

Danske affaldsforbrændingsanlæg under den europæiske kvoteordning for drivhusgasser

Usikkerhed på opgørelse af fossilt CO₂- udledning

Rapport udarbejdet for **affald danmark** og **RenoSam**

Dato: 26. september 2012

Projekt: 12-94.01

Annemette Geertinger

Alfred Christensensvej 5b
DK-2850 Nærum
Tel +45 2034 8190
ag@geerticon.dk
www.geerticon.dk



Indholdsfortegnelse

1	Baggrund og formål.....	5
2	Projektets omfang	5
3	Krav til opgørelse af årlig CO ₂ -emission	6
3.1	Lovgivning	6
3.2	Metoder til opgørelse af årlig udledning af CO ₂	7
3.3	Kategori A anlæg (under 50.000 ton)	7
3.4	Kategori B anlæg (50.000 til 500.000 ton)	7
3.5	Kategori C anlæg (over 500.000 ton)	8
4	Metoder til opgørelse af årlig CO ₂ -udledning (kategori B)	9
4.1	Beregning af CO ₂ -udledning	9
4.2	Måling af CO ₂ -udledning	10
4.3	Metoder til fastlæggelse af fordeling mellem biogent og fossilt kulstof	11
4.3.1	BIOMA/The mass balance method (Rambøll)	11
4.3.2	WS.Biocarbon prediction Model (Weel & Sandvig)	13
4.3.3	Kulstof-14 metoden (Force Technology)	15
4.4	Kvalitetskrav til opgørelse af CO ₂ -udledning for kategori B anlæg	18
4.5	Kvalitetskrav til beregnede udledninger	20
4.6	Kvalitetskrav til målte udledninger	20
4.7	Beregning af usikkerhed på målte udledninger.....	21
5	Øvrige myndighedskrav	23
5.1	Miljøgodkendelsens krav	23
5.2	NOx-afgift	24
6	Kvalitetskrav i DS/EN14181 (Kvalitetssikring af anlægsmålere).....	25
6.1	QAL1	26
6.2	QAL2	26
6.2.1	QAL2 kalibreringsfunktion.....	26
6.2.2	QAL2 kontrol af anlægsmålers kvalitet	28
6.3	QAL3	29
7	Standarder fra CEN og ISO vedrørende emission af drivhusgasser	31
7.1	Erfaringer med anvendelse af Standard Reference Metoder (SRM)	32
8	Måleudstyr på anlæg (CO ₂ -, O ₂ -, H ₂ O- og flowmåling).....	34
8.1	Generelt om kvalitetskrav og kvalitetssikring af måleudstyr på anlæg	34
8.2	Certificering af anlægsmålere	34
8.3	Kvalitetsarbejde på anlæg	34



8.4	Leverandører af anlægsmålere	35
8.5	Kvalitet af anlægsmålere	35
9	Estimat for samlet usikkerhed på CO ₂ -udledning	39
9.1	Usikkerhed anlæggets eget måleudstyr	40
9.1.1	Usikkerhed på CO ₂ -måling	40
9.1.2	Usikkerhed på Flow-måling	40
9.1.3	Usikkerhed på O ₂ -måling	41
9.1.4	Usikkerhed på H ₂ O-måling	41
9.2	Beregning af usikkerhed på CO ₂ -udledning	42
9.3	Beregning af usikkerhed på CO ₂ -udledning vha. BIOMA metoden	44
9.4	Beregning af usikkerhed på CO ₂ -udledning vha. WS.Biocarbon	45
9.5	Beregning af usikkerhed på CO ₂ -udledning vha. Forces Kulstof-14 metode	46
10	Opsummering af konklusioner og anbefalinger	49
11	Opsummering af møde med Energistyrelsen	51
11.1	Beregningsgrundlaget af udledningen af fossilt CO ₂	51
11.2	Beregningsgrundlag	52
11.3	Systematiske fejl	52
11.4	Grundlag for beregning af teoretisk usikkerhed i overvågningsplanen	52
12	Bilagsoversigt	53



RESUME OG KONKLUSION

Denne rapport er udarbejdet i samarbejde med affald danmark, RenoSam, de affaldsforbrændingsanlæg, der forventes at udsende mere end 50.000 ton fossilt CO₂ årligt samt leverandørerne af instrumenter til miljømålinger samt metoder til bestemmelse af den fossile andel af CO₂-udledningen.

I rapporten er et resume af det grundlag opgørelsen af den fossile CO₂-emission bygger på, herunder relevant lovgivning, standarder mv. Rapporten fokuserer på kategori B-anlæg, dvs. anlæg med årlig udledning over 50.000 ton fossilt CO₂.

Der er en gennemgang af metoder til opgørelse af udledningen samt krav til usikkerheden på denne opgørelse. De fleste metoder inkluderer anlæggenes egne målinger af CO₂-, O₂-, H₂O-indhold i røggassen samt røggasflowet.

Emissionsmåleudstyr og kvaliteten heraf er kortlagt for 10 affaldsforbrændingsanlæg, og disse data er anvendt til en vurdering af, om opgørelser vha. de forskellige metoder kan overholde usikkerhedskravet.

Rapporten anbefaler, at den metode, der er anvist i forordningen for beregning af usikkerheder følges. Dette inkluderer, at anlægsmålerne kontrolleres efter DS/EN14181 samt at usikkerheden beregnes ud fra de usikkerheder DS/EN14181 fastlægger ved hjælp af GUMs metoder.

Dette indebærer, at anlægsmålerne kalibreres efter QAL2 i DS/EN14181, og at der ved denne kalibrering fjernes alle systematiske fejl på målingerne, hvorfor der alene skal tages hensyn til tilfældige fejl ved beregning af usikkerhed på opgørelsen.

Metoden er simpel og ens for alle anlæg. Den anvendes allerede i forhold til miljøgodkendelsen af anlæggene og den sikrer sammenlignelige resultater mellem anlæggene. Endvidere anbefales det, at man anvender den dokumenterede usikkerhed via målerenes certifikater iht. EN15267-3 til at fastsætte et konservativt budget for målerens usikkerhed.

Rapporten konkluderer, at det på basis af velfungerende anlægsmålere kan være muligt at overholde kvalitetskravet til opgørelsen af CO₂-udledningen, men samtidig også, at det ikke er alle anlæg, der kan overholde kravene, selvom anlægsmålerne opfylder myndighedernes krav til usikkerhed.

Den største usikkerhed på opgørelsen af udledningen er knyttet til fastlæggelsen af den fossile andel af kulstof i affaldet. Anlæggenes egne målinger af udledt CO₂ og røggasflow bidrager kun ubetydeligt til usikkerheden på årsbasis, men har for nogle af metoderne sammen med O₂ og H₂O stor indflydelse på usikkerheden på den fossile andel af CO₂.

Sidst i rapporten er anbefalinger til det videre arbejde hos myndighederne, på affaldsforbrændingsanlæggene samt hos leverandørerne af metoder til opgørelsen af den fossile andel af CO₂-udledningen og en opsummering på de konklusioner, der blev aftalt ved møde med Energistyrelsen om valg af fremgangsmåde for opgørelsen og beregning af usikkerhed.



1 BAGGRUND OG FORMÅL

Fra 2013 overgår de danske affaldsforbrændingsanlæg til kvotesektoren under ETS¹. Anlæg der årligt emitterer over 50.000 ton fossilt CO₂ skal opgøre sin årlige udledning med en maksimal usikkerhed på 7,5 % (95 % konfidensinterval), også kaldet kategori B-anlæg.

Opgørelsen kan baseres på beregning eller måling af CO₂ i røggassen. Begge teknikker er i et vist omfang baseret på de enkelte anlægs egne målinger af emissioner og driftsforhold. Der findes i dag tre alternative "værktøjer" (metoder) til fastsættelse af opgørelsens slutresultat, dvs. årlig udledning af CO₂ i enheden ton, hvoraf de to bygger på masse- og energibalancer og den sidste på målinger. Fælles for de tre metoder er, at måling af røggassens flow, og CO₂-indhold indgår.

affald danmark og RenoSam har efterspurgt en vurdering af, hvorvidt det er muligt at opnå en samlet usikkerhed på opgørelsen af CO₂ på henholdsvis maksimalt $\pm 7,5\%$ og $\pm 10\%$ (beregnet som 95-% konfidensinterval) med de tre metoder og med udgangspunkt i de instrumenter, der i dag er installeret på de anlæg, der forventes at emitte over 50.000 ton fossilt CO₂ om året.

Endvidere ønskes der en vurdering af, om det er muligt at installere nye målere af en bedre kvalitet, end den der anvendes i dag og dermed opnå en samlet usikkerhed på under henholdsvis 10 % og 7,5 %.

Der er ca. 10 danske anlæg i kategori B, de øvrige anlæg hører under kategori A, der kan opgøre CO₂-emissionen på basis af mængden af tilført brændsel og en standardemissionsfaktor.

Dette projekt har fokus på kategori B anlæg.

2 PROJEKTETS OMFANG

For den samlede opgørelse af den årlige fossile CO₂-udledning fra danske affaldsforbrændingsanlæg under kategori B samler projektet viden om:

- Metoder til opgørelse af udledningen
- Krav til opgørelsens maksimale usikkerhed
- Værktøjer til at bestemme den fossile del af udledningen
- Status for anlæggenes emissionsmåleudstyr
- Relevant lovgivning og anden regulering
- Relevante standarder og vejledninger
- Det emissionsmåleudstyr, der er installeret på de relevante anlæg, herunder fabrikat, måleprincip, certifikater, usikkerhedsbidrag samt kvalitetsarbejde og kontrolomfang
- Kvalitet af nyt og eksisterende måleudstyr: mærke, måleprincip, certifikater, usikkerhed og kontrolomfang

Der er udarbejdet forslag til, hvordan den årlige udledning af fossilt CO₂ kan beregnes og hvordan usikkerheden herpå kan opgøres.

Med udgangspunkt i det udstyr, der er installeret på de danske affaldsforbrændingsanlæg og de metoder, der er til bestemmelse af den fossile andel af udledt CO₂ er en vurdering af, om det er realistisk at opfylde myndighedernes krav til maksimal usikkerhed på opgørelsen.

¹ ETS: European Union Greenhouse Gas Emission Trading Scheme



3 KRAV TIL OPGØRELSE AF ÅRLIG CO₂-EMISSION

Danske affaldsforbrændingsanlæg skal med virkning fra 2013 overgå til kvotesektoren og skal som følge deraf opgøre den årlige udledning af fossilt CO₂.

Anlæggene skal derfor i løbet af efteråret fremsende overvågningsplaner for opgørelsen til Energistyrelsen.

Kilderne til udledning af CO₂ fra forbrænding af affald kan opdeles i en fossil oprindelse eller i en oprindelse som biomasse, jævnfør Figur 3-1. Det er alene CO₂-udledningen fra de fossile kilder, der indgår i kvoteordningen.



Figur 3-1 Kilder til udledning af biogent og fossilt CO₂ i affaldet².

I det følgende er en kort gennemgang af regler og love der vedrører opgørelsen af udledningen.

3.1 Lovgivning

I 2003 vedtog Europaparlamentet og Rådet EU direktiv 2003/87/EF om en ordning for handel med kvoter for drivhusgasemissioner i Fællesskabet. Baggrunden for ordningen var Kyoto aftalens målsætning om at nedbringe emissionen af drivhusgasser.

Direktivet er senest revideret i 2009³ og gennemført i dansk lovgivning med Lovbekendtgørelse nr. 122 af 15/10/2010 af lov om CO₂-kvoter⁴.

² Thomas Astrup, DTU. DAKOFA-møde d. 7. december 2010.

³ Direktiv 2009/29/EF om ændring af direktiv 2003/87/EF om ændring af direktiv 2003/87/EF med henblik på at forbedre og udvide ordning for handel med kvoter for drivhusgasemissioner i Fællesskabet http://www.ens.dk/da-DK/KlimaOgCO2/CO2Kvoter/ordningen_efter_2012/Documents/dir%202009%2029.pdf

⁴ <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=133832>



Loven fastlægger de grundlæggende krav og rettigheder for de virksomheder, der er underlagt at opgøre deres emissioner af fossilt CO₂, hvilket blandt andet omfatter tildeling og handel med CO₂-kvoter under EU's kvotehandelssystem ETS⁵ samt rapportering af årlige udledninger.

Der findes en række EU- og/eller danske forordninger⁶ og vejledninger^{7 8}, der beskriver, hvorledes de årlige opgørelser skal gennemføres, kvalitetssikres og verificeres.

I forbindelse med ordningen skal de anlæg, der er omfattet, således gennemføre overvågning af CO₂-udledningen i henhold til EU Kommissionens Forordning nr. 601/2012, der i det følgende refereres til som "Forordningen".

Kommissionen har yderligere udarbejdet en række vejledninger⁹, der skal hjælpe med en ensartet forståelse for og anvendelse af Forordningen.

ETS går ind i sin tredje periode fra 2013, Forordningen og de vejledninger, der støtter op om den har først gyldighed fra 1. januar 2013.

3.2 Metoder til opgørelse af årlig udledning af CO₂

Forordningen stiller krav til den metode, som det enkelte anlæg anvender til overvågningen, herunder vurdering af usikkerhed på metoder samt procedurer, der skal medvirke til at sikre kvaliteten af overvågningen.

Afhængig af hvor meget CO₂ det enkelte anlæg udleder, placeres det i en af 3 kategorier¹⁰ (A, B og C), hvor der stilles forskellige krav til opgørelsesmetoder og kvaliteten heraf.

3.3 Kategori A anlæg (under 50.000 ton)

Affaldsforbrændingsanlæg, der årligt udsender mindre end 50.000 ton fossilt CO₂, hører til kategori A. Anlæg i denne kategori indfylder årligt op til ca. 135.000 ton affald¹¹ og de kan opgøre deres årlige emission på basis af indfyret brændselsmængde (affald, naturgas, biomasse, etc.) og en emissionsfaktor f.eks. med enheden kg CO₂ pr. indfyret energienhed. Nøgletallet fastlægges på national basis af en ekspertvurdering og offentliggøres årligt af Energistyrelsen. Disse anlæg kan også vælge at følge samme opgørelsesmetode som kategori B eller C anlæg, men dette er frivilligt og metoderne er mere komplicerede og dermed også mere ressourcekrævende.

3.4 Kategori B anlæg (50.000 til 500.000 ton)

Affaldsforbrændingsanlæg, der årligt udsender i intervallet fra 50.000 og op til 500.000 ton fossilt CO₂, hører til kategori B.

⁵ http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/monitoring/index_en.htm

⁶ EU kommissionens forordning nr. 601/2012 af d. 21. juni 2012 om overvågning og rapportering af drivhusgasemissioner <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:181:0030:0104:DA:PDF>

⁷ Guidance document No. 1 – "The Monitoring and Reporting Regulation – General Guidance for installations" http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/monitoring/docs/gd1_guidance_installations_en.pdf

⁸ Template No. 1 – "Monitoring plan for the emission of stationary installations" (Excel ark) http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/monitoring/documentation_en.htm

⁹ http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/monitoring/documentation_en.htm

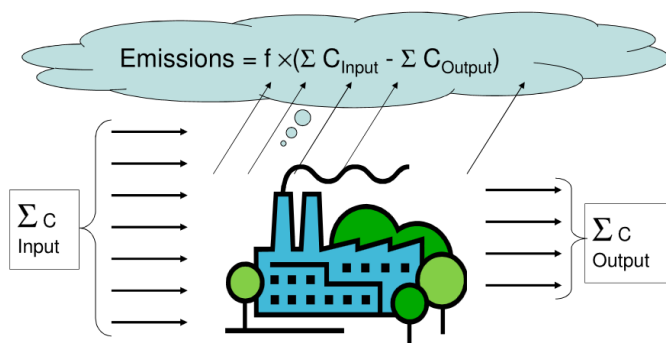
¹⁰ Artikel 19 (2) i Forordning nr. 601/2012 af d. 21. juni 2012

¹¹ RenoSam notat "Forbrændingsanlæg i kvotesektoren" af 6. juni 2012 side 2



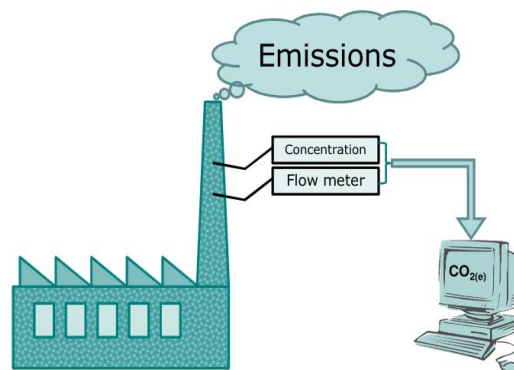
Kategori B-anlæg kan opgøre deres årlige udledning på grundlag af beregninger, der enten er baseret på en standardmetode eller på massebalancer for fossilt kulstof eller de kan opgøre den årlige udledning på basis af målinger af emissionen af CO₂ i røggassen¹², jævnfør Figur 3-2.

Beregning af udledning



Picture by [umweltbundesamt](#)

Måling af udledning



Picture by [umweltbundesamt](#)

Figur 3-2 Opgørelse baseret på beregning, f.eks. massebalance for kulstof (C) eller på måling af udledning af CO₂. (Kilde: EU kommissionen - Guidance document No. 1 – “The Monitoring and Reporting Regulation – General Guidance for installations”).

Såfremt ingen af de nævnte metoder: beregning eller måling kan anvendes, findes der et alternativ, der populært omtales som “fall back metoden”¹³. Denne metode omtales ikke nærmere i dette dokument.

3.5 Kategori C anlæg (over 500.000 ton)

Anlæg der årligt udsender over 500.000 fossilt CO₂ hører til kategori C. Der findes ingen danske anlæg, der hører til kategori C.

¹² Forordning 601/2012 artikel 21

¹³ Forordning 601/2012 artikel 22



4 METODER TIL OPGØRELSE AF ÅRLIG CO₂-UDLEDNING (KATEGORI B)

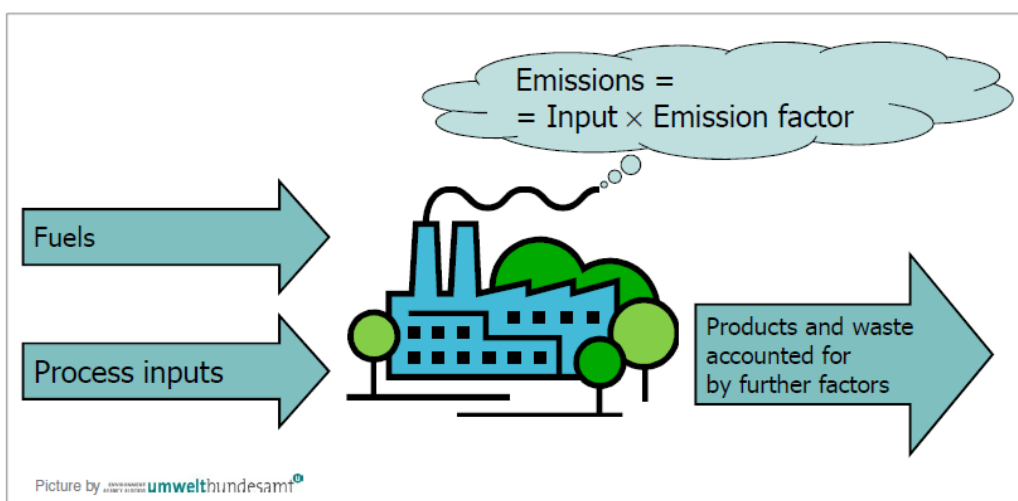
Forordningen fastlægger, at opgørelse af den årlige CO₂ udledningen kan baseres på beregninger eller målinger.

4.1 Beregning af CO₂-udledning

Udledningen bestemmes ud fra aktivitetsdata og emissionsfaktorer. Metoden kræver, at der foretages opgørelse af det fossile kulstof i tilførte brændsel, altså indvejet affald, olie og naturgas mv. samt analyser af affaldets indhold af fossilt kulstof for hver 5.000¹⁴ ton affald.

Fremgangsmåden er illustreret i Figur 4-1. Metoden anses ikke for at være realistisk for et affaldsforbrændingsanlæg, dels på grund af kravet til analysefrekvens, f.eks. skal et kategori B anlæg skal minimum bekoste 27 prøvetagninger om året og dels er det svært at leve op til metodetrinnet for analyserne.

Beregningsmetoden uddybes derfor ikke yderligere.



Figur 4-1 Opgørelse baseret på beregning af af CO₂-udledning. (Kilde: EU kommissionen - Guidance document No. 1 - "The Monitoring and Reporting Regulation - General Guidance for installations").

¹⁴ Forordning 601/2012 artikel 35 og Bilag VII



4.2 Måling af CO₂-udledning

Denne metode bygger på kontinuert måling af koncentrationen af fossilt CO₂ i røggassen samt kontinuert måling af røggasmængden¹⁵.

Den fossile CO₂-udledning bestemmes ud fra følgende formel¹⁶:

$$CO_{2, \text{fossilt, årstotal}} [\text{ton}] = \sum_{i=1}^{\text{driftstimer p.a.}} (CO_{2, \text{fossilt, } i} * Røggasstrøm_i) * 10^{-6} \quad (\text{Formel 4-1})$$

hvor:

CO_{2, fossilt, i} er målt koncentration af CO₂-emission pr. time i g/Nm³ i røggasstrømmen

Røggasstrøm er røggasstrøm i Nm³ pr. time

Udledningen skal således opgøres på timebasis¹⁷ for alle de timer anlægget er i drift i løbet af året inklusiv opstart og nedlukning.

Den målte koncentration af CO₂ i røggassen fra et affaldsforbrændingsanlæg stammer fra enten biomasse eller fossile brændsler, og for at bestemme udledningen af fossilt baseret CO₂, skal man time for time kende forholdet mellem disse to kilder i affaldet.

Dette er ikke muligt og forordningen åbner da også mulighed for at fastlægge mængde af CO₂ fra biomasse og dermed også implicit mængden fra fossile kilder ved hjælp af beregningsbaserede metoder¹⁸.

Dette tolker Energistyrelsen¹⁹ således, at anlæggene kan fastlægge en årsfordeling for andelen af fossilt baseret CO₂ i forhold til den samlede udledning af CO₂, og anvende denne faktor i beregningen.

Udledningen kan for forbrændingsanlæg således opgøres efter følgende formel:

$$CO_{2, \text{fossilt årstotal}} [\text{ton}] = F_{\text{fossilt}} * \sum_{i=1}^{\text{driftstimer p.a.}} (CO_{2, i} * Røggasstrøm_i) * 10^{-6} \quad (\text{Formel 4-2})$$

Hvor F_{fossilt} er årsgennemsnittet for andelen af fossilt baseret CO₂ i forhold til den samlede udledning af CO₂, og de øvrige parametre er beskrevet under Formel 4-1.

