

**Voorbeeldimplementatie van
EN 14181 voor PEM systemen:
Deel 3: Rapportage van de uitvoering van de QAL 3 procedure
SenterNovem projectnummer: 3303-04-01-01-004**

Door
R. Mellema
H. Top
A. v.d. Vegt
A. Saglam

Voor akkoord:

A. Kiel

GASUNIE RESEARCH, beschikbaar gesteld door SenterNovem en VROM

Part of Gasunie Engineering B.V.

RAPPORT : RE 2004.R.0664
Datum : 27 september 2004
Versie : 3.1
Status : **DEFINITIEF**

Bladen inclusief bijlagen: 13

2004 N.V. Nederlandse Gasunie, Groningen

Dit rapport is opgesteld in opdracht van: SenterNovem

Gasunie accepteert geen enkele aansprakelijkheid met betrekking tot het gebruik van, of voor schade die voortvloeien uit het gebruik van enigerlei informatie, apparatuur of proces die of dat wordt beschreven in dit rapport.

1 SAMENVATTING

Gasunie Research heeft in opdracht van SenterNovem twee QAL 3 procedures uitgevoerd aan reeds geïmplementeerde PEM systemen. Het doel hiervan was te onderzoeken of de in NEN-EN 14181 beschreven QAL 3 procedure niet alleen voor CEM systemen, maar ook voor PEM systemen kan worden toegepast.

De QAL 3 test is uitgevoerd aan PEM systemen op een gasturbine installatie en een procesfornuis.

Bij het gebruik van een CEM-systeem kunnen de controlekaarten relatief eenvoudig worden toegepast op basis van de periodieke kalibraties van de analysatoren met kalibratiegassen.

Voor een PEM systeem bestaat doorgaans geen mogelijkheid om de gebruikte meetinstrumenten regelmatig te kalibreren. In veel gevallen worden instrumenten gebruikt die voor een kalibratie uitgebouwd moeten worden, hetgeen een verstoring op het productieproces zou betekenen.

In het kader van de voorbeeldimplementaties is onderzocht of het mogelijk is de zogenoemde MIP-methode (**Model InvoerParametercheck**) te volgen. Hierbij worden meetinstrumenten, waarvan verwacht wordt dat de aanwijzingen in een bepaalde relatie tot elkaar staan, onderling vergeleken. De resultaten van deze vergelijking zouden weer in controlekaarten kunnen worden bijgehouden.

Het resultaat van het onderzoek is dat blijkt de QAL 3 procedure met gebruikmaking van de MIP-methode kan werken. De bestaande statistische methoden voor het afleiden van een normale onzekerheid zijn bruikbaar en op basis hiervan kunnen de grenswaarden in de controlekaarten worden gedefinieerd.

Er is niet onderzocht in hoeverre de voorgestelde referentiemethode in de uitgewerkte voorbeelden in de praktijk zal voldoen.

I N H O U D

1	SAMENVATTING	2
2	INLEIDING	4
3	BESCHRIJVING VAN DE PEM SYSTEMEN.....	4
3.1	De installaties	4
3.2	De modellen.....	4
4	DE QAL 3 PROCEDURE.....	5
4.1	Algemeen.....	5
4.2	Specifieke problemen en aanpak voor PEM systemen	6
5	UITVOERING VAN DE QAL 3 PROCEDURE AAN DE GASTURBINE	6
5.1	Controle van het gasverbruik van de turbine	6
5.2	Controle van het gasverbruik van de bijstookbranders	9
5.3	Controle van de meting van de stoominjectie	10
6	UITVOERING VAN DE QAL 3 PROCEDURE AAN HET FORNUIS	11
7	CONCLUSIES	13
8	REFERENTIES.....	13

2 INLEIDING

Door SenterNovem is aan Gasunie Research opdracht verleend voor het bieden van ondersteuning bij de implementatie van NEN-EN 14181 [Ref. 1, 2] voor PEM systemen in het kader van de invoering van de (NOx-)emissiehandel. De rapportage die in dit verband door Gasunie Research is uitgebracht bestaat uit drie deelrapporten, waarin per deel één van de in

NEN-EN 14181 beschreven QAL procedures wordt behandeld. In het onderhavige deel worden de uitgevoerde QAL 3 procedure, eventueel geconstateerde knelpunten en de gehanteerde oplossingen beschreven.

De QAL 3 procedure heeft betrekking op de operationele maatregelen om de goede werking van de gebruikte instrumenten in de tijd te garanderen. De EN 14181 geeft expliciete instructies hoe bij het gebruik van CEM systemen de werking van de gebruikte analysatoren dient te worden gevolgd met behulp van controlekaarten. Indien een PEM systeem wordt gebruikt is het volgen van de instructies minder eenvoudig; er dienen specifieke maatregelen te worden genomen.

In dit rapport worden deze maatregelen aan de hand van een voorbeeld nader toegelicht.

3 BESCHRIJVING VAN DE PEM SYSTEMEN

De test is uitgevoerd aan bestaande PEM systemen voor de emissiebepaling van een gasturbine installatie en een procesfornuis.

