



## ISSO-publicatie 96 Ontwerp, realisatie en beheer van WKK-installaties in utiliteitsgebouwen

ISBN: 978-90-5044-243-5

Uitgever: ISSO

Taal: nl

Publicatiedatum: 01/11/11

Herkomst print: 19/11/23

Deze publicatie beschrijft het ontwerpproces van een installatie met warmtekracht units, zowel voor utiliteitsgebouwen met bestaande installaties als voor nieuwbouwprojecten. De weergegeven rendementen in deze publicatie zijn gebaseerd op de calorische onderwaarde van aardgas. De publicatie is opgedeeld in de vijf projectfasen van de structuur MKK (Model Kwaliteitsbeheersing Klimaatinstallaties). In de programmafase wordt, aan de hand van de wensen van de opdrachtgever en de overige uitgangspunten, geanalyseerd of toepassing van een installatieconcept met WKK aantrekkelijk is. Naast het vaststellen van de contouren van het installatieconcept wordt aan de hand van een vierstappenplan een economische analyse uitgevoerd. In de ontwerpfase wordt de WKK-installatie verder uitgewerkt. De vier stappen worden opnieuw doorlopen, maar gedetailleerder. Daarnaast is met name de inpassing van de WKK-unit(s) in de installatie in deze fase een belangrijk aspect. Een belangrijk onderdeel in de uitwerkingsfase is het functioneel ontwerp. Bij met name de laatste fasen is het van groot belang dat afwijkingen of wijzigingen teruggekoppeld worden naar de opdrachtgever en/of de ontwerper. De wijzigingen of afwijkingen moeten integraal beoordeeld worden met betrekking tot consequenties voor de rentabiliteit en techniek.



# ISSO-PUBLICATIE 96 ONTWERP, REALISATIE EN BEHEER VAN WKK-INSTALLATIES IN UTILITEITSGEBOUWEN

## INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	7
Symbolenlijst	9
Grafische symbolenlijst	11
Begrippenlijst	13
1 Inleiding	15
1.1 Doel van de publicatie	15
1.2 Toepassingsgebied	15
1.2.1 Doelgroepen	15
1.2.2 Technische inhoudelijke omvang	15
1.3 Waarom een warmtekrachtinstallatie toepassen?	16
1.4 Rendement op boven- of onderwaarde	16
1.5 Werkwijze en opzet van de publicatie	17
2 Programmafase	19
2.1 Inleiding	19
2.2 Toepassingsgebieden WKK	19
2.3 Eisen en wensen opdrachtgever	20
2.4 Keuze afgifte-installatie	20
2.4.1 Inleiding	20
2.4.2 Invloed temperatuurniveau CV-net	21
2.4.3 Afgiftesystemen en warmtegebruikers	22
2.4.4 Voorbeeld	22
2.5 Selectie opwekkingsinstallatie met WKK	22
2.5.1 Overzicht onderdelen	22
2.5.2 Selectiecriteria onderdelen	23
2.6 Selectie WKK-unit op basis van de energievraag (Stap 1)	26
2.6.1 Inleiding	26
2.6.2 Berekeningsmethoden	26
2.6.3 Bepalen warmte- en koudevraag	27
2.6.4 Bepalen elektriciteitsvraag	27
2.6.5 Selectie WKK-unit	27
2.7 Bedrijfsvoering op basis van rentabiliteit per draaiuur (Stap 2)	28
2.8 Energiestromen en exploitatiekosten (Stap 3)	31
2.9 Economische analyse (Stap 4)	32
2.10 Programma van eisen installatie met WKK	34
3 Ontwerpfase	41
3.1 Inleiding	41
3.2 Berekenen vermogensbehoefte verwarming	42
3.3 Berekenen vermogensbehoefte elektriciteit	42
3.4 Berekenen vermogensbehoefte koeling	42
3.5 Toe te passen warmtegebruikermodulen	42
3.6 Uitwerking WKK-unit	44
3.6.1 Dimensionering aan de hand van Stap 1, 2, 3 en 4	44
3.6.2 Warmteopwekkermodulen	46
3.6.3 Proces- en instrumentatieschema	48
3.6.4 Elektrische inpassing	51
3.6.5 Gewenste functionaliteit	53
3.6.6 Regelbaarheid	53
3.6.7 Gasaansluiting	53

3.6.8 Afmetingen	54
3.6.9 Gewichtsbelasting	55
3.6.10 Geluid en trillingen	56
3.6.11 Milieuaspecten	56
3.7 Uitwerking buffervat	56
3.7.1 Dimensionering	56
3.7.2 Opwekkermodule	56
3.7.3 Gewenste functionaliteit	57
3.8 Uitwerking naverwarming	57
3.8.1 Dimensionering	57
3.8.2 Warmteopwekkermodule	57
3.8.3 Gewenste functionaliteit	59
3.9 Uitwerking voorverwarming	60
3.9.1 Dimensionering	60
3.9.2 Warmteopwekker module	60
3.9.3 Gewenste functionaliteit	61
3.10 Uitwerking warmteafvoer	62
3.10.1 Dimensionering	62
3.10.2 Koudeopwekker module	62
3.10.3 Proces- en instrumentatieschema	63
3.10.4 Gewenste functionaliteit	64
3.11 Uitwerking warmtegedreven koelproces	65
3.11.1 Dimensionering	65
3.11.2 Warmtegebruikermodule	65
3.11.3 Gewenste functionaliteit	65
3.12 Hydraulische inpassing opwekking, distributie en afgifte	66
3.12.1 Actief distributienet	66
3.12.2 Passief distributienet	66
3.12.3 Zowel actief als passief distributienet	67
3.13 Hydraulische inpassing opwekkingsinstallatie	68
4 Uitwerkingsfase	71
4.1 Inleiding	71
4.2 Uitwerking functioneel ontwerp	71
4.2.1 Functionele omschrijving op hoofdniveau	72
4.2.2 Processchema's met bedrijfssituaties en ontwerpwaarden	73
4.2.3 Proces- en instrumentatieschema met componenten lijst	75
4.2.4 Bedrijfssituaties	77
4.2.5 WKK-unit, groep 1	79
4.2.6 Naverwarming, groep 2	80
4.2.7 Naverwarming, groep 3	81
4.2.8 Voorverwarming, groep 4	82
4.2.9 Warmteafvoer, groep 5	83
4.2.10 Warmteafvoer, groep 6	84
4.2.11 Registratie en visualisatie	85
4.3 Keuze van materialen en fabricaten	88
4.4 Werkbescheiden	89
5 Realisatiefase	91
5.1 Inleiding	91
5.2 Kwaliteitsbewaking	91
5.3 Veiligheid, gezondheid en milieu	94
5.4 Beproeving van de installatie	94
5.5 In bedrijf stelling van de installatie	94
5.6 Revisiebescheiden en oplevering	95
5.7 Nazorg	96
6 Beheerfase	97

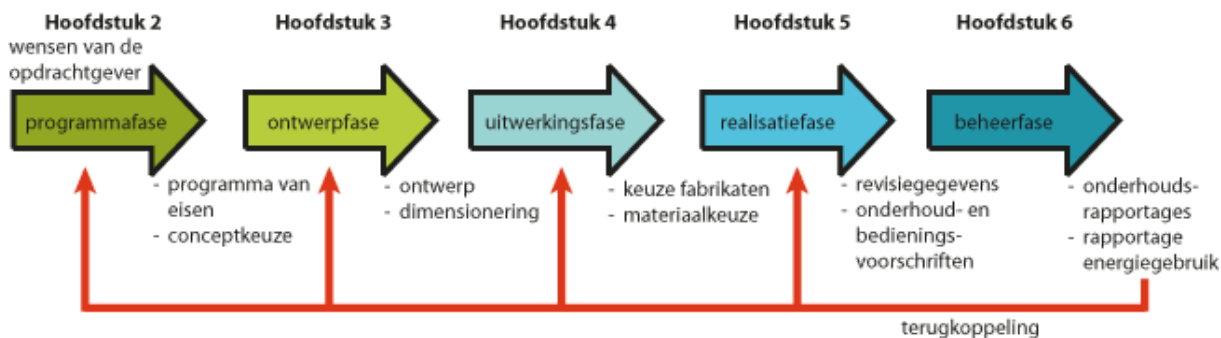
6.1 Inleiding	97
6.2 Onderhoud en verplichtingen vanuit wetgeving	97
6.3 Monitoring en evaluatie	98
6.3.1 Registratie en analyse van data	98
6.3.2 Economisch functioneren	99
Bijlage A Kenmerken WKK-units	101
Bijlage B Selectie WKK-units op basis van de energievraag (Stap 1)	109
Bijlage C Bedrijfsvoering op basis van rentabiliteit per draaiuur (Stap 2)	113
Bijlage D Energiestromen en exploitatiekosten (Stap 3)	123
Bijlage E Economische analyse (Stap 4)	125
Bijlage F Berekenen vermogensbehoefte verwarming	131
Bijlage G Berekenen vermogensbehoefte en bepalen afgiftesystemen koeling	137
Bijlage H Dimensionering buffervat	141
Bijlage I Achtergrondformules	147
Bijlage J Voorbeeld projecten	151
J.1 Investeringsbeslissing grote revisiebeurt	151
J.2 Onderzoek toepassing warmtegedreven koelproces	155
J.3 Realisatie WKK-unit in bestaande installatie	157
Bijlage K Wetgeving en kwaliteitseisen WKK	169
Literatuurlijst	171
Colofon	173



# SAMENVATTING

In deze publicatie wordt het ontwerp(proces) van een installatie met warmtekracht unit(s) beschreven. De inhoud is zowel geschikt voor utiliteitsgebouwen met bestaande installaties als nieuwbouwprojecten. De weergegeven rendementen in deze publicatie zijn gebaseerd op de calorische onderwaarde van aardgas.

Deze publicatie is opgedeeld in de vijf projectfasen van de MKK (Model Kwaliteitsbeheersing Klimaatinstallaties) structuur, zie onderstaande afbeelding.



## Afb. Projectfasen van de MKK structuur waarin deze publicatie is opgedeeld

In de programmafase (hoofdstuk 2) wordt, aan de hand van de wensen van de opdrachtgever en de overige uitgangspunten, geanalyseerd of toepassing van een installatieconcept met WKK aantrekkelijk is. Naast het vaststellen van de contouren van het installatieconcept wordt aan de hand van een 4 stappen plan een economische analyse uitgevoerd, zie onderstaande afbeelding.



## Afb. Stappenplan om te komen tot een optimale keuze voor een installatie met WKK-unit

In de ontwerpfase (hoofdstuk 3) wordt de WKK-installatie verder uitgewerkt. In deze fase worden de stappen 1 t/m 4 opnieuw, maar wel gedetailleerder, doorlopen. Daarnaast is met name de inpassing van de WKK-unit(s) in de installatie in deze fase een belangrijk aspect.

Een belangrijk onderdeel in de uitwerkingsfase (hoofdstuk 4) is het functioneel ontwerp. Bij met name de laatste fasen is het van groot belang dat afwijkingen of wijzigingen teruggekoppeld worden naar de opdrachtgever en/of de ontwerper (zie rode lijn in de eerste afbeelding). De wijzigingen of afwijkingen moeten integraal beoordeeld worden met betrekking tot consequenties voor de rentabiliteit en techniek.


































# SYMBOLENLIJST

Symbol	Omschrijving	Eenheid
$\rho$	soortelijke massa	[ kg/m <sup>3</sup> ]
$\varepsilon$	rendement ( $\varepsilon$ ) van een koelproces	[ - ]
$\eta$	rendement	[ % ]
a	jaar	[ - ]
CCFa	contant gemaakte cashflow in jaar a	[ euro ]
CF	cashflow	[ euro ]
COP	rendement warmteopwekker of condensorwarmte afvoer (Coëfficiënt Of Performance)	[ - ]
cp	soortelijke warmte	[ kJ/kg·K ]
CWR	contant gemaakte restwaarde	[ euro ]
dT	temperatuurverschil	[ K ]
E	elektriciteitshoeveelheid, bijvoorbeeld van referentie installatie: Eref	[ kWh ]
EB	energiebelasting	[ - ]
ETVT	eenvoudige terugverdientijd = (investering - subsidies)/jaarlijkse opbrengst	[ a ]
f	factor, bijvoorbeeld jaarlijkse stijging rente: frente	[ % ]
h	enthalpie	[ kJ/kg ]
Hi	calorische onderwaarde of stookwaarde (31.669)	[ kJ/m <sup>3</sup> ]
Hs	calorische bovenwaarde (35.096)	[ kJ/m <sup>3</sup> ]
IO	netto investeringsbedrag (= investering - subsidies)	[ euro ]
Kx	kosten van onderdeel x	[ euro ]
Lp	gewogen geluidsdrukkniveau (in deze publicatie wordt de eenheid dB(A) aangehouden; in het bouwbesluit wordt hiervoor Li;A in [dB] aangehouden)	[ dB(A) ]
n	levensduur	[ jaar ]
n	aantal tapeenheden	[ TE ]
nomzetting	omzetverhouding warmtegedreven koelproces (hoeveelheid koude/hoeveelheid warmte)	[ kWk/ kWw ]
NCW	netto contante waarde	[ euro ]
p	druk	[ Pa ]
P	vermogen, elektrisch	[ kW ]
$\Phi$	vermogen, thermisch	[ kW ]
PER	Primary Energy Ratio	[ - ]
qv	volumestroom	[ bijv. m <sup>3</sup> / s ]
RW	restwaarde	[ euro ]
t	tijd	[ bijv. h ]
$\theta$	temperatuur	[ °C ]
V	volume	[ m <sup>3</sup> ]
Q	energiehoeveelheid	[ kWh ]

x1	meetwaarde die een gebruikermoduul ingaat of uit een opwekkermoduul komt (x= bijvoorbeeld een temperatuur, TE of druk, PP)	[ °C ]
x2	meetwaarde die een warmte- of koudegebruiker ingaat of uit een warmte- of koudeopwekker komt (x= bijvoorbeeld een temperatuur, TE of druk, PP)	[ °C ]
x3	meetwaarde die uit een warmte- of koudegebruiker komt of een warmte- of koudeopwekker ingaat (x= bijvoorbeeld een temperatuur, TE of druk, PP)	[ °C ]
x4	meetwaarde die uit een gebruikermoduul komt of een opwekkermoduul ingaat (x= bijvoorbeeld een temperatuur, TE of druk, PP)	[ °C ]

# GRAFISCHE SYMBOLENLIJST

	-	Buffervat
	CP	Circulatiepomp
	CP	Circulatiepomp met toerenregeling
	RA	Drieweg regelafsluiter met servomotor
	PI	Drukaanwijzer
	PdT	Drukverschilopnemer (zendend)
	PP	Druk proefaansluitpunt
	PT	Drukopnemer (zendend)
	-	Expansievoorziening
	-	Filter
	G	Generator
	-	Handafsluiter
	IRA	Inregelafsluiter met meetnippels
	MA	Motorbediende afsluiter (open/dicht)
	-	Tappunt
	TSA	Tegenstroom apparaat
	TA	Temperatuur alarm
	TI	Temperatuur aanwijzer (thermometer)
	TE	Temperatuur opnemer passief (zendend)
	TT	Temperatuur opnemer actief (zendend)
	-	(Trilling)compensator
	-	Terugslagklep
	RA	Tweeweg regelafsluiter met servomotor
	-	Veerveiligheid met opvang in een (gesloten) bak
	-	Veerveiligheid met sifon

	FT	Volumestroommeter (zendend)
	WA	Warmteafvoerinstallatie
	-	Warmtegebruiker
	-	Warmteopwekker

# BEGRIPPENLIJST

## Actieve systeeminhoud

De hoeveelheid medium die door een onderdeel van de installatie heen kan stromen.

## Calorische bovenwaarde

Verbrandingswarmte waarbij de bij de verbranding gevormde waterdamp volledig condenseert.

## Calorische onderwaarde

Calorische bovenwaarde minus latente warmte. De latente warmte is de warmte-inhoud van de hoeveelheid waterdamp bij verbranding van 1 m<sup>3</sup> aardgas.

## Coëfficiënt of performance (COP)

De verhouding van de afgegeven warmtestroom  $\Phi_c$  en het aan de as opgenomen vermogen  $P$ .

$$\text{COP} = \frac{\Phi_c}{P}$$

## Energiebalans

Zie warmtebalans.

## Intercooler

Tussenkoeler, om de brandstof, voordat het de cilinder ingaat te koelen: een turbocompressor verhoogt de einddruk en -temperatuur; de verhoogde temperatuur kan leiden tot spontane ontbranding (kloppen) van de brandstof. De intercooler verbetert ook het resultaat van de turbocompressie omdat de dichtheid van het mengsel toeneemt.

## Nominaal verwarmingsvermogen

Totaal op te stellen verwarmingsvermogen.

## Primary Energy Ratio (PER)

Verhouding tussen de totaal geleverde warmte en koude en de daarvoor benodigde energie van de (opwekkings)installatie.

## Programma Van Eisen (PvE)

Overzicht van de wensen en eisen die een opdrachtgever heeft ten aanzien van een te bouwen project.

## Processchema

Principeschema waarin installatietechnische componenten zijn opgenomen, maar geen opnemers.

## Proces- en instrumentatieschema

Processchema waarin zowel installatietechnische componenten als opnemers zijn opgenomen.

## Warmteafvoer (WA)

Onderdeel van een installatie die in staat is warmte af te voeren. Dit kan bijvoorbeeld een droge koelerinstallatie, een koeltoreninstallatie of een installatie om warmte naar oppervlaktewater af te voeren zijn.

## Warmtebalans

Overzicht met informatie over WKK-unit bij verschillende belastingen. De informatie gaat met name over het gasverbruik, de verbrandingslucht, elektrische gegevens, temperaturen, thermische vermogens, rendementen en emissies.

## Warmtegedreven koelproces

Koelproces dat gebruik maakt van warmte als energie bron. Dit zijn bijvoorbeeld ab- en adsorptie koelmachines en DEC-systemen.

**Warmtekracht-verhouding**

De hoeveelheid nuttig gebruikte warmte gedeeld door de hoeveelheid opgewekte elektriciteit: kWth/kWe. Bij WKK-units ligt deze waarde over het algemeen tussen de 0,5 en 1,7.

**WKK**

Warmtekrachtkoppeling, gecombineerde opwekking in één proces, op basis van een brandstof, van warmte en elektriciteit (of mechanische energie).

# 1 INLEIDING

## 1.1 DOEL VAN DE PUBLICATIE

In deze publicatie wordt uiteengezet hoe een goed functionerende WKK-installatie kan worden gerealiseerd. Onder goed werkend worden de volgende aspecten verstaan.

- Financieel rendabel;
- Technisch correct, waarbij met name ingegaan wordt op de hydraulische inpassing.

De inhoud van deze publicatie is op basis van ervaringen uit gerealiseerde WKK-projecten en de voorhanden zijnde normen en ISSO-publicaties tot stand gekomen.

## 1.2 TOEPASSINGSGEBIED

De publicatie richt zich op WKK-installaties in de gebouwde omgeving. De inhoud is geschikt voor zowel bestaande installaties als nieuwbouw projecten. Met de publicatie wordt bereikt dat fouten en belemmeringen uit eerdere projecten worden vermeden en de realisatie van een WKK-installatie met de juiste ontwerp- en uitvoeringstechnieken wordt gerealiseerd. Met deze normstellende ISSO-publicatie is het huidige kennisniveau voor warmtekrachtinstallaties vastgelegd en ter beschikking gesteld aan de installatiesector.

### 1.2.1 Doelgroepen

De hierna volgende groepen kunnen gebruik maken van deze publicatie.

Tabel 1.1 Doelgroepen

Doelgroep	Mogelijke vragen
Adviseurs	Hoe kan ik een goed WKK project realiseren?
Gebouwbeheerders	Functioneert mijn (toekomstige) installatie rendabel?
	Is mijn installatie hydraulisch goed ingepast?
	Wat zijn de mogelijkheden voor het onderhoud?
Installatiebedrijven	Hoe moet een WKK hydraulisch ingepast worden?
	Waar moet ik op letten bij het onderhoud?
Onderwijs	Welke aspecten van een WKK kunnen naar voren worden gebracht?
Opdrachtgevers (o.a. projectontwikkelaars, architecten)	In welke situaties kan een WKK rendabel worden ingezet?
	Wat levert een WKK-installatie economisch en milieutechnisch op?
Toeleveringsindustrie	In welke situaties kan een WKK rendabel worden ingezet?
	Wat is een goede besturingsstrategie?

### 1.2.2 Technische inhoudelijke omvang

In deze publicatie wordt ervan uitgegaan dat er in alle situaties een centraal verwarmingsnet (CV-net) aanwezig is. Vanuit dit CV-net kan de warmte gebruikt worden voor bijvoorbeeld de verwarming van een gebouw en/of voor tapwaterbereiding. Het uitgangspunt is dat de door een WKK-unit opgewekte warmte nuttig wordt gebruikt, afgezien van noodstroomsituaties. Noodstroomaggregaten (NSA's) vallen dan ook buiten de scope van deze publicatie. Hetzelfde geldt voor brandstofcellen.

Toepassing van buffervaten voor het verkrijgen van stabiliteit in het CV-systeem is in deze publicatie uitgewerkt. Grote opslagvaten en warmteopslag in een aquifer zijn buiten beschouwing gelaten.

De opstellingsplaats van een WKK kan zowel in een gebouw zelf zijn, als in een (aparte) ruimte buiten het gebouw.

Als brandstof is uitgegaan van aardgas. Als er een andere brandstof is toegepast, dan kan deze publicatie voor het overgrote deel nog wel gebruikt worden voor alle andere aspecten.

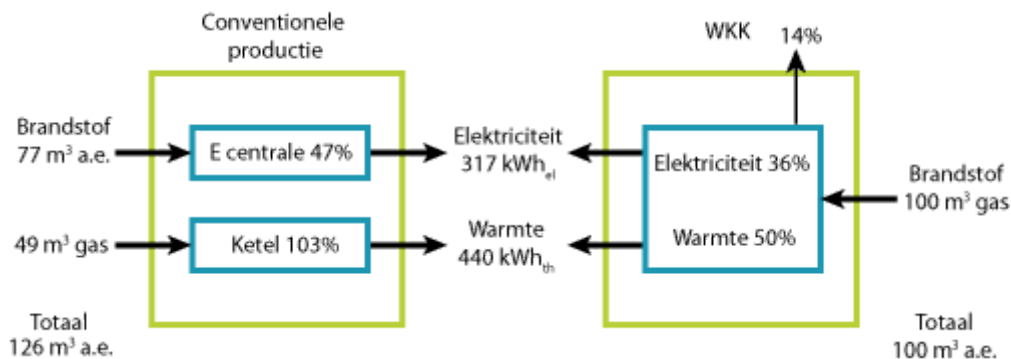
Er worden geen micro warmtekracht-installaties in deze publicatie behandeld. Hiervoor wordt verwezen naar ISSO-rapport 636 [19]. De ondergrens (ca. 5 kWe) ligt in deze publicatie hier boven. Als bovengrens is een elektrisch vermogen van 2 MWe gehanteerd. Er zijn enkele

gasmotoren te koop met nog grotere vermogens (tot 5 MWe). Deze toepassing komt echter zo weinig voor in de utiliteit dat deze specifieke motoren buiten beschouwing zijn gelaten.

### 1.3 WAAROM EEN WARMTEKRACHTINSTALLATIE TOEPASSEN?

Bij de productie van elektriciteit uit fossiele brandstoffen of biomassa komt altijd een grote hoeveelheid restwarmte vrij. Deze warmte wordt vaak weggekoeld met koeltorens of weggespoeld in het rivierwater. Hierdoor gaat een groot deel van de energie-inhoud van de brandstof verloren. Deze warmte kan echter ook nuttig worden aangewend, voor bijvoorbeeld de verwarming van utiliteitsgebouwen.

Een WKK-unit bespaart energie ten opzichte van gescheiden opwekking in een conventionele elektriciteitscentrale en een ketel. Dat principe wordt in afbeelding 1.1 in cijfers weergegeven.



Afb. 1.1 Conventionele opwekking (linkerzijde) vergeleken met opwekking door WKK (rechterzijde). De verliezen zijn niet weergegeven

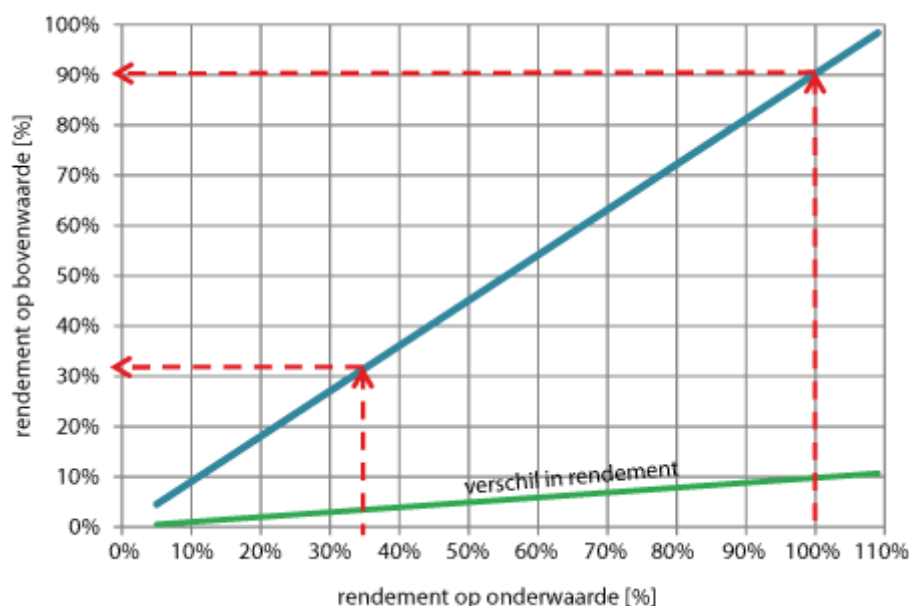
Een WKK bespaart in dit voorbeeld 21% ten opzichte van gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit. De hier gehanteerde rendementen zijn als voorbeeld gebruikt. Voor ieder project moet nagegaan worden wat de te hanteren uitgangspunten zijn.

Vanwege deze energiebesparing, wordt er ook minder CO<sub>2</sub> in de lucht uitgestoten. De CO<sub>2</sub> reductie bedraagt voor het hiervoor getoonde voorbeeld 21%. Naast deze milieuvoordelen kunnen er ook exploitatievoordelen met een WKK-installatie gerealiseerd worden. In paragraaf 2.3 wordt verder ingegaan op de wensen die een opdrachtgever kan hebben om een WKK-installatie aan te schaffen.

### 1.4 RENDEMENT OP BOVEN- OF ONDERWAARDE

De opgegeven rendementen van een WKK-unit zijn (bijna) altijd gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde van aardgas. Hier moet bij het maken van berekeningen goed rekening mee gehouden worden, omdat in de praktijk hier regelmatig fouten mee worden gemaakt. In deze publicatie zijn al de weergegeven rendementen gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde van aardgas, ook wel calorische onderwaarde of stookwaarde genoemd. In afbeelding 1.2 is de relatie tussen het rendement dat gebaseerd is op de bovenwaarde ten opzichte van de onderwaarde weergegeven.





Afb. 1.2 Relatie tussen een rendement dat gebaseerd is op de onder- (x-as) en bovenwaarde (y-as); tevens is het verschil tussen beide rendementen weergegeven (groene lijn)

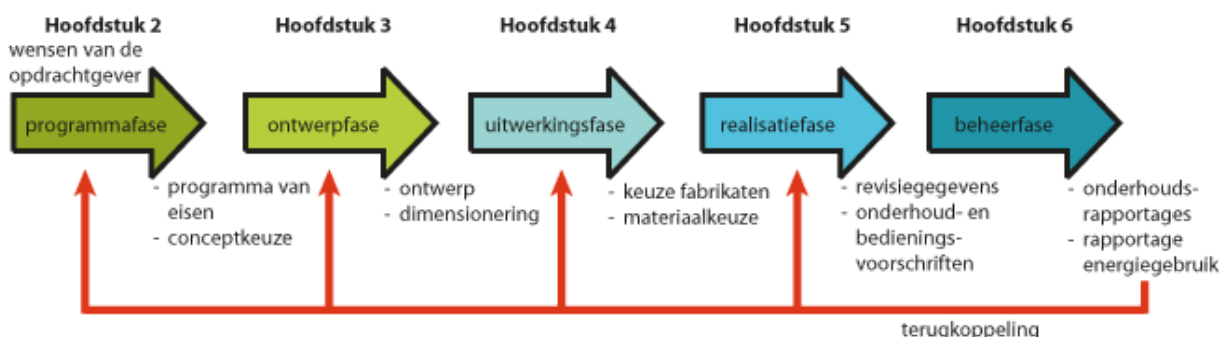
Het verschil tussen beide rendementen is niet overal gelijk. Bij een onderwaarde van 35% bedraagt het rendement op bovenwaarde 31,6% (verschil is 3,4%). En bij een onderwaarde van 100% bedraagt het rendement op bovenwaarde 90,2% (verschil van bijna 10%). Deze punten zijn in afbeelding 1.2 met gestippelde rode lijnen weergegeven.

## 1.5 WERKWIJZE EN OPZET VAN DE PUBLICATIE

In deze publicatie wordt het voortbrengingsproces van een WKK-installatie integraal vastgelegd vanaf de initiatieffase tot en met de beheerfase en sloop. Het kan hierbij gaan om een project waarbij een nieuw gebouw wordt gerealiseerd. Ook kan het gaan om een bestaand gebouw met WKK-installatie. Bij een bestaand WKK-project kunnen onder andere de hierna volgende punten een rol spelen om deze publicatie te gaan gebruiken.

- Een uitbreiding van de WKK capaciteit;
- Het reviseren van een WKK-unit;
- Het vervangen van een WKK-unit.

Voor zowel de nieuwbouw als de bestaande installatie kan de in deze publicatie beschreven opzet gebruikt worden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de in de installatiesector toegepaste MKK-structuur. Deze structuur bestaat uit vijf projectfasen. Bij iedere fase is input nodig om invulling te geven aan de betreffende fase. Het resultaat van de fase vormt de input van de volgende fase. Deze projectfasen zijn universeel en worden ook toegepast door andere bouwpartners. In afbeelding 1.3 zijn de projectfasen weergegeven. Tevens is aangegeven in welke hoofdstuk de betreffende fase is uitgewerkt.



Afb. 1.3 Projectfasen volgens de MKK structuur met de bijbehorende hoofdstuk verwijzing

Bij het ontwerpproces van installaties wordt vaak gewerkt met de volgende fasering/documentbenaming:

- Programma van eisen;
- Voorontwerp;
- Definitief ontwerp;
- Bestek.

Deze fasering en documentbenaming komt niet geheel overeen met de fasen van de MKK structuur. In afbeelding 1.4 is de relatie weergegeven tussen de twee structuren.



Afb. 1.4 MKK-structuur in relatie met veelgebruikte fasering VO/DO/bestek (RVOI)

## 2 PROGRAMMAFASE

### 2.1 INLEIDING

Het doel van de programmafase is het komen tot een concept keuze/voorontwerp en een bijbehorend programma van eisen voor een WKK-installatie. Het programma van eisen dient als uitgangspunt voor de volgende fase: de ontwerpfase (hoofdstuk 3).



#### Afb. 2.1 In- en output van de programmafase

In de programmafase wordt geïnventariseerd wat de wensen van de opdrachtgever zijn. Op basis van deze inventarisatie wordt een keuze gemaakt van een installatieconcept met een WKK. Van dit concept wordt de economische haalbaarheid onderzocht. Als blijkt dat het concept met de WKK interessant is, wordt een programma van eisen (PvE) opgesteld.

Tabel 2.1 Stappen die in programmafase doorlopen moeten worden

	Nr.	Actie	Paragraaf
	1	Controleer of het voorgesteld project binnen het toepassingsgebied van een WKK-installatie ligt	2.2
	2	Inventariseer de wensen van de opdrachtgever en de randvoorwaarden	2.3
	3	Keuze van de afgifte-installatie	2.4
	4	Selecteer opwekkingsinstallatie met WKK	2.5
	5	Selecteer een WKK-unit op basis van een inschatting of berekening van de warmte, koude- en elektriciteitsvraag, Stap 1	2.6
	6	Bepaal de bedrijfsvoering aan de hand van de rentabiliteit per draaiuur, Stap 2	2.7
	7	Bereken de energiestromen en -kosten, Stap 3	2.8
	8	Maak een economische analyse, Stap 4	2.9
	9	Verwerk de voorgaande stappen in een PvE	2.10

Nummer 5 tot en met 8 moet bij een project meerdere keren doorlopen worden:

- Als bijvoorbeeld in een begin stadium van een project alleen kentallen aanwezig zijn, dan kan de economische haalbaarheid aan de hand daarvan berekend worden. In een later stadium moet dit dan opnieuw gebeuren aan de hand van gedetailleerdere gegevens;
- Om daarnaast een installatie te kunnen selecteren die economisch gezien het beste gaat presteren, moeten de hiervoor genoemde stappen voor verschillende vermogens van een WKK-unit uitgevoerd te worden;
- Bij de berekeningen kan naar voren komen dat een wijziging in de grootte van de energieafname (elektra en gas) er voor gaat zorgen dat de energietarieven wijzigen (er is bijvoorbeeld sprake van een andere schijf voor de energiebelasting).

### 2.2 TOEPASSINGSGEBIEDEN WKK

De richtlijn voor het aantal te realiseren draaiuren per jaar met een WKK-unit is 4.000 uren. Daarboven is het in veel gevallen economisch gezien aantrekkelijk om een WKK-unit in te zetten.

Er zijn tal van toepassingsmogelijkheden denkbaar. Enkele voorbeelden van toepassingen zijn:

- Fitness centrum;
- Hotel;
- Kantoorgebouw<sup>1</sup> met noodstroom voor bijv. ICT;

<sup>1</sup>1

- Kantoorgebouw<sup>2</sup> met veel douche gelegenheden (fitness);
- Kantoorgebouw<sup>3</sup> met een warmtegedreven koelproces;
- Kantoorgebouw met bedrijfstijd van 7 werkdagen;
- Universiteit;
- Verzorgingstehuis;
- Ziekenhuis;
- Zwembad;
- Allerlei combinaties van de hiervoor genoemde toepassingen.

## 2.3 EISEN EN WENSEN OPDRACHTGEVER

De wens van de opdrachtgever kan in eerste instantie het ontwikkelen van een of meerdere nieuwe gebouwen zijn. Ook kan er sprake zijn van een renovatie- of uitbreidings project van een gebouw of een installatie met WKK. In alle gevallen moet aan de functionaliteits-eisen van de opdrachtgever worden voldaan. De functionaliteit is afgeleid uit de activiteiten die plaats zullen vinden in het gebouw.

Naast deze functionele aspecten zal de opdrachtgever aanvullende wensen en eisen hebben. Dit is bijvoorbeeld een laag energiegebruik en daarmee samenhangend zo laag mogelijke exploitatiekosten. Ook kan er sprake zijn van het 'zelf' willen opwekken van elektriciteit.

De opdrachtgever zal ook aanvullende randvoorwaarden hebben. In algemene zin kunnen er randvoorwaarden met betrekking tot de volgende punten worden geformuleerd.

- Plaats en vorm van het gebouw (architectuur). De raakvlakken met een WKK zijn:
  - Positie van een technische ruimte;
  - Een vorm met veel gebouwschil en veel glas geeft een hogere EPC.
- Situering van het gebouw in de omgeving en de indeling van het gebouw zelf. De raakvlakken met een WKK zijn:
  - Geluid van WKK-installatie naar omgeving;
  - Emissies van WKK-installatie naar omgeving;
  - Locatie van technische ruimte.
- Comfort in het gebouw. De raakvlakken met een WKK zijn:
  - Koppeling WKK met een bepaalde afgifte-installatie;
  - Koppeling met koelinstallatie.
- Infrastructuur en datacommunicatie. De raakvlakken met een WKK zijn:
  - Aanwezigheid van aardgas, elektra, stadsverwarming of -koeling;
  - Toepassing van een automatiseringsinstallatie, waarmee het ook mogelijk is om meetdata op te slaan.

Op basis van de eisen, wensen en randvoorwaarden wordt er een budget en planning beschikbaar gesteld voor de realisatie van het project.

## 2.4 KEUZE AFGIFTE-INSTALLATIE

### 2.4.1 Inleiding

Er kunnen verschillende invalshoeken gekozen worden om tot een keuze te komen voor een afgifte-installatie. In deze paragraaf zijn er twee uitgewerkt.

- Keuze gebaseerd op de retourtemperatuur van het CV-net. Bij dit uitgangspunt kan begonnen worden met paragraaf 2.4.2. In deze paragraaf is de invloed van de retourtemperatuur van het CV-net op het aantal te gebruiken warmtebronnen van de WKK-unit uitgewerkt. Ook wordt ingegaan op de invloed van de retourtemperatuur op de warmtekrachtverhouding en het rendement van een WKK-unit;
- Als de keuze gebaseerd wordt op het type afgifte-installatie, bijvoorbeeld radiatoren, dan kan begonnen worden bij paragraaf 2.4.3;
- In paragraaf 2.4.4 is nog een voorbeeld uitgewerkt om tot een keuze van een afgifte-installatie te komen.

---

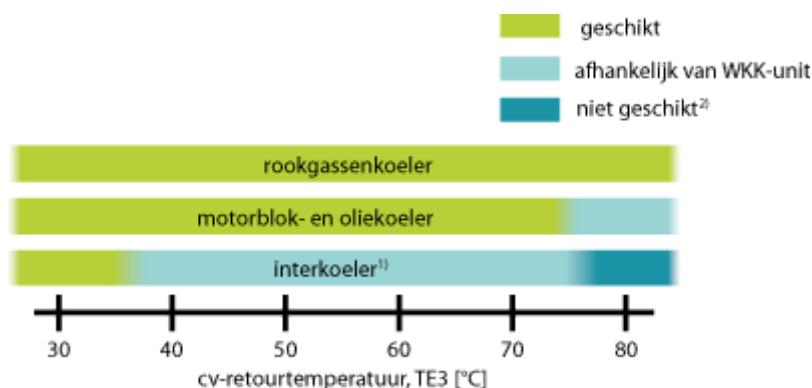
<sup>2</sup> 1

<sup>3</sup> 1

## 2.4.2 Invloed temperatuurniveau CV-net

Een WKK-unit genereert warmte. Afhankelijk van de uitvoering van de unit komt de warmte op één of meerdere temperatuur niveaus beschikbaar. Deze warmte wordt door middel van een afgiftesysteem aan een ruimte, of aan ventilatielucht of aan tapwater toegevoerd. Ook kan de warmte worden gebruikt voor een koelproces.

In afbeelding 2.2 is met behulp van de retourtemperatuur van het CV-net (TE3) aangegeven welke warmtebronnen van een WKK-unit nuttig gebruikt kunnen worden.



Afb. 2.2 Invloed retourtemperatuur CV-net op geschiktheid warmtebronnen van een WKK-unit

Toelichting bij afbeelding 2.2:	
1)	Bij WKK-units met een elektrisch vermogen dat groter is dan circa 300kW kan het nodig zijn om een apart interkoeler circuit, met een lager temperatuurniveau, te realiseren. In die gevallen is ook de balk 'interkoeler' van toepassing. Is er geen apart interkoeler circuit nodig, dan kan de balk 'motorblok- en oliekoeler' gebruikt worden.
2)	Mocht de retourtemperatuur te hoog zijn voor de WKK-unit, dan kan overwogen worden om de warmte van de interkoeler via een apart warmteafvoersysteem af te voeren. Dit kan bijvoorbeeld met behulp van een droge koeler.

Uit afbeelding 2.2 blijkt dat de retourtemperatuur van het CV-net invloed kan hebben op het aantal te gebruiken warmtebronnen van een WKK-unit. Als er minder warmtebronnen gebruikt kunnen worden, dan heeft dat invloed op de hierna volgende aspecten:

- De warmtekracht-verhouding;
- Het rendement.

Deze onderdelen worden hierna toegelicht.

### Warmtekracht-verhouding

De warmtekracht-verhouding daalt meestal bij een hogere retourtemperatuur, omdat het aantal nuttig te gebruiken warmtebronnen afneemt.

Bij een retourtemperatuur van 70 °C bedraagt de gemiddelde warmtekracht-verhouding bij motoren met een elektrisch vermogen kleiner dan 1 MWe circa 1,3 tot 1,7. Voor de grotere vermogens daalt de warmtekracht-verhouding globaal tot waarden tussen 1,0 en 1,3.

Bij een retourtemperatuur van 90 °C, daalt de warmtekracht-verhouding tot waarden tussen 0,5 en 1,0. Dit komt omdat bij deze temperaturen meestal de warmte van de interkoeler en oliekoeler niet benut kan worden. Dit geldt ook voor de warmte van de motorblokken. Bij een beperkt aantal motoren, waarbij hogere intredetemperaturen voor olie- en motorblokken zijn toegelaten wordt een hogere warmtekracht-verhouding van 1,0-1,5 bereikt.

### Rendement

Bijna bij alle gasmotoren ligt het elektrisch rendement bij vollastbedrijf tussen de 30 en 40%.

Bij een 'lage' retourtemperatuur van 70 °C ligt het thermisch rendement meestal tussen de 45 en 55%.

Een lagere retourtemperatuur dan 70 °C heeft met name een positief effect op het rendement als daardoor de warmte van de interkoeler benut kan gaan worden.

Bij een retourtemperatuur van 90 °C daalt voor relatief veel motoren het thermisch rendement tot waarden tussen de 20 en 30%. Allen de motoren met een warmtekracht-verhouding tussen 1,0 en 1,5 hebben dan nog een goed thermisch rendement van 40-50%. De situatie bij een retourtemperatuur van 110 °C is vergelijkbaar met die van 90 °C, met dit verschil dat er minder motoren beschikbaar zijn die thermische rendementen van 40-50% behalen.

### 2.4.3 Afgiftesystemen en warmtegebruikers

Alle afgiftesystemen zijn geschikt om in combinatie met een WKK-unit toegepast te worden. Naast hoge temperatuur afgiftesystemen, zoals radiatoren kunnen dus ook zeer lage temperatuur systemen, zoals wandverwarming of betonkernactivering worden toegepast.

Als warmtegebruikers kunnen warmtegedreven koelprocessen en tapwatersystemen genoemd worden. Ook deze systemen kunnen gecombineerd worden met WKK-units.

### 2.4.4 Voorbeeld

De wens is om een gebouw te realiseren, dat verwarmd gaat worden met een afgiftesysteem dat op een maximale retourtemperatuur van 70 °C ontworpen gaat worden. Het elektrische vermogen van de WKK-unit zal circa 150 kWe gaan bedragen.

- Uit afbeelding 2.2 blijkt dat de rookgassenkoeler geschikt is voor deze retourtemperatuur. De motorblokkenkoeler en de oliekoeler van de geselecteerde WKK-unit zijn hier ook voor geschikt. Gezien het elektrische vermogen dat waarschijnlijk opgesteld gaat worden zal er geen apart 'interkoeler circuit' nodig zijn volgens de toelichting bij afbeelding 2.2;
- Verder blijkt vanuit paragraaf 2.4.2 dat de warmtekracht-verhouding ongeveer tussen de 1,3 tot 1,7 zal liggen. Het elektrische rendement zal ongeveer tussen de 30 en 40% liggen en het thermische rendement tussen de 45 en 55%;
- Tenslotte kan in paragraaf 2.4.3 nagegaan worden welke afgiftesystemen toegepast kunnen worden.

## 2.5 SELECTIE OPWEKKINGSINSTALLATIE MET WKK

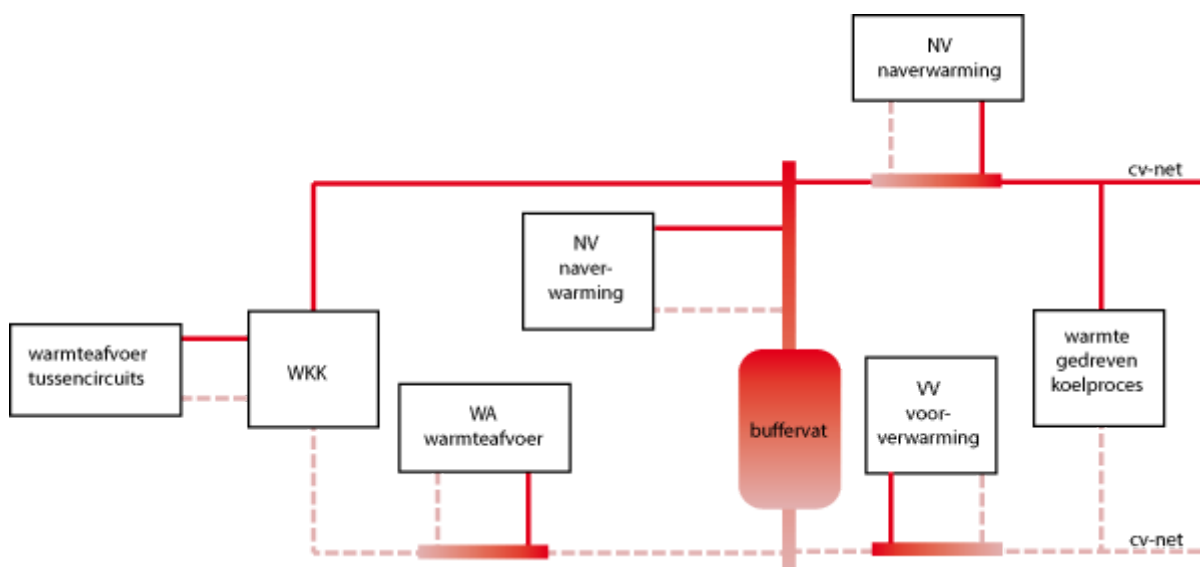
### 2.5.1 Overzicht onderdelen

Een WKK-installatie kan met verschillende onderdelen gecombineerd worden. Zoals in paragraaf 1.2.2 is uiteengezet, wordt ervan uitgegaan dat er in alle situaties een centraal verwarmingsnet (CV-net) aanwezig is. Vanuit dit CV-net kan de warmte bijvoorbeeld gebruikt worden voor de verwarming van een gebouw en/of voor tapwaterbereiding. In tabel 2.2 is een overzicht gegeven van de onderdelen die met een WKK-unit gecombineerd kunnen worden.

Tabel 2.2 Onderdelen die met een WKK-unit gecombineerd kunnen of moeten worden

Onderdeel	Toelichting
Buffervat	Kan worden opgenomen in het CV-net
Centraal verwarmingsnet	Uitgangspunt is dat dit onderdeel altijd aanwezig is
Naverwarming (NV)	Bijvoorbeeld ketels, om de temperatuur van het CV-net te verhogen of om meer verwarmingsvermogen te kunnen leveren
Voorverwarming (VV)	Bijvoorbeeld een warmtepomp, die als eerste warmteopwekker in het CV-net geschakeld is
Warmteafvoer (WA)	Dit kan bijvoorbeeld een droge koeler-installatie zijn, om al de warmte van de WKK af te voeren
Warmteafvoer tussencircuits	Bijvoorbeeld een droge koeler-installatie, om de warmte van bijvoorbeeld de interkoeler af te voeren
Warmtegedreven koelproces	Bijvoorbeeld een absorptie koelmachine

In afbeelding 2.3 zijn de hiervoor aangegeven onderdelen gevisualiseerd. Hiermee kan een beeld van de positie in een processchema worden verkregen. Tevens kan deze afbeelding goed worden gebruikt voor bijvoorbeeld een bespreking met een opdrachtgever over de keuzemogelijkheden die er zijn.

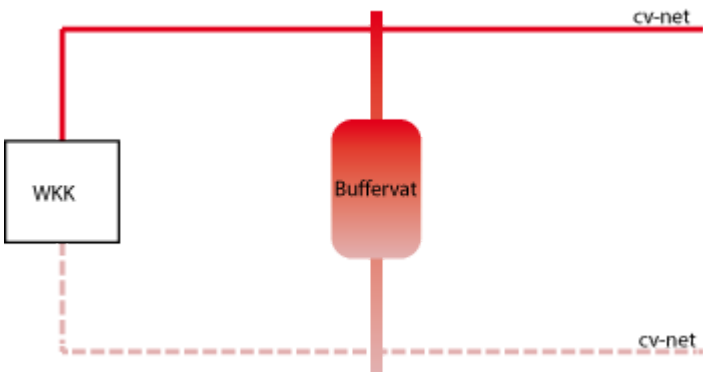
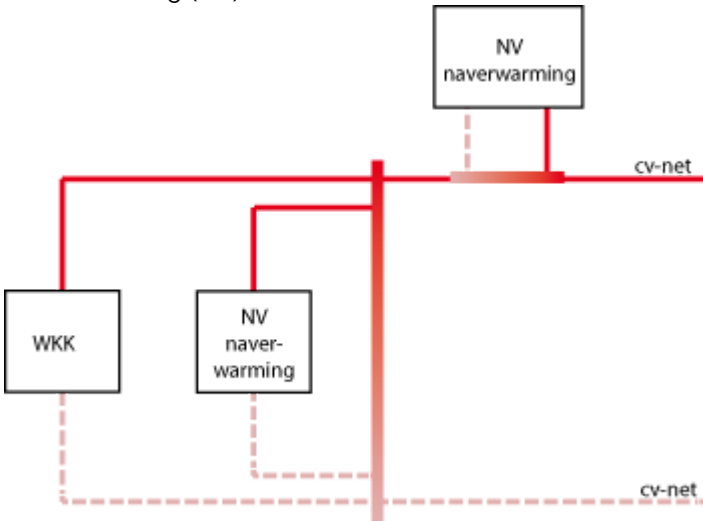
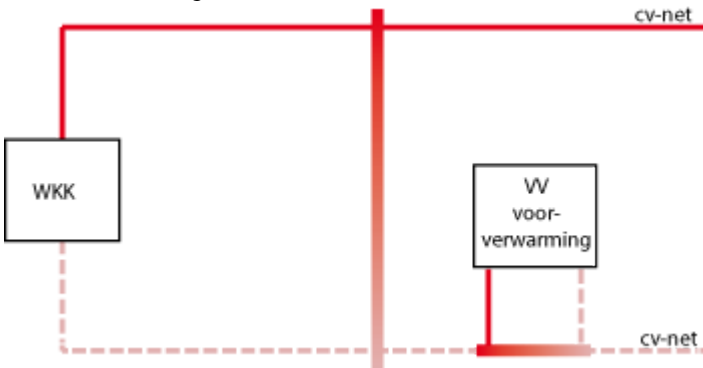


Afb. 2.3 WKK-unit gecombineerd met alle onderdelen

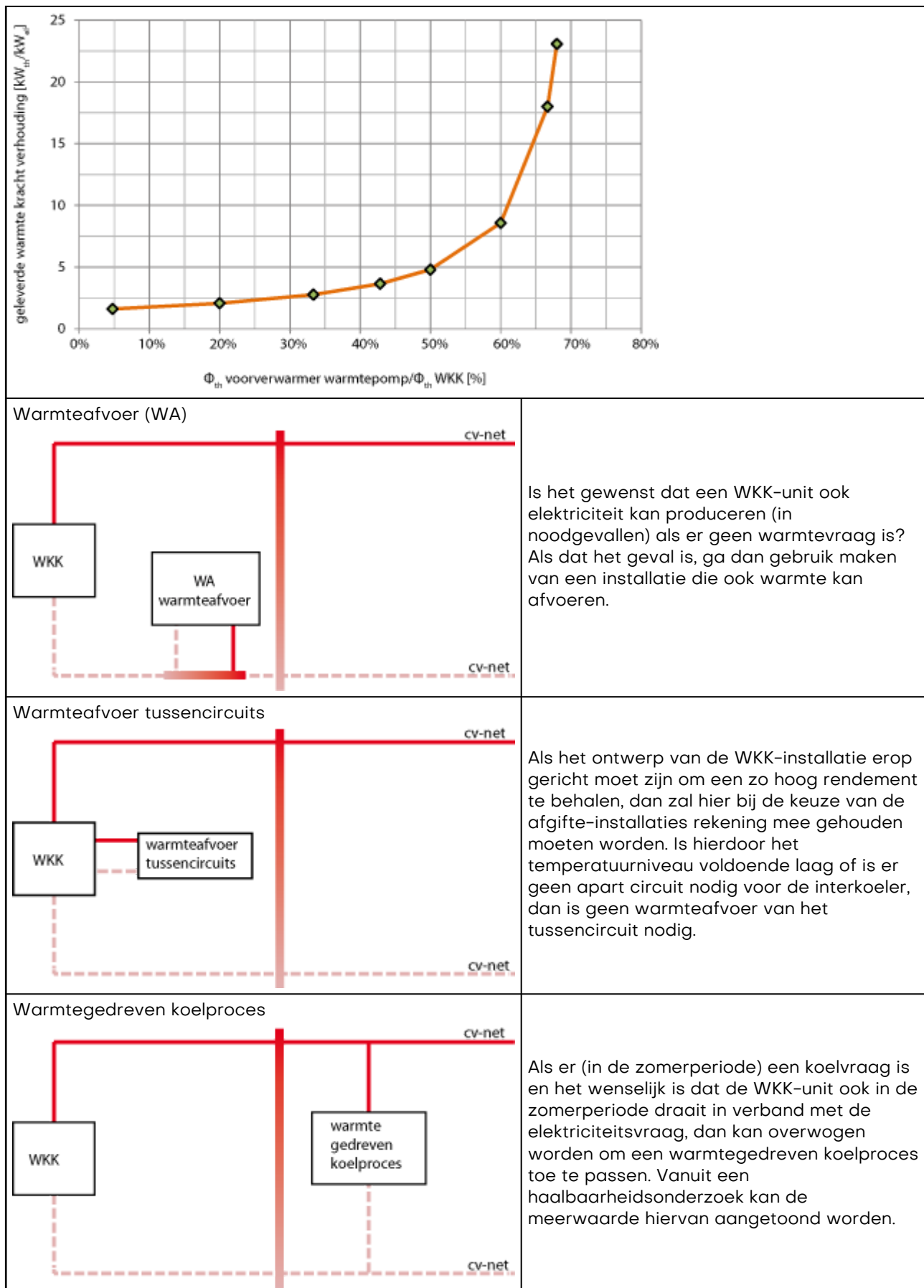
### 2.5.2 Selectiecriteria onderdelen

In deze paragraaf zijn richtlijnen gegeven om te kunnen komen tot een selectie van onderdelen die bij een WKK-installatie toegepast kunnen worden. Zoals al in paragraaf 2.5.1 is weergegeven, wordt een WKK in deze publicatie altijd met een CV-net gecombineerd. Daarom is dit onderdeel hier niet opgenomen.

Tabel 2.3 Varianten van WKK-unit gecombineerd met afnemers en componenten

Onderdeel	Overwegings criteria
<p>Buffervat</p> 	<p>Een buffervat wordt toegepast om het verschil in warmtevraag en -aanbod (tijdelijk) op te vangen.</p> <p>Pas een buffervat toe als:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>De actieve systeeminhoud van het leidingsysteem gering is of;</li> <li>Als het gewenst is dat de WKK-unit ook in een kleine warmtevraag kan voorzien (een WKK-unit kan beperkt in vermogen terug geregeld worden) of;</li> <li>Als er een piek in de warmtevraag opgevangen moet kunnen worden.</li> </ol> <p>Toepassing van een vat leidt tot een stabielere bedrijfsvoering en minder starts van de WKK-unit. Als richtlijn kan een maximaal aantal starts van 6x per dag worden aangehouden.</p>
<p>Naverwarming (NV)</p> 	<p>Bij utiliteitsgebouwen zal over het algemeen niet het volledige verwarmingsvermogen door een WKK-unit geleverd gaan worden. In die gevallen is het nodig om de temperatuur in het CV-net te kunnen verhogen en/of om meer verwarmingsvermogen te kunnen leveren. De uiteindelijke verhouding tussen de vermogens wordt in de ontwerpfase berekend.</p>
<p>Voorverwarming (VV)</p> 	<p>WKK-units hebben een warmtekracht-verhouding die tot ca. 1,7 gaat. Als er een grotere warmtekracht-verhouding gewenst is, dan kan bijvoorbeeld een elektrisch gevoede voorverwarmer worden toegepast. Dit is het geval in situaties waarbij er een hoge basislast aan warmtevraag is. In onderstaande grafiek is de warmtekracht-verhouding weergegeven voor een WKK in combinatie met een elektrisch aangedreven warmtepomp.</p>

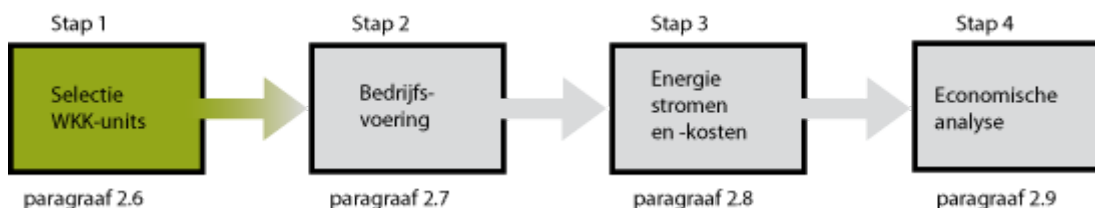




## 2.6 SELECTIE WKK-UNIT OP BASIS VAN DE ENERGIEVRAAG (STAP 1)

### 2.6.1 Inleiding

Om te komen tot de selectie van een installatieconcept met een WKK is het noodzakelijk om inzicht te verkrijgen in de grootte en het patroon van de warmte- en elektriciteitsvraag. Als overwogen wordt om een warmtegedreven koelproces toe te passen, dan is ook de grootte en het patroon van de koudevraag van belang. Aan de hand van deze gegevens kan de WKK-unit gedimensioneerd worden en kan de economische haalbaarheid berekend worden. Deze analyse vindt in vier stappen plaats, zoals is weergegeven in afbeelding 2.4. In deze paragraaf wordt de eerste stap uitgewerkt.



Afb. 2.4 Stappen die doorlopen moeten worden om tot een optimale keuze voor een installatie met WKK-unit te komen; in deze paragraaf wordt Stap 1 uitgewerkt

### 2.6.2 Berekeningsmethoden

Er zijn verschillende berekeningsmethode voorhanden om de energiestromen te bepalen. Er is in deze paragraaf onderscheid gemaakt tussen de methoden voor nieuwbouwprojecten en bestaande projecten.

#### Nieuwbouwprojecten

Om te rekenen aan energiestromen zijn er van grof naar fijn de volgende mogelijkheden.

- Met behulp van kentallen een grove inschatting maken van de warmte-, elektriciteits- en eventueel koudevraag. Bij Agentschap NL zijn publicaties verkrijgbaar met kentallen. Er moet goed op gelet worden dat de kentallen passen bij het betreffende project;
- Aan de hand van de gegevens van een (gemiddeld) klimaatjaar (frequentietabel) kunnen met een spreadsheetprogramma berekeningen worden gemaakt van de energiestromen. Het betreft vereenvoudigde berekeningen waarin dynamische verschijnselen, bijvoorbeeld de invloed van de gebouwmassa, niet meegenomen worden;
- Er kan gebruik worden gemaakt van referentiepatronen, vanuit een benchmark of metingen uit andere vergelijkbare gebouwen;
- Met behulp van ISSO-publicatie 21 [2] en 75 [15];
- Met behulp van een gebouwsimulatieprogramma (VA-114, TRNSYS). Bij deze programma's is het mogelijk om een gebouw door te rekenen met simulatietijdstappen van bijvoorbeeld een uur. Met dynamische verschijnselen wordt bij deze programma's rekening gehouden.

In de programmafase is meestal geen gedetailleerde informatie beschikbaar om te rekenen met simulatieprogramma's. Bij toepassing van afgiftesystemen die een bufferende werking hebben zoals betonkernactivering of vloerverwarming, is het van essentieel belang dat er gebruik gemaakt wordt van simulatieprogramma's. Daarom moet in een later stadium van het project alsnog gebruik gemaakt worden van deze programma's voor het berekenen van zowel de energiestromen als het op te stellen vermogen.

#### Bestaande projecten

Voor bestaande projecten kunnen de hierna volgende aspecten gebruikt worden. Hierbij moet rekening gehouden worden met eventuele andere energiebesparende maatregelen. Als bijvoorbeeld de gebouwschil beter geïsoleerd gaat worden, dan zal de warmtevraag dalen en de koelvraag mogelijk stijgen. Voor de energievraag moet uitgegaan worden van de situatie na de renovatie.

- Warmtevraag: data voor het berekenen van de warmtevraag kan mogelijk vanuit een automatiseringssysteem verkregen worden: aanvoertemperatuur CV-net, retourtemperatuur en volumestroom. Hoe kleiner het interval tussen de meetwaarden is, hoe beter een WKK-installatie gedimensioneerd kan worden op de vraag. Als kleinste interval kunnen meetwaarden per uur aangehouden worden. Een andere mogelijkheid is het gasverbruik, afkomstig van energienota's, om te rekenen naar een warmtevraag. Let er daarbij goed op welke verbruikers van gas in het gebouw aanwezig zijn. Er kan bijvoorbeeld sprake zijn van een keuken. Dit gasverbruik dient niet meegenomen te worden in de berekening van de warmtevraag;

- Elektriciteitsvraag: de elektriciteitsvraag kan vanaf energienota's verkregen worden. Het patroon kan soms bij het energiebedrijf worden opgevraagd (15 minuten waarden). Een andere mogelijkheid is zelf een meting uitvoeren met behulp van een datalogger-systeem. Let er hierbij goed op in welke periode de meting plaats vindt. Is de periode relevant voor de beoogde inzet van een WKK-unit?
- Koudevraag: als het nodig is om de koudevraag te berekenen, dan deze ook mogelijk vanuit een automatiseringssysteem verkregen worden. Een andere optie is om het elektriciteitsverbruik van bijvoorbeeld een koelmachine te achterhalen. Door deze om te rekenen met het rendement van de machine kan een inschatting van de koudevraag verkregen worden. Ook hier geldt dat hoe kleiner het interval tussen de meetwaarden is, hoe beter een WKK-installatie gedimensioneerd kan worden op de vraag. Als kleinste interval kunnen meetwaarden per uur aangehouden worden;
- Als de hiervoor genoemde aspecten niet uitvoerbaar zijn, dan kan ook gebruik worden gemaakt van de mogelijkheden die bij de nieuwbouwprojecten zijn weergegeven.

### 2.6.3 Bepalen warmte- en koudevraag

In deze paragraaf wordt ook de koudevraag uitgewerkt. Deze is alleen van toepassing als er gekozen wordt voor een warmtegedreven koelproces. De warmte- en koudevraag kan uit de volgende onderdelen zijn opgebouwd.

- Verwarming en koeling van ventilatielucht in een centrale luchtbehandelingskast;
- Lokale verwarming en koeling;
- Klimaatonafhankelijke verwarming, bijvoorbeeld tapwater. Of klimaatonafhankelijke koeling, bijvoorbeeld een computerruimte.

Op basis van de berekeningsmethoden uit 2.6.2 kan de vraag bepaald worden. De totale warmte- en koudevraag wordt berekend door de som van de drie bovenstaande onderdelen bij elkaar op te tellen.

Het is aan te bevelen om controle berekeningen uit te voeren. Zo kan de warmtevraag die met klimaatgegevens berekend is vergeleken worden met het gemeten gasverbruik van het pand of met een kengetal van de warmtevraag.

### 2.6.4 Bepalen elektriciteitsvraag

De elektriciteitsvraag kan in drie onderdelen opgesplitst worden.

- Gebouwgebonden gebruik. Dit omvat alle elektra posten, die in de NEN 7120 [20] in aanmerking genomen worden;
- Gebouwafhankelijk gebruikersenergiegebruik (GAGE). Dit betreft onder meer transport (roltrappen, liften), centrale ICT-voorzieningen incl. ruimtekoeling, horeca centraal (keuken) en decentraal (koffiezetapparaten) en buiten- en noodverlichting;
- Gebruikersapparatuur (GA). Dit betreft alle andere vormen van elektriciteitsverbruik in het gebouw, zoals het verbruik door computers, beeldschermen, audio-visuele apparatuur, printers, kopieerapparaten, etc.

De totale elektriciteitsvraag wordt berekend door de som van deze drie onderdelen bij elkaar op te tellen. Bedenk dat een WKK ook kan worden ingezet voor noodstroomvoorziening.

