

**Bestemmelse af koncentrationer af gasformige komponenter i strømmende gas med FTIR**

Parameter	Mange forskellige gasformige komponenter (udvalgte komponenter: H ₂ O, CO ₂ , CO, N ₂ O, NO, NO ₂ , SO ₂ , NH ₃ , HCl, HF og CH ₄)
Anvendelsesområde	Måling med FTIR i luftemissioner fra virksomheder
Metode	Kontinuert bestemmelse med FTIR (Fourier transform infrarød spektroskopi)
Referencer	TC 264 WI 00264151:2018 (erstattes af nyeste version) /1/
Først udgivet år	Når standarden udkommer i 2019
Revideret år	2018

Høringsversion

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	3
2	Metodebladernes status, indhold og form	3
2.1	Samspil mellem standarder, metodeliste og akkreditering	3
2.1.1	Standarder	3
2.1.2	Metodeliste	4
2.1.3	Metodeblade	4
2.1.4	Akkreditering	4
2.2	Generelt	5
3	Anvendelsesområde	5
3.1	Måleområde	6
3.2	Begrænsninger	6
4	Målemetode	6
4.1	Prøvetagning	6
4.2	Måleprincip	7
5	Udstyr	7
5.1	Prøvetagning	7
5.2	Analyse	8
6	Fremgangsmåde ved måling i felten	8
6.1	Opvarmning	8
6.2	Kontrol eller spankalibrering af analysatoren	9
6.2.1	Kontrol af analysatorens nulpunkt	9
6.2.2	Kontrolgasmetoden eller spankalibreringsmetoden	9
6.2.2.1	Kontrolgasmetoden	9
6.2.2.2	Spankalibreringsmetoden	10
6.2.2.3	Generelt	10
6.3	Krav til kontrolgasser og spankalibreringsgasser	10
6.3.1	Kontrolgasser	10
6.3.2	Spankalibreringsgasser	12
6.4	Justering og kontrol af prøvetagningssystem før måling	12
6.5	Måling	13
7	Kvalitetssikring i felten og ved årlig kontrol	14
7.1	Responstidstest	15
7.2	Residualtest	15

7.3	Linearitetstest	16
7.4	Årlig kalibrering med kontrolgasmeteret	16
8	Databehandling	16
8.1	Nul- og spanpunktsdrift	16
8.2	Korrektion for analysatordrift	16
8.3	Omregning mellem ppm og mg/m ³ (n)	17
8.4	Korrektion af gaskoncentrationer for vandindhold og reference-O ₂	17
8.5	Residualtest	18
9	Usikkerhed	19
10	Rapportering	19
11	Modifikationer	20
12	Referencer	21

1 Indledning

Historik for metodebladet:

Udgave	Årstal (evt. måned)	Væsentlige ændringer siden sidste version
1. udgave	12-2018	Nyt metodeblad

Metodebladet referer til TC 264 WI 00264151 /1/, der forventes udkommet i 2019. TC 264 WI 00264151 er en Teknisk Specifikation, som er en forløber for en CEN-standard. Dette metodeblad udgives når den tekniske specifikation er udkommet.

2 Metodebladenes status, indhold og form

Metodebladet er målrettet målefirmaer og andre med specialinteresse for målinger og giver information på dansk om, hvordan målingerne skal udføres og hvilke særlige forholdsregler og modifikationer, der kan forekomme efter danske forhold. Formålet er at sikre ensartede analyseresultater samt at oplyse om særlige forhold, hvor modifikationer eller andre forholdsregler kan være påkrævet.

2.1 Samspil mellem standarder, metodeliste og akkreditering

I Referencelaboratoriets notat fra 2018 "Samspil mellem metodeliste, metodeblade, standarder og akkreditering", der kan findes på www.ref-lab.dk redegøres der i detaljer for systemets opbygning. Det følgende er en sammenfatning af notatet:

2.1.1 Standarder

Der foreligger CEN-standarder for næsten alle almindeligt forekommende måleparametre; for måleparametre som ikke har en CEN-standard findes der i de fleste tilfælde ISO-standarder eller nationale standarder.

2.1.2 Metodeliste

Miljøstyrelsens metodehåndbog anfører hvilke standarder, der skal måles efter ved emissionsmålinger i Danmark. Metodelisten vedligeholdes og opdateres af Referencelaboratoriet og kan findes på www.ref-lab.dk.

2.1.3 Metodeblade

Metodebladene indeholder en beskrivelse på dansk af, hvordan målingerne skal udføres. Metodebladene beskriver udvalgte emner fra standarden og er ikke en fuldstændig afskrift af standarden. Der kan endvidere være tilføjet noget i metodebladet, som standarden ikke dækker, men som er vurderet relevant for emissionsmålinger i Danmark.

Metodebladene revideres, når der udkommer en ny standard eller, når eksisterende standarder revideres. Endvidere kan der som følge af tilbagemeldinger fra emissionslaboratorier eller på baggrund af resultater fra præstationsprøvninger gennemføres en revision af et metodeblad. Det er Referencelaboratoriets følge-gruppe, der prioriterer revision af metodebladene. Det kan således godt forekomme, at metodeblade ikke revideres umiddelbart efter, at standarden er revideret.

2.1.4 Akkreditering

Luftvejledningen /3/ anfører, at egenkontrol ved eksterne laboratorier bør udføres som akkrediterede målinger. DANAK akkrediterer på luftemissionsområdet i henhold til standarder og metodeblade, idet standarden skal følges, og de modifikationer og tilføjelser, der fremgår af metodebladet, bør følges af danske laboratorier.

I flere bekendtgørelser, bl.a. standardvilkårsbekendtgørelsen, refereres til at målinger skal ske i henhold til metodeblade (ikke standarder) og med mulighed for at anvende *internationale standarder med mindst samme analysepræcision og usikkerhedsniveau*. Med denne sætning er det således tilladt at benytte den standard som metodebladet refererer til uden at følge de modifikationer/tolkninger, der er anført i metodebladet. Man kan også anvende andre internationale standarder med samme analysepræcision og usikkerhedsniveau.

Praksis i Danmark, når danske, akkrediterede laboratorier udfører emissionsmålinger, er at følge standarden med de modifikationer, der er nævnt i metodebladet.

Ved nye udgaver af standarder, hvor metodebladet ikke er revideret:

ISO 17025 /4/ anfører, at et akkrediteret laboratorium skal sikre, at den gældende udgave af en standard anvendes. Det betyder i praksis, at et laboratorium hurtigst muligt skal referere til den nyeste udgave af en standard uanset, om det tilknyttede metodeblad er revideret.

Det er op til det enkelte laboratorium at tage stilling til hvordan en evt. konflikt mellem den reviderede standard og det ikke reviderede metodeblad håndteres, men som udgangspunkt bør standarden have forrang for metodebladet.

