrische installaties in ruimtes waar medische en/of cosmetische handelingen uitgevoerd worden. De ruimtes worden opgedeeld in energieklassen in functie van de medische behandelingen die er zullen plaatsvinden en een risicoanalyse van een behandeling. De energieklassen geeft aan welke noodstroomvoorziening noodzakelijk is en in welke gevallen de omschakeling op noodstroom automatisch moet gebeuren. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de energieklassen 0, 0.15, 0.5, 15 en >15, waarbij elke energieklassen het aantal seconden voorstelt gedurende welke de gebruikte apparatuur buiten werking mag zijn. [Vinçotte, 2014]

#### 3.2 Stabiliteit & robuustheid

De stabiliteit van de elektriciteitsvoorziening heeft betrekking op het bereik waarbinnen de frequentie en spanning kunnen variëren. Te grote schommelingen van de frequentie en spanning ten gevolge van grote belastingsprongen zouden immers problemen kunnen opleveren omdat:

- hierdoor de beveiligingen van het aggregaat aangesproken worden en bijgevolg de voeding van de gebruikers onderbroken wordt;

- bepaalde gebruikers hierdoor niet meer correct zouden functioneren of zich in het slechtste geval zouden afkoppelen;

De norm ISO 8528-5:2013 definieert voor aggregaten vier prestatieklassen met verschillende eisen, afhankelijk van de toepassingen [Belmans, 2002]:

- Klasse G1: Eenvoudige elektrische belastingen waarbij alleen de fundamentele parameters van spanning en frequentie moeten worden gespecificeerd.
- Klasse G2: Toepassingen waarbij de spanningskenmerken zeer vergelijkbaar zijn met die voor het openbare elektriciteitsnet. Wanneer de belasting verandert, kunnen er tijdelijke maar acceptabele afwijkingen van spanning en frequentie optreden. Voorbeelden van dergelijke toepassingen zijn verlichting, pompen, ventilatoren en takels.
- Klasse G3: Dit geldt voor toepassingen waarbij de aangesloten apparatuur strenge eisen oplegt aan de stabiliteit en het niveau van de frequentie, de spanning en de golfvormkenmerken van de elektrische stroom die door het aggregaat geleverd worden. Voorbeelden zijn telecommunicatie en vermogenselektronica.
- Klasse G4: Dit geldt voor toepassingen met buitengewoon hoge de eisen aan de stabiliteit en het niveau van de frequentie, de spanning en de golfvormkenmerken van de elektrische stroom die door het aggregaat geleverd worden.

Een overzicht van de limietwaarden voor de parameters betreffende de stabiliteit van de spanning en de frequentie bij zowel stabiel als transiënt gedrag voor verschillende prestatieklassen wordt getoond in Tabel 1. Voor de klasse G4 zijn er geen limietwaarden bepaald omdat deze klantspecifiek zijn.

**Tabel 1: Limietwaarden voor de parameters betreffende de stabiliteit van de spanning en de frequentie bij zowel stabiel als transiënt gedrag voor verschillende prestatieklassen [ISO, 2014]**

<i>Performance Class</i>	<i>G1</i>	<i>G2</i>	<i>G3</i>
Steady-state frequency band	2.5%	1.5%	0.5%
Maximum frequency dip	-15%	-10%	-7%
Maximum frequency rise	+18%	+12%	+10%
Frequency recovery time	10 seconds	5 seconds	3 seconds
Steady state voltage deviation	5%	2.5%	1%
Maximum voltage dip	-25%	-20%	-15%
Maximum voltage rise	+35%	+25%	+20%
Voltage recovery time	10 seconds	6 seconds	4 seconds

### 3.3 Bedrijfszekerheid

Eén van de mogelijke definities van bedrijfszekerheid is de kwaliteit van een machine om zijn gespecificeerde functie onder bepaalde omstandigheden gedurende een vastgestelde periode foutloos te verrichten. In geval van noodstroom dient de stroomvoorziening in zoveel mogelijk (bedenkbare) omstandigheden te werken. Hiervoor moet een uitgebreide risico-analyse gemaakt te worden die alle mogelijk problemen, intern en extern, in kaart brengen die een impact hebben op de stroomvoorziening. Dit kan gaan van onderbrekingen en onderhoudswerkzaamheden aan de hoogspanningsposten, lokale problemen, black-out, falen van lokale componenten of een combinatie van voorgaande problemen.

Bedrijfszekerheid is een ruim en moeilijk kwantificeerbaar begrip, dat best geëvalueerd wordt in elk aspect van de implementatie van de noodstroomvoorziening (van design tot werking):

- Onafhankelijk van externe bronnen: lokale brandstofstockage
- Bestand tegen fouten: redundantie
- Robuustheid van de machine
- ...