### 2.6.5 Selectie WKK-unit

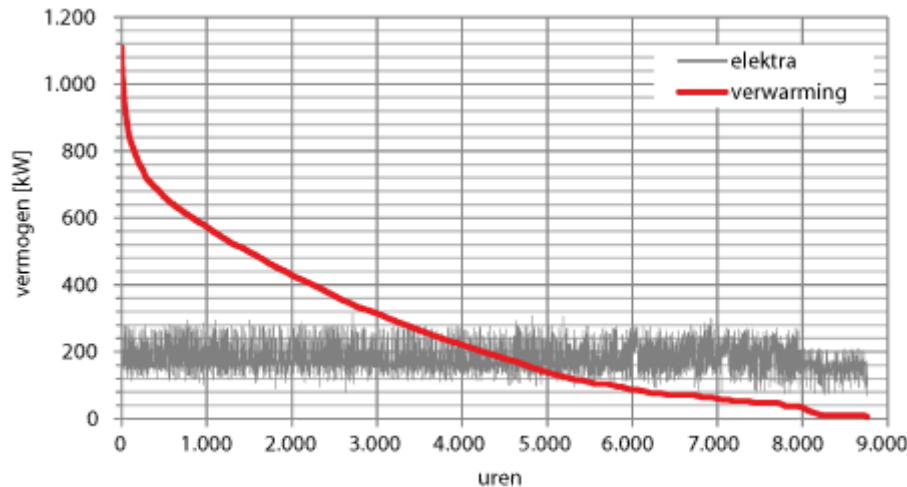
De keuze voor het op te stellen WKK vermogen wordt over het algemeen op economische gronden gebaseerd. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van de netto contante waarde methode (dit is verder in paragraaf 2.9 uitgewerkt).

In bijna alle situaties is het verwarmingsvermogen van een WKK een deel van het nominale verwarmingsvermogen. Hierdoor levert de WKK de basislast van de benodigde warmte en kan het aantal vollast-uren groot zijn. Dit is positief voor de over-all rentabiliteit en de levensduur: het aantal starts zal lager zijn.

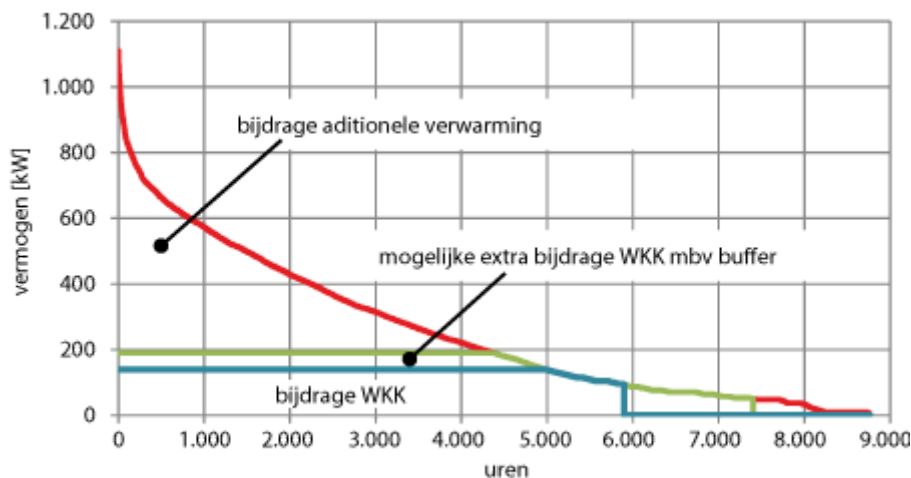
Met behulp van een jaarbelastingduurkromme kan berekend worden hoe groot de jaarlijkse warmtelevering van de WKK is bij een bepaald vermogen van de WKK. De optimale grootte van de WKK hangt af van het patroon van de jaarbelastingduurkromme. Hoe de jaarbelastingduurkromme berekend kan worden is in bijlage B uitgewerkt.

In afbeelding 2.5 is een voorbeeld gegeven van een jaarbelastingduurkromme van de warmtevraag. Naast deze gegevens is de gelijktijdig optredende elektriciteitsvraag weergegeven. Het is van groot belang om te rekenen met de **gelijktijdig** optredende vraag en

niet de elektriciteitsvraag apart van de warmtevraag te sorteren van hoog naar laag. Een eventuele warmtevraag voor een warmtegedreven koelproces is in deze afbeelding buiten beschouwing gelaten.



Afb. 2.5 Voorbeeld van een jaarbelastingduurkromme voor warmtevraag (ruimteverwarming en warmtapwater) en elektriciteitsvraag (let op niet gesorteerd) vanuit een gebouw; de elektriciteitsbehoefte is hier weergegeven als een indicatie voor het verkrijgen van inzicht in de hoogte van de vraag  
In afbeelding 2.6 is een voorbeeld gegeven van de bijdrage van een WKK in de warmtevraag.



Afb. 2.6 Bijdrage WKK, gevisualiseerd in de jaarbelastingduurkromme

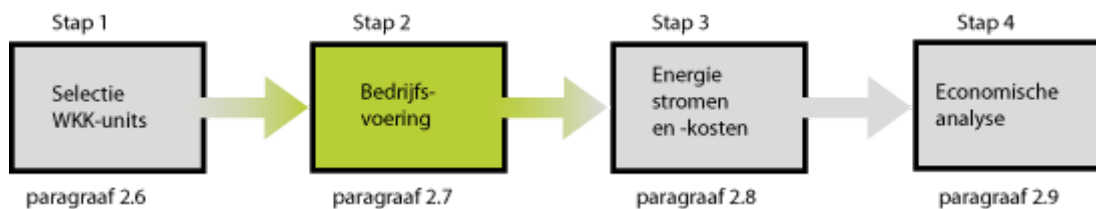
De in afbeelding 2.6 geselecteerde WKK-unit heeft een elektrisch vermogen van 90 kW. Uit het elektra patroon van afbeelding 2.5 blijkt dat de opgewekte hoeveelheid altijd intern gebruikt kan worden. Mocht dit niet het geval zijn, dan kan beter een kleinere unit gekozen worden, omdat uit de lijn 'terug leveren aan net' uit afbeelding 2.8 blijkt dat het economisch gezien niet aantrekkelijk is om elektra te verkopen.

## 2.7 BEDRIJFSVOERING OP BASIS VAN RENTABILITEIT PER DRAAIUUR (STAP 2)

Het is van belang om inzicht te krijgen in het economische functioneren van de WKK-installatie onder verschillende omstandigheden. De hierna volgende punten worden inzichtelijk.

- Is het zinvol om de capaciteit van de WKK te laten variëren?
- In welke situaties wordt er een positief exploitatievoordeel behaald?
- Is het economisch aantrekkelijk om elektriciteit aan het net terug te leveren?
- Welke besturingsstrategie kan er het beste toegepast worden?

Deze analyse is de tweede stap in het gehele proces om te komen tot een installatie met WKK-unit, zie afbeelding 2.7.



Afb. 2.7 Stappen die doorlopen moeten worden om tot een optimale keuze voor een installatie met WKK-unit te komen; in deze paragraaf wordt Stap 2 uitgewerkt

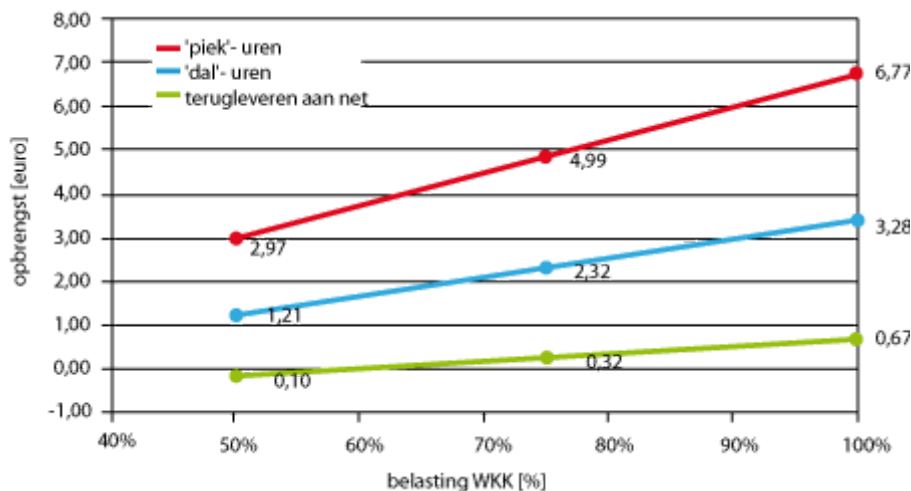
In tabel 2.4 zijn de gegevens weergegeven die nodig zijn voor het berekenen van de rentabiliteit per draaiuur. In bijlage C is de berekeningsmethodiek in detail uitgewerkt.

Tabel 2.4 Indicatie van de uitgangspunten voor berekening rentabiliteit per draaiuur (prijspeil 2012)

Symbol	Omschrijving	Waarde	Eenheid
Hi	energie inhoud aardgas, gebaseerd op calorische onderwaarde	8,797	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Kelektra, piek	elektriciteitstarief tijdens de uren dat het piektarief geldt	0,05 - 0,20	[€/kWh]
Kelektra, dal	elektriciteitstarief tijdens de uren dat het daltarief geldt	0,03 - 0,15	[€/kWh]
Kelektra, verkoop, piek	vergoeding voor elektriciteit ('piek-uren') die aan het openbare net geleverd wordt	0,00 - 0,10	[€/kWh]
Kelektra, verkoop, dal	vergoeding voor elektriciteit ('dal-uren') die aan het openbare net geleverd wordt	0,00 - 0,08	[€/kWh]
Kgas, WKK	aardgas tarief voor een WKK-installatie	0,15 - 0,351)	[€/m <sup>3</sup> ]
Kgas, ref	aardgas tarief voor een referentie-installatie (bijvoorbeeld ketels)	0,20 - 0,40	[€/m <sup>3</sup> ]
Konderhoud, WKK	onderhoudskosten per draaiuur van een WKK	0,0079-Pel + 1,11	[€/hh]
ηth, ref	rendement warmteopwekking referentie installatie (bijv. ketels), gebaseerd op onderwaarde	0,75 - 1,07	[%]
Φth, wkk, 50%	thermisch vermogen WKK bij 50% belasting	-2)	[kW]
Φth, wkk, 75%	thermisch vermogen WKK bij 75% belasting	-2)	[kW]
Φth, wkk, 100%	thermisch vermogen WKK bij 100% belasting	-2)	[kW]
ηth, wkk, 50%	thermisch rendement WKK, bij 50% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,54 - 0,60	[%]
ηth, wkk, 75%	thermisch rendement WKK, bij 75% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,50 - 0,57	[%]
ηth, wkk, 100%	thermisch rendement WKK, bij 100% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,48 - 0,55	[%]
ηel, wkk, 50%	elektrisch rendement WKK, bij 50% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,24 - 0,30	[%]
ηel, wkk, 75%	elektrisch rendement WKK, bij 75% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,28 - 0,35	[%]
ηel, wkk, 100%	elektrisch rendement WKK, bij 100% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,30 - 0,40	[%]
COPWA, WKK3)	rendement (COP) warmteafvoersysteem WKK	10 - 40	[-]
nomzetting3)	omzetverhouding warmtegedreven koelproces (hoeveelheid koude/hoeveelheid warmte)	0,6 - 0,9	[kWw/kWw]
COPcond. warmte3)	rendement (COP) condensorwarmteafvoer	10 - 40	[-]
εref, koeling3)	rendement (ε) van referentie koelproces	3,0 - 6,0	[-]
1) Houd rekening met bijvoorbeeld vrijstelling voor energiebelasting. 2) Hangt af van gekozen unit. 3) Deze onderdelen zijn alleen nodig als er een warmteafvoersysteem gekozen is of als er een warmtegedreven koelproces is gekozen.			

De gegevens van de WKK-unit uit tabel 2.4 worden door de leverancier verstrekt. Deze gegevens zijn te vinden op een zogenaamde 'Warmtebalans' of 'Energiebalans'. Daarnaast moet bij de leverancier de onderhoudskosten (per draaiuur) opgevraagd worden.

Er is voor een negental situaties de opbrengst per draaiuur berekend (met behulp van bijlage C). De resultaten staan in afbeelding 2.8. Aan de linkerzijde (y-as) staat de opbrengst en aan de onderzijde van de afbeelding (x-as) staat de belasting waarop de WKK-unit kan functioneren.

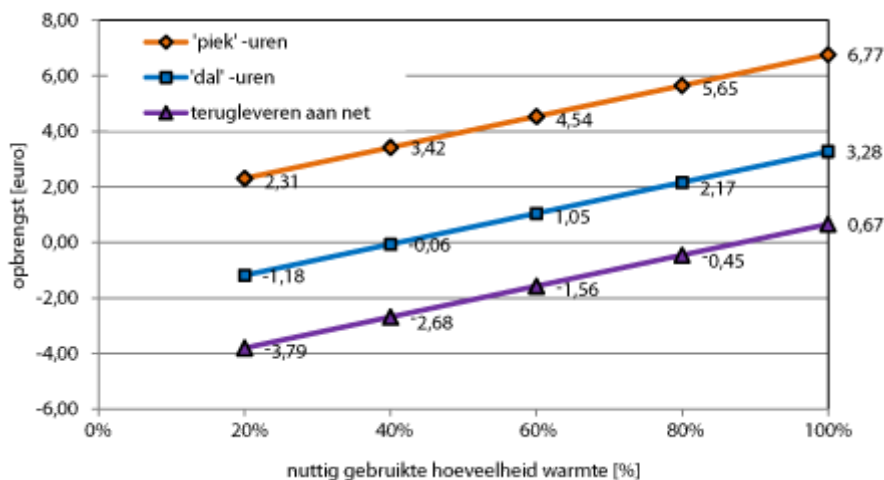


Afb. 2.8 Voorbeeld van uitkomst rentabiliteitsberekening per draaiuur

Uit afbeelding 2.8 kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- Hoe hoger de belasting van de WKK-unit, hoe groter de opbrengst;
- De opbrengst tijdens de uren dat het 'piek' tarief geldt voor elektriciteit is de opbrengst het hoogst;
- In de situatie dat er elektriciteit terug geleverd wordt aan het net is de opbrengst het geringst. Als de belasting van de WKK-unit 50% bedraagt, dan is de opbrengst negatief. Dit houdt in dat het draaien tijdens die situatie meer kost dan het oplevert;
- Overall gezien kan in dit voorbeeld de WKK-unit het beste ingezet worden als al de elektriciteit intern gebruikt kan worden. Er kan overwogen worden om de unit tijdens dal-uren alleen op vollast te laten functioneren, om een zo hoog mogelijke opbrengst te krijgen.

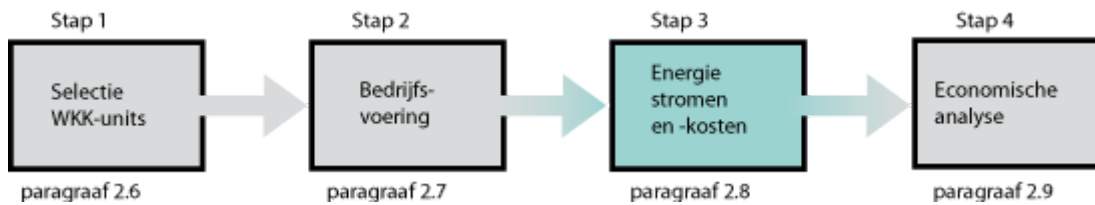
Uitgangspunt voor het berekenen van de uitkomsten van afbeelding 2.8 is dat al de opgewekte warmte nuttig gebruikt kon worden. Deze had anders met ketels opgewekt moeten worden. Er kan ook een grafiek gemaakt worden voor de situatie dat er koude gegenereerd wordt met behulp van de warmte van de WKK. Een andere mogelijkheid is om bijvoorbeeld een berekening te maken waarbij een gedeelte van de warmte nuttig wordt gebruikt en het overige deel afgevoerd wordt. Dit is weergegeven in afbeelding 2.9. Op deze manier wordt snel inzicht verworven in de economisch meest aantrekkelijke inzetbaarheid van een WKK-unit onder verschillende omstandigheden. Merk op dat de waarden bij 100% nuttig gebruikte hoeveelheid warmte overeenkomen met de waarden uit afbeelding 2.8 bij 100% belasting.



Afb. 2.9 Voorbeeld van uitkomst rentabiliteitsberekening waarbij WKK-unit op vollast draait en de hoeveelheid nuttig gebruikt warmte gevarieerd is (x-as)

## 2.8 ENERGIESTROMEN EN EXPLOITATIEKOSTEN (STAP 3)

Als bekend is welke WKK-unit(s) ingezet gaan worden bij het project en de manier waarop dit economisch gezien het beste kan, kan de volgende stap uitgewerkt gaan worden. Hierbij worden de energiestromen en -kosten berekend. Deze analyse is de derde stap in het gehele proces om te komen tot een installatie met WKK-unit, zie afbeelding 2.10.



Afb. 2.10 Stappen die doorlopen moeten worden om tot een optimale keuze voor een installatie met WKK-unit te komen; in deze paragraaf wordt Stap 3 uitgewerkt

Omdat in de programmafase meestal nog geen gedetailleerde gegevens beschikbaar zijn, worden de berekeningen in deze paragraaf uitgevoerd als een quickscan. Een gedetailleerde uitwerking, op basis van waarden per uur is te vinden in bijlage D.

## Quickscan

Bij een quickscan kan de volgende aanpak worden gehanteerd.

### Bijdrage warmtevraag

1. Bepaal het aantal draaiuren per jaar van de WKK-unit, zie afbeelding 2.6 in paragraaf 2.6.5;
2. Vermenigvuldig deze uren met het thermische vermogen van de WKK-unit. De uitkomst is de totale jaarlijkse bijdrage in de warmtevraag;
3. Het verschil tussen de totale warmtevraag en de bijdrage van de WKK-unit is de hoeveelheid die door voor- of naverwarmers geleverd moet worden.

### Opbrengst

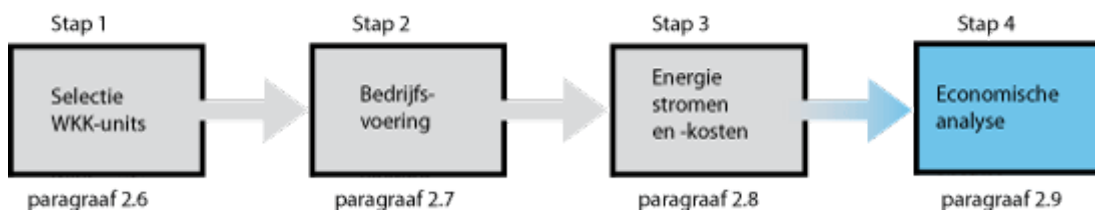
4. Bereken vervolgens hoeveel uren de WKK-unit in het piek- en daltarief draait;
5. Vermenigvuldig dit aantal uren met de opbrengst per draaiuur voor de piek- en respectievelijk dalopbrengst (zie afbeelding 2.8 in paragraaf 2.7). Tel beide opbrengsten bij elkaar op, zie ook het hierna volgende voorbeeld;
6. Tenslotte kan voor de installatie met WKK-unit berekend worden wat de energie- en onderhoudskosten zijn voor het resterende deel van de warmte die geleverd moet worden. Bereken ook voor een referentie-installatie de energie- en onderhoudskosten. Gebruik hiervoor eventueel de formules uit bijlage D.

## Voorbeeld

De WKK-unit uit afbeelding 2.6 kan per jaar ruim 5.000 draaiuren maken (zonder buffervat). Hiervan wordt er bijvoorbeeld bijna 2.400 uur gedraaid tijdens de uren dat het pektarief geldt. Door de uren uit de jaarbelastingduurkromme te vermenigvuldigen met de opbrengst per draaiuur uit afbeelding 2.8 kan berekend worden dat de jaarlijkse netto opbrengst ruim € 24.800,- is. Hiervoor is gebruik gemaakt van de 2 lijnen: 'Piek' en 'Dal' uit afbeelding 2.8, waarbij de WKK-unit op vollast draait. Deze opbrengst kan nog verhoogd worden door gebruik te gaan maken van een buffervat.

## 2.9 ECONOMISCHE ANALYSE (STAP 4)

In deze paragraaf is de uitwerking gegeven om te komen tot het inzicht of toepassing van een WKK-installatie economisch gezien aantrekkelijk is. Het betreft het laatste onderdeel van de totale analyse, zie afbeelding 2.11.



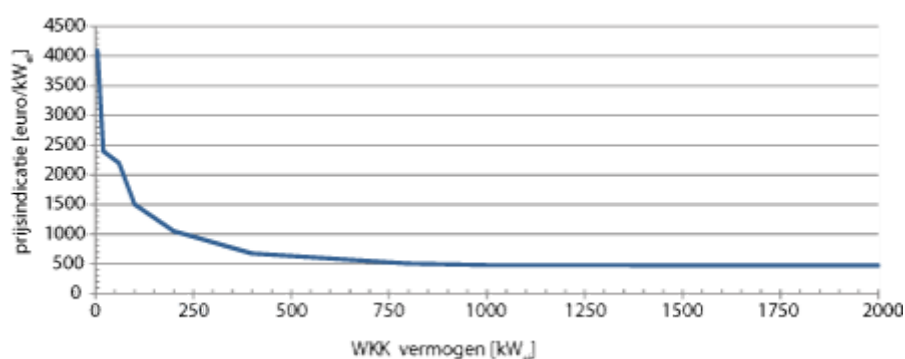
Afb. 2.11 Stappen die doorlopen moeten worden om tot een optimale keuze voor een installatie met WKK-unit te komen; in deze paragraaf wordt Stap 4 uitgewerkt

In de hierna volgende overzichten (tabel 2.5 tot en met tabel 2.8) zijn de uitgangspunten weergegeven om de economische haalbaarheid te kunnen berekenen.

Tabel 2.5 Uitgangspunten om de investeringskosten te bepalen (exclusief bouwkundige kosten)



Symbol	Omschrijving	Waarde	Eenheid
Kwkk,spec	kosten van de WKK-installatie per kW <sub>el</sub> opgesteld vermogen (geïnstalleerde gasmotor en generator, netparallel gekoppeld)	zie afbeelding 2.12	[€/kW]
Kwa, spec	kosten lage (ca. 40 °C)/hoge (ca. 70 °C) temperatuur warmteafvoerinstallatie	65 - 90/25 - 45	[€/kW]
Kwarmte gedr. koelproces	kosten voor een warmtegedreven koelproces	nb1)	[€/kW]
KHR-ketel	kosten voor een HR ketel met toebehoren	25 - 75	[€/kW]
Kkoelmachine	kosten voor een koelmachine met toebehoren	150 - 300	[€/kW]
1) Kosten hangen sterk af van gekozen proces.			



Afb. 2.12 Prijsindicatie van warmtekracht installaties

Houd bij het bepalen van de investeringskosten ook rekening met mogelijke fiscale voordelen of subsidies.

Tabel 2.6 Indicatie van de uitgangspunten om de verhoging van de energie- en onderhoudskosten te bepalen

Symbol	Omschrijving	Waarde	Eenheid
fstijging,energie	jaarlijkse stijging van de energiekosten (het is een keuze of hiermee rekening wordt gehouden)	0 - x	[%]
fstijging,onderhoud	jaarlijkse stijging van de onderhoudskosten (het is een keuze of hiermee rekening wordt gehouden)	0 - x	[%]

Naast de jaarlijkse stijging van de energiekosten moet ook bekend zijn wat de jaarlijkse energiekosten van de referentieinstallatie en de installatie met WKK-unit zijn.

Tabel 2.7 Uitgangspunten om de onderhoudskosten te bepalen

Symbol	Omschrijving	Waarde	Eenheid
Kgroot onderhoud,WKK	onderhoudskosten grote beurt na 30.000 tot 40.000 draaiuren	50 - 400	[€/kW <sub>el</sub> ]
fonderhoud,installatie	factor waarmee onderhoudskosten berekend worden als percentage van de investeringskosten van een eventuele koelinstallatie en aanvullende verwarmingsinstallatie	0,01 - 0,05	[-]
fonderhoud,ref	factor waarmee onderhoudskosten berekend worden als percentage van de investeringskosten van de referentieinstallatie	0,01 - 0,05	[-]

Onderhoudskosten worden ook gepresenteerd afhankelijk van de prestatie €/kW·h i.p.v. vermogen.

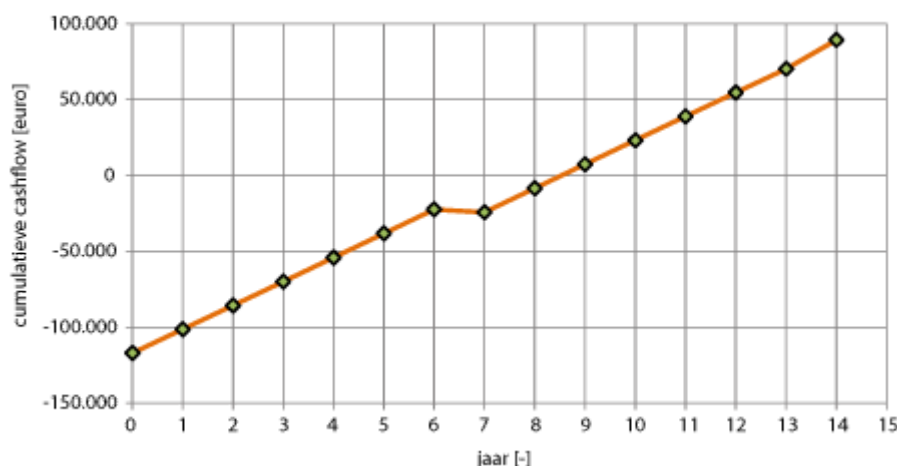
Tabel 2.8 Uitgangspunten om de cashflow te berekenen

Symbol	Omschrijving	Waarde	Eenheid
frente	rente, is afhankelijk van type, wens of de eis van een opdrachtgever	5 – 15	[%]
n	levensduur van de WKK-installatie	15	[jaar]
RW	verschil restwaarde WKK-installatie t.o.v. referentie installatie	-	[euro]
-	aantal draaiuren per jaar met WKK-unit	4.000 – 8.500	[uur]
-	interval grote onderhoudsbeurt WKK-unit	25.000 – 60.000	[uur]

De jaarlijkse cashflow kan worden gedefinieerd als het verschil tussen de opbrengsten en de kosten. In bijlage E is een voorbeeld berekening opgenomen van de economische haalbaarheid. De berekening van de cashflow maakt daar een onderdeel van uit.

Als de cashflow berekend is, dan kan vervolgens de netto contante waarde (NCW) bepaald worden aan de hand van de volgende punten.

1. Maak de jaarlijkse cashflow contant voor de jaren dat de cashflow verwacht wordt:  $CF/(1 + frente)^n$ ; n is het jaar waarop de cashflow van toepassing is; als vanuit tabel 2.8 blijkt dat de afschrijvingstermijn 15 jaar is, n varieert nu van 1 tot 15. Houd hierbij ook rekening met grote onderhoudsbeurten (Kgroot onderhoud, WKK), waarin de interval afhankelijk is van het aantal draaiuren per jaar, zie tabel 2.7;
2. Maak de eventuele restwaarde van de installatie aan het eind van de beschouwde periode contant;
3. Sommeer de contant gemaakte cashflow en restwaarde voor de beschouwde periode (afschrijvingstermijn);
4. De NCW is nu de gesommeerde contant gemaakte cashflow minus de meer-investering.



Afb. 2.13 Voorbeeld van een economisch resultaat bij toepassing van een WKK-unit (restwaarde aan eind van de weergegeven periode is buiten beschouwing gelaten)

In afbeelding 2.13 is de cumulatieve cashflow voor een voorbeeld WKK-installatie gegeven. In het 7e jaar zijn de opbrengsten minder dan in de overige jaren. Dit wordt veroorzaakt door de kosten van een grote onderhoudsbeurt. Deze beurt is in het 14e jaar ook nodig. Er moeten dan diverse zaken geanalyseerd worden. Wat zijn de toekomstige klantwensen en wijzigt de energiebehoefte hierdoor? En is een grote revisiebeurt nog zinvol voor de staat waarin de WKK-unit verkeerd? Afhankelijk van de keuzes op dat moment kan al dan niet opnieuw een grote beurt gegeven worden.

## 2.10 PROGRAMMA VAN EISEN INSTALLATIE MET WKK

Het resultaat van de programmafase moet vastgelegd worden. Het resultaat bestaat uit de hierna volgende lijst, aangevuld met een schema van de installatie: visualisatie van de WKK en de daarbij gekozen onderdelen.

Beknorte omschrijving wensen opdrachtgever.

- Gaat het om nieuwbouw of renovatie?
- Wat zijn de functionaliteits-eisen?
- Welke activiteiten gaan er in het gebouw plaats vinden?

- Wat zijn de (kwaliteits)eisen waar het ontwerp en de toe te passen materialen aan moeten voldoen?
- Enzovoorts.

Gebouw en omgeving		
1. Gebouwschil	a. Geluidseis binnen	O _____ dB(A)
	b. Geluidseis technische ruimte	O _____ dB(A)
	c. Geluidseis op perceelgrens	O _____ dB(A)
2. Technische ruimte	a. Ruimte voor WKK-installatie	O Vloeroppervlak: _____ m <sup>2</sup> O Hoogte van de ruimte: _____ m O Gewicht van de unit: _____ kg/m <sup>2</sup> O Ruimte/schacht voor rookgasafvoer: _____ m <sup>2</sup> O Ruimte/schacht voor ventilatievoorzieningen: _____ m <sup>2</sup> O Afstand tot inkoppelpunt elektra _____ m O Bereikbaarheid _____
	b. Ruimte voor warmteafvoerinstallatie	O In buitenlucht (dak): _____ m <sup>2</sup> O Gewicht van de voorziening: _____ kg/m <sup>2</sup> O Ruimte/schacht voor leidingwerk _____ O Bereikbaarheid _____
	c. Ruimte voor aanvullende verwarming	O Vloeroppervlak: _____ m <sup>2</sup> O Hoogte van de ruimte: _____ m O Gewicht van de unit(s): _____ kg/m <sup>2</sup> O Ruimte/schacht voor rookgasafvoer: _____ m <sup>2</sup> O Ruimte/schacht voor ventilatievoorzieningen: _____ m <sup>2</sup> O Plofwand volgens NEN grenzend aan buitenlucht O Bereikbaarheid _____
	d. Ruimte voor koelinstallatie	O Vloeroppervlak: _____ m <sup>2</sup> O Hoogte van de ruimte: _____ m O Gewicht van de unit: _____ kg/m <sup>2</sup> O Ruimte/schacht voor ventilatievoorzieningen: _____ m <sup>2</sup> O Warmteafvoer: zie punt 2b van deze tabel O Bereikbaarheid _____
	e. Ruimte voor nutsvoorzieningen: gas, elektra en water	O Eisen/aansluitvoorwaarden van nutspartijen
3. Ruimte terrein	a. Locatie energie-gebouw	O _____
	b. Tracé terreinleidingen	O _____

Binnenklimaat en afgifte-installatie		
1. Warmte- en koellast	a. Warmtelast personen	O _____ W/m <sup>2</sup> netto vloeroppervlak
	b. Warmtelast verlichting	O _____ W/m <sup>2</sup> netto vloeroppervlak
	c. Warmtelast apparatuur	O _____ W/m <sup>2</sup> netto vloeroppervlak
	d. Gelijktijdigheid warmtelast	O _____ %
	e. Gelijktijdig verwarmen en koelen?	O Ja O Nee
	f. Lokale naregeling verwarmen?	O Ja O Nee
	g. Lokale naregeling koelen?	O Ja O Nee
	h. Type installatie uit [4]	O _____
	i. Bedrijfstijden installaties	O _____
	j. Bedrijfstijden gebruik gebouw	O _____
2. Verwarming	a. Gewenste binnentemperatuur en vochtigheid winter	O Binnen bedrijfstijd: _____ °C, _____ g/kg O Buiten bedrijfstijd: _____ °C, _____ g/kg
	b. Type afgifte-installatie lokaal	O Zie paragraaf 2.4.3: _____
	c. Ontwerp aanvoer- en retourtemperatuur	O _____ °C/_____ °C
	d. Nachtverlaging	O 0K O 1K O 2K O 3K
3. Koeling (alleen van belang als er een warmtegedreven koelproces beoogd is)	a. Gewenste binnentemperatuur en vochtigheid zomer	O Binnen bedrijfstijd: _____ °C, _____ g/kg O Eis voor overschrijdingsuren O Comfortklasse A/B/C
	b. Type afgifte-installatie lokaal	O Zie paragraaf 2.4.3: _____
	c. Ontwerp aanvoer- en retourtemperatuur	O _____ °C/_____ °C
	d. Maatregelen voor voorkomen condensatie	O Dauwpuntsregelingen O Voorzieningen om condens op te vangen
4. Ventilatie	a. Type ventilatiesysteem	O Gebalanceerde ventilatie (mechanisch) O Natuurlijke ventilatie (alleen mechanische afvoer)
	b. Maatregelen voor het voorkomen van koudeval als gevolg van natuurlijke toevoer koude ventilatielucht	O _____
	c. Gemiddeld ventilatievoud	O _____ n/h

	d. Opbouw luchtbehandelingskast	<input type="checkbox"/> Warmteterugwinning _____ % <input type="checkbox"/> Vochtterugwinning _____ % <input type="checkbox"/> Recirculatie _____ % <input type="checkbox"/> Verwarming van _____ °C tot _____ °C <input type="checkbox"/> Koeling van _____ °C/ %RV tot _____ °C/ %RV <input type="checkbox"/> Bevochtiging _____ g/kg
5. Warmtapwater	a. Type en aantal warmtapwatergebruikers	<input type="checkbox"/> Keukenmengkraan _____ x <input type="checkbox"/> Douchemengkraan _____ x <input type="checkbox"/> Badmengkraan _____ x _____ liter inhoud <input type="checkbox"/> Wastafelmengkraan _____ x <input type="checkbox"/> Vaatwasmachine _____ x <input type="checkbox"/> _____ x
	b. Gelijktijdigheid van gebruikers	<input type="checkbox"/> _____
	c. Jaarlijks verbruik warmtapwater	<input type="checkbox"/> _____ m <sup>3</sup> van _____ °C
	d. Patroon warmtevraag tapwater	<input type="checkbox"/> _____
	e. Laadtijd van boiler	<input type="checkbox"/> _____ uur
6. Serverruimte (alleen van belang als er een warmtegedreven koelproces beoogd is)	a. Benodigd koelvermogen	<input type="checkbox"/> _____ kW
	b. Bedrijfstijd	<input type="checkbox"/> _____ h per dag
	c. Gelijktijdigheidsfactor	<input type="checkbox"/> _____ % binnen bedrijfstijd <input type="checkbox"/> _____ % buiten bedrijfstijd

Warmte-koudeopwekking		
1. Verwarming	a. Gewenste warmtekracht verhouding WKK	<input type="text"/> kWth/ kWe
	b. Benodigd elektrisch vermogen	<input type="text"/> kWe
	c. Aansluiting generator WKK	<input type="text"/> Intern <input type="text"/> Op openbare net
	d. Maximale CV-retourtemperatuur	<input type="text"/> °C
	e. Toepassing van een buffervat	<input type="text"/> Ja <input type="text"/> Nee
	f. Toepassing van warmteafvoer	<input type="text"/> Ja <input type="text"/> Nee
	g. Toepassing van warmteafvoer tussen circuit	<input type="text"/> Ja <input type="text"/> Nee
	h. Totaal benodigd verwarmingsvermogen	<input type="text"/> kW
	i. Combinatie met andere warmteopwekkers	<input type="text"/> Ja <input type="text"/> Nee
	j. Additioneel benodigd vermogen	<input type="text"/> kW
2. Koeling (alleen van belang als er een warmtegedreven koelproces beoogd is)	a. Soort warmtegedreven koelproces	<input type="text"/>
	b. Totaal benodigd koelvermogen	<input type="text"/> kW
	c. Koelvermogen warmtegedreven proces	<input type="text"/> kW
	d. Aandeel passieve koeling	<input type="text"/> kW
	e. Aandeel koelmachine(s)	<input type="text"/> kW
3. Automatiseringsinstallatie	a. Koppeling met WKK-besturing	<input type="text"/> Ja <input type="text"/> Nee
	b. Data opslag t.b.v. monitoring	<input type="text"/> Ja <input type="text"/> Nee
	c. Visualisatie m.b.v. beeldplaatjes	<input type="text"/> Ja <input type="text"/> Nee
	d. Meetvoorzieningen voor vaststellen KPI's	<input type="text"/> Ja <input type="text"/> Nee

Energiestromen	
1. Warmtevraag	<input type="checkbox"/> Lokale ruimteverwarming _____ kWh/jaar <input type="checkbox"/> Verwarming ventilatielucht (centrale LBK) _____ kWh/jaar <input type="checkbox"/> Warmtapwater _____ kWh/jaar <input type="checkbox"/> Warmtegedreven koelproces _____ kWh/jaar
2. Koudevraag (alleen van belang als er een warmtegedreven koelproces beoogd is)	<input type="checkbox"/> Ruimtekoeling _____ kWh/jaar <input type="checkbox"/> Koeling ventilatielucht (centrale LBK) _____ kWh/jaar <input type="checkbox"/> Proces koeling _____ kWh/jaar
3. Warmtelevering	<input type="checkbox"/> WKK _____ kWh/jaar <input type="checkbox"/> Naverwarming _____ kWh/jaar
4. Koudelevering (alleen van belang als er een warmtegedreven koelproces beoogd is)	<input type="checkbox"/> Warmtegedreven koelproces _____ kWh/jaar <input type="checkbox"/> Passieve koeling _____ kWh/jaar <input type="checkbox"/> Koelmachine _____ kWh/jaar

Economische gegevens	
1. Investeringskosten	<input type="checkbox"/> Installatie met WKK _____ € <input type="checkbox"/> Referentie installatie _____ €
2. Energietarieven	<input type="checkbox"/> Aardgas WKK _____ €/m <sup>3</sup> <input type="checkbox"/> Aardgas ketels e.d. _____ €/m <sup>3</sup> <input type="checkbox"/> Elektriciteit piektarief _____ €/kWh <input type="checkbox"/> Elektriciteit daltarief _____ €/kWh
3. Energiekosten	<input type="checkbox"/> Installatie met WKK _____ €/jaar <input type="checkbox"/> Referentie installatie _____ €/jaar
4. Onderhoudskosten	<input type="checkbox"/> WKK _____ €/draaiuur <input type="checkbox"/> Overige installatie met WKK _____ €/jaar <input type="checkbox"/> Referentie installatie _____ €/jaar
5. Eenvoudige terugverdientijd	<input type="checkbox"/> _____ jaar
6. Netto Contante Waarde	<input type="checkbox"/> _____ €

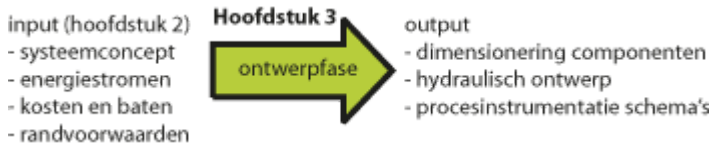




## 3 ONTWERPFASE

### 3.1 INLEIDING

Om met de ontwerpfase aan de slag te kunnen gaan, moeten de resultaten uit de programmafase zijn vastgelegd. De input en output van de ontwerpfase is in afbeelding 3.1 gevisualiseerd.





#### Afb. 3.1 In- en output van de ontwerpfase

Het ontwerpproces zal in dit hoofdstuk stap voor stap worden toegelicht. Het uiteindelijke resultaat van de ontwerpfase moet in hoofdlijnen bestaan uit de volgende onderdelen.

- De componenten van de opwekkinginstallatie zijn gedimensioneerd op basis van de benodigde vermogens;
- Er is een hydraulisch ontwerp van de opwekkings-, distributie-, en afgifte-installatie;
- De elektrotechnische inpassing ligt vast;
- De gewenste functionaliteit ligt op hoofdlijnen vast.

Hiervoor moeten de hierna volgende 3 stappen worden doorlopen die in tabel 3.1 zijn weergegeven.

Tabel 3.1 Stappen die in ontwerpfase doorlopen moeten worden met benodigde gegevens voor dimensioneren opwekkingsinstallatie

	Nr. 1, Distributie en afgifte Bereken de vermogensbehoeften:	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paragraaf 3.2: verwarming;</li> <li>• Paragraaf 3.3: elektriciteit;</li> <li>• Paragraaf 3.4: koeling.</li> </ul>	
	Maak een keuze voor de toe te passen warmtegebruiker module:	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paragraaf 3.5</li> </ul> 	Benodigde gegevens voor dimensioneren opwekking vanuit distributie en afgifte:
	Nr. 2, Opwekking Werk de WKK-unit en gekozen onderdelen uit qua dimensionering en inpassing:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Overzicht gewenste onderdelen in opwekkingsinstallatie met WKK en met gewenste functie;</li> <li>• Ontwerp verwarmingsvermogen;</li> <li>• Ontwerp aanvoer- en retourtemperatuur CV-net;</li> <li>• Jaarpatroon warmtevraag;</li> <li>• Jaarpatroon elektriciteitsvraag.</li> </ul>
	Nr. 3, Schema distributie, afgifte en opwekking Zet een schema op met alle componenten en meetvoorzieningen:	Als er een warmtegedreven koelproces wordt toegepast:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paragraaf 3.6: WKK-unit;</li> <li>• Paragraaf 3.7: buffervat;</li> <li>• Paragraaf 3.8: naverwarming;</li> <li>• Paragraaf 3.9: voorverwarming;</li> <li>• Paragraaf 3.10: warmteafvoer;</li> <li>• Paragraaf 3.11: warmtegedreven koelproces.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwerp koelvermogen;</li> <li>• Ontwerp aanvoer- en retourtemperatuur gkw-net;</li> <li>• Jaarpatroon koudevraag.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paragraaf 3.13: hydraulische inpassing opwekkingsinstallatie;</li> <li>• Paragraaf 3.12 koppelen afgifte, distributie en opwekking.</li> </ul>	

In dit hoofdstuk wordt gewerkt met opwekker-, distributie- en gebruikermodulen. Voor de details van deze onderdelen wordt verwezen naar ISSO-publicatie 44 [5] en 47 [6].

### 3.2 BEREKENEN VERMOGENSBEHOEFTE VERWARMING

Het op te stellen verwarmingsvermogen wordt door enkele onderdelen bepaald [7]. Hierna is een overzicht gegeven van de onderdelen die al dan niet aanwezig kunnen zijn.

1. Verwarmingsvermogen voor (kantoor)vertrekken;
2. Verwarming ventilatielucht;
3. Warmtapwaterbereiding [8].

Deze onderdelen zijn in bijlage F in detail uitgewerkt.

De vermogensbehoefte voor de bereiding van warmtapwater kan van groot belang zijn voor de rentabiliteit van een installatie met WKK. Daarom wordt aanbevolen om de dimensionering van de buffervaten van de tapwaterinstallatie goed af te stemmen op het verwarmingsvermogen van de WKK-unit.

### 3.3 BEREKENEN VERMOGENSBEHOEFTE ELEKTRICITEIT

De posten waaruit de elektriciteitsvraag opgebouwd kan zijn, zijn beschreven in paragraaf 2.6.4. Voor het berekenen van de vermogensbehoefte aan elektriciteit wordt gewerkt met het schijnbare vermogen, eenheid: kVA. Om de vermogensbehoefte te berekenen wordt er gerekend met de verwachte gelijktijdigheid.

Als er op groepenniveau wordt gerekend, dan kan de gelijktijdigheid variëren van 50% voor groepen van contactdozen tot 90% voor verlichtingsgroepen. Het aangesloten vermogen vermenigvuldigd met de gelijktijdigheid geeft de te verwachten belasting weer. De som van deze belastingen en de gewenste reservecapaciteit is het totaal te installeren elektrische vermogen.

Als op verdeelkastniveau het schijnbare vermogen wordt opgeteld, dan ligt de te verwachten belasting in de utiliteitsomgeving meestal tussen de 60 tot 70%. Dit is uiteraard sterk afhankelijk van de aard van de groepen die opgenomen zijn in de verdeelkast.

### 3.4 BEREKENEN VERMOGENSBEHOEFTE KOELING

Als de warmte van de WKK ook gebruikt gaat worden als voeding voor een warmtegedreven koelproces, dan moet de koellast ook berekend gaan worden.

De koellast kan uit de som van de volgende posten bestaan.

1. Koellast in een (kantoor)vertrek;
2. Koeling ventilatielucht;
3. Proceskoeling.

Deze onderdelen zijn in bijlage G in detail uitgewerkt.

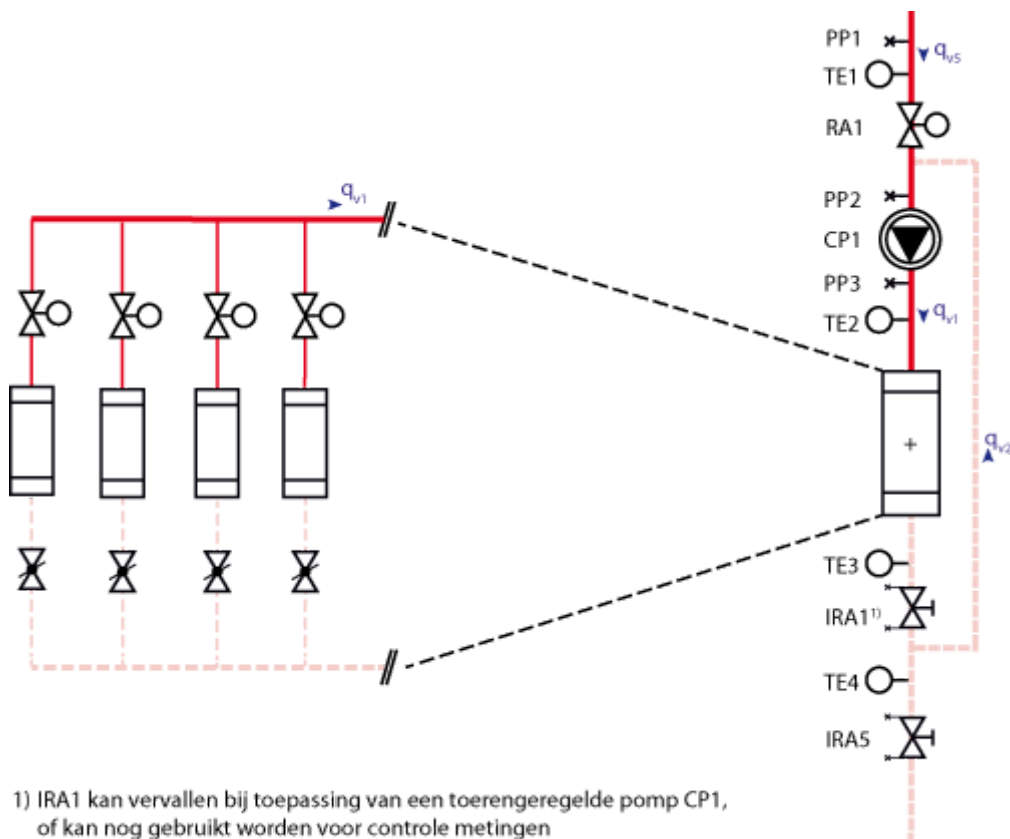
### 3.5 TOE TE PASSEN WARMTEGEBRUIKERMODULEN

Warmtegebruikermodule worden gebruikt om het water vanuit een centraal distributienet te transporteren naar afnemers.

Deze afnemers kunnen de hierna volgende warmtewisselaars zijn:

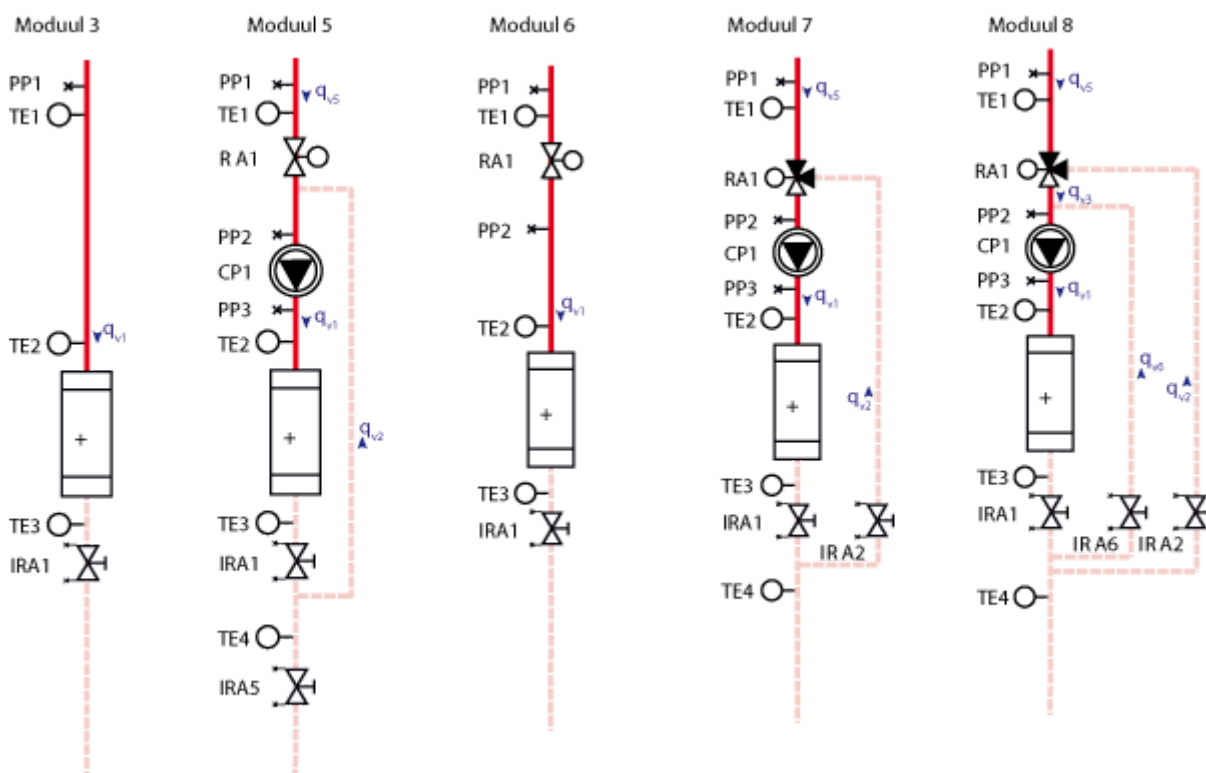
- Voor ruimteverwarming (bijvoorbeeld radiatoren, betonkernactivering);
- Voor verwarmen van lucht (verwarmingsbatterij);
- Voor verwarmen van tapwater;
- Warmtewisselaars (water/water).

In afbeelding 3.2 is aan de rechterzijde een voorbeeld gegeven van een warmtegebruiker module. Aan de linkerzijde van de afbeelding is een mogelijke opbouw van warmtewisselaars gegeven. Deze bevinden zich dus binnen de warmtegebruiker module.



Afb. 3.2 Detail van de opbouw van een distributiesysteem met warmtewisselaars (aan de rechterzijde is warmtegebruiker module 5 gebruikt als voorbeeld)

Om te kunnen functioneren mag de waterintredetemperatuur bij een WKK-unit niet te hoog worden. Deze temperatuur ligt over het algemeen rond de 70 tot 80 °C, en is afhankelijk van de opbouw van de unit. Vanwege deze eis kunnen niet alle beschikbare warmtegebruikermodulen toepast worden in combinatie met een WKK-unit. In het hierna volgende overzicht zijn de modulen weergegeven die toegepast mogen worden.



Afb. 3.3 Toe te passen warmtegebruiker modulen in combinatie met een WKK-unit

Het gemeenschappelijke kenmerk van deze modules is dat de retourtemperatuur bij deellast daalt. In tabel 3.2 is een overzicht gegeven van warmtewisselaars die bij de hiervoor weergegeven modules toegepast kunnen worden.

Tabel 3.2 Overzicht mogelijke toepassingen bij geschikte modules voor WKK-installatie

Toepassing	VV1)	NV1)	Moduul				
			3	5	6	7	8
Radiatoren en convectoren		X	X	X		X	X
Vloer- en wandverwarming		X		X			X
Stralingspanelen en klimaatplafond		X		X		X	X
Beperkt aantal warmtewisselaars	X	X			X		
Voorverwarmer l.b. installatie	X			X		X	
Voorverwarmer l.b. installatie met WTW	X				X		
Naverwarmer(s) l.b. installatie		X			X		
Boiler t.b.v. tapwater					X		
Warmtewisselaar water/water	X	X	X		X		
1) VV = voorverwarmer en NV = naverwarmer.							

Naast de toepassingsmogelijkheid uit tabel 3.2 bepaald het type distributiemoduul mede welke warmtegebruikermodule toegepast mag worden. Zie hiervoor de hierna volgende paragraaf 3.12. Voor meer details over warmtegebruiker modules wordt verwezen naar ISSO-publicatie 44 [5].

### 3.6 UITWERKING WKK-UNIT

In deze paragraaf zijn verschillende aspecten rond een WKK-unit uitgewerkt. Als eerste is de dimensionering van een WKK-unit uitgewerkt (paragraaf 3.6.1). Daarna is aangegeven hoe dit onderdeel in een installatie kan worden opgenomen met behulp van warmteopwekkermodule (paragraaf 3.6.2). Vervolgens is in detail tekeningen aangegeven hoe de hydraulische opbouw van een WKK-unit eruit kan zien (3.6.3). Daarna zijn de mogelijkheden voor de elektrische inpassing uitgewerkt (3.6.4). Tenslotte zijn in paragraaf 3.6.5 tot en met 3.6.11 de functionaliteit en de kenmerken van WKK-units uiteengezet.

#### 3.6.1 Dimensionering aan de hand van Stap 1, 2, 3 en 4

De dimensionering van een WKK-unit hangt van een 10-tal variabelen af. Deze variëren van de energietarieven tot de warmtevraag. De dimensionering is nagenoeg altijd op economische gronden gebaseerd: een zo groot mogelijke financiële opbrengst. Om dit te kunnen bewerkstelligen moeten de stappen die in afbeelding 3.4 zijn weergegeven (meerdere keren) doorlopen worden.

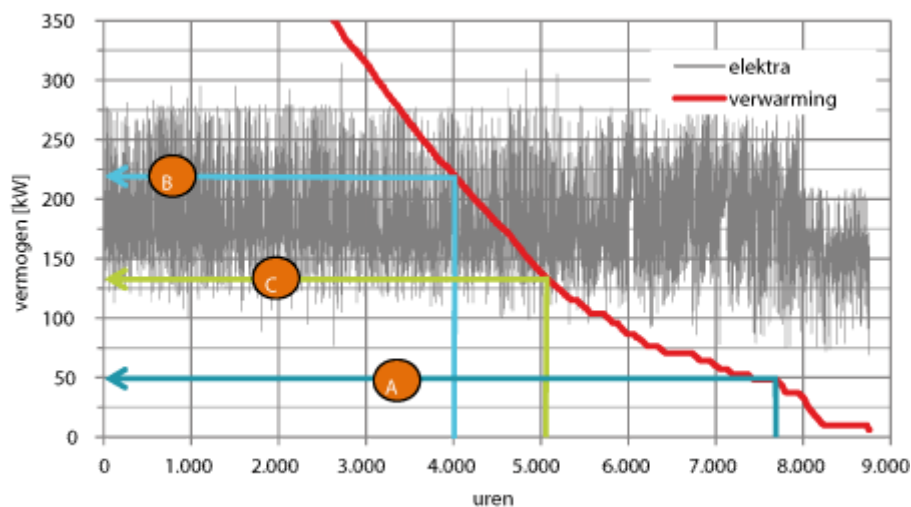


Afb. 3.4 Stappen die doorlopen moeten worden om tot een optimale keuze voor een installatie met WKK-unit te komen

**Stap 1** Bereken de energiestromen met behulp van paragraaf 2.6 en bijlage B. Voor de dimensionering is het van belang om met waarden per uur te werken;

- Bepaal of er een CV-buffervat toegepast gaat worden. Gebruik hiervoor paragraaf 2.5;
- Kies een zo klein mogelijke WKK-unit (A) uit (zie afbeelding 3.5). Hou hierbij rekening met de toepassing van het buffervat (paragraaf 3.7). Criteria hiervoor kunnen zijn:
  - Een bijdrage van ongeveer 10% in de warmtevraag;
  - Een minimaal vereist elektrisch vermogen aan noodstroom;
  - Een minimaal benodigd verwarmingsvermogen voor koudeopwekking, via een warmtegedreven koelproces;
  - Een minimaal benodigd verwarmingsvermogen voor bijvoorbeeld een tapwater-systeem.

4. Kies een zo groot mogelijke WKK-unit (B) uit (zie afbeelding 3.5). Ook hier dient gerekend te worden met een buffervat als dit geselecteerd is (paragraaf 3.7). Als criteria hiervoor kunnen de volgende punten gehanteerd worden:
  - a. De unit moet ongeveer minimaal 4.000 draaiuren in een jaar kunnen maken;
  - b. De (bestaande)gasaansluiting moet de capaciteit kunnen leveren;
  - c. De beschikbare ruimte moet voldoende groot zijn; dit geldt ook voor de route naar de ruimte toe;
  - d. De vloerconstructie moet het gewicht kunnen dragen; met aanpassingen kan overigens de toegelaten vloerbelasting groter worden; deze kosten moeten dan wel in het WKK-project worden meegenomen;
  - e. De elektrische installatie (gebouwaansluiting en hoofdverdeler) moet geschikt zijn voor het elektrische vermogen van de WKK-unit. Dit is meestal het geval.
5. Als het verschil tussen het elektrische vermogen van WKK-unit (A) en WKK-unit (B) groot genoeg is, selecteer dan nog een WKK-unit (C) (zie afbeelding 3.5). Het elektrische vermogen moet ongeveer tussen het vermogen van WKK-unit (A) en (B) in liggen. Bekijk of het verschil tussen de units voldoende groot is om een volledige economische analyse voor beide units uit te gaan voeren. De uitkomsten zullen anders toch dicht bij elkaar komen te liggen. Houdt er rekening mee dat uit het oogpunt van bedrijfszekerheid twee gelijke units gekozen kunnen worden.



Afb. 3.5 Voorbeeld jaarbelastingduurkromme met drie uitgangspunten voor het verwarmingsvermogen van de WKK-unit (de elektriciteitsbehoefte is hier weergegeven als een indicatie voor het verkrijgen van inzicht in de hoogte van de vraag)

- Stap 2** Bereken de rentabiliteit per draaiuur aan de hand van paragraaf 2.7 en bijlage C. Doe dit voor WKK-unit (A) en ook eventueel voor unit (B) en (C). Uit het oogpunt van bedrijfsvoering kan men ervoor kiezen de units per jaar gelijke draaiuren te laten maken;
2. Maak overzichten van de rentabiliteit per draaiuur voor de volgende onderdelen (indien van toepassing):
    - a. Varieer de capaciteit van de WKK-unit tijdens het leveren van warmte voor het CV-net voor alle relevante elektriciteitsstarieven;
    - b. Varieer de nuttig gebruikte hoeveelheid warmte voor het CV-net voor alle relevante elektriciteitsstarieven; bereken de rentabiliteit voor vollast en deellast;
    - c. Varieer de capaciteit van de WKK-unit tijdens het leveren van warmte voor het warmtegedreven koelproces voor alle relevante elektriciteitsstarieven.
  3. Analyseer aan de hand van de resultaten wat de beste bedrijfsvoering strategie is: onder welke omstandigheden is de opbrengst het hoogst? Besluit ook of het variëren van de capaciteit van de WKK-unit toegepast gaat worden.
- Stap 3** Bereken de energiestromen en -kosten voor zowel de installatie met WKK als voor een referentie-installatie. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van paragraaf 2.8 en bijlage D:
- a. Wat wordt de bijdrage van de WKK-units (A, B en C) in de warmtevraag en elektriciteitsproductie en wat gaat de voor- en naverwarming bijdragen;
  - b. Wat zijn de jaarlijkse energiekosten;
  - c. Wat zijn de jaarlijkse onderhoudskosten;
  - d. Wat zijn de investeringskosten;
  - e. Wat zijn de mogelijkheden voor subsidie.

2. Bij toepassing van een buffervat: varieer de grootte van het vat, zodat de installatie-variant met de laagste energiekosten ontstaat. Hou hierbij met name rekening met het gewicht van het vat en de afmetingen, zie hiervoor paragraaf 3.7 en bijlage H.
- Stap 4**
1. Bereken de economische resultaten van de gekozen WKK-units. Dit kan met behulp van paragraaf 2.9 en bijlage E;
  2. Analyseer welke installatie met WKK-unit (A of B of C) het beste economische resultaat geeft;
  3. Ga na of er nog andere WKK-units beschikbaar zijn die qua vermogen direct onder of boven het vermogen van WKK-unit (A of B of C) liggen. Herhaal voor deze units Stap 2, 3 en 4, om zodoende de meest optimale keuze te kunnen maken.

### 3.6.2 Warmteopwekkermodulen

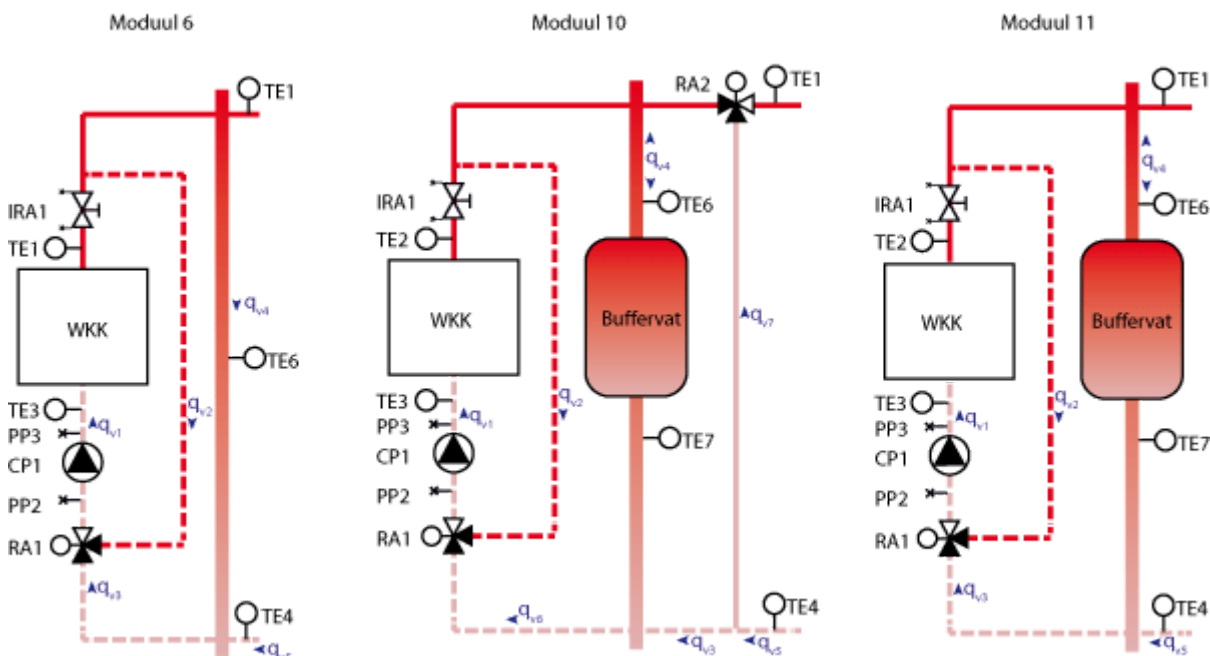
In ISSO-publicatie 44 [5] zijn 15 warmteopwekkermodulen uitgewerkt. De keuze voor deze opwekkermodulen hangt af van de configuratie van de WKK-unit. In deze publicatie wordt onderscheid gemaakt tussen:

1. WKK-units waarbij de intredetemperatuur door de warmteopwekkermodule beïnvloed moet kunnen worden;
2. WKK-units die een eigen voorziening hebben voor het realiseren van de minimale intredetemperatuur;
3. Toepassing van meerdere WKK-units.

Deze onderdelen worden hierna verder uitgewerkt.

#### 1) Warmteopwekkermodule met beïnvloeding intredetemperatuur

Drie opwekkermodulen zijn geschikt om een WKK-unit, die niet zelf de intredetemperatuur kan beïnvloeden, op een goede manier in een installatie in te passen. Deze zijn hierna weergegeven.