3.1 De installaties

De gasturbine installatie bestaat uit een General Electric Frame Size 6 gasturbine met bijgestookte afgassenketel. Ter beperking van de NOx-uitworp is de gasturbine voorzien van stoominjectie. Het totale thermisch vermogen van de installatie bedraagt 189 MW_{th} (Klasse I). Onder normale bedrijfsomstandigheden wordt de stoominjectie geregeld, opdat ten alle tijde wordt voldaan aan de voorgeschreven emissiegrenswaarde.

Het procesfornuis wordt gestookt stookgas en stookolie.

3.2 De modellen

Het model dat voor de gasturbine installatie wordt gebruikt is gebaseerd op een door Gasunie Research ontwikkeld algemeen geldend emissiemodel voor gasturbines met bijgestookte afgassenketel en stoom- of waterinjectie [Ref 5, 6]. Op grond van de meetresultaten met de **Standaard Referentie Methode** (SRM) is het model voor de specifieke installatie verfijnd.

Het model heeft de volgende gedaante:

$$NOx_m = \frac{(5,4428 \times 10^{-7} \cdot Q_{gt}^3 + 1,8806 \times 10^{-2} \cdot Q_{gt}^2) \cdot e^{-1,3010y} + 22 \cdot Q_{bij}}{Q_{gt} + Q_{bij}} \quad (3.1) \text{ waarin:}$$

NOx _m	=	Momentane berekende NOx-emissie in g/GJ (uitvoerparameter);
Q _{gt}	=	Gasverbruik van de gasturbine in m ³ _n /uur (invoerparameter);
Q _{bij}	=	Gasverbruik van de bijstookbranders in m ³ _n /uur (invoerparameter);
y	=	Stoominjectie in de verbrandingskamers van de gasturbine in ton/uur (invoerparameter).

Als invoerparameters worden dus drie grootheden gebruikt. Ter beoordeling van de geschiktheid van de gebruikte meetinstrumenten is een inventarisatie gemaakt van de specificaties daarvan (QAL 1, Ref 6). Op grond van deze specificaties is de samengestelde meetonzekerheid op de met het model berekende emissies afgeleid.

Het procesformuis is voorzien van een PEM systeem, waarmee de NO_x-emissie in mg/m³n bij 3 vol% restzuurstof wordt berekend op basis van een zevental invoerparameters.

Het model is door de beheerder van de stookinstallatie zelf afgeleid. De gebruikte parameters zijn:

- Stookgasverbruik (Q_{gas}) in km³/h;
- Stookolieverbruik (Q_{olie}) in m³/h;
- Dichtheid van het stookgas (R_{gas}) in kg/m³n;
- Dichtheid van de stookolie (R_{olie}) in kg/m³;
- Calorische onderwaarde van het stookgas (LHV_{gas}) in kJ/kg;
- Calorische onderwaarde van de stookolie (LHV_{olie}) in kJ/kg;
- Zuurstofconcentratie in de stack ($O_{2\text{stack}}$) in vol%.

De calorische onderwaarden worden uit de respectievelijke dichtheden berekend, zodat dus vijf parameters worden betrokken in de QAL 3 procedure.

In het navolgende worden de resultaten van de QAL 3 procedures beschreven.

4 DE QAL 3 PROCEDURE

4.1 Algemeen

De procedures van Kwaliteitsborgingsniveau 3 (QAL 3) dienen om aan te tonen dat de meetwaarden gedurende het bedrijf van het AMS blijven voldoen aan de vereiste onzekerheid. Deze procedures houden in dat op regelmatige tijdstippen controles worden uitgevoerd op het functioneren van instrumenten die meetgegevens leveren waaruit de NO_x-concentratie in het afgas wordt vastgesteld.

In de QAL 3 procedure worden twee mogelijkheden onderscheiden:

1. Het bepalen van de gecombineerde drift en precisie van het AMS;
2. Het afzonderlijk bepalen van de drift en precisie.

De afwijkingen van het AMS dienen te worden ingevuld in controlekaarten (zowel Shewhart als Cusum kaarten zijn toegestaan). De grenzen waarbinnen afwijkingen mogen worden geaccepteerd worden afgeleid van de specificaties van de gebruikte instrumenten. Hiervoor is in EN 14181 een procedure opgenomen.

Indien gebruik wordt gemaakt van een CEM systeem, kan de uitkomst van het AMS periodiek worden gecontroleerd met behulp van testgassen. Hiermee kan dan volgens één van beide bovengenoemde methoden de drift en de precisie worden bewaakt.

Bij het gebruik van een PEM systeem is deze werkwijze per definitie niet mogelijk. Er is geen mogelijkheid om de uitkomst van een model periodiek te toetsen aan een referentiewaarde (b.v. testgas). Voor PEM systemen dienen derhalve de drift en precisie van de instrumenten voor het meten van de invoerparameters van het model periodiek te worden gecontroleerd.

4.2 Specifieke problemen en aanpak voor PEM systemen

De QAL 3 procedure voor PEM systemen kan alleen door controle van de afzonderlijke instrumenten worden uitgevoerd. Hierbij doet zich de moeilijkheid voor dat de gebruikte (bedrijfs)meters veelal een operationele taak in het productieproces vervullen en dus niet regelmatig kunnen worden uitgebouwd t.b.v. kalibratie zonder het productieproces te stoppen. Bovendien zou dit telkens veel inspanning kosten.