Ved nye udgaver af metodebladet, hvor standarden endnu ikke er udgivet:

Reviderede standarder:

- Der refereres til den gamle standard med det ny metodeblads modifikationer, indtil standarden udkommer. Herefter refereres der til den nye standard med det nye metodeblads modifikationer.
- Hvis der foreligger en prEN eller en ISO/DIS kan der søges akkreditering til den, hvis nødvendigt.

Ny standard og nyt metodeblad (dvs. i modsætning til en revideret standard):

- Hvis laboratoriet er akkrediteret til parameteren med en alternativ reference, så fortsættes der med denne reference, indtil den nye standard udkommer. Modifikationer i forhold til standarden i metodebladet bør implementeres i det omfang, de giver mening i relation til den alternative reference. Hvis laboratoriet ikke er akkrediteret til parameteren, må laboratoriet vente, til standarden udkommer, før laboratoriet kan opnå en akkreditering. Metodebladet og den teknisk færdige standard kan dog bruges til at forberede akkrediteringsprocessen. Så snart, der foreligger en prEN eller en ISO/DIS-version af en standard, kan der søges akkreditering til den.

2.2 Generelt

Referencelaboratoriet udvælger i samarbejde med Miljøstyrelsen metodeblade til granskning hvert år. Brugere af metodebladene er velkomne til at kontakte Referencelaboratoriet, hvis de bliver opmærksomme på behov for ændringer.

Alle modifikationer i forhold til standarden inklusiv deres mulige indvirkning på måleresultatet vil fremgå af kapitlet "Modifikationer" sidst i metodebladet. Samme sted vil der være reference til det sted i standarden, som er modificeret.

Fortolkninger af standardens tekst, supplementer til standarden eller vejledninger i brug af standarden bliver ikke nævnt under "Modifikationer", men vil i nødvendigt omfang blive anført i boks:

Information / Supplementer / Eksempler:

I metodebladet benyttes generelt en boks som denne. Boksene er nummererede, så der kan henvises til dem.

Der henvises endvidere til metodebladet MEL-22 Kvalitet i emissionsmålinger /7/.

3 Anvendelsesområde

Dette metodeblad beskriver måling af koncentrationer af mange forskellige gasformige komponenter fra afkast med strømmende gasser. Med afkast menes her skorstene, ventilationsafkast eller kanaler, gennem hvilke der udsendes varm eller kold gas til atmosfæren.

Målemetoden omfatter ekstraktiv Fourier transform infrarød spektroskopi (FTIR).

For dette metodeblad er der taget udgangspunkt i følgende komponenter, der kan måles med FTIR, men listen kan udvides: H₂O, CO₂, CO, N₂O, NO, NO₂, SO₂, NH₃, HCl, HF og CH₄.

FTIR kan ikke bestemme koncentrationen af symmetriske molekyler, der ikke ændrer deres dipolmoment ved molekylevibration. Dette skyldes, at disse vibrationstyper ikke er aktive i det infrarøde bølgeområde. Som eksempel kan nævnes O₂ og Cl₂. Det forekommer dog, at FTIR-analysatorer har en indbygget O₂-måler. Der henvises til MEL-05, "Bestemmelse af koncentrationer af ilt (O₂) i strømmende gas" for yderligere information /2/.

Målemetoden, der er beskrevet i dette metodeblad kan anvendes som alternativ metode (AM) til standardreferencemetoden (SRM). Standarden kræver, at udstyret skal opfylde kravene i EN 15267-4 /10/ samt demonstrere ækvivalens til SRM jf. EN 14793 /5/, via et uafhængigt testlaboratorium, der er akkrediteret til at udføre denne type test.

Modifikation

FTIR-målere der er indkøbt før EN 15267-4 udkom første gang (2017) kan anvendes til fx præstationskontrol og parallelmålinger ved QAL2/AST i henhold til MEL-16 Kvalitetssikring af AMS /8/.

3.1 Måleområde

Måleområdet skal afstemmes med formålet af målingen.

Det aktuelle øvre måleområde bør være stort nok til at dække højest forekommende koncentration og mindst 1,5 gange grænseværdien.

Det aktuelle nedre måleområde afgrænses af detektionsgrænsen, som maksimalt bør være 10% af grænseværdien. Detektionsgrænse defineres i henhold til appendiks B.3 i standarden. Såfremt den pågældende analysator kan operere med måleværdier på begge sider af nul anvendes metode A (appendiks B.3.2 i standarden), hvor den nedre detektionsgrænse bestemmes ud fra gentagende målinger ved nul. Hvis analysatoren derimod opererer med en grænse for, hvornår målesignalet kan adskilles fra baggrundstøjen og herefter tvinges til nul, anvendes metode B (appendiks B.3.3 i standarden).

Modifikation

I stil med afskæringsmuligheden i MEL-16 /8/ kan perioder over det øvre måleområde i maksimalt 2% af en måleperiode for en enkelt måling (fx 60 minutter) accepteres, såfremt:

- midlingstiden for dataloggeren er maksimalt 60 sekunder¹ og
- der som måleresultat i perioden benyttes værdier FTIR'ens output værdier uden for det certificerede eller akkrediterede måleområde.

Såfremt 2%'s reglen kan overholdes så kan resultatet rapporteres uden yderligere bemærkninger.

3.2 Begrænsninger

En række interferenser er mulige ved FTIR måling. Forskellige analysemodellers evne til at håndtere interferenser er forskellige. Især H₂O, men også CO₂, der ofte forekommer i store mængder i røggassen, vil være repræsenteret i store dele af det målte IR-spektrum. Disse komponenter vil potentielt interferere med mange andre af de komponenter, der skal analyses.

4 Målemetode

4.1 Prøvetagning

Gassen filtreres i et filter (ved outstack opvarmet) og ledes gennem en varm prøvetagningslange frem til den opvarmede analysator.

¹ Afskæring af AMS data sker på FLD-niveau (First Level Data), som er maksimalt 60 sekunder.

4.2 Måleprincip

Polykromatisk lys, som dækker IR området, sendes gennem målecellen. Hver IR-aktive gaskomponent, der er tilstede i målecellen, vil absorbere strålingen i en serie af karakteristiske bølgelængder, som muliggør identifikation. Dæmpningen af lyset (absorbansen) giver information om koncentrationen af komponenten (Lambert Beer's lov). FTIR kan måle en lang række komponenter bortset fra molekyler, som ikke udviser dipolære forandringer ved vibration (fx O₂ og Cl₂). En lang række interferenser er mulige inden for spektret og den analytiske model i analysatoren (normalt et PC-program) skal tage højde for alle interferenser, når koncentrationen af de forskellige gasser skal beregnes ud fra det målte IR-spektrum.