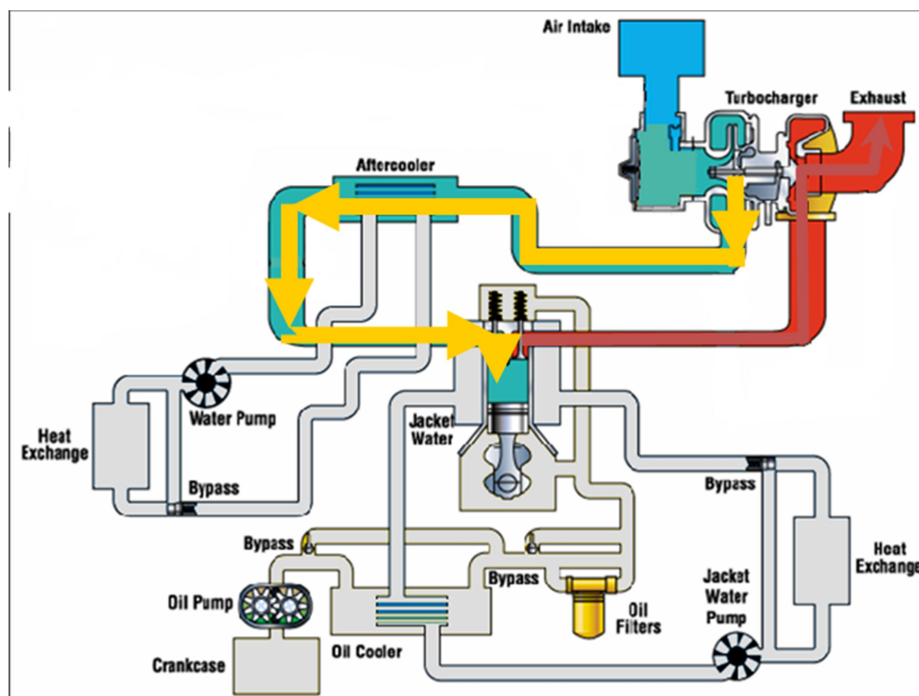
## 4 Gasmotor versus dieselmotor

### 4.1 Werking

Noodstroomgroepen worden steeds uitgerust met een dieselmotor terwijl de meeste WKK-installaties (met een inwendige verbrandingsmotor) uitgerust zijn met een gasmotor. Omdat dynamische eigenschappen van beide types motoren verschillend zijn, wordt de werking van beide hieronder toegelicht.

#### 4.1.1 Dieselmotor

Figuur 1 toont een schematisch overzicht van de werking van een dieselmotor met turbocompressor. Bij een dieselmotor wordt de mechanische arbeid van de motor geregeld door de hoeveelheid brandstof die in de verbrandingskamer wordt geïnjecteerd. Bij een toename van de elektrische belasting van een stroomgroep in eilandbedrijf zal ook de mechanische arbeid, geleverd door de dieselmotor, moeten toenemen. De motorsturing merkt de toename van de belasting door een daling van het toerental van de motor. De motorsturing reageert hierop door bijkomende diesel in de verbrandingskamer te spuiten. Door een overmaat aan lucht in de verbrandingskamer wordt deze mee verbrand en veroorzaakt een hogere druk en temperatuur van de verbrandingsgassen. Hierdoor leveren de verbrandingsgassen meer arbeid op de zuigers. Na verbranding stromen de verbrandingsgassen door de turbocompressor. Door de hogere druk van de verbrandingsgassen neemt het toerental van de turbocompressor toe en zorgt voor een hogere compressie van de aangezogen lucht naar de verbrandingskamer. De combinatie van de toename van brandstof geïnjecteerd in de cilinders en de hogere compressie van de aanzuiglucht resulteert in een toename van de mechanische arbeid van de motor.

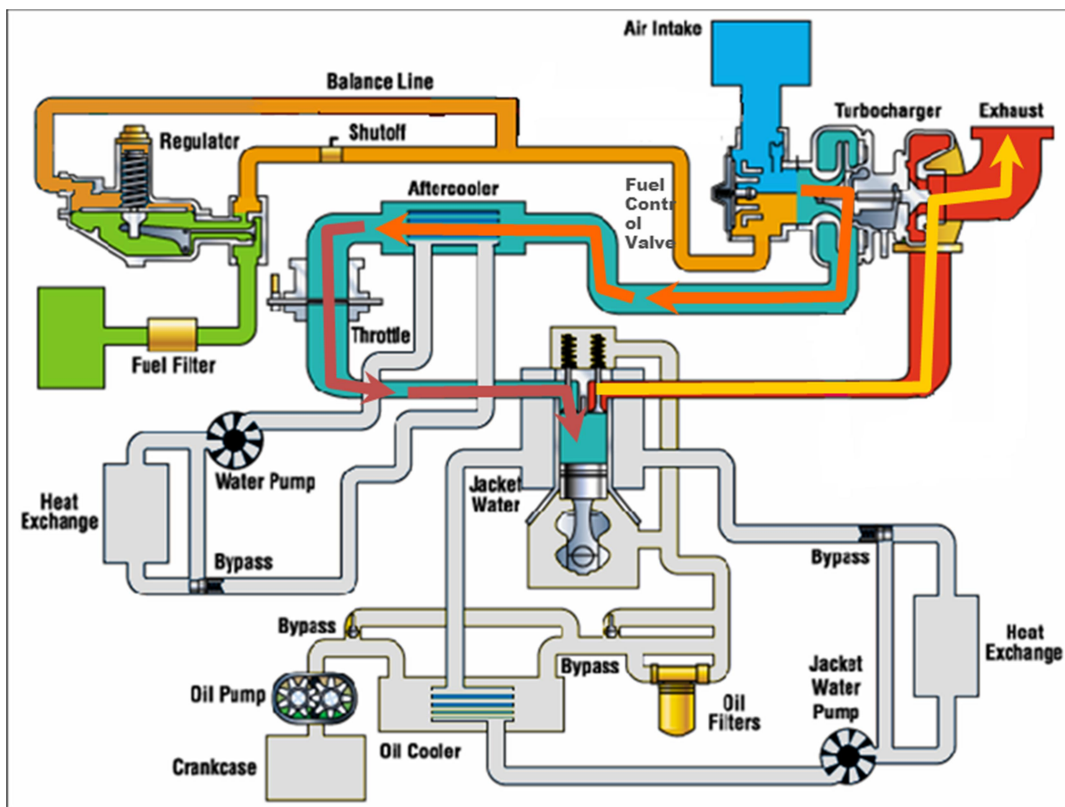


Figuur 1: Schematisch overzicht van werking een dieselmotor met turbocompressor [Eneria, 2017]