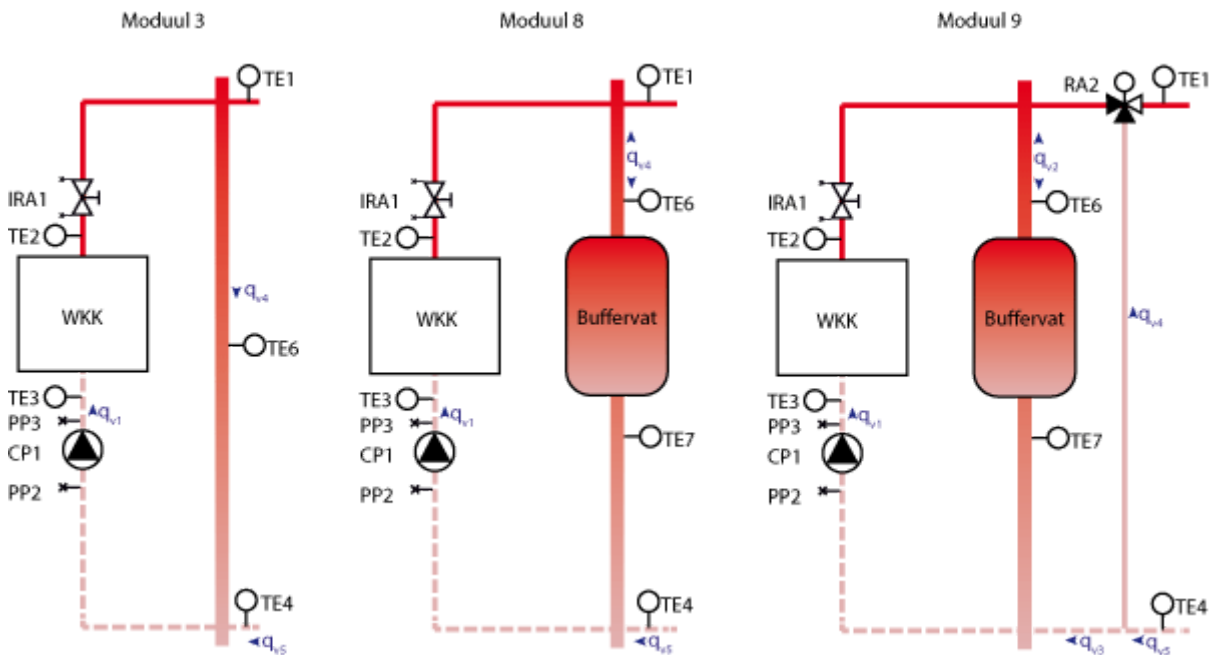
De kenmerken van deze modules zijn als volgt.

- De intredetemperatuur van de WKK-unit (TE3) kan op een vereiste minimale waarde gehouden worden door driewegklep RA1;
- Doordat RA1 op de intredetemperatuur regelt is een hydraulische regeling van de aanvoertemperatuur (TE1) met behulp van RA1 niet mogelijk;
- De volumestroom door de opwekker (WKK-unit) is constant;
- De volumestroom in het distributie-net,  $q_{v5}$  kan variabel zijn (dit is overigens een vereiste om een dalende retourtemperatuur bij deellast te krijgen).

De keuze voor een module wordt bepaald door al dan geen aanwezigheid van een buffervat. Dit is in paragraaf 3.7 verder uitgewerkt. Daarnaast heeft moduul 10 nog de mogelijkheid om de aanvoertemperatuur van het CV-net (TE1) te regelen met behulp van RA2.

#### 2) Warmteopwekkermodule zonder beïnvloeding intredetemperatuur

Bij deze modules moet de WKK-unit zelf voorzieningen hebben om de vereiste intredetemperatuur te kunnen realiseren.



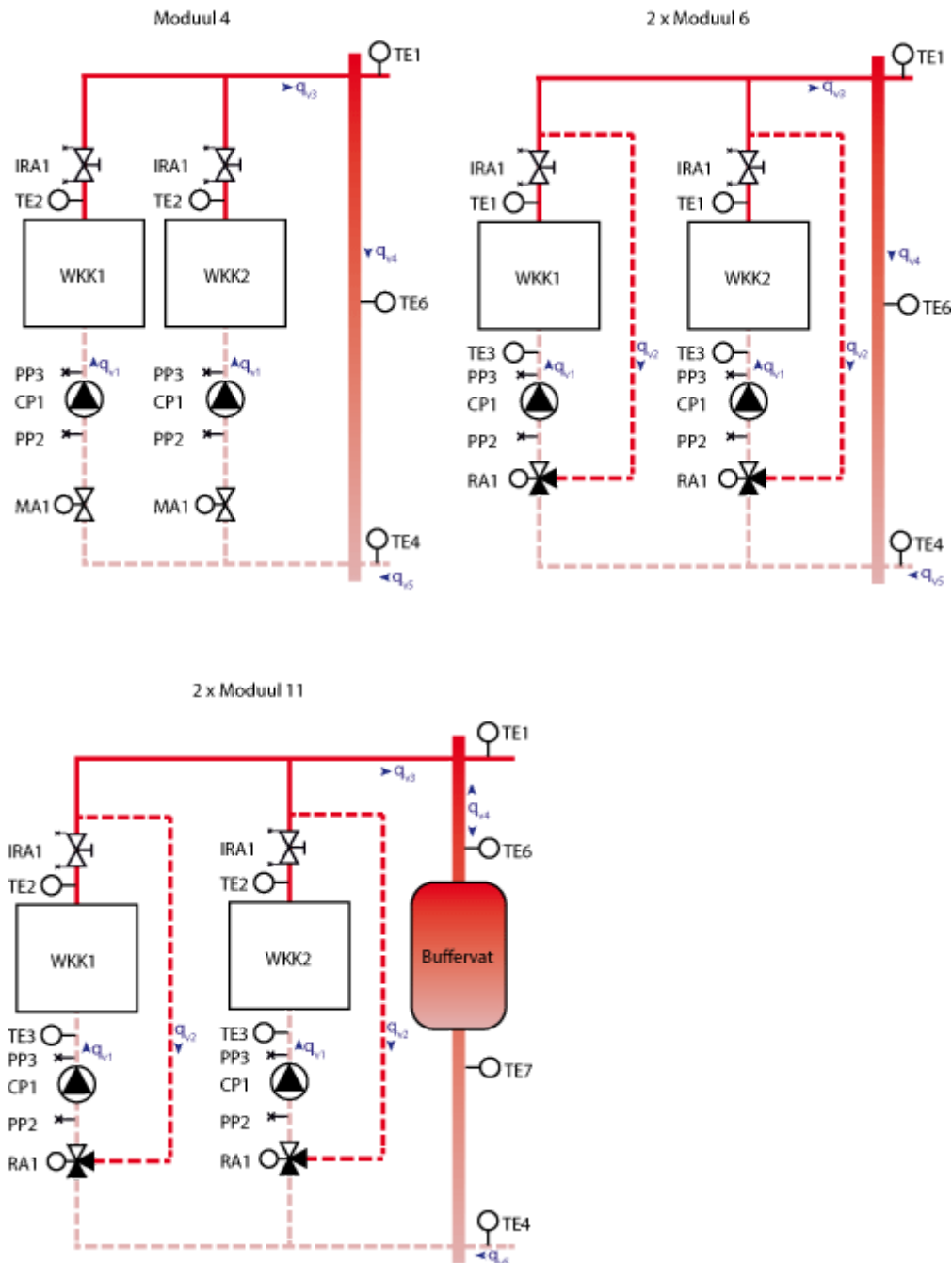
De kenmerken van deze modules zijn als volgt.

- De volumestroom door de opwekker (WKK-unit) is constant;
- Geen hydraulische beveiliging minimale intredetemperatuur TE3;
- De volumestroom in het distributie-net,  $q_{v5}$  kan variabel zijn (dit is overigens een vereiste om een dalende retourtemperatuur bij deellast te krijgen);
- Bij moduul 9 is een hydraulische regeling van de aanvoertemperatuur TE1 mogelijk. Bij de andere modules is dat niet het geval.

De keuze voor een van deze modules hangt af van de wens om al dan geen buffervat te willen. En om al dan geen hydraulische regeling van de aanvoertemperatuur TE1 te willen hebben.

### 3) Toepassing van meerdere WKK's

Als er meerdere WKK-units worden toegepast, dan is een parallelschakeling bijna altijd de beste manier voor de hydraulische inpassing (zie hiervoor ook [14]). De hierna volgende modules kunnen gebruikt worden voor de inpassing van meerdere WKK-units.



Kenmerken van de modules.

- Moduul 4: Deze is geschikt voor WKK's die een eigen intredetemperatuur beïnvloeding hebben;
- Moduul 6: 2 keer toegepast; deze is geschikt voor WKK's die geen hydraulische voorziening voor een intredetemperatuur beïnvloeding hebben;
- Moduul 11: hierbij geldt dezelfde opmerking als bij moduul 6.

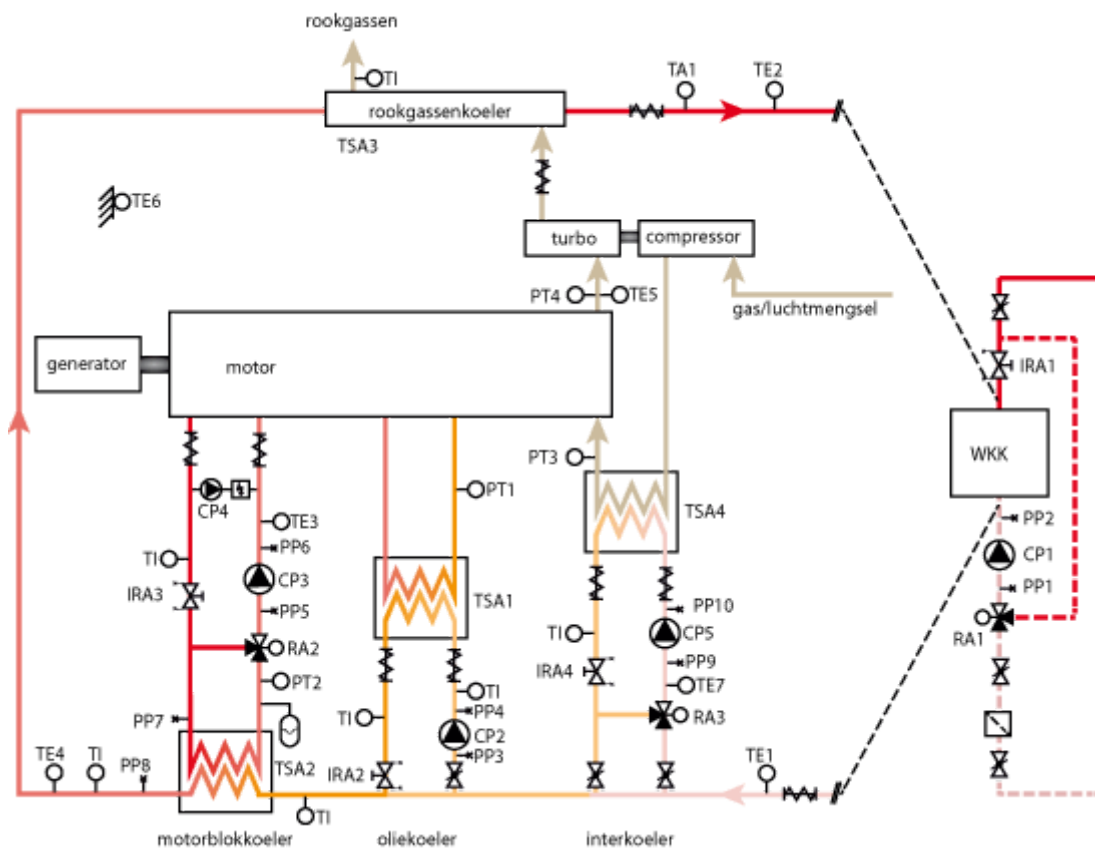
Hoe de WKK-unit zelf in de warmteopwekkersmodules ingepast wordt is in de hierna volgende paragraaf verder uitgewerkt.

### 3.6.3 Proces- en instrumentatieschema

#### Detail uitwerking WKK-unit met turbo

In afbeelding 3.6 is een proces- en instrumentatieschema opgenomen van een WKK-unit met turbo. Aan de rechterzijde is weergegeven hoe de unit in warmteopwekkersmodule nummer 6 gepositioneerd is. De positionering in de andere warmteopwekkersmodules is identiek aan die van nummer 6.





Afb. 3.6 Proces- en instrumentatieschema WKK-unit met een turbo-lader

In het hierna volgende overzicht is aangegeven wat de functies van de componenten zijn en wat de mogelijkheden zijn voor het uitvoeren van metingen. De praktijk heeft uitgewezen dat de opgenomen componenten zinvol kunnen zijn. Afgezien van de sensoren waarop geregeld wordt, is het echter geen verplichting om de weergegeven componenten op te nemen.

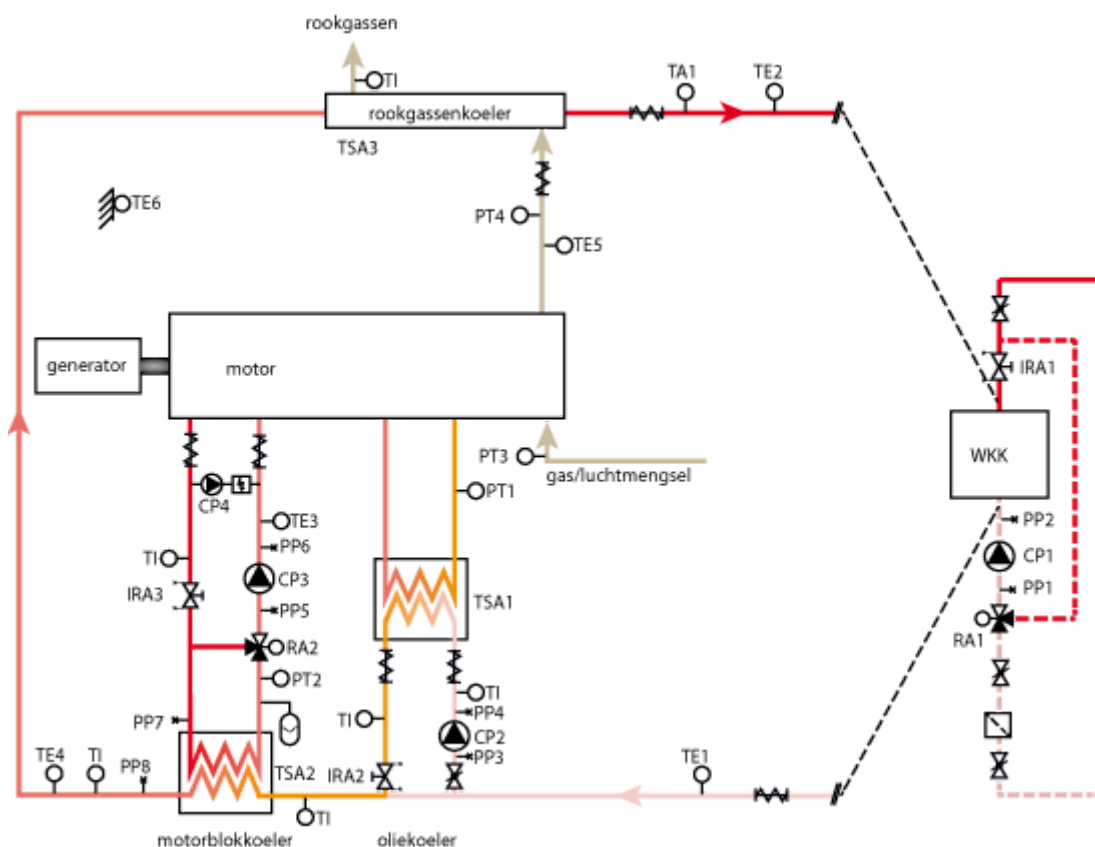
Tabel 3.3 Functie(s) componenten of meetmogelijkheden

Component	Functie(s) of meet mogelijkheden
IRA1	Inregelen en controle totale volumestroom WKK
IRA2	Inregelen en controle volumestroom CP2
IRA3	Controle volumestroom CP3
IRA4	Inregelen en controle volumestroom CP5
RA1	Minimale intredetemperatuur bij TE1 realiseren
RA2	Minimale intredetemperatuur bij TE3 realiseren; deze klep kan zowel Mechanisch als motor bediend zijn.
RA3	Minimale intredetemperatuur bij TE7 realiseren
PP1 met PP2	Drukverschil over CP1 meten
PP1 met PP2 en IRA1	Blinddruk van CP1 meten
PP2 met 1 nippel van IRA1	Drukverschil over TSA 2 motorblokkoeler en TSA 3 rookgassenkoeler meten
PP2 met PP8	Drukverschil over TSA 2 motorblokkoeler meten
PP3 met PP4	Drukverschil over CP2 meten
PP3 met PP4 en IRA2	Blinddruk van CP2 meten
PP4 met 1 nippel van IRA2	Drukverschil over TSA1 oliekoeler met compensatoren meten
PP5 met PP6	Drukverschil over CP3 meten
PP5 met PP6 en IRA3	Blinddruk van CP3 meten
PP6 met 1 nippel van IRA3	Drukverschil over motorblok met compensatoren meten
PP7 met 1 nippel van IRA3	Drukverschil over RA2 meten
PP7 met PP5	Drukverschil over TSA 2 motorblokkoeler meten
PP8 met 1 nippel van IRA1	Drukverschil over TSA 3 rookgassenkoeler meten
PP9 en PP10	Drukverschil over CP5 meten
PP9 met PP10 en IRA4	Blinddruk van CP5 meten
PP10 met 1 nippel van IRA4	Drukverschil over TSA4 intercooler met compensatoren meten
TE1	Geeft informatie over de intredetemperatuur van de WKK
	RA1 regelt erop
TE2	Geeft informatie over de uittredetemperatuur van de WKK
	Kan gebruikt worden voor aftoeren WKK als uittredetemperatuur te hoog wordt
	Zie ook informatie bij TE4
TE3	Geeft informatie over de intredetemperatuur van het motorblok
	RA1 regelt erop
TE4	Geeft informatie over de uittredetemperatuur van het motorblok, TSA2
	In combinatie met TE2 en IRA1 kan het geleverde vermogen van de rookgassenkoeler berekend worden

	In combinatie met TE1 en TE2 kan de vermogensverhouding tussen de verschillende koelers gecontroleerd worden
TE5	Geeft informatie over de temperatuur van de rookgassen; bij meerdere banken per bank een sensor aanbrengen
TE6	Geeft informatie over de temperatuur in de omkasting van de WKK Kan gebruikt worden voor aftoeren WKK als de temperatuur in de omkasting te hoog wordt
TE7	Geeft informatie over de intredetemperatuur van de intercooler RA3 regelt erop
TI	Worden gebruikt om de temperatuur ter plaatse af te kunnen lezen
PT1	Controle en beveiliging oliedruk
PT2	Controle en beveiliging druk in motorblokkoeler circuit
PT3	Controle brandstof inlaat druk
PT4	Controle rookgassen uitlaat druk
TA1	Beveiliging maximale uittredetemperatuur rookgaskoeler

### Detail uitwerking WKK-unit zonder turbo

De WKK's met kleinere vermogens hebben geen turbolader. Een mogelijke opbouw van het proces- en instrumentatieschema is in afbeelding 3.7 weergegeven.



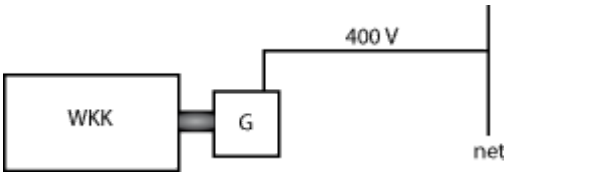
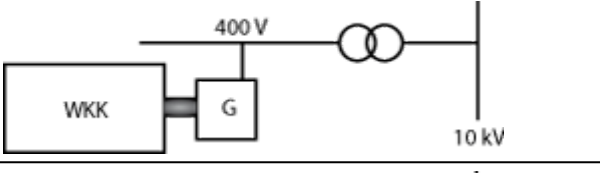
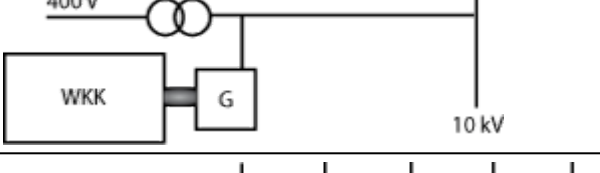
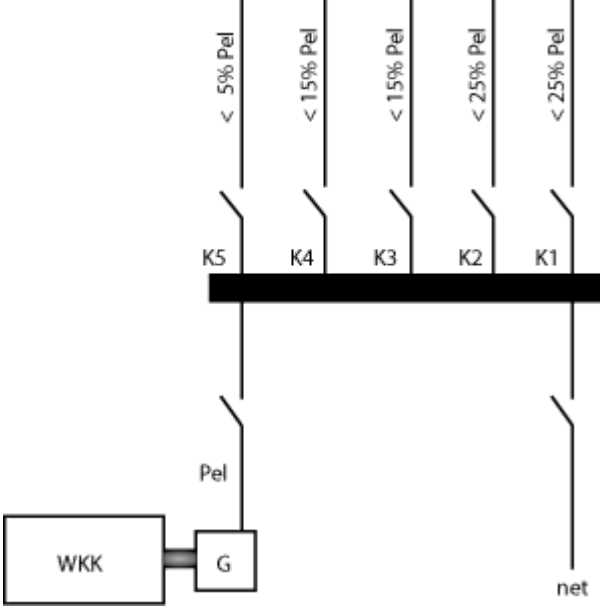
Afb. 3.7 Proces- en instrumentatieschema WKK-unit zonder turbo-lader

De functies en meetmogelijkheden van de componenten zijn gelijk aan die van afbeelding 3.6. Daarom zijn deze hier niet nogmaals opgenomen.

#### 3.6.4 Elektrische inpassing

Het elektriciteitsnetwerk in het gebouw of het landelijke net mogen geen hinder ondervinden van het in- en uitschakelen van de WKK-unit. Ook mag de elektrische installatie niet tot onveilige situaties leiden.

Er zijn verschillende configuraties voor de elektrische inpassing van de WKK. Deze zijn hieronder gevisualiseerd.

Aangesloten op het openbare elektriciteitsnet met 400 V	
Indirect aangesloten op het middenspanningsnet 10 kV	
Direct aangesloten op het middenspanningsnet 10 kV	
Ingepast voor noodstroomaggregaat	

Alleen bij grotere WKK-systemen (ca. > 1,5 MWel) kan gekozen worden voor een aansluiting op het middenspanningsnet van 10 kV. Bij utiliteitsgebouwen is een aansluiting op het 400 V-net het meest gangbaar.

Het terugleveren van elektriciteit aan het net levert over het algemeen weinig op. Daarom zal de elektriciteit in het algemeen zoveel mogelijk voor eigen gebruik worden ingezet. Dit geldt met name voor nachstroom (daluren) gedurende de avond en in het weekend. Een overeenkomst met een energiebedrijf over levering op afgesproken tijden levert vaak wel extra voordeel op. Als een WKK-installatie voor noodstroom wordt ingezet, moet er rekening worden gehouden met de opstartbelasting en met fluctuaties van de elektriciteitsvraag op het opstartnet. Dit is gevisualiseerd in het schema hiervoor 'ingepast voor noodstroomaggregaat'.

Voor de opstartprocedure is het van belang dat de WKK-installatie, nadat deze op toeren is, niet met de volle belasting bijgeschakeld hoeft te worden. De gasmotor kan zo'n proces niet aan en dus zal het toerental dalen en de machine in het ergste geval in storing gaan. De preferente noodstroomgroepen moeten in kleine stapjes, met niet meer dan 25% van het vollastvermogen van de WKK-installatie per stap, worden ingeschakeld (gestaffeld inschakelen). Dit mag totdat er een vermogen van 50% bereikt is. Daarna worden de stappen kleiner, namelijk zo'n 15% per stap, totdat 85% van het vollastvermogen bereikt is.

Moderne gasmotoren kunnen geen sterke belastingfluctuaties aan. Door de lengte van de gasregelstraat is de responsietijd van de brandstoftoevoer te lang, wat inhoudt dat een noodstroomdieselmotor de belastingtoppen moet afvlakken of dat de vermogensvraag op een andere manier moet worden afgetopt. De inzet van grotere accubatterijen als noodstroombuffer

is duur. Bovendien vergen deze batterijen tijdens de standby-situatie onderhoud en veel stroom [21].

### 3.6.5 Gewenste functionaliteit

Bij een WKK-unit kunnen de volgende bedrijfssituaties onderscheiden worden.

1. Warmte leidend;
2. Kracht leidend;
3. Noodstroom bedrijf.

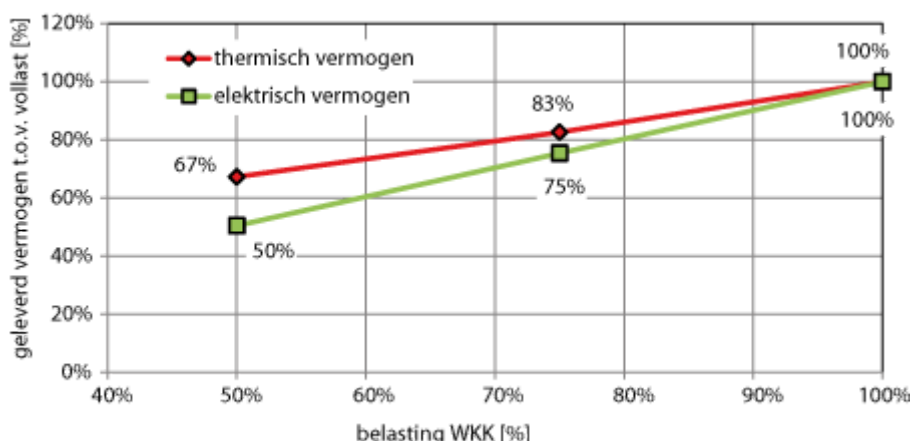
Tijdens het warmte leidende bedrijf wordt de WKK-unit vrijgegeven en geregeld op basis van de warmtevraag vanuit het CV-net. Ook kan de dag van de week en het tijdstip op de dag van invloed zijn op de vrijgave van de WKK-unit. Deze laatste strategie komt vanuit de resultaten van de berekeningen per draaiuur, zie hiervoor paragraaf 2.7 en bijlage C.

De bedrijfssituatie 'kracht leidend' wordt bijna niet gebruikt in de utiliteitsomgeving. De reden hiervoor is dat het economisch gezien geen aantrekkelijke bedrijfsvoering is. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat een WKK-unit meestal zo ontworpen wordt qua capaciteit dat alle opgewekte elektriciteit intern gebruikt kan worden. Omdat tijdens het kracht leidende bedrijf geregeld wordt op de elektriciteitsvraag vanuit het gebouw zal de unit dus het gehele jaar door op vollast draaien en is deze bedrijfssituatie voortdurend in gebruik.

Tijdens het noodstroombedrijf is de WKK-unit niet gekoppeld aan het openbare elektriciteitsnet. De elektriciteitsvraag van het gebouw is bij deze bedrijfssituatie leidend voor het vermogen wat de WKK-unit moet leveren. In paragraaf 3.6.4 is voor noodstroombedrijf uitgewerkt hoe de belasting van de elektrische afnemers opgebouwd moet worden. Bij netstoring is de WKK meestal vol in bedrijf. Er moet dan belasting worden afgeschakeld in de plaats van bijgeschakeld.

### 3.6.6 Regelbaarheid

In vergelijking met andere warmteopwekkers is een WKK-unit minder ver terug te regelen. De capaciteitsvariatie voor het elektrische vermogen ligt tussen de 50% en 100%. Het is technisch gezien niet mogelijk om lager dan 50% terug te kunnen regelen. Het daarbij geleverde thermische vermogen daalt minder snel. In afbeelding 3.8 is een voorbeeld van de regelbaarheid van een WKK-unit gegeven.



Afb. 3.8 Voorbeeld van geleverde vermogen als functie van de belasting van de WKK

Uit de gegevens van afbeelding 3.8 blijkt dat het thermische vermogen van deze unit tussen de 67 en 100% varieert. De totale hoeveelheid te regelen warmte is dus 33% van het opgestelde vermogen. Hier dient in de energieberekeningen goed rekening mee gehouden te worden. Opgemerkt moet worden dat bij de meeste projecten het niet aantrekkelijk is (vanuit economisch perspectief) om de WKK-unit met een variabel vermogen te laten functioneren. Variatie in de warmtevraag kan namelijk ook met een buffervat opgevangen worden.

### 3.6.7 Gasaansluiting

Er worden diverse eisen gesteld aan de brandstof voor een WKK-unit. Hierna is een overzicht gegeven van eisen die gesteld kunnen worden.

Tabel 3.4 Voorbeeld waarden

Omschrijving	Voorbeeld waarde
Minimaal methaangehalte	80
Minimale gasdruk	20 mbar
Maximale gasdruk	50 mbar
Maximale gasdrukvariatie	4 mbar
Maximale veranderingssnelheid	2 mbar per minuut
Maximale temperatuur	30 °C
Maximale relatieve vochtigheid	80%

Naast deze eisen zal de verbrandingswaarde van de brandstof bekend moeten zijn. Voor aardgas kan dit bijvoorbeeld 10 kWh/nm<sup>3</sup> zijn. Als de verbrandingswaarde lager ligt, dan zal de unit minder vermogen leveren en niet goed functioneren als dit niet met de leverancier is afgestemd. In afbeelding 3.9 is een voorbeeld gegeven van de opbouw van een gasstraat. Aan de linkerzijde komt het gas vanaf bijvoorbeeld de gasmeter. Aan de rechterzijde gaat het gas naar de gas-lucht-menger van de WKK.



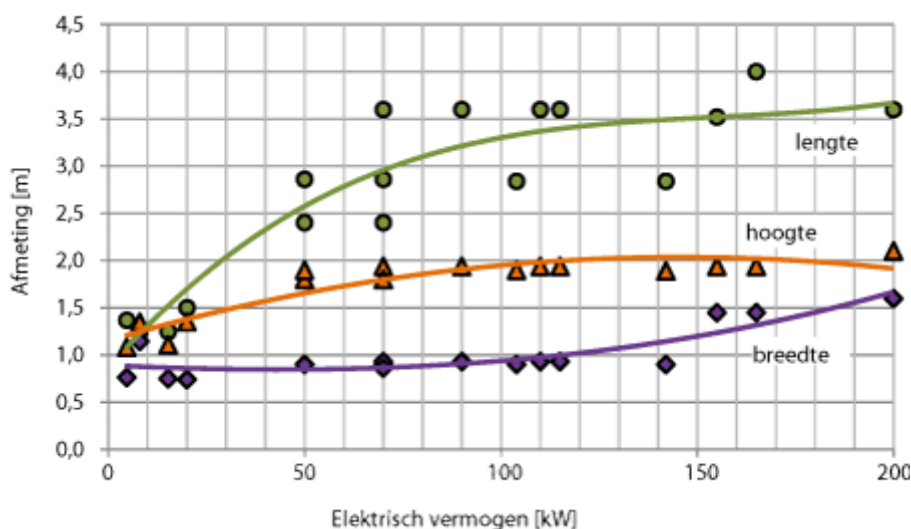
Afb. 3.9 Voorbeeld van een gasstraat

De kleppen hebben de volgende betekenis.

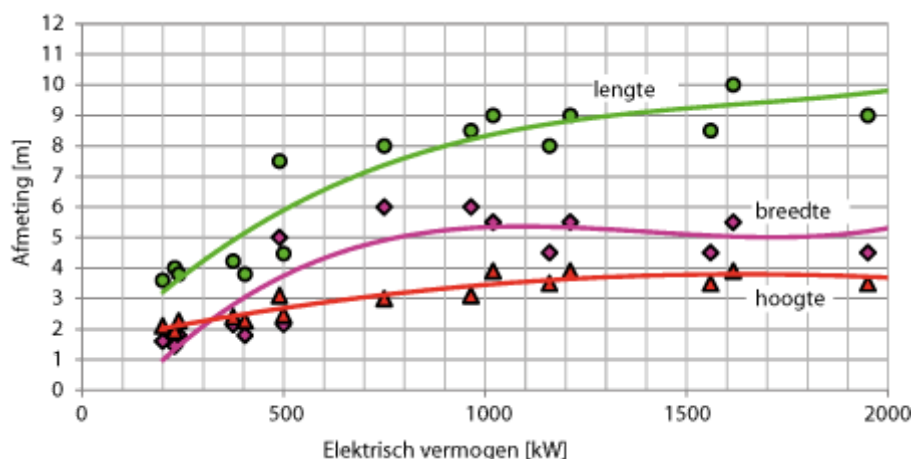
- RA1: gasmagneetventiel;
- RA2: gelijkdrukregelaar met magneetventiel;
- RA3: Lambda-regelventiel (het begrip Lambda is een getal voor de aanduiding van de luchtvermaat).

### 3.6.8 Afmetingen

In de hierna volgende afbeelding 3.10 en afbeelding 3.11 zijn de afmetingen van een WKK-unit als functie van het elektrische vermogen weergegeven. Afbeelding 3.10 geeft de afmetingen bij elektrische vermogens van 0 tot en met 200 kW en afbeelding 3.11 van 200 tot 2.000 kW. Het betreft de afmetingen van een unit inclusief omkasting.



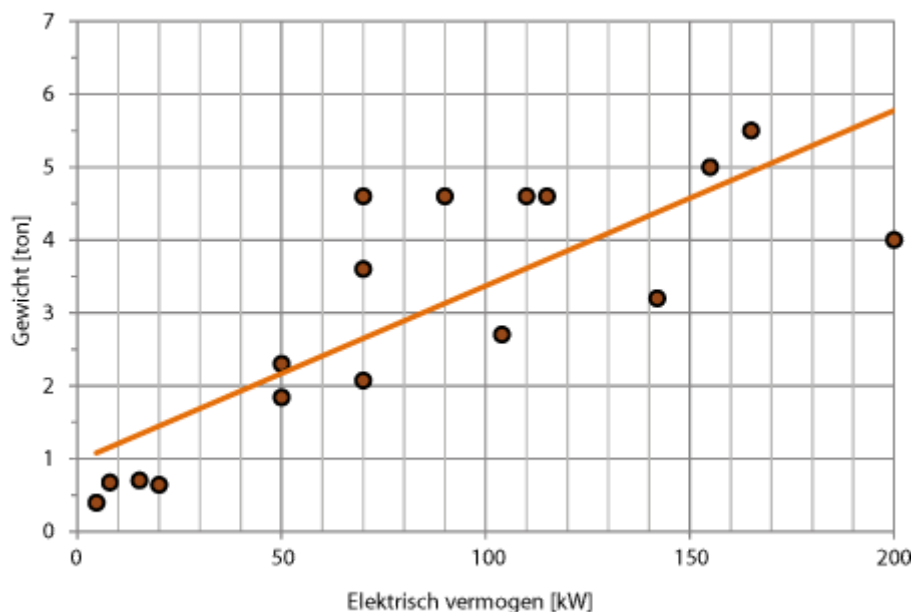
Afb. 3.10 Afmetingen WKK-unit als functie van het elektrische vermogen (5 - 200 kWel)



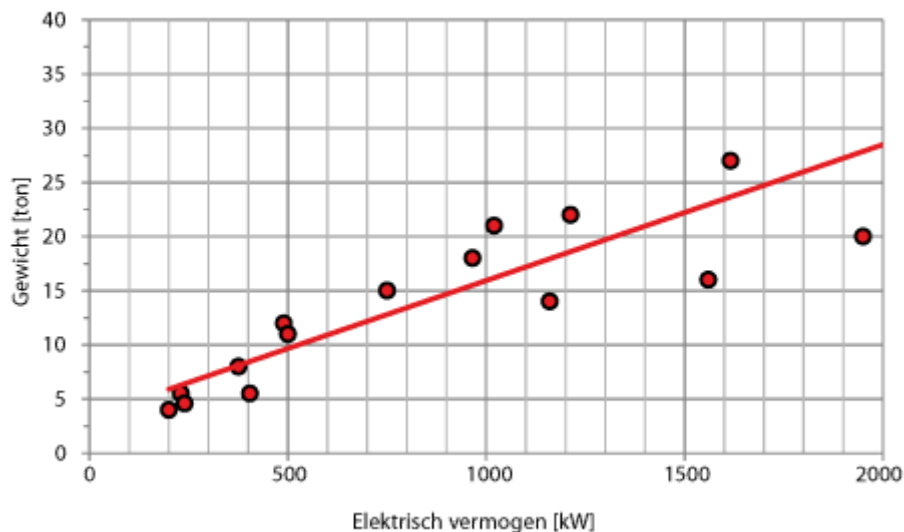
Afb. 3.11 Afmetingen WKK-unit als functie van het elektrische vermogen (200 - 2.000 kWel)

### 3.6.9 Gewichtsbelasting

In de hierna volgende afbeelding 3.12 en afbeelding 3.13 is het gewicht van een WKK-unit weergegeven als functie van het elektrische vermogen. afbeelding 3.12 geeft het gewicht bij elektrische vermogens van 0 tot en met 200 kW en afbeelding 3.13 van 200 tot 2.000 kW. Het betreft het gewicht van een unit met toebehoren, en met omkasting. De weergegeven trendlijnen kunnen als indicatie voor het gewicht dienen.



Afb. 3.12 Gewicht WKK-unit als functie van het elektrische vermogen (5 - 200 kWel)



## Afb. 3.13 Gewicht WKK-unit als functie van het elektrische vermogen (200 - 2.000 kWel)

### 3.6.10 Geluid en trillingen

Een speciaal belangrijk aandachtspunt bij WKK-installaties is de productie van geluid en trillingen. Zo kunnen trillingen grote overlast in het utiliteitsgebouw en de mogelijk ertegen of ernaast gelegen bewoonde omgeving veroorzaken. Ook het wegwerken van contactgeluiden met behulp van flexibele verbindingen en/of contactscheidingen moet de nodige aandacht krijgen.

Daarnaast kunnen uitlaatgaspijpgeluiden (schoorstenen) overlast veroorzaken. Dit geldt met name ook voor de nachtelijke uren als er sprake is van een bewoonde omgeving. Het verhelpen van geluidsoverlast met extra geluiddempers vergt de nodig ruimte en moet daarom in een vroeg stadium onderkend worden.

Er is geen eenduidige relatie tussen het vermogen van een WKK-unit en de geluidsbelasting. De geluidsbelasting wordt hoofdzakelijk bepaald door de (geluiddempende)kwaliteit van de omkasting. Uit een overzicht van verschillende units blijkt dat de standaard geluidsbelasting op een afstand van 2 m tussen de 54 en 93 dB(A) kan liggen. Toepassing van een betere omkasting kan dit geluidsniveau verlagen.

Uit de inhoud van deze paragraaf blijkt dat de opstellingsplaats/locatie en de geluiddempende omkasting van een WKK-unit zorgvuldig gekozen moeten worden.

### 3.6.11 Milieuaspecten

#### Wet- en regelgeving

Een WKK-unit stoot rookgassen uit, verbruikt olie om de motor te smeren en bij de rookgassenkoeler komt er condensaat vrij. Er worden door de overheid en Europa diverse eisen gesteld aan de uitstoot van rookgassen en de opslag van bijvoorbeeld olie. De wet- en regelgeving is continue aan verandering onderhevig. Daarom heeft het voor deze publicatie geen nut om de informatie te geven over de eisen die nu gelden. In het algemeen kan het Activiteitenbesluit genoemd worden. Valt een WKK-installatie hieronder, dan moet dit gemeld worden bij de gemeente. Daarnaast kan de Bems (Besluit Emissie-eisen Middelgrote Stookinstallaties) genoemd worden. Hierin zijn onder andere de eisen geformuleerd van de maximale emissies van verschillende stoffen, zoals NOx en SO<sub>2</sub>. De eisen kunnen onder andere afhangen van de datum van de vergunning, het asvermogen, het rendement, de bedrijfstijd en het type brandstof.

Ook kan in het algemeen geadviseerd worden om bij Agentschap NL informatie op te vragen.

#### Condensafvoer

Bij WKK-units met een rookgaskoeler ontstaat er condensaat. Het rookgascondensaat is sterk zuur en heeft een pH-waarde van 2-3 bij aardgas. Aanbevolen wordt om condensaat in overleg met de afvalwaterautoriteiten in het riool af te voeren, en nooit in het buitenmilieu. Een mogelijke oplossing is een neutralisatie-inrichting op basis van kalkgranulaat.

## 3.7 UITWERKING BUFFERVAT

Een buffervat wordt opgenomen om het verschil in warmtevraag en -aanbod tijdelijk op te vangen. Als eerste is de dimensionering van een buffervat uitgewerkt. Daarna is aangegeven hoe dit onderdeel in een installatie kan worden opgenomen. Tenslotte is de gewenste functionaliteit uitgewerkt.

Omdat het bij een installatie met WKK van belang is dat het temperatuurverschil tussen het retourwater van het CV-net en de uitrede van de WKK maximaal blijft wordt als uitgangspunt gehanteerd dat er een gelaagd buffervat toegepast wordt.

### 3.7.1 Dimensionering

De dimensionering van een buffervat hangt af van de gewenste functie:

- (A) voorkomen dat de WKK-unit te veel starts gaat maken (anti-pendel functie); hierbij is de actieve systeeminhoud te klein om de unit een kleine warmtevraag te kunnen laten leveren;
- (B) voor het opvangen van pieken in de warmtevraag;
- (B) om de WKK-unit op andere tijden te kunnen laten functioneren;
- Combinaties van voornoemde punten.

De voornoemde punten kunnen qua uitgangspunten in twee delen opgesplitst worden (A) en (B). Als er meerdere punten van toepassing zijn, dan moeten beide berekeningen uitgevoerd worden. De grootst berekende inhoud van het buffer is leidend. In bijlage H is de dimensionering van het buffervat voor beide delen (A) en (B) in detail uitgewerkt.

### 3.7.2 Opwekkermodule

Het buffervat wordt als een warmteopwekker beschouwd. In paragraaf 3.6.2 zijn de warmteopwekkermodule weergegeven die toepast kunnen worden bij een WKK-unit. In deze paragraaf 3.6.2 zijn onder andere de warmteopwekker module 8, 9, 10, 11 en een dubbele module



11 opgenomen. Al deze modules hebben een buffervat. Voor de hydraulische inpassing wordt dan ook verwezen naar paragraaf 3.6.2.

### **3.7.3 Gewenste functionaliteit**

Bij het buffervat kunnen twee bedrijfssituaties onderscheiden worden.

1. Buffer laden;
2. Buffer ontladen.

Als het buffervat geladen wordt, dan is de warmtevraag van het gebouw lager dan de geleverde warmtehoeveelheid van de WKK-unit. Bij het ontladen is dit andersom. Het buffervat is in die situatie een warmteopwekker.

## **3.8 UITWERKING NAVERWARMING**

Naverwarming wordt opgenomen om meer verwarmingsvermogen te kunnen leveren dan alleen met een WKK-unit. Als eerste is de dimensionering van een of meerdere naverwarmers uitgewerkt. Daarna is aangegeven hoe dit onderdeel in een installatie kan worden opgenomen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van warmteopwekkermodules. Tenslotte is de gewenste functionaliteit uitgewerkt.

### **3.8.1 Dimensionering**

Om de naverwarming te kunnen dimensioneren zijn de hierna volgende gegevens nodig.

- Totaal benodigd maximaal verwarmingsvermogen;
- Thermisch vermogen WKK-unit(s);
- Verwarmingsvermogen eventuele voorverwarmers;
- Gewenste CV-aanvoertemperatuur;
- Gewenst temperatuurverschil CV-net.

Aan de hand van voorgaande parameters kunnen de onderdelen van de naverwarming gedimensioneerd gaan worden.

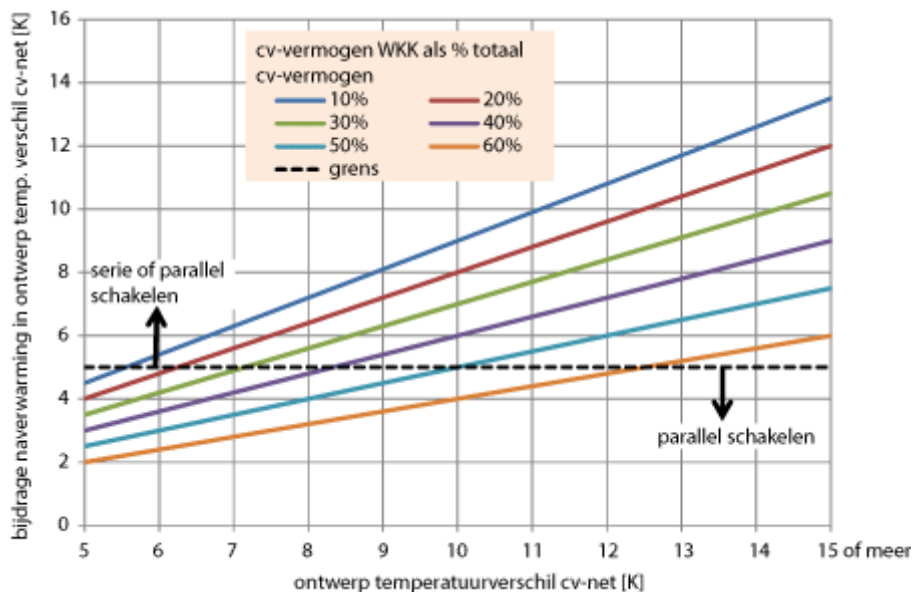
- Bereken het op te stellen verwarmingsvermogen voor de naverwarming;
- Bepaal de hydraulische aansluiting (paragraaf 3.8.2);
- Berekend aan de hand van de gekozen hydraulische aansluiting de in- en uittredetemperaturen;
- Bepaal hoeveel naverwarmers er opgesteld gaan worden;
- Bereken de volumestromen over de naverwarmer(s).

### **3.8.2 Warmteopwekkermodule**

De warmteopwekkers kunnen hydraulisch gezien op twee manieren in de installatie geplaatst worden.

1. Parallel aan de WKK-unit;
2. In serie met de WKK-unit.

De keuze van de schakeling hangt af van het ontwerp temperatuurverschil van het CV-net in combinatie met het verwarmingsvermogen dat de WKK-unit heeft ten opzichte van het totale benodigde verwarmingsvermogen. Dit is in afbeelding 3.14 gevisualiseerd.



Afb. 3.14 Diagram met richtlijn voor bepalen hydraulische wijze van aansluiten naverwarming

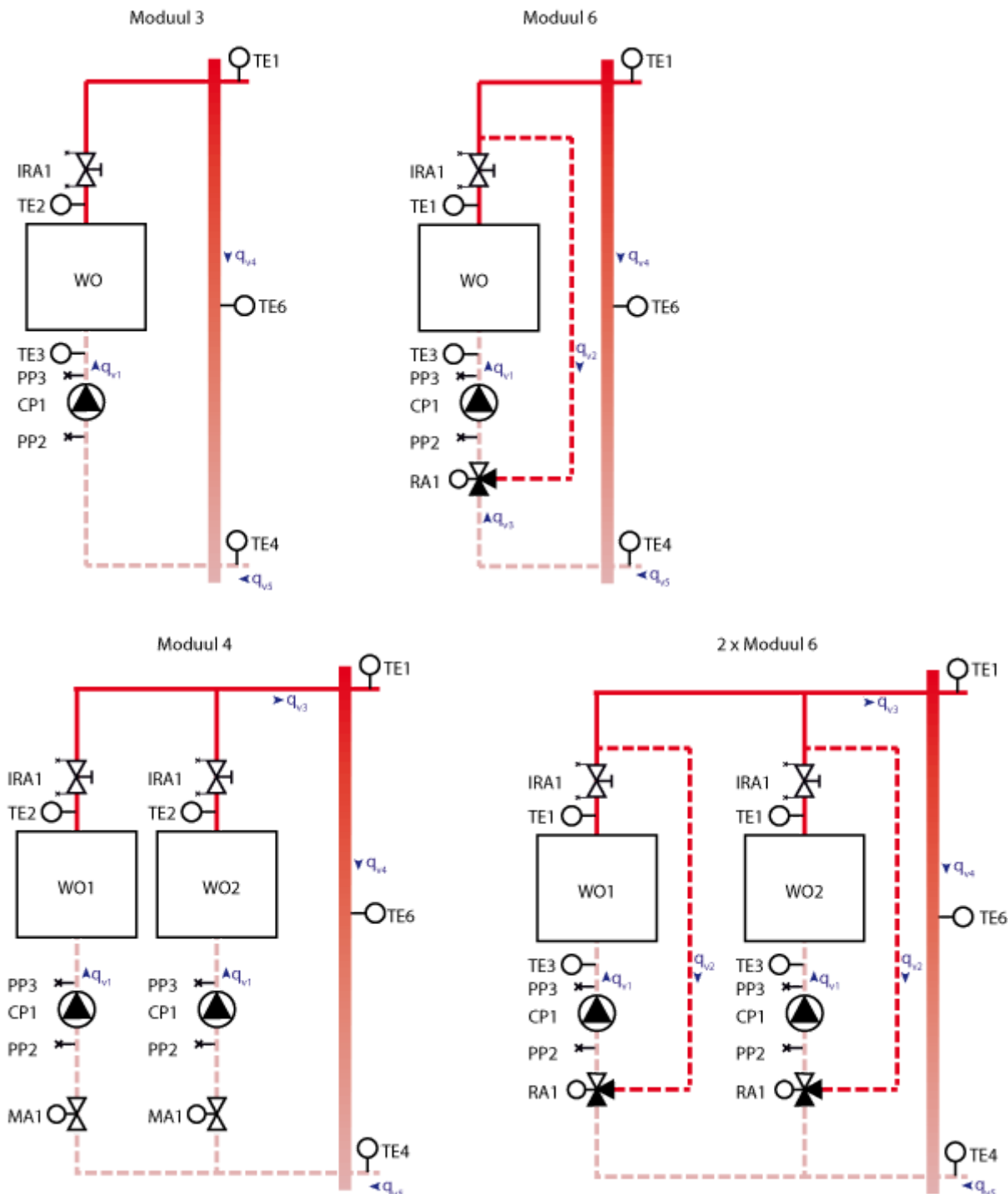
### Voorbeeld

Het ontwerptemperatuurverschil van het CV-net is 10K; het thermische vermogen van de WKK-unit bedraagt 60% van het totale vermogen. Uit afbeelding 3.14 kan nu afgelezen worden dat er een 'parallelschakeling' toegepast moet worden. Het temperatuurverschil dat een naverwarmer in het CV-net (in vollast) bij kan dragen is 4K.

Verder kan bijvoorbeeld uit afbeelding 3.14 afgelezen worden dat bij een WKK vermogen van 30% van het totale CV-vermogen boven een ontwerptemperatuur van 7K zowel gekozen kan worden voor een serieschakeling of een parallel schakeling.

Het verdient de voorkeur om de naverwarming in serie met de WKK-unit te schakelen. Hierdoor wordt de beïnvloeding van de CV-intredetemperatuur richting de WKK-unit zo klein mogelijk gemaakt. In paragraaf 3.13 is zowel een serie- als een parallelaansluiting van een naverwarmer verder uitgewerkt.

In ISSO-publicatie 44 [5] zijn 15 warmteopwekker modulen uitgewerkt. Drie van deze modulen zijn geschikt voor toepassing als naverwarming in combinatie met een WKK-unit. Dit betreft moduul 3, 6 en 4. Daarnaast is in het hierna volgende overzicht ook een dubbele moduul 6 gevisualiseerd, voor als er meerdere warmteopwekkers met een drieweg regelafsluiter toegepast moeten worden. Het gehanteerde uitgangspunt bij de keuzen van de geschikte modulen is dat er geen noodzaak is om een buffervat bij een naverwarmer toe te passen. De WKK-unit zal immers de basislast leveren.



Bij moduul 3 is één warmteopwrekker (WO) toegepast, waarbij de intredetemperatuur niet hydraulisch beïnvloed kan worden. Deze moduul kan bijvoorbeeld voor een HR-ketel worden toegepast. Bij moduul 4 zijn er twee warmteopwекkers parallel toegepast. Hierbij geldt dezelfde opmerking als bij moduul 3.

Als de intredetemperatuur wel hydraulisch beïnvloed moet kunnen worden, dan kan moduul 6 worden toegepast.

In de schema's kan bij het blokje 'WO' bijvoorbeeld een ketel opgenomen worden. Omdat er hiervoor verder geen hydraulische of meetvoorzieningen opgenomen behoeven te worden, zijn er geen proces- en instrumentatieschema's van deze warmteopwrekker modules opgenomen.

### 3.8.3 Gewenste functionaliteit

#### Parallelschakeling

Voorkomen moet worden dat een naverwarmer te veel vermogen gaat leveren, waardoor de WKK-unit minder capaciteit gaat leveren of zelfs uit gaat. Dit aspect treedt met name op bij een parallelschakeling van de WKK-unit en de naverwarmer. Om dit aandachtspunt zo veel mogelijk tegen te gaan is bij een parallelschakeling de aansluiting van de naverwarming boven de aansluiting van de WKK-unit gezet. Zie verder hiervoor paragraaf 3.13.

Vrijgave en blokkering van de naverwarmer kan op basis van het gewenste verwarmingsvermogen in het CV-net. Stijgt het benodigde vermogen boven het maximale

vermogen van de WKK-unit, dan kan de naverwarming vrijgegeven worden. Houd hierbij ook rekening met de minimale capaciteit van de naverwarmer: de naverwarmer dus niet te vroeg vrijgeven.

De naverwarmer kan qua capaciteit geregeld worden op de CV-aanvoertemperatuur.

### **Serieschakeling**

De naverwarmer kan vrijgegeven worden als de temperatuur voor de aansluiting van de naverwarmer onder de gewenste aanvoertemperatuur van het CV-net ligt (bijv. 4K). De vrijgave kan weer geblokkeerd worden als de temperatuur voor de aansluiting van de naverwarmer nog bijvoorbeeld 2K onder de gewenste aanvoertemperatuur van het CV-net ligt. Op deze manier blijft de bijdrage van de WKK-unit maximaal.

De naverwarmer kan qua capaciteit geregeld worden op de temperatuur na de aansluiting van de naverwarmer.

## **3.9 UITWERKING VOORVERWARMING**

Voorverwarming wordt opgenomen om de warmtekracht verhouding te vergroten. Als eerste is de dimensionering van een voorverwarmer uitgewerkt. Daarna is aangegeven hoe dit onderdeel in een installatie kan worden opgenomen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van warmteopwekkermodulen. Tenslotte is de gewenste functionaliteit uitgewerkt.

### **3.9.1 Dimensionering**

Om de voorverwarming te kunnen dimensioneren zijn de hierna volgende gegevens nodig.

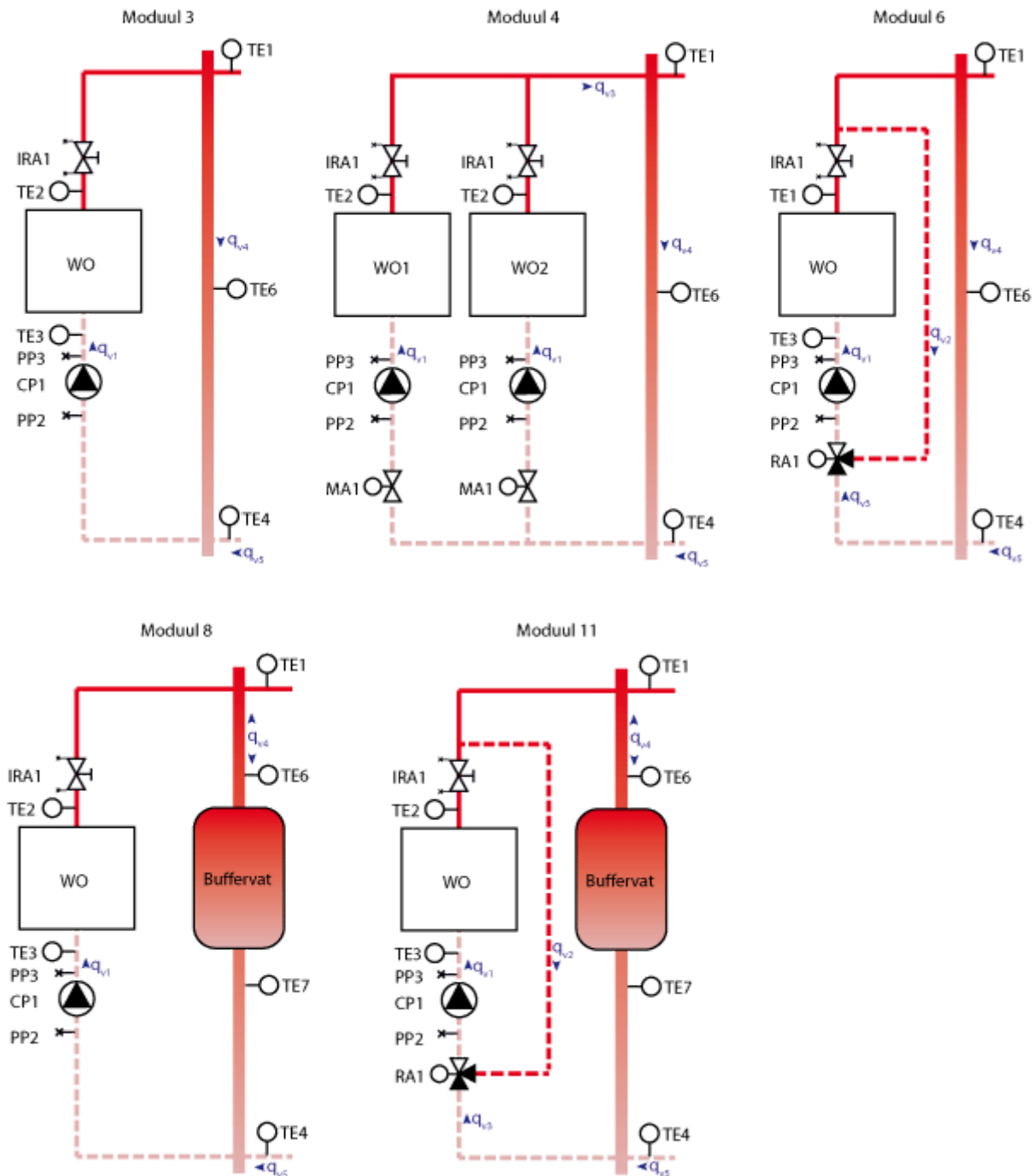
- Totaal benodigd verwarmingsvermogen;
- Thermisch vermogen WKK-unit(s);
- Verwarmingsvermogen eventuele naverwarmers;
- Gewenste CV-aanvoertemperatuur;
- Gewenst temperatuurverschil CV-net.

Aan de hand van voorgaande parameters kunnen de onderdelen van de voorverwarming gedimensioneerd gaan worden.

- Bereken het op te stellen verwarmingsvermogen voor de voorverwarming;
- Bereken de in- en uitredetemperaturen;
- Bepaal hoeveel voorverwarmers er opgesteld gaan worden;
- Bereken de volumestromen over de voorverwarmer(s).

### **3.9.2 Warmteopwekker module**

In ISSO-publicatie 44 [5] zijn 15 warmteopwekker modulen uitgewerkt. Vijf van deze modulen zijn geschikt voor toepassing als voorverwarming in combinatie met een WKK-unit. Dit betreft moduul 3, 4, 6, 8 en 11. Daarnaast kan ook bij de voorverwarming een dubbele moduul 6 opgenomen worden, voor als er meerdere warmteopwekkers met een drieweg regelafsluiter toegepast moeten worden (voor een schema hiervan zie paragraaf 3.8).



De volgende criteria kunnen voor de keuze van een warmteopwrekker moduul gebruikt worden.

- Is de toepassing van een buffervat gewenst? Pas dan moduul 11 toe als de intredetemperatuur hydraulisch beïnvloed moet kunnen worden, pas anders moduul 8 toe. Bij moduul 11 kunnen meerdere warmteopwrekken (WO) parallel geschakeld worden;
- Is er geen buffervat nodig en moet de intredetemperatuur hydraulisch beïnvloed kunnen worden, pas dan moduul 6 toe;
- Voor de overige situaties kan moduul 3 gekozen worden bij 1 warmteopwrekker en moduul 4 voor 2 of meer warmteopwrekken.

### 3.9.3 Gewenste functionaliteit

De gewenste functionaliteit hangt af van de besturingsstrategie die gekozen is:

- Voorverwarmer (bijv. warmtepomp) wordt als eerste warmteopwrekker ingezet;
- WKK-unit wordt als eerste warmteopwrekker (WO) ingezet.

### Voorverwarmer 1e WO

Als er een warmtevraag is en de temperatuur voor de aansluiting van de voorverwarming is voldoende laag, dan kan de voorverwarmer worden vrijgegeven. Ook kan gebruik worden gemaakt van het gewenste verwarmingsvermogen: is die voldoende groot, dan vrijgave voorverwarmer. Als de capaciteit van de voorverwarmer geregeld kan worden, dan kan worden geregeld op de temperatuur in het CV-net direct na de voorverwarmer. De gewenste waarde is gelijk aan de gewenste aanvoertemperatuur van het CV-net.

## **WKK 1e WO**

Voorkomen moet worden dat een voorverwarmer te veel vermogen gaat leveren, waardoor de WKK-unit minder capaciteit gaat leveren of zelfs uit gaat.

Vrijgave en blokkering van de voorverwarmer kan op basis van het gewenste verwarmingsvermogen in het CV-net. Stijgt het benodigde vermogen boven het maximale vermogen van de WKK-unit, dan kan de voorverwarming vrijgegeven worden. Hou hierbij ook rekening met de minimale capaciteit van de voorverwarmer: de voorverwarmer dus niet te vroeg vrijgeven.

De voorverwarmer kan qua capaciteit geregeld worden op de temperatuur in het CV-net na de voorverwarmer. De gewenste waarde dient gecorrigeerd te worden aan de hand van de gemeten en gewenste aanvoertemperatuur in het CV-net. Stijgt de gemeten aanvoertemperatuur boven de gewenste waarde, dan het setpoint voor de voorverwarmer verlagen.

### **3.10 UITWERKING WARMTEAFVOER**

Een warmteafvoerinstallatie wordt opgenomen als het gewenst is om elektriciteit te genereren, terwijl er geen of een te geringe warmtevraag is (bijvoorbeeld tijdens noodstroombedrijf).

De warmte kan bijvoorbeeld afgevoerd worden naar:

- Buitenlucht: droge koeler, koeltoren, retourlucht luchtbehandelingsinstallatie;
- Bodem: WKO-installatie;
- Oppervlaktewater.

Als eerste is de dimensionering van een warmteafvoerinstallatie uitgewerkt. Daarna is aangegeven hoe dit onderdeel in een installatie kan worden opgenomen. Hiervoor is gebruik gemaakt van koudeopwekkermodulen. Daarna zijn warmteafvoerinstallaties in detail uitgetekend. Tenslotte is de gewenste functionaliteit uitgewerkt.

#### **3.10.1 Dimensionering**

Om de warmteafvoerinstallatie te kunnen dimensioneren zijn de volgende gegevens nodig.