Voor het omgaan met deze problematiek zijn twee methoden ontwikkeld. In de eerste plaats kan de REFBO (**REF**erentiesituatie van de **B**edrijfs**Om**standigheden)-methode worden toegepast. De REFBO is een bedrijfssituatie die naar verwachting gedurende het jaar met grote regelmaat optreedt. Van de REFBO worden de karakteristieke bedrijfsparameters (deze mogen niet als invoerparameter voor het model worden gebruikt) vastgelegd, evenals de in deze situatie optredende NOx-concentratie. De NOx-concentratie die wordt uitgelezen tijdens de controle bij de bedrijfssituatie, overeenkomstig de referentiesituatie (REFBO), is te vergelijken met de uitlezing van het meetinstrument bij toedienen van het spangas aan het meetinstrument.

Een tweede mogelijkheid betreft het gebruik van de MIP (**M**odel **I**nvoer**P**arametercheck).

De MIP-methode houdt in dat de aanwijzing van alle instrumenten die gebruikt worden voor het meten van de invoerparameters van het model, op regelmatige tijden worden vergeleken met de aanwijzing van andere bedrijfsmeters, waarvan de meetwaarde op één of andere wijze gerelateerd is aan de waarde van de te controleren meter.

5 UITVOERING VAN DE QAL 3 PROCEDURE AAN DE GASTURBINE

In het geval van de gasturbine installatie worden drie debietmeters gebruikt om de emissierelevante parameters te meten. Het zou bijzonder moeilijk zijn deze meters regelmatig (b.v. enige malen per jaar) uit te bouwen en te kalibreren. Er bestaat bovendien geen mogelijkheid deze meters met voldoende nauwkeurigheid on-line te kalibreren.

Tóch zal voldaan moeten worden aan de eis dat de performance van de meters op controlekaarten wordt bijgehouden.

Er is voor de betreffende gasturbine installatie vanwege de relatieve eenvoud gekozen voor de MIP-methode. Voor de gebruikte debietmeters zijn de volgende referenties gebruikt:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Gasverbruik gasturbine | Vergelijking met een gasbalans op basis van een aantal andere gasdebietmeters; |
| 2. Gasverbruik bijstookbranders | Idem; |
| 3. Stoominjectie | Controle op basis van een gemeten drukval over een bepaalde lengte stoomleiding. |

In het volgende hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de toegepaste methoden en de resultaten.

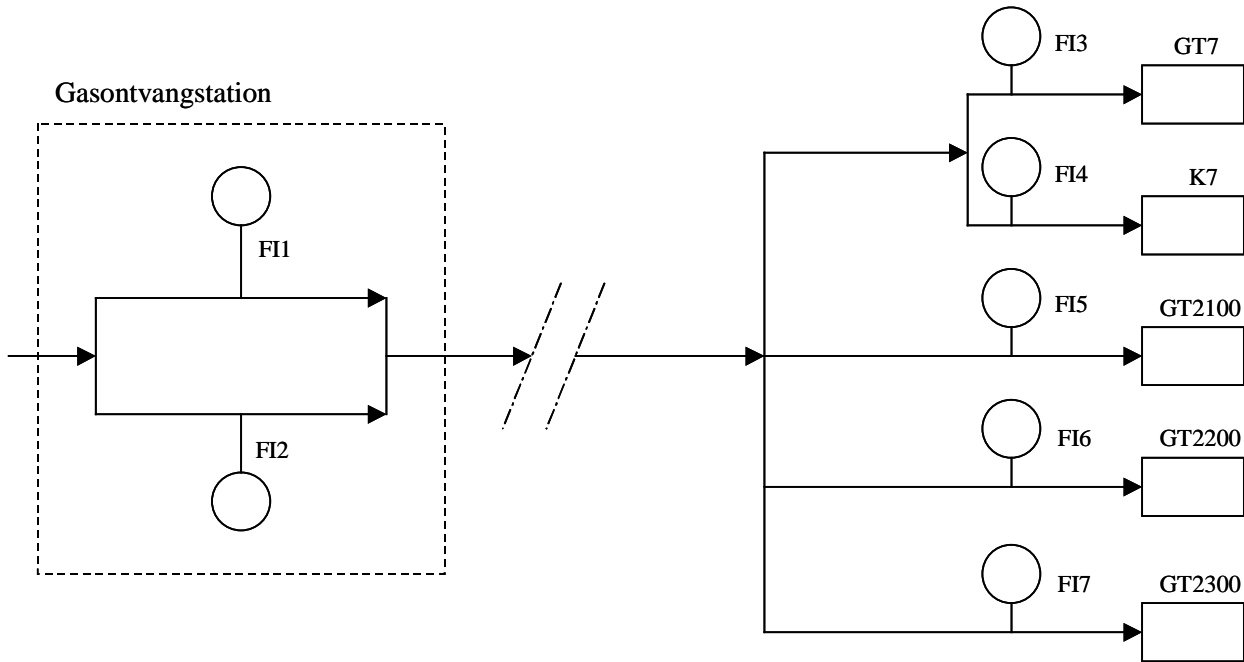
In de navolgende hoofdstukken wordt per invoerparameter de voorgestelde controlemethodiek beschreven.

5.1 Controle van het gasverbruik van de turbine

Het brandstofverbruik van de gasturbine wordt gemeten met een orifice. Van deze meting zijn de specificaties grotendeels bekend (zie tabel 5.1).