#### 4.1.2 Gasmotor

In tegenstelling tot bij een dieselmotor, is bij een gasmotor de verhouding lucht-gas constant. Het mechanische vermogen van de gasmotor wordt geregeld door een smookklep (*throttle*), die de toevoer van lucht-gasmengsel naar de verbrandingskamer regelt. Een schematisch overzicht van de werking van een gasmotor met turbocompressor wordt weergegeven in Figuur 2. Net zoals bij een dieselmotor zal een plotse toename van de belasting een gasmotor in eilandbedrijf, het toerental van de motor doen dalen. Als gevolg hiervan zal de motorsturing de smookklep meer openen, waardoor er meer lucht-gasmengsel in de verbrandingskamer komt. Hierdoor hebben de verbrandingsgassen, na ontsteking van het mengsel, een hogere temperatuur/druk en leveren ze meer arbeid. Vervolgens stromen de verbrandingsgassen via de uitlaatcollector naar de turbocompressor. Het toerental van de turbocompressor neemt toe en zuigt meer lucht aan. Hierdoor gaat de gasklep meer open en wordt er meer gas toegevoerd, zodat dat de verhouding lucht-gas gelijk blijft. Via de turbocompressor, interkoeler, gasklep en inlaatcollector gaat dit gas-luchtmengsel terug naar de cilinders en begint de hele cyclus opnieuw.



Figuur 2: Schematisch overzicht werking gasmotor met turbocompressor [Eneria, 2017]

## 4.2 Evaluatie

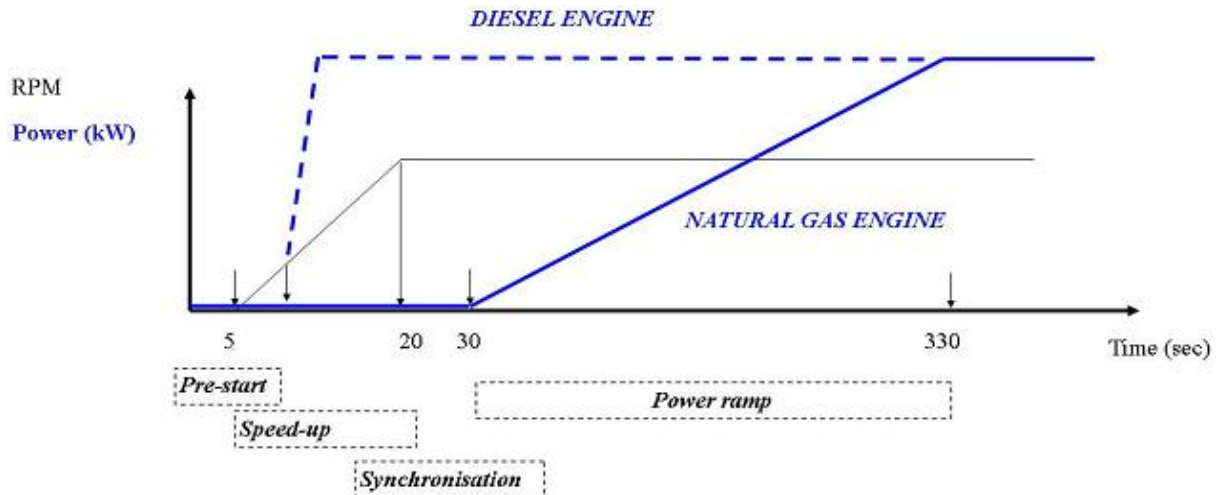
Anders dan bij een dieselmotor verloopt de reactie op een belastingstoename bij een gasmotor veel trager. Een dieselmotor reageert vrij snel op een belastingssprong, omdat de sturing direct reageert op de daling van het toerental door het inspuiten van een bijkomende hoeveelheid diesel in de verbrandingskamer. Bij een gasmotor is deze reactie eerder indirect. De brandstoftoevoer van een gasmotor verhoogt, omdat er meer lucht wordt aangezogen – wat indirect het gevolg is van een meer geopende smoorklep ten gevolge van een daling van het toerental. Deze regeling zorgt voor een bepaalde vertraging, die groter wordt naarmate de afstand tussen de verschillende componenten groter wordt. Dit zorgt voor een lagere reactiesnelheid en een lagere robuustheid ten opzichte van belastingssprongen.

Door verschillende technieken kan men echter de reactiesnelheid van een gasmotor vergroten:

- Herziening van de grootte, prestaties en het ontwerp van de turbocompressor.
- Gebruik van een rijker lucht-gasmengsel,. Echter, dit verhoogt de emissies van bepaalde verontreinigende stoffen (zoals  $\text{NO}_x$ ), waardoor er nood is aan een bijkomende of intensievere emissiebehandeling.
- Gebruik van een motor met directe injectie van gas. Dit is gebruikelijk bij traaglopende motoren met een vermogen boven enkele MW's, omwille van o.a. veiligheidsredenen. Anders zou er bij dergelijke motoren een te grote hoeveelheid brandbaar lucht-gasmengsel in de inlaatcollector zitten.
- Gebruik van *dual fuel* motoren die zowel op aardgas als diesel kunnen draaien. Ook deze zijn echter pas beschikbaar vanaf een bepaald vermogen.

De meeste maatregelen hebben echter een bepaalde meerkost of een negatieve impact op de efficiëntie. Vaak heeft een robuustere motor (ten opzichte van een belastingssprong) een lagere efficiëntie en omgekeerd.