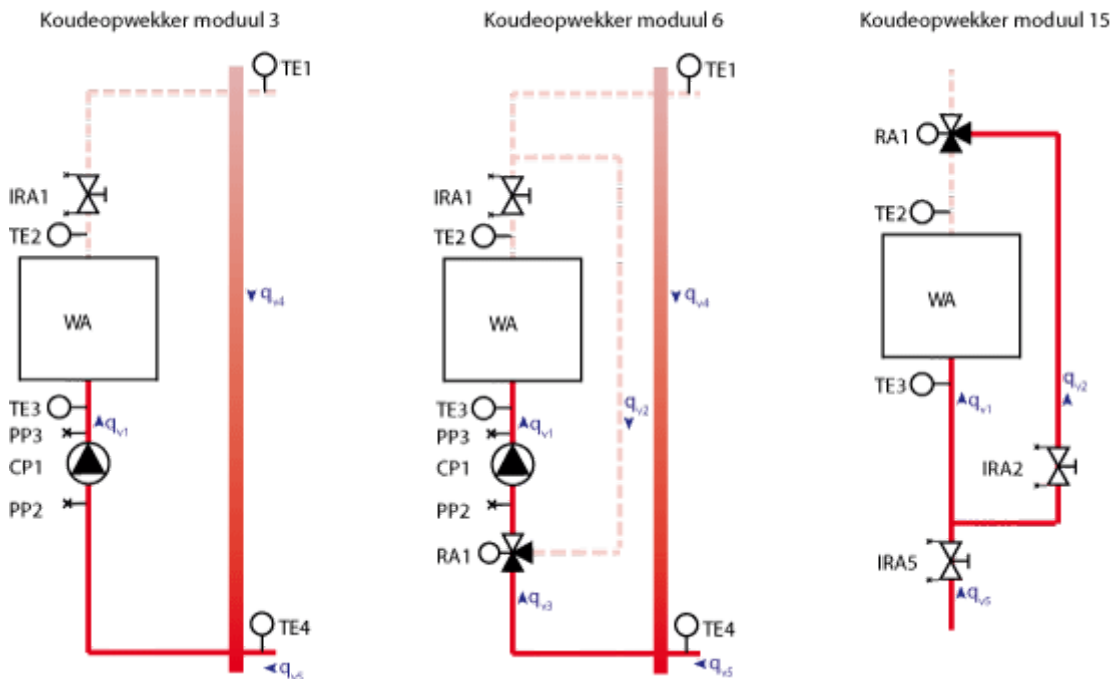
- Af te voeren vermogen aan warmte (vanuit paragraaf 3.6);
- Intredetemperatuur van de warmteafvoerinstallatie;
- Gewenste uittredetemperatuur van de warmteafvoerinstallatie;
- Temperatuurniveau waaraan de warmte afgevoerd gaat worden; bij toepassing van bijvoorbeeld een droge koelerinstallatie is dit de temperatuur van de buitenlucht;
- Toe te passen medium bij het warmteafvoerapparaat.

Aan de hand van voorgaande parameters kunnen de onderdelen van de warmteafvoerinstallatie gedimensioneerd gaan worden.

- Bereken de secundaire volumestroom (CV-net zijdig) door de warmteafvoerinstallatie ( $qv1$ );
- Bepaal het gewenste logaritmische temperatuurverschil over het TSA (indien aanwezig);
- Bereken de primaire temperaturen;
- Bereken de primaire volumestroom door het warmteafvoerapparaat; let erop dat er bij installaties met bijvoorbeeld een droge koeler, een medium met anti-vries nodig is, wat een lagere soortelijke warmte heeft dan water;
- Dimensioneer het warmteafvoerapparaat.

#### **3.10.2 Koudeopwekker module**

De warmteafvoersystemen genereren koude voor de WKK-unit. Daarom worden ze hier beschouwd als koudeopwekkers. In ISSO-publicatie 47 [6] zijn 19 koudeopwekkermodulen beschreven. Drie zijn er geschikt voor toepassing met een warmteafvoersysteem. Dit zijn moduul 3, 6 en 15.



Warmteafvoer systemen kunnen op twee manieren ingezet worden bij een WKK-installatie.

1. Voor het afvoeren van alle opgewekte warmte;
2. Voor het (permanent)afvoeren van warmte van enkele tussencircuits.

Zie voor meer uitleg hierover paragraaf 2.5.

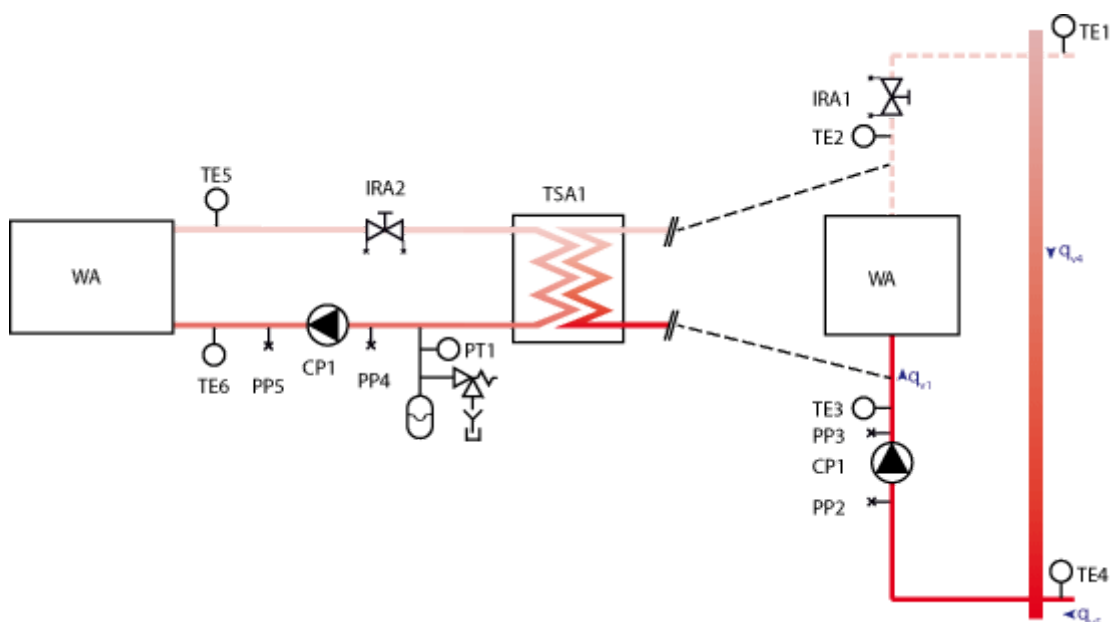
Pas koudeopwrekker moduul 15 toe voor het afvoeren van warmte van een of meerdere tussencircuits.

Koudeopwrekkermoduul 3 en 6 kunnen gebruikt worden voor het afvoeren van alle opgewekte warmte.

Gebruik koudeopwrekkermoduul 6 als er een geringe hoeveelheid warmte afgevoerd moet kunnen worden. Pas deze moduul ook toe als het warmteafvoersysteem onder verschillende condities warmte moet afvoeren. Als voorbeeld kan een droge koeler genoemd worden. Als deze unit bij zowel een buitentemperatuur van 10 °C als 32 °C warmte moet afvoeren, gebruik dan dus moduul 6. Pas moduul 3 toe in de overige situaties.

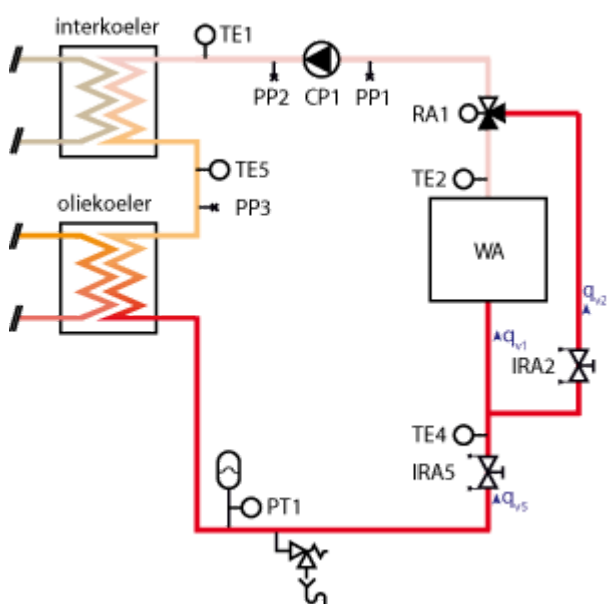
### 3.10.3 Proces- en instrumentatieschema

In afbeelding 3.15 is een voorbeeld gegeven van een proces- en instrumentatieschema van een warmteafvoerinstallatie. Aan de rechterzijde van afbeelding 3.15 is als voorbeeld koudeopwrekker-module 3 opgenomen. De warmteafvoer installatie (WA) kan bijvoorbeeld een droge koeler, koeltoren of WKO-systeem zijn.



Afb. 3.15 Proces- en instrumentatieschema warmteafvoer installatie, geschikt voor afvoer van alle opgewekte warmte

De details van de inpassing van koudeopwekkermoduul 15 in het schema van de WKK is in afbeelding 3.16 uitgewerkt. Aan de rechterzijde in afbeelding 3.16 is moduul 15 opgenomen. Aan de linkerzijde zijn twee TSA's van tussencircuits van de WKK-unit opgenomen.



Afb. 3.16 Proces- en instrumentatieschema warmteafvoerinstallatie toegepast bij tussen circuits van een WKK-unit (als autoriteit  $RA1 > 0,6$ , dan kan IRA2 vervallen)

Aandachtspunt in het schema van afbeelding 3.16 is de toepassing van pomp CP1. Deze zorgt voor een constante volumestroom ( $qv5$ ) over de afnemers. In combinatie met RA1 zorgt deze pomp CP1 voor een variabele volumestroom over de warmteafvoerinstallatie (WA).

#### 3.10.4 Gewenste functionaliteit

De warmteafvoerinstallatie voor tussen-circuits is altijd in bedrijf als de WKK-unit aan is. De installatie heeft tot doel om de temperatuur richting de warmtewisselaars van de WKK-unit (TE5 in afbeelding 3.16) op een constante waarde te houden. Dit kan door middel van driewegregelklep RA1 (zie afbeelding 3.16). Ook worden hier meestal de ventilatoren voor ingezet. Deze kunnen afzonderlijk of per groep aan/uit geschakeld worden. Een andere mogelijkheid is het toepassen van een frequentieregelaar voor de ventilatoren.

De warmteafvoerinstallatie waarbij alle warmte wordt afgevoerd komt in bedrijf als de watertemperatuur richting de WKK boven de gewenste waarde uit komt. Bij koudeopwekkermoduul 6 kan de temperatuur met behulp van RA1 geregeld worden. Ook bij deze



modulen (nummer 3 en 6) wordt gebruik gemaakt van de schakel- en regelmogelijkheden van de ventilatoren, zoals hiervoor is omschreven.

### **3.11 UITWERKING WARMTEGEDREVEN KOELPROCES**

Een warmtegedreven koelproces zorgt ervoor dat een WKK-unit meer draaiuren per jaar kan maken dan voor bijvoorbeeld alleen ruimteverwarming.

Bij een warmtegedreven koelproces kan gedacht worden aan:

- Absorptiekoelmachine;
- DEC-systeem (dit is een luchtbehandelingssysteem dat gebruik maakt van warmte om de ventilatielucht te koelen).

Als eerste is de dimensionering van een warmtegedreven koelproces uitgewerkt. Daarna is aangegeven hoe dit onderdeel in een installatie kan worden opgenomen. Hiervoor is gebruik gemaakt van warmtegebruikermodulen. Tenslotte is de gewenste functionaliteit uitgewerkt.

#### **3.11.1 Dimensionering**

De dimensionering van het warmtegedreven koelproces kan op de hierna volgende punten gebaseerd zijn.

- Het koelproces kan gedimensioneerd worden op het maximale thermische vermogen van de WKK-unit;
- Het koelproces kan gedimensioneerd worden op een gedeelte van het maximale thermische vermogen van de WKK-unit.

Economisch gezien is het over het algemeen niet aantrekkelijk om een warmtegedreven koelproces met (een gedeelte van) de warmte van bijvoorbeeld ketels te voeden. Daarom wordt er in deze publicatie van uitgegaan dat de WKK-unit alle benodigde warmte levert.

De hierna volgende gegevens zijn nodig.

- Thermisch vermogen WKK-unit (vanuit paragraaf 3.6);
- Maximale temperatuur vanuit de WKK (vanuit paragraaf 3.6);
- Ontwerp temperatuurverschil WKK-unit (vanuit paragraaf 3.6);
- Benodigd verwarmingsvermogen voor het warmtegedreven koelproces (vanuit paragraaf 3.4);
- Gewenste CV-aanvoertemperatuur warmtegedreven koelproces;
- Gewenst temperatuurverschil CV-net warmtegedreven koelproces.

Aan de hand van de voorgaande parameters kunnen de onderdelen van het warmtegedreven koelproces worden gedimensioneerd.

- Stem het benodigde vermogen (koelproces) af op het beschikbare verwarmingsvermogen (WKK-unit);
- Stem het temperatuurniveau van de aanvoertemperatuur van het warmtegedreven koelproces af op de temperatuur die de WKK-unit kan realiseren;
- Stem het temperatuurverschil van het warmtegedreven koelproces af op het vereiste temperatuurverschil van de WKK-unit; het temperatuurverschil van het warmtegedreven koelproces moet groter dan of gelijk zijn aan die van de WKK-unit;
- Bereken de volumestromen;
- Controleer aan de hand van het benodigde vermogen voor het warmtegedreven koelproces of de WKK-unit niet te veel starts gaat maken; pas een buffervat toe of vergroot de capaciteit van het vat (paragraaf 3.7).

#### **3.11.2 Warmtegebruikermodule**

De warmtegebruikermodulen die toegepast mogen worden voor een warmtegedreven koelproces zijn beschreven in paragraaf 3.5. Het betreft moduul 3 en 5 tot en met 8. De modulen zijn daarom hier niet nogmaals opgenomen.

#### **3.11.3 Gewenste functionaliteit**

Bij de bedrijfsvoering is het meestal van belang dat een warmtegedreven koelproces niet gevoed wordt met (een gedeelte van) de warmte van bijvoorbeeld ketels. Er kunnen echter wel situaties

zijn waarin dit tijdelijk gewenst is. Dit kan zijn tijdens een onderhoudsbeurt of een storing aan de WKK-unit.

De warmtetoevoer wordt geregeld door middel van de gekozen warmtegebruikermodule. De regeling van de hoeveelheid warmte hangt af van de situatie aan de kant van het koelproces. Meestal regelt de koudeopwrekker zelf de warmtetoevoer. De installatie met WKK-unit behoeft alleen het gewenste verwarmingsvermogen en CV-aanvoertemperatuur te realiseren.

### 3.12 HYDRAULISCHE INPASSING OPWEKKING, DISTRIBUTIE EN AFGIFTE

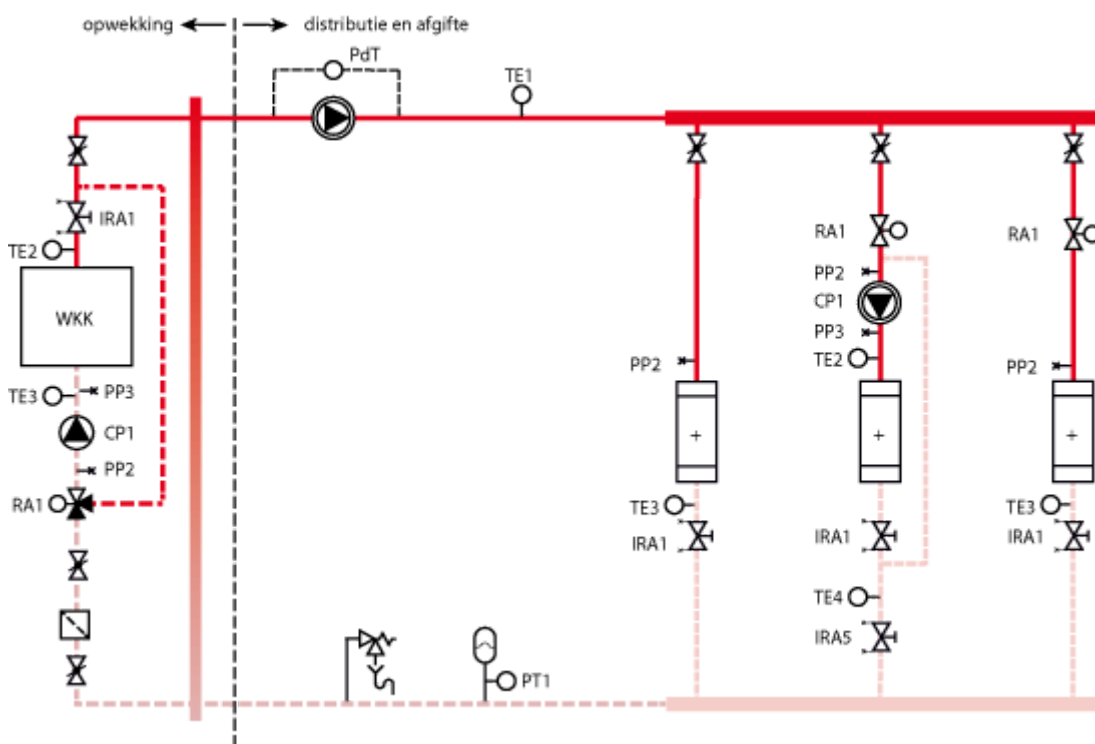
In deze paragraaf zijn de opwekkings-, distributie- en afgiftesystemen met elkaar gecombineerd. Hierdoor wordt inzicht gegeven in de combinaties die hydraulisch gezien, toegepast mogen worden. Er is onderscheid gemaakt in drie verschillende manieren van het koppelen van de modules.

1. Installatie met een actief distributienet;
2. Installatie met een passief distributienet;
3. Installatie met zowel een actief als een passief distributienet.

De keuze voor een van deze varianten hangt af van de gekozen warmtegebruikermodule (paragraaf 3.5). Daarnaast kan de afstand tussen de warmteopwekking en warmtegebruiker module en de afstand tussen de warmtegebruikermodule zelf bepalend zijn de voor keuze. Hierna zijn deze varianten nader uitgewerkt.

#### 3.12.1 Actief distributienet

Bij een installatie met een actief distributienet zorgt een of meerdere 'hoofd' pompen ervoor dat het water vanaf de opwekkers naar de afnemers, te weten de warmtegebruiker module, getransporteerd wordt. In afbeelding 3.17 is het schema gegeven van een installatie met een actief distributienet.

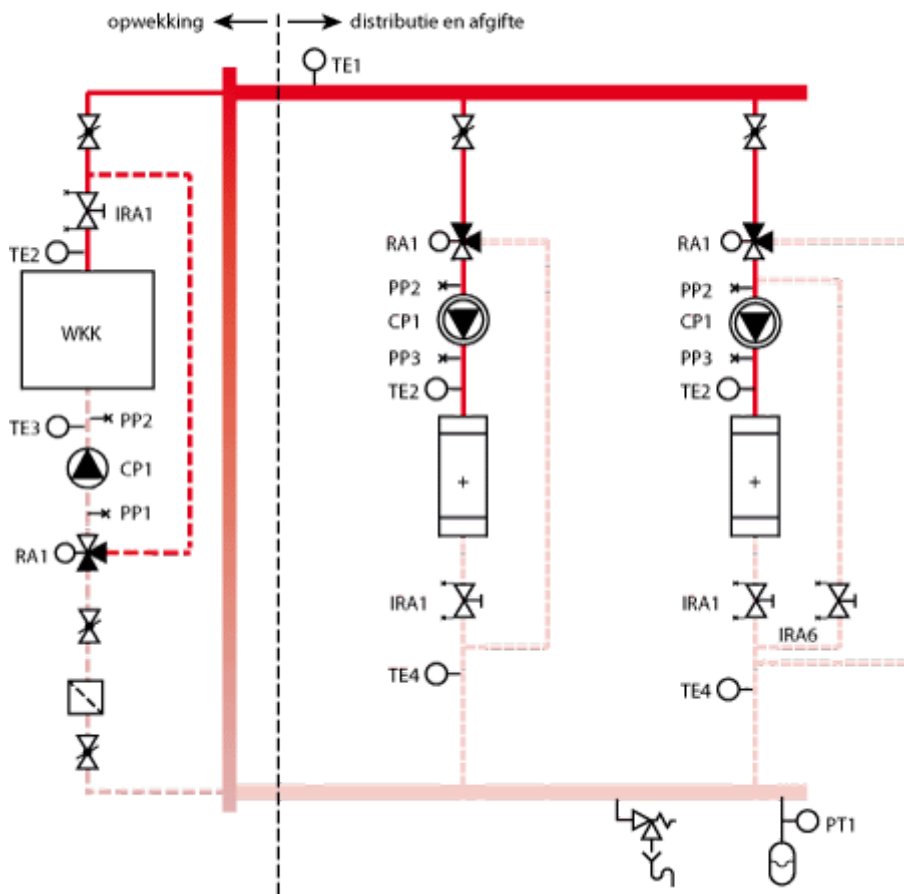


Afb. 3.17 Verwarmingsinstallatie met een actief distributienet; warmtegebruiker moduul 3, 5 en 6 mogen hierbij toegepast worden

Bij dit actieve distributienet mogen de warmtegebruikermodule 3, 5 en 6 toegepast worden. Als voorbeeld is aan de linkerzijde warmteopwekkermodule nummer 6 toegepast.

#### 3.12.2 Passief distributienet

Bij een passief distributienet zorgen de warmtegebruikermodule zelf voor het transport van water vanaf de warmteopwekker naar de warmtewisselaars. In afbeelding 3.18 is het schema gegeven van een installatie met een passief distributienet.

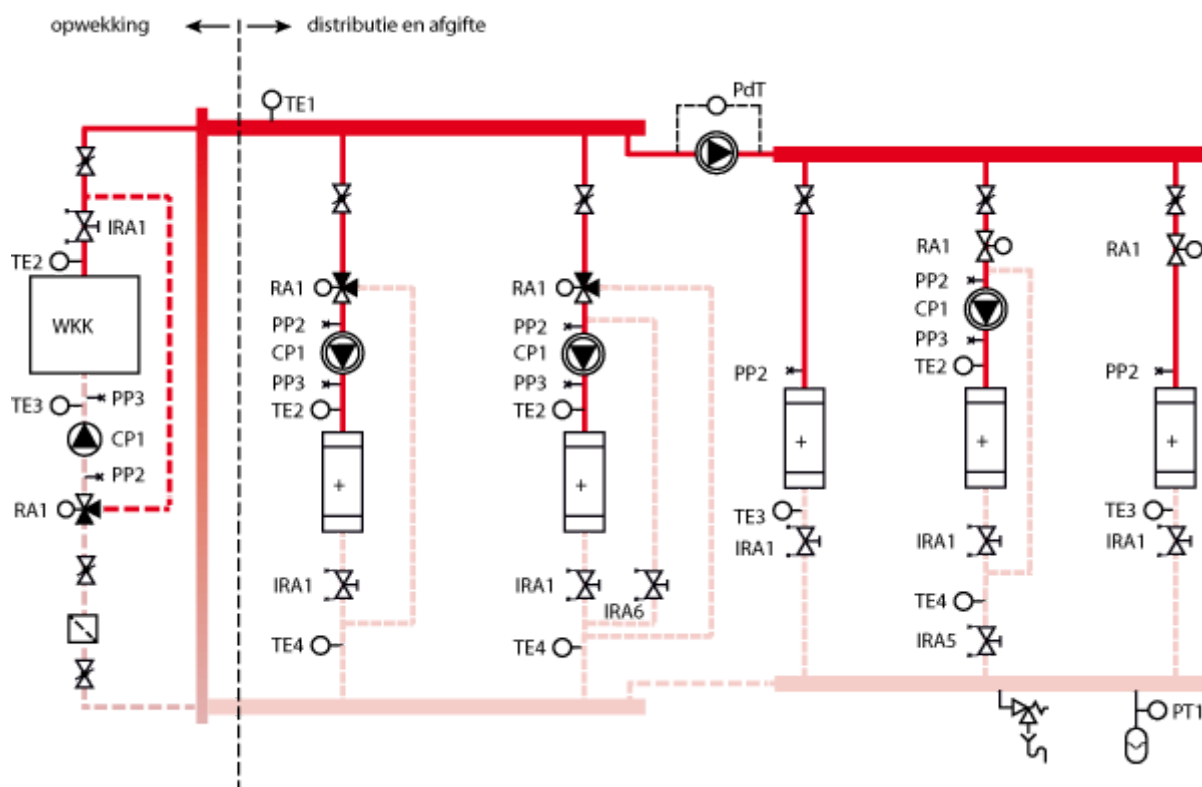


Afb. 3.18 Verwarmingsinstallatie met een passief distributienet; warmtegebruiker moduul 7 en 8 mogen hierbij toegepast worden

Bij dit passieve distributienet mogen de warmtegebruikermodule 7 en 8 toegepast worden. Als voorbeeld is aan de linkerzijde warmteopwekkermodule nummer 6 toegepast.

### 3.12.3 Zowel actief als passief distributienet

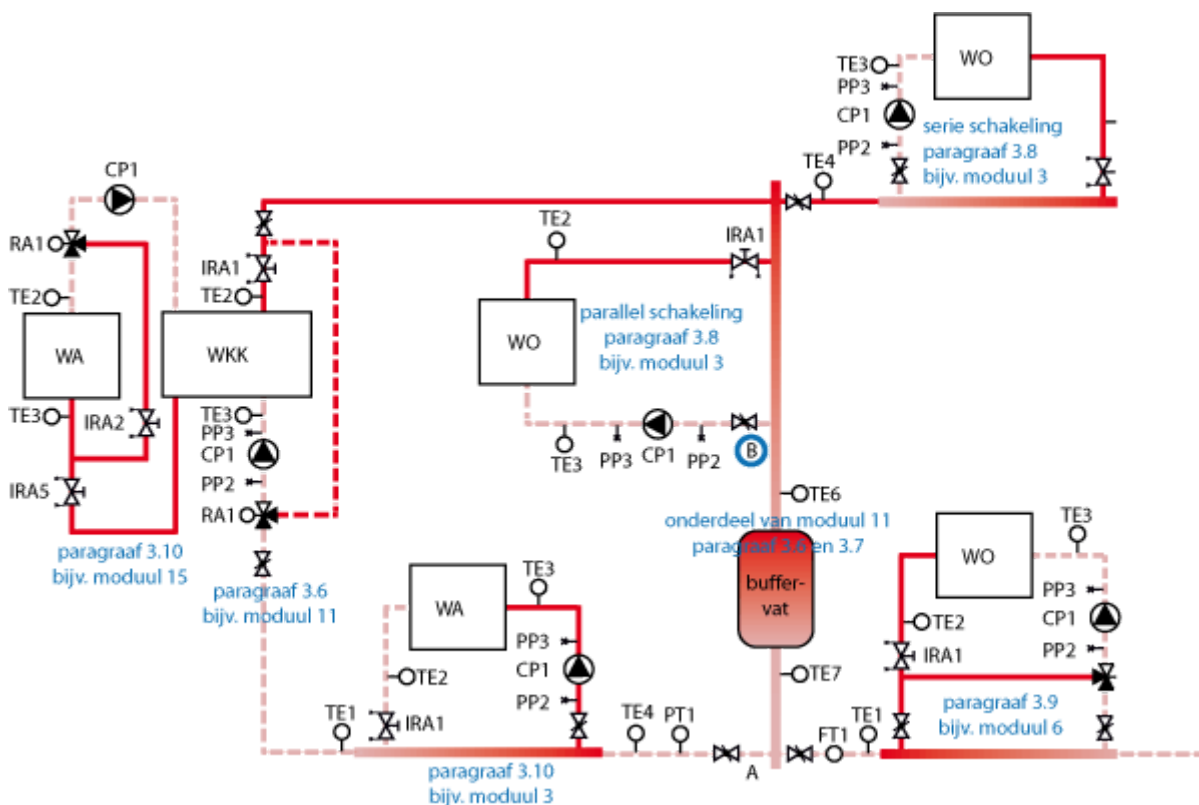
Het is ook mogelijk om de beide type distributienetten te combineren in een installatie. In afbeelding 3.19 is hier een voorbeeld van gegeven. Al de toe te passen warmtegebruikermodule zijn hier weergegeven. Het is geen noodzaak om ze allemaal op te nemen. De ontwerper is vrij om een of meerdere module te kiezen.



Afb. 3.19 Verwarmingsinstallatie met een gecombineerd passief en actief distributienet

### 3.13 HYDRAULISCHE INPASSING OPWEKKINGSINSTALLATIE

In deze paragraaf wordt inzicht gegeven in de mogelijkheden om de warmteopwekkingsinstallatie hydraulisch gezien correct op te bouwen. De opbouw is in afbeelding 3.20 weergegeven.



Afb. 3.20 Proces- en instrumentatieschema opwekkingsinstallatie met WKK en alle mogelijke toevoegingen

In de hier voorgaande paragrafen zijn diverse modules beschreven die toegepast kunnen worden. De gebruikte modules in afbeelding 3.20 zijn willekeurig gekozen uit de hier voorgaande

paragrafen. Iedere getoonde module mag dus worden vervangen voor een andere omschreven module.

De hydraulische aansluiting (B) van de naverwarming die parallel over het buffervat geschakeld is, is bewust boven de aansluiting van de WKK-unit gezet (A). Hierdoor zal de WKK-unit altijd als eerste het retourwater vanuit het CV-net krijgen. Hiermee kan voor een deel worden voorkomen dat de parallel geschakelde naverwarmer te veel verwarmingsvermogen levert, waardoor de WKK-unit minder vermogen kan leveren of zelfs uitgeschakeld wordt.

Daarnaast kan met deze opbouw grotendeels voorkomen worden dat de warmteafvoerinstallatie (WA) ook warmte van de parallel geschakelde naverwarming af gaat voeren.



## 4 UITWERKINGSFASE

### 4.1 INLEIDING

In de uitwerkingsfase wordt het werk omschreven en worden definitieve keuzes gemaakt voor de toe te passen materialen en fabricaten. De input en output van de uitwerkingsfase is in afbeelding 4.1 gevisualiseerd.



Afb. 4.1 In- en output van de uitwerkingsfase

Bij de uitwerking van de gewenste functionaliteit en bij de keuze van materialen/fabrikaten kan het zijn dat er wijzigingen optreden. Er kunnen bijvoorbeeld meer componenten nodig zijn voor de automatiseringsinstallatie. In die gevallen moeten de documenten uit de ontwerpfase bijgewerkt worden, zoals de proces- en instrumentatieschema's. Dit is in afbeelding 4.1 als 'terugkoppeling' gevisualiseerd.

Het resultaat van de uitwerkingsfase is een werkschrijving. Hiervoor moeten de stappen worden doorlopen die in tabel 4.1 zijn weergegeven.

Tabel 4.1 Stappen die in uitwerkingsfase doorlopen moeten worden

	Nr.	Actie	Paragraaf
	1	Werk de gewenste functionaliteit uit	4.2
	2	Maak een keuze voor de toe te passen materialen en fabricaten	4.3
	3	Maak de werkbescheiden	4.4

### 4.2 UITWERKING FUNCTIONEEL ONTWERP

In deze paragraaf is voor een warmte opwekkingsinstallatie met WKK de functionaliteit uitgewerkt. Het betreft een voorbeeld, waarbij alle componenten toegepast zijn. Voor de opzet in hoofdlijnen is gebruik gemaakt van ISSO-publicatie 69 [13].

Om de gewenste functionaliteit goed uit te kunnen werken zijn minimaal de hierna volgende gegevens nodig:

- Functionele omschrijving op hoofdniveau (paragraaf 4.2.1);
- Processchema's, waarbij (eventueel) verschillende situaties in kleur uitgetekend worden (paragraaf 4.2.2);
- Proces- en instrumentatieschema met componentenlijst (paragraaf 4.2.3);
- Kenmerken van de toe te passen componenten. Het gaat hier onder andere om deellast gegevens: wat is bijvoorbeeld het minimale verwarmingsvermogen van een WKK-unit/naverwarmer/voorverwarmer? Aan de hand van deze gegevens kunnen onder andere de schakelwaarden berekend worden (paragraaf 4.2.3);
- Locatie van de componenten: plattegronden met daarin de installaties ingetekend. Als er bijvoorbeeld lange leidinglengten aanwezig zijn, dan moet hier bij de uitwerking van de functionaliteit rekening mee worden gehouden.

Op basis van de voornoemde gegevens is vanaf paragraaf 4.2.4 voor de verschillende onderdelen de functionele werking in detail uitgewerkt. Deze opzet is uitgewerkt volgens een object geïntende aanpak. Dit houdt het volgende in:

#### Kenmerken object geïntende aanpak

Alle kenmerken die object geïntende aanpak worden zijn op 1 plaats beschreven, en niet op verschillende plaatsen onder verschillende bedrijfssituaties;

- Situaties in de installatie zijn eenmalig gedefinieerd, waarna deze voor alle schakelacties te gebruiken zijn. Voorwaarden, bijvoorbeeld: 'de aanvoertemperatuur moet meer dan 4K afwijken' zijn dus maar op 1 plaats beschreven en worden niet steeds herhaald in het document;
- Storingssituaties en dergelijke behoeven niet bij ieder component opgenomen te worden: door dit centraal op te nemen, gelden deze situaties ook voor de daarachterliggende componenten.

#### Voordeel van objectgeoriënteerde aanpak

- Doordat de installatiegegevens met deze aanpak direct de software engineeren en behoeft niet eerst een vertaalslag te maken;
- Tijdens het inbedrijfstellen en testen van de software kan ieder onderdeel afzonderlijk getest en geaccordeerd worden;
- Tijdens de beheerfase kunnen optimalisaties eenvoudig worden doorgevoerd. Doordat alle voorwaarden en componenten maar op één plaats zijn beschreven kan er gericht gewerkt worden. Doordat tevens de componenten weer gekoppeld zijn aan de gezamenlijke voorwaarden behoeft er maar één voorwaarde aangepast te worden, en behoeft dit niet voor al de achterliggende componenten te gebeuren;
- Bij uitbreidingen/aanpassingen in de installatie behoeft de software niet opnieuw opgezet te worden. De wijzigingen kunnen zeer eenvoudig toegevoegd worden, zonder dat er veel software aangepast behoeft te worden.

Voor (het vaststellen van) de kenmerken van de te regelen processen wordt verwezen naar ISSO-publicatie 94 [18]. Voor het verkrijgen van inzicht in de werking op hoofdniveau kan gebruik worden gemaakt van de informatie die bij de afzonderlijke componenten is vastgesteld. Zie hiervoor paragraaf 3.6.5, paragraaf 3.7.3 enzovoorts.

#### 4.2.1 Functionele omschrijving op hoofdniveau

De functionele omschrijving op hoofdniveau betreft een omschrijving op conceptniveau, zonder dat er in wordt gegaan op technische details. Het is verstandig om hierbij gebruik te maken van een tabel voor de weergave van de bedrijfssituaties die normaal gesproken in de installatie voorkomen.

Tabel 4.2 Voorbeeld bedrijfssituaties met status componenten

Groep	Component	Bedrijfssituaties				
		Geen warmte levering	WKK verwarmen	Voorverwarmer verwarmen	Naverwarmers verwarmen <sup>1)</sup>	Noodstroombedrijf
1	WKK-unit	Uit	Uit/aan	Aan/uit	Aan/uit	Aan
2, 3	Naverwarming	Uit	Uit	Uit	Aan	Uit/aan
4	Voorverwarming	Uit	Uit	Aan	Aan/uit	Uit
5	Warmteafvoer	Uit	Uit	Uit	Uit	Uit/aan
6	Warmteafvoer tussen circuits	Uit	Uit/aan	Aan/uit	Aan/uit	Aan
1) In dit voorbeeld is ervan uitgegaan dat de WKK-unit (met buffervat) ook actief is bij een geringe warmtevraag. De bedrijfssituatie 'Naverwarmers verwarmen' kan echter ook gebruikt worden voor situaties waarbij de naverwarmers (veelal ketels) voorzien in de geringe warmtevraag. In de hierna volgende uitwerkingen wordt dat nog nader aangegeven.						

Toelichting op de bedrijfssituaties (voorbeeld):

- **Geen warmtelevering.** Alle componenten staan in deze situatie uit;
- **WKK verwarmen.** De WKK-unit levert warmte. Als deze uit staat, dan wordt de benodigde warmte vanuit het buffervat geleverd. De warmte van het intercooler en oliekoelercircuit wordt via het tussencircuit (droge koelersysteem) afgevoerd;
- **Voorverwarmer verwarmen/Naverwarmers verwarmen.** Hierbij komen de voor- en naverwarmers in om de benodigde warmte te leveren;
- **Noodstroombedrijf.** Om de stroomopname van de opwekkinginstallatie te beperken wordt de voorverwarmer (warmtepomp) tijdens noodstroombedrijf niet ingezet. De warmteafvoerinstallatie (droge koelersysteem) gaat alleen aan als er een te geringe warmtevraag is.



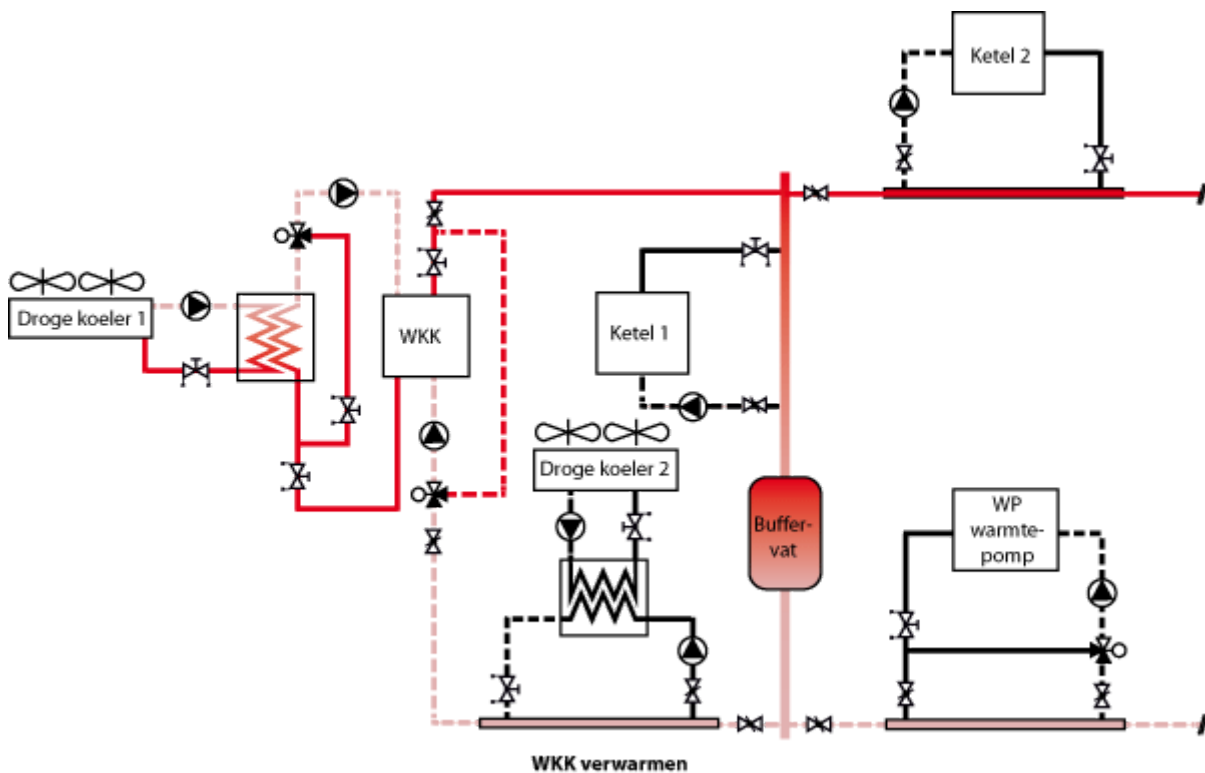
Wat nog niet wordt weergegeven zijn situaties waarbij storingen of onderhoudssituaties optreden. Het komt de overzichtelijkheid niet ten goede als in dit stadium hierop wordt ingegaan, omdat er zeer veel verschillende situaties kunnen ontstaan. Het betreft hier dus een weergave van situaties die normaal gesproken zullen optreden. Uit tabel 4.2 blijkt ook al dat, gezien het aantal bedrijfssituaties, vier principeschema's gemaakt kunnen gaan worden ter verduidelijking van de werking van de installatie (zie hiervoor paragraaf 4.2.2).

#### 4.2.2 Processchema's met bedrijfssituaties en ontwerpwaarden

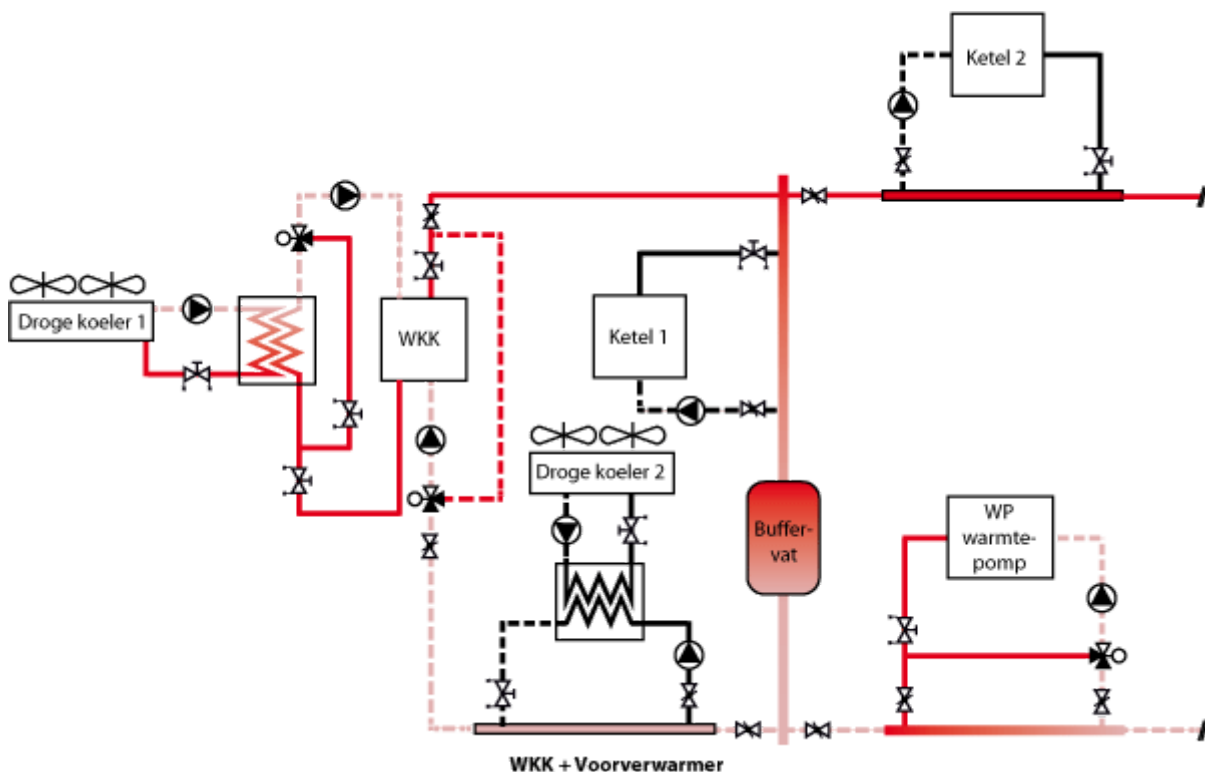
In deze paragraaf zijn voorbeeldschema's opgenomen die de werking van de installatie in verschillende bedrijfssituaties laten zien. De bedrijfssituaties komen overeen met die uit tabel 4.2. Opgemerkt moet worden dat de combinatie van Ketel 1 en Ketel 2 in de praktijk niet zal voorkomen. Afhankelijk van het temperatuurverschil in het CV-net zal een van beide opties gekozen worden: parallel schakeling (Ketel 1) of serie schakeling (Ketel 2), zie hiervoor paragraaf 3.8.

Om een zo compleet mogelijk beeld te geven zijn beide mogelijkheden hier wel uitgewerkt:

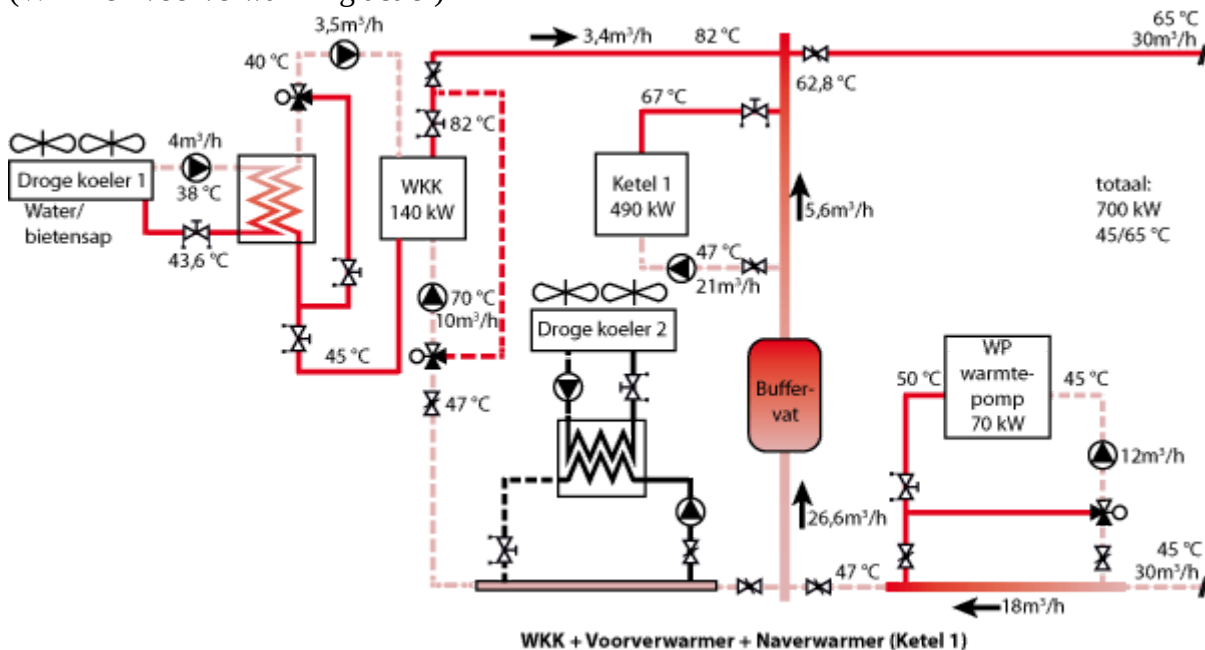
- In afbeelding 4.4 is de bedrijfssituatie 'Naverwarmers verwarmen' gevisualiseerd, waarin Ketel 1 met de ontwerpwaarden is opgenomen;
- Ketel 2 met de ontwerpwaarden is in afbeelding 4.5 in combinatie met de bedrijfssituatie 'Naverwarmers verwarmen' gevisualiseerd;
- De ontwerpwaarden van droge koeler 2 zijn in afbeelding 4.6 gevisualiseerd.



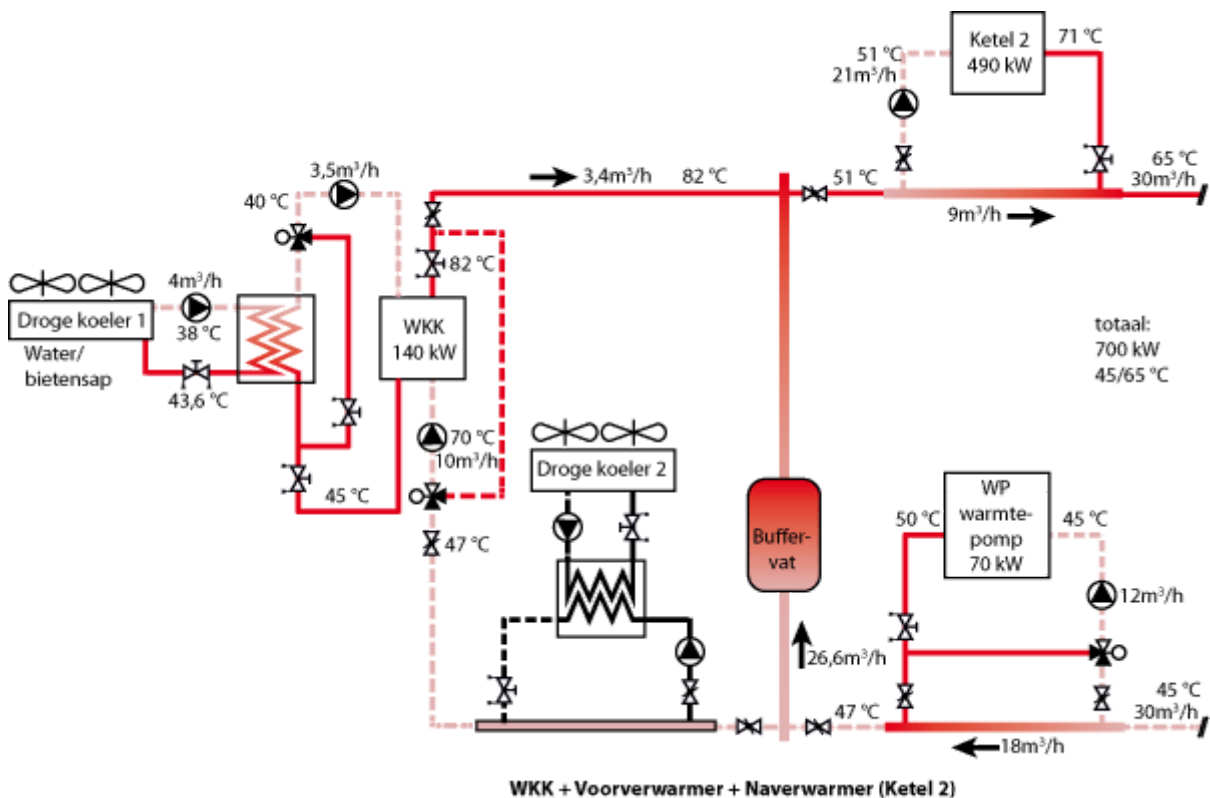
Afb. 4.2 Processchema waarin de bedrijfssituatie 'WKK verwarmen' is gevisualiseerd (WKK actief)



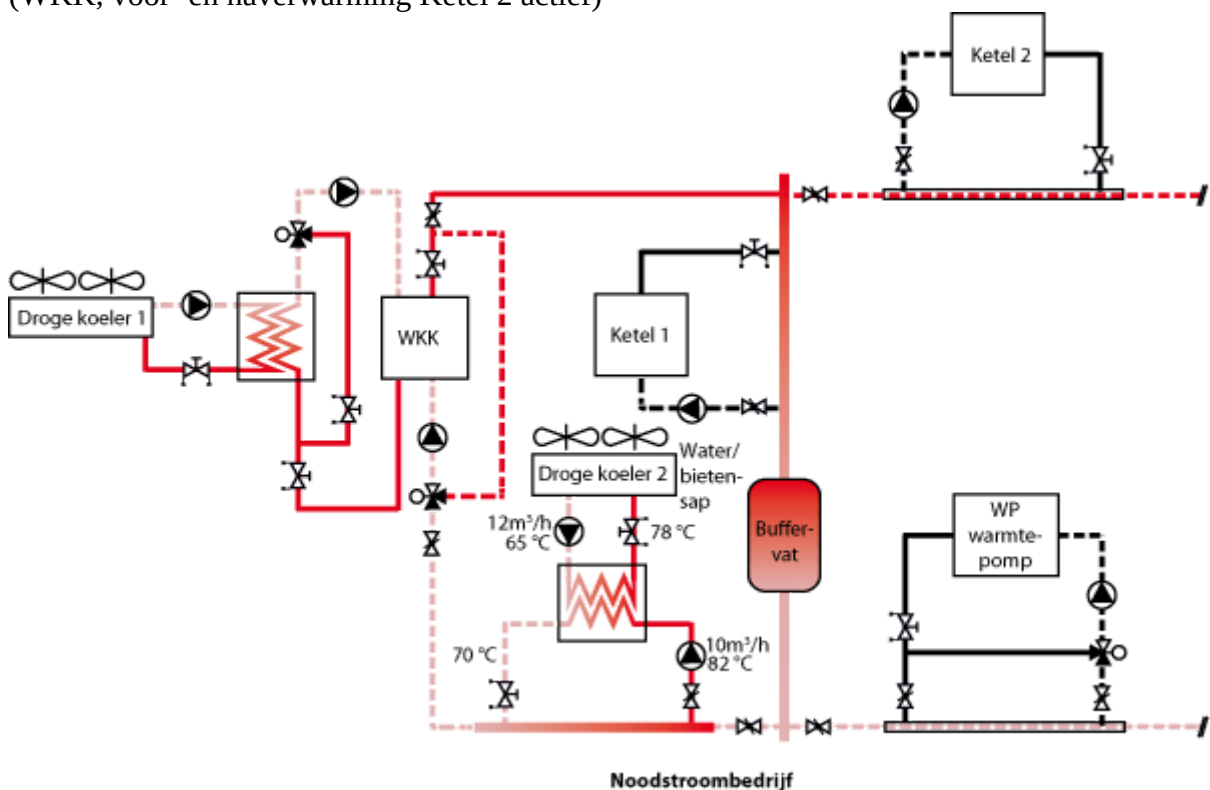
Afb. 4.3 Processchema waarin de bedrijfssituatie 'Voorverwarmer verwarmen' is gevisualiseerd (WKK en voorverwarming actief)



Afb. 4.4 Processchema waarin de bedrijfssituatie 'Naverwarmers verwarmen' is gevisualiseerd (WKK, voor- en naverwarming Ketel 1 actief)



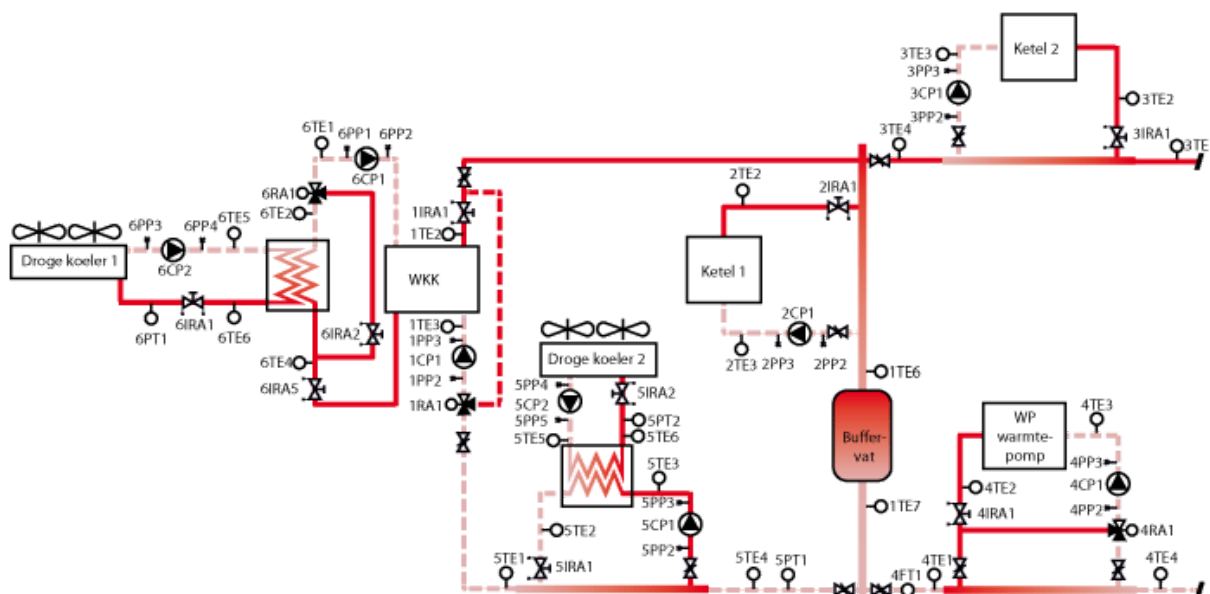
Afb. 4.5 Processchema waarin de bedrijfssituatie 'Naverwarmers verwarmen' is gevisualiseerd (WKK, voor- en naverwarming Ketel 2 actief)



Afb. 4.6 Processchema waarin het noodstroombedrijf is gevisualiseerd (WKK en droge koeler 2 actief)

#### 4.2.3 Proces- en instrumentatieschema met componenten lijst

In afbeelding 4.7 is het proces- en instrumentatieschema van de complete installatie weergegeven. De instrumentatie in dit schema dient mede opgesteld te worden op basis van de eisen en afspraken uit de Programma- en Ontwerpfase.



Afb. 4.7 Proces- en instrumentatieschema installatie met WKK-unit

Bij de toegepaste coderingen van afbeelding 4.7 moet nog opgemerkt worden dat hierbij de standaard systematiek van het nummeren van ISSO-modulen is toegepast. Hierdoor lijkt de nummering soms niet compleet. Zo is bij groep 4, 'warmtepomp' (rechts onderin afbeelding 4.7) geen druk proefaansluitpunt met code 4PP1 opgenomen, terwijl 4PP2 wel is opgenomen. Zie hiervoor ook de Symbolenlijst. Het is aan de ontwerper om een keuze te maken voor de (volgorde van de) nummering.

Een overzicht met (een gedeelte van) de toe te passen componenten is in tabel 4.3 weergegeven. Bij de 'Aanvullende informatie' kunnen de ontwerp- en selectiegegevens van de componenten opgenomen worden. Houd bij het opstellen van het overzicht ook rekening met aanvullende voorzieningen voor monitoring en het kunnen voldoen aan gestelde prestatie-eisen, zie bijvoorbeeld component 1EL1 en 1GA1 in tabel 4.3.

Tabel 4.3 Componenten lijst

Component	Fabricaat/type	DI	DO	AI	AO	Aanvullende informatie
Groep 1	1CP1	.... /XPT-31-12-15	2	1		10 m <sup>3</sup> /h; 8m; PN6; 230V; 0,58 kW
	1IRA1	.... /... DN65				-
	1PP2	.... /...				-
	1PP3	.... /...				-
	1TE2	.... /...			1	0 - 120 °C; +/- 1K
	1TE3	.... /...			1	0 - 120 °C; +/- 1K
	1TE6	.... /...			1	0 - 120 °C; +/- 1K
	1TE7	.... /...			1	0 - 120 °C; +/- 1K
	1RA1	.... /...			1	1 kvs 25; PN6; looptijd < 60 sec.
	WKK	.... /...	5	1		109 kW <sub>el</sub> ; 400V; 140 kW <sub>th</sub> . (CV-circuit)
	1EL1	.... /...	1			elektra meter: 1 puls = 1 kWh; klasse 2
	1GA1	.... /...	1			gasmeter: 1 puls = 0,1 m <sup>3</sup>
	Buffer	.... /...				2,7 m <sup>3</sup> ; gelaagd
Groep 2	2CP1	.... /...	2	1		21 m <sup>3</sup> /h; 4,5m; PN6; 230V; 0,73 kW
	2IRA1	.... /... DN80				-
	2PP2	.... /...				-
	Etc.					

Bij procesengineering wordt het installatieconcept, het werktuigbouwkundig ontwerp en de automatische werking van de installatie uitgewerkt en vastgelegd in het functioneel ontwerp. Dit laatste onderdeel, het vastleggen van de uitgangspunten door een werktuigbouwkundig ontwerper, is een belangrijk onderdeel voor de automatiseringsdeskundige. Zo zijn bijvoorbeeld in tabel 4.3 enkele specificaties van de drieweg regelafsluiter 1RA1 vastgelegd. Aan de hand van deze gegevens, de overige ontwerpdocumenten en met behulp van [18] kan de automatiseringsdeskundige een selectie maken van de juiste klep met bijbehorende motor.

#### **4.2.4 Bedrijfssituaties**

De bedrijfssituaties worden voor meerdere onderdelen van de installatie gebruikt. Hierna is uitgewerkt hoe deze situaties opgebouwd kunnen worden. De gebruikte coderingen van de componenten zijn in afbeelding 4.7 terug te vinden.

De vet gemaakte kopjes, die een status of een uitkomst van een berekening betreffen, kunnen in de beeldplaatjes van een automatiseringssysteem gevisualiseerd worden.

#### **Warmtevraag**

Aan: Klepstand van een van de afnemers > 20%, different 15%, afvalvertraging 5 minuten.

#### **Gewenst verwarmingsvermogen (berekening)**

Aan: Warmtevraag.

Berekening: (Gewenste aanvoertemperatuur CV-net [ $^{\circ}\text{C}$ ] - gemeten retourtemperatuur (4TE4) [ $^{\circ}\text{C}$ ]) x 1,16 x volumestroom CV-net (4FT1) [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

Opmerking: Bij geen vrijgave is de uitkomst 0.

#### **Gewenste aanvoertemperatuur CV-net**

Deze bedraagt altijd  $65^{\circ}\text{C}$  (vanwege de aanwezigheid van warmtapwaterbereiding).

#### **Druk vooralarm CV-net**

Aan: Druk in CV-net (5PT1) < 1,2 bar, differentie 0,4 bar, gedurende 5 sec.

#### **Drukalarm CV-net**

Aan: Druk in CV-net (5PT1) < 0,6 bar, differentie 0,4 bar, gedurende 5 sec.

#### **Warmte leveren**

Aan:

- Warmtevraag;
- En geen Drukalarm CV-net.

#### **WKK verwarmen (WKK-unit komt in om warmte te gaan leveren)**

Aan:

- Warmte leveren;
- En Gewenst verwarmingsvermogen > 175 kW, gedurende 1 minuut (dit vermogen dient afgestemd te worden op het thermische vermogen van de WKK-unit en de gewenste afwijking van de aanvoertemperatuur in het CV-net, waarna de unit vrijgegeven wordt);
- En temperatuur bovenin het CV-buffervat (1TE6) < Gewenste aanvoertemperatuur CV-net -3K (het buffervat is 'leeg');
- En Geen Storing/onderhoud WKK-installatie.

Uit:

- Geen Warmte leveren;
- Of Storing/onderhoud WKK-installatie;
- Of temperatuur onder het CV-buffervat (1TE7) > Gewenste aanvoertemperatuur CV-net +3K (het buffervat is volledig met warmte gevuld).

#### **Voorverwarmer verwarmen (voorverwarmer komt in om warmte te gaan leveren)**

Aan:

- Warmte leveren;
- En:
  - Gewenst verwarmingsvermogen > 245 kW, different 70 kW, opkom/afvalvertraging 5/2 minuten (dit vermogen dient afgestemd te worden op het thermische vermogen van de WKK-unit + voorverwarmer en de gewenste afwijking van de aanvoertemperatuur in het CV-net, waarna de voorverwarmer vrijgegeven wordt).
- Of:
  - Storing/onderhoud WKK-installatie;
  - En Gewenst verwarmingsvermogen > 100 kW, different 70 kW (als een onderdeel van de WKK-installatie niet functioneert, dan kan de voorverwarmer eerder ingeschakeld worden; de hoogte van de waarde hangt weer af van het vermogen van de voorverwarmer en de toegestane afwijking in het CV-net);
  - Hier kunnen ook nog aanvullende voorwaarden opgenomen worden, specifiek voor de gekozen voorverwarmer. Bijvoorbeeld voor een warmtepomp: geen vrijgave als de intredetemperatuur bij de warmteopwekker (4TE4) te hoog is.
- En geen Noodstroombedrijf (de voorverwarmer mag tijdens Noodstroombedrijf niet aan gaan in verband met de hoge stroomopname).

### **Naverwarmers verwarmen (naverwarmer(s) komen in om warmte te gaan leveren)**

Als de naverwarmers op de positie van ketel 1 zijn geplaatst, gebruik dan deze voorwaarde:

Aan:

- Warmte leveren;
- En Gewenste aanvoertemperatuur CV-net – gemeten aanvoertemperatuur CV-net (3TE4) > 4K, differentie 7K, opkom/afvalvertraging 15/5 minuten (de aanvoertemperatuur moet dus ten gevolge van de bijdrage van de naverwarmer, gedurende 5 minuten meer dan 3K ( $4 - 7 = -3K$ ) boven de gewenste waarde komen te liggen voordat de naverwarmer uit gaat).

Als de naverwarmers op de positie van ketel 2 zijn geplaatst, gebruik dan deze voorwaarde:

Aan:

- Warmte leveren;
- En Gewenste aanvoertemperatuur CV-net – temperatuur voor de voorverwarmer (3TE4) > 4K, differentie 2K, opkom/afvalvertraging 15/2 minuten.

Opmerkingen:

- Door bij deze bedrijfssituatie niet met het gewenste verwarmingsvermogen te werken, heeft er niet naar allerlei storingssituaties van de overige warmteopwekkers gekeken te worden;
- De WKK-unit in combinatie met de voorverwarmer krijgen dus 15 minuten de tijd om voldoende warmte te leveren, lukt dat niet, dan komt de naverwarmer in.

Opgemerkt kan worden dat met deze opzet alle drie de bedrijfssituaties tegelijkertijd actief kunnen zijn. Als de bedrijfssituatie 'Naverwarmers naverwarmen' actief is en een andere niet, dan functioneert een onderdeel in de installatie niet goed. De correcte en foutieve werking van de installatie is in tabel 4.4 weergegeven. Situatie 7 valt buiten dit voorbeeld, maar is opgenomen voor ontwerpen waarbij geen buffervat is toegepast.