De meter is opgenomen in een gasdistributiesysteem dat gevoed wordt vanuit het gasontvangstation (zie schema in figuur 5.1). In het gasontvangstation wordt de ingekochte hoeveelheid aardgas met twee (parallele) comptabele meters gemeten. Vanuit het gasontvangstation wordt het gas met een druk van 20 barg verdeeld over een aantal verbruikers, te weten vier gasturbine(installaties) en 1 ketel. De aan de diverse gebruikers geleverde gashoeveelheid wordt afzonderlijk met orifices gemeten.

Figuur 5.1: Gasdistributiesysteem vanuit GOS 1



Dagelijks worden de verbruikscijfers van de verschillende installaties afgezet tegen de ingekochte hoeveelheid aardgas. Uit deze gegevens kan de verwachte aanwijzing van de te controleren gasmeter worden berekend. Door een vergelijking met de werkelijke aanwijzing van deze meter, kan een afwijking (b.v. tengevolge van drift van één van de gasmeters) worden gesignaleerd. Vanzelfsprekend zou de afwijking door alle in het systeem opgenomen gasmeters kunnen zijn veroorzaakt, maar de constatering is wel een goede indicatie dat de meters geïnspecteerd moeten worden.

Voor een juiste beoordeling van de momentane afwijking van de te controleren gasmeter, dient de standaard onzekerheid van alle meters te worden gecombineerd tot één waarde voor S_{stelsel} .

$$S_{\text{stelsel}} = \sqrt{u_{FI1}^2 + u_{FI2}^2 + u_{FI3}^2 + u_{FI4}^2 + u_{FI5}^2 + u_{FI6}^2 + u_{FI7}^2}$$

In de onzekerheid van de verschillende individuele meters dienen ook de beïnvloedingsgrootheden te zijn opgenomen.

Gebaseerd op de specificaties van de diverse meters zou de waarde voor de meetonzekerheid hiervan als volgt worden bepaald (uitgevoerd voor 1 gasmeter):

Gasverbruik gasturbine

Soort instrument Orifice met druk- en temperatuurcompensatie **Eenheid** m3n/h

Specificaties:	Meetbereik	Nominaal	Onzekerheid		Onzekerheid DCS		Totale fout abs	Eenheid
			rel [%]	abs	rel [%]	abs		
Orificeplaat (C)	25390.9	25390.9	1	253.909	0.1	25.39	255.18	
Verschildrukmeter	0.349	0.1551	0.2	0.00	0.1	0.00035	0.00	mbar
drukopnemer	25	20	0.1	0.03	0.1	0.025	0.04	bar
temperaturopnemer	70	10	0.1	0.07	0.1	0.07	0.10	K

Berekening $\phi_v = C \times \text{wortel}(\Delta p \cdot p / \text{pref} \cdot T_{\text{ref}} / T)$
 Waarde (nom) 10000 m3n/h
 Waarde (max) 15000 m3n/h

Samengestelde fout:	Uitkomst	Kwadraat	maal d ²
1e differentiatieterm df/dC	ϕ_v / C	0.3938419	0.15511143
2e differentiatieterm df/dΔp	$\phi_v / 2\Delta p$	32234.89	1039088142
3e differentiatieterm df/dp	$\phi_v / 2p$	250	62500
4e differentiatieterm df/dT	$\phi_v / 2T$	500	250000
Totaal			13260.93 (m3n/h) ²
Fout	+/-	115.2 m3n/h	
	+/-	1.15 %	(95% betrouwbaarheid)

In de uitwerking van de QAL 1 procedure is berekend dat de additionele onzekerheid t.g.v. drift en beïnvloedingsgrootheden ± 0,87% bedraagt (95% BI). In totaal is de onzekerheid in het 67% BI derhalve :

$$S_{\text{meter}} = \sqrt{\left(\frac{0,87}{2}\right)^2 + \left(\frac{1,15}{2}\right)^2} = \pm 0,72\%$$

Bovengenoemde berekening geldt voor de diverse bedrijfsmeters. De onzekerheid op de comptabele meters (FI1 en FI2) bedraagt ± 1% (95% BI).

De totale standaard onzekerheid voor het gehele systeem bedraagt derhalve:

$$S_{\text{systeem}} = \sqrt{(2 \times 0,5^2) + (5 \times 0,72^2)} = 1,61\%$$

Voor een controle op drift kunnen de volgende grenswaarden worden afgeleid:

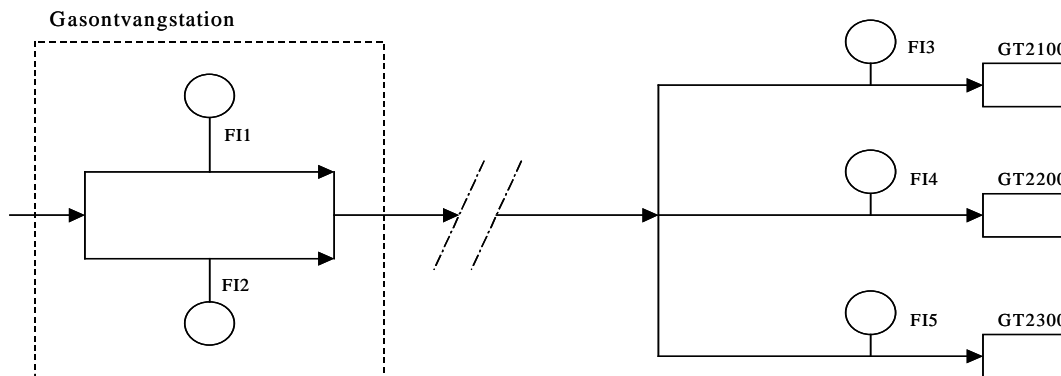
- De verstekwaarde voor hx wordt bepaald op $2,85 \cdot S_{\text{systeem}} = 4,59\%$
- De verstekwaarde voor kx wordt dan $0,501 \cdot S_{\text{systeem}} = 0,81\%$.