Udledningen for kalenderåret beregnes således som summen af udledningen af fossilt CO₂ i enheden kg eller ton for alle de timer anlægget er i drift i løbet af året.

CO₂-indholdet i røggassen måles i enheden volumen-%. Denne skal omregnes til enheden g/Nm₃, hvilket kan gøres efter følgende formel:

$$1 \text{ Vol } \% \text{ CO}_2 = 19,6 \text{ g/Nm}^3$$

Forordningen stiller endvidere krav om, at målinger udføres i et repræsentativt punkt²⁰ samt at man anvender anerkendte standarder²¹ til målingerne, jævnfør Afsnit 4.6.

¹⁵ Forordning 601/2012 artikel 21

¹⁶ Forordning 601/2012 artikel 43 (2)

¹⁷ Forordning 601/2012 artikel 44 (1)

¹⁸ Forordning 601/2012 artikel 43 (4)

¹⁹ Rasmus Zink Sørensen

²⁰ Forordning 601/2012 artikel 43 (5)

²¹ Forordning 601/2012 artikel 42 (1)



4.3 Metoder til fastlæggelse af fordeling mellem biogent og fossilt kulstof

Der findes i dag tre metoder på det danske marked til bestemmelse af fordeling mellem fossilt og biomassebaseret CO₂.

I det følgende er en kort gennemgang af disse tre metoder.

4.3.1 BIOMA/The mass balance method (Rambøll)

Metoden er beskrevet af forskere fra Wiens Tekniske Universitet²², og den bygger på energibalancer for affaldsforbrændingsanlægget kombineret med massebalancer for følgende materialestrømme:

- Inert materiale (slagge, metaller og aske)
- Biogent affald (biomasse)
- Fossilt affald
- Vand

På basis af indfyrede mængder, produceret energi, O₂ forbrug og indhold af CO₂ i røggassen beregner systemet fordelingen af fossilt og biogent kulstof i affaldet.

Input til beregningerne er driftsdata fra anlægget og den kemiske sammensætning af biogent og fossilt affald.

Driftsdata måles løbende af anlægget enten på kontinuert basis eller som korttidsværdier, f.eks. røggasmængde, dampproduktion, CO₂-indhold i røggas, mens andre opgøres ved målinger over et tidsinterval på timer, f.eks. massestrømmen af affald. Endelig opføres en del data "manuelt" over længere perioder, f.eks. slaggeproduktion, metalindhold i slagge, flyveaskeproduktion etc.

Fastlæggelsen af den kemiske sammensætning af biomasse og fossilt affaldet tager udgangspunkt i analyser af husholdningsaffald i Østrig udført omkring 1998 samt undersøgelser på rene affaldsfraktioner for samme periode.

De fire massebalancer og energibalancer beskriver et system, der er overbestemt. Det vil sige, at antallet af ligningen, der indgår i BIOMA beregninger overstiger antallet af ubekendte, der skal fastlægges. Dette forhold udnyttes til at forbedre "inputdata", så man opnår et mere optimalt "billede" af disse. Beregningerne tager hensyn til usikkerhed på de indgående data.

Analyser af beregningernes følsomhed for usikkerheden på de indgående data viser, at målingerne af indholdet af CO₂ og O₂ i røggassen bidrager til den største fejl på resultatet. Således påvirker en fejl på CO₂-målingen på 1 % (absolut) resultatet af den beregnede fossile CO₂-udledning med over 9 % (relativt) og tilsvarende påvirker en fejl på O₂-måling med 1 % (absolut) med over 5 % (relativt).

Der er visse atypiske materialefraktioner der ikke opfører sig som gennemsnittet af biogene henholdsvis fossile fraktioner. Hvis andelen af disse atypiske fraktioner ændre sig markant vil det medføre større usikkerhed på resultaterne med mindre den kemiske sammensætning justeres tilsvarende. Et eksempel på en sådan atypisk og ret sjælden fraktion er plastik der er produceret fra biomasse (bio-plastik), der ved BIOMA beregningerne optræder som fossilt materiale, da den kemisk set ligner fossilt plastik. Denne type plastik udgør i dag kun en meget lille del af den samlede plastik, og såfremt andelen i fremtiden stiger, og modellen ikke ændres, vil fejlen betyde, at den udledte mængde af fossilt CO₂ overvurderes.

Rambøll har indgået licensaftale med det Tekniske Universitet i Wien og er eneforhandler af produktet i Danmark og Sverige.

²² Environmental Scientific Technology. 2007, vol. 41 , p 2579 – 2586 "A new method to Determine the ratio of Electric production from fossil and biogenic sources in Waste-to-Energy Plant"



Rambøll²³ har beregnet usikkerheden på opgørelsen af den årlige CO₂-udledning ved anvendelse af BIOMA-metoden for en række scenarier med forskellig usikkerhed på de indgående parametre, jævnfør Tabel 4.1.

Den beregnede usikkerhed forudsætter, at den fossile andel udgør 62 % af den samlede udledning af CO₂. Ved undersøgelser foretaget af DTU m.fl. i perioden 2009 – 2011 fandt man et gennemsnitligt indhold af fossilt kulstof på 40 – 45 %²⁴.

Der er derfor også i tabellen angivet usikkerheden på BIOMA metoden, hvis man forudsætter et indhold af fossilt kulstof i affaldet på 40 %.

Parameter	Enhed	Lav usikkerhed	Mellem usikkerhed	Høj usikkerhed
Affaldsmængde (std. afv.)	(ton/år)	1 %	2 %	4 %
Røggasmængde (std. afv.)	(m ³ /h)	2 %	5 %	10 %
CO ₂ -indhold (std. afv.)	(%)	0,5 %	1 %	2 %
O ₂ -indhold (std. afv.)	(%)	0,5 %	1 %	2 %
Usikkerheder				
Udledning CO ₂ fossil, årstotal				
Fossilt CO ₂ -udledning ved 60 % fossilt i affald (95 % konfidensinterval)	(ton/år)	6,2 % (relativt)	9,6 % (relativt)	17,5 % (relativt)
Udledning CO ₂ fossil, årstotal ¹⁾				
Fossilt CO ₂ -udledning ved 40 % fossilt i affald (95 % konfidensinterval)	(ton/år)	9,3 % (relativt)	14,4 % (relativt)	26,3 % (relativt)
F _{fossilt}				
Fossilt CO ₂ -andel (std. afv.)	(%)	1,3 % (absolut)	1,8 % (absolut)	3,1 % (absolut)

1) Beregnet i dette projekt efter anvisning fra Rambøll

Tabel 4.1 Rambølls opgørelse over usikkerhed på årlig udledning af fossil CO₂ ved anvendelse af forskellige usikkerhedsniveauer for de indgående data (Kilde: Rambøll).

Rambøll oplyser, at beregningerne foretages på 4-timers middelværdier for at kompensere for manglende tidsmæssig sammenhæng mellem de målte data. Endvidere er den indfyrede affaldsmængde forskudt 1 time i forhold til målingerne i røggassen.

Programmet beregner den årlige udledning af fossilt CO₂ i ton og faktoren F_{fossilt}.

Rambøll anbefaler, at man fokuserer på at nedbringe usikkerheden fra røggasmålingerne, herunder at man løbende arbejder med kvalitetssikringen og som et element herunder, at man anvender kalibreringsgasser af god kvalitet og med et indhold tæt på det normale niveau.

²³ Christian Riber, Rambøll. Præsentation på RENOSAM/affald danmark møde d. 12. juni 2012

²⁴ PSO projekt-0213 "Biogent kulstof i dansk brændbart affald"

<http://dev.energiforskning.omega.oitudv.dk/node/4373>



4.3.2 WS.Biocarbon prediction Model (Weel & Sandvig)

Metoden er udviklet af Weel & Sandvig, og den bygger på modeller for kemiske reaktioner mellem ilt og affald af fossil eller biogen oprindelse, massebalancer og energibalance.

Følgende materialestrømme indgår i modellen:

- Inert materiale (slagge)
- Biogent affald (biomasse)
- Fossilt affald
- Vandindhold i affaldet

Modellen anvender en gennemsnitlig kemisk sammensætning af biogent affald og af fossilt affald, der til dels stammer fra internationale databaser og dels fra danske undersøgelser af plastikindholdet i fossilt affald²⁵ fra 2003.

Modellen er følsom for, om sammensætningen af det fossile affald er korrekt. Analyser²⁶ viser, at fejl på sammensætningen af det fossile affald, i det mest ekstreme tilfælde kan føre til fejl på op til ca. 50 % på den biogene del af affaldet ved beregninger over meget korte perioder (under et døgn), jævnfør Tabel 4.2.

Parameter	Beregnet indhold af biogent Kulstof (%) i affaldet	Fejl på beregnet biogent indhold af kulstof (%)
Basis – gennemsnitlig sammensætning af fossilt affald	66	0
Fossilt affald er 100 % PVC	76	15
Fossilt affald er 100 % PE	76	15
Fossilt affald er 100 % PET	100	52

Tabel 4.2 Betydning af sammensætning af fossilt affald for det beregnede indhold af biogent kulstof i affaldet (Kilde: Weel & Sandvig).

Beregningen af den fossile andel af CO₂-emissionen forudsætter en række data fra anlægget, hvor nogle måles løbende og andre opgøres manuelt. De værdier, der måles løbende omfatter bl.a. CO₂-, O₂-, og H₂O-indholdet i røggassen samt energiproduktion. Slaggeproduktionen hører til blandt de data, der opgøres over længere tidsintervaller.

Modellen gennemfører beregningerne over 24-timers perioder. Systemet er overbestemt, dvs. der er flere ligninger end ubekendte og det er derfor muligt at evaluere de data, der ligger til grund for beregningerne og fjerne dem, der giver det største bidrag til usikkerhed på det endelige resultat. Et eksempel herpå er vist i Tabel 4.3.

²⁵ Weel & Sandvig, notat om metode.

²⁶ Weel & Sandvig, notat om metode



Variable	Measured	Bias (Fraction)	Weight	Calculated	Deviation	Object. val	Include
T ambient	0	0	1	0	-	0	No
P ambient	0	0	1	0	-	0	No
Hum ambient	0	0	1	0	-	0	No
x ambient	0.01	0	0.01	0.009998306	-0.01694022	2.869709E-010	Yes
CO2 stack	0.07	0	0.2	0.06992644	-0.1050817	2.208431E-007	Yes
O2 stack	0.0818	0	0.2	0.08182132	0.02606036	1.358284E-008	Yes
H2O stack	0.2269	0	0.1	0.2270766	0.07784781	6.060281E-008	Yes
T stack	0	0	1	0	-	0	No
Waste flow	2.8	0	1	2.800264	0.009418737	8.871261E-009	Yes
Slag flow	0.5625	0	0.05	0.5621119	-0.06898883	2.37973E-008	Yes
Q Fuel (indirect)	20346	0	1	20349.27	0.01605191	2.576637E-008	Yes
Water in Fuel frac	0.45	0	0.02	0.4482344	-0.3923625	3.078966E-007	Yes
Stack flow Nm3/s wet	15.11	0	0.5	15.10456	-0.03600584	6.482103E-008	Yes
Air flow Nm3/2 wet	12	0	0.05	11.99343	-0.05475619	1.49912E-008	Yes
Quench water kg/s	0.7	0	0.1	0.6999018	-0.01402472	1.966929E-009	Yes
Sum						7.434264E-007	

Tabel 4.3 Eksempel på datavalidering ved beregningerne. Data markeret med rødt er ikke medtaget ved denne bestemmelse af det fossile indhold af CO₂. (Kilde: Weel & Sandvig)

Programmet beregner den årlige udledning af fossilt CO₂ i ton og faktoren F_{fossilt} .

Den største usikkerhed på metoden stammer fra målingerne af indholdet af CO₂, H₂O og O₂ i røggassen. Endvidere har usikkerheden på de data, der indgår i modellen stor indflydelse på resultatet, jævnfør Tabel 4.4.

Parameter	Enhed	Lav usikkerhed	Høj usikkerhed
Affaldsmængde (std. afv.)	(ton/år)	1 %	5 %
Røggasmængde (std. afv.)	(m ³ /h)	1 %	5 %
CO ₂ -indhold (std. afv.)	(%)	1,3 %	3,5 %
O ₂ -indhold (std. afv.)	(%)	0,7 %	2 %
H ₂ O-indhold (std. afv.)	(%)	5 %	15 %
Usikkerhed			
F_{fossilt} Fossil CO ₂ -andel (95 % konfidensinterval) ved 1 årlig måling	(%)	17,5 % (relativt)	38,7 % (relativt)
F_{fossilt} Fossil CO ₂ -andel (95 % konfidensinterval) ved 12 målinger pr. år	(%)	8,3 % (relativt)	24,2 % (relativt)

Tabel 4.4 Weel & Sandvigs opgørelse over usikkerhed på årlig udledning af fossil CO₂ ved anvendelse af forskellige usikkerhedsniveauer for de indgående data ved et indhold af fossilt kulstof på 38 %.

Ved beregningen af metodens usikkerhed anses de anvendte usikkerheder fra affalds- og slaggemængden for at være baseret på et års opgørelser og de omregnes derfor ikke i forhold til antallet af målinger (dage), der indgår i beregningerne.



4.3.3 Kulstof-14 metoden (Force Technology)

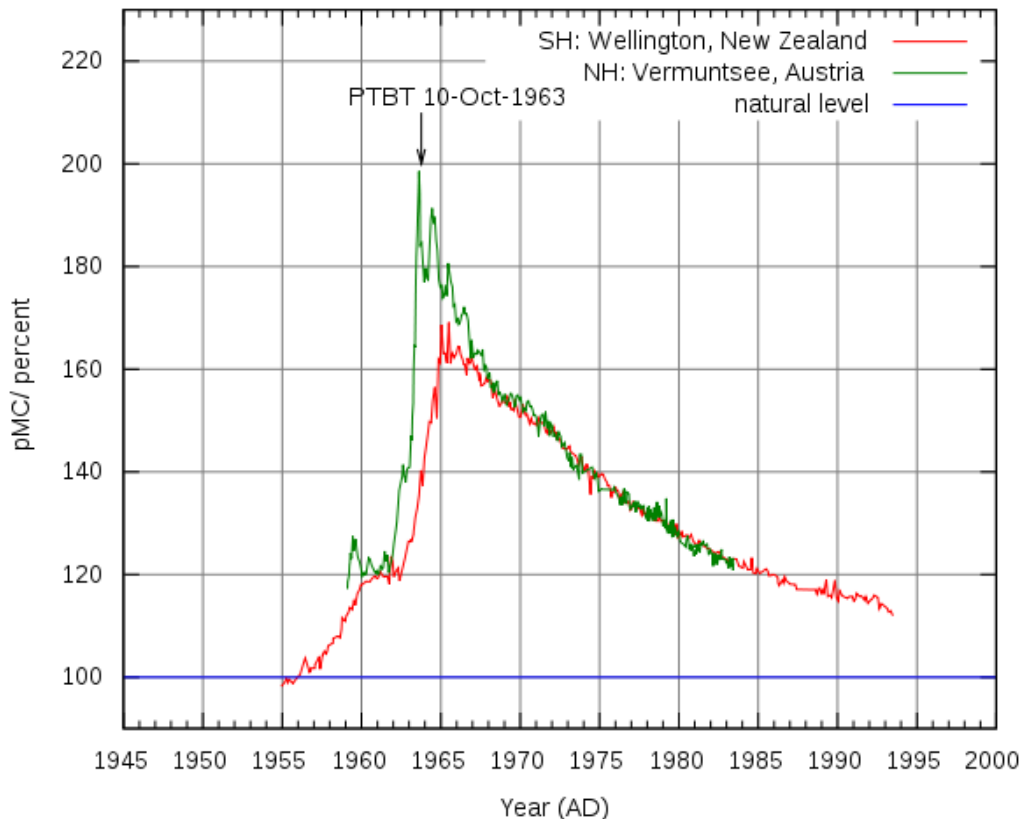
Kulstof-14 metoden er mest kendt fra aldersbestemmelse af arkæologiske fund. Den kan også anvendes til at bestemme fordeling af fossilt og biomasse baseret kulstof i det brændte affald.

Kulstof-14 er radioaktivt og det dannes løbende i atmosfæren. Halveringstiden er 5730 år. Fossilt kulstof, der har ligget i jorden i millioner af år indeholder ikke Kulstof-14, hvorimod levende organismer (biomasse) løbende optager kulstof og dermed også Kulstof-14. Når biomasse dør slutter optaget af Kulstof-14 og man kan på det grundlag aldersbestemme et biologisk materiale ud fra Kulstof-14 indholdet.

Metoden kan også bruges til at bestemme fordelingen af fossilt og biogent kulstof i affaldet, idet næsten alt emitteret CO₂ stammer fra affaldet idet en mindre del kan frigives fra røggasrensingsprodukter. Biogent kulstof stammer fra organisk affald, mens fossilt kulstof stammer fra plastik, der primært er produceret ud fra olie eller tilsvarende.

Ved metoden udtages prøver af røggassen og efterfølgende analyser i laboratoriet fastlægges fordelingen af fossilt og biogent kulstof ved at sammenholde det totale indhold af kulstof i prøven udledning med andelen af Kulstof-14.

Før 1960 var tilførslen og henfaldet af Kulstof-14 i atmosfæren i ligevægt og Kulstof-14 udgjorde en fast procentsats af det totale kulstof-indhold. Efter atomprøvesprængningerne i atmosfæren steg andelen af Kulstof-14 i en periode, og da sprængningerne ophørte, faldt aktiviteten igen, jævnfør Figur 4-2, der udtrykt ved "pmC" (percent modern Carbon) viser forholdet mellem atmosfærens indhold af kulstof-14 i det aktuelle år, og det indhold af kulstof-14, der var i atmosfæren før 1950'erne (indeks 100).



Figur 4-2 Forholdet mellem atmosfærens indhold af kulstof-14 i årene efter 1950'erne, og det indhold af kulstof-14, der var i atmosfæren før 1950'erne (index 100). pMC: percentage Modern Carbon. Kilde: http://en.wikipedia.org/wiki/Radiocarbon_dating)

Bestemmelse af alderen på et organisk materiale fra før 1950 er relativt simpelt, idet man måler Kulstof-14 aktiviteten og ud fra denne beregner alderen. Fra organisk materiale fra efter 1950 skal man have kendskab til hvornår det "døde" for at kunne tage hensyn til den ekstra aktivitet prøvesprængningerne har medført.

Ved Forces beregninger af fordelingen mellem fossilt og biogent kulstof indgår biomassens Kulstof-14 aktivitet. Denne udtrykker forventningen til biomasseaffaldets sammensætning fordelt på frisk biomasse (f.eks. husholdningsaffald) og ældre biomasse (f.eks. møbler).

Force Technology har fastsat biomassens Kulstof-14 aktivitet (pMC) til 113 % med henvisning til analyser udført i Schweiz i 2007²⁷. Ved de schweiziske analyser har man fastlagt denne størrelse ved at se på aktiviteten i affaldsmængder, der svarer til tre døgns indfyring i et affaldsforbrændingsanlæg. Gennemsnitsværdien af aktiviteten i disse tre døgns portioner er 113 % med en spredning på 3,8 % (standardafvigelse) mellem portionerne. I analysen har man kortlagt mængden af biomasse for følgende fraktioner: papir og pap, frisk biomasse inklusiv slam fra spildevandsrensning samt træ fra nedrivning af bygninger og fra møbler og deres aldersfordeling for at kunne fastsætte Kulstof-14 aktiviteten af biomasseaffaldet.

²⁷ Bioresource Technology 99, p 6471-6479 "Determination of biogenic and fossil CO₂ emitted by waste incineration based on ¹⁴CO₂ and mass balance". Mohn et al.



Andre referencer angiver andre niveauer for biomasseaffaldets Kulstof-14 aktivitet (pmC), f.eks. anvender man i Sverige faktoren 107²⁸ og Schweizerne²⁹ anfører endvidere, at for år 2010 samt 2015 bør faktoren måske være henholdsvis $111,3 \pm 3,8 \%$ og $109,2 \pm 3,8 \%$ (standardafvigelse) på grund af det konstante fald i det atmosfæriske indhold af kulstof-14.

De største bidrag til Kulstof-14 metodens usikkerhed stammer fra biomassens Kulstof-14 aktivitet og fra den kemiske analyse af prøven. For at reducere usikkerheden på metoden har Force Technology valgt at udføre dobbeltbestemmelse på de udtagne prøver. Endvidere reducerer Force usikkerheden på biomassens Kulstof-14 aktivitet (pmC på $113 \pm 3,8 \%$ som standard afvigelse) med kvadratroden af forholdet mellem de tre døgn, som den schweiziske kortlægning dækker over, og de 30 dage Force Technologys prøvetagning varer pr. prøve og Force Technology beregner dermed en usikkerhed på biomassens aktivitet på $\pm 1,2 \%$.

Force Technology udfører prøvetagningen i skorstenen over en eller 2 måneder. De reducerer deres samlede usikkerhed på F_{fossilt} med antallet af prøver på et år.

Force Technology opgør deres usikkerhed på metoden efter GUM³⁰ til omkring ca. 2 - 3 % (95-% konfidensinterval) under forudsætning af, at der udtages henholdsvis 6 eller 12 prøver i røggassen (en for hver anden eller hver måned), jævnfør Tabel 4.5. Ved beregningerne er det forudsat, at den fossile andel af kulstoffet i affaldet udgør 28,35 %.

Parameter	Enhed	Usikkerhed 6 årlige prøver	Usikkerhed 12 årlige prøver
F_{fossilt} Fossilt CO ₂ -andel (95 % konfidensinterval) ved usikkerhed på pmC på 1,2 %	(% relativ)	3,2 %	2,3 %
F_{fossilt} Fossilt CO ₂ -andel (95 % konfidensinterval) ved usikkerhed på pmC på 3,8 %	(% relativ)	-	3,7 %
Røggasmængde (95 % konfidensinterval)	(% relativ)	5 %	5 %
CO ₂ -indhold (95 % konfidensinterval.)	(% relativ)	5 %	5 %
Usikkerhed på årlig udledning af fossilt CO ₂ (95 % konfidensinterval.) ved usikkerhed på pmC på 1,2 %	(% relativ)	7,8 %	7,4 %
Usikkerhed på årlig udledning af fossilt CO ₂ (95 % konfidensinterval.) ved usikkerhed på pmC på 3,8 %	(% relativ)	-	8,0 %

Tabel 4.5 Force Technologys opgørelse over usikkerhed på årlig udledning af fossilt CO₂ ved anvendelse 6 eller 12 årlige prøver.

²⁸ http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/Utveckling/Rapporter_2012/U2012-02.pdf

²⁹ Bioresource Technology 99, p 6471-6479 "Determination of biogenic and fossil CO₂ emitted by waste incineration based on ¹⁴CO₂ and mass balance". Mohn et al.

³⁰ ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements" (JCGM100:2008)



Såvel prøveudtagning som analysemetode følger den kommende EN/ISO13833 standard³¹, og Force er generelt akkrediteret til prøvetagning og analyser under DS/EN17025.