Doordat de gasmotor minder robuust is, zal een belastingssprong een grotere impact hebben op de frequentie en de spanning van een aggregaat. Aangezien de prestatieclassen G1, G2, G3 grenzen definiëren waarbinnen de frequentie en de spanning kunnen variëren, zal dit een effect hebben op de maximale belastingssprong die mogelijk is. Grotere belastingssprongen zullen hierbij in verscheidene stappen genomen moeten worden, waarbij er telkens een bepaalde tijd verstrijkt alvorens de spanning en frequentie van het aggregaat terug gestabiliseerd zijn. Dit heeft ook een effect op de tijd die een aggregaat nodig heeft om de kritische verbruikers over te nemen na een stroomonderbreking, zoals uitgebeeld is in Figuur 3. Bij een dieselmotor kan dit typisch in 5 à 10 seconden, terwijl een gasmotor hiervoor 200 à 350 seconden nodig heeft.



**Figuur 3: Starttijd van een diesel- en gasmotor**

Het gebruik van diesel als brandstof heeft daarnaast nog het voordeel qua bedrijfszekerheid dat het lokaal gestockeerd kan worden en dat het bijgevolg onafhankelijk is van status van het (gas)netwerk. Uiteraard moet de gebruiker regelmatig controleren of de lokale voorraad voldoende is voor de vereiste autonomie.

Een gasmotor wordt meestal bevoorradt vanuit het gasdistributienet. Het belangrijkste voordeel hiervan is dat de brandstofreserve niet gecontroleerd moet worden, vermits men een onbeperkte bevoorrading heeft vanuit het gasnet. In het geval van een stroomonderbreking moet men er wel op kunnen vertrouwen dat gaslevering niet in het gedrang komt, anders kan de gasmotor geen noodstroom leveren. In het kader van de berichten rond het afschakelplan heeft Eandis het volgende bericht op haar website geplaatst:

*Fluxys heeft alle nodige schikkingen getroffen om de continuïteit van de aardgasbevoorrading naar eindklanten en van de grensoverschrijdende stromen te garanderen. Een eventuele afschakeling zal geen impact hebben op de installaties die onmisbaar zijn voor het beheer van het net en de aardgasbevoorradingzekerheid van het land. In geval van schaarste vervullen zij immers een cruciale rol voor het beperken van het tekort door de heropstart van de elektriciteitsproductie via gasgestookte centrales mogelijk te maken. Anderzijds heeft Fluxys in overleg met de distributienetbeheerders maatregelen voorzien zodat de drukreducerstations - die de overgang vormen tussen de hogedrukleidingen van Fluxys en het midden- en lagedruknet van de distributie-infrastructuur - geen nadeel zouden ondervinden van een eventuele afschakeling. [...] De netbeheerders hebben de nodige schikkingen getroffen om de aardgasbevoorrading naar eindklanten te garanderen. Kookplaten of fornuizen op aardgas die geen elektrische voeding nodig hebben, zullen bijgevolg ook in een afgeschakelde zone kunnen blijven functioneren. [Eandis]*

## 5 Aandachtspunten voor WKK in eilandbedrijf

Bij het ontwerp van een WKK-installatie die eveneens geschikt is voor werking in eilandbedrijf zijn er verschillende bijkomende (technische) aspecten waarmee rekening gehouden moet worden. Deze worden hieronder opgelijst.

### 5.1.1 Synchrone generator

Een eerste voorwaarde is dat de installatie uitgerust is met een synchrone generator. Meestal is dit het geval. Echter, bij kleinere WKK-installaties komt het wel eens voor dat asynchrone of inductiegeneratoren gebruikt worden. Een asynchrone generator heeft echter reactief vermogen nodig om te kunnen functioneren. Bij netparallelbedrijf wordt dit uit het net gehaald, maar bij eilandbedrijf is dit niet mogelijk. Vandaar dat asynchrone motoren niet geschikt zijn voor eilandbedrijf.

### 5.1.2 Frequentie- en spanningssturing

Een WKK-installatie werkt gebruikelijk parallel met het elektriciteitsnet. Het elektriciteitsnet wordt beschouwd als een star net met een vaste frequentie en grootte van de spanning. Het regelen van de brandstoftoevoer en de excitatiestroom van één enkele (kleine) generator zal praktisch geen effect hebben op de spanning en frequentie van het net. Echter, het verhogen van de brandstoftoevoer zal wel invloed hebben op het actief vermogen dat de WKK/genset levert. Op vergelijkbare wijze zal het regelen van de excitatiestroom met de Automatic Voltage Regulator (AVR) het reactief vermogen dat het aggregaat levert/opneemt, wijzigen.

In eilandbedrijf is een generator niet gekoppeld aan het distributie- of transmissienet. In dat geval zal het verhogen van de brandstoftoevoer, net zoals bij een wagen, ervoor zorgen dat het toerental van de motor toeneemt. Met de Automatic Voltage Regulator (AVR) op een generator wordt de excitatiestroom in de rotorwikkeling geregeld, waardoor de spanning van de generator gestuurd kan worden. Een overzicht hiervan vindt men in Tabel 2.

**Tabel 2: Functie van brandstofregelaar en AVR in eiland- en net-parallelbedrijf**

	<b>Eilandbedrijf</b>	<b>Net-parallelbedrijf</b>
Brandstofregelaar (diesel)/Smookklep (gas)	Frequentie	Actief vermogen
AVR (Automatic voltage regulator)	Spanning	Reactief vermogen

Indien lokale productie zowel in eilandbedrijf al net-parallelbedrijf moet kunnen werken, moet de sturing zo aangepast zijn dat deze vlot van één type sturing naar het andere type sturing kan gaan.

Indien WKK in combinatie een dieselaggregaat gebruikt wordt in eilandbedrijf zal hoogstwaarschijnlijk het dieselaggregaat frequentie- en spanningssturing toepassen, terwijl de WKK setpunten voor actief en reactief vermogen krijgt.