Voor een verdere invulling en beoordeling van de controlekaarten kan de procedure als genoemd in EN 14181 worden gevolgd.

5.2 Controle van het gasverbruik van de bijstookbranders

De controle op het gasverbruik van de bijstookbranders kan op dezelfde wijze worden uitgevoerd als voor het gasverbruik van de turbine. De gasvoorziening van de betreffende bijstookbranders vindt plaats vanuit een tweede gasontvangstation, van waaruit het aardgas met een druk van 8 barg wordt aangevoerd. Het gas wordt afgenomen door de bijstookbranders van de drie gasturbine installaties GT 2100, GT 2200 en GT 2300 (zie schema van figuur 5.2).

Figuur 5.2: Gasdistributiesysteem vanuit GOS 2



De gecombineerde standaard onzekerheid van het systeem van gasmeters wordt berekend met:

$$S_{\text{stelsel}} = \sqrt{u_{FI1}^2 + u_{FI2}^2 + u_{FI3}^2 + u_{FI4}^2 + u_{FI5}^2}$$

Voor de meting van de hoeveelheid bijgestookt aardgas wordt gebruik gemaakt van turbinemeters. De meetonzekerheid van een dergelijke turbinemeter is als volgt bepaald:

Gasverbruik bijstookbranders

Soort instrument	Turbinegasmeter met volumeherleiding		Eenheid m3n/h					
Specificaties:	Meetbereik	Nominaal	Meetfout		Fout DCS		Totale fout	Eenheid
			rel [%]	abs	rel [%]	abs	abs	
Turbinemeter	1000	466	0.6	6	0.1	1	6.08	m3/h
Herleidingsfactor	8.581	8.581	0.97	0.083	0.1	0.0086	0.08	
Berekening	Vn = Vb * CF							
Waarde (nom)	4000	m3n/h						
Samengestelde fout:			Uitkomst	Kwadraat	maal d ²			
1e differentiatieërterm	df/dVb	CF	8.581	73.63747	2724.59			
2e differentiatieërterm	df/dCF	Vb	466	217280.7	1529.31			
Totaal			4253.89 (m3n/h) ²					
Fout			+/- 65.2 m3n/h					
			+/- 1.63 %			(95% betrouwbaarheid)		

De additionele onzekerheid t.g.v. drift en beïnvloedingsgrootheden is in de QAL 1 procedure bepaald op ± 0,60% (95% BI) ofwel ± 0,30% (67% BI), zodat de totale meetonzekerheid per gasmeter derhalve ± 0,87% is (67% BI). Verder geldt voor de gasmeters in het gasontvangstation weer een totale meetonzekerheid van ± 1 % (95% BI).

De totale standaard onzekerheid wordt hiermee bepaald op:

$$S_{\text{stelsel}} = \sqrt{(2 \times 0,5^2) + (3 \times 0,87^2)} = 1,66\%$$

Voor een controle op drift kunnen de volgende grenswaarden worden afgeleid:

- De verstekwaarde voor hx wordt bepaald op 2,85 * S_{stelsel} = 4,73 %
- De verstekwaarde voor kx wordt dan 0,501 * S_{stelsel} = 0,83 %.