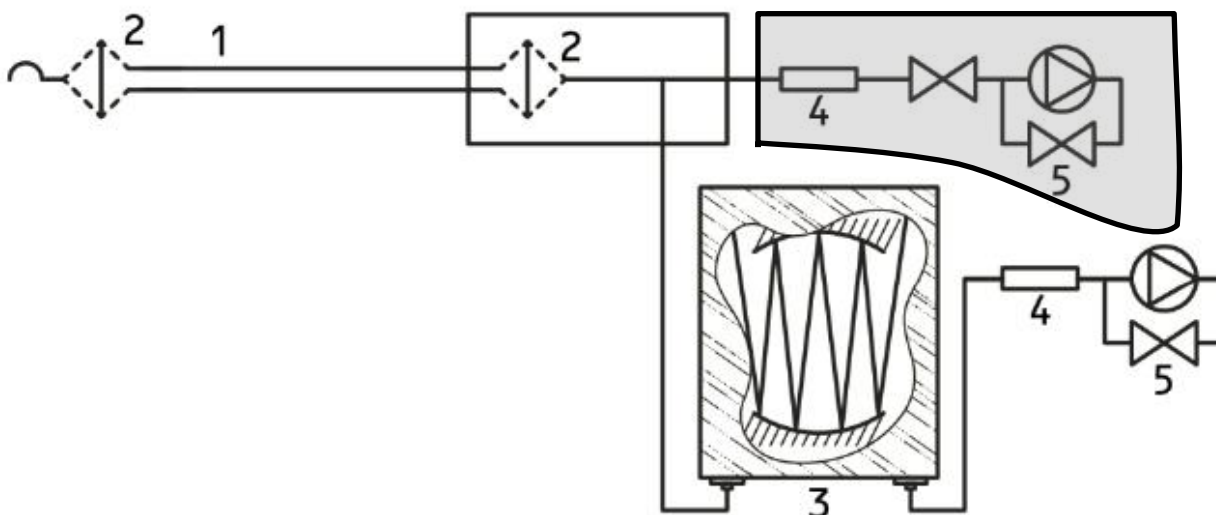
Analysen foretages on-site med en analysator, der måler efter FTIR-princippet. Den målte koncentration af komponenterne registreres kontinuert på en computer eller direkte i analysatoren.

Information

Det er vigtigt at kende temperaturer og tryk i målecellen, da de målte gaskoncentrationen er direkte afhænger af disse parametre. Fx vil et højere tryk eller lavere temperatur end specificeret for udstyret, betyde at der vil være flere molekyler pr. volumenenhed i målecellen og derved vil koncentrationen i gassen fremstå højere end den reelle koncentration.

5 Udstyr

5.1 Prøvetagning



1 Opvarmet sonde	4 Tørremiddel (frivillig)
2 Opvarmet filter (In-stack og out-stack)	5 Pumpe (kan være integreret i FTIR analysatoren eller udtagsystemet)
3 Opvarmet FTIR analysator	

Figur 1. Skitse af prøvetagningsopstillinger ved split-flow. Direkte sampling foregår ved at udelade det ene sæt tørreenhed og pumpe (markeret med gråt). Pumpen kan placeres foran eller efter analysatoren.

Følgende udstyr anvendes (sonderør, filter og slanger frem til analysatoren skal opvarmes til minimum 160°C):

- Sonderør i passende korrosionsbestandigt materiale³ og i passende længde i forhold til kanalen/skorstenen.
- Partikelfilter af inert materiale².
- Prøveslanger i passende inert og korrosionsbestandigt materiale³.
- Korrosionsbestandig gastæt pumpe med en tilstrækkelig kapacitet til at transportere prøvegasen gennem målesystemet med en sådan hastighed, at responstiden minimeres (er evt. indbygget i analysatoren). Skal kunne reguleres/fastindstilles så den passer til målecellens specificerede krav til tryk.
- Nulgas (syntetisk luft eller N₂), akkrediteret eller certificeret kontrol- eller kalibreringsgas.

5.2 Analyse

Følgende udstyr skal anvendes:

- Analysatoren skal være baseret på FTIR analyseprincippet for kontinuert bestemmelse af koncentrationer af flere komponenter i prøvegasen. Analysatoren skal opfylde specifikationer jf. EN 15267-4:2017. Denne information indhentes fra instrumentleverandøren eller producenten af udstyret. Dette forhold gælder dog kun for analysatorer, som indkøbes efter standardens udgivelsesdato.
- Dataopsamling. Dataopsamlingen udføres af den tilhørende computer. Tidsopløsningen i dataopsamlingen skal tilpasses opgaven og målesystemets responstid. Generelt bør der lagres mindst en (middel)værdi pr. 60 sekunder.

6 Fremgangsmåde ved måling i felten

6.1 Opvarmning

Hele målesystemet samles som beskrevet i producentens instruktioner.

Sonde, filter, varmeslanger og analysator stabiliseres på de ønskede temperaturer. Ingen steder i udtagsystemet må prøvningsgasen som udgangspunkt komme under 160°C. Det er dog muligt ifølge standarden at anvende en gaskonditioneringsenhed i udtagsystemet. Konditioneringsystemet skal opfylde alle krav til udtagsystemet (fx materialevalg og responstid) bortset fra en minimumskravet til temperaturen.

Information

Såfremt der ikke er behov for at måle koncentrationen af vandopløselige gasser (fx NO₂, SO₂, HCl, HF og NH₃) kan man med fordel placere en konditioneringsenhed foran analysatoren og herved kun måle de gasser, der ikke er vandopløselige (fx CO₂, CO, NO eller CH₄). Dette kan være en fordel, da et højt vandindhold giver betydende interferens på visse komponenter i lavt niveau (eksempelvis NO).

Målecellen i analysatoren skal være mindst 180°C, med mindre det er i konflikt med udstyrets godkendelse i henhold til EN 15267-4. Såfremt dette er tilfældet anvendes den temperatur som er anvendt i henhold til EN 15267-4.

² fx. keramisk materiale, sintermetal eller lign. En porestørrelse på 3 µm er tilstrækkeligt i de fleste situationer. Et sekundært filter med en porestørrelse på 0,1-1 µm kan anbefales til at beskytte målecellen.

³ fx. PTFE eller rustfrit stål.

6.2 Kontrol eller spankalibrering af analysatoren

Der findes to fremgangsmåder til kontrol og kalibrering af analysatoren; kontrolgasmetoden og spankalibreringsmetoden:

- Kontrolgasmetoden (se afsnit 6.2.2.1):
 - Årlig kalibrering, kontrol og service af analysatoren, med certificerede gasser. Dette gælder for samtlige gaskomponenter, der ønskes analyseret.
 - Feltkontrol: Nulpunkts-tjek samt kontrol af analysatoren med kontrolgasser
- Spankalibreringsmetoden (se afsnit 6.2.2.2):
 - Årlig kontrol og service af analysatoren.
 - Feltkontrol og kalibrering: Nulpunkts-tjek samt kalibrering af analysator med en spangas ved hver feltmåling. Dette gælder for samtlige gaskomponenter, der ønskes analyseret.