### 5.1.3 Gegarandeerde voeding hulpdiensten/auxiliaries

Net zoals elke andere productie-installatie heeft de WKK-installatie elektriciteit nodig om te kunnen opstarten en te kunnen functioneren. Zonder elektriciteit kunnen o.a. de volgende componenten niet werken:

- Sturingmodules
- Startmotor
- Smeeroliesysteem
- Motorkoeling
- Automatische schakel- en beveiligingsrelais
- Gasvoorziening: voor de brandveiligheid sluiten gaskleppen automatisch zodra de spanning weg valt
- Pompen en kleppen naar het noodkoelsysteem
- Kleppen in het rookgassysteem
- ...

Een deel van deze gebruikers zitten rechtstreeks aangesloten op de batterijen van het aggregaat. De voeding van de overige componenten moet eveneens zo uitgevoerd worden dat deze onafhankelijk van het openbare elektriciteitsnet kunnen werken. Hiervoor dient een kleine UPS-installatie voorzien te worden, meestal bestaande uit batterijen met een onderhoudslader. Bij grotere installaties kan het zijn dat de voeding van de installatie voorzien wordt van een dieselgroep.

### 5.1.4 Noodkoeling

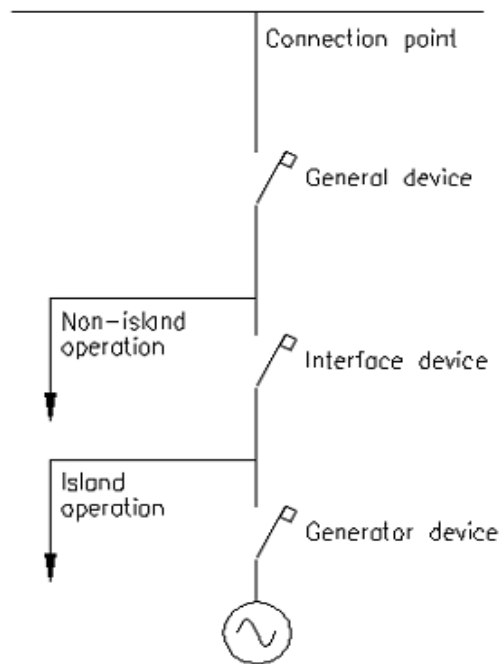
Elke motor heeft koeling nodig om te kunnen werken (olie, koelwater, turbokoeling, stralingswarmte). Een warmtegedreven WKK koelt zijn warmte weg door deze af te geven aan nuttige warmtetoepassingen. Van zodra deze warmtevraag wegvalt, zal de WKK stoppen met produceren. Bij noodstroombedrijf zal de WKK werken in functie van de elektriciteitsvraag en moet verhinderd worden dat de WKK stopt door het wegvallen van de warmtevraag. Tenzij men 100% zekerheid heeft dat de warmtebehoefte van de warmtetoepassing groter is dan de warmteproductie, moet men de overtollige warmte weg koelen. Meestal wordt hiervoor een drogeluchtkoeler gebruikt, elektrisch gevoed en gestuurd door de WKK-installatie [Clarke Energy]. Deze weggekoelde warmte kan, in het kader van het WKK-steunsysteem, niet als nuttige warmte beschouwd worden.

Voor de warmterecuperatie uit de schouw kan men ervoor kiezen om een bypass te plaatsen over deze warmtewisselaar in de schouw.

### 5.1.5 Inpassing netontkoppelingsbeveiling en kritische verbruikers

Eilandwerking binnen de installatie van de netgebruiker is toegestaan. Echter, indien het net door een fout wegvalt is het niet toegestaan dat het aansluitpunt onder spanning blijft staan. De specifieke technische aansluitingsvoorschriften van Synergrid voor gedecentraliseerde productie-installaties die in parallel werken met het distributienet [Synergrid, 2012] worden de vereiste beveiligingen voorgeschreven die dergelijke situatie moeten voorkomen. Figuur 4 toont het principeschema van een generator die parallel werkt met het net. De voorschriften vereisen dat er een ontkoppelingsrelais komt tussen de generator en het net. Hierbij moet men zorgen dat, bij eilandbedrijf, kritische verbruikers verbonden blijven met de generator. De kritische verbruikers kunnen best geaggregeerd worden op een en hetzelfde verdeelbord.

Daarbij mag de totale last van de kritische verbruikers maximaal 80% à 90% van het nominale vermogen van de WKK bedragen, zodat er wat vermogen over is om plotse belastingsschommelingen op te vangen. Bij bestaande installaties is het niet altijd eenvoudig om de meest gepaste kringen (qua prioriteit en vermogen) te vinden. Soms kan het gebeuren dat de WKK hierdoor op slechts 20% van zijn vermogen draait, omdat het vermogen niet correct verdeeld is over de kringen. De aanpassing van de elektrische installatie om een deel ervan te kunnen laten werken in eilandbedrijf, kan in sommige gevallen een aanzienlijke kost betekenen.



**Figuur 4: Principeschema generator die parallel werkt met het net**

### 5.1.6 Procedure bij een stroomonderbreking

Als de WKK zou draaien ten tijde van de stroomonderbreking, zou men in principe direct de niet-kritische gebruikers kunnen afkoppelen zodat de WKK zonder onderbreking de kritische verbruikers kan blijven voeden. Hiervoor zouden de niet-kritische verbruikers voldoende snel afgekoppeld moeten worden. In de praktijk blijkt dit meestal niet haalbaar en is het beter om de WKK volledig van alle gebruikers af te koppelen om daarna de kritische gebruikers één voor één terug aan te schakelen, waarbij men rekening houdt met de maximale belastingssprongen die de generator mag nemen.