4.4 Kvalitetskrav til opgørelse af CO₂-udledning for kategori B anlæg

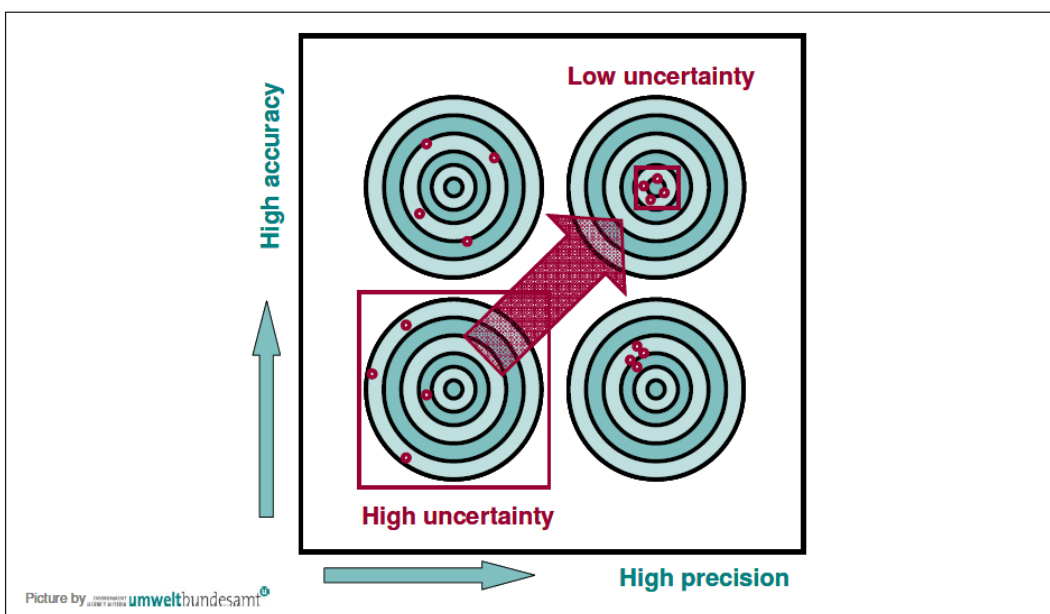
Forordningen fastlægger krav til den maksimale usikkerhed opgørelsen af den årlige CO₂-emission må være behæftet med.

Formålet med dette krav er at sikre, at data kan sammenlignes over tid og over landegrænser. Opgørelser skal være nøjagtige³² med en maksimal usikkerhed og de må ikke indeholde systematiske eller kendte fejl.

I Figur 4-3 er begreberne nøjagtighed og usikkerhed illustreret i form af en skydeskive. I det følgende er en kort beskrivelse af disse begreber:

- Nøjagtighed (engelsk: accuracy) defineres som hvor tæt en målt værdi er på den sande værdi,
- Præcision (engelsk: precision) som hvor tæt en serie målinger af samme værdi ligger på hinanden og
- Usikkerhed (engelsk: uncertainty) angiver indenfor en fastlagt tolerance, hvor den sande værdi af målingen ligger.

Forordningens krav til den maksimale usikkerhed, dvs. hvor "forkert" den rapporterede udledning må være, fastlægger hvor langt fra skydeskivens centrum skuddet må ramme.



Figur 4-3 Illustration af nøjagtighed, præcision og usikkerhed. (Kilde: EU kommissionen - Guidance document No. 1 – "The Monitoring and Reporting Regulation – General Guidance for installations").

³¹ EN/ISO13833 "Determination of the ratio of biogenic and fossil-derived carbon dioxide – Radiocarbon sampling and determination"

³² Forordning 601/2012 artikel 7

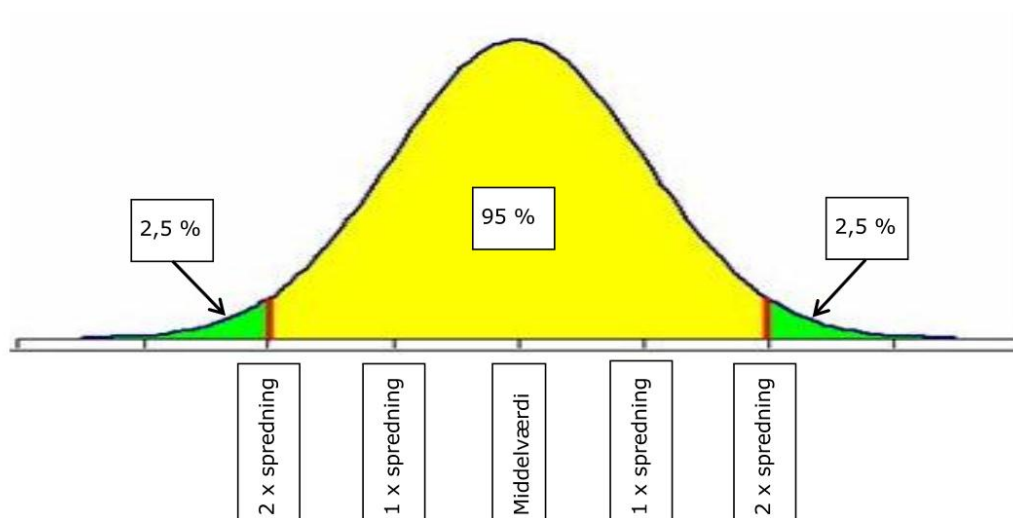


Usikkerheden indeholder bidrag fra tilfældige og systematiske fejl. Grundlæggende kan kendte systematiske fejl fjernes eller reduceres og tilfældige fejl kan nedbringes ved at gentage den samme måling eller analyse mange gange. På skydeskiven i Figur 4-4 illustrerer den øverste skive til venstre tilfældige fejl og den nederste til højre systematiske fejl.

Forordningen fastlægger³³ usikkerheden som den spredning, der er knyttet til årsopgørslen af CO₂-udledningen. Usikkerheden beregnes i procent dvs. relativt og den indeholder bidraget fra systematiske og tilfældige fejl. Den fastlægges med et konfidensinterval, der omfatter 95 % af de beregnede værdier.

I daglig tale opfattes 95 % konfidensintervallet som 2 (mere præcist 1.96) gange standardafvigelsen (også kaldet spredningen) for data, der følger en normalfordeling, hvilket mange målinger på energianlæg gør.

95 % konfidensintervallet udtrykker populært, at såfremt man måler den samme egenskab 100 gange, vil de 95 målinger ligge indenfor 2 gange standardafvigelsen og 5 % vil ligge udenfor. Da normalfordelingen en symmetrisk "fordeling" betyder det, at 2,5 % vil ligge udenfor i begge ender, jævnfør Figur 4-4.



Figur 4-4 95 % konfidensinterval for en normalfordeling

Forordningen tillader anvendelsen af forskellige metoder (beregning, måling eller en blanding af disse metoder) og der er opstillet forskellige kvalitetskrav til de data, analyser, beregninger etc., der indgår i opgørelsen af de årlige udledninger alt afhængig af hvilken metode der anvendes.

I det følgende er en kort gennemgang af kvalitetskravene til opgørelser baseret på beregning eller måling.

³³ Forordning 601/2012 artikel 3 (6)



4.5 Kvalitetskrav til beregnede udledninger

Der stilles krav til kvaliteten af de beregnede udledninger i form af det såkaldte metodetrin (også kaldet "Tier"), der er fastsat som den tilladelige usikkerhed på de indgående data og de anvendte analyser.

Der stilles ikke krav til den samlede årlige opgørelse, men alene til de parametre og værdier, der indgår i opgørelsen.

Der er fastlagt op til fire metodetrin for de analyser og beregninger etc., der indgår i den samlede opgørelse. Den største tilladte usikkerhed i disse trin for opgørelser vedrørende forbrænding af brændsel³⁴ varierer i intervallet $\pm 1,5 - \pm 7,5$ % (95 % konfidensinterval). F.eks. er kravet til mængdebestemmelsen af affald og øvrige brændsler og til analysen af indholdet af fossilt kulstof³⁵ på henholdsvis 7,5 og 5 %.

4.6 Kvalitetskrav til målte udledninger

Metodetrin eller kvalitetskrav anvendes også til opgørelser baseret på målinger, og det fastlægger for målte udledninger den største tilladte usikkerhed på opgørelsen af udledningen i løbet af en rapporteringsperiode.

Man må opgøre sin årlige udledning af fossilt CO₂ på basis af målinger, såfremt det kan dokumenteres, at kravene til metodetrinet kan overholdes³⁶. For kategori B anlæg er dette på $\pm 7,5$ %³⁷ som 95-% konfidensinterval.

Myndighederne kan acceptere en samlet usikkerhed på ± 10 %³⁸ som 95-% konfidensinterval, hvis det kan dokumenteres, at det enten ikke er teknisk muligt eller medfører urimelige omkostninger at opnå de $\pm 7,5$ % (95-% konfidensinterval)³⁹.

Målinger skal udføres i henhold til standarder fra CEN⁴⁰ eller i mangel af CEN standarder skal ISO standarder anvendes i stedet.

Følgende standarder skal anvendes⁴¹:

- DS/EN14181 "Emissioner fra stationære kilder – Kvalitetssikring af automatiske målesystemer"
- DS/EN15259 "Luftkvalitet – Krav til målested, planlægning og rapport"

DS/EN14181 anvendes til at sikre kvaliteten af målinger i skorstene og afkast, se afsnit 6 for yderligere uddybning. Sidstnævnte sikrer, at de akkrediterede målinger udføres så repræsentativt som muligt.

³⁴ Forordning 601/2012 Bilag II, Tabel 1

³⁵ Forordning 601/2012 artikel 21 (2)

³⁶ Forordning 601/2012 artikel 40 og Bilag VIII, Tabel 1 og 2

³⁷ Forordning 601/2012 artikel 41 (1)

³⁸ Forordning 601/2012 artikel 41 (2)

³⁹ Forordning 601/2012 artikel 41 (2)

⁴⁰ CEN – Europæisk Komite for Standardisering <http://www.cen.eu/cen/pages/default.aspx>

⁴¹ Forordning 601/2012 artikel 42 (1)



Forordningen fastlægger også, at anlæggene i forbindelse med kvalitetssikringen af CO₂-målingen skal anvende den årlige gennemsnitlige timekoncentration af CO₂ som grænseværdi ved beregningen af den maksimalt tilladelige usikkerhed på måleren⁴².

I øvrigt kan man med fordel anvende:

- DS/EN15267-3 "Luftkvalitet – Certificering af automatiske målesystemer – Del 3: Specifikation for ydeevne og prøvningsprocedurer for automatiske målesystemer til overvågning af emissioner fra stationære kilder"

Denne standard sikrer, at et målesystem har en passende kvalitet og den understøtter kvalitetsarbejdet fastlagt under DS/EN14181.

Sluttelig stilles der krav om, at de laboratorier, der udfører målinger, kalibreringer og vurderinger af anlægsudstyr skal være akkrediteret i henhold til DS/EN/ISO/IEC17025 "Generelle krav til prøvnings- og kalibreringslaboratoriernes kompetence" eller tilsvarende.

4.7 Beregning af usikkerhed på målte udledninger

Forordningen fastlægger ikke direkte, hvordan usikkerheden på den årlige CO₂-udledning skal beregnes. EU kommissionen er i færd med at udarbejde vejledninger til, hvordan Forordningen skal forstås og anvendes i praksis. Her skal fremhæves "The Monitoring and Reporting Regulation – General Guidance for Installations"⁴³. Endvidere foreligger der et udkast til "The Monitoring and Reporting Regulation – Guidance on the Uncertainty Assessment".

I udkastet til "Guidance on the Uncertainty Assessment" mangler for nærværende afsnittet om, hvordan usikkerheden fastlægges ved målinger. Der henvises dog til, at såfremt der ikke findes andre standarder eller guidelines, der fastlægger hvordan usikkerheden bestemmes, kan man tage udgangspunkt i vejledningens Annex III. Annex III foreskriver, at man opgør sin usikkerhed i overensstemmelse med GUMs⁴⁴ anvisninger.

Opgørelsen af den årlige fossile CO₂-udledning beregnes efter (jævnfør Afsnit 4.2):

$$CO_{2, \text{årstotal fossil}} [\text{ton}] = F_{\text{fossilt}} * \sum_{i=1}^{\text{driftstimer p.a.}} (CO_{2,i} * R_{\text{øggasstrøm}_i}) * 10^{-6} \quad (\text{Formel 4-2})$$

Under forudsætning af, at de indgående data ikke er korrelerede, hverken indbyrdes eller i tid og der kun er tale om tilfældige fejl, skal sikkerheden $U_{CO_{2, \text{årstotal}}}$ på opgørelsen således iht. GUM beregnes efter:

$$U_{CO_{2, \text{årstotal, fossil}}} = 1,96 * \sqrt{U_{\text{fossilt}}^2 + \frac{1}{n} * U_{CO_2}^2 + \frac{1}{n} * U_{R_{\text{øggasstrøm}}}^2} \quad (\text{Formel 4-3})$$

Hvor:

$U_{CO_{2, \text{årstotal}}}$	er usikkerheden på CO ₂ -opgørelsen som 95-% konfidensinterval i enheden % (relativt)
U_{fossilt}	er usikkerheden på faktoren for den fossile andel af CO ₂ -indholdet i røggassen som standardafvigelse i enheden % (relativt)
U_{CO_2}	er usikkerheden på målingerne af CO ₂ -indholdet i røggassen som standardafvi-

⁴² Forordning 601/2012 artikel 59 (2)

⁴³ http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/monitoring/docs/gd1_guidance_installations_en.pdf

⁴⁴ ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements" (JCGM100:2008)



$U_{\text{røggasstrøm}}$ gelse i enheden % (relativt)
er usikkerheden på målingen af røggasmængden som standardafvigelse i enheden % (relativt)
 n Antal målinger (timer) beregningen er opgjort over (driftstimer p.a. i formel 4-2)

Forordningen foreskriver, at $U_{\text{CO}_2, \text{årstotal}}$ maksimalt må være 7,5 %, jævnfør Afsnit 4.6.

I Afsnit 8.5 er en vurdering af, hvordan usikkerhedsbidraget for U_{CO_2} og U_{flow} kan fastlægges, og i Afsnit 8.5 med tilhørende underafsnit er leverandørerne af faktoren U_{fossil} vurdering af denne størrelse.

Estimater for den samlede usikkerhed på $U_{\text{CO}_2, \text{årstotal fossil}}$ er givet i Afsnit 9 med underafsnit.



5 ØVRIGE MYNDIGHEDSKRAV

5.1 Miljøgodkendelsens krav

Alle danske affaldsforbrændingsanlæg har en miljøgodkendelse i henhold til bekendtgørelse nr. 162 af 11/03/2003 om anlæg, der forbrænder affald, der i det følgende refereres til som "Bekendtgørelsen". Bekendtgørelsen implementerer EU-direktiv 2000/76/EF i dansk lovgivning (omtalt som direktivet i det følgende).

Bekendtgørelsen indeholder vilkår om anvendelse af anlægsmålere (AMS⁴⁵) til kontinuert måling af en række røggasparametre:

- Primære parametre: NO_x, CO, partikler, TOC, HCl, HF og SO₂
- Sekundære parametre: O₂, tryk (og H₂O)

Bekendtgørelsen foreskriver, at installation og funktionalitet af AMS til måling og registrering af emissioner skal kontrolleres mindst én gang om året⁴⁶. Endvidere skal AMS kalibreres mindst hvert tredje år ved hjælp af parallelmålinger med benyttelse af referencemetoder⁴⁷.

Formålet med kravet om kalibrering af AMS i forhold til referencemetoden (SRM⁴⁸) er, at sikre et juridisk grundlag for en bedømmelse af, hvorvidt en måling foretaget af anlægget med AMS overholder et grænseværdivilkår. SRM målinger udføres af et akkrediteret laboratorium, der kan dokumentere deres kvalitet og sporbarhed til internationalt anerkendte standarder og normaler i henhold til DS/EN/ISO/IEC17025. Ved kalibreringen af AMS ved hjælp af SRM overføres dennes sporbarhed til AMS.

Endvidere er målinger udført af et akkrediteret laboratorium i henhold til en standard reference metode (SRM) per definition sand. Der kan være en tilfældig fejl på målingen, men der findes ikke systematiske fejl på målingen.

Til de primære parametre, der alle måles med anlæggets eget måleudstyr fastsætter Bekendtgørelsen krav til usikkerheden af de målinger, der rapporteres til myndighederne:

For så vidt angår døgnmiddelværdier må værdierne af 95 %-konfidensintervallerne for et enkelt måleresultat ikke overskride følgende procent af emissionsgrænseværdierne⁴⁹:

<i>Carbonmonoxid:</i>	<i>10%</i>
<i>Svovldioxid:</i>	<i>20%</i>
<i>Nitrogendioxid:</i>	<i>20%</i>
<i>Totalstøv:</i>	<i>30%</i>
<i>Total organisk kulstof:</i>	<i>30%</i>
<i>Hydrogenchlorid:</i>	<i>40%</i>
<i>Hydrogenfluorid:</i>	<i>40%</i>

Der stilles i Bekendtgørelsen ikke krav til kvaliteten af de sekundære målere.

⁴⁵ AMS Automatisk Målende Systemer

⁴⁶ Bekendtgørelse nr. 162 af 11/03/2003 kap 6

⁴⁷ Bekendtgørelse nr. 162 af 11/03/2003 kap 6

⁴⁸ SRM Standard Reference Metode "Method described and standardised to define an air quality characteristic, temporarily installed on site for verification purposes" DS/EN14181 afsnit 3.24.

⁴⁹ Bekendtgørelse nr. 162 af 11/03/2003, bilag 4



Bekendtgørelsen fastsætter grænseværdier for de primære parametre ved referencetilstand, der er fastsat som tør røggas ved temperaturen 0 °C, trykket 101,3 kPa og 11 % O₂.

AMS måler ofte de primære parametre ved den aktuelle driftstilstand i skorstenen eller i målesystemet, de sekundære parametre anvendes således til omregning af de primære parametre fra driftstilstand til referencetilstanden efter følgende formel:

$$y_{ref} = y_{akt} * \frac{t+273,15}{273,15} * \frac{101,3}{B+p} * \frac{100}{100-H_2O} * \frac{21-O_{2,ref}}{21-O_{2,akt}}$$

Formel 5-1

Hvor:

y_{ref}	Koncentration af parameteren y ved referencetilstand
y_{akt}	Koncentration af parameteren y ved driftstilstand (den tilstand, den måles ved)
t	Temperatur i °C
B	Barometerstand i kPa
p	Statisk tryk i røggaskanal i kPa
H ₂ O	Vandindhold i røggas i %
O _{2,ref}	Iltindhold ved referencetilstand (11 % O ₂ i tør røggas)
O _{2,akt}	Iltindhold ved aktuel tilstand (i tør røggas)

Der stilles i øvrigt krav om, at prøveudtagning og analyse af samtlige forurenende stoffer og referencemålinger til kalibrering af AMS skal udføres efter CEN-standarder. Hvis der ikke foreligger CEN-standarder, anvendes ISO-standarder, andre internationale standarder eller nationale standarder, som sikrer, at der fremskaffes oplysninger af tilsvarende videnskabelig kvalitet.

Bekendtgørelsens tekst om anvendelsen af CEN-standarder henviser bl.a. til DS/EN14181, der blev udviklet med henblik på at levere egnede værktøjer til at gennemføre kalibreringen af AMS ved hjælp af SRM og til at vurdere om kravet til kvalitet (95 %-konfidensintervallet) var opfyldt.

5.2 NO_x-afgift

Danske affaldsforbrændingsanlæg afregner NO_x-afgift i henhold til Bekendtgørelsen herom⁵⁰. Bekendtgørelsen stiller følgende krav til flowmålingen:

- Flowmåleren kalibreres efter DS/EN14181
- Målere (AMS), der opfylder "performance criteria" i DS/EN 15267-3 eller tilsvarende standarder, vil kunne anvendes. Andre målere kan anvendes, hvis de med hensyn til kvalitet og nøjagtighed svarer til ovennævnte målere.
- Kvalitetskravet sættes til 10 pct. af måleområdet (120 pct. af højeste flowværdi)
- Som referencemetode ved kalibrering og kontrol benyttes DS/ISO 10780
- Ved nyinstallation af flow-AMS testes installation og målested i henhold til DS/EN 15259.

Det er ikke specificeret i bekendtgørelsen, hvad "højeste flowværdi" henviser til.

⁵⁰BEK nr 723 af 24/06/2011 om måling af udledningen af kvælstofoxider (NO_x) og om godtgørelse af afgiften. <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=137704>



6 KVALITETSKRAV I DS/EN14181 (KVALITETSSIKRING AF ANLÆGSMÅLERE)

Grundlæggende indeholder standarder ikke krav, de leverer "værktøjer" til f.eks. eftervisning af direktivers og bekendtgørelsers krav.

DS/EN14181 er således udviklet med henblik på at anvise, hvorledes følgende krav i bekendtgørelse nr. 162 og det bagvedliggende direktiv om forbrænding af affald gennemføres i praksis:

- Installation og funktionalitet af AMS
- Kalibrering af AMS mindst hvert tredje år ved hjælp af parallelmålinger med benyttelse af referencemetoder
- 95 %-konfidensintervallerne for et enkelt måleresultat ikke overskride følgende procent af emissionsgrænseværdierne

DS/EN14181 foreskriver kvalitetssikring af anlægsmålerne (AMS) i fire kvalitetstrin, jævnfør Tabel 6.1.

Kvalitetstrin	Aktivitet
QAL 1	Beregning af om AMS teoretisk kan opfylde kvalitetskrav på det aktuelle målested
QAL 2	Test og parallelmålinger udført af akkrediteret laboratorium minimum hvert 3. år, der undersøger myndighedskrav om: <ul style="list-style-type: none">• Undersøge funktionalitet• Fastlægge kalibreringsfunktion• Eftervise om kvalitetskrav er opfyldt
QAL 3	Løbende kvalitetssikring udført af anlægget selv, baseret på aflæsninger af nul og span med henblik på at detektere drift og øget usikkerhed på måling
AST	Årlige kontroller (de år, der ikke udføres QAL2)af AMS på basis af parallelmålinger udført af akkrediteret laboratorium, der undersøger myndighedskrav om: <ul style="list-style-type: none">• Undersøge funktionalitet• Eftervise kalibreringsfunktion og linearitet• Eftervise om kvalitetskrav fortsat er opfyldt

Tabel 6.1 Kvalitetstrin i DS/EN 14181 "Emissioner fra stationære kilder – Kvalitetssikring af automatiske målesystemer"

Formålet med at følge de fire kvalitetstrin i DS/EN14181 er, at øge kvaliteten af anlæggets egne målinger. Systemet bygger på en blanding af ekstern kontrol i forbindelse med QAL2 og AST og intern kontrol under QAL3.