Det enkelte laboratorium skal vælge, hvilken fremgangsmåde de vil anvende mellem den årlige kontrol. Det er som udgangspunkt ikke muligt at skifte metode i perioden mellem de årlige kontroller. Et skift af metode skal ske ved den årlige kontrol.

Modifikation

Såfremt laboratoriet ønsker at skifte metode undervejs i perioden kræves det, at der foretages en ny kalibrering, kontrol, service af udstyret, herunder kontrol af hele udtagssystemet.

6.2.1 Kontrol af analysatorens nulpunkt

Kontrol af analysatoren nulpunkt udføres uanset om kontrolgasmetoden eller spankalibreringsmetoden er valgt. Nulgas (fx syntetisk luft ($O_2 + N_2$) eller nitrogen, der ikke indeholder andre gaskomponenter i koncentrationer, der kan interferere og forstyrre målingen) tilføres analysatoren direkte uden om prøvetagningssystemet. Der foretages mindst 10 aflæsninger af 1 minuts varighed. Det sikres, at analysatoren viser $\leq 2\%$ af det certificerede måleområde på alle de parametre, der skal analyseres. I praksis bør analysatoren dog vise nul på alle parametre. Juster analysatoren, hvis der er behov for dette og kontroller, at nulpunktet ikke flytter sig umiddelbart efter justeringen er foretaget. Hvis dette er tilfældet gentages proceduren.

Efter kontrol med nulgas direkte gennem analysatoren, tilføres nulgas gennem hele prøvetagningsystemet og frem til analysatoren. Det sikres, at analysatoren viser $\leq 2\%$ af det certificerede måleområde på alle de parametre, der skal analyseres.

6.2.2 Kontrolgasmetoden eller spankalibreringsmetoden

6.2.2.1 Kontrolgasmetoden

Kontrolgasmetoden baserer sig på en årlig kalibrering af analysatoren, med certificerede gasser for hver af de enkelte komponenter man ønsker at kunne analysere. Den udvidede usikkerhed på den certificerede gas må maksimalt være $\pm 2\%$.

Ved den efterfølgende måling i felten foretages ingen felt-kalibrering, men kun en kontrol af analysatoren ved hjælp af certificerede gasser. Den udvidede usikkerhed på den certificerede gas må maksimalt være $\pm 2\%$. Såfremt der ikke kan skaffes en kommercielt tilgængelige certificeret gas er der i standarden mulighed for at anvende, ud fra testlaboratoriets vurdering, det bedst mulige alternativ. Valg af kontrolgasser er beskrevet i afsnit 6.3.

Testlaboratoriet skal kunne dokumentere en procedure for hvordan kontrollen foretages, herunder

- hvilke gasser der anvendes
- hvorfor disse gasser anvendes
- hvordan resultatet tolkes
- frekvensen for kontrollen

Ved måling i felten tilføres kontrolgas til analysatoren gennem hele prøvetagssystemet. Det sikres, at der er sammenhæng med kontrolgassernes aktuelle koncentration og den værdi, der opsamles ved hjælp af data-registreringen. Aflæsning på analysatoren må ikke afvige mere 5% fra koncentrationen af den certificerede kontrolgas.

6.2.2.2 Spankalibreringsmetoden

Spankalibreringsmetoden baserer sig på at udstyret kalibreres med en spangas ved hver feltmåling. Dette gælder for samtlige gaskomponenter, der ønskes analyseret. Som spangas anvendes certificerede gasser. Den udvidede usikkerhed på den certificerede gas må maksimalt være $\pm 2\%$. Såfremt der ikke kan skaffes en kommercielt tilgængelig certificeret gas er der i standarden mulighed for at anvende, ud fra testlaboratoriets vurdering, bedst mulige alternativ. Yderligere krav til spangasser er beskrevet i afsnit 6.3.

Ved måling i felten foretages føres en nulpunktskalibrering af analysatoren (se afsnit 6.2.1). Herefter tilføres hver enkelt spankalibreringsgas til analysatoren. Analysatoren justeres til den koncentration, der er anført på certifikatet på gassen. Herefter tilføres nulgas påny igennem analysatoren og aflæsningsværdierne for de enkelte gasparametre må ikke afvige mere 2 gange repeterbarheden ved den førnævnte kalibrering med nulgas (se afsnit 6.2.1).

6.2.2.3 Generelt

Standarden foreskriver, at kontrol- eller spankalibreringsgassen kan tilføres direkte ind i analysatoren uden om prøvetagningssystemet. Dette er ikke hensigtsmæssigt, såfremt gassen ikke når samme temperatur som i målecellen. I sådanne tilfælde er der behov for at forvarme gassen inden den tilføres til analysatoren. Det anbefales dog altid at tilføre kontrolgassen til analysatoren gennem hele prøvetagssystemet, da det giver en større sikkerhed for at hele systemet fungerer, og der ikke er lækager eller tab (kondensering, absorbering mm.) i selve prøvetagningssystemet.

6.3 Krav til kontrolgasser og spankalibreringsgasser

6.3.1 Kontrolgasser

Ved kontrolgasmetoden skal der anvendes et sæt certificerede kontrolgasser til at validere om systemet fortsat måler korrekt. I standarden er det muligt at vælge at kontrollere samtlige gaskomponenter enkeltvist eller ved at anvende en multikomponent kontrolgas. Herudover skal der altid anvendes nulgas (se afsnit 6.2.1)

Baggrunden for at anvende en multikomponent kontrolgas frem for en række enkelgasser skyldes først og fremmest, at det er en nemmere og billigere løsning, der ikke influerer negativt på måleresultatet. Desuden vil man, alt afhængig af sammensætningen kunne kontrollere enkelte interferenser mellem de forskellige gaskomponenter. I praksis vil kontrolgassen bestå af nogle af de samme gasser, der optræder i røggasser.

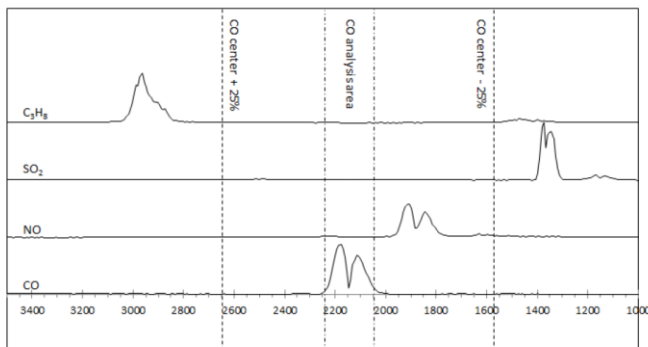
Ved brug af en multikomponent kontrolgas er det muligt at kontrollere at analysatoren fortsat måler korrekt ved de forskellige bølgeområder, der omfatter de analytiske vinduer. Kriterierne for udvælgelsen af gasser til multikomponent kontrolgassen er:

- For hver gaskomponent, der ønskes målt skal kontrolgassen indeholde en gas, der har en absorptions-top der ligger inden for $\pm 25\%$ af det analytiske vindue for den pågældende gas. Den pågældende absorptions-peak i det analytiske vindue skal have en intensitet, der er mindst 10 gange detektionsgrænsen for testgassen.
- Kontrolgassen skal indeholde mindst en gaskomponent, der optræder med den peak-bredde (full width half height), som svarer til den gaskomponent i røggassen, der ønskes analyseret for, der har den smalleste peak-bredde.
- Koncentrationen af de enkelte gaskomponenter i kontrolgassen må ikke overstige 3 gange ELV. Ideelt set skal de enkelte gaskomponenter i kontrolgassen være i samme størrelsesorden som ELV.
- Usikkerheden på de enkelte gaskomponenter i kontrolgassen må ikke overstige 2%. Såfremt der ikke kan skaffes en kommercielt tilgængelig certificeret gas er der i standarden mulighed for at anvende, ud fra testlaboratoriets vurdering, bedst mulige alternativ.