5.3 Controle van de meting van de stoominjectie

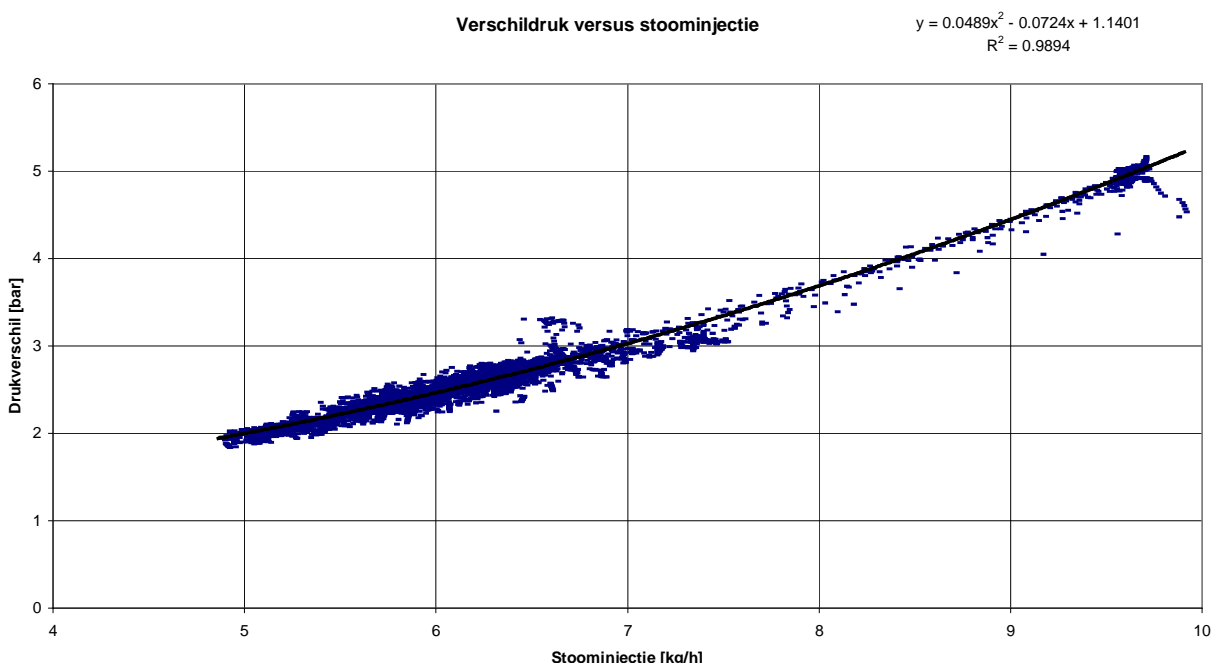
De debietmeter waarmee de hoeveelheid stoominjectie wordt bepaald maakt weliswaar deel uit van een stelsel van stoomdebietmeters op basis waarvan in principe een stoombalans opgesteld zou kunnen worden. Echter, het aantal meters is relatief groot en bovendien is de meetonzekerheid van enkele van deze meters relatief groot. Hierdoor zou de tolerantie op de momentane afwijking tussen de berekende en gemeten aanwijzing van de te controleren debietmeter dermate groot moeten worden, dat de controle niet nauwkeurig genoeg kan worden uitgevoerd.

Daarom is besloten om voor de betreffende debietmeter een andere referentie toe te passen.

De stoommeter is opgenomen in een betrekkelijk lange stoomleiding, waarin de stoomdruk op twee plaatsen wordt gemeten. De verwachting was dat het drukverschil op de twee plaatsen waar de druk gemeten wordt een zekere relatie met het stoomdebiet zou vertonen.

Eén en ander is met gegevens uit het DCS gecontroleerd, en onderstaand verband kon worden afgeleid:

Grafiek 5.1: Drukval versus stoominjectie



De spreiding in de relatie tussen het stoomdebiet en de drukval wordt veroorzaakt door de meetonzekerheid van de gebruikte meetinstrumenten en de onvolkomenheid van de aangenomen relatie tussen drukval en debiet (fitfout).

Om de tolerantiegrenzen voor de controlekaart te bepalen dient de standaard onzekerheid van het afgeleid verband te worden bepaald.

Hiertoe is eerst de fitfout door middel van de OLS (Ordinary Least Square)-methode bepaald op ± 0,0032 bar (worst-case).

De verdere statistische analyse is gebaseerd op de volgende instrumentenspecificaties:

- drukopnemer voor voedingsdruk: meetbereik = 0-40 barg;
- meetonzekerheid +/- 0.5% FS (95% BI)
- drukopnemer voor injectiedruk: idem
- debietmeter Qst (orifice): meetbereik = 0-12000 kg/h; meetonzekerheid +/- 2% FS (95% BI)

De functie voor het bepalen van de drukval uit het gemeten debiet is de volgende:

$$\Delta p = 0,00489 \cdot Q_{st}^2 - 0,0724 \cdot Q_{st} + 1,14$$

De onzekerheid op Δp als gevolg van de meetonzekerheid op Q_{st} wordt in onderstaande tabel berekend:

Tabel 5.1: Afleiding onzekerheid op Δp -berekend
 Δp als functie van Q_{st}

Soort instrument	Berekende drukval	Eenheid						
		bar						
Specificaties:	Meetbereik	Nominaal	Meetfout	Fout DCS	Totale fout	Eenheid		
			rel [%]	abs	rel [%]	abs		
Qstoom	12	6.54	2.37	0.284	0	0.00	0.28	ton/h
Berekening	$\Delta p = 0,00489Q_{st}^2 - 0,0724Q_{st} + 1,14$							
Waarde (max)	0.975 bar							
Samengestelde fout:			Uitkomst	Kwadraat	maal d^2			
1e differentiatieterm	df/dQ_{st}	0,00978	0.04496	0.0020214	0.0001631	0.0001631 (bar) ²		
Totaal						0.0001631 (bar) ²		
Fout						+/- 0.0128 bar		
						+/- 1.31 % (95% betrouwbaarheid)		

De onzekerheid op de uitgevoerde drukverschilmeting is, uitgaande van de opgegeven specificaties:

$$S_{\Delta p} = \sqrt{0,1^2 + 0,1^2} = 0,14 \text{ bar}$$

De totale standaard onzekerheid wordt berekend met:

$$S_{systeem} = \sqrt{0,14^2 + 0,0064^2 + 0,0032^2} = 0,14 \text{ bar}$$

Voor een controle op drift kunnen de volgende grenswaarden worden afgeleid:

- De verstekwaarde voor h_x wordt bepaald op $2,85 \cdot S_{systeem} = 0,4 \text{ bar}$
- De verstekwaarde voor k_x wordt dan $0,501 \cdot S_{systeem} = 0,07 \text{ bar}$

6 UITVOERING VAN DE QAL 3 PROCEDURE AAN HET FORNUIS

Ten aanzien van de verkenning van de mogelijkheden voor het uitvoeren van een QAL 3 procedure aan het procesfornuis is slechts een oppervlakkige beschouwing opgesteld. Er zijn geen onzekerheidsberekeningen uitgevoerd, noch zijn de voorgestelde werkwijzen door middel van diepgaande analyses onderbouwd.