Frekvensen for udførelse af QAL2 og AST er anført i Bekendtgørelsen til henholdsvis hvert 3. år og de mellemliggende år. Frekvensen for QAL3 er ikke fastlagt, hverken i bekendtgørelsen eller i DS/EN14181, den afhænger af instrumentleverandørens anbefalinger og anlæggets egne erfaringer.

QAL1 sikrer, at måleren kan opfylde kvalitetskravet, når den er installeret, QAL2 og AST kalibrerer måleren i forhold til en anerkendt metode (SRM) og efterviser at kvalitetskravet er opfyldt og QAL3 sikrer, at den kalibrerede måler bliver ved med at fungere som den gjorde, da den blev kalibreret under QAL2 og dermed at måleren usikkerhed ikke øges.



I det følgende er en kort gennemgang af de fire kvalitetstrin, for yderligere information henvises til dokumenterne MEL16⁵¹ og Rapport nr. 39⁵² Ref-labs hjemmeside⁵³.

6.1 QAL1

QAL1 udføres kun en gang i forbindelse med køb eller ibrugtagning af en AMS og har til formål at dokumentere, at måleren teoretisk set kan opfylde kvalitetskravet til 95 %-konfidensintervallerne for et enkelt måleresultat.

Nyere AMS, der anvendes til at måle om anlæggets vilkår i f.eks. miljøgodkendelsen er overholdt, er som hovedregel certificeret i henhold til DS/EN15267-3.

Ved certificering efter DS/EN15267-3 godkender man kun målere, der har en maksimal usikkerhed på 75 % af kvalitetskravet fra direktivet. Dette krav tager hensyn til, at vilkår om kvalitet af målinger rapporteret i henhold til miljøgodkendelsen ofte kræver omregning fra driftstilstand i ved målestedet til referencetilstanden, hvorved den primære måling skal korrigeres med en eller flere af de sekundære parametre (se i øvrigt Afsnit 5.1 for yderligere information).

Ældre anlægsmålere er testet i henhold til tidligere nationale standarder på området (typegodkendelser), disse overholder ikke automatisk kravene til QAL1.

Nyere målere, der er certificeret i henhold til DS/EN15267-3 er forsynet med et QAL1 certifikat, der er udstedt af den certificerende virksomhed, f.eks. TÜV eller MCERTS. Af certifikatet fremgår QAL1-beregningen af usikkerheden U_c ⁵⁴ for måleren. Tilsvarende kan man af certifikatet finde det kvalitetskrav, som måleren skal leve op til i forbindelse med QAL3.

6.2 QAL2

QAL2 omfatter såvel en kalibrering af anlægsmåleren ved hjælp af en standard reference metode samt en statistisk test af, om kvalitetskravet (95 %-konfidensinterval for en enkelt måling) er opfyldt.

6.2.1 QAL2 kalibreringsfunktion

Kalibreringsfunktionen anvendes til at beregne det kalibrerede resultat, der skal rapporteres til myndighederne.

Kalibreringen ved hjælp af standard reference metoden etablerer sporbarhed på anlægsmåleren til accepterede og egnede standardmetoder og den muliggør eksempelvis sammenligning mellem de målte værdier og myndighedernes krav vedrørende grænseværdier^{55 56}.

Ved QAL2 gennemføres minimum 15 sæt parallelle målinger mellem anlægsmåler og standard reference metoden, hver af ca. 1 times varighed.

⁵¹ http://www.ref-lab.dk/ref-lab_docs/showdoc.asp?id=080506074811&type=doc&pdf=true

⁵² http://www.ref-lab.dk/ref-lab_docs/showdoc.asp?id=090227125141&type=doc&pdf=true

⁵³ <http://www.ref-lab.dk/cms/site.aspx?p=6561>

⁵⁴ U_c : Combined standard uncertainty

⁵⁵ CEN/TR 15983 "Stationary source emissions – Guidance on the application of EN 14181:2004", afsnit 4.2.2

⁵⁶ DS/EN14181 "Emissioner fra stationære kilder – Kvalitetssikring af automatiske målesystemer", afsnit 6.7



På basis af disse målinger gennemføres en kalibrering af anlægsmåleren ved den tilstand den ser prøven (f.eks. i våd røggas ved aktuelt O₂-indhold), og den bedst egnede kalibreringsfunktion beregnes efter følgende formel:

$$y_i = a + b x_i$$

hvor:

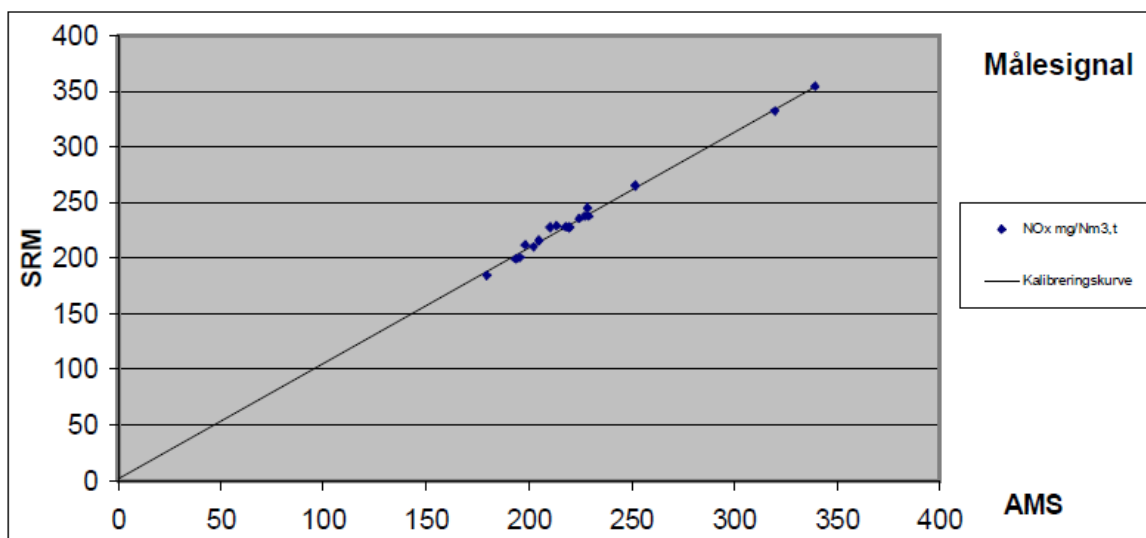
x_i er resultatet af den i te AMS-måling

y_i er resultatet af den i te SRM-måling

a er skæring med y -aksen

b er hældningen

Fastlæggelsen af kalibreringsfunktionen bygger på alment kendte metoder til bestemmelse af lineære sammenhænge, se i øvrigt Figur 6-1.



Figur 6-1 Fastlæggelse af kalibreringsfunktion for anlægsmåler (AMS) på basis af standard reference metode (SRM) ved hjælp af lineær regression.

Konstanterne a og b anvendes derefter til omregning af den målte koncentration til den kalibrerede værdi efter følgende formel:

Kalibreret værdi = hældning * målt AMS signal + skæring.

Denne omregning anvendes til alle målinger, der rapporteres til miljømyndigheden.

Kalibreringsfunktionen er gyldig indenfor et område, der ligger fra målerens nulpunkt og op til 10 % over den største værdi, der måles under QAL2. Målinger, der ligger udenfor det gyldige kalibreringsinterval omregnes også vha. kalibreringsfunktionen inden de rapporteres til myndighederne⁵⁷.

Ved kalibreringen vha. standard reference metoden fjernes per definition alle systematiske fejl på måleren⁵⁸ og måleresultater er derfor alene behæftet med tilfældige fejl.

⁵⁷ DS/EN14181 "Emissioner fra stationære kilder – Kvalitetssikring af automatiske målesystemer", afsnit 6.5



Forordningen stiller krav om, at EN14181 skal anvendes for alle målere og dermed også implicit at alle målinger skal omregnes ved hjælp af kalibreringsfunktionen inden de indgår i beregningerne af de årlige drivhusgasudledninger.

6.2.2 QAL2 kontrol af anlægsmålers kvalitet

I forbindelse med QAL2 kontrolleres det også, om krav til målerens kvalitet, dvs. den maksimale tilladte usikkerhed på en måling, er opfyldt.

Forudsætningen for at kunne gennemføre en fuldstændig QAL2 kontrol af anlægsmålerens kvalitet er, at der er et veldefineret kvalitetskrav til dens usikkerhed.

I Bekendtgørelsen er kvalitetskravet, σ_0 fastlagt som en procentsats, også kaldet Godheden af grænseværdien som et 95-% konfidensinterval:

“For så vidt angår døgnmiddelværdier må værdierne af 95 %-konfidensintervallerne for et enkelt måleresultat ikke overskride følgende procent af emissionsgrænseværdierne”

QAL2 kan også udføres såfremt der er en tilsvarende præcisering af den maksimale usikkerhed f.eks. i form af maksimal standardafvigelse.

Kontrollen af om kvalitetskravet er opfyldt udføres af det akkrediterede laboratorium som en statistisk test på de samme målinger, som danner grundlag for kalibreringen af anlægsmåleren.

Kvalitetskravet dækker den samlede usikkerhed på såvel anlægsmåleren som standard reference metoden. I EN14181 gøres der tydelig opmærksom på, at metoden til at fastlægge variabiliteten ikke følger GUM⁵⁹.

DS/EN14181 følger således ikke GUMs anvisninger af, hvordan usikkerheder beregnes og herunder hvordan den totale usikkerhed på SRM-metoden inkluderes.

De minimum 15 sæt målinger med henholdsvis den kalibrerede anlægsmåler og standard reference metoden omregnes til referencetilstanden og forskellen på de enkelte sæt og spredningen (middelfvigelsen) på denne forskel beregnes. Denne størrelse kaldes variabiliteten.

Såfremt variabiliteten er mindre end kvalitetskravet σ_0 , opfylder anlægsmåleren kvalitetskravet, og den må anvendes til rapportering til myndighederne.

Variabiliteten fastlægger usikkerheden på en enkelt måling, jævnfør ovenstående kvalitetskrav:

“for et enkelt måleresultat”

hvor et enkelt måleresultat i denne sammenhæng referer til den værdi, der rapporteres til myndigheden. Affaldsforbrændingsanlæg har eksempelvis i deres miljøgodkendelse grænseværdikrav til ½-times middelværdier (når man undtager EBK⁶⁰-temperatur og CO-emission). Et enkelt måleresultat er derfor i forbindelse med miljøgodkendelsen middelværdien over en ½ time.

⁵⁸ MEL 16 “Kvalitetssikring af automatisk målede systemer” afsnit 6.4.2 http://www.ref-lab.dk/ref-lab_docs/showdoc.asp?id=080506074811&type=doc&pdf=true

⁵⁹ GUM – Guide to express Uncertainty in Measurements (JCGM 100:2008) <http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>

⁶⁰ EBK - EfterForbrændingsKammer



Endvidere forudsætter DS/EN14181, at variabiliteten (usikkerheden) er konstant over hele anlægsmålerens måleområde⁶¹.

Kravet til maksimal usikkerhed på målingen omfatter bidrag fra såvel SRM som anlægsmåleren, da de i henhold til førnævnte afvigelse fra GUM ikke kan holdes adskilt vha. DS/EN14181 metode til at beregne anlægsmålerens usikkerhed.

I Tabel 6.2 er vist et eksempel på kvalitetskrav σ_0 (standardafvigelse) et af de akkrediterede laboratorier i dag anvender i forbindelse med test af usikkerhed på et affaldsforbrændingsanlægs miljømålere. Godheden udtrykker kvalitetskravet i procent af grænseværdien. Kvalitetskrav til CO₂, O₂ og H₂O er anbefalede værdier fra det akkrediterede laboratorium og de udtrykker ikke et krav, der er officielt accepteret af nogen danske eller europæiske myndigheder. De akkrediterede laboratorier i Danmark anbefaler f.eks. forskellige kvalitetskrav til O₂-målere, se Afsnit 8.5.

Parameter	"Grænseværdikrav"	Godhed	QA krav σ_0
HCl *	10 mg/Nm ³ , 11vol% O ₂	40%	2,0 mg/Nm ³ , 11vol% O ₂
NOx *	200 mg/Nm ³ , 11vol% O ₂	20%	20,4 mg/Nm ³ , 11vol% O ₂
Støv *	10 mg/Nm ³ 11 vol% O ₂	30%	1,5 mg/Nm ³ 11 vol% O ₂
TOC *	10 mg/Nm ³ 11 vol% O ₂	30%	1,5 mg/Nm ³ 11 vol% O ₂
H ₂ O	20 vol%, våd	20%	2,0 vol%, våd
O ₂	11vol%, tør	20%	1,1 vol%, tør
CO ₂	10 vol%, tør	20%	1,0 vol%, tør

* : Grænseværdikrav og godhed iht. EU-direktiv nr. 2000/76/EF

Tabel 6.2 Eksempel på kvalitetskrav til anlægsmålere. Krav der er fastlagt i Bekendtgørelsen (Direktiv nr. 200/76/EF) er markeret med *. Øvrige krav er fastsat efter et skøn (Kilde: eurofins).

Forordningens krav om, at der gøres brug af DS/EN14181 anlægsmålerene er en naturlig følge af, at standarden allerede i dag anvendes til at sikre sporbarheden på måleresultat og til bedømmelse af om miljøgodkendelsens krav til kvalitet af målinger er opfyldt.

Udfordringen er, at der ikke er fastsat krav til usikkerheden af O₂- og H₂O-målingen samt at kravene i forordningen til CO₂ (se Afsnit 4.6) er så nye, at de endnu ikke er afprøvet og at der kun er fastlagt halvdelen af kvalitetskravet, nemlig grænseværdien, godheden mangler. Til røggasflow kan man anvende krav til usikkerhed i bekendtgørelsen om NOx-afgift (se Afsnit 5.2).

6.3 QAL3

Formålet med dette kvalitetstrin er at sikre, at anlægsmåleren fastholder den samme kvalitet, som den havde under QAL2 kalibreringen, og dermed at samtlige målte resultater fra måleren ikke er behæftet med større usikkerhed end den, der er foreskrevet og verificeret under QAL2⁶².

Ved QAL3 gennemføres kontrollen af måleren ved brug af statistiske metoder, der ud fra oplysninger om kvalitet eller bedste måleevne af måleren og den aktuelle visning på de to kalibreringsmedier beregner om måleren er i kontrol. Kontrollen omfatter såvel drift som øget ustabilitet af måleren og såfremt måleren ikke er indenfor de tolerancer, der er fastlagt ved certificeringen i henhold til DS/EN15267-3 får man instruks om, hvorvidt måleren skal serviceres eller signalet skal justeres.

⁶¹ DS/EN14181 "Emissioner fra stationære kilder – Kvalitetssikring af automatiske målesystemer", afsnit 6.7

⁶² DS/EN14181 afsnit 7.1 om QAL3



QAL3 gennemføres ved at tilføje måleren et certificeret kalibreringsmedie, f.eks. prøvegas eller et optisk filter, der skydes ind i målecellen. Der tilføres typisk to gasser, en nulgas og en spangas, der ofte har en koncentration på ca. 70 % af målerens måleområde.

Kalibreringsmediet er udstyret med certifikat, der oplyser kvaliteten heraf. DS/EN14181 medregner ikke bidraget fra en eventuel systematisk fejl på det certificerede kalibreringsmedie i målerens usikkerhed, men forudsætter, at en eventuel systematisk fejl er inkluderet i den samlede usikkerhed for måleren, hvor alle systematiske fejl elimineres gennem kalibreringsfunktionen under QAL2.

Frekvensen for QAL3 er ikke fastlagt i direktiverne eller i DS/EN14181. For nyere AMS, der er certificeret under DS/EN15267-3, er der i certifikatet oplysninger om hvor hyppigt QAL3 bør gennemføres.



7 STANDARDER FRA CEN OG ISO VEDRØRENDE EMISSION AF DRIVHUSGASSER

Den europæiske standardiseringsorganisation CEN har udarbejdet en lang række standarder efter ønske fra Kommissionen for at understøtte de krav diverse direktiver og forordninger stiller til kvalitet og egenkontrol af de store industrielle anlægs emissioner.

Især indenfor området luftforurening fra kraftværker, affaldsforbrændingsanlæg og industri er der udarbejdet standarder der understøtter diverse direktivkrav om målinger af den faktiske forurening.

Standarderne har fulgt 2 spor. Der er udviklet standarder der fastlægger standard reference metoder⁶³ (SRM) for den akkrediterede prøvetagning af luftforureningskomponenter, f.eks. partikler og NO_x. Målinger udført som standard reference metoder har per definition ikke nogen systematisk fejl, og resultatet af en sådan måling er derfor sand, dvs. den har en juridisk gyldighed og kan ikke be-
tvivles (med mindre man finder fejl i det akkrediterede laboratoriums arbejde).

Sideløbende hermed er der udarbejdet standarder der understøtter kvalitetsarbejdet i det akkredite-
rede laboratorium og hos de pågældende industrier, her kan blandt andet nævnes DS/EN14181 og
ISO/EN17025 (se afsnit 4.6 og afsnit 6).

Der har ikke været så stor fokus på at udvikle standarder, der understøtter ETS kvote handelssyste-
met og tilsvarende krav om rapportering af udledninger til internationale registre, f.eks. PRTR-
ordningen⁶⁴ eller nationale afgifter, f.eks. NO_x-afgiften.

Der er dog gang i udviklingen af en række standarder, der understøtter Forordningens krav til målin-
ger, beregninger, vurdering af usikkerhed etc. I det omfang der findes egnede internationale stan-
darder udgivet af ISO omsættes de til europæiske standarder under CEN. Disse nye standarder når
ikke at blive vedtaget inden årsskiftet til 2013.

Der findes flere standarder fra CEN, der er relevante i forbindelse med opgørelse af den fossile CO₂-
emission, jævnfør Tabel 7.1:

⁶³ SRM Standard Reference Metode "Method described and standardised to define an air quality char-
acteristic, temporarily installed on site for verification purposes" DS/EN14181 afsnit 3.24.

⁶⁴ Pollutant Release and Transfer Register

<http://www3.mst.dk/Miljoeoplysninger/PrtrPublicering/OmPrtr>



Standard	Emne
DS/EN14181	Emissioner fra stationære kilder – Kvalitetssikring af automatiske målesystemer
DS/EN15259	Luftkvalitet – Krav til målested, planlægning og rapport
DS/EN15267-3	Luftkvalitet – Certificering af automatiske målesystemer – Del 3: Specifikation for ydeevne og prøvningsprocedurer for automatiske målesystemer til overvågning af emissioner fra stationære kilder
DS/EN/ISO/IEC17025	Generelle krav til prøvnings- og kalibreringslaboratoriernes kompetence
DS/EN14789	Emissioner fra stationære kilder - Bestemmelse af volumenkoncentration af oxygen (O ₂)
DS/EN14790	Emissioner fra stationære kilder - Bestemmelse af vanddamp (H ₂ O) i kanaler
EN/ISO16911-1*	Stationary source emissions – Determination of velocity and volumetric flow in ducts – Part 1: Manual method
EN ISO16911-2*	Stationary source emissions – Determination of velocity and volumetric flow in ducts – Part 2: Automated measuring systems

*: Disse standarder forventes vedtaget i 2012

Tabel 7.1 Standarder fra CEN med relevans for opgørelse af årlig CO₂-udledning

Affaldsforbrændingsanlæg er pålagt at anvende DS/EN14181 til kvalitetssikring af deres emissionsmålere.

De akkrediterede laboratorier er pålagt at anvende alle de viste standarder i forbindelse med emissionsmålinger iht. forordningen og direktiverne, såfremt det er relevant. Anlægsmålerne er ikke underlagt at skulle følge standarderne for henholdsvis flow, O₂ og H₂O. Disse beskriver standard reference metoden, som det akkrediterede laboratorium skal anvende.

Flere CEN arbejdsgrupper arbejder på at udvikle standarder til bestemmelse af emissionen af drivhusgasser mv. CEN har i den forbindelse i år besluttet at udarbejde en standard reference metode (SRM) for CO₂. Målet med denne CO₂-standard er, at understøtte bl.a. handel med drivhusgasser. Den nye CO₂-standard skal dels fastlægge en SRM og understøtte EN14181 kalibreringen mv. under QAL2. Målet er, at den nye standard kan fastlægge en metode, der sikrer, at forordningens krav til maksimal usikkerhed på opgørelsen af udledningen kan overholdes. De nye standarder fra CEN forventes tidligst klar i løbet af 2014 eller senere.

7.1 Erfaringer med anvendelse af Standard Reference Metoder (SRM)

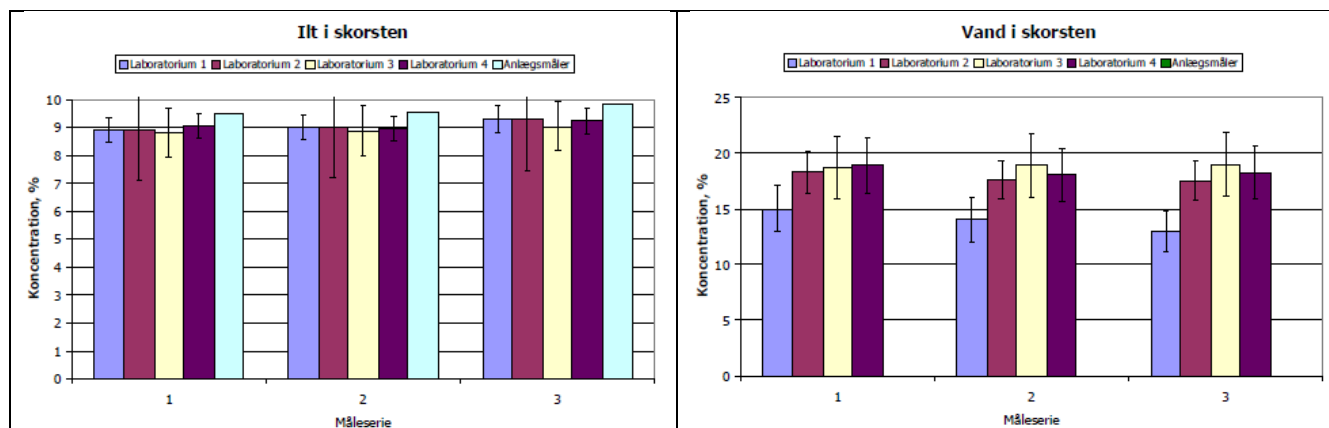
Som nævnt tidligere anvendes SRM til at sikre sporbarhed til anerkendte metoder. SRM udføres af de akkrediterede laboratorier og det er anerkendt, at metoderne ikke er behæftet med systematiske fejl, jævnfør definitionen i fodnote 63.

Ref-lab udfører præstationsprøvninger mellem de akkrediterede laboratorier for at kortlægge deres måleevne.