Standarden gør det også muligt at kontrollere systemet ved at anvende en våd testgas. Referencevæsken skal være udstedt af et laboratorium, der er akkrediteret efter EN 17025.

Eksempel

Som eksempel for valg af gaskomponenter i kontrolgassen kan nævnes CO. Nogle analysatorer benytter et analytiske vindue på $2200 - 2000 \text{ cm}^{-1}$ for CO. Ved at udvide vinduet med $\pm 25\%$ opnås et kontrolvindue på $2626 - 1575 \text{ cm}^{-1}$. Inden for dette kontrolvindue har NO og N_2O absorptionstoppe. CO kan derfor anvendes til at kontrollere signaldrift og verificering analysatoren for fx CO, NO og N_2O (se afsnit 8). Derimod kan CO ikke anvendes til at kontrollere signaldrift mm for fx SO_2 og C_3H_8 , da disse ligger uden for kontrolvinduet for CO. En tabel over den forskellige mulige kombinationer kan findes i standardens appendiks D.



Figur 2: Central position af CO i det analytiske vindue, set i forhold til andre gasser.

6.3.2 Spankalibreringsgasser

Ved spankalibreringsmetoden skal der anvendes et sæt certificerede spangasser til at kalibreret systemet. I standarden er det muligt at anvende en multikomponent kalibreringsgas. Herudover skal der altid anvendes nulgas (se afsnit 6.2.1). Kravet til spankalibreringsgasserne er følgende:

- Koncentrationen af de enkelte gaskomponenter i spangassen må ikke overstige 3 gange ELV. Ideelt set skal de enkelte gaskomponenter i spangassen være i samme størrelsesorden som ELV.
- Usikkerheden på de enkelte gaskomponenter i spangassen må ikke overstige 2%. Såfremt der ikke kan skaffes en kommercielt tilgængelig certificeret gas er der i standarden mulighed for at anvende, ud fra testlaboratoriets vurdering, bedst mulige alternativ.

6.4 Justering og kontrol af prøvetagningssystem før måling

Efter endt opvarmning justeres flow gennem prøvetagningssystemet og analysatoren til det flow, der skal anvendes under målingen.

Prøvetagningssystemet tjekkes for lækager, tab samt responstid for gasserne forud for hver måling. Dette gøres ved brug af den mest reaktive gaskomponent, der tænkes analyseret. Gassen skal tilføres hele måle-systemet (prøvetagningssystemet og frem til analysatoren) i felten forud for selve målingen. Tabel 1 viser en rangorden af de forskellige almindelige gasser på baggrund af hvor reaktive de er i forhold til absorption i udtagsystemet.

Tabel 1: Rangorden af gasser i forhold til, hvor reaktive de er i udtagsystemet (mest reaktive øverst).

Rangering	Komponent
1	HCl/HF
2	NH ₃
3	SO ₂
4	NO ₂
5	CO ₂
6	N ₂ O
7	NO
8	CO

Forskellen mellem aflæsning på analysatoren, når spangas eller kontrolgas indføres direkte på måleren og gennem hele udtagsystemet må ikke overstige 2%. Såfremt spangas eller kontrolgas kun tilføres analysatoren gennem hele udtagsystemet (se afsnit 6.2.2.3) kan der set bort fra førnævnte krav på maksimalt 2% afvigelsen. Aflæsning på analysatoren må da ikke afvige mere 5% fra koncentrationen af den certificerede kontrolgas. Det antages at tab i systemet for alle andre gasser er lig med det gastab, der måles med den mest reaktive gas. I praksis vil tabet for de mindre reaktive gasser være mindre end tabet målt med den mest reaktive gas. Standarden gør det også muligt at kontrollere gastab og responstid i systemet ved at anvende en våd testgas.

Information

Som våd testgas kan fx anvendes en vandig opløsning af H₂O og HCl, der fordampes og føres ind gennem sonden til udtagsystemet. Anvendelsen af en våd gas vil ofte betyde, at responstiden for de mest reaktive gasser reduceres. Kontrol af tab, lækager og responstid kan evt. fortages samtidigt med den øvrige kontrol af systemet (se kontrolgasmetoden afsnit 6.2.2 eller spankalibreringsmetoden afsnit 6.2.2.2).

Responstiden må ikke afvige mere end 10% fra responstidstesten fra den årlige laboratorietest. Herudover gælder det, at for NH₃, HCl og HF må responstiden ikke overstige 400 sek., mens den for andre gasser ikke må overstige 200 sek.

Som alternativ metode tillader standarden at der foretages "analytisk spiking" af en testgas parallelt med selve målingen. Dette gøres ved at dosere testgas ind gennem udtagssystemet så tæt på spidsen af sonden som muligt. Blandingsforholdet mellem den spikedede testgas og prøvegassen skal være 1:10 – 9:10. Blandingsforholdet skal bestemmes ved hjælp af en af en kalibreret flowmåler eller ved hjælp af en sporgas, fx O₂.

Koncentrationen af den spikedede testgas skal være mellem ELV⁴ og 3 gange ELV eller 50 – 100% af den målte komponents certificerede måleområde såfremt der ikke findes en ELV for det pågældende stof. Testgassen skal kunne måles i mindst 70% af tiden, hvor der spikes.

6.5 Måling

Prøvetagningen skal planlægges i henhold til DS/EN 15259 /9/ og MEL-22 /7/, med henblik på at sikre at målingen bliver repræsentativ. Standarden anfører, at der skal udføres traverseringsmålinger med mindre der er dokumenteret homogenitet ved en homogenitetstest for måleparameteren eller anden relevant komponent. MEL-22 afsnit 8.4 beskriver hvornår og på hvilke anlæg og for hvilke parametre der skal udføres homogenitetstest.

Der skal ikke traverseres i følgende situationer:

- Målestedet er dokumenteret homogent.
- Der skal ikke udføres homogenitetstest i henhold til MEL-22.