Indien het net terugkeert (en stabiel blijkt te zijn), hoeft men niet door nul te gaan. De generator synchroniseert zich eerst met het net, waarna de generator geleidelijk minder begint te produceren zodat een steeds groter aandeel van de gebruikte stroom geleverd wordt door het net. Finaal kan de generator losgekoppeld worden van de verbruikers en het net.

## 6 Overzicht en conclusie

Tabel 3 geeft een overzicht van de sterke en zwakke punten van diesel- en gasmotoren, rekening houdend met de vereisten voor noodstroom en WKK-toepassingen.

Gasmotoren zijn in vergelijking met dieselmotoren het meest geschikt voor WKK-toepassingen, waarbij hoge elektrische (en thermische) efficiëntie en lage operationale kosten belangrijk zijn. Bovendien stoten gasmotoren minder schadelijke stoffen (NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, fijn stof, roet, ...) uit. Wat hen minder geschikt maakt voor noodstroom is dat ze trager opstarten en minder bestand zijn tegen grote belastingsprongen. Daarnaast kunnen ze enkel maar functioneren zolang er geen probleem is met de gasvoorziening. Voor dieselmotoren geldt net het tegenovergestelde.

**Tabel 3: Vergelijking van diesel- en gasmotoren**

	Vereisten	Dieselmotor	Gasmotor
Vereisten voor noodstroom	Weinig tijd nodig om te starten en belasting op te nemen	+	-
	Robuustheid ten opzichte van belastingsprongen	+	-
Vereisten voor continue werking	Efficiëntie	-	+
	Emissies	-	+

### Een noodstroomdiesel als warmtekrachtkoppeling

Men zou een dieselmotor kunnen uitbaten als warmte-krachtkoppeling terwijl deze eveneens instaat voor de noodstroomvoorziening indien er een probleem is met de elektriciteitsbevoorrading. De investering om een motor als WKK te later werken is enkel zinvol als deze op jaarbasis voldoende draait. Dit heeft verschillende implicaties. Ten eerste moet diesel in tanks opgeslagen worden en bij een groot aantal draaiuren moeten dit ofwel grote tanks zijn ofwel moeten deze op regelmatige basis bijgevuld worden. Daarnaast gelden er voor stationaire motoren die meer dan 500 uur per jaar draaien, strengere emissiegrenswaarden qua NO<sub>x</sub>-uitstoot, waardoor deze installatie uitgerust moet worden met een filterinstallatie met SCR-reductie, wat een aanzienlijke meerkost is. Tenslotte is er mogelijks nog het bezwaar van een correcte dimensionering. De dimensionering van een WKK gebeurt vanuit een heel andere insteek dan een noodstroomaggregaat. Bij de WKK vertrekt de dimensionering vanuit de warmtevraag, waarbij, om financiële redenen, gecheckt wordt of er bij vollast niet te veel elektriciteit geïnjecteerd moet worden. Bij een noodstroom gebeurt de dimensionering vanuit een analyse welke processen actief moeten blijven.

### Een gasmotor(-WKK) als noodstroom

Een alternatief zou zijn om een gasmotor-WKK ook te gebruiken als noodstroom. In paragraaf 4.2 is er reeds besproken dat er belangrijke verschillen zijn tussen een gasmotor en dieselmotor, wat maakt dat een gasmotor het liefst een zo continu mogelijke werking heeft met geleidelijke belastingovergangen. Desondanks zijn er nogal wat verschillen te vinden in het gamma van de gasmotoren. Elk fabrikant biedt wel een gasmotor aan die kan worden gebruikt voor eilandbedrijftoepassingen en die door enkele technische ingrepen een robuustheid bereikt tussen

een gasmotor geoptimaliseerd voor WKK-toepassingen en een dieselmotor in. Meestal heeft dit ook een effect op de elektrische efficiëntie van de generator met een daling van ongeveer 1 procentpunt.

Daarnaast moeten er enkele technische ingrepen gebeuren om een WKK-installatie aan te passen voor eilandbedrijf. Sommige van deze ingrepen, bv. de gegarandeerde voeding van de hulpdiensten, zijn nodig, onafhankelijk van of het aggregaat ook als WKK functioneert. Andere ingrepen zoals de noodkoeling en/of bypass-schouw zijn specifiek voor WKK-installaties als noodstroombedrijf.

Een bijkomend voordeel is dat de installatie niet maandelijks getest moet worden, vermits deze sowieso al veel draait. Daartegenover staat wel dat deze, ten gevolge van de vele draaiuren, meer onderhoud vraagt. Tijdens de onderhoudsperiode kan deze niet meer dienst doen als back-up installatie.

Daarnaast hebben zowel de hogedruknetbeheerder Fluxys als de netbeheerders van de midden- en lagedruknetten de nodige schikkingen getroffen om de aardgasbevoorrading naar eindklanten te garanderen in geval dat het afschakelplan in werking treedt.

De keuze voor de opstelling moet telkens geëvalueerd worden in functie van het type toepassing. Voor echt kritische toepassingen is deze oplossing af te raden. Toepassingen waar dit wel zinvol kan zijn, zijn toepassingen waarbij een langdurige onderbreking economische schade kan veroorzaken, maar waarbij de eerste minuten niet kritisch zijn. Daarbij moet erover gewaakt worden dat de verbruikers in gecontroleerde stappen aangeschakeld kunnen worden. Daarnaast moet er ook rekening gehouden worden met bv. de hoge aanloopstromen van grote elektrische motoren van o.a. liften, pompen en ventilatoren.