Selvom SRM-metoderne per definition giver det sande indhold af den pågældende parameter i prøven viser præstationsprøvninger, at de akkrediterede laboratorier ikke altid når til samme resultat på



samme prøve. Dette illustreres bl.a. af en præstationsprøvning⁶⁵, hvor O₂ og H₂O blev bestemt samtidigt af fire danske akkrediterede laboratorier i Amagerforbrændings skorsten, jævnfør Figur 7-1.



Figur 7-1 Præstationsprøvning for O₂ og H₂O i 2007. (Kilde: Ref-lab)

Ref-lab konkluderede i 2007, at overensstemmelsen for H₂O ikke var overbevisende fra alle måleserierne.

Der er ikke udført tilsvarende præstationsprøvninger for disse parametre siden. Det er derfor uvist, om de akkrediterede laboratorier i dag måler med bedre overensstemmelse.

⁶⁵ http://www.ref-lab.dk/ref-lab_docs/showdoc.asp?id=080723132359&type=doc&pdf=true



8 MÅLEUDSTYR PÅ ANLÆG (CO₂-, O₂-, H₂O- OG FLOWMÅLING)

I forbindelse med udarbejdelse af denne rapport har en række danske affaldsforbrændingsanlæg og leverandører af måleudstyr bidraget med information og viden måleudstyr på anlæggene.

Alle anlæg måler de parametre, der indgår i opgørelsen af CO₂-udledningen, dog med undtagelse af CO₂.

Der har ikke tidligere været behov for at måle indholdet af CO₂ i røggassen og derfor har de færreste installeret denne måler. Flere anlæg er dog i færd med at installere den og få erfaringer med brugen af den.

I det følgende er en opsummering af de vigtigste målere i røggassen i forhold til bestemmelsen af udledningen af fossil CO₂, dvs. CO₂-, O₂-, H₂O- og flowmåleren.

I BIOMA og W&S Biocarbon metoder indgår også en lang række driftsmålere, disse er ikke medtaget i denne rapport.

8.1 Generelt om kvalitetskrav og kvalitetssikring af måleudstyr på anlæg

Der stilles ikke krav til kvaliteten af CO₂-, O₂-, H₂O- og flowmålingen fra miljømyndighedernes side.

Alle anlæg er underlagt at kvalitetssikre der emissionsmåleudstyr i overensstemmelse med DS/EN14181. I forbindelse med dette arbejde får alle kontrolleret O₂-, H₂O-måleren.

Vedrørende flow stilles der krav til kvaliteten i forhold til opgørelse af NO_x-afgiften, jævnfør Afsnit 5.2. Alle anlæg får således også kontrolleret flowmålingen.

8.2 Certificering af anlægsmålere

Nyt emissionsmåleudstyr på affaldsforbrændingsanlæg til måling af røggasparametre, der er underlagt grænseværdikontrol iht. Bekendtgørelsen (Direktivet) eller NO_x-afgift bekendtgørelsen skal være certificeret i henhold til DS/EN15267-3.

Til eksisterende måleudstyr stilles der ikke krav om certificering eller typegodkendelse, som det tidligere blev betegnet, så længe anlægsmåleren kan leve op til kvalitetskravene.

DS/EN15267-3 fastlægger den største usikkerhed anlægsmåleren må være behæftet med, også kaldet QAL1-værdien. Denne usikkerhed udgør maksimalt 75 % af den usikkerhed, som direktivet fastlægger. QAL1-værdien (U_c) fremgår af certifikatet.

Certifikatet foreskriver også specifikationer til anlæggets eget kvalitetsarbejde med kalibreringer under QAL3 i form af frekvens for kontrol og maksimal usikkerhed ved kalibreringen.

Der stilles ikke krav om, at anlægsmålerne til bestemmelse af de perifere røggasparametre (CO₂, O₂, H₂O, tryk og temperatur) er certificeret.

I bilag 2 er eksempler på certifikater for anlægsmålere.

8.3 Kvalitetsarbejde på anlæg

De fleste anlæg udfører QAL3 arbejde, dog ikke på alle røggasparametre. Det er dog ikke muligt at udføre QAL3 for alle typer af flow-målere.

Anlæggene bruger certificerede kalibreringsmedier til dette arbejde, typisk i form af kalibreringsgasser med et veldefineret indhold af den pågældende prøvegasser.



Air Liquide oplyser, at de fleste af deres kunder fra affaldsforbrændingsanlæggene køber gasser med en relativ usikkerhed på $\pm 2\%$ (standard afvigelse). Air Liquide kan levere gasser med en højere kvalitet, f.eks. med en relativ usikkerhed på $\pm 1\%$ (standard afvigelse).

8.4 Leverandører af anlægsmålere

På det danske marked findes i dag kun nogle få leverandører af anlægsmålere til røggassen, hvoraf DGtek A/S og FLSmidth er de helt dominerende. Begge firmaer leverer multikomponentmålere til røggasanalyser samt udstyr til flow-måling, der for H₂O og O₂ vedkommende er certificeret i henhold til EN15267-3, jævnfør Tabel 8.1. CO₂-målerne er pt. ikke alle certificeret iht. EN15267-3, fordi der indtil videre ikke har været kutyme at måle CO₂ i røggassen og der har derfor heller ikke været et behov for certificering af denne komponent.

Med overførslen af affaldsforbrændingsanlæg til kvotesektoren er der nu opstået et behov for at måle CO₂ i røggassen og leverandørerne af instrumenterne har selv gennemført en test som den, der udføres af de laboratorier (TÜV, Mcerts m.fl.), der kan certificere instrumenterne efter EN15267-3 (se bilag 2).

Parameter	Forhandler	Produkt	Måleprincip	Certificeret iht. DS/EN15267-3
CO ₂ , O ₂ og H ₂ O	DGtek A/S	SICK MAIHAK MCS100 EHW	IR (CO ₂ og H ₂ O) Zirkoniumdioxid (O ₂)	O ₂ - Ja CO ₂ - Ja H ₂ O ja
	FLSmidth	ABB Automation ACF-NT	FTIR (CO ₂ og H ₂ O) Zirkoniumdioxid (O ₂)	O ₂ - Ja CO ₂ - Nej H ₂ O ja
Flow	DGtek A/S	SICK FLOWSIC 100	Ultralyd	Ja
	FLSmidth	DURAG D-FL 100 D-FL 200	Ultralyd	Ja Ja

Tabel 8.1 Oversigt over EN15267-3 certificeret måleudstyr fra DGtek og FLSmidth på det danske marked

På emissionsområdet leverer CKE måleudstyr fra Themet (Multikomponent FTIR-målere) og Opsis leverer eget udstyr. CKE har ikke leveret QAL1 dokumentation for Themet-måleren, og den er derfor ikke omtalt nærmere i denne rapport.

På flowsiden findes leverandører, der leverer målere af fabrikatet Systec DF25 FF og FCIs MT91 termisk masseflowmeter. De affaldsforbrændingsanlæg, der har disse instrumenter installeret har ikke fremsendt dokumentation for QAL1 eller typegodkendelse/certifikat udstedet efter EN15267-3 for udstyret. Kun ganske få anlæg har dette udstyr installeret, og det indgår derfor ikke i denne rapport.

8.5 Kvalitet af anlægsmålere

Til bestemmelsen af usikkerheden på målinger foretaget med anlægsudstyret anvendes kvalitetsmålene fra DS/EN14181 anvendt i overensstemmelse med forordningens krav, se Afsnit 4.6.

Standarden opererer med følgende kvalitetskrav:

- σ_0 , der er kravet til usikkerhed i Forordningen, bekendtgørelserne om forbrænding af affald og NO_x-afgift eller i mangel af sådanne krav anbefalinger fra det akkrediterede laboratorium



- U_c , der er kravet til usikkerhed fra QAL1 og som fastlægges ved certificeringen iht. DS/EN15267-3. U_c er instrumentspecifik.
- s_D , der er den fundne usikkerhed ved QAL2. s_D afhænger af lokale forhold som f.eks. den fysiske installation af måleren, målestedets egnethed til måling og af det akkrediterede laboratoriums måleevne

Følgende krav er fastlagt til σ_0 for måling af CO_2 , O_2 , H_2O eller flow:

- Flow:
 - Bekendtgørelsen om NOx-afgift fastsætter krav til usikkerheden σ_0 på flowmålingen.
 - Udkastet til flow standard (DS/ISO/EN169111-2), der pt. er i endelig høring og som forventes vedtaget i den nærmeste tid, indeholder følgende forslag til kvalitetskrav:
 - "grænseværdien fastsættes om 120 % af den største ½-times middelværdi, der måles under QAL2 testen, dog ikke under 10 m/s
 - σ_0 fastsættes som 2 % (relativt af grænseværdien, ved driftstilstand)
- CO_2 , O_2 , H_2O :
 - Forordningen stiller til dels krav til usikkerheden σ_0 for målingen af CO_2 idet grænseværdien er fastlagt som den årlige gennemsnitlige timeemission. Der mangler krav til godheden.
 - Bekendtgørelsen om forbrænding af affald stiller ikke direkte krav til usikkerheden σ_0 for målingen af CO_2 , O_2 , H_2O .
 - Ved QAL2 kontrollen af anlægsmålerenes kvalitet fastlægger eller anbefaler det akkrediterede laboratorium kvalitetskravet σ_0 . På det danske marked leverer eurofins og Force Technology hovedparten af de akkrediterede målinger til dokumentation af affaldsforbrændingsanlæggenes miljøforhold.

I Tabel 8.2 er vist krav til usikkerhed σ_0 , hvordan det beregnes og hvem, der har fastlagt kravet.

Parameter	Godhed (95 % konfidensinterval)	Grænseværdi	σ_0 (standardafvigelse)	Reference
CO_2	Mangler	Årgennemsnit	Ukendt	Forordning 601/2012
CO_2^*	20 %	10 %	1 % (abs.)	Eurofins
CO_2^*	Ingen	Ingen	0,5 % (abs.)	Force Technology
O_2^*	20 %	11 %	1,1 % (abs.)	Eurofins
O_2^*	Ingen	Ingen	0,5 % (abs.)	Force Technology
H_2O^*	20%	20%	2 % (abs.)	Eurofins
H_2O^*	Ingen	Ingen	0,5 % (abs.)	Force Technology
Flow	10 %	120 % af højeste målte værdi	Individuelt	NOx-bekendtgørelsen

*: Anbefalet krav
abs.: Absolut usikkerhed

Tabel 8.2 Kvalitetskrav σ_0 til måling af flow CO_2 , O_2 og H_2O med anlægsmålere.



QAL2-dokumentation med oplysninger om σ_0 , U_c og s_D for de anlægsmålere, der indgår i denne rapport, er opsummeret i Tabel 8.3 som absolutte usikkerheder, der kan omregnes til 95-% konfidensinterval ved multiplikation med faktoren 1,96. s_D er angivet som gennemsnittet af de data, der fremsendt af anlæggene.

Der indgår mellem 2 til 7 datasæt for CO₂-målerne, og 10 – 11 for hver af de øvrige parameter, for samtlige data henvises til Bilag 1.

Parameter	CO ₂	O ₂	H ₂ O	Flow
Enhed	Vol. % (absolut) (standard afvigelse)	Vol. % (absolut) (standard afvigelse)	Vol. % (absolut) (standard afvigelse)	m/s (standard afvigelse)
σ_0 (Eurofins)	1	1,1	2	0,8*
σ_0 (Force Technology)	0,5	0,5	2	
U_c (SICK MCS100 EHW)	0,526	0,27 – 0,32	0,74	0,45
U_c (ABB ACF-NT)	0,69	0,32	0,87	0,55
s_D (Gennemsnit)	0,06	0,09	0,7	0,3

*: Kvalitetskrav er 10 % af 120 % af højeste målte værdi (NO_x-bekendtgørelsen)

Tabel 8.3 Usikkerhedskrav σ_0 til flow-måling og anbefalede kvalitetskrav σ_0 til CO₂-, O₂- og H₂O-måling, teoretisk usikkerhed U_c i fht. certifikat samt gennemsnit af usikkerhed s_D for anlægsmålere fundet ved QAL2. Alle værdier er anført som standardafvigelsen (absolut).

Af Tabel 8.3 fremgår, at de akkrediterede laboratorier ikke er enige om kvalitetskravet til målerne, men at anlægsmålerne under alle omstændigheder som gennemsnit har en mindre usikkerhed end den tilladelige eller anbefalede.

Et konservativt skøn på en målers usikkerhed vil være, at den lige præcis lever op myndighedernes krav, dvs. at den absolutte usikkerhed svarer til σ_0 . En mere neutral vurdering vil være, at målerens usikkerhed er identisk med certifikatets opgivne måleevne, altså U_c . Det realistiske bud er, at tage udgangspunkt i de faktiske forhold, dvs. den usikkerhed, der fastlægges ved QAL2 i form af variabiliteten s_D .

Forordningen tillader for anlæg, der opgør deres udledning ud fra beregningsmetoden, hvor egne målinger indgår, at man for disse målinger anvender den laveste værdi af den tilladte tolerance på måleren eller usikkerheden opnået ved kalibrering ganget med en konservativ faktor for at tage højde for drift mv.⁶⁶. Dette taler for at anvende en værdi, der ligger over s_D , men under σ_0 .

I forbindelse med vurderingen af usikkerheden på den fossile CO₂-udledningen vil de tre størrelser blive anvendt og i Tabel 8.4 er de omregnet til relativ usikkerhed ved normale driftsforhold på det enkelte affaldsforbrændingsanlæg, hvor normale driftsforhold er fastsat som den højeste værdi, der er målt for den pågældende parameter ved QAL2. Ved sammenligningen med forordningens krav til

⁶⁶ Forordningen Artikel 28 (2)



usikkerhed på maksimalt 7,5 % (95-% konfidensinterval) skal værdierne multipliceres med en faktor 1,96.

Relativ usikkerhed (standard afvigelse)		σ_0 /Normalt niveau (%)	U_c /Normalt niveau (%)	s_D /Normalt niveau (%)
CO ₂	Min	5,6	3,6	0,4
	Max	14,7	5,6	0,7
	Middel	10,6	4,4	0,5
Flow	Min	5,5	2,6	0,3
	Max	6,6	4,6	3,9
	Middel	6,0	2,8	1,3
O ₂	Min	8,5	2,3	0,2
	Max	16,4	4,8	2,2
	Middel	13,2	3,4	1,1
H ₂ O	Min	7,9	3,3	1,7
	Max	13,5	5,9	9,3
	Middel	10,0	3,9	3,6

Tabel 8.4 Relativ usikkerhed på en enkelt måling med anlægsmåleren i henhold til DS/EN14181 angivet som standardafvigelsen



9 ESTIMAT FOR SAMLET USIKKERHED PÅ CO₂-UDLEDNING

I dette afsnit samles information om krav til samlet usikkerhed på CO₂-udledningen samt den viden, der foreligger på nuværende tidspunkt om de data, der indgår i beregningerne herunder deres kvalitet.

På flere anlæg måles røggasflowet i den våde røggas og CO₂-indholdet i den tørre røggas. For at beregne den årlige udledning af CO₂ skal resultatet af flow- og CO₂-målingerne foreligge ved samme tilstand.

Omregningen til samme tilstand kan gennemføres ved hjælp af Formel 5.1:

$$y_{ref} = y_{akt} * \frac{t+273,15}{273,15} * \frac{101,3}{B+p} * \frac{100}{100-H_2O} * \frac{21-O_{2,ref}}{21-O_{2,akt}} \quad \text{Formel 9-1}$$

Hvor de relevante parametre i formlen anvendes.

Da CO₂-koncentrationen i røggassen måles i enheden volumen-% påvirkes koncentrationen ikke af ændringer i røggassens temperatur og da røggassens iltkoncentration er den samme for såvel CO₂-målingen som røggasflowmålingen kan formlen hermed reduceres til:

$$y_{CO_2,tør} = y_{CO_2,våd} * \frac{100}{100-H_2O} \quad \text{Formel 9-2}$$

eller

$$y_{CO_2,våd} = y_{CO_2,tør} * \frac{100-H_2O}{100} \quad \text{Formel 9-3}$$

Hvis man f.eks. måler CO₂ i tør røggas ved normaltstanden (trykket 101,3 kPa og temperatur 0 °C) og flow i våd røggas, skal man omregne de to parametre til samme tilstand (tryk, temperatur og våd/tør). Men da CO₂-koncentrationen ikke ændres ved ændringer i tryk og temperatur, er det tilstrækkeligt at omregne begge parametre til enten våd eller tør tilstand.

Formlen for beregning af årlig udledning af CO₂ vil for dette system være (jævnfør Afsnit 4.2):

$$CO_{2,\text{årstotal}} [\text{ton}] = F_{\text{fossilt}} * \sum_{i=1}^{\text{driftstimer p.a.}} \left(CO_{2,i} * R_{\text{røggasstrøm}_i} * \frac{100-H_2O_i}{100} \right) * 10^{-6}$$

Hvor:

F_{fossilt} :	årsfordeling for forholdet mellem biomasse og fossilt baseret CO ₂
$CO_{2,i}$:	målt koncentration af CO ₂ -emission pr. time i g/Nm ³ i røggasstrømmen
$R_{\text{røggasstrøm}_i}$:	røggasstrøm i Nm ³ pr. time
H_2O_{i} :	målt H ₂ O-indhold pr. time % i røggasstrømmen (er 0 såfremt flow og CO ₂ er ved samme tilstand (våd eller tør) i røggassen)
t_i :	Temperatur i °C pr. time (er 0 såfremt flow og CO ₂ er målt ved samme målt temperatur røggassen)
B_i :	Barometerstand i kPa pr. time
p_i :	Statisk tryk i kPa pr. time



Da bidraget fra statisk tryk og barometerstand ofte er uden betydning for beregningerne medtages det derfor ikke i det følgende.

Udledningen skal opgøres på timebasis⁶⁷ for alle de timer anlægget er i drift i løbet af året. Det antages derfor, at usikkerhederne i Tabel 8.4 er relateret til en times måling (en enkelt måling).

Inden gennemgang af beregningen af usikkerheden på udledning af fossilt CO₂ gennemgås usikkerheden på anlæggets egne målinger

9.1 Usikkerhed anlæggets eget måleudstyr

9.1.1 Usikkerhed på CO₂-måling

Måleren skal kvalitetssikres efter DS/EN14181, hvilket forudsætter at der er krav til målerens usikkerhed. Der findes ikke fra andre myndigheder krav til kvalitet af måleren, Forordningens kræver derfor, at årsgennemsnittet anvendes som grænseværdi. Der mangler oplysning om procentsats (godhed).

Kvalitetskravet til godheden kan fastsættes med udgangspunkt i den tilsvarende værdi for andre målere, der varierer i intervallet 20 – 40 % for miljømålere og 10 % for målere til afgiftsberegning. Ved vurderingen af usikkerhed i denne rapport er godheden sat til 20 % af et CO₂-niveau på 10 %, hvorved σ_0 får værdien 1 % (absolut, som standardafvigelse).

Der er efterhånden installeret CO₂-målere på de fleste danske affaldsforbrændingsanlæg under kategori B, men kun to af disse har fået udført QAL2. Der er derfor kun ganske ringe viden om usikkerheden s_D på målingen.

Den beregnede usikkerhed for en enkelt måling (1 times middelværdi) af CO₂ fremgår af Tabel 9.1.

Relativ usikkerhed (standardafvigelse)	σ_0 /Normalt niveau (%)	U_c /Normalt niveau (%)	s_D /Normalt niveau (%)
Forklaring	Maksimal usikkerhed iht. myndighed	Maksimal usikkerhed iht. certifikat	Usikkerhed fundet ved QAL2
CO ₂ Middel (af 2 - 9)	10,6	4,4	0,5

Tabel 9.1 Usikkerhed på en enkelt måling af CO₂.

9.1.2 Usikkerhed på Flow-måling

Måleren kvalitetssikres efter DS/EN14181 og i forbindelse med NO_x-afgiften er kvalitetskravet fastsat, jævnfør Afsnit 5.2.

Alle anlæg har installeret flowmålere. Usikkerheden på en enkelt flowmåling (1 times middelværdi) fremgår af Tabel 9.2.

⁶⁷ Forordning 601/2012 artikel 44 (1)



Relativ usikkerhed (standardafvigelse)		σ_0 /Normalt niveau (%)	U_c /Normalt niveau (%)	s_D /Normalt niveau (%)
Forklaring		Maksimal usikkerhed iht. myndighed	Maksimal usikkerhed iht. certifikat	Usikkerhed fundet ved QAL2
Flow	Middel (af 11)	6,0	2,8	1,3

Tabel 9.2 Usikkerhed på en enkelt måling af røggasstrøm.

9.1.3 Usikkerhed på O₂-måling

Denne paramter indgår i beregningerne af den fossile andel af CO₂ i BIOMA og i W&S Biocarbon metoderne.

Måleren kvalitetssikres efter DS/EN14181. Der findes ikke fra andre myndigheder krav til kvalitet af måleren. Forordningens stiller heller ikke krav til målerens kvalitet. De akkrediterede laboratorier eurofins og Force Technology anbefaler værdier på henholdsvis 1,1 og 0,5 %, jævnfør Afsnit 8.5.

Alle anlæg har installeret O₂-målere. Usikkerheden på en enkelt iltmåling fremgår af Tabel 9.2

Relativ usikkerhed (standardafvigelse)		σ_0 /Normalt niveau (%)	U_c /Normalt niveau (%)	s_D /Normalt niveau (%)
Forklaring		Maksimal usikkerhed iht. myndighed	Maksimal usikkerhed iht. certifikat	Usikkerhed fundet ved QAL2
O ₂	Middel (af 11)	13,2	3,4	1,1

Tabel 9.3 Usikkerhed på en enkelt måling af røggassens iltindhold.

9.1.4 Usikkerhed på H₂O-måling

Denne paramter indgår i ligeledes i beregningerne af den fossile andel af CO₂ i BIOMA og i W&S.Biocarbon metoderne.

Måleren kvalitetssikres efter DS/EN14181. Der findes ikke fra andre myndigheder krav til kvalitet af måleren. Forordningens stiller heller ikke krav til målerens kvalitet. De akkrediterede laboratorier eurofins og Force Technology anbefaler værdien 2,0 %, jævnfør Afsnit 8.5.

Alle anlæg har installeret H₂O-målere. Usikkerheden på en enkelt vandmåling (1 times middelværdi) fremgår af Tabel 9.2

Relativ usikkerhed (standardafvigelse)		σ_0 /Normalt niveau (%)	U_c /Normalt niveau (%)	s_D /Normalt niveau (%)
Forklaring		Maksimal usikkerhed iht. myndighed	Maksimal usikkerhed iht. certifikat	Usikkerhed fundet ved QAL2
H ₂ O	Middel (af 11)	10,0	3,9	3,6

Tabel 9.4 Usikkerhed på en enkelt måling af røggassens vandindhold.