Der skal traverseres i følgende situationer:

- Hvis målestedet er dokumenteret inhomogent.
- Hvis der burde være udført en homogenitetstest på et målested og den ikke er udført.
- Hvis der ellers er mistanke om inhomogenitet.

Sonden placeres i et repræsentativt punkt i kanalen/skorsten, eller der udføres en traverseringsmåling.

Følgende parametre skal vurderes inden målingen påbegyndes:

- Temperatur og tryk i røggaskanalen
- Vandindhold i røggaskanalen, herunder muligheder for dråbedannelse.
- Støvindholdet i røggaskanalen
- Forventet koncentrationer af de enkelte gasser

Det understreges at temperatur aldrig må være under dugpunktet for den målte gas og det anbefales en minimumstemperatur på 180°C igennem hele systemet (udtagssystem og analytator). Bemærkes, at såfremt temperaturen i røggaskanalen er højere end temperaturen i udtagssystemet og/eller målecellen i analytatoren, er der risiko for udkondenseringer i systemet, der potentielt kan forårsage skade på analytatoren og fejl på analyseresultatet.

⁴ ELV: Emission Limit Value eller emissionsgrænseværdi. I forbindelse med parallelmålinger ved QAL2 eller AST (MEL-16 /8/) betyder ELV døgngrænseværdien.

Hvis gaskoncentrationerne overstiger måleområdet for analysatoren skal måleområdet udvides (laboratorie test og evt. udvidelse af akkreditering) eller opsamling ved fortynding af prøvegasen. Sidstnævnte kræver, at fortyndingsforholdet bestemmes og inkluderes i usikkerhedsbudgettet. Bemærk, at der gælder de samme krav til temperatur og materialet i fortyndingssystemet som med resten af udtagsystemet.

Såfremt, der er dråbedannelse i røggaskanalen udføres målingen isokinetisk.

Under målingen skal der opretholdes et konstant flow, og responstiden bør være så kort som mulig. Derfor bør afstanden mellem målested og analysator være så kort som mulig. Bemærk, at kolde samlinger (fx mellem sonde og varmeslange) er specielt kritiske i forhold til bestemmelsen af fx H₂O, NH₃, HCl og HF. Kolde samlinger kan for disse komponenter betyde en væsentligt forøget responstid og/eller underbestemmelse af komponenten.

Hvis intet andet er angivet eller forlangt, tilstræbes det, at der ved præstationskontrol udtages i alt 3 prøver, hvor hver prøve har en varighed på ca. 1 time, som angivet i Luftvejledningen /3/. Ved QAL2 og AST følges reglerne i MEL-16 /8/ og EN 14181 /11/. Der kan i øvrigt være forhold i processen, som berettiger til kortere eller længere prøvetagningstider. Se desuden MEL-22 /7/ for yderligere oplysninger.

7 Kvalitetssikring i felten og ved årlig kontrol

En væsentlig del af kvalitetssikringen foregår i felten. Ud over kontrol og justering på målestedet vedligeholdes analysatoren løbende i henhold til leverandørens anvisninger. Herudover udføres der periodevise kontroller af analysator og konverter som anført i Tabel 1.

Kontrol	Hypighed	Beskrivelse/kriterium
Rens eller skift af partikelfilter ^a ved prøvetagningsindløb og ved indløb til analysator	Forud for hver målekampagne, hvis nødvendigt	Efter leverandørens anvisninger
Regelmæssigt vedligehold af analysatordele	Som foreskrevet af leverandør	Efter leverandørens anvisninger
Test af udtagsystem, herunder responstidstest	Ved hver målekampagne	Som specificeret i afsnit 6.4
Justering af analysatorens nul-punkt	Ved hver målekampagne	Som specificeret i afsnit 6.2
Kontrol eller justering af analysator med spangas	Ved hver målekampagne	Som specificeret i afsnit 6.2
Drift af måledata	Ved hver målekampagne	Som specificeret i afsnit 8.1
Årlig responstidstest	Mindst en gang pr. år for hver komponent og efter ændringer i prøvetagningssystemet samt efter reparation af målesystem.	Som specificeret i afsnit 7.1
Residualtest	Ved hver målekampagne samt mindst en gang pr. år for hver komponent og efter reparation	Som specificeret i afsnit 8.5
Linearitetstest	Mindst en gang pr. år for hver komponent og efter reparation	Som specificeret i afsnit 7.3
Årlig kalibrering eller kalibrerings-validering ^b	Årligt, hvis "kontrolgasmetoden" anvendes. Vandkalibrering skal dog foretages hvert halve år.	Som specificeret i afsnit 6.2 og 7.4
^a Partikelfilteret skal skiftes periodevis afhængig af støvbelastningen. Ved filterskift skal også filterhuset renses. Overbelastning af filteret kan medføre tab af fx NO ₂ ved adsorption på partiklerne og kan medføre øget tryktab i prøvetagningssystemet. ^b Det anbefales at vanddamp kalibreres hver ½ år. For visse målesystemer er årlig gentagelse dog tilstrækkeligt.		

Tabel 1 Oversigt over hyppighed af periodevise kontroller.

7.1 Responstidstest

Responstidstesten udføres ved feltmåling samt mindst en gang pr. år.

Prøvetagningssystemet tjekkes for lækager, tab samt responstid ved at lede gasserne gennem hele det opvarmede system. Tabel 1 viser en rangorden af de forskellige almindelige gasser på baggrund af, hvor reaktive de er i forhold til absorption i udtagsystemet. Aflæsning på analysatoren må ikke afvige mere 5% fra koncentrationen af den certificerede kontrolgas. Forskellen mellem aflæsning på analysatoren, når spangas eller kontrolgas indføres direkte på måleren og gennem hele udtagsystemet må ikke overstige 2%. Såfremt spangas eller kontrolgas kun tilføres analysatoren gennem hele udtagsystemet (se afsnit 6.2.2.3) kan der set bort fra førnævnte krav på maksimalt 2% afvigelsen.

Responstiden må ikke overstige 400 sek. for NH₃, HCl og HF. For alle andre gasser må responstiden ikke overstige 200 sek.

7.2 Residualtest

Residualtesten udføres vil feltmåling samt mindst en gang pr. år for hver komponent og efter reparation. Fremgangsmåden er beskrevet i afsnit 8.5.

7.3 Linearitetstest

Analysatorens linearitet kontrolleres i mindst 5 punkter fordelt over hele måleområdet. Fremgangsmåden for den årlig linearitetstest er beskrevet i standardens appendiks B.5.

7.4 Årlig kalibrering med kontrolgasmethoden

Ved valg af kontrolgasmethoden skal analysatoren kalibreres årligt for hvert hver enkel gaskomponent. Kalibrering af H₂O skal dog foretages mindst én gang hvert halve år. Den udvidede usikkerhed på den certificerede kalibreringsgas må maksimalt være ±2%. Standarden gør det også muligt at kontrollere systemet ved at anvende en våd testgas, herunder fx fordampede væske til H₂O-kalibrering. Referencevæsken skal være udstedt af et laboratorium, der er akkrediteret efter EN 17025.