### **Een diesel als noodstroom in combinatie met een gasmotor als comfortnoodstroom**

De laatste optie is een noodstroominstallatie waarbij een of meerdere dieselmotoren gecombineerd worden met een gasmotor-WKK. Hierbij zorgen de dieselmotoren voor de voeding van de kritische verbruiker in geval van een stroomonderbreking, terwijl de WKK's zorgen voor extra vermogen dat eveneens gebruikt kan worden om de niet-kritische verbruikers te voeden of als reservevermogen, indien één van de generatoren zou uitvallen. De dieselmotoren regelen de frequentie en spanning van de site in eilandbedrijf en vangen zo de belastingschommelingen op. De WKK's worden ingeschakeld om de baseload elektriciteitsvraag in te vullen. Een bijkomend voordeel is dat de extra investering, die nodig is om de WKK's te laten functioneren in eilandbedrijf, klein (10% à 20%) is in vergelijking met de investering in bijkomende dieselmotoren en er ruimte mee wordt bespaard. Daarnaast heeft men meer mogelijkheden om eventuele ondersteunende diensten te leveren aan de netbeheerder. Het systeem vereist wel extra sturing qua power management, waarbij men moet zorgen dat de complexiteit van het hele systeem niet ten koste gaat van de betrouwbaarheid van de nooddiesels. In vergelijking met een gewone nooddiesel vereisen de WKK's ook bijkomende noodkoeling. Bovendien moet men ervoor zorgen dat de verhouding vermogen dieselmotoren ten opzichte van het vermogen gasmotoren niet te klein wordt, waardoor de noodstroomproductie minder robuust zou worden ten opzichte van belastingschommelingen. Een laatste aandachtspunt is de compatibiliteit van de generatoren.

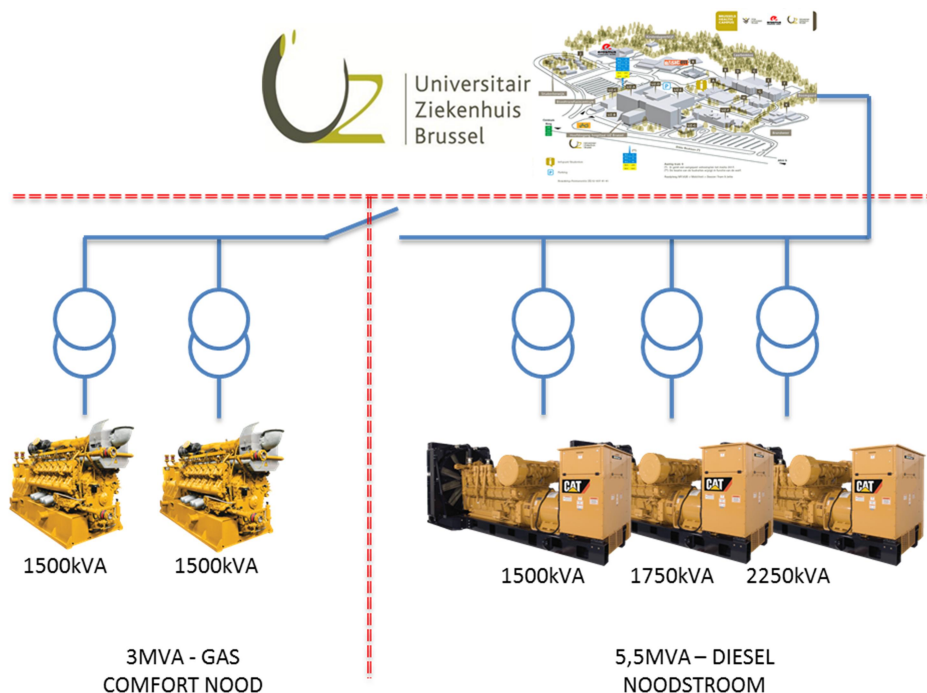


## 7 Voorbeeldproject van WKK in eilandbedrijf: Brussels Health Campus

De Brussels Health Campus heeft een noodstroominstallatie met drie dieselmotoren en 2 WKK's om de volledige campus gedurende een lange periode operationeel te houden. De Brussels Health Campus omvat naast het UZ Brussel ook de faculteit Geneeskunde, de Farmacie van de Vrije Universiteit Brussel, het departement Gezondheidszorg van de Erasmushogeschool Brussel en Basic-Fit. Het noodstelsel kan de volledige campus gedurende vijf tot tien dagen volautomatisch en autonoom laten werken, van alle kritische diensten tot en met de verwarming en de keuken.

Het uitgangspunt van de risicoanalyse waren o.a. twee types stroomonderbrekingen: lokale onderbrekingen in een hoogspanningscabine, waar ook onderhoud onder valt, en algemene onderbrekingen of black-outs van het openbare elektriciteitsnet.

Bij een totale stroomonderbreking van het openbare hoogspanningsnet (black-out), starten onmiddellijk drie dieselgeneratoren als eerste op met een gezamenlijk vermogen van 5 megawatt. De generatoren voorzien de kritische installaties en diensten zoals bijvoorbeeld het operatiekwartier in maximaal vijftien seconden van elektriciteit. Daarna worden stapsgewijs de overige verbruikers ingeschakeld, zodat na één minuut de volledige campus weer operationeel is. De meest kritische installaties zijn voorzien van een UPS (*Uninterruptible Power Supply*) waardoor ze geen hinder hebben van de stroomonderbreking.



**Figuur 5: Drie noodstroomdiesels in combinatie met twee WKK's voeden de campus in geval van nood**

Daarnaast zijn er nog twee WKK-eenheden met een totaal vermogen van 2,5 megawatt geïntegreerd in de noodstroomproductie. Die WKK's zijn zo gedimensioneerd dat ze honderd procent warmteonafhankelijk kunnen werken en bijgevolg zonder warmteafname vanuit de verwarmingsinstallatie functioneren. Zolang er gas is, kunnen zij dus elektriciteit produceren. Het duurt enkele minuten vooraleer zij zijn opgestart en zodra zij functioneren, nemen zij een deel van de belasting over van de dieselgeneratoren, zodat reservevermogen wordt opgebouwd. Wanneer de

volledige noodstroomproductie operationeel is, is er zelfs bij de zwaarste belasting in de zomer meer dan 7 megawatt beschikbaar, terwijl er maar 5 megawatt nodig is.