9.2 Beregning af usikkerhed på CO₂-udledning

Usikkerheden på den årlige opgørelse beregnes af følgende formel, jævnfør Afsnit 4.7:

$$U_{CO_2, \text{årstotal, fossil}} = 1,96 * \sqrt{U_{fossil}^2 + \frac{1}{n} * U_{CO_2}^2 + \frac{1}{n} * U_{Røggasstrøm}^2 + \frac{1}{n} * U_{H_2O}^2 + U_T^2 + U_P^2}$$

(Formel 9-3)

Hvor:

$U_{CO_2, \text{årstotal}}$	er usikkerheden på CO ₂ -opgørelsen som 95-% konfidensinterval i enheden % (relativt)
$U_{F, \text{fossil}}$	er usikkerheden på faktoren F_{fossil} for den fossile andel af CO ₂ -indholdet i røggassen som standardafvigelse i enheden % (relativt)
n	er antallet af målinger, der indgår i den årlige opgørelse
U_{CO_2}	er usikkerheden på målingerne af CO ₂ -indholdet i røggassen som standardafvigelse i enheden % (relativt)
$U_{\text{røggasstrøm}}$	er usikkerheden på målingen af røggasmængden som standardafvigelse i enheden % (relativt)
U_{H_2O}	er usikkerheden på målingen af H ₂ O-indholdet som standardafvigelse i enheden % (relativt). Værdien er 0 (nul), hvis der ikke korrigeres for vand.
U_T	er usikkerheden på målingen af temperaturen som standardafvigelse i enheden % (relativt). Værdien er 0 (nul), hvis der ikke korrigeres for temperaturen.
U_P	er usikkerheden på målingen af tryk som standardafvigelse i enheden % (relativt). Værdien er 0 (nul), hvis der ikke korrigeres for trykket.

Beregningen af den fossile CO₂-udledning forudsætter, at man har fastlagt faktoren for den fossile andel af CO₂. Denne faktor kan fastlægges ved hjælp af de tre metoder, der er omtalt i Afsnit 4.3 med underafsnit.

De tre metoder kan alle fastlægge faktoren direkte, jævnfør Tabel 9.5.

Metode	Midlingstid	CO ₂ -måling	Flow-måling	Resultat
BIOMA	Blokke af 4 timer	Indgår i model	Indgår i model	Udledning af fossil CO ₂ i ton pr. år Faktor for fossil andel
W&S Biocarbon prediction model	Døgnmiddel	Indgår i model	Indgår i model	Udledning af fossil CO ₂ i ton pr. år Faktor for fossil andel
Force Technology, Kulstof 14-bestemmelse	Månedsmiddel	Indgår ikke i resultat	Indgår ikke i resultat	Faktor for fossil andel

Tabel 9.5 Resultat af de tre metoder til bestemmelse af fossil andel af udledt CO₂.

Usikkerheden på de data, der indgår i beregningerne med de tre modeller, skal fastlægges i forhold til den midlingstid metoden anvender.



For røggasparametrene CO₂, O₂, H₂O og flow er usikkerheden fastlagt for en enkelt måling (midlingstid 1 time), jævnfør Afsnit 8.5. I det følgende anvendes middelværdien af de QAL2 data, der er rapporteret, til at vurdere om Forordningens krav til usikkerhed kan overholdes.

Ved QAL2 kalibreringen i DS/EN14181 fjernes alle systematiske fejl på målingerne jævnfør afsnit 6.2.1, og der er derfor kun tilfældige fejl tilbage (så længe DS/EN14181 standardens kvalitetstrin følges).

Usikkerhed på en middelværdi beregnes som usikkerheden på den enkelte måling, der har en varighed på 1 time, divideret med kvadratroden af antallet af timer der midles over. I Tabel 9.6 er vist usikkerheden for midlingstider på 4 timer, 1 døgn og for et år (8000 timer).

Relativ usikkerhed på middelværdi (standardafvigelse)		σ ₀ /Normalt niveau (%)	U _c /Normalt niveau (%)	s _D /Normalt niveau (%)
CO ₂	4 timers middelværdi	5,30	2,20	0,25
	Døgnmiddelværdi	2,16	0,90	0,10
	Årsmiddel (8000 driftstimer)	0,12	0,05	0,01
Flow	4 timers middelværdi	3,00	1,40	0,65
	Døgnmiddelværdi	1,22	0,57	0,27
	Årsmiddel (8000 driftstimer)	0,07	0,03	0,01
O ₂	4 timers middelværdi	6,60	1,70	0,55
	Døgnmiddelværdi	2,69	0,69	0,22
	Årsmiddel (8000 driftstimer)	0,15	0,04	0,01
H ₂ O	4 timers middelværdi	5,00	1,95	1,80
	Døgnmiddelværdi	2,04	0,80	0,73
	Årsmiddel (8000 driftstimer)	0,11	0,04	0,04

Tabel 9.6 Relativ usikkerhed på måling af CO₂, O₂, H₂O og flow afhængig af midlingstid.

Ifølge Forordningens krav opgøres den udledte fossile mængde CO₂ ved en opsummering på timebasis af produktet af udledt CO₂ og flow.

Usikkerheden beregnes efter følgende formel, såfremt anlægget er i drift i 8000 timer om året, flow og CO₂-indhold måles ved samme tilstand i røggassen og det mest konservative bud (σ₀) på usikkerheden for CO₂ (0,12 %), flow (0,07 %) og med korrektion for vand-indhold (0,11 %) anvendes:

$$U_{CO_2, \text{årstotal}} = 1,96 * \sqrt{U_{\text{fossilt}}^2 + 0,12^2 + 0,07^2 + 0,11^2} \quad (\text{Formel 9-3})$$

For at overholde kravet til maksimal usikkerhed på 7,5 % kræver det, at størrelsen U_{fossil} ikke overstiger ca. 3,8 % som standardafvigelse eller 7,45 % som 95-% konfidensinterval.

I det følgende er gennemgang af usikkerheden ved opgørelsen i henhold til de tre målemetoder med udgangspunkt i de indsamlede data fra anlæg og fra leverandører



9.3 Beregning af usikkerhed på CO₂-udledning vha. BIOMA metoden

Ved BIOMA metoden beregnes udledningen af fossilt CO₂ i ton for hele året på baggrund af 4 timers målinger på anlægget. BIOMA metoden beregner usikkerheden på slutresultatet, dvs., den årlige udledning af fossilt CO₂.

BIOMA metoden kan også beregne faktoren F_{fossilt} og Rambøll har beregnet en forventet usikkerhed på denne, der kan anvendes til vurdering af metodens usikkerhed, såfremt opgørelsen beregnes på timebasis med en årlig fastsæt værdi for F_{fossilt} som angivet i Afsnit 4.2.

Rambølls opgørelse af usikkerhed på metoden er vist i Afsnit 4.3.1 og delvist gengivet i Tabel 9.7 sammen med usikkerheder for midlingsperioder på 4 timer, der er beregnet vha. middelværdien af de data, der er indsendt til projektet og den beregnede usikkerhed på faktoren F_{fossilt} .

RAMBØLLS angivelser				Data fra dette projekt			
Parameter	Enhed	Lav usikkerhed	Mellem usikkerhed	Høj usikkerhed	Usikkerhed 4 timers middel, (σ_0)	Usikkerhed 4 timers middel, (U_c)	Usikkerhed 4 timers middel, (S_D)
Affaldsmængde (std. afv.)	ton/år	1 % (rel.)	2 % (rel.)	4 % (rel.)	Ukendt	Ukendt	Ukendt
Røggasmængde (std. afv.)	m ³ /h	2 % (rel.)	5 % (rel.)	10 % (rel.)	3,0 % (rel.)	1,4 % (rel.)	0,65 % (rel.)
CO ₂ -indhold (std. afv.)	%	0,5 % (rel.)	1 % (rel.)	2 % (rel.)	5,3 % (rel.)	2,2 % (rel.)	0,25 % (rel.)
O ₂ -indhold (std. afv.)	%	0,5 % (rel.)	1 % (rel.)	2 % (rel.)	6,6 % (rel.)	1,7 % (rel.)	0,55 % (rel.)
U_{F,fossilt}							
Fossilt CO ₂ -andel ved 40 % fossilt i affald (std. afv.)	%	3,3 % (rel.)	4,5 % (rel.)	7,8 % (rel.)	2,9 % (rel.)	2,7 % (rel.)	2,7 % (rel.)

rel.: relativ afvigelse

abs: absolut afvigelse

Tabel 9.7 Usikkerhed på BIOMA metoden

Usikkerheden på U_{fossilt} beregnet vha. BIOMAs metode overstiger ikke 7,45 % (95 % konfidensinterval) for anlægsmålere, der netop opfylder myndighedernes krav σ_0 til usikkerhed.

I Tabel 9.8 er en vurdering af, hvorvidt beregning af den årlige udledning af fossilt CO₂ med BIOMA-metoden kan overholde kravet til maksimal usikkerhed på 7,5 % (95 % konfidensinterval). Ved vurderingen er det forudsat, at usikkerheden på røggasmængde, CO₂- og O₂-indhold er som fastlagt ved QAL2 (middelværdier) og at Rambølls beregninger og antagelser om usikkerheder på de øvrige parametre er korrekte samt at hverken flow- eller CO₂-målingen skal korrigeres for temperatur og tryk. Vurderingen er udført for et fossilt indhold på 40 % af den samlede CO₂-udledning.



Usikkerhedsniveau QAL2	Usikkerhed på F_{fossilt} v. 40 % fossilt (95 % konfidensinterval)	Bemærkning (Kvalitetskrav: Usikkerhed på $F_{\text{fossilt}} < 7,45$ %)
Myndighedskrav σ_0	5,9 %	Kan overholde 7,5 %
Certifikat usikkerhed U_c	5,4 %	Kan overholde 7,5 %
QAL2 usikkerhed s_D	5,4 %	Kan overholde 7,5 %

Tabel 9.8 Vurdering af usikkerhed ved anvendelse af BIOMA F_{fossilt} faktor (beregning af årlig udledning vha. timemiddelværdier.)

Beregnes usikkerheden på F_{fossilt} fra BIOMA metoden vha. σ_0 for målere der følger DS/EN14181, kan opgørelsen opfylde Forordningens krav til maksimal usikkerhed på $\pm 7,5$ % (konfidensinterval) for CO_2 -udledningen ved et fossilt indhold af kulstof i affaldet på såvel 40 % under de anførte forudsætninger om korrektion for temperatur og tryk.

9.4 Beregning af usikkerhed på CO_2 -udledning vha. WS.Biocarbon

Ved metoden beregnes udledningen af fossilt CO_2 i ton for hele året på baggrund af 24 timers målinger på anlægget. Metoden beregner usikkerheden på slutresultatet, dvs., den årlige udledning af fossilt CO_2 . Metoden også kan beregne faktoren F_{fossilt} .

Weel & Sandvigs opgørelse af usikkerheden på metoden er vist i Afsnit 4.3.2 og delvist gengivet i Tabel 9.9 Usikkerheder på W&S. Biocarbon metoden. tillige med de usikkerheder, der er fundet for anlægsmålerne som 24-timers middelværdier, jævnfør Tabel 9.9.

Weel & Sandvig opgivelser				Data fra dette projekt	
Parameter	Enhed	Lav usikkerhed	Høj usikkerhed	Usikkerhed 24 timers middel, (σ_0)	Usikkerhed 24 timers middel, (s_D)
Affaldsmængde (std. afv.)	(ton/år)	2,3 %	5 %	Ukendt	Ukendt
Røggasmængde (std. afv.)	(m^3/h)	0,3 %	1,2 %	1,22 %	0,27 %
CO_2 -indhold (std. afv.)	(%)	0,1 %	1 %	0,96 %	0,1 %
O_2 -indhold (std. afv.)	(%)	0,2 %	1 %	0,69 %	0,22 %
H_2O -indhold (std. afv.)	(%)	0,7 %	0,8 %	0,80 %	0,73 %
$U_{F,\text{fossilt}}$					
Fossilt CO_2 -andel (95 % konfidensinterval) ved 365 målinger pr. år og 38 % fossilt i affald	(%)	5,5 % (relativt)	6,7 % (relativt)	$\approx 6,7$ % (relativt)	$\approx 5,5$ % (relativt)

Tabel 9.9 Usikkerheder på W&S. Biocarbon metoden.

Usikkerheden på F_{fossilt} beregnet vha. W&S.Biocarbon metoden fremgår af Tabel 9.9 og vurderingen af, om kravet kan overholdes for et anlæg med gennemsnitlige anlægsmålere, hvor hverken flow- eller CO_2 -målingen skal korrigeres for temperatur og tryk findes i Tabel 9.10.



Usikkerhedsniveau QAL2	Usikkerhed på F_{fossilt} v. 38 % fossilt (95 % konfidensinterval)	Bemærkning (Kvalitetskrav: Usikkerhed på F_{fossilt} < 7,45 %)
Myndighedskrav σ_0	$\approx 6,7$ %	Kan overholde 7,5 %
Certifikat usikkerhed U_c	Ikke beregnet	Kan overholde 7,5 %
QAL2 usikkerhed s_D	$\approx 5,5$ %	Kan overholde 7,5 %

Tabel 9.10 Vurdering af usikkerhed ved anvendelse af W&S.Biocarbon F_{fossilt} faktor (beregning af årlig udledning vha. 24-timers middelværdier.)

Usikkerheden på U_{fossilt} beregnet vha. W&S.Biocarbon metoden overstiger ikke 7,45 % (95-% konfidensinterval) for anlægsmålere, der netop opfylder myndighedernes krav σ_0 til usikkerhed.

Den samlede opgørelse kan således overholde kravet til en maksimal usikkerhed på 7,5 % (95 % konfidensinterval), såfremt hverken flow- eller CO_2 -målingen skal korrigeres for temperatur og tryk.

9.5 Beregning af usikkerhed på CO_2 -udledning vha. Forces Kulstof-14 metoder

Ved metoden beregnes faktoren for den fossile andel af CO_2 -emissionen i %.

Forces estimat på usikkerheden på opgørelse er vist i Afsnit 4.3.3 og delvist gengivet i Tabel 9.11 sammen med de usikkerheder, der er fundet ud fra middelværdien af de data, der er indsendt til projektet omregnet til usikkerhed for målinger over 8000 timer og hvor hverken flow- eller CO_2 -målingen skal korrigeres for temperatur og tryk. Usikkerheden er beregnet for biomasseaffaldets Kulstof-14 aktivitet pmC med og uden korrektion for prøvetagning over 3 eller 30 døgn ved et fossilt indhold af kulstof i affaldet på 38,35 %.



Forces opgivelser		Data fra dette projekt			
Parameter	Enhed	Usikkerhed 6 årlige prøver	Usikkerhed 12 årlige prøver	Usikkerhed 8000 ti- mers mid- del, (σ_0)	Usikkerhed 8000 ti- mers mid- del, (s_D)
$U_{F,\text{fossilt}}$ Fossilt CO ₂ -andel (95 % konfiden- sinterval) ved usikkerhed på pmC på 1,2 %	(% relativ)	3,2 %	2,3 %	2,3* %	2,3* %
$U_{F,\text{fossilt}}$ Fossilt CO ₂ -andel (95 % konfiden- sinterval) ved usikkerhed på pmC på 3,8 %	(% relativ)	-	3,7 %	3,7* %	3,7* %
Røggasmængde (95 % konfiden- sinterval)	(% relativ)	5 %	5 %	0,14 %	0,02 %
CO ₂ -indhold (95 % konfidensinter- val.)	(% relativ)	5 %	5 %	0,10 %	0,02 %
Usikkerhed på årlig udledning af fossilt CO ₂ (95 % konfidensinter- val.) ved usikkerhed på pmC på 1,2 %	(% relativ)	7,8 %	7,4 %	2,3 %	2,3 %
Usikkerhed på årlig udledning af fossilt CO ₂ (95 % konfidensinter- val.) ved usikkerhed på pmC på 3,8 %	(% relativ)	-	8,0 %	3,7 %	3,7 %

* Forces angivelse af usikkerhed på prøvetagning og analyse ved 12 årlige prøver

Tabel 9.11 Usikkerheder på Force Technologys Kulstof-14 metode.

I nedestående Tabel 9.12 er vurderingen af, om usikkerhedskravet kan overholdes for et anlæg med gennemsnitlige anlægsmålere hvor hverken flow- eller CO₂-målingen skal korrigeres for temperatur og tryk ved anvendelse af Force Technologys metode.



Usikkerheds-niveau	Usikkerhed på F_{fossilt} v. 28,35 % fossilt Ved U_{pmC} 1,2 % (95 % konfidensinterval)	Usikkerhed på F_{fossilt} v. 28,35 % fossilt Ved U_{pmC} 3,8 % (95 % konfidensinterval)	Bemærkning (Kvalitetskrav: Usikkerhed på $F_{\text{fossilt}} < 7,45$ %)
QAL2			
Myndigheds-krav σ_0	2,3 %	3,7 %	Kan overholde 7,5 %
Certifikat usikkerhed U_c	Ikke beregnet	Ikke beregnet	Kan overholde 7,5 %
QAL2 usikkerhed s_D	2,3 %	3,7 %	Kan overholde 7,5 %

Tabel 9.12 Vurdering af usikkerhed ved anvendelse af Force Technologys Kulstof-14 metode til bestemmelse af F_{fossilt} faktor (beregning af årlig udledning vha. 24-timers middelværdier.)

Usikkerheden på U_{fossilt} bestemt vha. Force Technologys metode overstiger ikke 7,45 % (95-% konfidensinterval) for anlægsmålere, der netop opfylder myndighedernes krav σ_0 til usikkerhed, og hvor hverken flow- eller CO_2 -målingen skal korrigeres for temperatur og tryk.

Ved anvendelse af Force Technologys metode kan alle anlægsmålere, der lever op til myndighedernes krav til maksimal usikkerhed, σ_0 opfylde forordningens krav til den samlede opgørelse om en maksimal usikkerhed på 7,5 % (95 % konfidensinterval), hvis hvor hverken flow- eller CO_2 -målingen skal korrigeres for temperatur og tryk.



10 OPSUMMERING AF KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER

I dette afsnit er anbefalinger til det videre arbejde med fastlæggelsen af usikkerheden på opgørelsen af den årlige udledning fossilt CO₂ samt en række udeståender, det er vigtigt at forholde sig til for de enkelte parter.

En række af disse konklusioner og anbefalinger der vedrører Energistyrelsen er drøftet og aftalt med Rasmus Zink Sørensen, Energistyrelsen ved mødet den 20. sep. 2012, jævnfør Bilag 3. Disse er nævnt i det følgende og i Afsnit 11 er konklusionen på disse:

1. Fastlægge hvordan beregningen af udledningen af fossilt CO₂ skal udføres – Se afsnit 11.
2. Fastlægge om beregningerne foretages for timemiddelværdier med en årsfaktor F_{fossilt} for andelen af fossilt indhold af kulstof i affaldet – *Se afsnit 11.*
3. Afgøre, om det kan accepteres, at anlægsmålere, der følger DS/EN14181 via kalibreringen med en Standard Reference Metode ikke har systematiske fejl – *Se afsnit 11.*
4. Afgøre om det dokumenterede usikkerhedsniveau fra QAL2, s_D kan indgå ved beregningen af usikkerheden, eller om usikkerheden U_c fra certificeringen eller kvalitetskravet σ_0 skal anvendes – *Se afsnit 11.*
5. Fastsætte komplette kvalitetskrav til CO₂-måleren. Der er i Forordningen fastsat krav til grænseværdi. Der mangler enten krav til godhed eller til samlet usikkerhed – *Se afsnit 11.*

I det følgende er forslag til emner, som Energistyrelsen bør på sigt forholde sig til:

6. Overveje at fastsætte en national værdi for pmC, Kulstof-14 aktiviteten for biomasseaffald.
7. Overveje at fastsætte usikkerhedskrav til O₂- og H₂O-målingen, da disse har stor indflydelse på BIOMA og W&S.Biocarbon metoderne.
8. Fastlægge hvordan usikkerheden på årsudledningen af fossilt CO₂ opgøres i forhold til de tre metoder fra BIOMA, W&S.Biocarbon og Force Technology.

Anlæggene bør i forbindelse med udarbejdelsen af overvågningsplanerne:

1. Evaluere hvor usikkerheden på deres målere og data ligger i forhold til de målere, der indgår i denne rapport
2. Beregne en orienterende usikkerhed for deres målere med de metoder, der er anvendt i denne rapport
3. Arbejde med at nedbringe usikkerheden på de anlægsmålere, der klarer sig dårligere end gennemsnittet af målerne.
4. Vurdere usikkerheden nøje på de data, der anvendes til BIOMA eller W&S.Biocarbon metoderne

Leverandørerne af værkstøjer til at bestemme den fossile andel af kulstof-indholdet i affaldet bør:

1. BIOMA og W&S.Biocarbon – vurdere usikkerhed på de indgående størrelser og forudsætningerne for modellen, herunder sammensætningen af den fossile og biogene fraktion.
2. Force Technology – overveje om parameteren pmC er fastsat korrekt og om den bør justeres for at tage hensyn til nationale forhold, herunder lokale og tidsmæssige variationer i affaldets sammensætning

Det kan konkluderes, at det ikke er helt urealistisk for affaldsforbrændingsanlæg at overholde usikkerhedskrav for opgørelsen på $\pm 10\%$, så længe anlæggets egne målere til bestemmelse af røggasflow og CO₂-indhold i røggassen følger DS/EN14181 standarden.

Det er desuden muligt for anlæg med de bedst fungerende anlægsmålere, at overholde usikkerhedskrav for opgørelsen på $\pm 7,5\%$.



Ved beregningen for 8000 driftstimer er usikkerheden på flow- og CO₂ og H₂O-bestemmelsen helt uden betydning i forhold til usikkerheden på fastlæggelsen af faktoren F_{fossil} for den fossile andel af CO₂.

Usikkerheden på Faktoren F_{fossil} er i et vist omfang proportional med usikkerheden på CO₂-, O₂-, H₂O- og flow-målingen. Det kan være nødvendigt at udskifte anlægsmålere, der ikke er certificeret under DS/EN15267-3 med målere, der er, for at opnå en lavere usikkerhed på F_{fossil} .

Anlæg der har indkøbt målere, der er certificeret iht. DS/EN15267-3 behøver som udgangspunkt ikke at udskifte disse.

Der findes i øvrigt ikke målere, der er et kvalitetsniveau bedre end de certificerede.

Det kan være nødvendigt at se på anlæggets eget kvalitetsarbejde, for at opnå så lav usikkerhed på målingen som muligt.



11 OPSUMMERING AF MØDE MED ENERGISTYRELSEN

Energistyrelsen, affald danmark, Renosam og GeertiCon har på møde den 20. sep. 2012 aftalt følgende fremgangsmåde for opgørelse af CO₂-udledning for affaldsforbrændingsanlæg under kategori B for året 2013, jævnfør anbefalingerne i Afsnit 10.