Kalibreringsproceduren skal kunne dokumenteres og det skal vises, at systemet ikke har undergået en designændring, der betyder at systemet ikke længere lever op til certificering efter EN 15267-4 eller på anden måde har negativ betydning for kvaliteten af målingen.

8 Databehandling

8.1 Nul- og spanpunktsdrift

Det forudsættes i det følgende, at signaldriften er lineært aftagende (eller stigende) under hele måleperioden, og at der anvendes nul-, og kontrol-gasser som foreskrevet (se afsnit 6.2). Signaldriften, d , af den målte værdi under målingen foretages da efter:

$$d = \frac{(c_e - c_s)}{c_s} \cdot 100\%, \quad \text{hvor}$$

c_s = Målte startkoncentration med nulgas og kontrol/kalibreringsgas.

c_e = Målte slutkoncentration med nulgas og kontrol/kalibreringsgas.

Såfremt $d < 2\%$ foretages ingen korrektion. Hvis $2\% \leq d < 5\%$ korrigeres de målt data for signaldrift (se afsnit 8.2). Hvis d afviger mere 5% fra koncentrationen af den certificerede kontrolgas kasseres data.

8.2 Korrektion for analysatordrift

Korrektion for analysatordrift er ifølge standarden ikke påkrævet såfremt signaldriften er $< 2\%$ (se afsnit 8.1). Såfremt der er behov for at korrigere målingerne foretages det efter nedenstående fremgangsmåde:

$$\bar{c}_{korr} = \frac{c_{ma}}{c_m - c_0} \cdot (\bar{c}_{avg} - c_0), \text{ hvor}$$

\bar{c}_{korr} = den målte middelværdi korrigeret for drift af analysatoren under målingen.

c_{ma} = koncentrationen af den aktuelt anvendte kalibreringsgas.

c_m = gennemsnittet af analysatorens visning med kalibreringsgas før og efter måling gennem hele prøvetagningssystemet.

\bar{c}_{avg} = gennemsnittet af alle analysator aflæsninger under målingen.

c_0 = gennemsnittet af analysatorens visning med nulgas før og efter måling.

Det forudsættes, at signaldriften er lineært aftagende (eller stigende) under hele måleperioden, og at der anvendes nul-, og kontrol/span-gasser som foreskrevet.

Ved brug af en multikomponent kontrolgas er det muligt at korrigere analysatordrift for de gasser, hvis pågældende analytiske vindue ligger inden for kontrolgassens kontrolvindue (se afsnit 6.3.1). Dette er muligt selvom de pågældende gasser ikke indgår i kontrolgassen.

Eksempel

Hvis CO er anvendt som kontrolgas, kan evt. signaldrift for denne komponent overføres til NO. CO har et kontrolvindue på $2626 - 1575 \text{ cm}^{-1}$, mens det analytiske vindue for NO $2222 - 2000 \text{ cm}^{-1}$. NO er derfor indeholdt i kontrolvinduet for CO og derfor kan signaldrift for CO overføres til NO.

8.3 Omregning mellem ppm og $\text{mg}/\text{m}^3(\text{n})$

Den målte koncentration af komponenterne udlæses normalt i enheden ppm (vol).

Komponenterne omregnes fra ppm til $\text{mg}/\text{m}^3(\text{n})$ efter:

$$C_{\text{gas}}[\text{mg}/\text{m}^3(\text{n})] = k * C'_{\text{gas}}[\text{ppm}]$$

hvor,

$k =$ Konverteringsfaktor

$C_{\text{gas}} =$ Koncentrationen af den pågældende gaskomponent [$\text{mg}/\text{m}^3(\text{n})$], (273K, 101,3 kPa)

$C'_{\text{gas}} =$ Koncentrationen af den pågældende gaskomponent [ppm]

Konverteringsfaktor (k) for udvalgte komponenter:

CO: 1,25

N_2O : 1,98

NO: 1,34

NO_2 : 2,05

SO_2 : 2,93

NH_3 : 0,772

HCl: 1,64

HF: 0,893

CH_4 : 0,717

8.4 Korrektion af gaskoncentrationer for vandindhold og reference- O_2

En korrektion af den målte gaskoncentration fra våd gas til tør gas udføres efter følgende formel:

$$C_{\text{tør}} = C_{\text{våd}} * \frac{100\%}{100\% - H_m}$$

hvor,

$C_{\text{tør}} =$ Målte koncentration angivet i tør gas

$C_{\text{våd}} =$ Målte koncentration angivet i våd gas

$H_m =$ Målte vandindhold [vol%]

En korrektion af den målte gaskoncentration til en bestemt reference- O_2 udføres efter følgende formel:

$$C_{\text{korr}} = C_m * \frac{21 [\text{vol}\%] - O_{\text{ref,tør}}}{21 [\text{vol}\%] - O_{\text{m,tør}}}$$

hvor,

C_{korr}	=	Korrigerede gaskoncentration
C_m	=	Målte ukorrigerede gaskoncentration
$O_{\text{ref,tør}}$	=	Reference-O ₂ angivet som tør gas [vol%]
$O_{\text{m,tør}}$	=	Målte O ₂ angivet som tør gas [vol%]

8.5 Residualtest

Hver dag under en feltmåling skal et repræsentativt absorptions-spektrum udtages til en residualtest. Testen skal foretages for hvert af de enkelte analysevinduer. Først beregnes residualen for hvert enkelt bølgenummer efter følgende formel:

$$r_i = s_i - \sum_{j=1}^m f_j * R_{ij}$$

hvor,

r_i	=	Residualen for den i'te bølgenummer efter at alle skalerede referencespektre er blevet subtraheret fra det valgt målespektrum
s_i	=	Absorbansen ved det i'te bølgenummer ved udvalgt målespektrum
f_j	=	Forholdet mellem den målte koncentration for det j'te komponent og det tilhørende referencespektrum
R_{ij}	=	Absorbansen ved det i'te bølgenummer for den j'te komponent
m	=	Antallet af komponenter, der skal analyseres

Det antages at den kvantitative beregning af koncentrationerne er baseret på en mindste kvadraters metode ved lineær skalering af referencespektret.

Herefter foretages den egentlige residualkontrol ved hjælp af følgende formel:

$$\delta_j = \frac{\max |r_i|}{\max |s_k|} * 100\%$$

hvor,

$\max r_i $	=	Den maksimale beregnede residualværdi for det j'te komponent i det tilhørende analytiske vindue.
$\max s_k $	=	Den maksimale målte værdi for det j'te komponent i det tilhørende analytiske vindue.
δ_j	=	Indikation for den procentvise afvigelse mellem det målte spektrum og det beregnede spektrum i det analytiske bånd for den j'te komponent.