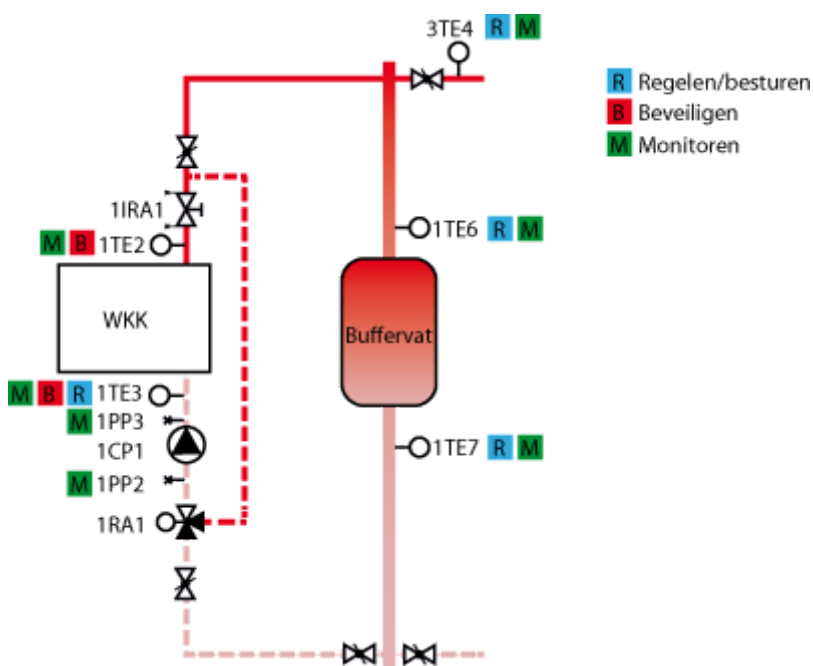
Tabel 4.4 Optredende situaties met uitkomst werking installatie

Situatie	Bedrijfssituatie			Werking installatie
	WKK verwarmen	Voorverwarmer verwarmen	Naverwarmers verwarmen	
1	Aan	Uit	Uit	OK
2	Aan	Aan	Uit	OK
3	Aan	Aan	Aan	OK
4	Uit	Aan	Aan	Fout
5	Aan	Uit	Aan	Fout
6	Uit	Uit	Aan	Fout
71)	Uit	Uit	Aan	OK

1) Als de WKK-unit (bijvoorbeeld zonder buffervat) niet in een geringe warmtevraag voorziet, dan zullen als eerste de naverwarmers actief worden. Stijgt de warmtevraag, dan zal alsnog de WKK-unit vrijgegeven worden. In die situatie zal de temperatuur richting de naverwarmers gaan stijgen, waardoor de vrijgave automatisch uit zal gaan.

#### 4.2.5 WKK-unit, groep 1

In deze paragraaf is de functionele omschrijving van de WKK-unit met periferie (groep 1) uitgewerkt.



Afb. 4.8 Gedeelte van de installatie met WKK-unit

#### WKK-unit gevraagd

Aan:

- WKK verwarmen;
- Of Noodstroombedrijf.

Opmerking: Er kan nog een voorwaarde toegevoegd worden: 'en WKK verwarmen is gedurende 90 minuten niet actief geweest' hiermee kan voorkomen worden dat de WKK-unit te veel starts op een dag gaat maken; het is echter beter om de instellingen in de automatiseringsinstallatie en het ontwerp van de installatie (o.a. buffervat) zodanig te maken dat deze voorwaarde niet nodig is.

#### WKK-unit

Vrijgave: WKK-unit gevraagd, gedurende 5 seconden (eerst wordt de pomp 1CP1 opgestart, komt 1RA1 in zijn regeling en wordt droge koelercircuit 1 opgestart).

Regelen: De unit werkt met een vast vermogen, wat lokaal is ingesteld.

Opmerkingen:

- De WKK-unit heeft zijn eigen interne regeling en beveiligingen (o.a. op de uittredetemperatuur 1TE2);
- De automatiseringsinstallatie beveiligd de unit op basis van de intredetemperatuur 1TE3; zie hiervoor paragraaf 4.2.9: 'Warmteafvoer nodig' en deze paragraaf bij 'Storing/onderhoud WKK-installatie'.

### Drie-weg klep 1RA1

Vrijgave: WKK-unit gevraagd, afvalvertraging van 5 minuten.

Regelen: Op intredetemperatuur WKK-unit (1TE3) met als setpoint 70 °C.

### Circulatiepomp 1CP1

Aan: WKK-unit gevraagd.

Opmerkingen:

- Pomp wordt periodiek gestart;
- Nadraaitijd van 5 minuten.

### Storing/onderhoud WKK-installatie

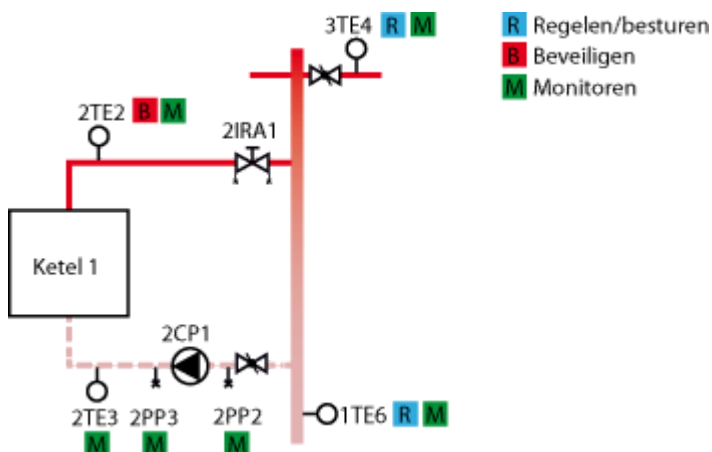
Aan:

- Storing WKK-unit;
- Of onderhoudsschakelaar WKK-unit is bediend;
- Of storing Droge koelercircuit 1;
- Of storing circulatiepomp 1CP1;
- Of geen bedrijfsmelding 1CP1, 30 seconden na de vrijgave (hiermee moet ook de bediening van de werkschakelaar gesignaleerd worden, anders apart opnemen);
- Of Warmteafvoer nodig, gedurende 1 minuut en Storing droge koelercircuit 2 (de temperatuur richting de WKK-unit (1TE3) is te hoog en de warmte kan niet afgevoerd worden).

Opmerking: Zie paragraaf 4.2.11 voor onder andere een overzicht van storingsmeldingen vanuit een WKK-unit.

#### 4.2.6 Naverwarming, groep 2

In deze paragraaf is de functionele werking van groep 2 (naverwarmers) uitgewerkt. In de hierna volgende paragraaf 4.2.7 is dat gedaan voor groep 3 (ook naverwarmers). In de praktijk zal voor een van beide opties gekozen zijn.



Afb. 4.9 Gedeelte van de installatie met Ketel 1

### Ketel 1

Vrijgave: Naverwarmers naverwarmen.



Regelen: Op aanvoertemperatuur CV-net (3TE4) met als setpoint Gewenste aanvoertemperatuur CV-net.

Opmerkingen:

- De naverwarmer blijft na vrijgave altijd met zijn minimale capaciteit warmte leveren;
- Er kan voor gekozen worden om met het stuursignaal van de PID regelaar rechtstreeks de capaciteit van de naverwarmer te beïnvloeden. Ook kan ervoor gekozen worden om een setpoint aan een stand-alone capaciteitsregeling aan te bieden (alhoewel bij dit voorbeeld een constante aanvoertemperatuur gevraagd wordt, is het vanuit optimalisatie oogpunt raadzaam om dit aan te brengen);
- De ketel(s) beveiligen zichzelf tegen een te hoge uittredetemperatuur bij 2TE2 (< 90 °C).

### Circulatiepomp 2CP1

Aan: Naverwarmers naverwarmen, afvalvertraging 30 seconden.

Opmerking: Periodiek pompen.

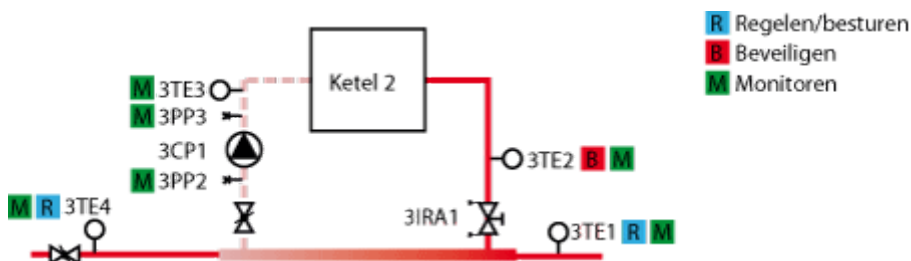
### Storing naverwarming (informatief softwarepunt)

Aan:

- Storingsmelding ketel(s);
- Of Storingsmelding 2CP1;
- Of geen bedrijfsmelding 2CP1, 30 seconden na de vrijgave (hiermee moet ook de bediening van de werkschakelaar gesignaleerd worden, anders apart opnemen).

#### 4.2.7 Naverwarming, groep 3

In deze paragraaf is de functionele werking van groep 3 (naverwarmers) uitgewerkt. In de vorige paragraaf 4.2.6 is dat gedaan voor groep 2 (ook naverwarmers). In de praktijk zal voor een van beide opties gekozen zijn.



Afb. 4.10 Gedeelte van de installatie met Ketel 2

### Ketel 2

Vrijgave: Naverwarmers naverwarmen.

Regelen: Op aanvoertemperatuur CV-net (3TE1) met als setpoint Gewenste aanvoertemperatuur CV-net.

Opmerkingen:

- Er kan voor gekozen worden om met het stuursignaal van de PID regelaar rechtstreeks de capaciteit van de naverwarmer te beïnvloeden. Ook kan ervoor gekozen worden om een setpoint aan een stand-alone capaciteitsregeling aan te bieden (alhoewel bij dit voorbeeld een constante aanvoertemperatuur gevraagd wordt, is het vanuit optimalisatie oogpunt raadzaam om dit aan te brengen);
- De ketel(s) beveiligen zichzelf tegen een te hoge uittredetemperatuur bij 3TE2 (< 90 °C).

### Circulatiepomp 3CP1

Aan: Naverwarmers naverwarmen, afvalvertraging 30 seconden.

Opmerking: Periodiek pompen.

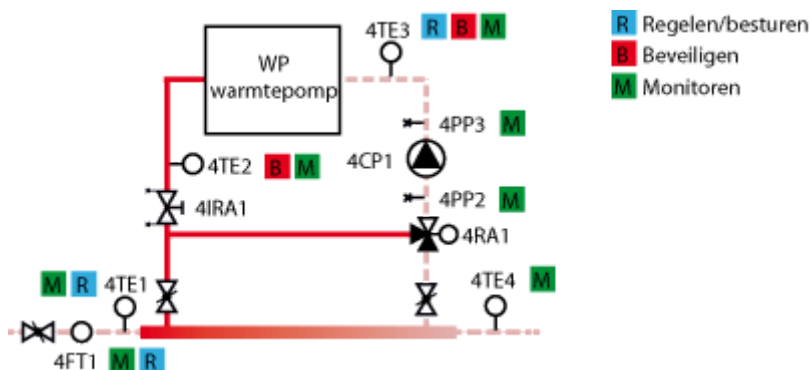
### Storing naverwarming (informatief softwarepunt)

Aan:

- Storingsmelding ketel(s);
- Of Storingsmelding 3CP1;
- Of geen bedrijfsmelding 3CP1, 30 seconden na de vrijgave (hiermee moet ook de bediening van de werkschakelaar gesignaleerd worden, anders apart opnemen).

#### 4.2.8 Voorverwarming, groep 4

In deze paragraaf is de functionele omschrijving van de warmtepomp met periferie (groep 4) uitgewerkt.



Afb. 4.11 Gedeelte van de installatie met warmtepomp

##### Warmtepomp

Vrijgave: Voorverwarming verwarmen, gedurende 40 seconden (eerst wordt de pomp 4CP1 opgestart en komt 4RA1 in zijn regeling).

Regelen: Met PID regeling op de temperatuur na de voorverwarmer (4TE1) met als setpoint de laagste waarde van:

- a. Gewenste aanvoertemperatuur CV-net – Correctie voorverwarmer;
- b. 60 °C.

Opmerkingen:

- Aan de warmtepomp wordt als gewenste waarde zijn maximaal te realiseren temperatuur aangeboden (bijv. 60 °C);
- Door het vrijgeven van de compressoren wordt de capaciteit geregeld;
- 1e compressor: sturing PID regeling > 50%, different 45%;
- 2e compressor: sturing PID regeling > 97%, different 50%;
- De warmtepomp beveiligd zichzelf tegen een te hoge uittredetemperatuur bij de condensor (4TE2) en een te lage temperatuur bij de verdamper.

##### Correctie voorverwarmer

Vrijgave: Voorverwarming verwarmen.

Regelen: Op temperatuur na de WKK-unit (3TE4) met als setpoint Gewenste aanvoertemperatuur CV-net; 0% sturing = 5 K correctie; 100% sturing = 15 K correctie.

Opmerking: Hiermee wordt voorkomen dat de WKK-unit zijn warmte niet meer kwijt kan (en eventueel de warmteafvoerinstallatie actief wordt).

##### Circulatiepomp 4CP1

Aan: Voorverwarming verwarmen, nadraaitijd van 30 seconden.

Opmerking: Periodiek pompen.

##### Driewegklep 4RA1

Vrijgave: Voorverwarming verwarmen, afvalvertraging 30 seconden.

Regelen: Op intredetemperatuur warmtepomp (4TE3) met als setpoint 25 °C (minimaal vereist vanuit de leverancier).

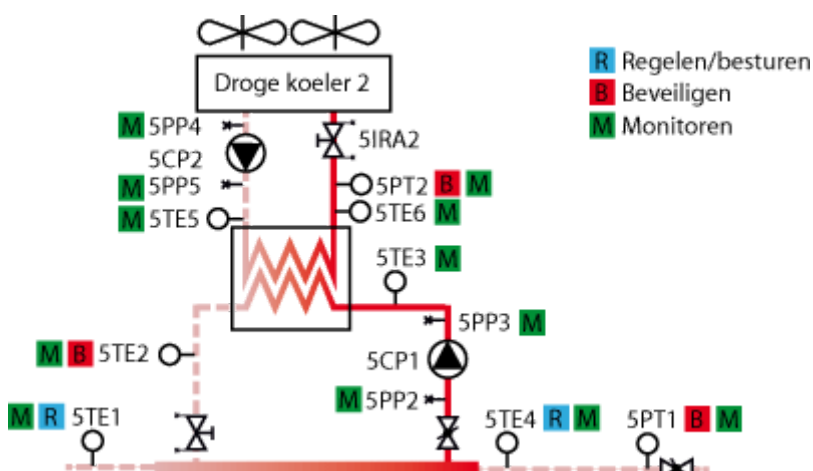
## Storing voorverwarming (informatief softwarepunt)

Aan:

- Storingsmelding warmtepomp;
- Of Storingsmelding 4CP1;
- Of geen bedrijfsmelding 4CP1, 30 seconden na de vrijgave (hiermee moet ook de bediening van de werkschakelaar gesignaleerd worden, anders apart opnemen).

### 4.2.9 Warmteafvoer, groep 5

In deze paragraaf is de functionele omschrijving van droge koeler 2 met periferie (groep 5) uitgewerkt.



Afb. 4.12 Gedeelte van de installatie met droge koeler 2

### Warmteafvoer nodig

Aan:

- WKK-unit gevraagd;
- En temperatuur voor warmteafvoer groep 5 (5TE4) > 73 °C, different 7K, opkom/afvalvertraging 2/10 minuten.

### Droge koeler 2

Vrijgave: Warmteafvoer nodig.

Regelen: Op temperatuur na warmteafvoer groep 5 (5TE1) met als setpoint 70 °C.

Opmerking: Er kan bij de droge koeler een frequentieregelaar toegepast worden, zoals hiervoor is uitgewerkt. Ook kunnen de ventilatoren -afzonderlijk of met meerdere- aan/uit geschakeld worden via een stappenregeling.

### Circulatiepomp 5CP1

Aan: Warmteafvoer nodig.

Opmerking: Periodiek pompen.

### Circulatiepomp 5CP2

Aan: Warmteafvoer nodig, gedurende 15 seconden.

Opmerkingen:

- Periodiek pompen (5CP1 moet dan al 1 minuut vrijgegeven zijn);
- Als de temperatuur na het TSA (5TE2) < 10 °C, different 10K mag 5CP2 nooit aan gaan (voorkomen moet worden dat door disfunctioneren van wat dan ook het water bevroest).

### Storing Droge koelercircuit 2

Aan:

- Storingsmelding droge koeler 2 (ook eventueel uitschakelen door middel van een werkschakelaar hierin verwerken);

- Of Storingsmelding 5CP1;
- Of geen bedrijfsmelding 5CP1, 30 seconden na de vrijgave (hiermee moet ook de bediening van de werkschakelaar gesignaleerd worden, anders apart opnemen);
- Of Storingsmelding 5CP2;
- Of geen bedrijfsmelding 5CP2, 30 seconden na de vrijgave (hiermee moet ook de bediening van de werkschakelaar gesignaleerd worden, anders apart opnemen);
- Of Druk alarm droge koelercircuit 2.

### Druk vooralarm droge koelercircuit 2

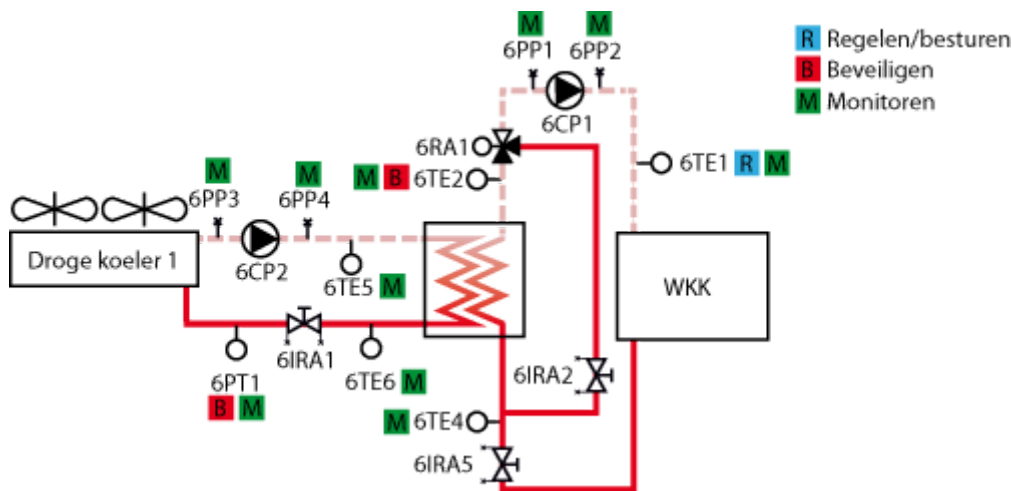
Aan: Druk in circuit droge koeler 1 (5PT2) < 1,0 bar, differentie 0,4 bar, gedurende 5 sec.

### Druk alarm droge koelercircuit 2

Aan: Druk in circuit droge koeler 1 (5PT2) < 0,6 bar, differentie 0,4 bar, gedurende 5 sec.

#### 4.2.10 Warmteafvoer, groep 6

In deze paragraaf is de functionele omschrijving van droge koeler 1 met periferie (groep 6) uitgewerkt.



Afb. 4.13 Gedeelte van de installatie met droge koeler 1

#### Droge koeler 1

Vrijgave: WKK-unit gevraagd.

Regelen: In volgorde met drie-wegklep 6RA1:

- 40% PID sturing = ventilatoren op minimum toerental;
- 100% PID sturing = ventilatoren op maximum toerental.

Opmerking: Er kan bij de droge koeler een frequentieregelaar toegepast worden, zoals hiervoor is uitgewerkt. Ook kunnen de ventilatoren -afzonderlijk of met meerdere- aan/uit geschakeld worden via een stappenregeling. Vanuit energetisch oogpunt wordt het afgeraden om de ventilatoren continue op vollast te laten functioneren.

#### Driewegklep 6RA1

Vrijgave: WKK-unit gevraagd.

Regelen: Op temperatuur naar WKK (6TE1) met als setpoint 60 °C (deze temperatuur hangt af van de configuratie van de WKK-unit en wordt door de leverancier opgegeven).

Opmerking: Deze klep regelt in volgorde met Droge koeler 1:

- 0% PID sturing = al het water gaat over de by-pass (0% klepstand);
- 50% PID sturing = al het water gaat over het TSA (100% klepstand).

#### Circulatiepomp 6CP1

Aan: WKK-unit gevraagd.

Opmerking: Periodiek pompen.

### **Circulatiepomp 6CP2**

Aan: WKK-unit gevraagd, gedurende 35 seconden.

Opmerkingen:

- Periodiek pompen (6CP1 moet dan al 1 minuut vrijgegeven zijn);
- Als de temperatuur na het TSA (6TE2) < 10 °C, different 10K mag 6CP2 nooit aan gaan (voorkomen moet worden dat door disfunctioneren van wat dan ook het water bevroest).

### **Storing Droge koelercircuit 1**

Aan:

- Storingsmelding droge koeler 1 (ook eventueel uitschakelen door middel van een werkschakelaar hierin verwerken);
- Of Storingsmelding 6CP1;
- Of geen bedrijfsmelding 6CP1, 30 seconden na de vrijgave (hiermee moet ook de bediening van de werkschakelaar gesignaleerd worden, anders apart opnemen);
- Of Storingsmelding 6CP2;
- Of geen bedrijfsmelding 6CP2, 30 seconden na de vrijgave (hiermee moet ook de bediening van de werkschakelaar gesignaleerd worden, anders apart opnemen);
- Of Druk alarm droge koelercircuit 1.

### **Druk vooralarm droge koelercircuit 1**

Aan: Druk in circuit droge koeler 1 (6PT1) < 1,0 bar, differentie 0,4 bar, gedurende 5 sec.

### **Druk alarm droge koelercircuit 1**

Aan: Druk in circuit droge koeler 1 (6PT1) < 0,6 bar, differentie 0,4 bar, gedurende 5 sec.

#### **4.2.11 Registratie en visualisatie**

De hierna volgende parameters kunnen bij een WKK-unit gevisualiseerd en/of geregistreerd worden. De beschikbaarheid van de parameters hangt met name van de omvang van de installatie af. Met deze lijst kan met name inzicht worden verkregen. Per project moet de het nut/ de noodzaak van het inlezen van de parameters bekeken worden.

- Aantal starts;
- Aantal stops op storing;
- Bedrijfsuren;
- Bedrijfsmelding;
- Aantal draaiuren onbelast;
- Anti-pendelvertraging;
- Keuzeschakelaar op automatisch;
- Service schakelaar bediend;
- Voorventileren;
- Warmdraaien;
- Kouddraaien;
- Klokuren tot olieversen;
- Olietemperatuur;
- Oliedruk;
- Olieniveau bulk tank;
- Start generatorset;
- Stop generatorset;
- Generator schakelaar aan;
- Generatorvermogen;
- Generatorstroom L1/L2/L3;
- Generatorspanning L1/L2/L3;
- Generator cos phi;

- Generator frequentie;
- Generatorwinding temperatuur;
- Generatorschakelaar;
- Gasklep positie (eventueel per bank);
- Gasverbruik;
- Mengseltemperatuur;
- Mengseldruk;
- Rookgastemperatuur (eventueel per bank);
- Uitlaattegendruk;
- Rookgastemperatuur na rookgassenkoeler;
- Opgewekte hoeveelheid warmte (debietmeter bijplaatsen).

De hierna volgende storingsmeldingen kunnen (vanuit de besturing van de WKK-unit) worden gegenereerd.

- Storing;
- Vooralarm;
- Noodstop geactiveerd;
- Toerental te laag;
- Toerental te hoog;
- Startfout;
- Aardgasdruk te laag;
- Back firing/aardgasdruk te hoog;
- Maximaal generatorvermogen;
- Smeeroliedruk te laag;
- Smeerolietemperatuur hoog;
- Smeeroliedruk laag;
- Smeerolieniveau te laag;
- Motorkoelwatertemperatuur hoog;
- Motorkoelwatertemperatuur te hoog;
- Motorkoelwaterniveau te laag;
- Motorkoelwaterdruk te laag;
- Motorkoelwaterdruk laag;
- Storing koelwaterpompen;
- Motorkoelwaterniveau laag;
- Storing coprocessor;
- Lambda regeling fout;
- Pastor alarm lambda regeling;
- CV-temperatuur na noodkoeler hoog;
- CV-temperatuur na noodkoeler laag;
- CV-waterdruk laag;
- CV-waterdruk hoog;
- CV-temperatuur van gebruiker te hoog;
- CV-temperatuur WKK uit te hoog;
- CV-waterdruk te laag;
- CV-waterdruk te hoog;
- Uitschakelstoring netschakelaar;
- Werkschakelaar netschakelaar 'IN';
- Terugwatt net;
- Hoofdschakelaar 'UIT';
- Communicatie storing netanalyser;
- Werkschakelaars pompen;

- Afwijking cos phi regeling generator;
- Generatorspanning te laag /te hoog;
- Mengselluchttemperatuur hoog;
- Interkoeler watertemperatuur 'IN' te hoog;
- Temperatuuropnemer interkoeler watertemp. 'IN';
- Uitlaattertemperatuur te hoog;
- Rookgaskoeler temperatuur te hoog;
- Ruimtetemperatuur hoog;
- Ruimteventilator storing;
- Werkschakelaar ventilator;
- Doorstroming noodkoelwaterpomp;
- Geen luchtflow;
- Brandmelder;
- Netspanning te laag/te hoog;
- Netfrequentie te laag/te hoog;
- Netschakelaar therm/max;
- Smeerolie carter verversen!
- Motorkoelwatertemperatuur te hoog;
- Storing batterijlader 24 VDC;
- Communicatiestoring generator analyser;
- Startbatterij spanning hoog;
- Afwijking vermogensregeling generator set;
- Generatorspanning te laag;
- Generatorspanning te hoog;
- Generatorfrequentie te laag;
- Generatorfrequentie te hoog;
- Terugwatt generator;
- Generator overbelast;
- Temperatuur na noodkoeler te hoog;
- Noodkoelklep niet dicht;
- Noodkoelklep niet open.

Hiernaast kunnen de parameters (temperaturen, drukken, bedrijfs- en storingsmeldingen van de componenten) zoals gevisualiseerd in afbeelding 3.6 of afbeelding 3.7 ook gevisualiseerd en/of geregistreerd worden. In tabel 4.5 is tenslotte een (gedeelte van een) voorbeeld gegeven hoe een overzicht opgezet kan worden voor het verkrijgen van de gewenste registratie.

Tabel 4.5 Voorbeeld overzicht gewenste registraties

Omschrijving		Registratie per:2)			
		Actueel1)	Uur	Dag	Maand
Bedrijfssituaties	Bedrijfssituatie WKK verwarmen	X		Cum. [hh]	Cum. [hh]
	Bedrijfssituatie Voorverwarmer verwarmen	X		Cum. [hh]	Cum. [hh]
	Bedrijfssituatie Naverwarmers verwarmen	X		Cum. [hh]	Cum. [hh]
	Bedrijfssituatie Noodstroombedrijf	X		Cum. [hh]	Cum. [hh]
	Gewenst verwarmingsvermogen	X [kW]	Gem. [kW]		
	Warmtevraag	X			
	Buitentemperatuur	X	Gem.		
Groep 1	Storing/onderhoud WKK-installatie	X			
	Sturing 1RA1	X [%]			
	Uittredetemperatuur WKK-unit (1TE2)	X	Gem.		
	Intredetemperatuur WKK-unit (1TE3)	X	Gem.		
	Temperatuur bovenzijde buffervat (1TE6)	X			
	Temperatuur onderzijde buffervat (1TE7)	X			
	Generatorvermogen WKK-unit (1EL1)	X [kW]	Cum. [kWh]	Cum. [kWh]	Cum. [MWh]
	Gasverbruik WKK-unit (1GA1)	X [m³/h]	Cum. [m³]	Cum. [m³]	Cum. [m³]
Groep 2	Et cetera				

1) Bijvoorbeeld bij een waarde verandering of om de 4 minuten; X = moet geregistreerd worden.  
2) Cum. = totaal telling voor de aangegeven periode; gem. = gemiddelde voor de aangegeven periode; gew. gem. = gewogen gemiddelde voor de aangegeven periode; gem. 10 = gemiddelde over 10 minuten.  
Registratie houdt in het berekenen van de waarde en het op een harde schijf opslaan van de waarde.

#### 4.3 KEUZE VAN MATERIALEN EN FABRICATEN

In de uitwerkingsfase wordt het ontwerp vertaald in op de markt verkrijgbare producten. Het ontwerp is dan ook het uitgangspunt voor de uitwerkingsfase. Eigenschappen van de geselecteerde producten dienen zo goed mogelijk overeen te komen met de uitkomst van de ontwerpfase. Bij de selectie behoeft geen rekening gehouden te worden met veiligheidsmarges. Deze zijn, indien gewenst, in de ontwerpfase meegenomen.

##### Materiaal en keuze fabricaat

Voor de warmteopwekkingsinstallatie met WKK-unit zijn het met name de hierna volgende zaken van belang.

- Materiaalkeuze op basis van temperatuur, waterkwaliteit (condenswater en antivriesmedium) en combinatie van verschillende materialen:
  - Leidingen, toegepaste verbindingstechnieken, leidingdoorvoeringen en voorzieningen voor het opvangen van trillingen en eventuele lengteverandering (compensatoren, expansiebochten);
  - Appendages;
  - (Platen)warmtewisselaars;
  - Isolatiemateriaal en dikte.
- Fabrikaat keuze:
  - WKK-unit met toebehoren;
  - Warmteafvoerinstallatie: bijvoorbeeld droge koeler, warmtewisselaars;



- Voorverwarmer(s): bijvoorbeeld warmtepomp;
- Naverwarmer(s): bijvoorbeeld ketel;
- Buffervat(en);
- Expansievat(en);
- Pompen;
- Appendages;
- (In)regelafsluiters;
- Automatiseringsinstallatie: centrale bedieneenheid, onderstations, veldapparatuur.

## Waterkwaliteit

Op basis van de toegepaste materialen en fabrikaten dient nagegaan te worden of er verschil is tussen de waterkwaliteit van het leidingwater en de gewenste waterkwaliteit. Op basis van deze analyse moet, eventueel in overleg met specialisten, de nut- en noodzaak van waterbehandeling (ontharden, ontluchten, pH-correctie) nagegaan worden.

## 4.4 WERKBESCHEIDEN

Op basis van de informatie vanuit de voorgaande paragrafen moeten de volgende werkbescieden gerealiseerd worden.

- Tekeningen:
  - Indeling technische ruimte(n), rekening houdend met:
    - Afleesbaarheid van meters;
    - Bereikbaarheid voor onderhoud;
    - Vervanging van componenten.
  - Proces- en instrumentatieschema met stuklijst;
  - Processchema's van de bedrijfssituaties;
  - Schema's schakelkasten;
  - Schema verdeelinrichtingen.
- Berekeningen:
  - Definitieve leidingberekening; op basis van de leidingberekeningen dienen de volgende componenten geselecteerd te worden:
    - Pompen;
    - (In)regelafsluiters;
    - Expansievaten.
  - Kabelberekeningen voedings- en generatorkabels.
- Documenten voor de automatisering van de installatie:
  - Op te stellen door werktuigbouwkundige:
    - Functionele omschrijving werking installatie;
    - Overzicht met bedienniveaus en de bijbehorende rechten;
    - Overzicht van energieregistraties die in de automatiseringsinstallatie gegenereerd moeten worden;
    - Lijst met storingen/beveiligingen en meldingen die door de installatie gegenereerd moeten worden; hierbij dient aangegeven te zijn hoe de automatiseringsinstallatie deze zaken verwerkt (alarmlampen, doormeldingen etc.).
  - Op te stellen door automatiseringsdeskundige:
    - Schema's automatiseringssysteem: beeldplaatjes voor beheer en schema's met communicatiestructuur van de componenten;
    - Schema's regelkasten.



## 5 REALISATIEFASE

### 5.1 INLEIDING

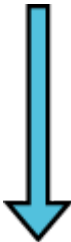
Tijdens de realisatiefase wordt het werk zoals dat bij de uitwerkingsfase is omschreven uitgevoerd. De input en output van de realisatiefase is in afbeelding 5.1 gevisualiseerd.



Afb. 5.1 In- en output van de realisatiefase

Voor de realisatiefase moeten de stappen worden doorlopen die in tabel 5.1 zijn weergegeven.

Tabel 5.1 Stappen die in uitwerkingsfase doorlopen moeten worden

	Nr.	Actie	Paragraaf
	1	Controleer of de juiste materialen worden toegepast, de montage conform de (veiligheids)voorschriften wordt uitgevoerd en leg vast hoe vaak en welke controles plaats vinden	5.2 en 5.3
	2	Beproof de installatie en maak er rapportages van	5.4
	3	Stel de installatie in bedrijf, controleer de automatische werking van de installatie en leg de resultaten vast	5.5
	4	Maak de revisiebescheiden	5.6
	5	Lever de installatie op en bespreek het nazorg traject	5.7

Evenals in de uitwerkingsfase geldt bij de realisatiefase dat bij wijzigingen er een terugkoppeling moet plaatsvinden naar de ontwerper. Wijzigingen moeten integraal beoordeeld worden met betrekking tot consequenties voor techniek, investerings-, energie- en onderhoudskosten. Hierbij moeten bouwpartners niet alleen de consequenties voor hun eigen vakgebied beschouwen maar moeten de consequenties integraal in beeld gebracht worden.

Voor de realisatie gelden de voorschriften zoals omschreven in:

1. ISSO-publicatie 31 [3], Meetpunten en meetmethoden: de benodigde indicatoren en sensoren en de posities daarvan; beproevingsmethoden voor onder andere warmteopwekkers;
2. ISSO-publicatie 64 [11], Kwaliteitseisen isoleren;
3. ISSO-publicatie 76 [16], Montage- en materiaaltechnische kwaliteitseisen voor warmwaterverwarmingsinstallaties;
4. ISSO-publicatie 65 [12], Inregelen van ontwerpvolumestromen in warmwaterverwarmingsinstallaties.

### 5.2 KWALITEITSBEWAKING

Voordat de uitvoering start dient er een kwaliteitsplan opgesteld te worden. In dit plan wordt vastgelegd:

1. Welke controles uitgevoerd worden;
2. Wanneer controles uitgevoerd worden;
3. Hoe de controles uitgevoerd worden;
4. Door wie controles uitgevoerd worden:
  - a. Door het installatiebedrijf (kwaliteit van het eigen werk);
  - b. Door de opdrachtgever om de uitvoering te toetsen aan het kwaliteitsplan en de voorschriften van de fabrikant of leverancier.
5. Hoe en aan wie het resultaat van de controles gerapporteerd wordt;
6. Wie het resultaat van de controles goedkeurt.

Voor de controle van de montage geeft tabel 5.2 een voorbeeld checklist.

Tabel 5.2 Checklist voor (tussentijdse) controle

Onderdeel			Akkoord	Opmerkingen
1	Wordt er gewerkt met goedgekeurde definitieve tekeningen?			
2	Worden montagevoorschriften nageleefd m.b.t. leidingen:	Beugeling van leidingen		
		Leidingverbindingen/ koppelingen		
		Expansiebochten/ compensatoren		
		Doorvoeringen		
		Laswerk		
		Isolatie		
3	Is WKK-unit geplaatst en aangesloten volgens montagevoorschriften en tekeningen	Plaatsing (trillingvrij, bedienbaar en onderhoudbaar)		
		Aansluiting warmtewisselaarcircuits		
		Aansluiting elektrisch		
		Aansluiting gas		
		Aansluiting rookgasafvoer		
		Aansluiting luchttoevoer		
		Aansluiting condensafvoer		
4	Warmteafvoer: is droge koeler (of ander warmteafvoer apparaat) en warmtewisselaar geplaatst en aangesloten volgens montagevoorschriften en tekeningen	Plaatsing (trilling vrij en zijn platen uitwisselbaar)		
		Aansluitingen primaire zijde (wordt juiste medium gebruikt)		
		Aansluiting waterzijdig secundair		
		Aansluiting elektrotechnisch (ventilatoren, pompen)		
5	Voorverwarming : is warmtepomp (bijvoorbeeld) geplaatst en aangesloten volgens montagevoorschriften en tekeningen	Plaatsing (trillingvrij, bedienbaar en onderhoudbaar)		
		Aansluiting verdamper/ condensor		
		Aansluiting elektrisch		
6	Naverwarming: is verwarmingsketel (bijvoorbeeld) geplaatst en aangesloten volgens montagevoorschriften en tekeningen (EBI)	Plaatsing (trillingvrij)		
		Aansluiting waterzijdig		
		Aansluiting elektrisch		
		Aansluiting gas		
		Aansluiting rookgasafvoer		
		Aansluiting brander/ luchttoevoer		
7	Componenten automatiseringsinstallatie (en de onderdelen die hierdoor worden aangestuurd): geplaatst en aangesloten volgens montagevoorschriften en tekeningen	Voldoende ruimte voor regelkasten		
		Regelkleppen		

		Pompen (goede richting geplaatst)		
		Opnemers - debietmeters (afleesbaar)		
8	Zijn overige componenten geplaatst en aangesloten volgens montagevoorschriften en tekeningen	Buffervaten		
		Expansievoorzieningen		
		Afsluiters (bereikbaar)		
		Thermometers/manometer (afleesbaar)		
		Overige _____		

### 5.3 VEILIGHEID, GEZONDHEID EN MILIEU

Om de veiligheid en de gezondheid van de mensen die werkzaam zijn op de bouwplaats, te waarborgen, dient er een VGM-plan opgesteld te worden. Als onderdeel van het VGM-plan dient er een risicoanalyse gemaakt te worden van het werk. Uit deze analyse vloeien mogelijk maatregelen voort die de veiligheid en de gezondheid (en het milieu) waarborgen.

Specifiek voor de installatie met WKK-unit zijn onder andere de volgende aspecten:

1. Afzettingen rond het transport en hijsen, al dan niet voorzien van een apart hijsplan;
2. Voorzieningen (tijdelijk) voor de opslag van olie;
3. Realisatie van installaties in kelders en kruipruimten;
4. Afscherming van reeds in bedrijf gestelde elektrotechnische voorzieningen;
5. Veiligheidsmaatregelen rond het aanleggen van de gasleiding;
6. Geluid van de WKK-unit in de technische ruimte bij in bedrijf stellen.

### 5.4 BEPROEVING VAN DE INSTALLATIE

De beproeving bestaat uit de volgende stappen:

1. Spoelen: De installatie moet gespoeld worden totdat minimaal 1x de inhoud van de installatie doorspoeld is. Bij het spoelen moeten al de afsluiters open staan;
2. Vullen en ontluichten: Nadat de installatie gespoeld is, moet de installatie gevuld en ontluicht worden. Eventueel vullen met behandeld water;
3. Afpersen (zie ook ISSO-publicatie 76 [16]):
  - Beproeving bij afgekoppeld/afgesloten expansievat en eventuele overige drukgevoelige installatie-onderdelen;
  - Afpersen voordat de installatie is geïsoleerd;
  - Afpersen stalen leidingen:
    - Afpersen op een druk 1,5x de maximale werkdruk;
    - Afpersdruk indien nodig aanpassen aan garantiedruk van componenten in de installatie;
    - De druk moet gedurende een uur constant blijven.
  - Het resultaat van het afpersen vastleggen in rapportages;
  - Rapportages verstrekken aan opdrachtgever.

### 5.5 IN BEDRIJF STELLING VAN DE INSTALLATIE

Nadat de software ontwikkeld is op basis van de gewenste functionaliteit zoals in de ontwerpfase is vastgelegd, dient de installatie in de volgende stappen in bedrijf gesteld te worden

1. Controle bekabeling en aansluitingen in regelkast en op componenten;
2. In bedrijf stellen individuele componenten (pompen, motoren van afsluiters, WKK-unit, voorverwarmer: warmtepomp, naverwarmer: ketel, warmteafvoerinstallatie: ventilatoren droge koeler):
  - a. Functioneren van de beveiligingen;
  - b. Draairichting pompen en ventilatoren.
3. Waterzijdig inregelen;
4. Instellen regeling van de individuele componenten (toerengeregelde pompen, regelafsluiters, WKK-unit, warmtepomp, ketel, droge koeler);

5. Testen en in bedrijf stellen totaal installatie voor verschillende bedrijfstoestanden. Indien mogelijk dient hiervoor een warmtevraag gecreëerd te worden in het gebouw;
6. Controleren van het correct functioneren van de dataopslag (energie- en waterhoeveelheden).

### **Specifieke zaken voor de installatie met WKK-unit**

Er zijn een aantal regelingen waarvoor in de praktijk blijkt dat deze bij het in bedrijf stellen aandacht vragen.

Het betreft de volgende regelingen:

1. Regeling van de warmteafvoer: zijn de temperaturen waarmee de systemen werken correct en wordt er geen onnodige hoeveelheid warmte afgevoerd;
2. Regeling van de intredetemperatuur van de WKK-unit. Functioneert deze regeling onder verschillende omstandigheden stabiel;
3. Regeling en inschakeling voorverwarming: als de voorverwarming ingeschakeld wordt, dan moet de WKK-installatie goed blijven functioneren. Tevens moet de warmteafvoer niet onnodig aan gaan;
4. Regeling en inschakeling naverwarming: als de naverwarming ingeschakeld wordt mag dit niet met een 'overdosis' aan warmte gebeuren waardoor de retourtemperatuur van het verwarmingscircuit 'doorschiet' en waardoor mogelijk de voorverwarming terug regelt of zelfs uitschakelt. Tevens mag de naverwarming geen invloed hebben op het functioneren van de WKK-unit en de warmteafvoer.

Daarnaast dienen bij voorkeur de volgende metingen uitgevoerd te worden, waarbij de onderstaande specificaties worden vastgelegd:

1. Capaciteit en efficiency van de WKK-unit onder vollast (en eventueel deellast) met de bijbehorende temperaturen (verwarmingscapaciteit, gasverbruik, gegenereerd elektrisch vermogen, temperaturen bij de verschillende warmtewisselaars);
2. Capaciteit en efficiency van de voor- en naverwarmer met de bijbehorende temperaturen (capaciteit, opgenomen vermogen elektra/gas en temperatuur in- en uitgaand);
3. Capaciteit van de warmteafvoer (bijvoorbeeld) droge koeler met de bijbehorende temperaturen (in- en uitgaande watertemperatuur en buitenluchttemperatuur). Let op dat in het ontwerp al rekening wordt gehouden met een correcte opstelling waarin voldoende ruimte voor toevoer en afvoer van lucht is, zonder kortsluitstroming. De resultaten dienen vastgelegd te worden als zogenaamde nulmeting van de installatie.

## **5.6 REVISIEBESCHEIDEN EN OPLEVERING**

### **Rapportages**

Van de beproeving en de inbedrijfstelling dienen rapportages opgesteld te worden met de resultaten van de beproeving en het inbedrijfstellen.

Het betreft de volgende rapportages:

1. Afpersrapporten leidingwerk;
2. In bedrijf stelling WKK-unit (Bems, EBI of de op dat moment geldende voorschriften);
3. In bedrijf stelling voor- en naverwarmer(s);
4. Inregelrapporten pompen en inregelafsluiters;
5. Nulmetingen hoofdcomponenten;
6. Overzicht van ingestelde waarden met betrekking tot regelingen, schakelacties, beveiligingen en kloktijden.

### **Revisiebescheiden**

Voor de oplevering moeten de revisiebescheiden ingediend worden. De revisiebescheiden bestaan uit de bijgewerkte werktekeningen, berekeningen en schema's aangevuld met:

1. Rapportages zoals hiervoor genoemd;
2. Documentatie en specificatie van toegepaste materialen en fabricaten;
3. Garantievoorwaarden;
4. Onderhoudsvoorschriften;
5. Bedieningsvoorschriften;
6. Regelkastschema's;
7. Beschrijving beoogde functionaliteit;

8. Kopie van de automatiseringssoftware van het project, inclusief een toelichting van de opbouw van de hard- en software;
9. Informatie uit voorgaande fasen (programmafase, ontwerpfase, uitwerkingsfase), bijgewerkt met de wijzigingen uit de realisatie fase.

Uit de voornoemde documenten moet duidelijk worden op welke wijze en met welke middelen de installatie is gerealiseerd. In dit kader moet opgemerkt worden dat het niet zinvol is om bijvoorbeeld een pompencatalogus in de revisiebescheiden op te nemen, maar wel de specificatiebladen van de pompen. Hierbij moeten de specifieke gegevens, zoals de exacte type nummers, het werkpunt (weergegeven in een pomp curve), procescodering en andere kenmerken wel gedocumenteerd worden.

De hiervoor genoemde documenten en software dienen digitaal, in het originele format aangeleverd te worden. Van te voren kan een mappenstructuur met de opdrachtgever afgesproken worden voor de indeling van de projectinformatie.

### **Toevoegingen**

Bij de structuur van de revisiebescheiden moet ruimte zijn om ook andere documenten op te kunnen nemen zodat de opdrachtgever aan het eind van de realisatie een totaal (digitaal) bouwdoos kan samenstellen.

De volgende documenten kunnen toegevoegd worden:

1. EPC-berekening;
2. Vergunningen met eventuele voorschriften;
3. Legionellarisicoanalyse en beheersplan.

### **Oplevering**

Nadat de installatie in bedrijf gesteld is en de revisiebescheiden zijn ingediend, is de installatie gereed voor oplevering. In het opleveringsdocument dient duidelijk te zijn dat mogelijk nog werkzaamheden uitgevoerd moeten worden in het kader van het nazorgtraject.

### **5.7 NAZORG**

Gezien de complexiteit van de installaties en het functioneren van de installaties in verschillende bedrijfstoestanden is het voor het installatiebedrijf niet altijd mogelijk om alles in één periode in bedrijf te stellen en/of te controleren. Dit geldt met name voor WKK-installaties waarbij de warmte ook gebruikt wordt voor de productie van koude en voor WKK-installaties met een warmteafvoerinstallatie. Ook voor de opdrachtgever is het niet altijd mogelijk om alles op één moment te controleren. In de rapportages (zie paragraaf 5.6) dient daarom aangegeven te worden welke onderdelen in welke bedrijfstoestanden al dan niet in bedrijf zijn gesteld en gecontroleerd.

Let er hierbij op dat bijvoorbeeld warmteafvoerinstallaties bij verschillende buitencondities met dezelfde instellingen meer koude kunnen genereren. Analyseer daarom of de regelingen en schakelacties dan ook nog stabiel functioneren.

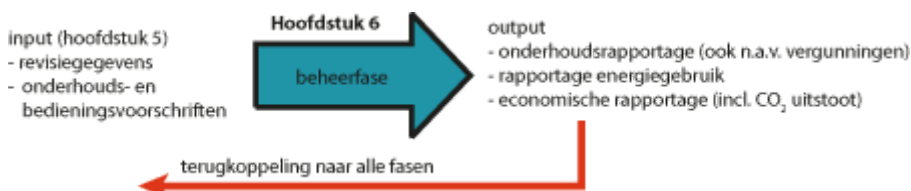
Contractueel dient een periode afgesproken te worden (van bijvoorbeeld een jaar) waarin het installatiebedrijf de nog niet in bedrijf gestelde delen en/of nog niet gecontroleerde delen alsnog afwerkt. Tevens moet in deze periode het functioneren van de installatie gevolgd worden en moeten eventuele optimalisaties uitgevoerd worden.



## 6 BEHEERFASE

### 6.1 INLEIDING

Na het realiseren van de installatie moet deze blijven functioneren en presteren zoals in de programmafase is gedefinieerd. Om het beheer goed te kunnen uitvoeren is het belangrijk dat de gerealiseerde installatie goed gedocumenteerd is. De aanwezigheid van de juiste en volledige revisiebescheiden is in deze fase namelijk van cruciaal belang. In afbeelding 6.1 is dit bij input weergegeven.



Afb. 6.1 Input en output van de beheerfase

De beheerfase is een continue proces, dat duurt tot aan de sloop van de installatie. Tijdens deze fase zullen er regelmatig onderhouds- en energierapportages gemaakt moeten worden. Dit is bij de output van afbeelding 6.1 weergegeven. De sloop van de installatie zelf wordt niet in dit hoofdstuk behandeld. Het spreekt voor zich dat aan alle wettelijke eisen voor de afvoer van materialen moet worden voldaan. Wel kan nog opgemerkt worden dat het verwijderen of hergebruiken van materialen van invloed kan zijn bij sommige certificatieschema's, zoals Breeam.

Bij het beheer spelen de volgende aspecten:

1. Onderhoud van de installatie. Adequaat onderhoud is nodig om de installatie in goede conditie te houden;
2. Monitoring van de installatie. Door het uitvoeren van een monitoringsprogramma wordt het functioneren van de installatie gevolgd en kan indien nodig tijdig gecorrigeerd worden.

Monitoring bestaat uit twee delen:

- a. Registratie en analyse van data: energie-, waterhoeveelheden en temperaturen;
- b. Technisch functioneren van de installatie.

Voor het onderhoud aan installaties (met name WKK, ketels en voorverwarmers, zoals warmtepompen) zijn er wettelijke eisen voor controles/inspecties.

### 6.2 ONDERHOUD EN VERPLICHTINGEN VANUIT WETGEVING

De in deze paragraaf genoemde verplichtingen gelden ten tijde van het opstellen van deze publicatie (2012). Het is mogelijk dat in de toekomst wijzigingen doorgevoerd worden met betrekking tot de verplichtingen. In het algemeen kan gesteld worden dat de installatie onderhouden dient te worden volgens de onderhoudsvoorschriften die door fabrikanten zijn opgesteld. Daarnaast wordt nog verwezen naar paragraaf 3.6.11, waar ook enkele aspecten rond de wet- en regelgeving zijn opgenomen.

Bij WKK-units en ketels bestaat er daarnaast een duidelijke relatie tussen de conditie van de apparatuur zelf en het rendement van de energie-omzetting. Een slechte conditie resulteert in een verminderd rendement en dus verliezen. Maar het betekent ook een extra milieubelasting door een toegenomen uitstoot van schadelijke stoffen zoals koolmonoxide en stikstofdioxide. Het bewaken van de conditie van stookinstallaties is dus van nationaal belang. De overheid heeft daarom via Algemene Maatregelen van Bestuur (AMvB) inspectie- en onderhoudsprocedures van stookinstallaties (>100 kW) gereguleerd. De gemeentelijke overheden zijn met het toezicht op de naleving van deze regelingen belast.

Inspecties en onderhoud worden verzorgd door daartoe gekwalificeerde bedrijven. Om de kwaliteit van inspecties en onderhoud zeker te stellen is er een systeem voor kwaliteitsborging ontwikkeld (Scios).

Bij de inbedrijfstelling moet er een Eerste of bijzondere inspectie (EBI) plaats vinden. Bij deze keuring controleert een gecertificeerd bedrijf of een nieuw geplaatst toestel is opgesteld en afgesteld conform de geldende veiligheids- en milieueisen. De afstelgegevens en relevante documentatie van het toestel worden vastgelegd in een basisrapport en dienen als basis voor het jaarlijks onderhoud en voor de periodieke inspectie (PI).

Ook de periodieke inspecties van stookinstallaties zijn op grond van de betreffende AMvB verplicht om te worden uitgevoerd door een daartoe gecertificeerd bedrijf. De inspecteur legt zijn bevindingen vast in een inspectierapport en geeft daarnaast een verklaring van inspectie af. De verklaring van inspectie wordt alleen uitgereikt als de betreffende installatie in orde is bevonden.

Verklaringen met toevoegingen: 'akkoord behoudens .....' hebben geen geldigheid. Het inspectierapport dient wel altijd te worden afgegeven; ook als er nog tekortkomingen zijn geconstateerd. De verklaring van inspectie is voor de eigenaar van de stookinstallatie het bewijsstuk dat hij aan zijn wettelijke verplichting in deze heeft voldaan.

Als er als voorwarmer een warmtepomp is toegepast, dan moet voldaan worden aan de F-gassenregelgeving en ozonregelgeving. Op hoofdlijnen worden er eisen gesteld aan de volgende bepalingen.

- Zorgplicht, dus het zo veel mogelijk vermijden van lekkage;
- Labeling van de installaties;
- Verplicht inzetten van gediplomeerd personeel en gecertificeerde bedrijven;
- Bijhouden logboek.

### 6.3 MONITORING EN EVALUATIE

Door het uitvoeren van een monitoringsprogramma wordt het functioneren van de installatie gevolgd en kan indien nodig tijdig gecorrigeerd worden.

Monitoring kan uit de volgende onderdelen bestaan:

1. Registratie en analyse van data (energie- en waterhoeveelheden en temperaturen);
2. Economisch functioneren van de installatie.

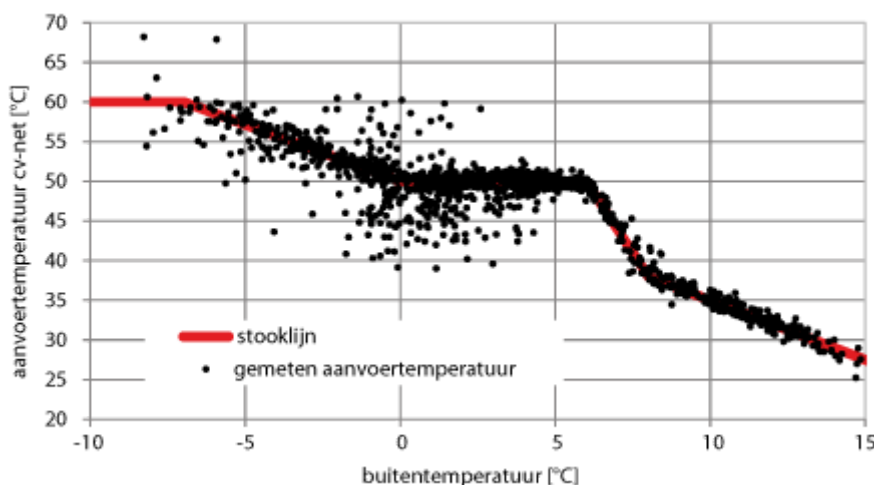
#### 6.3.1 Registratie en analyse van data

Om een gedetailleerde analyse te kunnen maken van het functioneren van de installatie is een automatiseringsinstallatie nodig waarmee data geregistreerd kan worden. In de automatiseringsinstallatie moeten gegevens opgeslagen worden met betrekking tot energie- en waterhoeveelheden en temperaturen. Als er geen automatiseringsinstallatie aanwezig is, is het mogelijk om met energiemeters de hoofdstromen te meten. De energiemeters kunnen direct uitgelezen worden (er zijn meters beschikbaar die energiehoeveelheden per maand in hun geheugen voor circa een jaar opslaan) of eventueel gekoppeld worden aan een verwerkingsprogramma.

Aan de hand van deze gegevens dient bepaald te worden of de installatie functioneert zoals bedoeld. De hierna volgende aspecten geven een goed beeld van het presteren van de installatie. Hierbij is er onderscheid gemaakt in het technisch functioneren en het energetisch functioneren.

#### Technisch functioneren

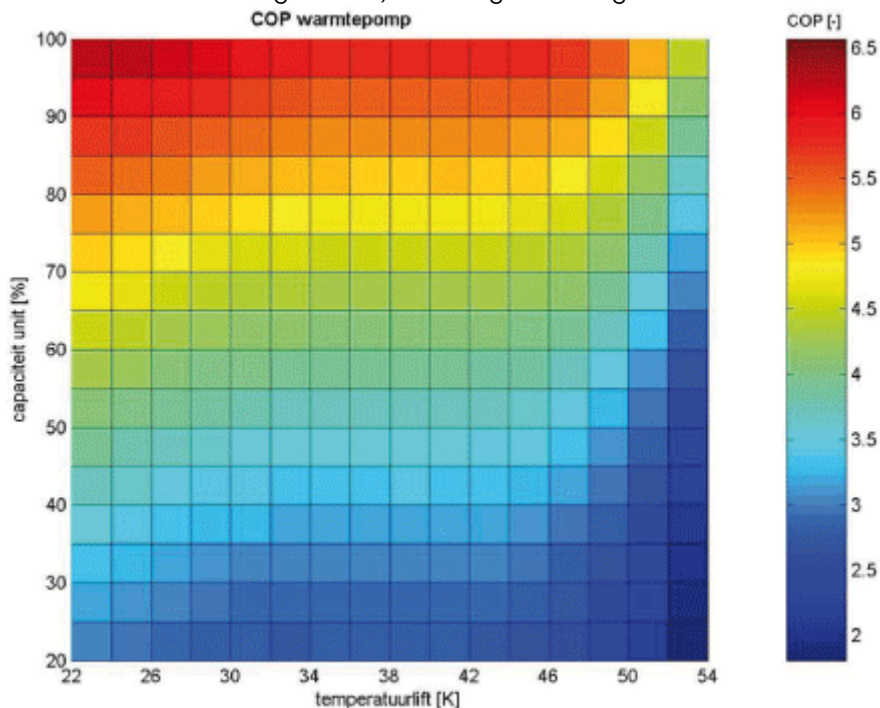
1. Gemeten aanvoer- en retourtemperaturen van/naar de gebouwinstallatie als functie van de gemeten buitentemperatuur. Deze metingen kunnen per periode vergeleken worden met de gewenste aanvoertemperaturen (en eventueel met de verwachte retourtemperaturen), zie afbeelding 6.2 voor een voorbeeld. Aan de hand van deze afbeelding is geanalyseerd of de CV-installatie de stooklijn goed volgt. De punten die buiten de stooklijn vallen kunnen opstart- en schakelverschijnselen zijn. Als gecontroleerd moet worden of de installatie binnen bepaalde grenzen functioneert, dan kunnen ook nog grenslijnen aan de afbeelding toegevoegd worden;
2. Schakelacties in de installatie;
3. Bijdrage van de WKK-unit, voor- en naverwarmers in de warmtelevering. Aan de hand van de volumestroom in het CV-net en de CV-temperaturen voor en na de warmteopwekkers kan berekend worden wat de bijdrage van de afzonderlijke onderdelen is. Bepaal of deze bijdrage overeenkomt met de gewenste inzet van de warmteopwekkers.



Afb. 6.2 Voorbeeld van gemeten en gewenste aanvoertemperatuur CV-net als functie van de buitentemperatuur

### Energetisch functioneren

1. Elektrisch rendement van de WKK-unit. Dit rendement kan per periode bepaald worden door de gegenereerde hoeveelheid elektriciteit te delen door het gemeten gasverbruik van de WKK-unit. Deze waarden kunnen vergeleken worden met de opgaven van de fabrikant;
2. Thermisch rendement van de WKK-unit. Dit rendement kan per periode bepaald worden door de hoeveelheid warmte te delen door de calorische waarde van het gemeten gasverbruik van de WKK-unit. Deze waarden kunnen vergeleken worden met de opgaven van de fabrikant;
3. Als er een warmtepomp als voorverwarmer is toegepast: COP warmtepomp (voor gedetailleerde uitwerking berekening rendement, zie [17], bijlage E). Deel de geleverde warmte van de warmtepomp (gemeten) door het gemeten elektriciteitsverbruik van de warmtepomp (deze moet apart bemeten worden). Het rendement is met name afhankelijk van de temperaturen bij de condensor en verdampers. Houd hier rekening mee bij het uitvoeren van analyses. Bij toepassing van warmtepompen met meerdere capaciteitsstrappen moet bij de analyses tevens rekening gehouden worden met andere prestaties in deellast (zie afbeelding 6.3);
4. De Primary Energy Ratio (PER) van de warmtelevering. De PER van de warmtelevering moet per periode bepaald worden door de totaal geleverde warmte (gemeten) te delen door de totaal benodigde primaire energie van de opwekkingsinstallatie. De benodigde primaire energie kan berekend worden aan de hand van het gemeten elektriciteitsverbruik van de opwekkingsinstallatie (kan ook negatief zijn als de WKK-unit meer opwekt, dan er voor de installatie wordt gebruikt) en het gemeten gasverbruik van de WKK-unit en eventuele ketels.



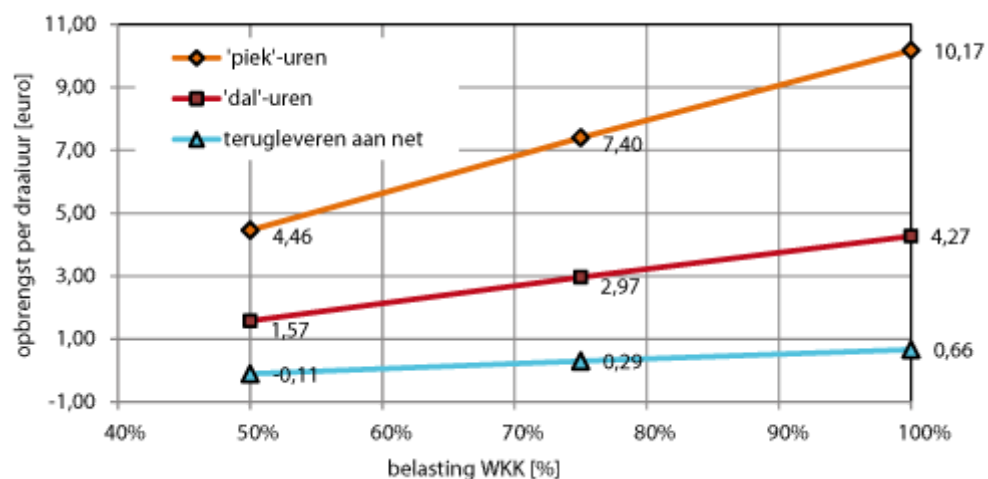
Afb. 6.3 Rendement van warmtepomp hangt af van temperatuurverschil tussen condensor en verdampers (X-as) en de capaciteit waarop de unit draait (Y-as)

Afhankelijk van de grootte van de installatie dienen bovenstaande aspecten één of meer keer per jaar in beeld gebracht worden. Ook kan overwogen worden om bijvoorbeeld rendementsberekeningen in de automatiseringsinstallatie onder te brengen. Naast de tijdsbesparing voor data- analyses kunnen afwijkingen ook eerder gesignaleerd worden.

### 6.3.2 Economisch functioneren

De energie-, onderhouds- en CO<sub>2</sub>-emissie tarieven zijn regelmatig aan verandering onderhevig. Daarom is het verstandig om bij een installatie met WKK-unit periodiek te evalueren wat de actuele rentabiliteit van de installatie is. Daaruit kan afgeleid worden of de huidige besturingsstrategie nog verbeterd kan worden, om zodoende een maximaal exploitatievoordeel te behouden.

Gebruik hiervoor Stap 2 van de economische analyse (paragraaf 2.7). De formules voor Stap 2 zijn in bijlage C weergegeven. Een voorbeeld van een uitkomst is in afbeelding 6.4 weergegeven.



Afb. 6.4 Controle van het economisch functioneren door opbrengst per draaiuur te berekenen  
 Indien gewenst kan ook de cashflow en bijvoorbeeld de netto contante waarde (her)berekend worden. Gebruik hiervoor Stap 4 (paragraaf 2.9) en de formules uit bijlage E.

# BIJLAGE A KENMERKEN WKK-UNITS

## Inleiding

In deze bijlage is een beschrijving van een WKK-unit gegeven (bron: Ener-G) gegeven. De informatie kan gebruikt worden om een compleet beeld te krijgen van de onderdelen, de kenmerken en randvoorwaarden van een WKK-unit.



Afb. A.1 Opgestelde WKK-unit; de kenmerken zijn in deze bijlage uiteengezet

De hier beschreven Warmte Kracht Koppeling (WKK) unit wordt aangedreven door een met aardgas gevoede viertakmotor met elektronische ontsteking die gekoppeld is aan een synchrone generator. De WKK module wekt gelijktijdig elektriciteit (50 Hz, 400V) en warmte op (90 °C). De hier weergegeven unit heeft een grote onderhoudsbeurt nodig na 30.000 draaiuren. Een grote revisiebeurt is nodig na 60.000 draaiuren.

## Prestaties

### Nominale vermogens

- Elektrisch vermogen 122 kW<sub>e</sub>;
- Thermisch vermogen 200 kW<sub>th</sub>;
- Brandstofverbruik (bij lagere calorische waarde) 357 kW.

De opgegeven nominale waarden voldoen aan ISO 3046/1 en gelden voor continubedrijf parallel aan het net. Wanneer een installatie in 'eilandbedrijf' wordt gebruikt, wordt geadviseerd om de maximale belasting te beperken tot 90% van het nominale elektrisch vermogen (aangenomen dat de vermogensfactor of cos phi van de aangesloten belasting niet lager is dan 0,9 inductief).