11.1 Beregningen af udledningen af fossilt CO₂

Beregningen gennemføres efter følgende formel – se afsnit 4.2:

$$CO_{2,fossilt\ årstotal} [ton] = F_{fossilt} * \sum_{i=1}^{driftstimer\ p.a.} (CO_{2,i} * R_{\text{røggasstrøm}_i}) * 10^{-6} \quad (\text{Formel 4-2})$$

Og usikkerheden opgøres efter:

$$U_{CO_2, \text{årstotal}, \text{fossilt}} = 1,96 * \sqrt{U_{fossilt}^2 + \frac{1}{n} * U_{CO_2}^2 + \frac{1}{n} * U_{R_{\text{røggasstrøm}}}^2 + \frac{1}{n} * U_{H_2O}^2 + U_T^2 + U_P^2} \quad (\text{Formel 9-3})$$

Hvor:

$U_{CO_2, \text{årstotal}}$	er usikkerheden på CO ₂ -opgørelsen som 95-% konfidensinterval i enheden % (relativt)
$U_{F, \text{fossilt}}$	er usikkerheden på faktoren $F_{fossilt}$ for den fossile andel af CO ₂ -indholdet i røggassen som standardafvigelse i enheden % (relativt). Værdien oplyses af leverandøren
n	er antallet af målinger, der indgår i den årlige opgørelse
U_{CO_2}	er usikkerheden på målingerne af CO ₂ -indholdet i røggassen som standardafvigelse i enheden % (relativt). Værdien beregnes som $\frac{U_c}{\text{Normalt niveau}} * 100$ (%), hvor U_c er certifikat værdi eller s_D fra QAL2
$U_{R_{\text{røggasstrøm}}}$	er usikkerheden på målingen af røggasmængden som standardafvigelse i enheden % (relativt) Værdien beregnes som $\frac{U_c}{\text{Normalt niveau}} * 100$ (%), hvor U_c er certifikat værdi eller s_D fra QAL2
U_{H_2O}	er usikkerheden på målingen af H ₂ O-indholdet som standardafvigelse i enheden % (relativt). Værdien er 0 (nul), hvis der ikke korrigeres for vand. Værdien beregnes som $\frac{U_c}{\text{Normalt niveau}} * \frac{\text{Normalt niveau}}{100 - \text{Normalt niveau}} * 100$ (%), hvor U_c er certifikat værdi eller s_D fra QAL2
U_T	er usikkerheden på målingen af temperaturen som standardafvigelse i enheden % (relativt). Værdien er 0 (nul), hvis der ikke korrigeres for temperaturen.
U_P	er usikkerheden på målingen af tryk som standardafvigelse i enheden % (relativt). Værdien er 0 (nul), hvis der ikke korrigeres for trykket.

Såfremt QAL2 kalibreringen og test for variabilitet (usikkerhed) foretages ved samme tilstand for røggassen skal der ikke medregnes usikkerhedsbidrag fra H₂O, temperatur og tryk.

Beregning af et eventuelt usikkerhedsbidrag fra temperatur og tryk må baseres på de oplysninger i har fra leverandøren af disse instrumenter, og hvorvidt usikkerheden er tilfældig eller systematisk. Er



den alene tilfældig kan man dividere usikkerheden med antallet af målinger. Er den rent systematisk indgår den direkte.

11.2 Beregningsgrundlag

Beregningerne foretages for timemiddelværdier med en årsfaktor F_{fossilt} for andelen af fossilt indhold af kulstof i affaldet.

11.3 Systematiske fejl

Anlægsålere, der følger DS/EN14181 via kalibreringen med en Standard Reference Metode forudsættes ikke have systematiske fejl!

11.4 Grundlag for beregning af teoretisk usikkerhed i overvågningsplanen

Det dokumenterede usikkerhedsniveau U_c fra certificeringen iht. DS/EN15267-3 anvendes til beregning af målerens usikkerhed i overvågningsplanens punkt 9 c⁶⁸.

Tallet for usikkerhed, som skal bruges i overvågningsplanen er den relative usikkerhed som beregnes ved at dividere U_c med den forventede gennemsnitsværdi for den pågældende parameter.

⁶⁸ Denne fremgangsmåde er i overensstemmelse med Forordningens anbefalinger til fastlæggelse af usikkerheder for kalibrerede eller kontrollerede instrumenter.



12 BILAGSOVERSIGT

Bilag 1	QAL2 data fra anlæg
Bilag 2.a	DS/EN15267-3 certifikat for ABB ACF-NT anlægsmåler
Bilag 2.b	DS/EN15267-3 certifikat for SICK MCS 100 E HW anlægsmåler
Bilag 2.c	DS/EN15267-3 certifikat for DURAG DFL-100 flowmåler
Bilag 2.d	DS/EN15267-3 certifikat for DURAG DFL-200 flowmåler
Bilag 2.e	DS/EN15267-3 certifikat for SICK Flowsic 100 flowmåler
Bilag 3 -	Resume fra møde mellem affald danmark. RENOSAM og Energistyrelsen og GeertiCon d. 20. sep. 2012



Bilag 1



QAL2 data fra anlæg

O ₂	Fabrikat	Certifikat	QAL2	Accept kriterie for variabilitet	Range	Normalt niveau	Normal usikkerhed	Teoretisk usikkerhed	Maksimal usikkerhed
Anlæg	Parameter	U _c	s _d	σ ₀		Y ^{max}	s _D /Normalt niveau	U _c /Normalt niveau	σ ₀ /Normalt niveau
	Enhed	vol %	vol %	vol %	vol %	vol %	Relativ (%)	Relativ (%)	Relativ (%)
1	ABB ACF-NT	0,32	0,17	1,1	25	7,9	2,2	4,1	13,9
2	ABB ACF-NT	0,32			25	8,3		3,9	0,0
3	ABB ACF-NT	0,32	0,07	1,1	25	10,6	0,7	3,0	10,4
4	ABB ACF-NT	0,32	0,11	1,1	25	10,5	1,0	3,0	10,5
5	ABB ACF-NT	0,32	0,11	1,1	25	6,7	1,6	4,8	16,4
6	Themet		0,15	1,1	25	7,1	2,1	0,0	15,5
7	Themet		0,04	1,1	25	6,9	0,6	0,0	15,9
8	SICK MCS 100 E HW	0,33	0,11	1,1	21	12,9	0,9	2,6	8,5
9	SICK MCS 100 E HW	0,33	0,03	1,1	21	8	0,4	4,1	13,8
10	Opsis O200	0,2	0,15	1,1	25	8,6	1,7	2,3	12,8
11	Opsis O200	0,2	0,05	1,1	25	8,7	0,6	2,3	12,6
12	SICK MCS 100 E HW	0,32			25				
13	SICK MCS 100 E HW	0,32			25				
14	SICK MCS 100 E HW		0,03	0,49	21				
15	SICK MCS 100 E HW	0,27	0,02	1,1	21	9,4	0,2	2,9	11,7
16	ABB ACF-NT	0,32	0,049	1,1	25	6,9	0,7	4,6	15,9

Data fra FLSmidth

Bilag 1



QAL2 data fra anlæg

H ₂ O	Fabrikat	Certifikat	QAL2	Accept kriterie for variabilitet	Range	Normalt niveau	Normal usikkerhed	Teoretisk usikkerhed	Maksimal usikkerhed
Anlæg	Parameter	U _c	s _d	σ ₀		Y ^{max}	s _D /Normalt niveau	U _c /Normalt niveau	σ ₀ /Normalt niveau
	Enhed	vol %	vol %	vol %	vol %	vol %	Relativ (%)	Relativ (%)	Relativ (%)
1	ABB ACF-NT	0,87	0,86	2	25	21	4,1	4,1	9,5
2	ABB ACF-NT	0,87			25	19,3		4,5	0,0
3	ABB ACF-NT	0,87	0,47	2	30	15	3,1	5,8	13,3
4	ABB ACF-NT	0,87	0,67	2	30	14,8	4,5	5,9	13,5
5	ABB ACF-NT	0,87	0,67	2	30	25,3	2,6	3,4	7,9
6	Themet		1,7	2	25	18,3	9,3	0,0	10,9
7	Bodensee		0,56	2	25	20,2	2,8	0,0	9,9
8	SICK MCS 100 E HW	0,738	0,45	2	40	19,3	2,3	3,8	10,4
9	SICK MCS 100 E HW	0,738	0,39	2	40	22,6	1,7	3,3	8,8
10	Opsis AR650		0,48	2	40	14,5	3,3	0,0	13,8
11	Opsis AR650		0,78	2	40	16,7	4,7	0,0	12,0
12	SICK MCS 100 E HW	0,738							
13	SICK MCS 100 E HW	0,738							
14	SICK MCS 100 E HW	0,738			40				
15	SICK MCS 100 E HW	0,738							
16	ABB ACF-NT	0,87	0,97	2	30	19,6	4,9	4,4	10,2

Data fra DG TEKNIK
 Data fra FLSmidth

Bilag 1



QAL2 data fra anlæg

Flow	Fabrikat	Certifikat	QAL2	Accept kriterie for variabilitet	Normal usikkerhed	Teoretisk usikkerhed	Maksimal usikkerhed
Anlæg	Parameter	U_c	s_d	σ_0	s_D /Normalt niveau	U_c /Normalt niveau	σ_0 /Normalt niveau
		m/s	m/s	m/s	Relativ (%)	Relativ (%)	Relativ (%)
1	Yokogawa						
2	SICK Flowsic 100						
3	Durag DFL 200	0,55	0,10	0,7	0,6	4,3	5,5
4	Durag DFL 200	0,55	0,19	0,8	1,1	4,3	6,1
5	Durag DFL 200	0,55	0,35	0,9	0,9	3,6	5,9
6	FCI MT91				1,6	0	6,6
7	FCI MT91				0,5	0	5,8
8	Flowsic 100	0,38					
9	Flowsic 100	0,38	0,78	0,9	2,6	2,6	6,2
10	Systec DF 25 FF		0,51	0,7	3,3	0	6,4
11	Systec DF 25 FF		0,61	0,7	3,9	0	6,5
12	SICK Flowsic 100	0,452					
13	SICK Flowsic 100	0,452					
14	Emco control				0,3	0	5,9
15	Durag DFL 200	0,55	0,10	0,7	0,8	4,6	6,2
16	Durag DFL 200 G	0,55	0,43	1,0	2,3	3,1	5,9

Data fra DG TEKNIK
 Data fra FLSmidth

Bilag 2.a



DS/EN15267-3 certifikat for ABB ACF-NT anlægsmåler



QAL1 Report

Description of evaluated measurement procedure

Automated Measuring System (AMS) based on
 Analyzer module serial number (optional)
 Quotation or order number
 Intended for monitoring of
 Applicable EU directive
 Name of plant
 Gas to be measured
 Smallest range of AMS
 Largest range of AMS (optional)

ACF-NT CO2		
Waste incineration plant		
2000/76/EC		
Reactor 1		
CO2		
20	Vol.%	
30	Vol.%	

Test value and required quality at that value

Test concentration (Emission Limit Value, ELV)
 Required measurement quality as 95% confidence interval
 Shortest averaging time of measured values
 Required response time

15	Vol.%
20	% of ELV
30	minutes
25	% of shortest averaging time

Field conditions of operation used in the uncertainty assessment

Ambient temperature range
 Ambient pressure range
 Flow range
 Voltage range

Min. value	Max. value	
20	25	°C
970	1030	hPa
200	300	l/h
190	250	V

Internal diameter of sample gas line
 Length of sample gas line
 Average flow of sample gas

8	mm
20	m
250	l/h

Time between (automatic) span calibration

180	days
-----	------

Ranges of chemical interferents for

Combustion process

Component

O2
 H2O
 CO
 CO2
 CH4
 N2O
 NO
 NO2
 NH3
 HCl
 SO2

Component	Min. value	Max. value	
O2	3	21	Vol.%
H2O	1	30	Vol.%
CO	0	300	mg/m ³
CO2	0	15	Vol.%
CH4	0	0	mg/m ³
N2O	0	20	mg/m ³
NO	0	300	mg/m ³
NO2	0	30	mg/m ³
NH3	0	20	mg/m ³
HCl	0	50	mg/m ³
SO2	0	200	mg/m ³



QAL1 Report

(continued)

Contributing partial standard uncertainties and reference to their origins

Selectivity H2O	0,29	Vol.%
Selectivity others (largest sum)	0,00	Vol.%
Lack of fit	0,06	Vol.%
Drift	0,02	Vol.%
Pressure dependence	0,00	Vol.%
Temperature dependence	0,05	Vol.%
Flow dependence	0,00	Vol.%
Voltage dependence	0,00	Vol.%
Repeatability	0,00	Vol.%
Uncertainty of response factors	0,00	Vol.%
Uncertainty of converter efficiency (SCC-K NOx converter)	0,00	Vol.%
Response time	130	seconds
Origin of data	<i>Report of TÜV suitability test, 03/1995 (Gerät 2)</i>	
Long-term drift of calibration cell	0,00	Vol.%
Origin of data	<i>Not applicable</i>	
Uncertainty of SRM	0,10	Vol.%
Standard Reference Method (SRM), Reference	<i>NDIR, ISO 12039</i>	
Uncertainty of cylinder gas	0,15	Vol.%
Origin of data	<i>Datasheet of gas supplier</i>	

Determination and assessment of expanded uncertainty

Expanded uncertainty	0,69	Vol.%
Required measurement quality as 95% confidence interval	3,00	Vol.%
Confidence interval met	YES	
Total response time	144	seconds
Required response time	450	seconds
Response time met	YES	
Conclusion	The AMS is ACCEPTABLE	

This report confirms that the product

ACF-NT CO2

complies with the requirements of EN 14181:2004 QAL1 according to the International Standard ISO 14956:2002 for the above specified operating conditions.

DAP-PL-3856.99

CERTIFICATE

TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH

Manufacturer:	ABB Automation	
Measuring System:	ACF-NT V0309	
Components:	CO, NO, SO ₂ , HCl, NH ₃ , H ₂ O, HF, O ₂ , TOC	
Test Reports:	TÜV Rheinland: 936/21204861/A	2009-03-31
	TÜV Rheinland: 936/21210471/A	2009-02-13
	TÜV Rheinland: 936/801003/C	2002-01-18
	TÜV SÜD: 1236011a	2009-02-03
	TÜV SÜD: 24016659	1998-02-10

The measurement system fulfils
the requirements of
QAL 1
according to EN 15267-3, EN 14181 and EN ISO 14956.

Köln, 2009-08-19

Dr. rer. nat. Peter Wilbring

Dipl.-Ing. Carsten Röllig

www.umwelt-tuv.de / www.eco-tuv.com
tie@umwelt-tuv.de
Tel. +49 - 221 - 806 - 2275

TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH
Am Grauen Stein
51105 Köln

The company is accredited to DIN EN ISO/IEC 17025.

Calculation of overall uncertainty for QAL1 in EN 14181 and EN 15267-3

Manufacturer data

Manufacturer	ABB Automation
Name of measuring system	ACF-NT V0309
Serial Number	see relevant reports
Measuring Principle	FTIR

TÜV Data

Approval Report	21204861/A 2009-03-31
	21210471/A 2009-02-13
Editor	Röllig
Date	2009-07-20

Measurement Component

	H ₂ O
Certificated range	40 Vol.-%

Evaluation of the cross sensitivity (CS)

	CS $\Delta X_{\max, j}$	
to 3 Vol.-% Oxygen	0,00	Vol.-%
to 21 Vol.-% Oxygen	0,00	Vol.-%
to 300 mg/m ³ Carbon monoxide	0,00	Vol.-%
to 15 Vol.-% Carbon dioxide	0,00	Vol.-%
to 50 mg/m ³ Methane	0,00	Vol.-%
to 100 mg/m ³ Dinitrogen monoxide	0,00	Vol.-%
to 300 mg/m ³ Nitrogen monoxide	0,00	Vol.-%
to 30 mg/m ³ Nitrogen dioxide	0,00	Vol.-%
to 20 mg/m ³ Ammonia	0,00	Vol.-%
to 1000 mg/m ³ Sulphur dioxide	0,00	Vol.-%
to 200 mg/m ³ Hydrogen chloride	0,00	Vol.-%
Sum of positive cross sensitivities	0,00	Vol.-%
Sum of negative cross sensitivities	0,00	Vol.-%

Calculation of the combined standard uncertainty

Test Value	$\Delta X_{\max, j}$		u	u ²
Standard deviation from paired measurements under field conditions *	0,28	Vol.-%	u _D 0,28	0,080
Lack of fit	- 0,36	Vol.-%	u _{lof} -0,21	0,043
Zero drift from field test	0,04	Vol.-%	u _{d,z} 0,02	0,001
Span drift from field test	- 0,60	Vol.-%	u _{d,s} -0,35	0,120
Influence of ambient temperature at span	- 1,04	Vol.-%	u _t -0,60	0,361
Influence of supply voltage	0,20	Vol.-%	u _v 0,12	0,013
Cross sensitivity (interference) **	0,00	Vol.-%	u _i 0,00	0,000
Influence of sample pressure	0,00	Vol.-%	u _p 0,00	0,000
Influence of sample gas flow	0,30	Vol.-%	u _p 0,17	0,030
Uncertainty of reference material at 70% of certification range	0,56	Vol.-%	u _{rm} 0,32	0,105

* The bigger value of: "Repeatability standard deviation at span" or "Standard deviation from paired measurements under field conditions"

** The absolute value of the Sum of negativ cross sensitivity is greater than Sum of positiv cross sensitivity

Combined standard uncertainty (u _c)	$u_c = \sqrt{\sum (u_{\max, j})^2}$	0,87	Vol.-%
Total expanded uncertainty	$U = u_c * k = u_c * 1,96$	1,70	Vol.-%

Relative total expanded uncertainty	U in % vom Messbereich 40 Vol.-%	4,2
Requirement of 2000/76/EC and 2001/80/EC	U in % vom Messbereich 40 Vol.-%	10,0
Requirement of EN 15267-3	U in % vom Messbereich 40 Vol.-%	7,5

Calculation of overall uncertainty for QAL1 in EN 14181 and EN 15267-3

Manufacturer data

Manufacturer	ABB Automation
Name of measuring system	ACF-NT V0309 / RGM11
Serial Number	00400000836706 00400000892206
Measuring Principle	ZrO ₂

TÜV Data

Approval Report	21210471/A 2009-02-13 21204861/A 2009-03-31 801003/C 2002-01-18
Editor	Röllig
Date	2009-07-20

Measurement Component

Certificated range	O ₂	25	Vol.-%
--------------------	----------------	----	--------

Evaluation of the cross sensitivity (CS)

	CS $\Delta X_{\max, j}$		
to 30 Vol.-% Humidity	0,00	Vol.-%	
to 300 mg/m ³ Carbon monoxide	0,00	Vol.-%	
to 15 Vol.-% Carbon dioxide	- 0,07	Vol.-%	
to 50 mg/m ³ Methane	0,00	Vol.-%	
to 100 mg/m ³ Dinitrogen monoxide	0,00	Vol.-%	
to 300 mg/m ³ Nitrogen monoxide	0,00	Vol.-%	
to 30 mg/m ³ Nitrogen dioxide	0,00	Vol.-%	
to 20 mg/m ³ Ammonia	0,00	Vol.-%	
to 1000 mg/m ³ Sulphur dioxide	0,12	Vol.-%	
to 200 mg/m ³ Hydrogen chloride	0,00	Vol.-%	
Sum of positive cross sensitivities	0,12	Vol.-%	
Sum of negative cross sensitivities	- 0,07	Vol.-%	

Calculation of the combined standard uncertainty

Test Value	$\Delta X_{\max, j}$		u	u ²
Repeatability standard deviation at span *	0,06	Vol.-%	u _r 0,06	0,004
Lack of fit	- 0,10	Vol.-%	u _{lof} -0,06	0,003
Zero drift from field test	0,15	Vol.-%	u _{d,z} 0,09	0,008
Span drift from field test	0,20	Vol.-%	u _{d,s} 0,12	0,013
Influence of ambient temperature at span	- 0,26	Vol.-%	u _t -0,15	0,023
Influence of supply voltage	0,00	Vol.-%	u _v 0,00	0,000
Cross sensitivity (interference) **	0,12	Vol.-%	u _i 0,07	0,005
Influence of sample pressure	0,00	Vol.-%	u _p 0,00	0,000
Influence of sample gas flow	0,13	Vol.-%	u _p 0,08	0,006
Uncertainty of reference material at 70% of certification range	0,35	Vol.-%	u _{rm} 0,20	0,041

* The bigger value of: "Repeatability standard deviation at span" or "Standard deviation from paired measurements under field conditions"

** The absolute value of the Sum of positiv cross sensitivity is greater than the Sum of negativ cross sensitivity

Combined standard uncertainty (u _c)	$u_c = \sqrt{\sum (u_{\max, j})^2}$	0,32	Vol.-%
Total expanded uncertainty	$U = u_c * k = u_c * 1,96$	0,62	Vol.-%

Relative total expanded uncertainty	U in % vom Messbereich 25 Vol.-%	2,5
Requirement of 2000/76/EC and 2001/80/EC	U in % vom Messbereich 25 Vol.-%	10,0
Requirement of EN 15267-3	U in % vom Messbereich 25 Vol.-%	7,5

Attention: For this component no requirements in the EC-directives 2001/80/EG und 2000/76/EG are given.

Bilag 2.b



DS/EN15267-3 certifikat for SICK MCS 100 E HW anlægsmåler

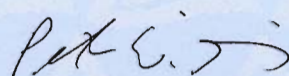
CERTIFICATE

TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH

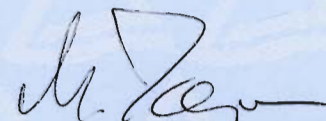
Manufacturer:	SICK MAIHAK GmbH
Measuring System:	MCS 100 E HW
Components:	CO, CO ₂ , NO, SO ₂ , HCl, NH ₃ , H ₂ O, O ₂
Test Report:	Eignungsprüfung 936/801010/A of 30.09.1999

The measurement system fulfils
the requirements of
QAL 1
according to EN 14181 and EN ISO 14956.

Köln, 26. Feb. 2007



i.V. Dr. P. Wilbring



i.A. Dipl.-Chem. M. Kerpa

www.umwelt-tuv.de / www.eco-tuv.com
tie@umwelt-tuv.de
Tel. +49 - 221 - 806 - 2275

TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH
Am Grauen Stein,
51105 Köln

The company is accredited to DIN EN ISO/IEC 17025.