Voor het betreffende fornuis kan de REFBO-methode niet worden toegepast. Er is geen proces parameter geïdentificeerd die als referentie zou kunnen dienen voor de uitkomst van het model en waarmee de instrumenten voor het meten van invoerparameters zouden kunnen worden geverifieerd. Er is derhalve gebruik gemaakt van de MIP-methode.

In het navolgende wordt per invoerparameter uiteengezet hoe één en ander zou kunnen worden uitgevoerd.

1 Stookgasverbruik

Het stookgasverbruik wordt bepaald met een orifice zonder druk- of temperatuurcompensatie. De samengestelde meetonzekerheid van dit instrument wordt geschat op $\pm 4\%$ (95% BI).

Het stookgas wordt uit een distributiesysteem betrokken van waaruit meerdere installaties van brandstof worden voorzien. In principe zou het verbruik van de diverse installaties gesommeerd kunnen worden en vergeleken met een debietmeter waarmee het totale verbruik wordt geregistreerd, maar gelet op de relatief grote meetonzekerheid van de gebruikte orifices zou de totale onzekerheid op de referentiemethode te groot worden.

Er zijn verder geen mogelijkheden om de aanwijzing van de orifice te vergelijken met een andere debietmeter of door gebruik te maken van bijvoorbeeld een relatie tussen de drukval van het brandstofgas op twee punten in het brandstofsysteem en het debiet.

Bij het gebruik van een orifice wordt aangenomen dat de specifieke eigenschappen van het gebruikte meetlichaam (orificeplaat) in de tijd slechts langzaam zullen veranderen (bijvoorbeeld tengevolge van vervuiling of slijtage). Deze veranderingen vinden meestal over meerdere jaren plaats en zullen bij een AST of QAL 2 procedure eventueel worden opgemerkt.

De grootste veranderingen in de aanwijzing van de orifice zullen worden veroorzaakt door een verandering van de eigenschappen van het doorstromende medium en door de toevallige fout en drift van de gebruikte meetinstrumenten zoals de verschildrukmeter en de instrumenten t.b.v. druk- en temperatuurcompensatie.

In het geval van het onderzochte fornuis wordt geen druk- en temperatuurcompensatie toegepast. Het enige meetinstrument dat derhalve op drift en/of precisie moet worden bewaakt is de gebruikte verschildrukmeter. De veranderende fysische eigenschappen van het medium zullen leiden tot een toevallige afwijking die samen met de toevallige afwijking van het instrument zélf in de onzekerheid op de meetwaarde die door het instrument (S) wordt uitgegeven moet worden meegenomen. Deze onzekerheid is bepalend voor de alarmgrenzen die bij het gebruik van controlekaarten moeten worden gedefinieerd.

De bewaking op drift en/of precisie van de verschildrukmeter kan op twee manieren worden uitgevoerd:

- Periodieke kalibratie (zonder justering!);
- Bijplaatsen van een tweede drukopnemer.

In het eerste geval dient de verschildrukmeter op regelmatige basis (b.v. eenmaal per week) te worden vergeleken met de aanwijzing van een referentiestandaard.

In het tweede geval kan, parallel aan de eerste meter, permanent een tweede drukopnemer worden aangesloten. Door de aanwijzing van de bedrijfsmeter periodiek te vergelijken met die van de referentiemeter kan de drift van beide instrumenten ten opzichte van elkaar worden bewaakt.

De keuze voor één van beide opties moet worden gebaseerd op praktische uitvoerbaarheid en kostentechnische overwegingen.

2 Stookolieverbruik

Het stookolieverbruik wordt gemeten met een turbinemeter met een geschatte meetonzekerheid van $\pm 0,1\%$. Gelet op de verwachte stabiliteit van dit type debietmeter, de geringe meetonzekerheid en het feit dat het stookolieverbruik ten opzichte van het stookgasverbruik zeer gering is, wordt voorgesteld om een controle op drift en/of precisie uit te voeren volgens het reguliere onderhoudsschema.

In dit schema wordt ook reeds periodiek de aanwijzing van de betreffende debietmeter gecontroleerd door middel van een vergelijk met gemeten tankniveaus. Eén en ander zou slechts nog in het kader van de emissie-monitoring geformaliseerd dienen te worden.

3 Dichtheid van het stookgas

De dichtheid van het stookgas wordt on-line met een dichtheidscel gemeten. Daarnaast wordt tweemaal per week een monster van het stookgas genomen en de samenstelling hiervan wordt op het bedrijfslaboratorium vastgesteld. Hieruit worden o.a. de dichtheid en de calorische waarde afgeleid.

De werking van de dichtheidscel wordt ook nu reeds periodiek vergeleken met de resultaten van de gasanalyse. Eén en ander hoeft alleen nog te worden geformaliseerd en de resultaten moeten worden bijgehouden op controlekaarten.