Hvis $\delta_j \leq 5\%$ antages det i standarden, at der ikke er interfererende komponenter, der ikke er taget højde for i den analytiske model. Hvis $\delta_j > 5\%$ skal data forkastes.

Kravet på $\delta_j \leq 5\%$ kan ikke altid opnås i de tilfælde, hvor der måler tæt på detektionsgrænsen. I de tilfælde kan man eftervise kravet ved at beregne peak-to-peak støjen i residualspektret og vise at det er maksimalt 2x peak-to-peak støj ved måling med nulgas i samme analytiske vindue.

9 Usikkerhed

Rapporten skal altid indeholde en vurdering af usikkerheden på den aktuelle måling. Der tages udgangspunkt i metodens generelt bedst opnåelige usikkerhed, der kan estimeres enten ved hjælp af usikkerhedsbudgetter eller ved parvise målinger. I standardens appendiks C, er beskrevet hvordan usikkerheden beregnes. Der henvises desuden til DS/EN ISO 14956 /6/.

Information

De parameterspecifikke målestandarder (fx EN 14792 for NO_x) stiller krav om maksimale usikkerheder. Herudover stilles der ved parallelmålinger ved QAL2/AST et godhedskrav (i % af ELV) som dækker både usikkerheden på AMS og SRM-metoden. Se endvidere MEL-16 /8/.

Usikkerhedskrav:

Parameter	Godhedsprocent	Fra parameterspecifik standard
CO:	10	6
N ₂ O:	-	-
NO _x :	20	10
SO ₂ :	20	15
NH ₃ :	40*	-
HCl:	40	-
HF:	40	-
CH ₄ :	-	-

* Fra Miljøstyrelsen FAQ for store fyr BREF

Alle usikkerhedsangivelser i dette metodeblad er som ekspanderet usikkerhed⁵.

10 Rapportering

Rapporten udformes som beskrevet i ISO 17025 /4/ og i EN 15259 /9/.

I rapporten skal der refereres til den tekniske standard /1/ samt dette metodeblad. Enhver afvigelse herfra, eller valgfri operationer, skal angives i rapporten.

Hvis det ikke er muligt at få adgang til et egnet målested eller hvis målingerne er udført ved ikke-stabile driftssituationer, som kan lede til en øgning af usikkerheden på måleresultater skal dette anføres i rapporten.

Herudover kræves der følgende i rapporteringen:

- Hvis "kontrolgasmetoden" er anvendt:
 - Detaljer for udvælgelsen af kontrolgasser og demonstration af overensstemmelse med udvælgelseskriterierne (ideelt set i tabelformat)
 - Resultater for test af hver komponent
- Hvis "spankalibreringsmetoden" er anvendt:
 - Detaljer for den anvendte justering af analysatoren
- Resultatet af kontrollen af prøvetagningssystemet
- Resultatet af drift over måleperioden og om der er udført driftskorrektion
- Resultatet af daglige residualtest
- Intervallerne for hvert analytisk vindue (angivet som max/min bølge-nummer), som anvendes af den analytiske model (medmindre den er leverandørbeskyttet)

⁵ k=2 eller 95% konfidensinterval.

Supplement

Foruden standardens krav til rapportering, henvises endvidere til afsnit om rapportering i MEL-22 /7/

11 Modifikationer

Dette metodeblad er udarbejdet med udgangspunkt i TC 264 WI 00264151. Der er foretaget modifikationer på følgende punkter:

- TC 264 WI 00264151: 2018, afsnit 3.1, "Måleområde". I stil med afskæringsmuligheden i MEL-16 /8/ kan perioder over det øvre måleområde i maksimalt 2% af en måleperiode for en enkelt måling (fx 60 minutter) accepteres, såfremt midlingstiden for dataloggeren er maksimalt 60 sekunder⁶ og der som måleresultat i perioden benyttes FTIR'ens output værdier uden for det certificerede eller akkrediterede måleområde. Såfremt 2%'s reglen kan overholdes så kan resultatet rapporteres uden yderligere bemærkninger.
- TC 264 WI 00264151: 2018, afsnit 6, "Sampling system". Man kan med fordel placere en konditioneringsenhed foran analysatoren og herved kun måle de gasser, der ikke er vandopløselige (fx CO₂, CO, NO) Dette kan være en fordel, da et højt vandindhold giver betydende interferens på visse komponenter i lavt niveau (eksempelvis NO). Denne modifikation vil ikke influere negativt på kvaliteten af målingen af de ikke-vandopløselige komponenter.
- TC 264 WI 00264151: 2018, afsnit 7.1, "Measured components covered by SRM". FTIR-målere, der er indkøbt før EN 15267-4 udkom første gang (2017) kan anvendes til fx præstationskontrol og parallelmålinger ved QAL2/AST i henhold til MEL-16 Kvalitetssikring af AMS /8/. Denne modifikation vil ikke influere negativt på kvaliteten af målingen.
- TC 264 WI 00264151: 2018, afsnit 8.4.1, "General". Såfremt laboratoriet ønsker at skifte metode undervejs i perioden kræver det at man fortager en ny kalibrering, kontrol, service af udstyret, herunder kontrol af hele udtagsystemet. Denne modifikation vil ikke influere negativt på kvaliteten af målingen.

⁶ Afskæring af AMS data sker på FLD-niveau (First Level Data), som er maksimalt 60 sekunder.

12 Referencer

- /1/ TC 264 WI 00264151:2018. Stationary Source Emissions — Determination of mass concentration of multiple gaseous species — Fourier transform infrared spectroscopy.
- /2/ MEL-05 Bestemmelse af koncentrationer af ilt (O₂) i strømmende gas
- /3/ Miljøstyrelsens vejledning nr. 2, 2001 Luftvejledningen, Begrænsning af luftforurening fra virksomheder.
- /4/ DS/EN ISO/IEC 17025: 2005 Generelle krav til prøvetagnings- og kalibreringslaboratoriers kompetence.
- /5/ EN 14793: 2017 Stationary Source Emissions — Demonstration of equivalence of an alternative method with a reference method.
- /6/ DS/EN ISO 14956: 2002 Air Quality - Evaluation of the suitability of a measurement method by comparison with a stated measurement uncertainty.
- /7/ MEL-22 Kvalitet i emissionsmålinger (www.ref-lab.dk).
- /8/ MEL-16 Kvalitetssikring af AMS (www-ref-lab.dk).
- /9/ DS/EN 15259: 2007. Air quality – Measurement of stationary source emissions – Requirements for measurement sections and sites for and for the measurement objective, plan and report.
- /10/ EN 15267-4: 2017 Air quality - Certification of automated measuring systems - Part 4: Performance criteria and test procedures for automated measuring systems for periodic measurements of emissions from stationary sources
- /11/ EN 14181: 2014. Emissioner fra stationære kilder - Kvalitetssikring af automatiske målere.