Addendum: 8 pages

DIN EN ISO 14956 and prEN 15267-3 calculation for QAL 1 in DIN EN 14181
Manufacturer data

Manufacturer	SICK MAIHAK GmbH
Measurement System	MCS 100 E HW
Name	Multicomponent
Serial Number	SN_19 und SN_20

TÜV Data

TÜV Report	936/808010/A
Date	30.09.1999
Editor	Dr. Wilbring

Measurement Component

 CO₂ 25 Vol.-%

Evaluation of the cross sensitivity (CS)

	CS $\bar{X}_{max, j}$
to 3 Vol.-% Oxygen	0,00 Vol.-%
to 21 Vol.-% Oxygen	0,00 Vol.-%
to 30 Vol.-% Humidity	0,00 Vol.-%
to 300 mg/m ³ Carbon monoxide	0,00 Vol.-%
to 50 mg/m ³ Methane	0,00 Vol.-%
to 20 mg/m ³ Dinitrogen monoxide	0,05 Vol.-%
to 300 mg/m ³ Nitrogen monoxide	0,05 Vol.-%
to 30 mg/m ³ Nitrogen dioxide	0,00 Vol.-%
to 20 mg/m ³ Ammonia	0,00 Vol.-%
to 200 mg/m ³ Sulphur dioxide	-0,05 Vol.-%
to 1000 mg/m ³ Sulphur dioxide	0,00 Vol.-%
to 50 mg/m ³ Hydrogen chloride	0,00 Vol.-%
to 9,6 mg/m ³ Methanol	0,00 Vol.-%
to 12,1 mg/m ³ Formaldehyde	0,00 Vol.-%
to 9,7 mg/m ³ Acetone	0,00 Vol.-%
to 15,3 mg/m ³ Dichlormethene	0,00 Vol.-%

Sum of positive cross sensitivities	0,10 Vol.-%
Sum of negative cross sensitivities	-0,05 Vol.-%

Calculation of the combined standard uncertainty

Test Value	$\Delta X_{max, j}$	$u(\Delta X_{max, j}) = \frac{\Delta X}{\sqrt{3}}$	$u(\Delta X_{max, j})^2$
Lack of fit	u_l -0,40 Vol.-%	-0,23 Vol.-%	0,053
Biggest interference (positiv or negativ)	u_i 0,10 Vol.-%	0,06 Vol.-%	0,003
Span shift in the field test	$u_{d,s}$ 0,26 Vol.-%	0,15 Vol.-%	0,023
Zero shift in the field test	$u_{d,z}$ 0,00 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to sample volume flow	u_v 0,00 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to sample pressure	u_{sp} 0,00 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to sample temperature	u_{st} 0,00 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to ambient temperature	u_t 0,55 Vol.-%	0,32 Vol.-%	0,101
Dependence on supply voltage	u_{sv} 0,00 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Repeatability at span	u_s 0,01 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Field reproducibility	u_D 0,20 Vol.-%	0,12 Vol.-%	0,013
Uncertainty of the test gas at the reference point	u_{ta} 0,50 Vol.-%	0,29 Vol.-%	0,083
Combined standard uncertainty (u_c)	$u_c = \sqrt{\sum(u_{max, j})^2}$		0,526
Total expanded uncertainty	$(u_c * k)$	$U_c = u_c * 1,96$	1,032
Relative total expanded uncertainty		Uc in % of the limit 10 Vol.-%	10,3
Requirement		Uc in % of the limit 10 Vol.-%	20,0

Result: Requirements keep to QAL 1 of EN 14181

Attention: For this component no requirements in the EC-directives 2001/80/EG und 2000/76/EG are given.

DIN EN ISO 14956 and prEN 15267-3 calculation for QAL 1 in DIN EN 14181
Manufacturer data

 Manufacturer
 Measurement System
 Name
 Serial Number

 SICK MAIHAK GmbH
 MCS 100 E HW
 Multicomponent
 SN_19 und SN_20

TÜV Data

 TÜV Report
 Date
 Editor

 936/808010/A
 30.09.1999
 Dr. Wilbring

Measurement Component

 H₂O 40 Vol.-%

Evaluation of the cross sensitivity (CS)

	CS $X_{max,j}$
to 3 Vol.-% Oxygen	0,00 Vol.-%
to 21 Vol.-% Oxygen	0,00 Vol.-%
to 300 mg/m ³ Carbon monoxide	0,00 Vol.-%
to 15 Vol.-% Carbon dioxide	0,00 Vol.-%
to 50 mg/m ³ Methane	0,00 Vol.-%
to 20 mg/m ³ Dinitrogen monoxide	0,00 Vol.-%
to 300 mg/m ³ Nitrogen monoxide	0,00 Vol.-%
to 30 mg/m ³ Nitrogen dioxide	0,00 Vol.-%
to 20 mg/m ³ Ammonia	0,00 Vol.-%
to 200 mg/m ³ Sulphur dioxide	0,00 Vol.-%
to 1000 mg/m ³ Sulphur dioxide	0,00 Vol.-%
to 50 mg/m ³ Hydrogen chloride	0,00 Vol.-%
to 9,6 mg/m ³ Methanol	0,00 Vol.-%
to 12,1 mg/m ³ Formaldehyde	0,00 Vol.-%
to 9,7 mg/m ³ Acetone	0,00 Vol.-%
to 15,3 mg/m ³ Dichlormethene	0,00 Vol.-%

Sum of positive cross sensitivities

0,00 Vol.-%

Sum of negative cross sensitivities

0,00 Vol.-%

Calculation of the combined standard uncertainty
Test Value

	$\Delta X_{max,j}$	$u(\Delta X_{max,j}) = \frac{\Delta X}{\sqrt{3}}$	$u(\Delta X_{max,j})^2$
Lack of fit	u_L	-0,44 Vol.-%	0,065
Biggest interference (positiv or negativ)	u_I	0,00 Vol.-%	0,000
Span shift in the field test	$u_{d,s}$	0,80 Vol.-%	0,213
Zero shift in the field test	$u_{d,z}$	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to sample volume flow	u_v	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to sample pressure	u_{sp}	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to sample temperature	u_{st}	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to ambient temperature	u_t	0,36 Vol.-%	0,043
Dependence on supply voltage	u_{sv}	0,00 Vol.-%	0,000
Repeatability at span	u_s	0,11 Vol.-%	0,004
Field reproducibility	u_D	0,13 Vol.-%	0,006
Uncertainty of the test gas at the reference point	u_{ta}	0,80 Vol.-%	0,213

 Combined standard uncertainty (u_c)

 u_c

$$u_c = \sqrt{\sum(u_{max,j})^2}$$

0,738

Total expanded uncertainty

 $(u_c * k)$

$$U_c = u_c * 1,96$$

1,446

Relative total expanded uncertainty

Uc in % of the limit 20 Vol.-%

7,2

Requirement

Uc in % of the limit 20 Vol.-%

20,0

Result: Requirements keep to QAL 1 of EN 14181

Attention: For this component no requirements in the EC-directives 2001/80/EG und 2000/76/EG are given.

DIN EN ISO 14956 and prEN 15267-3 calculation for QAL 1 in DIN EN 14181
Manufacturer data

Manufacturer	SICK MAIHAK GmbH
Measurement System	MCS 100 E HW
Name	Multicomponent
Serial Number	SN_19 und SN_20

TÜV Data

TÜV Report	936/808010/A
Date	30.09.1999
Editor	Dr. Wilbring

Measurement Component

 O₂ 21 Vol.-%

Evaluation of the cross sensitivity (CS)

	CS $X_{max, j}$
to 30 Vol.-% Humidity	0,00 Vol.-%
to 300 mg/m ³ Carbon monoxide	0,00 Vol.-%
to 15 Vol.-% Carbon dioxide	0,00 Vol.-%
to 50 mg/m ³ Methane	0,00 Vol.-%
to 20 mg/m ³ Dinitrogen monoxide	0,00 Vol.-%
to 300 mg/m ³ Nitrogen monoxide	0,00 Vol.-%
to 30 mg/m ³ Nitrogen dioxide	0,00 Vol.-%
to 20 mg/m ³ Ammonia	0,00 Vol.-%
to 200 mg/m ³ Sulphur dioxide	0,00 Vol.-%
to 1000 mg/m ³ Sulphur dioxide	0,00 Vol.-%
to 50 mg/m ³ Hydrogen chloride	0,00 Vol.-%
to 9,6 mg/m ³ Methanol	0,00 Vol.-%
to 12,1 mg/m ³ Formaldehyde	0,00 Vol.-%
to 9,7 mg/m ³ Acetone	0,00 Vol.-%
to 15,3 mg/m ³ Dichlormethene	0,00 Vol.-%
Sum of positive cross sensitivities	0,00 Vol.-%
Sum of negative cross sensitivities	0,00 Vol.-%

Calculation of the combined standard uncertainty

Test Value		$\Delta X_{max, j}$	$u(\Delta X_{max, j}) = \frac{\Delta X}{\sqrt{3}}$	$u(\Delta X_{max, j})^2$
Lack of fit	u_L	0,25 Vol.-%	0,15 Vol.-%	0,021
Biggest interference (positiv or negativ)	u_I	0,00 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Span shift in the field test	$u_{d,s}$	0,13 Vol.-%	0,07 Vol.-%	0,005
Zero shift in the field test	$u_{d,z}$	0,00 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to sample volume flow	u_v	0,00 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to sample pressure	u_{s0}	0,00 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to sample temperature	u_{st}	0,00 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Sensitivity to ambient temperature	u_t	-0,29 Vol.-%	-0,17 Vol.-%	0,029
Dependence on supply voltage	u_{sv}	0,00 Vol.-%	0,00 Vol.-%	0,000
Repeatability at span	u_s	0,08 Vol.-%	0,05 Vol.-%	0,002
Field reproducibility	u_D	0,06 Vol.-%	0,04 Vol.-%	0,001
Uncertainty of the test gas at the reference point	u_{t0}	0,21 Vol.-%	0,12 Vol.-%	0,015
Combined standard uncertainty (u_c)	u_c		$u_c = \sqrt{\sum(u_{max, j})^2}$	0,271
Total expanded uncertainty	$(u_c * k)$		$U_c = u_c * 1,96$	0,532
Relative total expanded uncertainty			Uc in % of the limit 10 Vol.-%	5,3
Requirement			Uc in % of the limit 10 Vol.-%	6,0

Result: Requirements keep to QAL 1 of EN 14181

Attention: For this component no requirements in the EC-directives 2001/80/EG und 2000/76/EG are given.

Bilag 2.c



DS/EN15267-3 certifikat for DURAG DFL-100 flowmåler

DAP-PL-3856.99

CERTIFICATE

TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH

Manufacturer: DURAG Industrie Elektronik GmbH & Co. KG
Measuring System: D-FL 100
Components: Volume flow
Test Report: 128CU11650 TÜV Nord 1996-03-29

The measurement system fulfils
the requirements of
QAL 1
according to EN 14181 and EN ISO 14956,
as long as the waste gas velocity is higher than 3 m/s.

Köln, 2008-10-16 Dr. rer. nat. Peter Wilbring Dipl.-Chem. Martin Kerpa

www.umwelt-tuv.de / www.eco-tuv.com
tie@umwelt-tuv.de
Tel. +49 - 221 - 806 - 2275

TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH
Am Grauen Stein
51105 Köln

The company is accredited to DIN EN ISO/IEC 17025.

attached: 1 page(s)

Bilag 2.d



DS/EN15267-3 certifikat for DURAG DFL-200 flowmåler

DAP-PL-3856.99

CERTIFICATE

TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH

Manufacturer: DURAG Industrie Elektronik GmbH & Co. KG.
Measuring System: D-FL 200
Components: Volume flow
Test Report: 99CU019 TÜV Nord 2000-08-12

The measurement system fulfils
the requirements of
QAL 1
according to EN 14181 and EN ISO 14956.

Köln, 2008-10-16

Dr. rer. nat. Peter Wilbring

Dipl.-Chem. Martin Kerpa

www.umwelt-tuv.de / www.eco-tuv.com
tie@umwelt-tuv.de
Tel. +49 - 221 - 806 - 2275

TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH
Am Grauen Stein
51105 Köln

The company is accredited to DIN EN ISO/IEC 17025.

DIN EN ISO 14956 and prEN 15267-3 calculation for QAL 1 in DIN EN 14181

Manufacturer data

Manufacturer	DURAG Industrie Elektronik
Measurement System	volume flow
Name	D-FL 200
Serial Number	36392, 36395, 36393, 36394
Measuring Principle	ultrasound

TÜV Data

Approval Report	99CU019	12.08.2000
Date	29.09.2008	
Editor	C. Landgraf	

Measurement Component

volume flow 20 m/s

Calculation of the combined standard uncertainty

Test Value		$\Delta X_{\max, j}$	$u(\Delta X_{\max, j}) = \frac{\Delta X}{\sqrt{3}}$	$u(\Delta X_{\max, j})^2$
Lack of fit	u_L	0,92 m/s	0,53 m/s	0,282
Span shift in the field test	$u_{d,s}$	0,11 m/s	0,06 m/s	0,004
Zero shift in the field test	$u_{d,z}$	0,05 m/s	0,03 m/s	0,001
Sensitivity to sample volume flow	u_v	0,14 m/s	0,08 m/s	0,006
Sensitivity to ambient temperature	u_t	-0,09 m/s	-0,05 m/s	0,003
Dependence on supply voltage	u_{sv}	-0,04 m/s	-0,02 m/s	0,000
Repeatability at span	u_g	0,08 m/s	0,05 m/s	0,002
Field reproducibility	u_D	0,11 m/s	0,07 m/s	0,004
Combined standard uncertainty (u_c)	u_c	$u_c = \sqrt{\sum(u_{\max, j})^2}$		0,550
Total expanded uncertainty	$(u_c * k)$	$U_c = u_c * 1,96$		1,078
Relative total expanded uncertainty		Uc in % of the limit 20 m/s		
Requirement		Uc in % of the limit 20 m/s		10,0

Result: Requirements keep to QAL 1 of EN 14181

Bilag 2.e



DS/EN15267-3 certifikat for SICK Flowsic 100 flowmåler

DAP-PL-3856.99

CERTIFICATE

**TÜV Rheinland Immissionsschutz
und Energiesysteme GmbH**

Manufacturer:	SICK Engineering GmbH, Ottendorf-Okrilla	
Measuring System:	FLAWSIC100	
Components:	Gas velocity	
Test Report:	936/21206702/E	2008-10-5

The measurement system fulfils
the requirements of
QAL 1
according to EN 15267-3 and EN 14181.

Köln, 2009-02.16

Dr. rer. nat. Peter Wilbring

Dipl.-Chem. Martin Kerpa

www.umwelt-tuv.de / www.eco-tuv.com
tie@umwelt-tuv.de
Tel. +49 - 221 - 806 - 2275

TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH
Am Grauen Stein
51105 Köln

The company is accredited to DIN EN ISO/IEC 17025.

DIN EN ISO 14956 und DIN EN 15267-3 Berechnung für die QAL 1 nach DIN EN 14181

Hersteller-Angaben

Hersteller	Sick
Bezeichnung Messgerät	Flowsic100
Seriennummer	SN 8724/25 / SN 8726/27
Messprinzip	Ultraschall

TÜV-Auftrag

Prüf-Bericht	936/21206702/E
Datum	05.10.2008
Bearbeiter	Kerpa

Messkomponente

Zertifizierungsbereich	Geschwindigkeit
	20 m/s

Berechnung der erweiterten Messunsicherheit

Prüfgröße	$\Delta X_{max,j}$	u^2
Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt *	$u_r = s_r$ 0,40 m/s	0,160
Linearität / Lack-of-fit	u_{lof} 0,28 m/s	0,026
Nullpunktdrift aus Feldtest	$u_{d,z}$ -0,16 m/s	0,009
Referenzpunktdrift aus Feldtest	$u_{d,s}$ -0,16 m/s	0,009
Einfluss der Umgebungstemperatur am Referenzpunkt	u_t 0,02 m/s	0,000
Einfluss der Netzspannung	u_v -0,06 m/s	0,001

* der größere der Werte: "Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt" oder "Standardabweichung aus Doppelbestimmungen"

kombinierte Standardunsicherheit (u_c)	$u_c = \sqrt{\sum (u_{max,j})^2}$	0,452
erweiterte Unsicherheit	$U = u_c * k = u_c * 1,96$	0,886
relative erweiterte Messunsicherheit	U in % vom Messbereich 20 m/s	4,4
Anforderung	U in % vom Messbereich 20 m/s	7,5

Ergebnis: Anforderung nach DIN EN 15267- 3 eingehalten --> QAL1 bestanden

Achtung: Für diese Komponente sind keine Anforderungen in den EG-Richtlinien 2001/80/EG und 2000/76/EG enthalten.

Bilag 3



Resume fra møde mellem affald danmark. RENOSAM og Energistyrelsen og GeertiCon d. 20. sep. 2012

Annemette Geertinger

From: Hanne Johnsen <hjo@affalddanmark.dk>
Sent: 20. september 2012 16:26
To: Allan Kjersgaard; mb@avv.dk; Peter Valsøe; Berit Nielsen; Birgit Friis; fs@renosyd.dk; niels.christian.hansen@svendborg.dk; dj@ostdeponi.dk; Karsten Daugaard; hada@tas-is.dk; kench@dongenergy.dk; louth@dongenergy.dk; flema@dongenergy.dk; lm@hammelfjernvarme.dk; Jan Clement; bst@aarsfjv.dk; Kim Crillesen (KC); jst@amfor.dk; jbj@amfor.dk; tl@reno-nord.dk; keep@aarhus.dk; Astrid Kragh; TrineBjerre.Kristiansen@vattenfall.com; Hans Christian Sørensen
Cc: Christian Riber (CTR); Rasmus Zink Sørensen; kfu@force.dk; mwh@weel-sandvig.dk; Annemette Geertinger; tre@force.dk
Subject: Opfølgning på workshop om Overvågningsplaner for affaldsforbrændingsanlæg i CO2-kvoteordningen
Attachments: ABB ACF-NT CO2.pdf; ABB ACF-NT V0309.pdf; Durag D-FL100.pdf; Durag D-FL200.pdf; QAL2 Middelværdi.pdf; SICK Flowsic 100.pdf; SICK Maihak MCS100EHW.pdf

Kære alle

Hermed opsamling fra møde med Energistyrelsen om afklaring vedr. usikkerhedsvurdering for B-anlæg. Her er, hvad vi kan melde ud – i forhold til de emner, som er beskrevet i Kapitel 10 rapporten fra Geerticon. I det hele taget er det OK at anvende den metode, som er beskrevet i rapporten.

Overordnet, så er det jer, der laver en usikkerhedsvurdering på målingen af flow og CO₂, mens usikkerhedsvurderingen på fastsættelsen af den fossile andel af CO₂-udledningen udarbejdes af leverandøren. Begge dele skal ske for hver emissionskilde og angives i punkterne 10 e) i overvågningsplanen, mens selve usikkerhedsvurderingen skal vedlægges overvågningsplanen. I skal også vedlægge en risikovurdering. Der er en kort beskrivelse i de overheads, som Rasmus præsenterede på workshoppen (udsendt tidligere).

I må som udgangspunkt ikke have en beregnet usikkerhed på mere end 7,5%. Det kan mange af jer. Hvis I ikke kan, skal I argumentere for overtrædelsen med at omkostningerne ved at reducere usikkerheden er urimelig – se overheads fra Rasmus fra workshoppen.

Energistyrelsen har sagt OK til:

1. at beregningen af udledningen af fossilt CO₂ foretages efter følgende formel – se afsnit 4.2 side 9 og 10.

$$CO_{2,fossilt\ årstotal} [ton] = F_{fossilt} * \sum_{i=1}^{driftstimer\ p.a.} (CO_{2,i} * Røggasstrøm_i) * 10^{-6} \quad (\text{Formel 10-1})$$

Annemette Geertinger eftersender den endelige formel til jer.

2. at beregningerne foretages for timemiddelværdier med en årsfaktor $F_{fossilt}$ for andelen af fossilt indhold af kulstof i affaldet
3. at anlægsmålere, der følger DS/EN14181 via kalibreringen med en Standard Reference Metode forudsættes ikke have systematiske fejl!
4. at det dokumenterede usikkerhedsniveau U_c fra certificeringen iht. DS/EN15267-3 anvendes til beregning af målerens usikkerhed i overvågningsplanens punkt 9 c). Se markeringen i vedhæftede

certifikater, hvor I finder informationer om Uc. Tallet for usikkerhed, som I skal bruge i overvågningsplanen er den relative usikkerhed som beregnes ved at dividere Uc med den forventede gennemsnitsværdi for den pågældende parameter. Den kan I hente enten fra SRO eller alternativt fra QAL2 testen, hvor I finder den i bilagene – se vedlagte eksempel med markering (beregnet middelværdien af AMS referencetilstand).

Anlæggene bør vurdere usikkerheden på de data, der anvendes til BIOMA eller W&S.Biocarbon metoderne.

Med venlig hilsen
Allan Kjersgaard
Annemette Geertinger
Hanne Johnsen

Fra: Allan Kjersgaard [<mailto:ak@renosam.dk>]

Sendt: 12. september 2012 11:12

Til: mb@avv.dk; Peter Valsøe; Berit Nielsen; Birgit Friis; fs@renosyd.dk; niels.christian.hansen@svendborg.dk; dj@ostdeponi.dk; Karsten Daugaard; hada@tas-is.dk; kench@dongenergy.dk; louth@dongenergy.dk; flema@dongenergy.dk; lm@hammelfjernvarme.dk; Jan Clement; bst@aarsfjv.dk; Kim Crillesen (KC); jst@amfor.dk; jbj@amfor.dk; tl@reno-nord.dk

Cc: Christian Riber (CTR); Rasmus Zink Sørensen; kfu@force.dk; mwh@weel-sandvig.dk; Annemette Geertinger; Hanne Johnsen; tre@force.dk

Emne: Opfølgning på workshop om Overvågningsplaner for affaldsforbrændingsanlæg i CO2-kvoteordningen

Kære CO2-workshop-deltager

Tak for sidst, og som vi håber du/I fik et godt udbytte af.

Som annonceret fremsender vi hermed kopi af det udkast til rapport, som Annemette Geertinger har udført på vegne af en række danske affaldsforbrændingsanlæg, kategoriseret som B i iht. Forordningen. Hvis du har bemærkninger i rapporten, bedes du derfor sende disse til Annemette (ag@Geerticon.dk) med kopi til (ak@renosam.dk og hj@affalddanmark.dk), senest **fredag den 21. september 2012 kl. 15**. Som vi oplyste på mødet i går, vil vi i næste uge (20.9) drøfte en fælles forståelse af rapportens konklusioner med Energistyrelsen.

Vi vedhæfter desuden kopi af de slides og excel-ark, der blev gennemgået på mødet i går. Ny opdateret deltagerliste vedhæftes.

Bemærk venligst at der under gennemgangen af Overvågningsplan med KARANOVEREN fremkom ændringer undervejs i gennemgangen. Disse ændringer er ikke foretaget i vedhæftede. Desuden lovede Energistyrelsen at give anlæggene tilbagemeldinger omkring anlæggets identifikationsnummer med mere.

Udsending af faktura vedr. udredning og/eller deltagelse i workshop følger snarest.

På vegne af
affald danmark og RenoSam

Hanne Johnsen og Allan Kjersgaard