### Emissies

Emissiewaarden berekend op het droge rookgas: NO<sub>x</sub> -gehalte, gemeten als NO<sub>2</sub> < 100 g/GJ. Deze emissies zijn opgeven bij een referentie zuurstofpercentage van 5%.

### Normen

Het gas- en gascontrolesysteem is ontworpen met het oog op de vermelde IGE-regelingen.

- IGE/UP/1(Ed. 2) Testen en zuiveren van industriële en commerciële gasinstallaties;
- IGE/UP/2 Installatie van leidingen, boosters en compressoren in industriële en commerciële faciliteiten;
- IGE/UP/3 Met gas aangedreven motoren met vonkontsteking en dubbele brandstofmotoren;
- IGE/UP/4(Ed.2) In werking stellen van met gas aangedreven installatie in industriële en commerciële faciliteiten.

## Bouw van de unit

De unit is een geïntegreerd geheel, die op efficiënte en milieuvriendelijke wijze tegelijkertijd warmte en elektriciteit produceert. De gasmotor en de generator worden samengebouwd met een tussenhuis en vormt dan een z.g. 'monobloc'. De generatoraandrijftras wordt met behulp van een flexibele koppeling met het vliegwiel van de gasmotor verbonden. Het monobloc wordt op een gestaalde en gemeniede stalen fundatie gemonteerd d.m.v. trillingsisolatoren. Alle verdere verbindingen tussen het monobloc en het frame zijn flexibel uitgevoerd.

Onder het monobloc is een lekbak geïntegreerd in de stalen fundatie, met een capaciteit van circa 110% van de carterinhoud en de smeerolie suppletietank. Alle componenten zijn zodanig gemonteerd, dat onderhoud en reparaties op een eenvoudige wijze kunnen worden uitgevoerd. Alle draaiende delen worden voorzien van adequate afscherming om aanraking te voorkomen, conform de CE machinerichtlijnen. Fundatieframe, pijpmateriaal e.d. zijn gestraald en gemenied voor verwerking. De module wordt afgewerkt met een glansverf in de standaard kleuren.



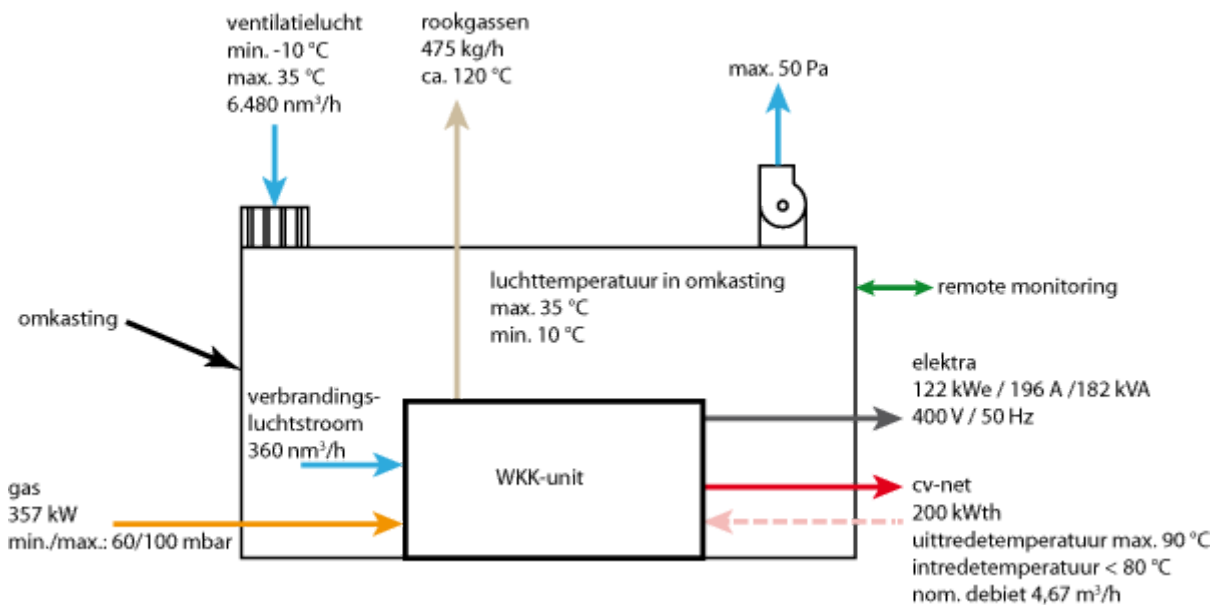
Afb. A.2 Nieuwe WKK-unit; de kenmerken zijn in deze bijlage uiteengezet

De unit is primair ontworpen om te functioneren als een zelfstandige eenheid met een automatische regeling die weinig of geen toezicht vereist. Tevens biedt de unit de mogelijkheid voor lokaal handmatig bedrijf.

De hoofdcomponenten van het systeem zijn:

- De gasmotor;
- De synchrone generator;
- Het warmteterugwinningssysteem;
- Het rookgasafvoersysteem;
- Het gastoevoersysteem;
- De akoestische behuizing;
- Het controle-, beveiligings- en bewakingssysteem.

Deze onderdelen worden hierna verder uitgewerkt. In afbeelding A.3 is een schema opgenomen van een WKK-unit met omkasting. In dit schema zijn de belangrijkste parameters van de hier behandelde unit weergegeven.



Afb. A.3 Schema WKK-unit met omkasting en belangrijkste kenmerken

Merk op dat de intredetemperatuur van de ventilatielucht tot -10 °C mag dalen. De temperatuur in de omkasting moet echter (door de vrijkomende warmte vanaf de unit) boven de 10 °C blijven. De lucht is anders te koud om als verbrandingslucht te kunnen dienen.

## Gasmotor

De motor is een met gas aangedreven viertaktmotor met elektronische ontsteking.

De apparatuur voor het motorsysteem bestaat uit de volgende onderdelen:

- Een verbrandingsluchtfILTER met droog element;
- Een gas regelklep met een venturi menger in het inlaatspruitstuk;
- Een gesloten carterontluchting met olie afscheider;
- Individuele elektronische ontsteking per cilinder;
- Een smeeroilie suppletiesysteem voor automatische bijvulling van smeeroilie tijdens bedrijf tussen de service-intervallen;
- Een gesloten koelwatercircuit.

### *Motorgegevens*

- Motortype: zuigermotor;
- Verbrandingscyclus: viertakt met elektronische ontsteking;
- Aantal cilinders: zes in lijn;
- Motortoerental: 1500 1/min;
- Verbrandingslucht toevoer: atmosferisch;
- Interkoeler (max. intrede temp.): n.v.t.;
- Verbrandingsluchtstroom: 360 nm<sup>3</sup>/h;
- Brandstof: aardgas.

### *Startsysteem*

De gasmotor is voorzien van een 24 V elektrisch start systeem waarbij de startmotor op de vliegwielenbehuizing is gemonteerd. De startmotor wordt met behulp van een 24 V startrelais ingeschakeld. Twee onderhoudsarme accu's leveren de benodigde 24 V gelijkstroom. De accu's zijn binnen de akoestische behuizing aangebracht en worden op spanning gehouden door een automatische acculader die vanuit het net wordt gevoed.

### *Motorsmering*

Om de continue werking van de WKK-unit te waarborgen wordt de smeeroilie in het motorcarter met een automatisch suppletiesysteem op een optimaal niveau gehouden. Hiervoor is een smeeroilie suppletietank in de WKK-module gemonteerd. Door een vlotterniveauschakelaar wordt het smeeroilieniveau in de motor geregeld. De tank zelf heeft een eigen olieniveau beveiliging. Om de motor verder te beschermen is er een drukbeveiliging op het oliesysteem van de motor aangebracht.

### *Verbrandingslucht toevoer*

Verbrandingslucht wordt via een gescheiden toevoersysteem (via een verwisselbaar filterelement) naar de gas-lucht menger geleid. Het toevoerkanaal voor de verbrandingslucht is voorzien van een akoestische demper, waarbij verbrandingslucht van buiten de WKK-unit wordt aangezogen.

## Generator

De toegepaste generator is van een synchroon, 4-polig, borstelloos type met een tegen spatwater beschermende behuizing. De generator is gebouwd volgens de vereisten van BS EN 60034. De generator wordt zodanig overgedimensioneerd dat wikkeltemperaturen worden gereduceerd, het rendement wordt geoptimaliseerd en de spanningsstabiliteit wordt verhoogd (vooral belangrijk in 'eilandbedrijf'). De generator is hierbij geschikt voor de meest voorkomende thyristors en andere niet-lineaire belastingen.

De generator biedt verder het volgende:

- Elektronische spanningsregelaar;
- Spanningsaanpassing  $\pm 5\%$  ten opzichte van de nominale instelling;
- Statische spanningsconstante  $\pm 1,5\%$  ten opzichte van de nominale instelling;
- Elektronische regelaar voor cos phi (deze is middels een potentiometer instelbaar tussen 0,8 en 1 inductief);
- Een droopkit t.b.v. de cos phi regelaar (bij parallelbedrijf is een cos-phi regelaar nodig voor juiste spanningsregeling; een cos-phi regelaar is traag waardoor kort na parallel schakelen onvoldoende wordt gecorrigeerd; een droopkit/drooptrafo kan de traagheid van de cos-phi regelaar compenseren).



### *Generatorgegevens*

- Type: synchroon;
- Stroom (bij nom. Vermogen): 196 A;
- Vermogen: 182 kVA;
- Synchrone toerental: 1500 1/min;
- Spanning: 400 V;
- Temperatuurstijgingsklasse: klasse F;
- Frequentie: 50 Hz;
- Beschermingsklasse: IP23.

### **Warmteterugwinning**

Met het gesloten primaire watercircuit wordt warmte teruggewonnen uit de motor, de smeerolie en de rookgassen.

De watertemperatuur van het primaire koelsysteem wordt geregeld met een thermostatische klep. Deze klep regelt de motorwatertemperatuur bij (eventueel) wisselende CV-aanvoer temperaturen naar de WKK installatie.

Het primaire systeem voor warmteterugwinning bestaat uit de volgende hoofdonderdelen:

- Elektrische pomp voor primaire watercirculatie;
- Expansievat;
- Overdrukbeveiliging;
- Vul- en aftapfaciliteit;
- Flexibele aansluitingen op de motor;
- Automatische ontluchting;
- Manometer;
- Watertemperatuursensoren voor meting en beveiliging;
- Thermostatische regelklep;
- Rookgaskoeler;
- Platenwisselaar voor primaire/secundaire systeem.

Het systeem is gevuld met een antivriesmiddel in een concentratie van minimaal 30% om het systeem tot -10 °C tegen vorst te beschermen.

Een speciale flexibele roestvrij stalen verbinding koppelt het uitlaatspruitstuk van de motor met de rookgassenkoeler. Uitlaatgassen worden in de rookgassenkoeler gekoeld tot ongeveer 120 °C. Dit is boven het condensatiepunt van de uitlaatgassen. De rookgassenkoeler heeft een overcapaciteit van circa 10% om rekening te houden met vervuiling (omdat de vervuiling een grote invloed heeft op de efficiëntie, wordt daarom soms ook wel een overcapaciteit van 15 tot 20% gehanteerd).

De rookgassenkoeler is in het primaire watercircuit geplaatst zodat deze niet in contact komt met CV water van (mogelijk) wisselende kwaliteit. De primaire waterleidingen en warmtewisselaars zijn geïsoleerd met het oog op een maximale warmteterugwinning en minimaal warmteverlies in de WKK-behuizing.

De WKK-warmte wordt via een platenwisselaar overgedragen naar het secundaire watersysteem van de eindgebruiker. De platenwisselaar zorgt hierbij voor een hydraulische scheiding tussen het primaire en secundaire watercircuit. Deze hydraulische scheiding voorkomt dat beide circuits met elkaar in contact komen. Dit vereenvoudigt het onderhoud en vergroot verder de betrouwbaarheid van de installatie.

Een separate elektrische waterpomp dient te worden opgenomen in het CV aanvoer systeem naar de WKK unit. De WKK unit voorziet wel in een standaard elektrische voeding voor deze pomp. De units worden standaard ontworpen voor CV-intredetemperaturen tot 80 °C bij de nominale volumestroom in het CV-net.

### *CV zijdige aansluiting*

- Thermische capaciteit: 210 kW;
- Nominale debiet: 4,67 m<sup>3</sup>/h;
- Nominale CV water in temperatuur: 80 °C;
- Maximale CV water in temperatuur: 80 °C;
- Nominale CV water uit temperatuur: 90,5 °C;
- Drukval platenwisselaar bij nominaal debiet 35 kPa;



- Maximaal toegestane statische druk 6,5 bar;
- Standaard aansluiting maat 50 NS;
- Standaard aansluiting flens type PN6.

### **Rookgasafvoer**

De rookgassen van de gasmotor worden via de rookgaskoeler naar buiten gevoerd. Buiten de WKK module dienen hierop uitlaatdempers te worden aangebracht. Dit betreft normaliter een resonantie en absorptiedemper. Deze dempers kunnen optioneel los worden toegeleverd voor installatie op de locatie.

#### *Rookgaszijdige aansluiting*

- Nominale temperatuur na de module: 120 + 20 °C;
- Nominaal debiet: 475 kg/h;
- Maximale toelaatbare tegendruk na de module: 2.500 Pa;
- Standaard aansluiting maat 100 NS;
- Standaard aansluiting flens type PN6.

### **Gastoevoer**

Het gastoevoer systeem van de WKK module is geschikt voor een minimale gasdruk van 60 mbar en een maximale gasdruk van 100 mbar (bij nominaal vermogen). De apparatuur is aangebracht binnen de akoestische behuizing en met flexibele leidingen aangesloten op de gasmenger op de motor.

De gasapparatuur bestaat standaard hoofdzakelijk uit:

- Dubbele afsluitklep met elektromagneet;
- Lage druk beveiliging;
- Hoge druk beveiliging (optioneel);
- Nuldrukregelaar;
- Hulpcompensatie voor starten;
- Flexibele slang voor gasaansluiting (tussen motor en gasstraat);
- Gas-luchtmenger;
- Instelschroef voor gas-luchtmenging.

#### *Gaszijdige aansluiting*

- Nominaal gas hoeveelheid: 357 kW;
- Minimale druk: 60 mbar;
- Maximale druk: 100 mbar;
- Standaard aansluiting maat: 40 NS;
- Standaard aansluiting flens type: Male BSP.

### **Behuizing**

De unit behuizing staat op een stalen frame met geluid gedempte afsluitpanelen en -deuren. Omdat de deuren eenvoudig kunnen worden geopend en eventueel verwijderd is de behuizing goed toegankelijk voor reparaties en onderhoud. De ventilatielucht wordt door middel van een ventilator via een geïntegreerde coulissedemper de behuizing binnengezogen. De verbrandingslucht wordt middel een afgescheiden systeem door de motor binnengezogen via een aparte demper die zich op de bovenkant van de behuizing bevindt.

De behuizingen zijn standaard ontworpen voor een norm van 75 dB(A) op 1 m (vrije veld condities). Er zijn opties beschikbaar voor 70 dB(A) en 65 dB(A).

De ventilatielucht wordt normaal gesproken via de luchttoevoer van de behuizing gevoerd en wordt door een ander kanaal weggevoerd door de behuizingsventilator. Het kan nodig zijn extra coulissedempers aan te brengen om bij de luchttoevoer en luchtafvoer een bepaald gewenst geluidsniveau te realiseren.

Normaliter wordt de ventilatie en verbrandingslucht uit de ruimte waarin de WKK staat opgesteld betrokken. Deze ruimte dient dan wel voorzien te zijn van adequate ventilatie. De (warme) ventilatielucht wordt normaal gesproken via kanaalwerk via een muurrooster of dakkap naar buiten afgevoerd.

Het ontwerp van de standaardventilator voor ventilatie van de behuizing is berekend op enig extra drukverlies buiten de WKK-unit. Als extra druk vereist is, is er een speciale ventilator nodig.

#### *Ventilatiezijdige aansluiting*

- Maximale toevoertemperatuur: 35 °C;
- Minimale toevoertemperatuur: -10 °C;
- Debiet ventilatielucht: 1,8 nm<sup>3</sup>/s;
- Maximale externe druk standaardventilator voor ventilatie: 50 Pa;
- Standaard aansluiting ventilatielucht inlaat: 800 bij 250 mm;
- Standaard aansluiting ventilatielucht uitlaat: rond 500 mm.

#### *Gegevens over verbrandingslucht*

- Maximale toevoertemperatuur: 35 °C;
- Minimale toevoertemperatuur: 10 °C;
- Debiet verbrandingslucht: 360 nm<sup>3</sup>/h.

#### *Afmetingen van WKK-unit incl. behuizing*

- Lengte van unit: 3.600 mm;
- Breedte van unit: 800 mm;
- Hoogte van unit (inclusief ventilator): 2.030 mm;
- Gewicht van unit (afgevuld met koelwater): 4.600 kg.

### **Controle en beveiliging**

Het automatiserings- en elektrische systeem van de unit is aangebracht in een paneel dat deel uitmaakt van de behuizing. Het paneel is speciaal ontworpen voor de controle en bescherming van de WKK-unit en voldoet aan de GASTEC en VISA eisen.

De belangrijkste regelingen zijn:

- Elektrisch vermogen;
- Thermisch vermogen;
- Import- en export (optioneel);
- Noodbedrijf (optioneel).

Het systeem voor afstandsbewaking verzamelt continu gegevens en kan worden aangesloten op een centrale desk van de leverancier. Hierdoor kan de unit op afstand bestuurd worden en kunnen instellingen desgewenst worden gewijzigd. Twee onderhoudsvrije accu's van 12 V aangebracht in het bedieningspaneel - en gevoed door een eigen acculader - voorziet het besturingssysteem van spanning.

#### *Besturingspaneel*

De belangrijkste componenten in het besturingspaneel zijn:

- Afstandsbewaking en management systeem;
- Controlecircuits voor veiligheid;
- Modem voor datacommunicatie;
- Klemmenstrook voor externe aansluitingen;
- Motorstarters;
- Noodstroomvoorziening (24 V gelijkstroom);
- Accu-opladers;
- Wandcontactdoos van 230 V voor onderhoudsdoelen;
- Geheugen voor operationele data;
- Potentiaal vrije contacten voor de interface met andere apparatuur;
- Schakelaar voor synchronisatie van de generator met het net;
- Veiligheidscircuits;
- Stroomtrafo's om de generatorstroom te meten.

### *Kastdeur*

Er zijn op de kastdeuren diverse schakelaars, lampjes en displays geïnstalleerd.

Het gaat hierbij om:

- Systeemdials (al naar gelang de optie);
- Noodstopknop;
- Hoofdschakelaar (kast volledig spanningloos).

### *Afstandsbewaking (Remote Monitoring System)*

De installatie heeft een uniek computergestuurd management-, beveiligings- en bewakingssysteem. Met het systeem wordt het starten van de motor gecontroleerd, wordt de generator gesynchroniseerd met het elektriciteitsnet en wordt het motorvermogen alsmede het toerental geregeld.

Dit proces kan op afstand worden bewaakt en gecontroleerd. Met dit systeem voor afstandsbewaking worden meer dan 70 gebruikspareters continu gemonitord om het systeem thermisch, mechanisch en elektrisch te controleren en worden alle aflezingen periodiek in het eigen geheugen opgeslagen. Via het systeem voor afstandsbewaking is de unit aangesloten op de centrale van de leverancier. Er zijn diverse verbindingsopties beschikbaar, zoals; analoog modem, ISDN, GSM, en GPRS.

### *Beveiliging*

De generator wordt aangesloten op het elektriciteitsnet conform de gestelde aansluitvoorwaarden. Een en ander conform de gedetailleerde adviezen voor de juiste beveiliging van kleinschalige opwekking bij een gemeenschappelijk LV aansluiting (Low Voltage aansluiting).

De beveiligingsitems bij LV aansluiting zijn:

- Onder-/overspanning: toevoerbeveiliging. De vereisten vanuit de netbeheerder zijn meestal  $\pm 6\%$  tot  $\pm 10\%$  ten opzichte van nominaal, al naar gelang de netbeheerder en de mogelijkheid om stroom vanaf de locatie te exporteren;
- Onder-/overfrequentie (beveiliging, specificatie meestal  $+1\%$   $-4\%$ );
- Beveiliging tegen overspanning (generatorbeveiliging);
- Retourvermogen (toevoer - of generatorbeveiliging; de interpretatie van het energiebedrijf van retourvermogen wisselt, exporteren van de locatie naar het netwerk of de motor aandrijven met de generator);
- Elektriciteitsstoring (beveiliging van toevoer en generator).

### *Opties*

Tot slot zijn er nog een aantal opties voor de standaard unit beschikbaar.

Deze zijn:

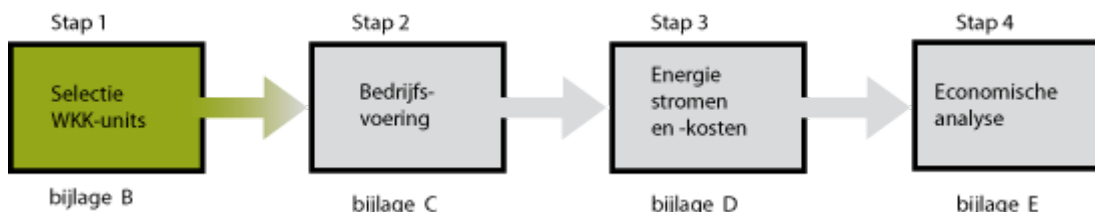
- Akoestische container voor een buitenopstelling;
- Absorptiekoeling voor koude opwekking;
- 'Eiland' modus;
- Noodstroomfunctie;
- Warmte- en gasmeting;
- Import-export regeling;
- Noodkoeling inclusief controleapparatuur;
- Uitlaatdempers;
- Trilvrijframes voor speciale toepassingen;
- Katalysator (specifieke emissie eisen);
- Lambda regelaar.



# BIJLAGE B SELECTIE WKK-UNITS OP BASIS VAN DE ENERGIEVRAAG (STAP 1)

## Inleiding

In deze bijlage is uitgewerkt hoe de grootte van het verwarmingsvermogen van de WKK-unit kan worden berekend, zie afbeelding B.1. Hiervoor moet bekend zijn wat de warmte-, elektriciteits- en eventueel koudevraag, per uur is. De koudevraag is nodig voor het berekenen van de benodigde warmte van een warmtegedreven koelproces.



Afb. B.1 Stappen die doorlopen moeten worden om tot een optimale keuze voor een installatie met WKK-unit te komen; in deze bijlage wordt Stap 1 in detail uitgewerkt  
In tabel B.1 is een overzicht gegeven van de benodigde waarden.

Tabel B.1 Voorbeeld benodigde input voor berekening bijdrage WKK

Datum [dd-mm-jjjj]	Tijd [hh]	Warmtevraag					Elektra vraag			
		Ruimten [kWh]	Ventilatielucht [kWh]	Tapwater [kWh]	Warmte gedr. koelproces [kWh]	Totaal [kWh]	Installatie [kWh]	Gebouw gebonden [kWh]	Gebruikers [kWh]	Totaal [kWh]
1-1-2025	0:00	453	163	9	0	625	73	42	112	227
1-1-2025	1:00	509	171	10	0	690	71	41	117	229
1-1-2025	2:00	513	172	9	0	694	78	41	106	225
1-1-2025	3:00	466	165	10	0	641	75	41	116	232
1-1-2025	4:00	500	170	9	0	679	74	42	120	236
1-1-2025	5:00	526	174	53	0	753	68	43	123	234
1-1-2025	6:00	516	173	71	0	760	73	44	148	265
1-1-2025	7:00	535	175	104	0	814	82	45	135	262

Het is niet noodzakelijk dat alle posten afzonderlijk bekend zijn. Als uiteindelijk de totale warmte- en elektriciteitsvraag per uur bekend zijn, is dat voldoende. De gegevens kunnen door middel van metingen of (simulatie) berekeningen of vanuit referentie patronen verkregen worden. Dit is uitgewerkt in paragraaf 2.6.

## Selectie WKK-unit

Zoals in paragraaf 2.6.5 is aangegeven, wordt de keuze voor de grootte van het vermogen bijna altijd op basis van economische gronden genomen. In deze situaties zal het vermogen van de WKK-unit ontworpen worden op een deel van het nominale verwarmingsvermogen. Hierdoor levert de WKK-unit de basislast van de benodigde warmte en zal het aantal vollasturen groot zijn. Tevens kan het aantal starts hierdoor beperkt blijven.

Om de WKK-unit te kunnen dimensioneren is in eerste instantie een jaarbelastingduurkromme nodig. Hiermee kunnen de kaders van het vermogen van de unit wordt vastgesteld.

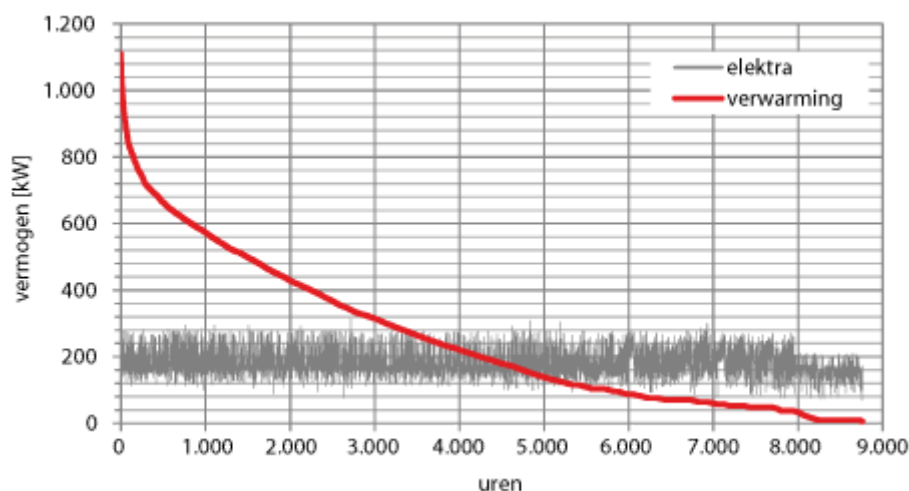
De jaarbelastingduurkromme wordt als volgt opgesteld.

1. Bepaal per uur de totale warmte- en elektriciteitsvraag, zie tabel B.1;
2. Rangschik de gegevens op basis van de warmtevraag van hoog naar laag. Het rangschikken moet **gelijktijdig** voor de warmte- en elektriciteitsvraag plaatsvinden, zie tabel B.2. De elektriciteitsvraag mag dus niet apart gerangschikt worden van hoog naar laag;

- Plaats de gegevens in een grafiek. Een voorbeeld van een resultaat is in afbeelding B.2 weergegeven. De elektriciteitsbehoefte is hier weergegeven als een indicatie voor het verkrijgen van inzicht in de hoogte van de vraag.

Tabel B.2 Voorbeeld gerangschikte data op basis van de warmtevraag; de elektravraag is mee gerangschikt, maar niet apart van de warmtevraag

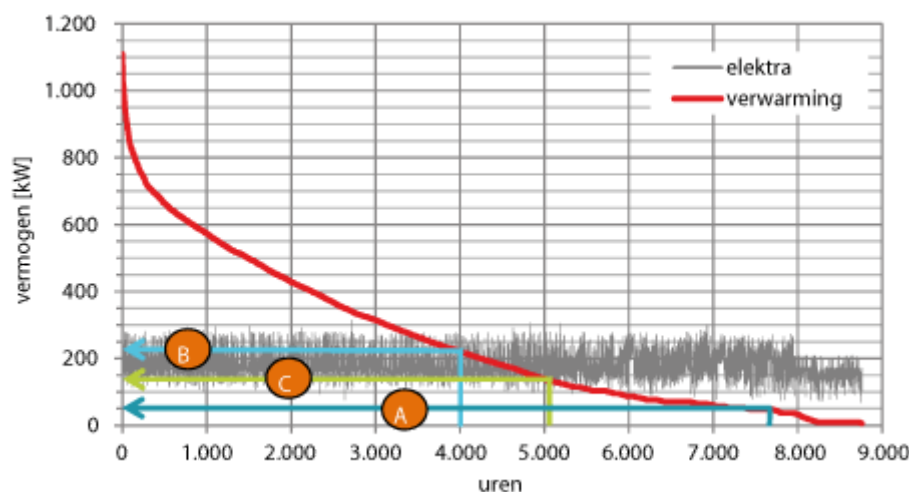
Datum [dd-mm-jjjj]	Tijd [hh]	Warmtevraag totaal [kWh]	Elektra vraag totaal [kWh]
1-1-2025	7:00	814	262
1-1-2025	6:00	760	265
1-1-2025	5:00	753	234
1-1-2025	2:00	694	225
1-1-2025	1:00	690	229
1-1-2025	4:00	679	236
1-1-2025	3:00	641	232
1-1-2025	0:00	625	227



Afb.B.2 Voorbeeld jaarbelastingduurkromme, gesorteerd op basis van het verwarmingsvermogen. Let op alleen de belasting voor verwarmen is afhankelijk van de grootte van het vermogen geordend van hoog naar laag

#### Programmafase

In de programmafase is het voldoende om één WKK-unit te selecteren. Hiermee kan onderzocht worden of toepassing van een installatie met WKK-unit(s) economisch aantrekkelijk is. Kies voor dit onderzoek een unit (C), waarbij het vermogen ongeveer tussen een unit met maximale capaciteit (B) en minimale capaciteit (A) inligt, zie afbeelding B.3.



### Afb. B.3 Voorbeeld jaarbelastingduurkromme met diverse uitgangspunten thermische vermogen

#### WKK-unit

##### *Ontwerpfase*

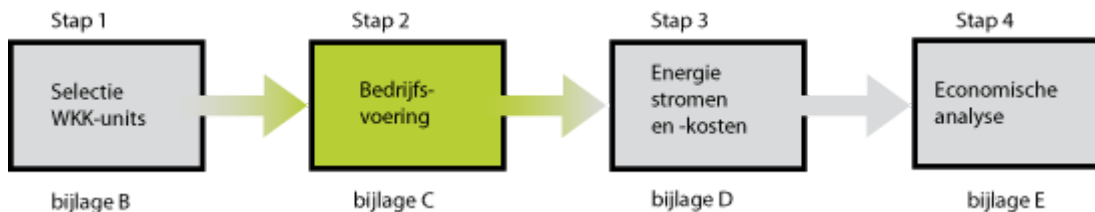
In de ontwerpfase moet de grootte van de door te rekenen units zorgvuldig gekozen worden. In eerste instantie moet er een 'grote' en 'kleine' unit gekozen worden: (A) en (B). Op basis hiervan wordt eventueel een unit gekozen die qua capaciteit tussen deze units in ligt. De selectie criteria hiervoor zijn in paragraaf 3.6.1 uitgewerkt.





## BIJLAGE C BEDRIJFSVOERING OP BASIS VAN RENTABILITEIT PER DRAAIUUR (STAP 2)

In deze bijlage is uitgewerkt hoe de rentabiliteit van een installatie met WKK per draaiuur berekend kan worden. Hiermee kan de besturingsstrategie afgeleid worden, zie afbeelding C.1. Om deze berekening te kunnen maken is informatie nodig uit de berekeningen die in bijlage B zijn gemaakt.



Afb. C.1 Stappen die doorlopen moeten worden om tot een optimale keuze voor een installatie met WKK-unit te komen; in deze bijlage wordt Stap 2 in detail uitgewerkt

Als eerste zijn de benodigde formules weergegeven. Daarna is een overzicht gegeven van de benodigde gegevens. Tenslotte is er een voorbeeld berekening opgenomen.

### Formules

#### Gasverbruik referentie-installatie

$V_{\text{gas,ref}} = \frac{Q_{\text{cv-net}}}{\eta_{\text{ketel}} \cdot \frac{H_i}{3.600}}$	[m³]	(C.1)
--	------	-------

Waarin:		
V <sub>gas,ref</sub>	= gasverbruik referentie-installatie	[m³]
Q <sub>cv-net</sub>	= warmtevraag CV-net	[kWh]
η <sub>ketel</sub>	= rendement ketel, gebaseerd op calorische onderwaarde	[%]
H <sub>i</sub>	= calorische onderwaarde aardgas	[kJ/m³]

- Het kan zijn dat bij een (referentie)project voor de verwarming gewerkt moet worden met componenten die elektrisch aangedreven worden. Bereken in dat geval het elektriciteitsverbruik van het betreffende component;
- Als bij de installatie met WKK een warmtegedreven koelproces aanwezig is, dan moet bij de referentie-installatie ook het energiegebruik van dit proces erbij opgeteld worden.

#### Energiekosten referentie-installatie

$K_{\text{energie,ref}} = V_{\text{gas,ref}} \cdot K_{\text{gas,ref}} + E_{\text{ref,installatie}} \cdot K_{\text{elektra,piek of dal}} + E_{\text{gebouw}} \cdot K_{\text{elektra,piek of dal}}$	[euro]	(C.2)
---	--------	-------

Waarin:		
K <sub>energie,ref</sub>	= energiekosten referentie-installatie	[euro]
V <sub>gas,ref</sub>	= gasverbruik referentie-installatie	[m³]
K <sub>gas,ref</sub>	= gaskosten referentie-installatie	[euro/m³]
E <sub>ref,installatie</sub>	= elektriciteitsverbruik referentie-installatie	[kWh]
E <sub>gebouw</sub>	= elektriciteitsverbruik gebouw (exclusief referentie installatie)	[kWh]
K <sub>elektra, piek of dal</sub>	= elektrakosten tijdens het piek- respectievelijk daltarief	[euro/kWh]

### Onderhoudskosten referentie-installatie

Konderhoud,ref = Konderhoud,verw.,ref + Konderhoud,koeling,ref	[euro]	(C.3)
--	--------	-------

Waarin:			
Konderhoud,ref	=	onderhoudskosten referentie installatie in de beschouwde periode	[euro]
Konderhoud,verw.,ref	=	onderhoudskosten referentie verwarmingsinstallatie in de beschouwde periode (bijv. per uur)	[euro]
Konderhoud,koeling,ref	=	onderhoudskosten referentie koelinstallatie in de beschouwde periode (bijv. per uur) (indien van toepassing)	[euro]

### Totale energie- en onderhoudskosten referentie-installatie

Kexploitatie,ref = Kenergie,ref + Konderhoud,ref	[euro]	(C.4)
--	--------	-------

Waarin:			
Kexploitatie,ref	=	energie- en onderhoudskosten referentie-installatie in de beschouwde periode	[euro]
Kenergie,ref	=	energiekosten referentie-installatie	[euro]
Konderhoud,ref	=	onderhoudskosten referentie installatie	[euro]

### Gasverbruik installatie met WKK

$V_{\text{gas,WKK-unit}} = \frac{Q_{\text{WKK-unit}}}{\eta_{\text{th,WKK}} \cdot \frac{H_i}{3.600}}$	[m³]	(C.5)
$V_{\text{gas,ketels}} = \frac{Q_{\text{ketels}}}{\eta_{\text{ketels}} \cdot \frac{H_i}{3.600}}$	[m³]	(C.6)

Waarin:			
Vgas,WKK-unit	=	gasverbruik WKK-unit	[m³]
QWKK-unit	=	bijdrage WKK in de warmtelevering	[kWh]
ηth,WKK	=	thermisch rendement WKK, gebaseerd op calorische onderwaarde	[%]
Vgas,ketels	=	gasverbruik voor- of naverwarmers, bijvoorbeeld ketels	[m³]
Qketels	=	bijdrage ketels (voor of naverwarmer(s)) in de warmtelevering	[kWh]
ηketels	=	rendement ketels (voor of naverwarmer(s)), gebaseerd op calorische onderwaarde	[%]
Hi	=	calorische onderwaarde aardgas	[kJ/m³]

### Elektraverbruik installatie met WKK

$E_{WKK,inst} = - \frac{Q_{WKK-unit} \cdot \eta_{el,WKK}}{\eta_{th,WKK}} + E_{warmteafvoer} + E_{verw.install.} + E_{koelproces} + E_{gebouw}$	[kWh]	(C.7)
--	-------	-------

Waarin:		
EWKK,inst	= elektriciteitsverbruik installatie met WKK (negatief betekend dat er meer elektriciteit wordt opgewekt, dan er wordt verbruikt)	[kWh]
QWKK-unit	= bijdrage WKK in de warmtelevering	[kWh]
$\eta_{el,WKK}$	= elektrisch rendement WKK, gebaseerd op calorische onderwaarde	[%]
$\eta_{th,WKK}$	= thermisch rendement WKK, gebaseerd op calorische onderwaarde	[%]
Ewarmteafvoer	= elektriciteitsverbruik warmteafvoerinstallatie(s) (indien van toepassing)	[kWh]
Everw.install.	= elektriciteitsverbruik verwarmingsinstallatie (voor- en naverwarmers) (indien van toepassing)	[kWh]
Egebouw	= elektriciteitsverbruik gebouw (exclusief installatie)	[kWh]
Ekoelproces	= elektriciteitsverbruik koelproces (indien van toepassing)	[kWh]

#### Inkoop of verkoop van elektra, installatie met WKK

Eteruglever = min (EWKK,inst,0)	[kWh]	(C.8)
Einkoop,WKK,inst = max (EWKK,inst,0)	[kWh]	(C.9)

Waarin:		
Eteruglever	= hoeveelheid elektriciteit die aan het openbare elektriciteitsnet terug geleverd wordt	[kWh]
Einkoop,WKK,inst	= hoeveelheid elektriciteit die ingekocht moet worden	[kWh]
EWKK,inst	= elektriciteitsverbruik installatie met WKK	[kWh]

#### Energiekosten installatie met WKK

$K_{gas,WKK,inst} = V_{gas,WKK-unit} \cdot K_{gas,WKK} + V_{gas,ketels} \cdot K_{gas,ref}$	[euro]	(C.10)
$K_{elektra,WKK,inst} = E_{inkoop,WKK,inst} \cdot K_{elektra,piek\ of\ dal} + E_{teruglever} \cdot K_{elektra,verkoop,piek\ of\ dal}$	[euro]	(C.11)
$K_{energie,WKK,inst} = K_{gas,WKK,inst} + K_{elektra,WKK,inst}$	[euro]	(C.12)

Waarin:		
Kenergie,WKK,inst	=	energiekosten installatie met WKK [euro]
Kgas,WKK,inst	=	gaskosten installatie met WKK [euro]
Kelektra,WKK,inst	=	elektriciteits kosten of opbrengst installatie met WKK [euro]
Vgas,WKK-unit	=	gasverbruik WKK-unit [m <sup>3</sup> ]
Kgas,WKK	=	gaskosten voor WKK-unit [euro/m <sup>3</sup> ]
Vgas,ketels	=	gasverbruik voor- of naverwarmers, bijvoorbeeld ketels [m <sup>3</sup> ]
Kgas,ref	=	gaskosten referentie-installatie [euro/m <sup>3</sup> ]
Einkoop,WKK,inst	=	hoeveelheid elektriciteit die ingekocht moet worden [kWh]
Kelektra, piek of dal	=	elektrakosten tijdens het piek- respectievelijk daltarief [euro/kWh]
Eteruglever	=	hoeveelheid elektriciteit die aan het openbare elektriciteitsnet terug geleverd wordt [kWh]
Kelektra,verkoop,piek of dal	=	elektra opbrengst tijdens het piek- respectievelijk daltarief [euro/kWh]

#### Onderhoudskosten installatie met WKK

Konderhoud,WKK,inst = Konderhoud,WKK-unit + Konderhoud,ketels + Konderhoud,koeling	[euro]	(C.13)
--	--------	--------

Waarin:		
Konderhoud,WKK,inst	=	onderhoudskosten installatie met WKK in de beschouwde periode [euro]
Konderhoud,WKK-unit	=	onderhoudskosten WKK-unit in de beschouwde periode (bijv. per uur) [euro]
Konderhoud,ketels	=	onderhoudskosten verwarmingsinstallatie (voor- of naverwarmers, bijvoorbeeld ketels) in de beschouwde periode (bijv. per uur) (indien van toepassing) [euro]
Konderhoud,koeling	=	onderhoudskosten referentie koelinstallatie in de beschouwde periode (bijv. per uur) (indien van toepassing) [euro]

#### Totale energie- en onderhoudskosten installatie met WKK

Kexploitatie,WKK,inst = Kenergie,WKK,inst + Konderhoud,WKK,inst	[euro]	(C.14)
---	--------	--------

Waarin:		
Kexploitatie,WKK,inst	=	energie- en onderhoudskosten installatie met WKK in de beschouwde periode [euro]
Kenergie,WKK,inst	=	energiekosten installatie met WKK [euro]
Konderhoud,WKK,inst	=	onderhoudskosten installatie met WKK [euro]

#### Verskil in energie- en onderhoudskosten tussen referentie-installatie en installatie met WKK

Kexploitatie,verschil = Kexploitatie,ref - Kexploitatie,WKK,inst	[euro]	(C.15)
--	--------	--------

Waarin:			
Kexploitatie,verschil	=	verschil in energie- en onderhoudskosten tussen referentie-installatie en installatie met WKK in de beschouwde periode	[euro]
Kexploitatie,ref	=	energie- en onderhoudskosten referentie-installatie in de beschouwde periode	[euro]
Kexploitatie,WKK,inst	=	energie- en onderhoudskosten installatie met WKK	[euro]

Tabel C.1 Benodigde gegevens

Symbol	Omschrijving	Waarde1)	Eenheid
Hi	energie inhoud aardgas, gebaseerd op calorische	8,797	[kWh/m <sup>3</sup> ]
	onderwaarde	31.669	[kJ/m <sup>3</sup> ]
Kelektra,piek	elektriciteitstarief tijdens de uren dat het piektarief geldt	0,11	[€/kWh]
Kelektra,dal	elektriciteitstarief tijdens de uren dat het daltarief geldt	0,07	[€/kWh]
Kelektra,verkoop,piek	vergoeding voor elektriciteit ('piek-uren') die aan het openbare net geleverd wordt	0,04	[€/kWh]
Kelektra,verkoop,dal	vergoeding voor elektriciteit ('dal-uren') die aan het openbare net geleverd wordt	0,04	[€/kWh]
Kgas,WKK	aardgas tarief voor een WKK-installatie	0,23	[€/m <sup>3</sup> ]
Kgas, ref	aardgas tarief voor een referentie-installatie (bijvoorbeeld ketels)	0,33	[€/m <sup>3</sup> ]
Konderhoud,WKK-unit	onderhoudskosten per draaiuur van een WKK	1,25	[€/hh]
Konderhoud,ketel	onderhoudskosten per draaiuur van een ketel	0,10 – 0,13	[€/hh]
$\eta_{th,ref}$	rendement warmteopwekking referentie installatie (bijv. ketels), gebaseerd op onderwaarde	0,94	[-]
$\Phi_{th,wkk,50\%}$	thermisch vermogen WKK bij 50% belasting	942)	[kW]
$\Phi_{th,wkk,75\%}$	thermisch vermogen WKK bij 75% belasting	1162)	[kW]
$\Phi_{th,wkk,100\%}$	thermisch vermogen WKK bij 100% belasting	140	[kW]
$\eta_{th,wkk,50\%}$	thermisch rendement WKK, bij 50% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,5632)	[-]
$\eta_{th,wkk,75\%}$	thermisch rendement WKK, bij 75% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,532)	[-]
$\eta_{th,wkk,100\%}$	thermisch rendement WKK, bij 100% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,511	[-]
$\eta_{el,wkk,50\%}$	elektrisch rendement WKK, bij 50% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,2642)	[-]
$\eta_{el,wkk,75\%}$	elektrisch rendement WKK, bij 75% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,3032)	[-]
$\eta_{el,wkk,100\%}$	elektrisch rendement WKK, bij 100% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,319	[-]
COPWA,WKK3)	rendement (COP) warmteafvoersysteem WKK	20	[-]
nomzetting3)	omzetverhouding warmtegedreven koelproces (hoeveelheid koude/hoeveelheid warmte)	0,67	[kWk/kWw]
COPcond.warmte3)	rendement (COP) condensorwarmte afvoer	20	[-]
$\epsilon_{ref,koeling3)}$	rendement ( $\epsilon$ ) van referentie koelproces	3,5	[-]
1) Wordt gebruikt voor voorbeeldberekening. 2) Alleen nodig als de capaciteit van de WKK-unit gevarieerd gaat worden. 3) Deze onderdelen zijn alleen nodig als er een warmteafvoersysteem gekozen is of als er een warmtegedreven koelproces is gekozen.			

## Voorbeeldberekening

1. Bereken het gasverbruik van de referentie installatie		
$V_{\text{gas,ref}} = \frac{Q_{\text{cv-net}}}{\eta_{\text{ketel}} \cdot \frac{H_i}{3.600}}$	[m <sup>3</sup> ]	(C.1)

$$V_{\text{gas,ref}} = \frac{500 \text{ kW}}{0,94 \times \frac{31.669}{3.600}} = 60,5 \text{ m}^3$$

De warmtevraag van het CV-net (500 kW) is arbitrair. Kies een waarde die in ieder geval minimaal het verwarmingsvermogen van de WKK-unit is, maar hoger mag dus ook.

## 2. Bereken de energiekosten van de referentie-installatie

$K_{\text{energie,ref}} = V_{\text{gas,ref}} \cdot K_{\text{gas,ref}} + E_{\text{ref,installatie}} \cdot K_{\text{elektra,piek of dal + Egebouw}} \cdot K_{\text{elektra,piek of dal}}$	[euro]	(C.2)
---	--------	-------

$$K_{\text{energie,ref}} = 60,5 \times 0,33 + 0 \times 0,11 + 190 \times 0,11 = \text{€ } 40,87$$

Er is in deze voorbeeldberekening voor gekozen om geen elektriciteit voor de installatie zelf (pompen) mee te nemen. Dit wordt ook niet bij de installatie met WKK-unit gedaan. Verondersteld wordt dat deze elektra verbruiken ongeveer aan elkaar gelijk zullen zijn.

De hoogte van de elektriciteitsvraag van het gebouw (190 kW) hangt af van de situatie die met de WKK-unit doorgerekend moet worden:

- Geen teruglevering met WKK-unit aan het elektriciteitsnet: kies een willekeurige waarde die minimaal het opgewekte elektrische vermogen van de WKK-unit is;
- Wel teruglevering aan het net: bereken de gewenste hoeveelheid op basis van het elektrische vermogen van de WKK-unit en de gewenste hoeveelheid terug te leveren elektriciteit.

## 3. Bereken de onderhoudskosten van de referentie-installatie per draaiuur

$K_{\text{onderhoud,ref}} = K_{\text{onderhoud,verw.,ref}} + K_{\text{onderhoud,koeling,ref}}$	[euro]	(C.3)
--	--------	-------

$$K_{\text{onderhoud,ref}} = 0,13 + 0,0 = \text{€ } 0,13$$

Er wordt hier een verwarmingssituatie doorgerekend, dus wordt er geen kosten voor onderhoud (per draaiuur) voor koeling meegenomen.

## 4. Bereken de totale energie- en onderhoudskosten van de referentie-installatie

$K_{\text{exploitatie,ref}} = K_{\text{energie,ref}} + K_{\text{onderhoud,ref}}$	[euro]	(C.4)
--	--------	-------

$$K_{\text{exploitatie,ref}} = 40,87 + 0,13 = \text{€ } 41,00$$

## 5. Bereken het gasverbruik van de installatie met WKK-unit

$V_{\text{gas,WKK-unit}} = \frac{Q_{\text{WKK-unit}}}{\eta_{\text{th,WKK}} \cdot \frac{H_i}{3.600}}$	[m³]	(C.5)
$V_{\text{gas,ketels}} = \frac{Q_{\text{ketels}}}{\eta_{\text{ketels}} \cdot \frac{H_i}{3.600}}$	[m³]	(C.6)

$$V_{\text{gas,WKK-unit}} = \frac{140}{0,511 \times \frac{31.669}{3.600}} = 31,1 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{gas,ketels}} = \frac{500 - 140}{0,94 \times \frac{31.669}{3.600}} = 43,5 \text{ m}^3$$

De totale warmtevraag is 500 kW. De WKK-unit levert 140 kW; het overige deel (500 - 140 kW) wordt door de ketels geleverd.

#### 6. Bereken het elektraverbruik van de installatie met WKK

$E_{\text{WKK,inst}} = -\frac{Q_{\text{WKK-unit}} \cdot \eta_{\text{el,WKK}}}{\eta_{\text{th,WKK}}} + E_{\text{warmteafvoer}} + E_{\text{verw,install.}} + E_{\text{koelproces}} + E_{\text{gebouw}}$	[kWh]	(C.7)
---	-------	-------

$$E_{\text{WKK,inst}} = -\frac{140 \times 0,319}{0,511} + 0 + 0 + 190 = 102,6 \text{ kWh}$$

De warmteafvoer- en koelinstallatie zijn niet actief: 0 kWh. Voor de verwarmingsinstallatie is geen verbruik in rekening gebracht, zie hiervoor de opmerking bij berekening nummer 2.

#### 7. Bereken of er sprake is van de inkoop of verkoop van elektra bij de installatie met WKK

$E_{\text{teruglever}} = \min(E_{\text{WKK,inst}}, 0)$	[kWh]	(C.8)
$E_{\text{inkoop,WKK,inst}} = \max(E_{\text{WKK,inst}}, 0)$	[kWh]	(C.9)

$$E_{\text{teruglever}} = \min(102,6, 0) = 0 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{inkoop,WKK,inst}} = \max(102,6, 0) = 102,6 \text{ kWh}$$

Er is dus sprake van het inkopen van 102,6 kWh aan elektra.

#### 8. Bereken de energiekosten van de installatie met WKK-unit

$K_{\text{gas,WKK,inst}} = V_{\text{gas,WKK-unit}} \cdot K_{\text{gas,WKK}} + V_{\text{gas,ketels}} \cdot K_{\text{gas,ref}}$	[euro]	(C.10)
$K_{\text{elektra,WKK,inst}} = E_{\text{inkoop,WKK,inst}} \cdot K_{\text{elektra,piek of dal}} + E_{\text{teruglever}} \cdot K_{\text{elektra,verkoop,piek of dal}}$	[euro]	(C.11)
$K_{\text{energie,WKK,inst}} = K_{\text{gas,WKK,inst}} + K_{\text{elektra,WKK,inst}}$	[euro]	(C.12)



$$K_{\text{gas,WKK,inst}} = 31,1 \times 0,23 + 43,5 \times 0,33 = \text{€ } 21,51$$

$$K_{\text{elektra,WKK,inst}} = 102,6 \times 0,11 + 0 \times 0,04 = \text{€ } 11,29$$

$$K_{\text{energie,WKK,inst}} = 21,51 + 11,29 = \text{€ } 32,80$$

Als uitgangspunt bij deze berekening is het 'piek' tarief gehanteerd.

#### 9. Bereken de onderhoudskosten van de installatie met WKK

Konderhoud,WKK,inst = Konderhoud,WKK-unit + Konderhoud,ketels + Konderhoud,koeling	[euro]	(C.13)
--	--------	--------

$$K_{\text{onderhoud,WKK,inst}} = 1,25 + 0,10 + 0 = \text{€ } 1,35$$

Er wordt hier een verwarmingssituatie doorerekend, dus wordt er geen kosten voor onderhoud (per draaiuur) voor koeling meegenomen.

#### 10. Bereken de totale energie- en onderhoudskosten van de installatie met WKK-unit

Kexploitatie,WKK,inst = Kenergie,WKK,inst + Konderhoud,WKK,inst	[euro]	(C.14)
---	--------	--------

$$K_{\text{exploitatie,WKK,inst}} = 32,80 + 1,35 = \text{€ } 34,15$$

#### 11. Bereken het verschil in energie- en onderhoudskosten tussen referentie en installatie met WKK.

Kexploitatie,verschil = Kexploitatie,ref - Kexploitatie,WKK,inst	[euro]	(C.15)
--	--------	--------

$$K_{\text{exploitatie,verschil}} = 41,00 - 34,15 = \text{€ } 6,85$$

In dit 'draaiuur' ontstaat er een positief exploitatie voordeel van € 6,85 voor de installatie met WKK-unit.

Hieronder is tenslotte een suggestie gegeven voor de opzet van de hiervoor besproken berekeningen in een spreadsheetprogramma.

Tabel C.2 Referentie-installatie

$\eta_{\text{ketels}}$ [%]	$V_{\text{gas,ref}}$ [m <sup>3</sup> ]	$E_{\text{ref,installatie}}$ [kWh]	$E_{\text{gebouw}}$ [kWh]	$K_{\text{energie,ref}}$ [euro]	$K_{\text{onderhoud,verw.,ref}}$ [euro]	$K_{\text{onderhoud,koeling,ref}}$ [euro]	$K_{\text{onderhoud,ref}}$ [euro]	$K_{\text{exploitatie,ref}}$ [euro]
94,0%	11,4	0,0	246,0	30,82	0,13	0,00	0,13	30,95
94,0%	14,1	0,0	255,0	32,70	0,13	0,00	0,13	32,83
94,0%	16,9	0,0	260,0	34,18	0,13	0,00	0,13	34,31
94,0%	60,5	0,0	190,0	40,87	0,13	0,00	0,13	41,00
94,0%	45,3	0,0	85,0	20,90	0,13	0,00	0,13	21,03
94,0%	51,4	0,0	50,0	20,46	0,13	0,00	0,13	20,59

Tabel C.3 Installatie met WKK, energiegebruiken

$\eta_{th,WKK}$ [%]	$\eta_{el,WKK}$ [%]	$\eta_{ketels}$ [%]	$V_{gas,WKK}$ unit [m <sup>3</sup> ]	$V_{gas,ketels}$ [m <sup>3</sup> ]	$E_{WKK}$ unit [kWh]	$E_{warmteafvoer}$ [kWh]	$E_{verw.install.}$ [kWh]	$E_{koelproces}$ [kWh]	$E_{gebouw}$ [kWh]	$E_{WKK,inst.}$ [kWh]	$E_{terre}$ [kWh]
0,563	0,264	94,0%	18,9	0,0	-43,9	0,0	0,0	0,0	246,0	202,1	0
0,530	0,303	94,0%	25,0	0,0	-66,7	0,0	0,0	0,0	255,0	188,3	0
0,511	0,319	94,0%	31,1	0,0	-87,2	0,0	0,0	0,0	260,0	172,8	0
0,511	0,319	94,0%	31,1	43,6	-87,2	0,0	0,0	0,0	190,0	102,8	0
0,511	0,319	94,0%	31,1	28,5	-87,2	0,0	0,0	0,0	85,0	-2,2	-
0,511	0,319	94,0%	31,1	34,5	-87,2	0,0	0,0	0,0	50,0	-37,2	-

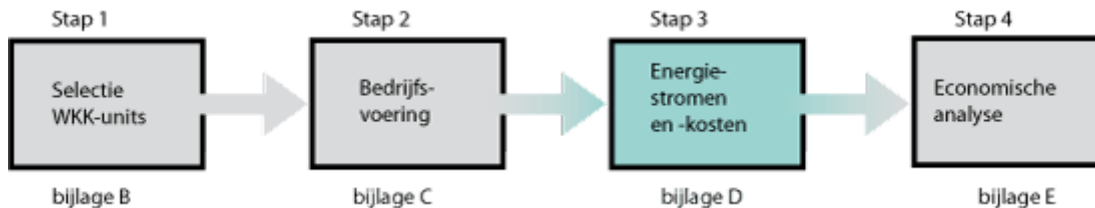
Tabel C.4 Installatie met WKK, exploitatiekosten

$K_{gas,WKK,inst.}$ [euro]	$K_{elektra,WKK,inst.}$ [euro]	$K_{energie,WKK,inst.}$ [euro]	$K_{onderhoud,WKK}$ unit [euro]	$K_{onderhoud,ketels}$ [euro]	$K_{onderhoud,koeling}$ [euro]	$K_{onderhoud,V}$ [euro]
4,35	22,23	26,58	1,25	0,00	0,00	1,25
5,75	20,71	26,46	1,25	0,00	0,00	1,25
7,15	19,01	26,16	1,25	0,00	0,00	1,25
21,54	11,31	32,85	1,25	0,10	0,00	1,35
16,56	-0,09	16,47	1,25	0,10	0,00	1,35
18,54	-1,49	17,05	1,25	0,10	0,00	1,35

# BIJLAGE D ENERGIESTROMEN EN EXPLOITATIEKOSTEN (STAP 3)

## Inleiding

In deze bijlage is uitgewerkt wat de bijdrage in de jaarlijkse warmte- en elektriciteitsvraag van de WKK-unit, eventueel met buffer is. Ook is uitgewerkt wat de bijdrage van eventuele voor- en naverwarmers is. Het betreft Stap 3 om te komen tot een installatie met WKK-unit, zie afbeelding D.1.



Afb. D.1 Stappen die doorlopen moeten worden om tot een optimale keuze voor een installatie met WKK-unit te komen; in deze bijlage wordt Stap 3 in detail uitgewerkt

Er zijn twee methoden om de bijdrage van de warmteopwekkers te berekenen.

1. Quickscan;
2. Op basis van waarden per uur.

### Quickscan

Een quickscan kan gebruikt worden tijdens de programmafase als er nog geen gedetailleerde gegevens beschikbaar zijn. Deze methode is in paragraaf 2.8 uitgewerkt en wordt daarom hier niet nogmaals weergegeven.

### Berekening op basis van waarden per uur

Voordat de energieberekeningen uitgevoerd kunnen worden moet bekend zijn wat de warmte-, elektriciteits- en eventueel koudevraag, per uur is. De koudevraag is nodig voor het berekenen van de benodigde warmte van een warmtegedreven koelproces. In tabel D.1 is een overzicht gegeven van de benodigde waarden.

Tabel D.1 Voorbeeld van de benodigde input voor de berekening van de energiestromen

Datum [dd-mm-jjjj]	Tijd [hh]	Piektarief [0/1]	Warmtevraag totaal [kWh]	Elektra vraag totaal [kWh]
1-1-2025	0:00	0	625	227
1-1-2025	1:00	0	690	229
1-1-2025	2:00	0	694	225
1-1-2025	3:00	0	641	232
1-1-2025	4:00	0	679	236
1-1-2025	5:00	0	753	234
1-1-2025	6:00	0	760	265
1-1-2025	7:00	1	814	262

De gegevens uit tabel D.1 mogen niet gesorteerd zijn. Vervolgens kan aan de hand van de input berekend gaan worden wat de bijdrage van de afzonderlijke componenten wordt.

## Berekeningsmethodiek

### a) Dimensioneren buffervat

Bereken op basis van bijlage H de grootte van het buffervat. Voer vervolgens onderstaande berekeningen uit. De uitkomst zijn de energiestromen en -kosten. Varieer daarna de grootte van het buffervat, zodat de situatie met de laagste energiekosten ontstaat. Hou hierbij met name rekening met het toelaatbare gewicht van het vat en de afmetingen, zie hiervoor paragraaf 3.7.

*b) Bijdrage WKK-unit*

Bereken op basis van de warmtevraag en de hoeveelheid energie in het buffer (moet leeg zijn) of de WKK-unit in het betreffende uur aangaat om warmte te leveren:

- Warmtevraag > thermisch vermogen WKK-unit;
- Of buffervat leeg.

*c) Bijdrage buffervat*

Bereken op basis van de warmtevraag, de bijdrage van de WKK-unit en de hoeveelheid energie in het buffer of het buffer gevuld of geleegd wordt:

- Buffer vullen: vermogen WKK-unit > warmtevraag en Buffer is nog niet vol;
- Buffer legen: vat is nog niet leeg en vermogen WKK-unit < warmtevraag.

*d) Bijdrage voorverwarmer*

Bereken op basis van de warmtevraag, de bijdrage van de WKK-unit en de hoeveelheid energie in het buffer of de voorverwarmer warmte gaat leveren (indien aanwezig):

- Warmtevraag – bijdrage WKK-unit – bijdrage buffer > minimaal thermisch vermogen voorverwarmer.

*e) Bijdrage naverwarmer(s)*

Bereken op basis van de warmtevraag, de bijdrage van de WKK-unit, de hoeveelheid energie in het buffer en de bijdrage van de voorverwarmer of de naverwarmers warmte gaan leveren:

- Warmtevraag – bijdrage WKK-unit – bijdrage buffer – bijdrage voorverwarmer = bijdrage naverwarmers.

*f) Energiekosten*

Bereken, conform bijlage C, per uur de energiekosten voor zowel de installatie met WKK als voor de referentie-installatie. Tel de kosten vervolgens bij elkaar op, zodat de totale kosten voor een geheel jaar inzichtelijk worden.

Begin vervolgens weer bij punt a) van deze berekeningsmethodiek, door de grootte van het vat te optimaliseren.

## Output

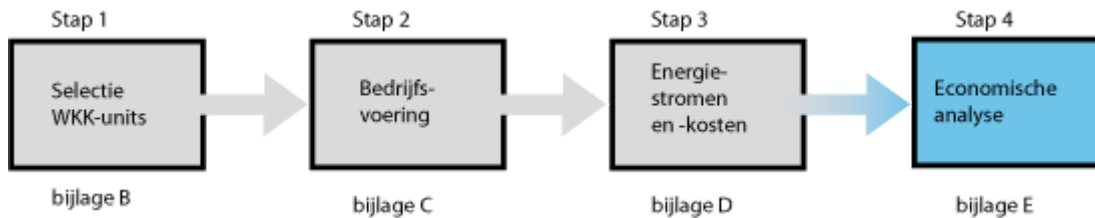
In tabel D.2 is een voorbeeld gegeven van de output. Deze output is gebaseerd op de input van tabel D.1. De output van de benodigde hoeveelheid gas- en elektra en de energie- en onderhoudskosten is identiek aan de output die in bijlage C is weergegeven en is daarom hier niet opnieuw opgenomen.

Tabel D.2 Voorbeeld output van de energiestromen, gebaseerd op input van tabel D.1

Warmtevraag totaal [kWh]	Bijdrage WKK [kW]	Vullen buffer [kW]	Legen buffer [kW]	Toestand buffer [kW]	Bijdrage voorverwarmer [kW]	Bijdrage naverw. [kW]
625	140	0	0	0	70	415
690	140	0	0	0	70	480
694	140	0	0	0	70	484
641	140	0	0	0	70	431
679	140	0	0	0	70	469
753	140	0	0	0	70	543
760	140	0	0	0	70	550
814	140	0	0	0	70	604

## BIJLAGE E ECONOMISCHE ANALYSE (STAP 4)

In deze bijlage is uitgewerkt hoe de economische haalbaarheid van een installatie met WKK berekend kan worden. Om deze berekening te kunnen maken is informatie nodig uit de berekeningen die in bijlage B tot en met D zijn gemaakt, zie afbeelding E.1.



Afb. E.1 Stappen die doorlopen moeten worden om tot een optimale keuze voor een installatie met WKK-unit te komen; in deze bijlage wordt Stap 4 in detail uitgewerkt

In deze bijlage zijn als eerste de benodigde formules weergegeven. Daarna is een overzicht gegeven van de benodigde gegevens. Tenslotte is er een voorbeeldberekening opgenomen. Bij deze berekening is een suggestie gevoegd voor de opzet van de berekeningen in een spreadsheetprogramma.

### Formules

#### Cashflow

CF= (Kenergie,ref - Kenergie,WKK) · (1 + fstijging,energie) + (Konderhoud,ref - Konderhoud,WKK) · (1 + fstijging,onderhoud) - Krente,afschrijving	[euro]	(E.1)
---	--------	-------

Waarin:		
CF	= cashflow	[euro]
Kenergie,ref	= jaarlijkse energiekosten referentie-installatie	[euro]
Kenergie,WKK	= jaarlijkse energiekosten WKK-installatie	[euro]
fstijging,energie	= jaarlijkse stijging van de energiekosten (voor bijvoorbeeld 3%, vul 0,03 in)	[%]
Konderhoud,ref	= jaarlijkse onderhoudskosten referentie-installatie	[euro]
Konderhoud,WKK	= jaarlijkse onderhoudskosten WKK-installatie	[euro]
fstijging,onderhoud	= jaarlijkse stijging van de onderhoudskosten (voor bijvoorbeeld 2%, vul 0,02 in)	[%]
Krente,afschrijving	= jaarlijkse rente- en afschrijvingskosten	[euro]

Opmerking: in het 1e jaar worden er nog geen kosten stijgingen in de berekeningen meegenomen.

#### Rente- en afschrijvingskosten

Er zijn verschillende methoden om de rente- en afschrijvingskosten te verspreiden over de gewenste periode. Hier wordt als voorbeeld de annuïteitenmethode weergegeven. Bij deze methode is de som van de te betalen rente over het geïnvesteerde vermogen en de afschrijving elk jaar even groot.