Ten aanzien van de kwaliteit van de labanalyse kan worden verwezen naar het reeds toegepaste kwaliteitssysteem.

4 Dichtheid van de stookolie

De dichtheid van de stookolie wordt niet permanent gemeten. Periodiek vindt een analyse van een oliemonster op het bedrijfslaboratorium plaats, waaruit o.a. de dichtheid en de calorische onderwaarde worden berekend. De laatst bekende dichtheid en hieruit berekende calorische waarde worden in het model ingevoerd.

Bij het uitvoeren van de QAL 1 procedure dient er rekening mee te worden gehouden dat de dichtheid van de stookolie niet permanent wordt gemeten. Uitgaande van de spreiding op de dichtheid als resultaat van de labanalyses van bijvoorbeeld één jaar, zou de onzekerheid van het niet continu meten van de dichtheid resp. calorische waarde van de stookolie op de momentane uitkomst van het model kunnen worden onderzocht.

In het kader van de QAL 3 procedure geldt alleen het gegeven dat er een bewaking op de kwaliteit van de labanalyse dient plaats te vinden. Dit is reeds in het kwaliteitssysteem van het bedrijfslaboratorium geregeld.

5 Zuurstofconcentratie in de verbrandingsgassen

Voor het meten van de actuele zuurstofconcentratie in de verbrandingsgassen van het fornuis wordt gebruik gemaakt van een zirconium zuurstofcel. Deze cel heeft een geschatte meetonzekerheid van $\pm 5\%$ van de gemeten waarde.

De zirconiumcel wordt momenteel regelmatig gekalibreerd (zero en span). Door de kalibratie-frequentie aan te passen kan de drift van de cel worden gecontroleerd.

Volgens de specificaties van het instrument bedraagt de drift ongeveer 1% van de volle schaal per etmaal. Dit is een relatief grote waarde en om de kwaliteit van de betreffende zuurstofcel goed te kunnen bewaken dient de kalibratiefrequentie te worden afgestemd op de maximaal toelaatbare afwijking die volgt uit de in QAL 1 gebruikte meetonzekerheid van het betreffende instrument.

Reeds eerder is gesignaleerd dat het in dit verband voordelig kan zijn om in de QAL 1 procedure van een hogere meetonzekerheid uit te gaan dan volgens de specificaties haalbaar is. In de QAL 3 procedure zal dit leiden tot een grotere tolerantie voor precisie en drift.

Conclusies m.b.t. het procesfornuis:

Uit het bovenstaande kunnen de volgende conclusies worden afgeleid:

- Het is in principe mogelijk om voor het betreffende procesfornuis een QAL 3 procedure uit te voeren;
- Het uitvoeren van de QAL 3 procedure kan echter niet zondermeer; er dient extra instrumentarium te worden ingezet (b.v. een drukopnemer) en de frequentie van inspecties en kalibraties dient te worden verhoogd;
- Bepaalde controles dienen t.b.v. de QAL 3 procedure te worden geformaliseerd en ondergebracht in het reeds bestaande kwaliteitssysteem;
- Het uitvoeren van de QAL 3 procedure zal extra directe (hardware) en indirecte (uren) kosten met zich meebrengen. Overigens zal dit ook (voor de indirecte kosten) gelden indien een CEM systeem zou worden toegepast.

7 CONCLUSIES

Uit de uitgevoerde QAL 3 test kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De QAL 3 procedure kan goed worden toegepast bij het PEM systeem van deze gasturbine installatie;
2. In plaats van de in een CEM systeem gebruikte analysatoren, kunnen bij een PEM systeem de instrumenten voor het meten van de invoerparameters van het model worden gecontroleerd;
3. Het is mogelijk om de QAL 3 referenties te baseren op balansen, maar ook kunnen referentiemeters met een bepaalde relatie tot de te controleren meter worden gebruikt;
4. Het is noodzakelijk dat de samengestelde onzekerheid van de referentiemetingen niet te groot is;
5. Het is praktisch onmogelijk om algemeen bruikbare rekenbladen te ontwikkelen; De statische methode waarmee de standaard onzekerheid, en daarmee de grenswaarden in de controlekaarten, worden berekend verschillen per referentiesysteem.
6. Er is niet onderzocht in hoeverre de voorgestelde referentiemethode (MIP) in de praktijk werkt; hiervoor is meer tijd nodig.

8 REFERENTIES

1. NEN-EN 14181, Stationary source emissions – Quality assurance of automated measuring systems, NEN, 2003.
2. Eindconcept Programma van Eisen CO₂ en NO_x-monitoringsprotocollen (PvE), VROM, 21 juni 2004.
3. Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), BIPM IEC IFCC ISO IUPAC IUPAP OIML, 1995.
4. Variations in the NO_x-emissions of gas turbines; effects of air temperature, air humidity and natural gas composition, Visser en Bahlmann, NV Nederlandse Gasunie, 1994.
5. Modellerings van de effecten van water- en stoominjectie en bijstoken op de NO_x-emissie van gasturbine-installaties (TIS-2), Visser en Bahlmann, NV Nederlandse Gasunie, 1994.
6. NEN-EN-ISO 14956, Air quality, evaluation of the suitability of a measurement procedure by comparison with a required measurement uncertainty, ISO, 2001