Het extra vermogen van de twee WKK's lijkt op het eerste gezicht overbodig, maar ze bieden comfortnoodstroom: als er om een of andere reden een generator zou uitvallen, dan zouden er mogelijk installaties of diensten moeten worden afgeschakeld. Dankzij de inzet van de WKK's is dat niet nodig en is het UZ Brussel in staat om dagenlang, onafhankelijk van het net, stroom op te wekken voor de gehele Brussels Health Campus.

De hele automatisatie is gebaseerd op een evenwicht tussen de vraag en het beschikbaar vermogen. Wanneer de noodstroomproductie operationeel is, wordt continu de belasting van de transformatoren en het beschikbaar vermogen vanuit de productie gemeten. Bij een onevenwicht door bijvoorbeeld de uitval van een generator, zal het systeem ogenblikkelijk minder kritische verbruikers uitschakelen om zo de meest kritische verbruikers te beschermen. Omgekeerd zal het systeem verbruikers bijschakelen wanneer er weer extra vermogen beschikbaar is, nadat bijvoorbeeld de WKK's opgestart zijn. Het constant balancerende systeem tussen wat nodig is en wat beschikbaar is in combinatie met diesel- en gasmotoren, is vrij uniek.

Daarnaast kunnen de dieselmotoren en de WKK's ook gebruikt worden om ondersteunende diensten (R1 en R3DP) te leveren aan Elia. Hierbij kan de netbeheerder de productie van de dieselmotoren en WKK starten (of opregelen) bij een gebrek aan productiecapaciteit of de productie van de WKK's naar beneden regelen bij overproductie. Hiervoor krijgt UZ Brussel een vergoeding, die een deel van de investering terugbetaalt [Becker, 2016]

## 8 Bibliografie

- Becker, K. D. (2016, november 14). *Hoe werkt de noodstroominstallatie van de Brussels Health Campus?* Opgehaald van Actual Care: <http://www.actualcare.be/nl/nl-technics/nl-technics-energie/noodstroominstallatie-uz-brussel/>
- Bekaert, G. (2016, September 13). *Het ambitieuze energiebesparingsplan van UZ Brussel*. Opgehaald van Actual Care: <http://www.actualcare.be/nl/nl-technics/nl-technics-energie/energiebesparingsplan-uz-brussel/>
- Belmans, R. (2002). *Elektrische energie*. Antwerpen: Garant.
- BTV. (2013, juli 10). *Problematiek van de vitale stroombanen binnen het AREI*. Opgehaald van BTV: <http://professional.btvcontrol.be/nl/nieuws/p/detail/problematiek-van-de-vitale-stroombanen-binnen-het-arei>
- Clarke Energy. (sd). *Island mode operation*. Opgeroepen op 03 31, 2016, van Clarke Energy: <https://www.clarke-energy.com/gas-engines/island-mode-operation/>
- Cofely Services. (2015). *Le fonctionnement d'une cogénération en groupe secours*.
- Eandis. (sd). *Veel gestelde vragen: Energieschaarste*. Opgeroepen op februari 24, 2017, van Eandis: <http://www.eandis.be/nl/veelgestelde-vragen/energieschaarste>
- Eneria. (2017). 'Smart' WKK gebruiken als comfort noodstroom. *Smart Grid Brussels Health Campus – Throw the box away*.
- Fluxys. (2012). *Blackout: Interaction between electricity and gas networks in Belgium*. Fluxys End Users Day.
- Fluxys. (2014, september 23). *Afschakelplan elektriciteit: Fluxys Belgium klaar om de bevoorradingszekerheid in aardgas te waarborgen*. Opgehaald van Fluxys: [http://www.fluxys.com/belgium/nl-be/NewsAndPress/2014/140923\\_News\\_Delestage](http://www.fluxys.com/belgium/nl-be/NewsAndPress/2014/140923_News_Delestage)
- ICEDD. (2015). *La cogeneration: un autre outil pour gerer sa charge électrique*.
- ISO. (2014). *ISO 8528-1: Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets - Part 1: Application, ratings and performance*.
- Klimstra, J. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals: Natural-gas-fuelled engines for emergency operation*.
- Klimstra, J. (2007). *On the values of local electricity generation*.
- Klimstra, J. (2008). *On the values of local electricity generation*. Intelligent Energy Europe.
- Staatsblad. (2013). *Koninklijk besluit van 25 april 2013 tot wijziging van de artikelen 1, 3, 28, 100, 104, 151, 200 en 207 van het Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties*.

Synergrid. (2012). *C10/11: specifieke technische aansluitingsvoorschriften voor gedecentraliseerde productie-installaties die in parallel werken met het distributienet.*

Vinçotte. (2014). *Elektrische installaties in medisch gebruikte ruimten: nieuwe T 013/IA.*

VMI Engineering & Contracting. (2015). Que prévoir dans votre cogénération pour permettre à votre entreprise de tourner au ralenti en cas de. Séminaire: La cogénération un autre outil pour gérer sa charge électrique?: Institut de conseil et d'études en développement durable.

VMI Engineering & Contracting. (sd). *Analyse du fonctionnement en îlotage de la cogénération.*

Vos, J. (. (2013). *Risicoanalyse als basis voor keuze noodstroomvoorziening.* Zorg en techniek.