$K_{\text{rente, afschrijving}} = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \cdot (I_0 - RW) + (RW \cdot r)$	[euro]	(E.2)
---	--------	-------

Waarin:		
Krente,afschrijving	=	som van jaarlijkse kosten aan rente en afschrijving [euro]
r	=	rente (voor bijvoorbeeld 5%, vul 0,05 in) [%]
n	=	levensduur [a]
IO	=	investeringsbedrag - subsidies [euro]
RW	=	rest waarde [euro]

#### Contant gemaakte cashflow

$CCF_a = \frac{CF_a}{(1+f_{rente})^a}$	[euro]	(E.3)
--	--------	-------

Waarin:		
CCFa	=	contant gemaakte cashflow in jaar a [euro]
CFa	=	cashflow in jaar a [euro]
frente	=	rente (voor bijvoorbeeld 5%, vul 0,05 in) [%]
a	=	betreffende jaar [-]

#### Contant gemaakte restwaarde

$CRW = \frac{RW}{(1+f_{rente})^n}$	[euro]	(E.4)
------------------------------------	--------	-------

Waarin:		
CRW	=	contant gemaakte restwaarde [euro]
RW	=	rest waarde [euro]
frente	=	rente (voor bijvoorbeeld 5%, vul 0,05 in) [%]
n	=	laatste jaar dat de investering opbrengt [-]

#### Netto Contante Waarde

NCW = CRW - IO + $\Sigma$ CCFa	[euro]	(E.5)
--------------------------------	--------	-------

Waarin:		
NCW	=	netto contante waarde [euro]
CRW	=	contant gemaakte restwaarde [euro]
IO	=	investeringsbedrag - subsidies [euro]
CCFa	=	contant gemaakte cashflow in jaar a [euro]

Tabel E.1 Benodigde gegevens

Symbol	Omschrijving	Waarde <sup>1)</sup>	Eenheid
Kenergie,ref	jaarlijkse energiekosten referentie-installatie	31.990	[euro]
Kenergie,WKK	jaarlijkse energiekosten installatie met WKK	-3.300	[euro]
fstijging,energie	jaarlijkse stijging energiekosten	3%	[%]
Konderhoud,ref	jaarlijkse onderhoudskosten referentie-installatie	3.500	[euro]
Konderhoud,WKK	jaarlijkse onderhoudskosten installatie met WKK	10.920	[euro]
fstijging,onderhoud	jaarlijkse stijging onderhoudskosten	2%	[%]
frente	rente	5%	[%]
-	aantal draaiuren per jaar	5.600	[hh]
-	interval grote onderhoudsbeurt	40.000	[hh]
Kgroot onderhoud,WKK	kosten grote onderhoudsbeurt per keer	25.000	[euro]
I0	(meer) investering WKK-installatie	117.000	[euro]
RW	verschil restwaarde WKK-installatie t.o.v. referentie-installatie (positief = WKK is meer waard dan referentie)	7.000	[euro]
n	levensduur WKK-installatie	14, zie ook voorbeeld berekening	[jaar]
1) wordt gebruikt voor voorbeeldberekening.			

### Voorbeeldberekening

1. Investeringsmoment (jaar 0): bereken de (meer) investeringskosten van een installatie met WKK; houd hierbij ook rekening met mogelijke fiscale voordelen of subsidies.  
 Resultaat: (meer)investeringskosten € 117.000,-

2. Bereken de interval van de grote onderhoudsbeurten

Resultaat: 40.000 uren/5.600 uur per jaar = 7,1 jaren.

Omdat in het 14e jaar dus weer een grote onderhoudsbeurt moet plaats vinden, wordt hierna verder uitgegaan van een afschrijvingstermijn (n) van 14 jaren.

3. Bereken de rente en afschrijvingskosten.

$K_{\text{rente, afschrijving}} = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \cdot (I_0 - RW) + (RW \cdot r)$	[euro]	(E.2)
---	--------	-------

$$K_{\text{rente, afschrijving}} = \frac{0,05(1+0,05)^{14}}{(1+0,05)^{14} - 1} \times (117.000 - 7.000) + (7.000 \times 0,05) = 11.463,- \text{ euro}$$

4. Bereken de cashflow voor jaar 1

De energiekosten van de WKK-installatie zijn negatief. Het levert dus meer geld op dan het kost. De energiekosten van de WKK worden daarom bij de referentiekosten opgeteld in plaats van eraf getrokken.

$CF = (K_{\text{energie,ref}} - K_{\text{energie,WKK}}) \cdot (1 + \text{fstijging,energie}) + (K_{\text{onderhoud,ref}} - K_{\text{onderhoud,WKK}}) \cdot (1 + \text{fstijging,onderhoud}) - K_{\text{rente,afschrijving}}$	[euro]	(E.1)
--	--------	-------

$$CF_1 = (31.990 + 3.300) \times 1,0 + (3.500 - 10.920) \times 1,0 - 11.463 = 16.407,- \text{ euro}$$

5. Bereken de cashflow voor jaar 2

$$CF_2 = (35.290) \times 1,03 + (7.420) \times 1,02 - 11.463 = 17.318,- \text{ euro}$$

6. Bereken de cashflow voor jaar 3 etc.

$$CF_3 = (36.349) \times 1,03 + (7.568) \times 1,02 - 11.463 = 18.257,- \text{ euro}$$

Het resultaat uit de voorgaande jaren wordt steeds gebruikt voor het jaar erna. Let erop dat het onderhoudsbedrag voor de WKK-installatie in jaar 7 verhoogd wordt met de kosten voor groot onderhoud. De CF7 bedraagt € -2.680,-

7. Maak de cashflow voor het 1e jaar contant

$CCF_a = \frac{CF_a}{(1+f_{rente})^a}$	[euro]	(E.3)
--	--------	-------

$$CCF_1 = \frac{16.407}{(1+0,05)^1} = 15.626,- \text{ euro}$$

8. Maak de cashflow voor het 2e jaar contant etc.

$$CCF_2 = \frac{17.318}{(1+0,05)^2} = 15.708,- \text{ euro}$$

9. Maak de restwaarde contant

$CRW = \frac{RW}{(1+f_{rente})^n}$	[euro]	(E.4)
------------------------------------	--------	-------

$$CRW = \frac{7.000}{(1+0,05)^{14}} = 3.535,- \text{ euro}$$

10. Bereken de netto contante waarde

$NCW = CRW - I_0 + \sum CCF_a$	[euro]	(E.5)
--------------------------------	--------	-------

$$NCW = 3.535 - 117.000 + 202.763 = \text{€ } 206.298,-$$

De netto contante waarde van dit project is positief. Dit houdt in dat de investering aantrekkelijk is: er kan meer geld verdiend worden dan met de gehanteerde rentevoet.

Hieronder is tenslotte een suggestie gegeven voor de opzet van de hiervoor besproken berekeningen in een spreadsheetprogramma.

Tabel E.2 Voorbeeld opzet rentabiliteitsberekening



Post	Jaar				
	0	1	2	3	Etc.
Investerings	-€ 117.000				
Onderhoudskosten		-€ 7.420	-€ 7.568	-€ 7.719	-€ 7.873
Rente- en afschrijvingskosten (annuïteit)		-€ 11.463	-€ 11.463	-€ 11.463	-€ 11.463
Verschil energiekosten ref. - WKK		€ 35.290	€ 36.349	€ 37.439	€ 38.562
Cashflow (= opbrengst - kosten)	-€ 117.000	€ 16.407	€ 17.318	€ 18.257	€ 19.226
Contant gemaakte cashflow	-€ 117.000	€ 15.626	€ 15.708	€ 15.771	€ 15.817
Netto contante waarde	€ 206.298				



# BIJLAGE F BEREKENEN VERMOGENSBEHOEFTE VERWARMING

In deze bijlage zijn achtereenvolgens drie onderdelen uitgewerkt voor het berekenen van de vermogensbehoefte voor verwarmen:

1. Verwarmingsvermogen voor (kantoor)vertrekken, zie ook [7];
2. Verwarming ventilatielucht;
3. Warmtapwaterbereiding.

## Vermogensbehoefte voor een (kantoor)vertrek

### *Onderdelen verwarmingsvermogen vertrek*

De vermogensbehoefte in een vertrek bestaat uit de volgende 4 onderdelen:

1. Het transmissiewarmteverlies ( $\Phi_t$ ) is de warmte die door de omhulling van het vertrek wegstroomt als gevolg van een temperatuurverschil tussen het vertrek en de ruimte aan de andere zijde van het vertrek. Deze formule dient voor alle te onderscheiden onderdelen van de omhulling te worden toegepast;
2. Het infiltratiewarmteverlies ( $\Phi_i$ ). Dit betreft de buitenlucht die door de gevel naar binnen dringt. Deze lucht moet dus opgewarmd worden van de buitentemperatuur ( $\theta_e$ ) tot de binnentemperatuur ( $\theta_i$ );
3. Het vermogen voor naverwarming van de intredende ventilatielucht ( $\Phi_v$ ). De temperatuur van de intredende ventilatielucht is bij natuurlijke ventilatie gelijk aan de ontwerp buitentemperatuur. Let op: bij natuurlijke ventilatie kan een apart afgiftesysteem nodig zijn om de ventilatielucht te verwarmen. Zie hiervoor ook de programmafase. Bij mechanische toevoer dient gerekend te worden met de gekozen inblaastemperatuur;
4. De opwarmtoeslag ( $\Phi_o$ ). Dit is extra vermogen dat ingezet kan worden om het vertrek binnen een zekere tijd een aantal graden op te warmen. De waarde hiervan hangt nauw samen met de keuze om al dan niet nachtverlaging toe te passen. Als opwarming van het gebouw gebeurt met een uitgeschakeld ventilatiesysteem, is het vermogen voor ventilatie ( $\Phi_v$ ) beschikbaar voor opwarming. Dit is echter afhankelijk van het gekozen afgiftesysteem. Bijvoorbeeld: radiatoren geven warmte af onafhankelijk van ventilatielucht, maar inductie-units leveren alleen voldoende vermogen als er primaire lucht doorheen stroomt.

### *Berekening verwarmingsvermogen*

Voor een gestructureerde aanpak van de berekening van de genoemde verliesposten zijn twee onderdelen van belang:

- De aannamen en uitgangspunten voor de berekening dienen eenduidig te worden vastgelegd;
- Vervolgens dienen de berekeningen met de daartoe geëigende rekenprogramma's en software te worden uitgevoerd.

## Verwarming ventilatielucht

Voor de verwarming- en koeling van de ventilatielucht wordt qua omschrijvingen uitgegaan van gebalanceerde, mechanische ventilatie. Merk op dat dit het resultaat is van een keuzeproces. In een integraal ontwerpproces komt het ventilatieconcept tot stand in samenspraak met architect, opdrachtgever en andere ontwerpteamleden.

Naast gebalanceerde ventilatie zijn er tal van andere keuzemogelijkheden, zoals:

1. Natuurlijke ventilatie;
2. Hybride ventilatie met natuurlijke toevoer en mechanische afzuiging (ook wel type C genoemd);
3. Oplossingen waarin ventilatie in klimaatgevels is geïntegreerd;
4. Ventilatie-units in de vertrekken met aansluiting op de buitenlucht en filtering, verwarming en koeling in de unit en mechanische afzuiging met een centraal systeem.

Dit alles blijft hier buiten beschouwing. Voor meer informatie wordt verwezen naar het Handboek Installatietechniek [1], (hoofdstuk 4.2) en vakliteratuur.

### Vereiste input

Voor het dimensioneren van verwarmings- en koelelementen in een luchtbehandelingskast moet de volgende informatie beschikbaar zijn:

1. Luchtdebiet;
2. Luchtsnelheid in de luchtbehandelingskast;
3. Ontwerpcondities buitenlucht in winter- en zomerseizoen;
4. Gewenste luchttemperatuur na het koelen of verwarmen in de luchtbehandelingskast, maar nog voor de ventilator. Dit volgt uit de som van de gewenste inblaastemperatuur en correctie met opwarming/afkoeling in luchtkanalen en de opwarming in de ventilator;
5. Wordt bevochtiging toegepast op basis van verdamping? Zo ja, dan moet de verdampingswarmte door een verwarmingselement worden geleverd;
6. Wordt de luchtbehandelingskast ook gebruikt voor het laden van koude in ondergrondse energieopslag? Zo ja, dan heeft dit invloed op de dimensionering(s-eisen);
7. Wordt er warmteterugwinning toegepast? Zo ja: wat is het terugwinrendement en moet met warmteterugwinning rekening worden gehouden in de dimensionering van de verwarmings- en/of koelelementen?

Deze informatie volgt niet uit eerdere hoofdstukken in deze publicatie, maar moet voortkomen uit het ontwerp van het totale ventilatiesysteem, wat buiten het kader van deze publicatie valt.

### Te doorlopen ontwerpstappen

De volgende stappen moeten worden doorlopen voor de dimensionering van een verwarmingselement in de luchtbehandelingskast.

1. Bepaling van de vermogensbehoefte:
  - a. Bepaling van de luchtintredeconditie die voor de dimensionering maatgevend is;
  - b. Bepaling van de luchtuitredeconditie die voor de dimensionering maatgevend is;
  - c. Berekening van het vermogen met behulp van onderstaande formule.

$\Phi_{vv} = \rho \cdot q_v \cdot c \cdot (\theta_4 - \theta_3)$	[kW]	(F.1)
--	------	-------

Waarin:		
$\Phi_{vv}$	= verwarmingsvermogen	[kW]
$\rho$	= soortelijke massa lucht	[kg/m <sup>3</sup> ]
$q_v$	= debiet ventilatielucht	[m <sup>3</sup> /s]
$c$	= soortelijke warmte lucht	[kJ/kg·K]
$\theta_3$	= luchtintredetemperatuur verwarmingselement	[°C]
$\theta_4$	= luchtuitredetemperatuur verwarmingselement	[°C]

2. Dimensionering en specificatie van een verwarmingselement:
  - a. Waterzijdig vastleggen van het debiet, de intredetemperatuur, de uittredetemperatuur en de (maximaal toelaatbare) drukval;
  - b. Vastleggen van de overige gegevens die voor een verwarmingselement van belang zijn.

## Warmtapwaterbereiding

### Vermogensbehoefte

In de Programmafase is vastgesteld of een warmtapwatercirculatiernet wordt toegepast. Is dit niet het geval, dan zal de warmtapwaterbereiding decentraal plaatsvinden en is deze paragraaf niet van toepassing. De vermogensbehoefte dient te worden bepaald in de volgende stappen (zie voor details ISSO-publicatie 55 [8]).

1. Bepaal de maximale warmtapwaterafname per individuele aansluiting. Als er verschillende typen afnemers zijn, dient dit per afnemer te worden bepaald. Het maximale warmtapwaterdebiet is vaak gekoppeld aan het geboden comfortniveau (hoe snel is een bad in een hotelkamer gevuld?). In ISSO-publicatie 55 wordt gewerkt met tapeenheden (TE), die voor diverse typen warmtapwatervraag zijn bepaald.

$n = \left( \frac{q_v}{0,083} \right)^2$	[TE]	(F.2)
--	------	-------

Waarin:			
n	=	aantal tapeenheden	[TE]
qv	=	volumestroom	[l/s]
0,083	=	één tapeenheid	[l/s]

2. Bepaal het maximale vermogen per individuele aansluiting. Hiervoor is naast het tapwaterdebiet ook de taptemperatuur nodig. Als koudtapwatertemperatuur kan 10 °C worden aangehouden. Vertaal dit naar een warmtapwaterafname van 60 °C; dit is de temperatuur in het distributienet nabij het tappunt, lagere temperaturen komen bij de afnemer tot stand door menging met koud tapwater.

3. Bepaal uit de (on)gelijktijdigheid van de warmtapwaterafname voor alle gebruikers de te verwachten maximum momentane volumestroom (qv,max), conform ISSO-publicatie 55.

$q_{v,max} = 0,083 \sqrt{\Sigma TE}$	[l/s]	(F.3)
--------------------------------------	-------	-------

Waarin:			
qv,max	=	maximale momentane volumestroom	[l/s]
0,083	=	één tapeenheid	[l/s]
ΣTE	=	som van aantal tapeenheden	[-]

4. Bepaal het warmteverlies in het leidingnet (zie hierna 'Distributiesysteem' en ISSO-publicatie 55). Het vermogen (Φlv) om de verliezen te compenseren moet ook door de warmteopwekkers worden geleverd.

5. Stel de totale vermogensbehoefte vast.

$\Phi_{\text{tapwater}} = q_{v,max} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (60-10) + \Phi_{lv}$	[kW]	(F.4)
---	------	-------

Waarin:			
Φtapwater	=	benodigd vermogen voor tapwater	[W]
qv,max	=	maximale momentane volumestroom	[l/s]
ρ	=	soortelijke massa tapwater	[kg/m³]
cp	=	soortelijke warmte tapwater	[kJ/kg·K]
60-10	=	temperatuurverschil tapwater	[K]
Φlv	=	benodigd vermogen voor warmteverlies in leidingen	[W]

#### Distributiesysteem

Het distributiesysteem moet tenminste aan de volgende drie eisen voldoen:

1. Het moet de maximale warmtapwaterhoeveelheid kunnen leveren bij een acceptabel drukverlies in de leidingen, een niet te grote stroomsnelheid in de leidingen hebben en een geringe geluidsproductie;
2. De afnemers moeten altijd binnen een zekere, overeengekomen wachttijd warmtapwater van een voldoende hoge temperatuur hebben, ook na een periode van stilstand (en afkoeling);

3. De temperatuur in het net mag nooit onder de 60 °C komen om elke kans op de groei van Legionellabacteriën uit te sluiten.

De eerste eis is een kwestie van goed dimensioneren van het leidingnet. Toepassing van drukverhogingsinstallaties en dergelijke blijven hier buiten beschouwing; hiervoor wordt verwezen naar ISSO-publicatie 55.

Om aan de tweede en derde eis te voldoen, wordt het distributienet in het algemeen als circulatienet uitgevoerd met een retourleiding naar de warmteopwekker. Het debiet door de recirculatieleiding (= retourleiding) wordt zodanig geregeld dat de retourtemperatuur tenminste 60 °C blijft. Voor de eisen en richtlijnen met betrekking tot Legionellapreventie wordt verwezen naar de ISSO-publicaties 55.1 [9] en 55.2 [10].

De bepaling van het recirculatiedebiet verloopt in de volgende drie stappen.

1. Bepaal per strang van het leidingnet het totale warmteverlies in de aanvoer en de recirculatieleiding. Het debiet in de recirculatieleiding wordt dan:

$q_{\text{recirc.}} = \frac{\Phi_{lv}}{\rho \cdot c_p \cdot (\theta_{ww,a} - \theta_{ww,r})}$	[l/s]	(F.5)
---	-------	-------

Waarin:		
q <sub>recirc.</sub>	= recirculatie debiet	[l/s]
Φ <sub>lv</sub>	= benodigd vermogen voor warmteverlies in leidingen	[W]
ρ	= soortelijke massa tapwater	[kg/m <sup>3</sup> ]
c <sub>p</sub>	= soortelijke warmte tapwater	[kJ/kg·K]
θ <sub>ww,a</sub>	= aanvoertemperatuur warmwater	[°C]
θ <sub>ww,r</sub>	= retourtemperatuur warmwater	[°C]

2. Werk het hele leidingnet door van de afnemers naar de opwekker. Sommeer telkens de recirculatiedebieten van verdeelleidingen naar hoofdleidingen.

3. Het totale recirculatiedebiet volgt met bovenstaande uit het totale verliesvermogen. Als bijvoorbeeld in een net een aanvoertemperatuur van 65 °C en een recirculatietemperatuur van 60 °C wordt aangehouden en het totale leidingverlies is 8.000 W, dan is het benodigde recirculatiedebiet 0,39 l/s (=1,4 m<sup>3</sup>/h).

#### Inpassingsmogelijkheden

Het verwarmen van warmtapwater in een recirculatiernet bestaat uit twee onderdelen:

1. Het opwarmen van koud leidingwater (10 °C) tot de gewenste temperatuur (60 °C);
2. Het op temperatuur houden van het circulatienet ter compensatie van de verliezen in het net.

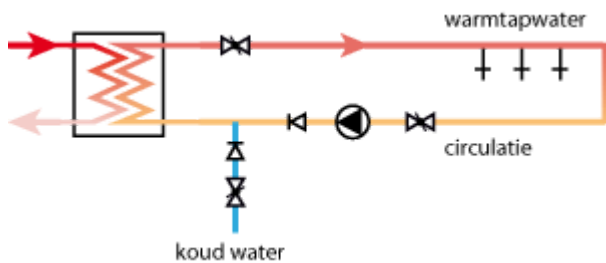
Het temperatuurniveau ligt op 60 – 70 °C en het vermogen is beperkt.

Een installatie met WKK is geschikt voor beide onderdelen.

Voor alle warmtewisselaars, waarin tapwater wordt verwarmd, geldt dat een dubbele scheiding moet worden toegepast. Ter illustratie volgen enkele basisconcepten om centraal warmtapwater te bereiden.

#### 1. Verwarming in een doorstroomtoestel

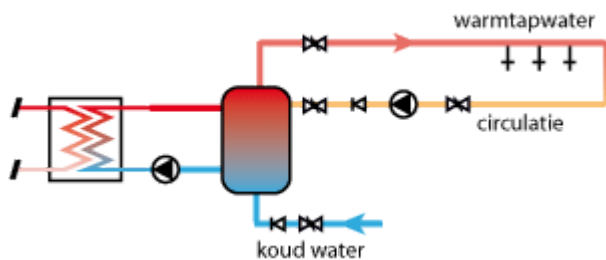
Een doorstroomtoestel zonder buffer (afbeelding F.1) is toepasbaar als er een gelijkmatige vraag naar warmtapwater is (piekvraag wijkt minder dan 30 % af van gemiddelde vraag over etmaal). Het verwarmen van koud leidingwater en het op temperatuur houden van het recirculatiernet is in een toestel geïntegreerd.



Afb. F.1 Warmtapwater bereiden met een doorstroomtoestel

## 2. Verwarming in een voorraadtoestel

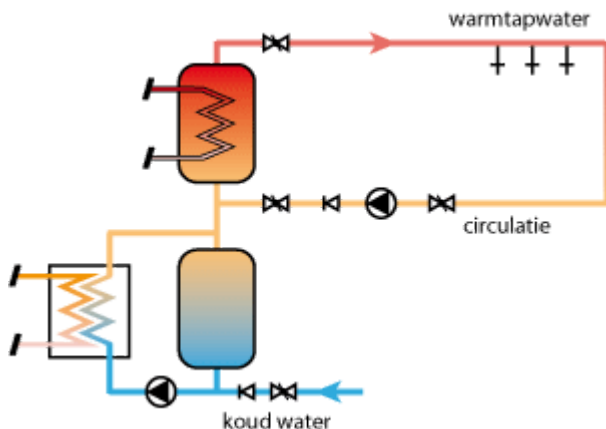
Dit is een gebruikelijk concept als de warmtapwatervraag niet gelijkmatig is verdeeld over het etmaal, zoals in de utiliteitsbouw meestal het geval is. De buffer moet thermisch gelaagd worden uitgevoerd. Het laden van de buffer gebeurt met water van 65 à 70 °C, zodat aan de bovenzijde altijd warm water van de vereiste temperatuur beschikbaar is.



Afb. F.2 Warmtapwater bereiden met een voorraadtoestel

## 3. Gescheiden voorverwarming en naverwarming

Het koude tapwater wordt (voor)verwarmd in een aparte buffer. Het voorverwarmde leidingwater uit deze buffer moet vervolgens naar een tweede buffer stromen, waarin het samen met het recirculatiewater tot de vereiste temperatuur wordt verwarmd. Zie ook ISSO-publicatie 55.1. Het volume van de tweede buffer kan in dit geval kleiner zijn, mits de totaal opgeslagen warmte ongeveer gelijk blijft. Legionellabestrijding is in de tweede buffer het meest effectief dankzij de hogere temperatuur. Toepassing van deze variant is met name zinvol als een WKK-unit gecombineerd wordt met een voorverwarmer, zoals een warmtepomp;



Afb. F.3 Gescheiden voor- en naverwarming

## Resultaat berekening tapwatersysteem

Met de hiervoor genoemde aanpak dient de warmtapwaterinstallatie te worden gedimensioneerd. Als resultaat hiervan moeten de volgende gegevens bekend zijn:

1. Dimensies van het recirculatienet, aanvoertemperatuur en minimale temperatuur recirculatiewater, verliesvermogen, recirculatiedebiet;
2. Ontwerpvermogen voor de warmteopwekking ten behoeve van warmtapwater;
3. Keuze van het concept voor centrale warmtapwaterbereiding:
  - a. Doorstroomtoestel;
  - b. Voorraadtoestel;
  - c. Voorverwarming ja/nee.
4. Dimensionering van de componenten:
  - a. Vermogen warmtewisselaar;
  - b. Inhoud buffer(s);
  - c. Uitvoering en aansluitingen i.v.m. thermische gelaagdheid en dergelijke;
  - d. Circulatiepompen;

e. Regelafsluiters.

5. Functionele omschrijving ten behoeve van de automatisering;
6. Elektrische aansluitpunten;
7. Regeltechnische aansluitpunten;
8. Inbouw- en montagevoorschriften.



# BIJLAGE G BEREKENEN VERMOGENSBEHOEFTE EN BEPALEN AFGIFTESYSTEMEN KOELING

In deze bijlage zijn achtereenvolgens drie onderdelen uitgewerkt voor het berekenen van de vermogensbehoefte voor koelen:

1. Koellast in een (kantoor)vertrek;
2. Koeling ventilatielucht;
3. Proceskoeling.

## De koellast in een (kantoor)vertrek

### Onderdelen koellast

De koellast in een vertrek ( $\Phi_{k, \text{lokaal}}$ ) bestaat uit de volgende posten:

1. Externe warmtebelasting:
  - a. Zontoetreding door glas ( $\Phi_{zg}$ ) en door dichte delen van de gebouwschil ( $\Phi_{zd}$ );
  - b. Transmissie door glas ( $\Phi_{tg}$ ) en door dichte delen van de gebouwschil ( $\Phi_{td}$ );
  - c. Infiltratie van buitenlucht ( $\Phi_f$ ).
2. Interne warmtebelasting:
  - a. Verlichtingswarmte ( $\Phi_l$ );
  - b. Warmteafgifte door personen ( $\Phi_p$ );
  - c. Warmteafgifte door machines, apparaten en in het vertrek binnenkomende stoffen ( $\Phi_m$ );
  - d. Transmissie door binnenwanden ( $\Phi_{ti}$ ).
3. Latente warmtebelasting:
  - a. Verdampingswarmte waterdamp infiltrerende buitenlucht ( $\Phi_{f, \text{lat}}$ );
  - b. Verdampingswarmte van door personen afgegeven waterdamp ( $\Phi_{p, \text{lat}}$ );
  - c. Verdampingswarmte van waterdamp van apparaten ( $\Phi_{m, \text{lat}}$ ).
4. Vermindering van de koellast ten gevolge van een toegestane stijging van de vertrekluchttemperatuur ( $\Phi_{vv}$ ).

### Berekening koellast

Met behulp van computerprogramma's kan bijvoorbeeld de berekeningsmethode van de norm NEN5067 gevolgd worden en kan de koellast op verschillende tijdstippen berekend worden om zodoende de maximale koellast te kunnen bepalen. Ook kan gebruik worden gemaakt van zogenoemde temperatuuroverschrijdingsberekeningen (TO-berekeningen).

Ten opzichte van de warmteverliesberekening is de koellastberekening dynamisch. Er moet rekening gehouden worden met de volgende aspecten.

1. De warmtebelasting bestaat uit posten die verschillend variëren voor wat betreft het tijdstip op de dag. De totale koellast varieert daardoor sterk gedurende een dag;
2. Een deel van de warmtebelasting wordt geaccumuleerd en pas later door de gebouwmassa aan de vertreklucht overgedragen. Deze warmtebelasting maakt pas dan deel uit van de koellast. Een groot accumulerend vermogen kan een aanzienlijke reductie van de maximale koellast opleveren;
3. Bij bepaling van de maximale koellast is het mogelijk om gedurende de warmte uren van de dag een tijdelijke beperkte stijging van de vertrekluchttemperatuur toe te laten.

Een installatie met een WKK-unit kan worden toegepast in combinatie met afgifte-installaties die in het gebouw geïntegreerd zijn. Dit zijn bijvoorbeeld vloerverwarming of betonkernactivering. Door buffering van koude in het gebouw kan bij met name betonkernactivering het maximaal benodigde vermogen lager worden. Neem de koudebehoefte over de warmste dag en deel deze koudebehoefte door 24 uur. Hieruit volgt een afgevlakt maximaal benodigd vermogen dat als uitgangspunt kan dienen voor het op te stellen koelvermogen.

## Koeling ventilatielucht

De input, om de koelcapaciteit voor de ventilatielucht te kunnen berekenen is identiek aan de verwarmingssituatie. Zie hiervoor de 'Vereiste input' bij 'Verwarming ventilatielucht' uit bijlage F.

### Te doorlopen ontwerpstappen

De volgende stappen moeten worden doorlopen voor de dimensionering van een koelelement in de luchtbehandelingskast.

1. Bepaling van de vermogensbehoefte:
  - a. Bepaling van de luchtintredeconditie die voor de dimensionering maatgevend is;

- b. Bepaling van de luchtuittredeconditie die voor de dimensionering maatgevend is;
- c. Berekening van het vermogen met behulp van onderstaande formule.

$\Phi_{vk} = \rho \cdot q_v \cdot (h_4 - h_5)$	[kW]	(G.1)
--	------	-------

Waarin:		
$\Phi_{vk}$	= koelvermogen	[kW]
$\rho$	= soortelijke massa lucht	[kg/m <sup>3</sup> ]
$q_v$	= debiet ventilatielucht	[m <sup>3</sup> /s]
$h_4$	= enthalpie luchtintrede koelelement	[kJ/kg]
$h_5$	= enthalpie luchtuitrede koelelement	[kJ/kg]

## 2. Dimensionering en specificatie van een koelelement:

- a. Waterzijdig vastleggen van het debiet, de intredetemperatuur, de uittredetemperatuur en de (maximaal toelaatbare) drukval;
- b. Vastleggen van de overige gegevens die voor een koelelement van belang zijn.

## Proceskoeling

Proceskoeling is klimaatonafhankelijk en duidt in utiliteitsgebouwen op het koelen van serverruimten, patchruimten en dergelijke. Kenmerkend zijn het relatief beperkte koelvermogen (4 à 5%) en het grote aantal equivalente vollasturen.

Deze paragraaf heeft betrekking op uitvoeringsvormen waarin proceskoeling (een deel van het jaar) door de centrale koelinstallatie wordt geleverd. Oplossingen met lokale, zelfstandig functionerende koelunits voor proceskoeling blijven hier dus buiten beschouwing. Het doel van deze paragraaf is om met de gegevens uit de Programmafase de voorzieningen voor proceskoeling te dimensioneren en de functionele werking vast te leggen.

### *Uitgangspunten voor dimensionering*

Uit de Programmafase dienen de volgende gegevens als uitgangspunt bekend te zijn:

1. De koudevragers voor proceskoeling, met per koudevrager de volgende gegevens:
  - a. Maximaal benodigd koelvermogen;
  - b. Minimaal benodigd koelvermogen;
  - c. Temperatuur van de ruimte en/of de luchtstroom die gekoeld moet worden;
  - d. Vereiste temperatuur van gekoeld-water als het om een te koelen apparaat gaat;
  - e. De te verwachten bedrijfstijden.
2. De locaties in het gebouw waar proceskoeling nodig is. Het meest aantrekkelijk is om locaties met proceskoeling te clusteren, zodat het distributiesysteem compact kan blijven;
3. Vereiste bedrijfszekerheid. Moet 100% back-up koelvermogen beschikbaar zijn?

### *Afgiftesysteem*

Uitgangspunt zijn afgiftesystemen die worden gevoed met gekoeld-water. De ontwerp-aanvoertemperatuur dient bij voorkeur niet lager te zijn dan voor de overige afgiftesystemen in het gebouw (10 à 12 °C). Indien een aanzienlijk lagere aanvoertemperatuur vereist zou zijn (bijv. 6 °C in verband met sterke ontvochtiging), dan moet alsnog overwogen worden om een aparte koelmachine voor proceskoeling in te zetten. De condensor kan dan eventueel wel met de centrale installatie worden gekoeld.

Als lucht wordt gebruikt om proceswarmte af te voeren, dient een hiervoor geëigend afgiftesysteem te worden geselecteerd.

Mogelijke afgiftesystemen voor proceskoeling zijn:

1. Computairs;
2. Koelbatterij in een luchtbehandelingskast;
3. Fancoil units.

Het is ook mogelijk dat apparaten, die koeling vragen, direct worden aangesloten op het gekoeld-watercircuit. In dat geval dient de ontwerper na te gaan welke eisen eventueel worden gesteld:

1. Een extra warmtewisselaar in verband met een eigen koelwatercircuit van het apparaat;
2. Vast/variabel debiet;
3. Gewenste aanvoertemperatuur;
4. Heeft het apparaat een eigen capaciteitsregeling of moet dit extern worden verzorgd?

### *Distributiesysteem*

Als distributiesysteem een 2-pijpssysteem toepassen waarin de koudegebruikers parallel zijn geschakeld. Dan wel overal tweeweg (na)regelingen toepassen.

Met betrekking tot de inpassing van het distributiesysteem zijn twee opties te onderscheiden:

1. De benodigde koeling wordt het gehele jaar volledig door de centrale koelinstallatie geleverd. Het voordeel van deze optie is dat afgiftesystemen voor proceskoeling, die verspreid door het gebouw staan opgesteld, op het gekoeld-waternet aangesloten kunnen worden, zonder dat een uitgebreid separaat distributiesysteem behoeft te worden aangelegd. Het nadeel hiervan is dat de volledige koelinstallatie (opwekking, transportpompen) ook in de winter en het tussenseizoen in bedrijf moet blijven voor een zeer beperkt koelvermogen, waardoor de totale efficiency sterk terug loopt;
2. De afgifte-eenheden voor proceskoeling worden in één distributiesysteem opgenomen. Dit distributiesysteem wordt van koude voorzien door de centrale installatie als deze ook voor andere koudevragers in bedrijf is en anders door een decentrale koelunit. De decentrale koelunit dient een volledig zelfstandig functionerende unit te zijn met condensorkoeling met buitenlucht. Condensorkoeling met het centrale koelsysteem is wel mogelijk, maar vereist dat het centrale koelsysteem dan toch weer altijd in bedrijf blijft. Dit is niet aan te bevelen. De ontwerper dient na te gaan of vrije koeling zinvol is. In sommige koelunits zijn compressiekoeling en vrije koeling in één behuizing geïntegreerd. Het voordeel van deze optie is dat de centrale koelinstallatie niet in bedrijf behoeft te blijven voor een zeer beperkt koelvermogen, waardoor een inefficiënt gebruik van de centrale installatie wordt vermeden. Bovendien biedt een volledig zelfstandig functionerende koelunit voor proceskoeling extra bedrijfszekerheid. Het nadeel van deze optie is de hogere investering voor een separate koelunit, al moet dit wel afgezet worden tegen de extra bedrijfszekerheid en de lagere exploitatiekosten.

De ontwerper dient de wijze van inpassing van proceskoeling te bepalen op basis van de volgende criteria:

1. Aandeel proceskoeling in het totale koelvermogen voor een gebouw. Bij een aandeel van 10 % of minder bij voorkeur bovengenoemde optie 2 kiezen;
2. Vereiste bedrijfszekerheid van de koudevoorziening voor proceskoeling;
3. Praktische inpasbaarheid van een separate koelunit voor proceskoeling;
4. Mogelijkheid om alle koudevragers voor proceskoeling te clusteren in één distributiesysteem, of sterk verspreid over het gebouw;
5. Energetische aspecten van proceskoeling, te weten overall energiegebruik voor proceskoeling en de energiebalans op jaarbasis in systemen met ondergrondse energieopslag;
6. Investeringskosten en totale jaarlijkse kosten (life-cycle costs).

### *Resultaat van dimensionering*

Als resultaat van de dimensionering dienen de volgende gegevens te zijn vastgelegd:

1. De inpassing van alle koudevragers in het distributiesysteem (uitgaande van 1 distributiesysteem):
  - a. Het toe te passen koudeafgiftesysteem;
  - b. Te leveren koelvermogen, gekoeld-watertemperatuur en debiet;
  - c. De toe te passen regelafsluiters voor de afgifte-units;
  - d. Geluidsniveau (indien van toepassing).
2. Het totale ontwerpkoelvermogen voor proceskoeling;
3. De ontwerptemperaturen van gekoeld-water; aanvoer en retour;
4. Het totale ontwerpdebiet voor gekoeld-water;
5. Afmetingen leidingen van het distributiesysteem;
6. Indien een decentrale koelunit wordt toegepast, dienen de specificaties te zijn vastgelegd:
  - a. Koelvermogen;
  - b. Elektrisch aansluitvermogen;
  - c. Vrije koeling ja/nee;
  - d. Rendement;
  - e. Geluidsniveau;
  - f. Locatie voor opstelling.
7. Toelaatbare overdruk;
8. Waterzijdige weerstand bij ontwerp volumestroom;

## 9. Inbouw- en montagevoorschriften.

## BIJLAGE H DIMENSIONERING BUFFERVAT

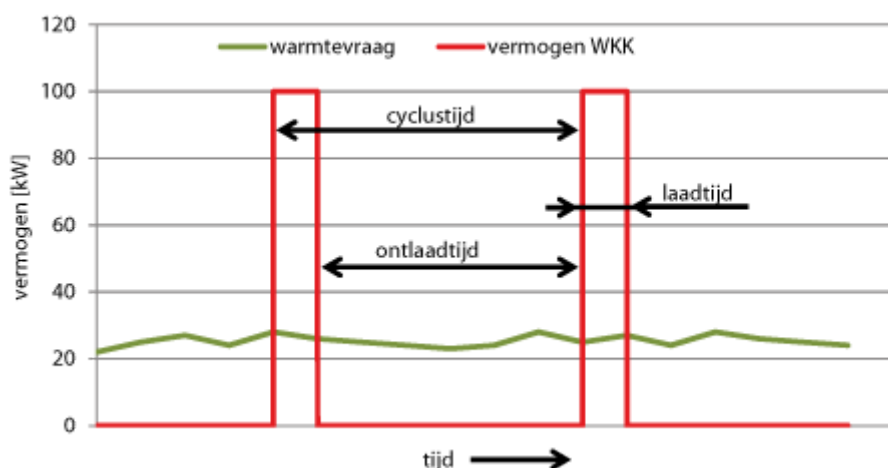
De dimensionering van een buffervat hangt af van de gewenste functie:

- (A) voorkomen dat de WKK-unit te veel starts gaat maken (anti-pendel functie); hierbij is de actieve systeeminhoud te klein om de unit een kleine warmtevraag te kunnen laten leveren;
- (B) voor het opvangen van pieken in de warmtevraag;
- (B) om de WKK-unit op andere tijden te kunnen laten functioneren;
- Combinaties van voornoemde punten.

De voornoemde punten kunnen qua uitgangspunten in twee delen opgesplitst worden (A) en (B), die hierna zijn uitgewerkt. Als er meerdere punten van toepassing zijn, dan moeten beide berekeningen uitgevoerd worden. De grootst berekende inhoud van het buffervat is leidend.

### A) Anti-pendel functie

In afbeelding H.1 zijn de belangrijkste factoren weergegeven voor het kunnen dimensioneren van het buffervat.



Afb. H.1 De belangrijkste factoren voor het dimensioneren van het buffervat voor een anti-pendel functie

De grootte van het buffervat kan worden berekend in de volgende stappen.

1. Bepaal het gewenste gemiddelde minimale CV-vermogen ( $PCV_{min}$ ) waarbij de WKK-unit met buffer nog warmte moet leveren.
2. Bepaal het kleinste thermische vermogen dat de WKK-unit kan leveren ( $P_{WKK,min}$ ).
3. Bepaal de cyclustijd ( $t_{cyclus}$ ); dit is de tijd die tussen de starts van de WKK-unit in moet zitten.
4. Bepaal wat de temperatuur boven- en onderin het buffervat gaat worden. Bovenin is gelijk aan de uittredetemperatuur van de WKK-unit. Onderin is gelijk aan de retourtemperatuur van het CV-net. Let er hierbij op dat het buffervat in deellast zijn functie heeft:
  - a. Als er qua aangesloten verwarmingsvermogen bijna alleen ruimte- of luchtverwarmers aanwezig zijn, dan kan de retourtemperatuur van een installatie die op 80/60 °C is ontworpen 40 °C zijn. Deze lage temperatuur kan gedeeltelijk veroorzaakt worden door toepassing van een stooklijn, maar zal met name veroorzaakt worden door het sterke afkoelen van het water bij de afnemers zelf in deellast;
  - b. Bij toepassing van een tapwater(circulatie)systeem zal de retourtemperatuur niet dalen in deellast. De temperatuur onderin het vat is in deze situatie afhankelijk van de verhouding tussen de vermogens van het tapwatersysteem en de overige afnemers en het tijdstip waarop de betreffende warmtevraag actief is.
5. Bereken de benodigde inhoud van het buffervat. Doe dit voor verschillende verwarmingsvermogens, oplopend vanaf 50% van het minimale verwarmingsvermogen van de WKK-unit (zie hiervoor ook het hierna uitgewerkte voorbeeld).

$V_{\text{anti-pendel}} = \frac{t_{\text{cyclus}} \cdot 3.600}{\rho \cdot c_p \cdot dT \cdot \left( \frac{1}{\Phi_{\text{WKK,min}} - \Phi_{\text{CV,min}}} + \frac{1}{\Phi_{\text{CV,min}}} \right)}$	[m³]	(H.1)
---	------	-------

Waarin:		
Vanti-pendel	= gewenst volume buffervat	[m³]
tcyclus	= cyclustijd	[h]
ρ	= soortelijke massa water	[kg/m³]
cp	= soortelijke warmte water	[kJ/kg·K]
dT	= temperatuur boven in buffervat – temperatuur onderin buffervat	[K]
Φwkk,min	= minimaal thermisch vermogen WKK	[kW]
ΦCV,min	= minimale warmtevraag waarbij WKK nog warmte levert	[kW]

6. Bereken de laadtijd; dit is de bedrijfstijd van de WKK-unit.

$t_{\text{laden}} = \frac{V_{\text{anti-pendel}} \cdot \rho \cdot c_p \cdot dT}{(\Phi_{\text{WKK,min}} - \Phi_{\text{CV,min}}) \cdot 3.600}$	[h]	(H.2)
--	-----	-------

Waarin:		
tladen	= laadtijd	[h]
Vanti-pendel	= volume buffervat	[m³]
ρ	= soortelijke massa water	[kg/m³]
cp	= soortelijke warmte water	[kJ/kg·K]
dT	= temperatuur boven in buffervat – temperatuur onderin buffervat	[K]
Φwkk,min	= minimaal thermisch vermogen WKK	[kW]
ΦCV,min	= minimale warmtevraag waarbij WKK nog warmte levert	[kW]

7. Bereken de ontladtijd; dit is de tijd dat de WKK-unit uit staat.

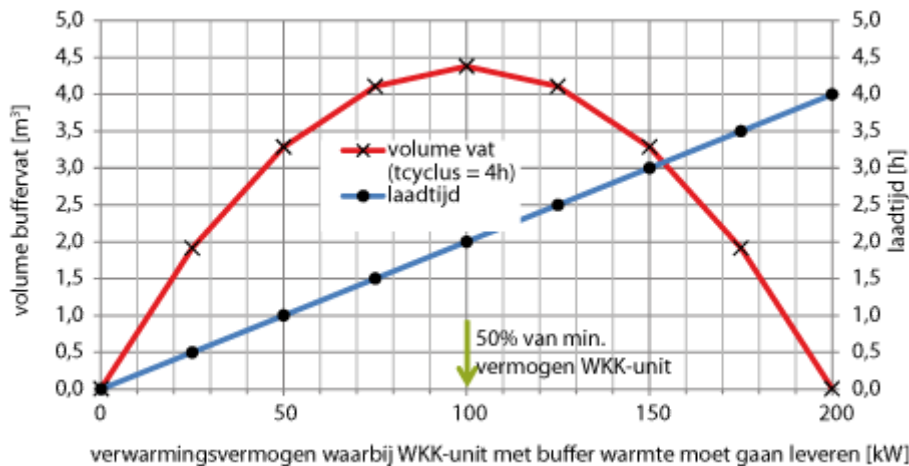
$t_{\text{ontladen}} = \frac{V_{\text{anti-pendel}} \cdot \rho \cdot c_p \cdot dT}{\Phi_{\text{CV,min}} \cdot 3.600}$	[h]	(H.3)
---	-----	-------

Waarin:		
tontladen	= laadtijd	[h]
Vanti-pendel	= volume buffervat	[m³]
ρ	= soortelijke massa water	[kg/m³]
cp	= soortelijke warmte water	[kJ/kg·K]
dT	= temperatuur boven in buffervat – temperatuur onderin buffervat	[K]
ΦCV,min	= minimale warmtevraag waarbij WKK nog warmte levert	[kW]

8. Controleer of  $t_{\text{laden}} + t_{\text{ontladen}} = t_{\text{cyclus}}$ .

#### Rekenvoorbeeld

Gegeven is een WKK-installatie met een minimaal thermisch vermogen van de WKK-unit van 200 kW. Het laagste vermogen waarbij de unit met buffer nog warmte moet leveren is gesteld op 25 kW. De temperaturen boven- en onderin het vat zijn 80/40 °C. De gewenste cyclustijd is 4 uren. Op basis van de hiervoor gegeven formules en waarden kan berekend worden wat het volume van het buffervat moet worden als functie van de 'minimale warmtevraag waarbij de WKK-unit met buffer nog warmte levert'. De resultaten staan in afbeelding H.2.



Afb. H.2 Volume buffervat en laadtijd WKK als functie van het verwarmingsvermogen waarbij de WKK + buffer warmte moet gaan laden

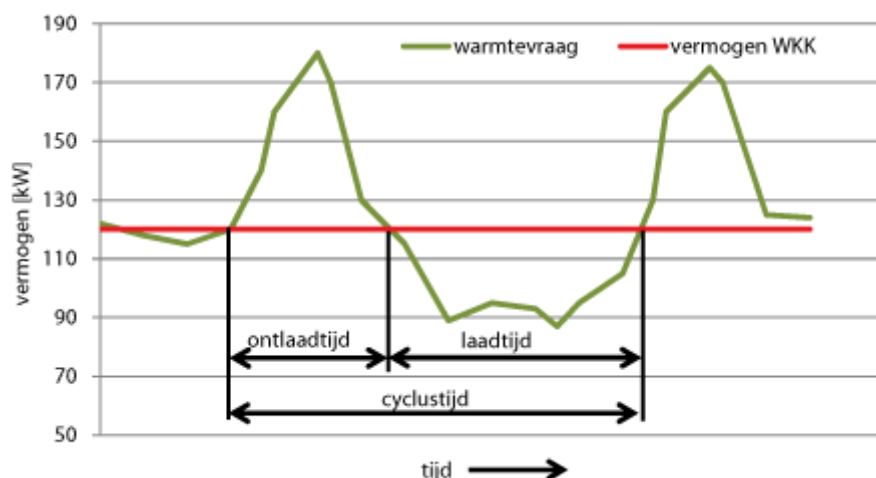
Uit afbeelding H.2 kunnen de volgende punten afgeleid worden:

- Als het minimale vermogen waarbij de WKK met buffer warmte moet gaan leveren 25 kW is, dan is deze situatie niet maatgevend: het vat zou 1,9 m³ groot worden. De laadtijd hierbij bedraagt 0,5 uur;
- Bij 50% van het minimale verwarmingsvermogen van de WKK-unit is de benodigde inhoud van het buffervat het grootst. Dit geldt voor alle voorkomende situaties;
- Ligt het minimaal te leveren verwarmingsvermogen onder de 50% van het vermogen van de WKK-unit, dan is de situatie van 50% maatgevend. In het geval van de resultaten uit afbeelding H.2 bedraagt de grenswaarde: 50% van 200 kW = 100 kW. Bij deze 100 kW is de benodigde inhoud van het vat 4,4 m³ en de laadtijd is 2 uren;
- Als het minimaal te leveren verwarmingsvermogen boven de 50% ligt, dan kan de inhoud van het vat kleiner gekozen worden. Mocht bijvoorbeeld een minimaal vermogen van 150 kW nodig zijn, dan wordt het vat 3,3 m³ groot met een laadtijd van 3 uren. In 1 uur wordt het vat dan weer ontladen, waardoor de cyclustijd weer op de gewenste 4 uren ligt.

Conclusie voor het rekenvoorbeeld: als het laagste vermogen waarbij de combinatie WKK-unit met buffer warmte moet leveren 25 kW bedraagt, dan moet de grootte van het buffer 4,4 m³ worden. Bij deze afname van 25 kW bedraagt de laadtijd 1,15 uur en de ontlaadtijd 8,04 uur. De cyclustijd komt hiermee op 9,19 uur. Als het gevraagde vermogen vervolgens stijgt naar de 100 kW, dan bedraagt de cyclustijd de vereiste 4 uren.

#### B) Pieken en verschuiven bedrijfstijd

In afbeelding H.3 zijn de belangrijkste factoren weergegeven voor het kunnen dimensioneren van het buffervat.



Afb. H.3 De belangrijkste factoren voor het dimensioneren van het buffervat voor piekbelasting en verschuiven van de bedrijfstijd

De grootte van het buffervat kan worden berekend in de volgende stappen.

1. Bepaal het gemiddelde CV-vermogen ( $\Phi_{CV,gem}$ ) wat tijdens de piek of na de verschuiving van de bedrijfstijd geleverd moet worden.
2. Bepaal de tijdsduur van de piek of de duur van het leveren van warmte na de verschuiving van de bedrijfstijd (tontladen).
3. Bepaal wat de temperatuur boven- en onderin het buffervat gaat worden. Bovenin is gelijk aan de uittredetemperatuur van de WKK-unit. Onderin is gelijk aan de retourtemperatuur van het CV-net. Let er hierbij op dat het buffervat in deellast zijn functie zou kunnen hebben:
  - a. Als er qua aangesloten verwarmingsvermogen bijna alleen ruimte- of luchtverwarmers aanwezig zijn, dan kan de retourtemperatuur van een installatie die op 80/60 °C is ontworpen 40 °C zijn. Deze lage temperatuur kan gedeeltelijk veroorzaakt worden door toepassing van een stooklijn, maar zal met name veroorzaakt worden door het sterke afkoelen van het water bij de afnemers zelf in deellast;
  - b. Bij toepassing van een tapwater(circulatie)systeem zal de retourtemperatuur niet dalen in deellast. De temperatuur onderin het vat is in deze situatie afhankelijk van de verhouding tussen de vermogens van het tapwatersysteem en de overige afnemers en het tijdstip waarop de betreffende warmtevraag actief is.
4. Bereken de benodigde inhoud van het buffervat.

$V_{piek} = \frac{\Phi_{CV,gem} \cdot t_{ontladen} \cdot 3.600}{\rho \cdot c_p \cdot dT}$	[m <sup>3</sup> ]	(H.4)
---	-------------------	-------

Waarin:		
V <sub>piek</sub>	= gewenst volume buffervat	[m <sup>3</sup> ]
Φ <sub>CV,gem</sub>	= gemiddelde CV-vermogen tijdens de piek	[kW]
tontladen	= tijdsduur van de piek	[h]
ρ	= soortelijke massa water	[kg/m <sup>3</sup> ]
c <sub>p</sub>	= soortelijke warmte water	[kJ/kg·K]
dT	= temperatuur boven in buffervat - temperatuur onderin buffervat	[K]

5. Controleer aan de hand van de data (per uur) of er na de piek voldoende tijd (laadtijd) en vermogen beschikbaar is om het buffervat weer te laden voordat het vat weer opnieuw ontladen wordt.



#### *Rekenvoorbeeld*

Gegeven is een WKK-installatie die gedurende 1,5 uur een gemiddeld piekvermogen van 50 kW vanuit het buffervat moet kunnen leveren. De temperaturen boven- en onderin het vat zijn 80/60 °C.

Op basis van de hiervoor gegeven formules en waarden kan berekend worden dat de volume van het vat 3,3 m<sup>3</sup> moet gaan bedragen.



# BIJLAGE I ACHTERGRONDFORMULES

In deze bijlage zijn de formules weergegeven die gebruikt zijn om diverse grafieken in deze publicatie te genereren.

## Rendement op boven- of onderwaarde

Voor het berekenen van het verschil in rendement als dat gebaseerd is op de boven- of onderwaarde van (aard)gas zijn de hierna volgende formules gebruikt.

*Berekening rendement, gebaseerd op bovenwaarde van gas*

$\eta_{\text{bovenwaarde}} = \frac{\eta_{\text{onderwaarde}} \cdot H_i}{H_s}$	[%]	(I.1)
---	-----	-------

Waarin:		
$\eta_{\text{bovenwaarde}}$	=	rendement energieomzetter, gebaseerd op calorische bovenwaarde [%]
$\eta_{\text{onderwaarde}}$	=	rendement energieomzetter, gebaseerd op calorische onderwaarde [%]
$H_i$	=	calorische onderwaarde gas [kJ/m <sup>3</sup> ]
$H_s$	=	calorische bovenwaarde gas [kJ/m <sup>3</sup> ]

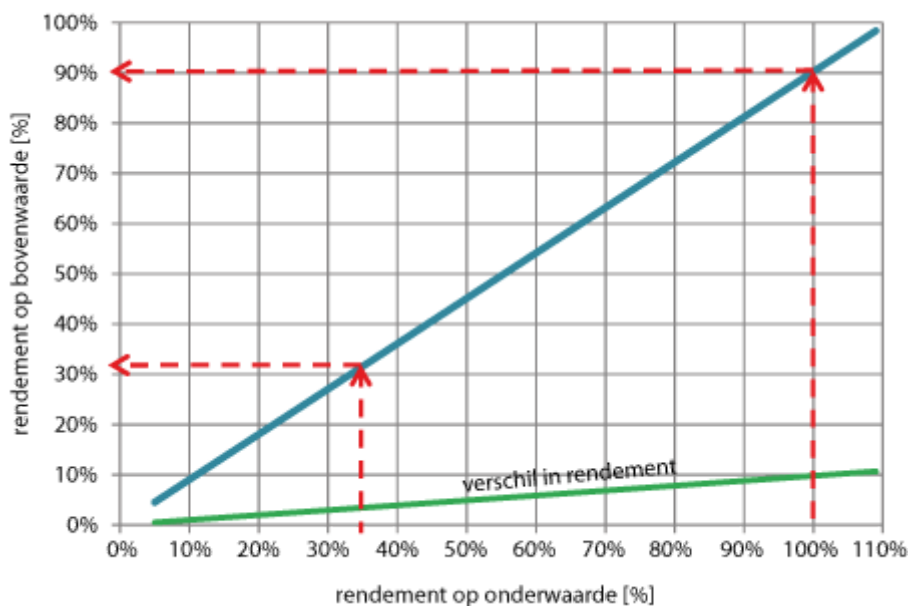
Omgekeerd kan ook het rendement, gebaseerd op de onderwaarde van gas uitgerekend worden.

*Berekening rendement, gebaseerd op onderwaarde van gas*

$\eta_{\text{onderwaarde}} = \frac{\eta_{\text{bovenwaarde}} \cdot H_s}{H_i}$	[%]	(I.2)
---	-----	-------

Waarin:		
$\eta_{\text{onderwaarde}}$	=	rendement energieomzetter, gebaseerd op calorische onderwaarde [%]
$\eta_{\text{bovenwaarde}}$	=	rendement energieomzetter, gebaseerd op calorische bovenwaarde [%]
$H_s$	=	calorische bovenwaarde aardgas [kJ/m <sup>3</sup> ]
$H_i$	=	calorische onderwaarde aardgas [kJ/m <sup>3</sup> ]

Met deze formules kan door het verschil te berekenen tussen de twee rendementen de hierna volgende afbeelding worden gegenereerd.



Afb. I.1 Relatie tussen een rendement dat gebaseerd is op de onder- (x-as) en bovenwaarde (y-as); tevens is het verschil tussen beide rendementen weergegeven (groene lijn)

### Warmtekrachtverhouding met meerdere warmteopwekkers

Voor het berekenen van de warmtekracht verhouding met meerdere warmteopwekkers zijn de hierna volgende formules gebruikt.

*Aandeel verwarmingsvermogen voor- en naverwarmers*

$\text{aandeel}_{\text{voor- en naverwarmers}} = \frac{\Phi_{\text{voorverwarmers}} + \Phi_{\text{naverwarmers}}}{\Phi_{\text{totaal}}}$	[%]	(I.3)
--	-----	-------

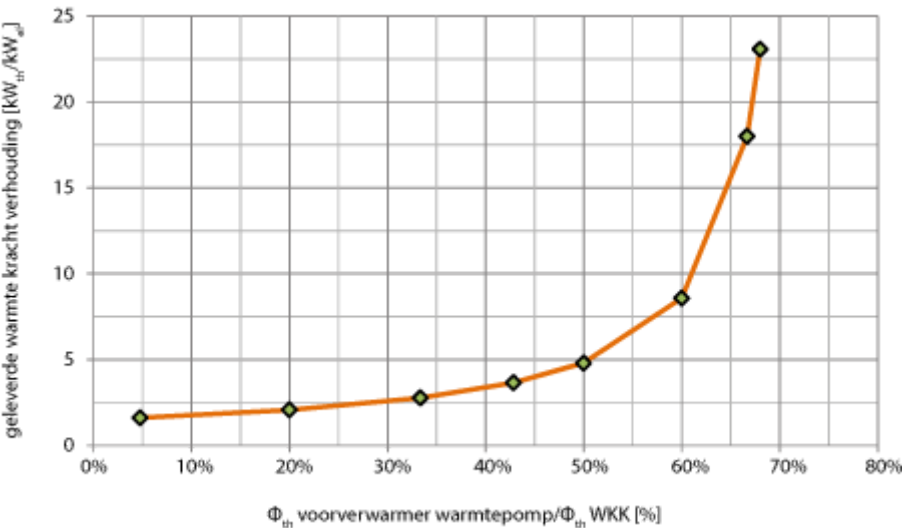
Waarin:			
aandeelvoor- en naverwarmers	=	aandeel van het opgestelde verwarmingsvermogen van de voor- en naverwarmers ten opzicht van het totaal opgestelde verwarmingsvermogen van een installatie met WKK	[%]
$\Phi_{\text{voorverwarmers}}$	=	opgesteld verwarmingsvermogen voorverwarmers	[kW]
$\Phi_{\text{naverwarmers}}$	=	opgesteld verwarmingsvermogen naverwarmers	[kW]
$\Phi_{\text{totaal}}$	=	nominaal verwarmingsvermogen	[kW]

*Warmtekrachtverhouding*

$\text{warmtekrachtverhouding} = \frac{\Phi_{\text{totaal}}}{E_{\text{WKK,inst}} - E_{\text{voorverwarmers}} - E_{\text{naverwarmers}}}$	[kWth/kWe]	(I.4)
--	------------	-------

Waarin:			
warmtekrachtverhouding	=	hoeveelheid nuttig gebruikte warmte gedeeld door de hoeveelheid opgewekte elektriciteit	[kWth/kWe]
$\Phi_{\text{totaal}}$	=	nominaal verwarmingsvermogen	[kW]
$E_{\text{WKK,inst}}$	=	opgewekte elektriciteitshoeveelheid WKK-unit	[kW]
$E_{\text{voorverwarmers}}$	=	gebruikte hoeveelheid elektriciteit voorverwarmers	[kW]
$E_{\text{naverwarmers}}$	=	gebruikte hoeveelheid elektriciteit naverwarmers	[kW]

Door het aandeel van het verwarmingsvermogen van de voor- en naverwarmers op de x-as te zetten en de warmtekrachtverhouding op de y-as kan de hierna volgende afbeelding gegenereerd worden.



Afb. I.2 Warmtekrachtverhouding als functie van het aandeel van het verwarmingsvermogen van de voor- en naverwamers op het nominale verwarmingsvermogen

**Richtlijn bepalen hydraulische inpassing naverwarming**

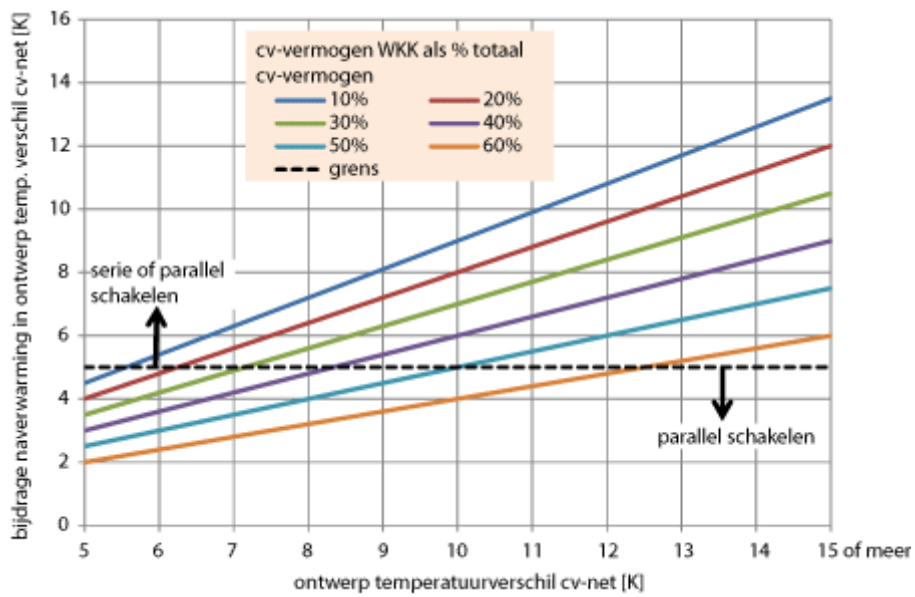
Het aandeel van de naverwarming als functie van het ontwerp temperatuurverschil van het CV-net kan als volgt berekend worden.

Aandeel naverwarmers

$\text{aandeel}_{\text{naverwarmers}} = \frac{\Phi_{\text{naverwarmers}}}{\Phi_{\text{WKK}} + \Phi_{\text{naverwarmers}} + \Phi_{\text{voorverwarmers}}} \cdot dT_{\text{cv-net}}$	[K]	(I.5)
--	-----	-------

Waarin:			
aandeelnaverwarmers	=	aandeel van het opgestelde verwarmingsvermogen van de naverwarmers ten opzicht van het opgestelde verwarmingsvermogen van de WKK-unit(s) + naverwarmers	[K]
$\Phi_{\text{naverwarmers}}$	=	opgesteld verwarmingsvermogen naverwarmers	[kW]
$\Phi_{\text{WKK}}$	=	opgesteld verwarmingsvermogen WKK-unit(s)	[kW]
$\Phi_{\text{voorverwarmers}}$	=	opgesteld verwarmingsvermogen voorverwarmers	[kW]
$dT_{\text{cv-net}}$	=	ontwerptemperatuurverschil CV-net	[K]

Door het ontwerptemperatuurverschil van het CV-net te laten variëren (x-as) kan voor verschillende situaties het aandeel van de naverwarmers worden berekend (y-as). Door deze berekening ook nog bij verschillende WKK vermogens uit te voeren kan de hierna volgende afbeelding gegenereerd worden.



Afb. I.3 Diagram met richtlijn voor bepalen hydraulische wijze van aansluiten naverwarming

## BIJLAGE J VOORBEELD PROJECTEN

In deze bijlage zijn enkele voorbeelden van de toepassing van deze publicatie uitgewerkt. De hierna volgende projecten zijn uitgewerkt.

- Investeringsbeslissing grote revisiebeurt. Bij dit project staat een WKK-unit opgesteld (88 kW<sub>e</sub>) voor de levering van warmte voor ruimteverwarming en warmtapwater. Bij dit voorbeeld staat met name het 4-stappen plan uit deze publicatie centraal;
- Onderzoek toepassing warmtegedreven koelproces. Bij dit project staan twee WKK-units opgesteld, met een elektrisch vermogen van 450 kW per stuk. Bij dit voorbeeld wordt met name ingegaan op de aspecten waarmee rekening gehouden moet worden bij toepassing van een warmtegedreven koelproces (absorptiekoelmachine);
- Realisatie WKK-unit in bestaande installatie. Bij dit project staat met name het selectieproces van een WKK-unit centraal.

De projecten zijn daadwerkelijk in de praktijk uitgevoerd en zijn geanonimiseerd.

### J.1 INVESTERINGSBESLISSING GROTE REVISIEBEURT

Bij een verzorgingstehuis in midden Nederland staat een WKK-unit opgesteld. Naast een grote revisiebeurt moeten ook de oliekanalen uitgeboord worden. Hiervoor moeten diverse onderdelen naar de werkplaats van de onderhoudspartij. De eigenaar van de installatie vraagt zich af of het rendabel is om nog in de unit te gaan investeren.



Afb. J.1 Grote revisiebeurt nodig, nog zinvol om te investeren?

#### **Programmafase**

Omdat het een bestaande installatie betreft, hoeven er geen keuzen gemaakt te worden voor het afgiftesysteem en hoeft er ook geen (voor)selectie van de grootte van de WKK-unit plaats te vinden. De eisen en wensen van de opdrachtgever dienen wel geïnventariseerd te worden. De opdrachtgever heeft als eis dat de investering binnen 3 jaar terugverdiend moet zijn. Daarnaast moet de unit na de revisie voldoen aan de (nieuwe) wettelijke eisen die binnenkort van kracht worden.

#### **Ontwerpfase**

Omdat het een bestaande installatie betreft waarbij alleen een revisie moet worden uitgevoerd, wordt besloten om uit de ontwerpfase alleen het stappenplan uit deze publicatie te gebruiken, zie afbeelding J.2.



Afb. J.2 Stappenplan om te komen tot een investeringsbeslissing

*Stap 1, selectie WKK-units*

Het betreft een bestaande installatie, waardoor er geen selectie hoeft plaats te vinden.



Afb. J.3 Revisiebeurt nodig

*Stap 2, bedrijfsvoering*

Aan de hand van bijlage C en de situatie ter plaatse is bepaald welke gegevens nodig zijn om de bedrijfsvoering op basis van de rentabiliteit per draaiuur te kunnen berekenen. De hierna volgende uitgangspunten zijn uitgezocht:

- Al de opgewekte elektriciteit wordt 'intern' gebruikt;
- De unit draait alleen in vollast;
- Er is geen warmtegedreven koelproces aanwezig.

Op basis van deze gegevens zijn de benodigde project gegevens verzameld. De verstrekte warmtebalans bleek fouten te bevatten. Daarom wordt aanbevolen om de opgegeven waarden altijd te controleren. De resultaten staan in tabel J.1.

Tabel J.1 Verzamelde project gegevens voor berekeningen in Stap 2



Symbol	Omschrijving	Waarde	Eenheid
Hi	energie inhoud aardgas, gebaseerd op calorische onderwaarde	8,797	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Kelektra, piek	elektriciteitstarief tijdens de uren dat het piektarief geldt	0,101191)	[€/kWh]
Kelektra, dal	elektriciteitstarief tijdens de uren dat het daltarief geldt	0,060321)	[€/kWh]
Kgas, WKK	aardgas tarief voor de WKK-installatie	0,20132	[€/m <sup>3</sup> ]
Kgas, ref	aardgas tarief voor de ketels die staan opgesteld	0,3250	[€/m <sup>3</sup> ]
Konderhoud, WKK-unit	onderhoudskosten per draaiuur van de WKK-unit	1,25	[€/hh]
Konderhoud, ketels	onderhoudskosten per draaiuur van de ketels	0,13	[€/hh]
$\eta_{th, ref}$	rendement warmteopwekking ketels, gebaseerd op onderwaarde	0,8752)	[-]
$\Phi_{th, wkk, 100\%}$	thermisch vermogen WKK bij 100% belasting	140	[kW]
$\eta_{th, wkk, 100\%}$	thermisch rendement WKK, bij 100% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,511	[-]
$\eta_{el, wkk, 100\%}$	elektrisch rendement WKK, bij 100% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,319	[-]
1) Het elektriciteitsverbruik bedraagt ca. 1,5 miljoen kWh elektra per jaar. Het overgrote deel van het verbruik valt daarom in tariefgroep 3 van de energiebelasting (situatie 2012). Het elektriciteitstarief voor dit project bestaat daarom uit het basistarief plus de (zakelijke) energiebelasting van tariefgroep 3. 2) Gemeten bij onderhoudsbeurt.			

Er is bij deze berekening bewust geen voordeel meegerekend van het verlagen van de elektriciteitspiek vanwege de bijdrage van de WKK-unit. Het is namelijk onzeker of de unit altijd functioneert op het moment dat er een piek optreedt.

Met behulp van de formules van bijlage C zijn de exploitatiekosten per draaiuur berekend. Hierbij is er gerekend met een (fictieve) warmtevraag van 500 kW en een (fictieve) elektriciteitsvraag van 300 kW. De eindresultaten staan in tabel J.2.

Tabel J.2 Resultaten rentabiliteit per draaiuur

Symbol	Eenheid	Tijdens 'piek' tarief	Tijdens 'dal' tarief
Kexploitatie, ref (energie + onderhoud)	[euro]	54,45 + 0,13 = 54,58	42,45 + 0,13 = 42,58
Kexploitatie, WKK, inst (energie + onderhoud)	[euro]	46,01 + 1,38 = 47,39	37,50 + 1,38 = 38,88
Kexploitatie, verschil	[euro]	7,19	3,70

Tijdens de uren dat het 'piek' tarief geldt is er tijdens de inzet van de WKK-unit een positief exploitatievoordeel van € 7,19. Tijdens de 'dal' uren bedraagt het voordeel € 3,70. Gezien deze resultaten worden ook de hierna volgende stappen uitgewerkt (indien het resultaat hier negatief zou zijn, dan heeft het geen zin om de volgende stappen verder uit te werken). Tevens kan uit de hoogte van deze bedragen afgeleid worden dat de WKK-unit tijdens de uren dat het 'piek' tarief geldt zo veel mogelijk moet functioneren, om een zo hoog mogelijke opbrengst te krijgen.

### Stap 3, energiestromen en -kosten

Omdat het een bestaande situatie betreft kan met behulp van de quickscan methode (paragraaf 2.8) de benodigde gegevens per jaar berekend worden (zie ook bijlage D voor een uitvoerige uiteenzetting).

Gemiddeld heeft de WKK-unit in de achterliggende jaren 5.569 draaiuren per jaar gemaakt. Hiervan zijn er 2.841 uren gedraaid op de tijden dat het 'piek' tarief geldt. De hierna volgende kosten en baten kunnen nu berekend worden.

- Opbrengst energiekosten tijdens 'piek' tarief: (€ 54,45 - € 46,01) euro/uur · 2.841 uren = € 23.978,- per jaar;
- Opbrengst energiekosten tijdens 'dal' tarief: (€ 42,45 - € 37,50) euro/uur · 2.728 uren = € 13.503,- per jaar;
- Totale opbrengst = € 37.481,- per jaar;

- Onderhoudskosten WKK-installatie: € 7.806,- per jaar (5.569 uur · € 1,25 per uur + € 845,- voor de ketels);
- Onderhoudskosten installatie met ketels (referentie): € 845,- per jaar.

Met deze gegevens is er voldoende input voor de volgende stap.

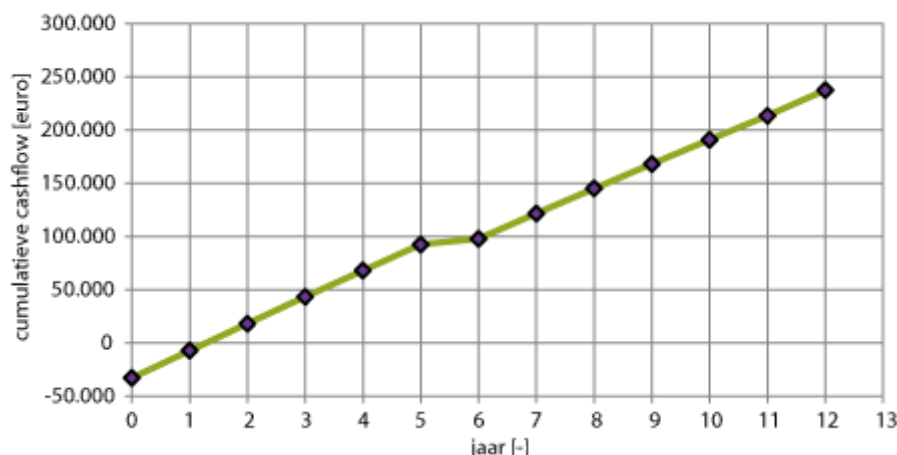
#### Stap 4, economische analyse

Bij de bepaling van de economische haalbaarheid is gebruik gemaakt van de methodiek die in bijlage E is uitgewerkt: de Netto Contante Waarde (NCW) methode. In tabel J.3 zijn de benodigde uitgangspunten weergegeven.

Tabel J.3 Uitgangspunten om de economische haalbaarheid van de investering te toetsen (Stap 4)

Symbool	Omschrijving	Waarde	Eenheid
Kenergie,WKK - ref.	jaarlijks verschil energiekosten WKK-installatie - ref. installatie	37.481	[euro]
fstijging,energie	jaarlijkse stijging energiekosten	3%	[%]
Konderhoud,ref	jaarlijkse onderhoudskosten referentie-installatie (ketels)	845	[euro]
Konderhoud,WKK	jaarlijkse onderhoudskosten WKK-installatie (met ketels)	7.806	[euro]
fstijging,onderhoud	jaarlijkse stijging onderhoudskosten	2%	[%]
frente	rente	5%	[%]
-	aantal draaiuren WKK per jaar	5.569	[hh]
-	interval grote onderhoudsbeurt	32.000	[hh]
Kgroot onderhoud,WKK	kosten grote onderhoudsbeurt per keer	25.000	[euro]
IO	(meer)investering WKK-installatie (de nu benodigde revisiebeurt)	32.895	[euro]
RW	verschil restwaarde WKK-installatie t.o.v. referentie installatie (positief = WKK is meer waard dan referentie)	3.500	[euro]
n	levensduur WKK-installatie	121	[jaar]
1) Om de 6 jaren moet een grote onderhoudsbeurt worden uitgevoerd (32.000 draaiuren/5.569 draaiuren per jaar). Daarom is de levensduur op 12 jaar gesteld.			

Het resultaat van de berekeningen, de cumulatieve cashflow, is in afbeelding J.4 weergegeven.



Afb. J.4 Resultaat van de berekeningen in Stap 4

#### Uitwerkingsfase

De uit te voeren werkzaamheden zijn uitvoerig beschreven in de offerte van de onderhoudspartij. Er heeft een controle plaats gevonden van deze offerte: er zijn geen 'open einden' aanwezig en de inhoud voor de grote revisiebeurt is compleet.

## Realisatiefase

Uit afbeelding J.4 kan afgelezen worden dat de investering binnen ca. 1,5 jaar terugverdiend is. De netto contante waarde bedraagt na 5 jaren ruim € 125.000,-. Daarnaast heeft de onderhoudspartij aangegeven dat de WKK-unit na de revisie aan de toekomstige milieu-eisen zal voldoen. Geconcludeerd kan worden dat de eigenaar van deze installatie de grote revisiebeurt in opdracht kan gaan geven.

## Beheerfase

Voor de beheerfase is aanbevolen om het aantal draaiuren van de WKK-unit kritisch te blijven volgen. Als het aantal uren terug loopt, dan dient er actie ondernomen te worden om de oorzaak te achterhalen.

### J.2 ONDERZOEK TOEPASSING WARMTEGEDREVEN KOELPROCES

Bij een groot complex staan twee WKK-units opgesteld. Er is in de zomermaanden behoefte aan het elektrische vermogen van deze units. Momenteel wordt de warmte in de zomermaanden afgevoerd. De eigenaar wil graag weten of het mogelijk is om een warmtegedreven koelproces in te gaan zetten: gewenst is een onderzoek naar een absorptie koelmachine, vanwege de grote koudevraag, die momenteel door compressie koelmachines wordt geleverd.



Afb. J.5 Onderzoek naar effecten nuttig gebruik warmte in de zomer van deze WKK-unit

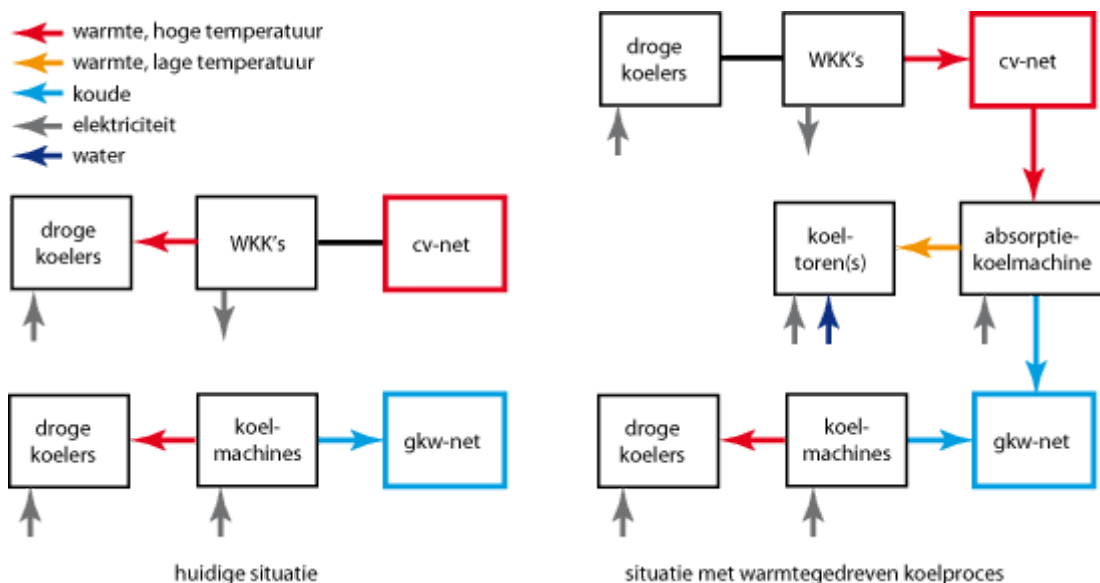
### Programmafase

Bij deze bestaande installatie is het onderdeel 'inventariseer de eisen en wensen van de opdrachtgever' van toepassing in deze fase. Naast deze gegevens moeten de kenmerken van de huidige verwarmings- en koelinstallatie vastgelegd worden. Gebruik hiervoor de tabellen uit paragraaf 2.10. Een belangrijk aspect bij toepassing van absorptiekoeling is het gewicht van de unit. Inventariseer in een vroeg stadium of dit aspect geen probleem vormt.

Ga na of er plannen zijn voor renovatie of uitbreiding, die invloed hebben op de hoogte en de hoeveelheid van de energievraag van het gebouw. Hou hier rekening mee bij het meten en/of berekenen van de energiestromen.

Er kan voor gekozen worden om in de Programmafase een quickscan uit te voeren: levert de installatie met AKM een energetisch, milieutechnisch en financieel voordeel op? Gebruik hiervoor Stap 2, 'Bedrijfsvoering op basis van rentabiliteit per draaiuur' uit paragraaf 2.7 en bijlage C. Selecteer voor de berekeningen een AKM die geschikt is voor het thermische vermogen van de WKK-units.

In afbeelding J.6 zijn de energie- en waterstromen schematisch gevisualiseerd. Aan de linkerkant is de bestaande situatie weergegeven en aan de rechterkant de situatie met AKM (absorptiekoelmachine).



Afb. J.6 Energie- en waterstromen in de huidige situatie (links) en de situatie met warmtegedreven koelproces

De resultaten van de energie- en milieueffecten voor een draaiuur zijn in tabel J.4 weergegeven. Er is hierbij gerekend met een koudevraag van 1.500 kW.

Tabel J.4 Energie- en milieueffecten van toepassing AKM voor een draaiuur

Symbol	Eenheid	Referentie situatie	Situatie met AKM	Vershil
Pelektra,gebouw	[kW]	5.000	5.000	0
Pelektra,WKK's	[kW]	-900	-900	0
Pelektra,koelmachines	[kW]	360	170	-190
Pelektra,AKM	[kW]	-	10	10
Pelektra,warmteafvoer	[kW]	150	90	90
Pelektra,totaal	[kW]	4.610	4.370	-240
Gasverbruik	[m <sup>3</sup> ]	285	285	0
Waterverbruik	[m <sup>3</sup> ]	-	8	8
CO2 uitstoot	[kg]	3.120	2.980	-140

Door de toepassing van een AKM hoeven de huidige koelmachines minder koude te genereren, waardoor het elektraverbruik daalt. In de referentiesituatie wordt de warmte van zowel de WKK's als de koelmachines afgevoerd (droge koelers). In de situatie met AKM wordt de warmte van de koelmachines afgevoerd via de bestaande droge koelers. De warmte van de absorptiekoelmachine AKM wordt via een koeltoren afgevoerd.

Samengevat stijgt bij toepassing van een AKM het waterverbruik en daalt het elektraverbruik en de uitstoot van CO<sub>2</sub>. Dit laatste onderdeel wordt meegenomen voor de CO<sub>2</sub> emissiehandel. Voor het verkrijgen van het exploitatie voordeel worden de verschillen in energie, water en CO<sub>2</sub> uitstoot vermenigvuldigd met de kosten.

## Ontwerpfase

Als eerste moet inzicht verkregen worden in de daadwerkelijke vermogensbehoefte van met name de koude en elektriciteit van het gebouw. Gebruik hiervoor de methoden die in paragraaf 2.6.2, onder het kopje 'Bestaande projecten' zijn aangereikt. Het wordt afgeraden om uit te gaan van het reeds opgestelde koelvermogen.

Dimensioneer de absorptiekoelmachine op basis van paragraaf 3.11.1 en aan de hand van het stappenplan (paragraaf 3.6), om een optimale selectie te kunnen maken.

Bij een installatie met WKK en absorptiekoelmachine zijn de in afbeelding J.6 weergegeven energie- en waterstromen van belang voor de berekeningen.

Voor de exploitatie- en onderhoudskosten moet rekening gehouden worden met de volgende aspecten:

- De elektriciteitskosten;
- De gaskosten;

- Kosten voor de inkoop van water;
- De mogelijke kosten voor chemicaliën voor de waterbehandeling;
- De onderhoudskosten van waterbehandeling(s)unit(s), koeltoren(s), absorptiekoelmachine, WKK-units, koelmachines en droge koelers.

Werk tenslotte het proces- en instrumentatieschema en de gewenste functionaliteit uit.



Afb. J.7 WKK-unit gecombineerd met een AKM zorgt voor lager elektraverbruik en lagere CO2 uitstoot

### **Uitwerkingsfase**

De uit te voeren werkzaamheden en de te gebruiken materialen worden tijdens de uitwerkingsfase omschreven (hoofdstuk 4). Let er bij het uitwerken van het functioneel ontwerp met name op, of er voldoende meet componenten voorzien zijn, om de AKM op het juiste moment in te kunnen schakelen.

### **Realisatiefase**

Voor de te doorlopen stappen van de realisatiefase kan hoofdstuk 5 gebruikt worden. Naast de genoemde aspecten in hoofdstuk 5, dient bij de inbedrijfstelling en tijdens de nazorg fase met name gelet te worden op de interactie tussen de WKK-units, AKM en naverwarmers. Komen de naverwarmers op de gewenste momenten in? Schakelt de AKM op de juiste momenten in? Functioneren de processen onder verschillende buitencondities stabiel?

### **Beheerfase**

Tijdens de beheerfase moet gecontroleerd worden of de installatie aan de technische specificaties blijft voldoen. Evalueer het economisch functioneren van de gehele installatie als er wijzigingen optreden in de energie, water of CO2 emissie tarieven. Gebruik hoofdstuk 6 als een leidraad bij het beheer.

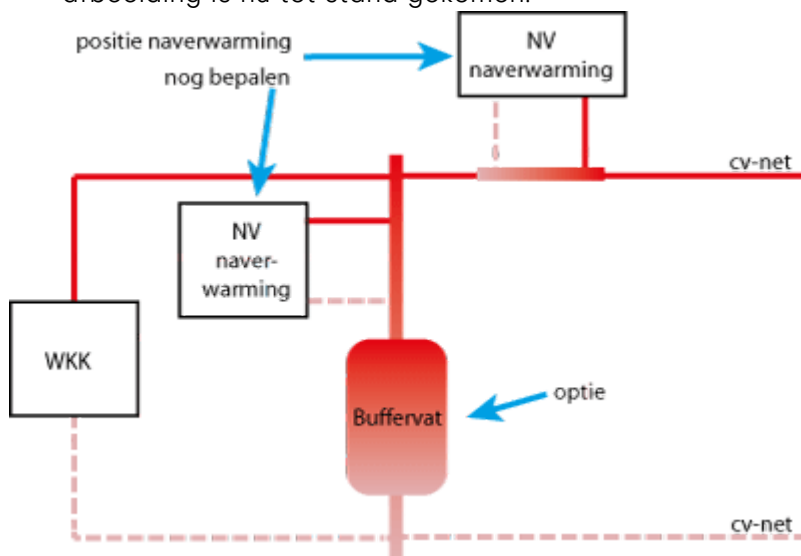
## **J.3 REALISATIE WKK-UNIT IN BESTAANDE INSTALLATIE**

In dit voorbeeld wordt een nieuwe WKK-installatie uitgewerkt voor een bestaand Hotel. In de huidige situatie wordt al de benodigde warmte opgewekt door ketels. De uitwerking is opgezet aan de hand van de verschillende projectfasen uit deze publicatie.

### **Programmafase**

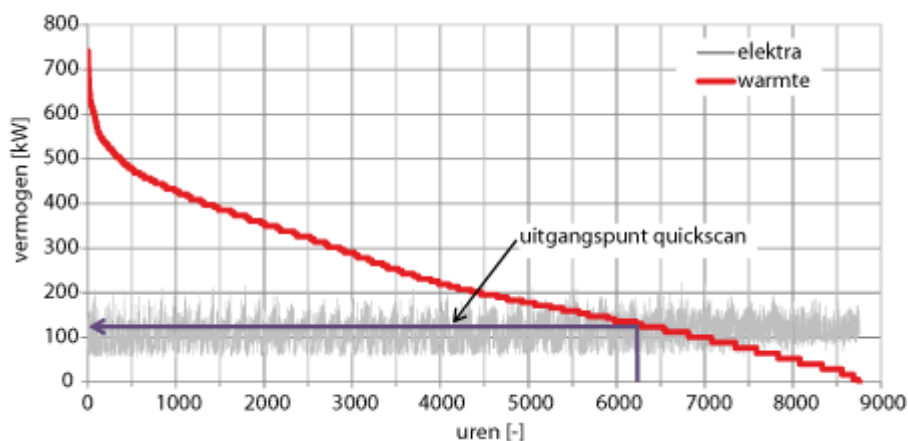
In de programmafase zijn enkele stappen opgenomen die doorlopen moeten worden. In het onderstaande overzicht zijn deze stappen weergegeven met de resultaten voor dit project.

1. 'Controleer of het voorgesteld project binnen het toepassingsgebied van een WKK-installatie ligt' (paragraaf 2.2). Uit de opgave (toepassing is Hotel ) blijkt dat dit project binnen de weergegeven toepassingsgebieden valt;
2. 'Inventariseer de wensen van de opdrachtgever en de randvoorwaarden' (paragraaf 2.3). Uit overleg met de opdrachtgever komen met name de hierna volgende punten naar voren:
  - a. Binnen 15 jaar moet er minimaal een netto contante waarde van € 200.000,- behaald worden, bij een rente percentage van 5%;
  - b. Daarnaast mag de installatie geen (geluid)hinder geven voor de hotelgasten. Naar aanleiding van dit gegeven worden de geveltekeningen opgevraagd;
  - c. Verder worden de tekeningen van de technische ruimten en elektrotechnische tekeningen verstrekt en worden de gegevens van de maximale vloerbelasting opgevraagd;
  - d. Tenslotte wordt aangegeven dat het niet nodig is om een warmteafvoerinstallatie op te nemen (er is al een noodstroomvoorziening aanwezig) en ook geen koelinstallatie in combinatie met de WKK-unit(s). De bestaande ketelinstallatie zal in bedrijf blijven, mogelijk grotendeels als back-up.
3. 'Keuze van de afgifte-installatie' (paragraaf 2.4). Het betreft hier een bestaande installatie. Deze is ontworpen op een temperatuur traject van 80/60 °C. Dit traject is geschikt voor toepassing met WKK-installaties;
4. 'Selecteer opwekkingsinstallatie met WKK' (paragraaf 2.5). In de programma fase zijn de hierna volgende onderdelen opgenomen als keuze mogelijkheid:
  - a. Buffervat: besloten wordt om dit onderdeel als optie mee te nemen;
  - b. Naverwarming: de bestaande ketels zullen ingezet worden voor de naverwarming. Er zal nog berekend moeten worden of deze ketels in serie of parallel aan de WKK-unit kunnen staan;
  - c. Voorverwarming: vanwege het temperatuurtraject, waarbij de retourtemperatuur 60 °C is, wordt ervoor gekozen om geen warmtepompen te gaan gebruiken als voorverwarmers;
  - d. Warmteafvoer: geen wens van de opdrachtgever;
  - e. Warmteafvoer tussen circuits: gezien het patroon van de warmtevraag (punt 5) zal het afvoeren van warmte van bijvoorbeeld een intercooler niet nodig zijn;
  - f. Warmtegedreven koelproces: geen wens van de opdrachtgever. De hierna volgende afbeelding is nu tot stand gekomen.



Afb. J.8 Bestaande installatie met WKK-unit geïntegreerd

5. 'Selecteer een WKK-unit op basis van een inschatting of berekening van de warmte, koude- en elektriciteitsvraag, Stap 1' (paragraaf 2.6). Het gemeten gas- en elektriciteitsverbruik is voor dit pand beschikbaar (uur waarden). Achter de gasmeter is echter ook de keuken aangesloten. Deze heeft een verbruik van 35.000 m<sup>3</sup> per jaar. Op basis van een patroon is dit gasverbruik afgetrokken van het totale gasverbruik. Daarna is het gasverbruik omgerekend naar een warmtevraag. Door de meet data te sorteren op basis van de warmtevraag ontstaat de hierna volgende afbeelding.



Afb. J.9 De jaarbelastingduurkromme voor de warmtevraag (elektriciteitsvraag is opgenomen als indicatie)

Op basis van de gegevens uit afbeelding J.9 is er voor gekozen om de quickscan van de programma fase uit te voeren met een op de markt beschikbare WKK-unit die een thermisch vermogen van 138 kW heeft en een elektrisch vermogen van 104 kW. Deze unit kan ca. 6.200 draaiuren per jaar maken (zonder buffervat).

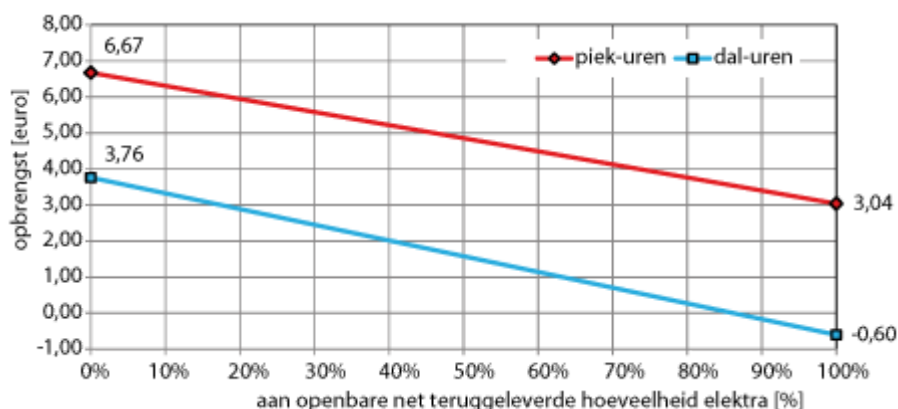
6. 'Bepaal de bedrijfsvoering aan de hand van de rentabiliteit per draaiuur, Stap 2' (paragraaf 2.7). Voor de berekening van de rentabiliteit zijn de hierna volgende gegevens verzameld. De gekozen WKK-unit kan alleen op vollast draaien, daarom zijn geen deellast gegevens opgenomen.

Tabel J.5 Benodigde gegevens voor bepaling bedrijfsvoering

Symbol	Omschrijving	Waarde	Eenheid
Hi	energie inhoud aardgas, gebaseerd op calorische onderwaarde	8,797	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Kelektra,piek	elektriciteitstarief tijdens de uren dat het piektarief geldt	0,09610	[€/kWh]
Kelektra,dal	elektriciteitstarief tijdens de uren dat het daltarief geldt	0,06810	[€/kWh]
Kelektra,verkoop,piek	vergoeding voor elektriciteit ('piek-uren') die aan het openbare net geleverd wordt	0,0612	[€/kWh]
Kelektra,verkoop,dal	vergoeding voor elektriciteit ('dal-uren') die aan het openbare net geleverd wordt	0,0262	[€/kWh]
Kgas,WKK	aardgas tarief voor de WKK-installatie	0,21500	[€/m <sup>3</sup> ]
Kgas, ref	aardgas tarief voor de ketels die staan opgesteld	0,31444	[€/m <sup>3</sup> ]
Konderhoud,WKK-unit	onderhoudskosten per draaiuur van de WKK-unit	1,93	[€/hh]
Konderhoud,ketels	onderhoudskosten per draaiuur van de ketels	0,36	[€/hh]
$\eta_{th,ref}$	rendement warmteopwekking ketels, gebaseerd op onderwaarde	0,9	[-]
Pth,wkk,100%	thermisch vermogen WKK bij 100% belasting	138	[kW]
$\eta_{th,wkk,100\%}$	thermisch rendement WKK, bij 100% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,489	[-]
$\eta_{el,wkk,100\%}$	elektrisch rendement WKK, bij 100% belasting, gebaseerd op onderwaarde	0,369	[-]

Met behulp van de gegevens uit tabel J.5 en de formules van bijlage C wordt voor vier situaties de rentabiliteit per draaiuur berekend. De resultaten zijn in afbeelding J.10 weergegeven.





Afb. J.10 Resultaat rentabiliteit per draaiuur als functie van de aan het openbare net terug geleverde hoeveelheid elektriciteit

Zoals verwacht wordt de hoogste opbrengst gerealiseerd tijdens de piek-uren, als er geen elektriciteit aan het openbare net wordt terug geleverd. Tijdens de dal-uren, als 100% wordt teruggeleverd, is er sprake van een klein gering negatief resultaat. Het draaien met de WKK-unit in deze situatie kost dus meer dan het oplevert. Merk op dat in afbeelding J.10 nog geen rekening is gehouden met rente- en afschrijvingskosten. Bij de verdere uitwerking dient er dus op gelet te worden dat tijdens de dal-uren er niet 'te veel' elektriciteit aan het net geleverd wordt.

7. 'Bereken de energiestromen en -kosten, Stap 3'. Om de energiestromen en -kosten te kunnen berekenen moet bekend zijn hoeveel uur de geselecteerde WKK-unit per jaar zou gaan draaien (paragraaf 2.8). Dit moet berekend worden voor zowel de piek- als de dal-uren. Tabel J.6 Draaiuren WKK-unit, opgesplitst naar tijd waarop hij draait en het overschot aan elektriciteit

Situatie	Aantal uren	Opbrengst [euro]
Piek-uren < 5% terug leveren	2.580	€ 17.210
Piek-uren, 5 - 20% terug leveren	180	€ 1.120
Piek-uren > 20% terug leveren	0	€ 0
Dal-uren < 5% terug leveren	1.250	€ 4.700
Dal-uren, 5 - 25% terug leveren	900	€ 2.800
Dal-uren, 26 - 45% terug leveren	1.370	€ 3.060
Dal-uren, > 45% terug leveren	0	€ 0
Totaal	6.280	€ 28.890

Bij de analyse bleek dat er sprake is van het terug leveren van elektriciteit aan het net. Daarom is geanalyseerd hoeveel uren welke situatie voorkomt. Deze analyse is grof opgezet, omdat het hier nog een quickscan betreft. Voor de berekening van de opbrengst is gebruik gemaakt van de gemiddelde opbrengst in de betreffende situatie. Tijdens de dal-uren ligt het terug geleverde percentage tussen de 5 en 25%, gemiddeld is dit 15%. Dit komt overeen met een opbrengst van € 3,11 per draaiuur, zie ook afbeelding J.10.

8. 'Maak een economische analyse, Stap 4'. Met behulp van een kengetal van € 1.300,- per kWe worden de investeringskosten geraamd op € 135.000,-. Met een jaarlijkse opbrengst van € 28.890,- wordt de eenvoudige terugverdientijd 4,7 jaar. Op basis van deze uitgangspunten en het besef dat het gekozen uitgangspunt voor de WKK-unit nog niet geoptimaliseerd is, wordt besloten het project verder in detail uit te werken.
9. 'Verwerk de voorgaande stappen in een PvE'. Verzamel de gegevens en leg deze vast. Maak hierbij gebruik van paragraaf 2.10.

## Ontwerpfase

De ontwerpfase bestaat uit de hierna volgende onderdelen:

1. Distributie en afgifte: berekenen vermogensbehoeften en maken van keuzen voor hydraulische inpassing afgiftesystemen (paragraaf 3.2 tot en met 3.5);



2. Opwekking: uitwerken van de WKK-unit en de gekozen onderdelen (paragraaf 3.6 tot en met 3.11);
3. Schema: visualiseer de installatie in een proces- en instrumentatieschema (paragraaf 3.12 tot en met 3.13).

Deze drie onderdelen worden hierna verder uitgewerkt.

### 1. Distributie en afgifte

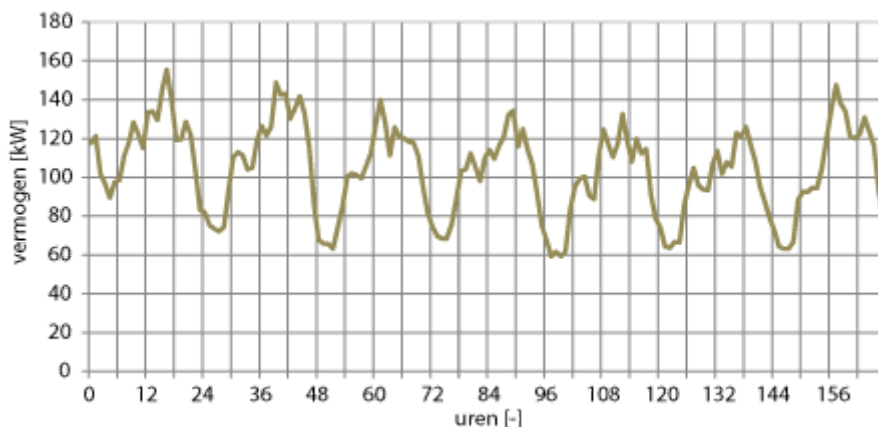
Bij dit onderdeel moeten als eerste de vermogensbehoeften vastgesteld worden. Dit betreft het vermogen van verwarming, elektriciteit en koeling. Bij dit project wordt de WKK-unit niet ingezet voor het leveren van warmte voor een warmtegedreven koelproces. Daarom hoeft koeling niet uitgewerkt te worden.

#### Verwarming

De vermogensbehoefte voor verwarming kan uit afbeelding J.9 afgeleid worden. Uitgegaan wordt van een te leveren piek vermogen van 800 kW. Om pieken in de warmtevraag van het tapwatersysteem op te vangen zijn reeds buffervaten voorzien. Na controle blijkt dat dit deel van de installatie goed gedimensioneerd is.

#### Elektriciteit

Ook de elektriciteitsvraag is reeds bekend. In afbeelding J.11 is de meetdata van een week, tijdens de winterperiode weergegeven als voorbeeld.



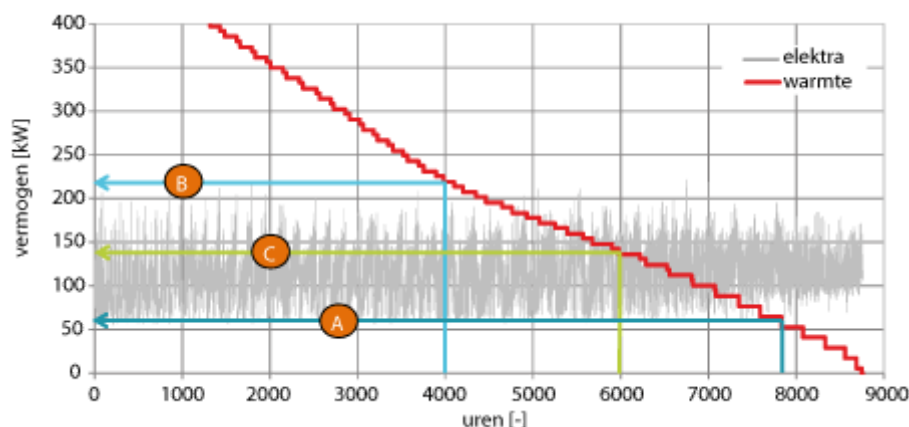
Afb. J.11 Het gemeten elektriciteitsverbruik, gevisualiseerd voor een week

De gemiddelde elektriciteitsvraag bedraagt 114,8 kW. Het piekvermogen bedraagt 221,1 kW en de laagste gemeten afname bedraagt 55,3 kW.

Ten slotte is voor dit onderdeel gecontroleerd hoe de afgifte installatie hydraulisch is opgebouwd. Er is gebruik gemaakt van warmtegebruiker moduul 3 en 5, in combinatie met centrale distributiepompen. Er is vanwege lange leidinglengten aan het eind een (dunne)kortsluitleiding met een thermostatische regelaar opgenomen. Deze zal geen nadelige invloed op de prestaties van een WKK-unit hebben.

### 2. Opwekking

Bij dit onderdeel wordt als eerste de WKK-unit gedimensioneerd. Dit gebeurt op basis van de economisch meest aantrekkelijke variant. Er wordt begonnen met de selectie van enkele units, zoals in afbeelding J.12 is weergegeven.



Afb. J.12 Gedeelte van jaarbelastingduurkromme met drie start uitgangspunten voor het verwarmingsvermogen van de WKK-unit

Omdat het verschil tussen het vermogen van WKK-unit A en B groot genoeg is, wordt er ook nog een unit C doorgerekend. In tabel J.7 zijn enkele resultaten opgenomen van de dimensionering van de installaties met WKK-unit.

Tabel J.7 Resultaten dimensionering, exploitatiekosten en milieueffecten

Omschrijving	Eenheid	WKK-unit A	WKK-unit C	WKK-unit B
Thermisch vermogen WKK	[kW]	1091)	140	220
Elektrisch vermogen WKK	[kW]	70	87	149
Draaiuren WKK	[hh/a]	7.898	7.645	6.660
Bijdrage WKK warmtevraag	[%]	42%	53%	72%
Grootte buffervat	[kWh]	75	125	300
Verskil exploitatiekosten ten opzichte van huidige installatie	[€/a]	17.900	21.800	39.200
ETVT	[a]	7,5	6,8	5,1
NCW	[€]	114.000	150.000	324.000
Reductie CO2 uitstoot per jaar	[ton/a]	180	195	330
Reductie CO2 uitstoot per jaar	[%/a]	17%	18%	30%
1) Dit vermogen wijkt af van het gevisualiseerde vermogen in afbeelding J.12. De toelichting hierop is gegeven in de hierna volgende alinea 'Overwegingen bij WKK-unit (A)'.				

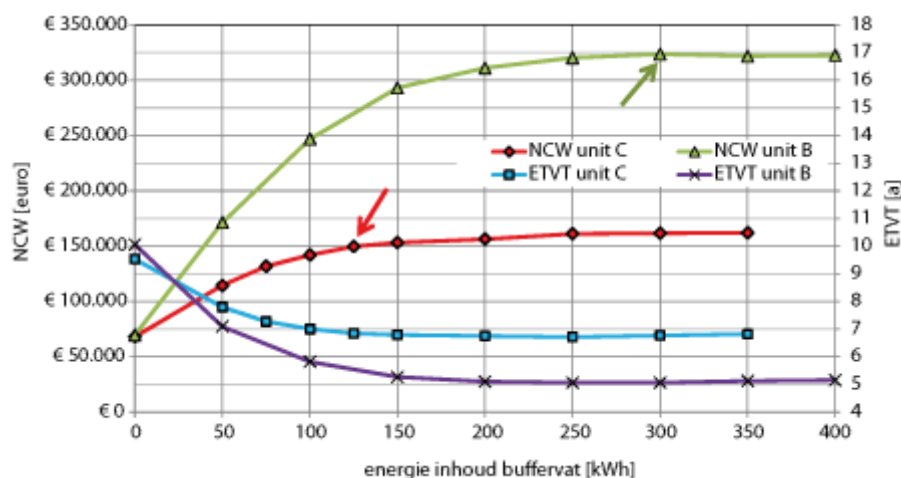
Om een goede vergelijking van de NCW te kunnen maken is de termijn waarop dit getal wordt berekend voor alle varianten vastgezet op 15 jaar. Investerings voor een grote onderhouds- of revisie beurd hangen af van het aantal gemaakte draaiuren en het onderhoudsinterval hiervoor. Nu zou het voor kunnen komen dat bijvoorbeeld bij een unit in jaar 14 nog geïnvesteerd wordt, terwijl dit bij een andere unit in jaar 16 nodig is. De vergelijking is dan niet zuiver. Daarom zijn de kosten voor grote onderhouds- en revisiebeurten opgenomen in de kosten voor het onderhoud per draaiuur.

#### Overwegingen bij WKK-unit (A)

Voor de situatie (A) is gekozen voor een WKK-unit met een thermisch vermogen van 109 kW. Als er een unit gekozen was met een thermisch vermogen van 80 kW (afbeelding J.12), dan ligt het elektrische vermogen onder de 60 kW. Door dit lage vermogen zou deze unit niet meer in aanmerking komen voor de EB vrijstelling op aardgas. Er kan dan geen positief exploitatievoordeel behaald worden. Er is voor een buffervat gekozen met een inhoud van 3,2 m<sup>3</sup>. Een grotere systeeminhoud levert bij deze installatie nagenoeg geen hogere netto contante waarde op.

#### Overwegingen bij WKK-unit (B) en (C)

Om inzicht te geven in het verloop van de NCW is afbeelding J.13 opgenomen. Hierin is voor unit (B) en (C) zowel de NCW als de ETVT als functie van de energie inhoud van de installatie weergegeven.



Afb. J.13 Netto contante waarde en eenvoudige terugverdientijd als functie van de energie inhoud van de installatie (pijl geeft gekozen situatie weer)

De keuze voor de energieinhoud van het buffervat is bij unit (B) gebaseerd op het aantal starts. Op basis van het gekozen uitgangspunt zal de unit in een jaar ca. 680 starts gaan maken, een gemiddelde draaitijd van 10 uur per start hebben en het hoogste aantal starts per dag bedraagt 5. Als er een kleiner buffervat gekozen wordt, dan stijgt het totaal aantal starts fors en worden er ook meer dan 6 starts op een dag gemaakt. Op basis van het verloop van de lijn van de NCW zou een energie inhoud van 150 - 200 kWh voldoende zijn. Daarboven stijgt de NCW namelijk nagenoeg niet meer.

Bij unit (C) is er een keuze gemaakt voor een systeem inhoud van 125 kWh (zie de pijl in afbeelding J.13). Een grotere inhoud geeft geen significante verhoging van de NCW.

#### Tweede selectie ronde

Op basis van de verschillen in NCW tussen de WKK-units (B) en (C) en het feit dat technische randvoorwaarden bij unit (B) de grootte van het buffervat bepalen is besloten om nog twee units (D) en (E) door te rekenen. Deze units liggen qua capaciteit tussen de vermogens van unit (B) en (C) in.

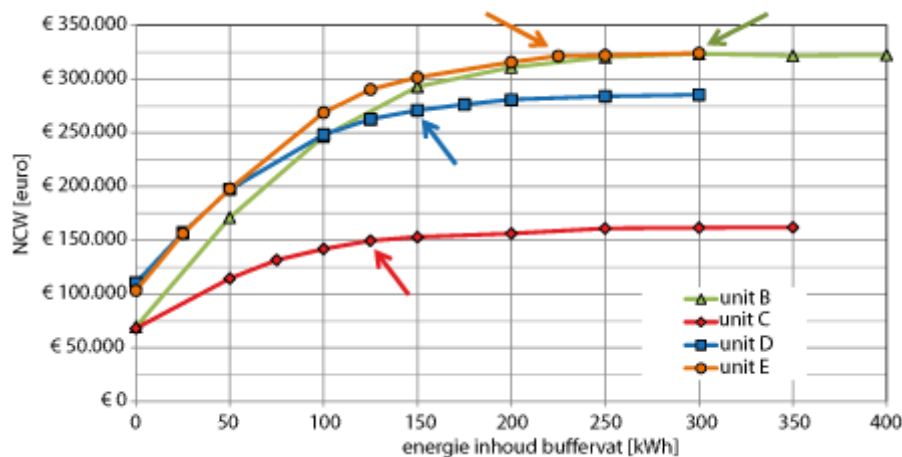
In tabel J.8 zijn de resultaten van zowel de nieuw doorgekende units (D) en (E) weergegeven als de units (B) en (C).

Tabel J.8 Resultaten van vier varianten voor de dimensionering, exploitatiekosten en milieueffecten

Omschrijving	Eenheid	Unit C	Unit D	Unit E	Unit B
Thermisch vermogen WKK	[kW]	140	175	200	220
Elektrisch vermogen WKK	[kW]	87	110	123	149
Draaiuren WKK	[hh/a]	7.645	7.118	6.877	6.660
Bijdrage WKK warmtevraag	[%]	53%	61%	68%	72%
Grootte buffervat	[kWh]	125	150	225	300
Vershil exploitatiekosten ten opzichte van huidige installatie	[€/a]	21.800	32.700	37.600	39.200
ETVT	[a]	6,8	5,1	4,7	5,1
NCW	[€]	150.000	271.000	322.000	324.000
Reductie CO2 uitstoot per jaar	[ton/a]	195	270	299	330
Reductie CO2 uitstoot per jaar	[%/a]	18%	25%	27%	30%

#### Overwegingen bij keuze buffervat

In afbeelding J.14 is voor vier varianten het verloop van de NCW als functie van de systeeminhoud weergegeven. Met pijlen zijn de gekozen waarden weergegeven.



Afb. J.14 Netto contante waarde als functie van de energie inhoud van de installatie (pijl geeft gekozen situatie weer)

Bij zowel unit (D) als (E) is de keuze voor de grootte van de systeeminhoud gebaseerd op de NCW. Boven de gekozen waarden is de stijging van de NCW niet groot meer. Bij beide units worden er niet te veel start/stops gemaakt bij deze gekozen inhoud. Unit (E) zit wel op de grens: een nog kleinere systeem inhoud leidt tot te veel starts op een dag. Wat verder opvalt is dat unit (E) een hogere NCW heeft dan unit (B), ondanks het feit dat deze unit een lager thermisch vermogen heeft. Het verschil tussen deze units is met name de warmte/kracht verhouding. Bij unit (E) is deze verhouding hoger, wat voor dit project een gunstig effect heeft.

#### Evaluatie

De hierna volgende punten kunnen uit de berekeningsresultaten afgeleid worden.

1. Toepassing van een buffervat geeft bij alle varianten een significante verhoging van de NCW;
2. De NCW kan niet als enige criterium gebruikt worden bij de selectie van de grootte van een buffervat. Zie hiervoor het resultaat bij unit (B);
3. De warmtekrachtverhouding van een WKK-unit heeft ook een significante invloed op de financiële resultaten. Zie hiervoor het verschil tussen de kleinere unit (E) en de grotere unit (B).

Naast de voornoemde punten moet bij het maken van de berekeningen rekening gehouden worden met wijzigingen in het gemiddelde gas- en elektriciteitsstarief. Door de tariefstructuur van de energiebelasting varieert de gemiddelde prijs namelijk.

Een voorbeeld:

- Situatie 1: totale gasverbruik is 300.000 m<sup>3</sup>, wat door ketels wordt gebruikt. Het gemiddelde gastarief voor de ketels wordt voor dit verbruik:  $9,95 + 21,50 = 31,45$  cent per m<sup>3</sup> (EB + gastarief);
- Situatie 2: totale gasverbruik is 390.000 m<sup>3</sup>, wat door een WKK-unit (260.000 m<sup>3</sup>) en ketels wordt gebruik. Het gemiddelde gastarief voor de ketels wordt voor dit verbruik:  $14,52 + 21,50 = 36,02$  cent per m<sup>3</sup> (EB, alleen voor het deel dat door de ketels wordt verbruikt + gastarief).

Op basis van de hoogte van het gasverbruik kan verwacht worden dat de gemiddelde gasprijs lager wordt. Doordat het gasverbruik dat belast wordt met de energiebelasting echter daalt in situatie 2, wordt het gemiddelde gastarief hoger. Met dit hogere tarief moet gerekend worden in de situatie met WKK-unit.

Tenslotte moet er bij het maken van de berekeningen voortdurend op gelet worden of de gekozen besturingsstrategie juist is: wordt er ieder uur dat de unit wordt ingezet een voldoende groot exploitatievoordeel behaald (zie afbeelding J.10).

#### Keuze

Gezien de resultaten van de berekeningen is bij dit project gekozen voor de toepassing van WKK-unit (E) in combinatie met een buffervat, waarbij de actieve systeeminhoud 225 kWh bedraagt. Na 15 jaar bedraagt de netto contante waarde € 322.000,-. Per jaar bedraagt het exploitatievoordeel € 37.600,-.

Bij deze beslissing heeft de terug-lever-vergoeding van de elektriciteit ook nog een rol gespeeld. Om dit te verduidelijken zijn in tabel J.9 de energiestromen weergegeven.

Tabel J.9 Overzicht energiestromen bij gekozen unit (E) en start/stop informatie

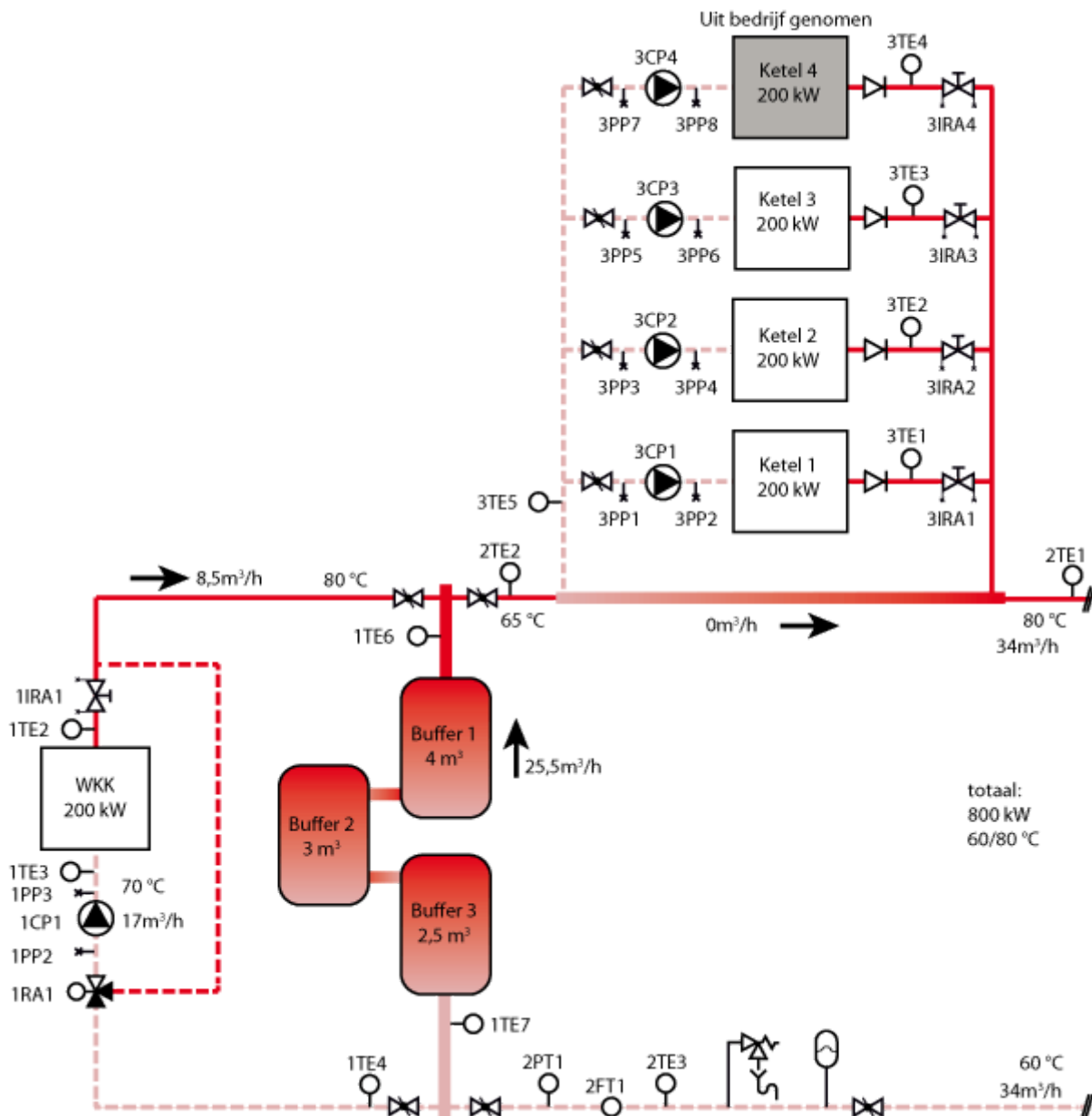
Omschrijving	Omschrijving	Unit E
Door WKK opgewekte elektra tijdens piek	[MWh]	379
Terug geleverde elektra tijdens piek	[MWh]	16
Afgenomen elektra (uit openbare net) tijdens piek	[MWh]	185
Door WKK opgewekte elektra tijdens dal	[MWh]	465
Teruggeleverde elektra tijdens dal	[MWh]	112
Afgenomen elektra (uit openbare net) tijdens dal	[MWh]	104
Gasverbruik WKK-unit	[m³]	274.000
Gasverbruik ketels + keuken	[m³]	118.000
Hoogste aantal starts op een dag	[-]	6
Aantal dagen dat maximale aantal starts voorkomt	[-]	6

In totaal wordt er jaarlijks 128 MWh (16 + 112) aan duurzaam opgewekte elektriciteit verkocht aan het energiebedrijf. In de beslissingen moet 'de zekerheid' van de hoogte van de terugleververgoeding meegenomen worden. Als de hoogte van de bedragen onzeker is, dan zou nog overwogen kunnen worden om een kleinere WKK-unit te kiezen. WKK-unit (D) levert bijvoorbeeld minder elektriciteit terug, waardoor de economische risico's verminderd worden.

### 3. Schema

De gekozen WKK-unit met buffervat worden bij het laatste onderdeel van de ontwerpfase ingepast in de huidige installatie. Hierbij moet met name een keuze voor het parallel of in serieschakelen van de warmteopwekkers gemaakt worden (paragraaf 3.8).

Het aandeel van het thermische vermogen van de WKK-unit bedraagt 25% van het totaal benodigde vermogen. Uit afbeelding 3.14 kan afgelezen worden dat er in dit geval uit beide mogelijkheden gekozen kan worden: voor serie- of parallelschakeling van de warmteopwekkers. Bij serieschakeling is de regel- en schakelstrategie iets eenvoudiger en overzichtelijker dan bij parallelschakeling. Daarom is voor een serieschakeling gekozen. In afbeelding J.15 is het proces- en instrumentatie schema van de installatie met WKK-unit weergegeven. Naast de instrumentatie zijn ook de ontwerpwaarden in het schema opgenomen.



Afb. J.15 Proces- en instrumentatieschema installatie met WKK-unit, waarbij tevens de ontwerpwaarden zijn opgenomen

In verband met het benodigde volume van de buffervaten is gekozen voor meerdere vaten. De gewichtsbelasting en de afmetingen gaven anders problemen.

### Uitwerkingsfase

Werk vervolgens de gewenste functionaliteit uit. Hiervoor kan de opzet, zoals die in hoofdstuk 4 is gegeven gebruikt worden. Leg vast welke parameters er geregistreerd en/of gevisualiseerd moeten worden. Omschrijf tenslotte de uit te voeren werkzaamheden en de te gebruiken materialen.

### Realisatiefase

Voor de te doorlopen stappen van de realisatiefase kan hoofdstuk 5 gebruikt worden. Naast de genoemde aspecten in hoofdstuk 5, dient bij de inbedrijfstelling en tijdens de nazorg fase met name gelet te worden op de interactie tussen de WKK-unit en de naverwarmers. Komen de naverwarmers op de gewenste momenten in? Functioneren de processen onder verschillende buitencondities stabiel?

### Beheerfase

Tijdens de beheerfase moet gecontroleerd worden of de installatie aan de technische specificaties blijft voldoen. Blijft de WKK-unit voldoende draaiuren maken? Evalueer ook het

economisch functioneren van de gehele installatie als er wijzigingen optreden in de energie- of onderhoudstarieven. Gebruik hoofdstuk 6 als een leidraad bij het beheer.





## BIJLAGE K WETGEVING EN KWALITEITSEISEN WKK

Fase	Onderwerp	Relevante wetgeving	Opmerking	Aanvullende kwaliteitseisen
Programmafase				Voer een haalbaarheidsstudie uit
Ontwerpfase	Geluid	Bouwbesluit 2012 hoofdstuk 3, afdeling 3.2	Relevante tekst uit het bouwbesluit 2012: 'Een toilet met waterspoeling, een kraan, een mechanische voorziening voor luchtverversing, een warmwatertoestel, een installatie voor verhoging van waterdruk of een lift veroorzaakt in een niet-gemeenschappelijke verblijfsruimte van een aangrenzende op hetzelfde perceel gelegen woonfunctie een volgens NEN 5077 bepaald karakteristiek installatie-geluidsniveau van ten hoogste 30 dB'	Hydraulische schakeling ontwerpen op basis van systeemconcept uit de haalbaarheidsstudie. Beschrijf de automatische werking van de energiecentrale met WKK en leg dit vast in een functioneel ontwerp
Ontwerpfase	Vergunning	Aanvraag omgevingsvergunning	Afhankelijk van de plaats, de grootte van de WKK en het type werkzaamheden is een omgevingsvergunning noodzakelijk voor het plaatsen van de WKK	Geen
Beheerfase	Verkrijgen van subsidie	Regeling certificaten warmtekrachtkoppeling Elektriciteitswet 1998		Geen
Beheerfase	Garantie	Regeling garanties van oorsprong voor elektriciteit opgewekt in een installatie voor hoogrenderende warmtekrachtkoppeling		Monitor het energiegebruik en de energielevering van de energiecentrale
Beheerfase	Bevordering gebruik WKK	2004/8/EG (PbEU L52, 21.02.2004)	Richtlijn inzake de bevordering van warmtekrachtkoppeling op basis van de vraag naar nuttige warmte binnen de interne energiemarkt	Geen

Beheerfase	Bevordering gebruik WKK	2008/952 (PbEU L338, 17.12.2008)	Beschikking tot vaststelling van gedetailleerde richtsnoeren voor de tenuitvoerlegging en toepassing van bijlage II bij Richtlijn 2004/8/EG	Geen
Beheerfase	Emissie	Besluit Emissie-eisen Middelgrote Stookinstallaties	Dit zijn de eisen voor NOx-, SO2-, CxHy-en stofemissies van middelgrote stookinstallaties. Voor gasmotorinstallaties worden ook eisen aan de emissie van onverbrande koolwaterstoffen gesteld	De keuring wordt uitgevoerd door een persoon die beschikt over een SCIOS-certificaat of een daarmee naar inhoud vergelijkbaar document

# LITERATUURLIJST

De voor deze publicatie gebruikte literatuur is hierna op alfabetische volgorde weergegeven.

[1]	ISSO-handboek Installatietechniek, Stichting ISSO, december 2002.
[2]	ISSO-publicatie 21, Berekening van het energiegebruik voor klimatisering en verlichting van kantoorgebouwen, Stichting ISSO, 1994.
[3]	ISSO-publicatie 31, Meetpunten en meetmethoden, Stichting ISSO, 2012.
[4]	ISSO-publicatie 43, Concepten voor klimaatinstallaties, Stichting ISSO, 1998.
[5]	ISSO-publicatie 44, Ontwerp van hydraulische schakelingen voor verwarmen, Stichting ISSO, 1998.
[6]	ISSO-publicatie 47, Ontwerp van hydraulische schakelingen voor koelen, Stichting ISSO, 2005.
[7]	ISSO-publicatie 53, Warmteverliesberekening voor utiliteitsgebouwen Stichting ISSO, 2010.
[8]	ISSO-publicatie 55, Tapwaterinstallaties voor woon- en utiliteitsgebouwen, Stichting ISSO, 2001.
[9]	ISSO-publicatie 55.1, Praktijkhandleiding legionellapreventie in leidingwater, Stichting ISSO, 2005.
[10]	ISSO-publicatie 55.2, Handleiding zorgplicht legionellapreventie collectie leidingwaterinstallaties, Stichting ISSO, 2005.
[11]	ISSO-publicatie 64, Kwaliteitseisen isolatie, Stichting ISSO, 2002.
[12]	ISSO-publicatie 65, Inregelen van ontwerpvolume stromen in warmwaterverwarmingsinstallaties, Stichting ISSO, 2004.
[13]	ISSO-publicatie 69, Model voor de beschrijving van de werking van een klimaatinstallatie, Stichting ISSO, 2002.
[14]	ISSO-publicatie 71, Selectie van energetisch optimale warmte-opwekkingsinstallaties voor kantoorgebouwen, Stichting ISSO, 2003.
[15]	ISSO-publicatie 75, Handleiding EPA-U (3 delen), Stichting ISSO, 2007.
[16]	ISSO-publicatie 76, Montage- en materiaaltechnische kwaliteitseisen voor warmwaterverwarmingsinstallaties, Stichting ISSO, 2005.
[17]	ISSO-publicatie 81, Handboek integraal ontwerpen van warmtepompinstallaties voor utiliteitsgebouwen, Stichting ISSO, januari 2007.
[18]	ISSO-publicatie 94, Regeltechniek voor klimaatinstallaties en warmtapwaterbereiding Stichting ISSO, 2010.
[19]	ISSO-rapport 636, Individuele micro warmtekracht in woningen, Stichting ISSO, januari 2009.
[20]	NEN 7120, Energieprestatie van gebouwen, NEN, 2011.
[21]	Warmte en Kracht, Warmtekrachtkoppeling: een overzicht en leidraad, GasTerra, 2008.

Bij de hierna volgende sites en bedrijven is informatie opgevraagd voor de totstandkoming van deze publicatie:

1. [www.buderus.nl](http://www.buderus.nl)
2. [www.enerflex.eu](http://www.enerflex.eu)
3. [www.energ.nl](http://www.energ.nl)
4. [www.energik.be](http://www.energik.be)
5. [www.energymc.nl](http://www.energymc.nl)
6. [www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/stookinstallaties](http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/stookinstallaties)
7. [www.linthorst-installatietechniek.nl](http://www.linthorst-installatietechniek.nl)
8. [www.pon-cat.com](http://www.pon-cat.com)
9. [wetten.overheid.nl/BWBR0026884](http://wetten.overheid.nl/BWBR0026884)






## COLOFON

De realisatie van de ISSO-publicatie 96 werd verzorgd door de ISSO-kontaktgroep die als volgt was samengesteld:

De heer ing. J.C. Aerts (coördinator/secretaris)	ISSO
De heer ing. A.D. van der Beijl	Imtech Building Services
De heer ing. A.P. Bruijgom	Huisman en van Muijen
De heer P.B.A. Jansen	Rensa B.V.
De heer H.M.A. Janssen Groesbeek	Ga- Consult
De heer G.A.M. Linthorst	Linthorst Installatietechniek B.V.
De heer ir. D.O. Rijksen (rapporteur)	Ipero Installatie Optimalisatie
De heer ing. H.C. Roel (voorzitter)	Roel Consultants
De heer R. Ruhé	ENER-G NEDALO B.V.
De heer E. van Toll	
De heer A.S. van Weers	Schiphol Group

De ontwikkeling van ISSO-publicatie 96 is mede tot stand gekomen door financiële bijdragen van:

OTIB	
Uneto-VNI	
TVVL	

© Stichting ISSO - Rotterdam, november 2012

Doordat er ook veel combinaties mogelijk zijn met kantoorgebouwen kan de toepassing van een WKK-unit ook zinvol zijn bij een bedrijfstijd van 5 werkdagen.