

Bestemmelse af koncentrationer af vanddamp (H₂O) i strømmende gas (gravimetrisk metode)

Parameter	Vanddamp, H ₂ O
Anvendelsesområde	Måling af H ₂ O i luftemissioner fra virksomheder
Metode	Primær metode: gravimetrisk bestemmelse Sekundær metode: temperaturmetode (vanddampmættet gas).
Referencer	EN 14790: 2017 /1/
Udgaver	2022 – 2025/11

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	2
2	Metodebladenes status, indhold og form	2
2.1	Samspil mellem standarder, metodeliste og akkreditering	2
2.1.1	Standarder	2
2.1.2	Metodeliste	2
2.1.3	Metodeblade	3
2.1.4	Akkreditering	3
2.2	Generelt	4
3	Anvendelsesområde	4
3.1	Måleområde	6
3.2	Begrænsninger	6
4	Måleprincip	7
4.1	Primær metode, gravimetrisk metode / volumenbestemmelsesmetode	7
4.2	Sekundær metode, temperaturmetode	7
5	Planlægning	7
6	Udstyr	8
6.1	Primær metode, gravimetrisk metode / volumenbestemmelsesmetode	8
6.1.1	Prøvetagning, gravimetrisk metode / volumenbestemmelsesmetode	9
6.1.2	Analyse, gravimetrisk metode	9
6.2	Sekundær metode, temperaturmetode	9
6.2.1	Prøvetagning, temperaturmetode	9
7	Fremgangsmåde ved måling i felten	10
7.1	Primær metode, gravimetrisk metode / volumenbestemmelsesmetode	10
7.2	Sekundær metode, temperaturmetode	10

7.3 Måling i overmættet gas med dråber	10
8 Kvalitetssikring i felten og ved årlig kontrol	11
9 Beregninger	12
10 Usikkerhed	13
11 Rapportering	13
12 Modifikationer	14
13 Referencer	14

1 Indledning

Historik for metodebladet:

Udgave	Årstal (evt. måned)	Væsentlige ændringer siden sidste version
1. udgave	2020	Nyt metodeblad
2. udgave	11-2025	Diverse præciseringer vedr. anvendelsesområde i afsnit 3, herunder en infoboks dråbers indflydelse på resultatet af måling af andre parametre.

Metodebladet referer til EN 14790: 2017 /1/.

2 Metodebladens 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 (afsnit 2.1.1 til 2.1.4):

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 benyttes 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 følgegruppe, 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 /2/ 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 /3/ 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. Hvis laboratoriet ikke er akkrediteret til parameteren, kan laboratoriet søge akkreditering til metodebladet og den teknisk færdige standard.

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 inklusive 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. Modifikationer nævnes også relevante steder i teksten i en boks:

Modifikation:

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

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 bokse:

Information / Supplement / Eksempel:

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

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

3 Anvendelsesområde

Dette metodeblad beskriver måling af emissioner af vanddamp (H₂O) til luften fra afkast med strømmende gasser. Med afkast menes her skorstene, ventilationsafkast eller kanaler, gennem hvilke der udsendes varm eller kold gas til atmosfæren.

Den primære målemetode er gravimetrisk bestemmelse og den sekundære målemetode er bestemmelse af vanddampindhold i vandmættet gas ud fra temperatur i gassen. Herudover nævnes/beskrives også metoder til:

- Måling med psykrometer (vådt/tørt termometer).
- Støkiometrisk beregning.
- Måling af dråber i overmættet gas.

Målemetoden, der er beskrevet i dette metodeblad, er defineret som en standard reference metode (SRM), hvilket betyder, at metoden skal benyttes ved vanddampmålinger i forbindelse med præstationskontrol og parallelmålinger ved QAL2/AST mm.

Bemærk at standarden angiver, at den primære metode ikke er velegnet til måling i gasser indeholdende dråber, hvor alle dråber vil medbestemmes som vanddamp. Ved forekomst af dråber anbefales det at anvende den sekundære metode som bestemmer vanddampindholdet og ikke medtager eventuelle dråber¹.

¹ Hvis man anvender den primære metode (isokinetisk prøvetagning) og finder et vanddampindhold, som er større end 100 vol% (fx efter vådskrubber eller kondenseringsanlæg), så bør resultatet af den sekundære metode (mættet vanddamp ved aktuel temperatur) benyttes uden yderligere dokumentation. I praksis kan temperaturen måles samtidig med den primære metode, så det relevante resultat kan anvendes uden at skulle gentage målingen.

MEL-27: november 2025

Bestemmelse af koncentrationer af vanddamp (H₂O) i strømmende gas (gravimetrisk metode)

Vandmættet gas kan fx forekomme når en vandholdig gas køles tilstrækkeligt til at vand kondenserer ud, som fx i en kondenseringsenhed eller i en vådskrubber². I denne situation kan den sekundære metode anvendes uden yderligere dokumentation.

En gas der ikke er mættet og som passerer gennem en vådskrubber vil kun opnå vandmætning hvis opholdstiden og kontakten mellem vand og gas er tilstrækkelig. Efter kondenseringsanlæg og vådskrubber er der risiko for medrivning af dråber.

Information 1

Eksempler på situationer, hvor dråber vil have indflydelse på resultatet af andre målinger.

Prøveudtag hvor en del (men ikke alle) dråber vil blive medtaget:

- Ikke isokinetisk prøveudtag til opvarmede gas-monitører samt ekstraktiv støv-AMS
 - En lille del af dråberne vil medtages og fortynde prøven (små dråber vil medtages og større dråber sandsynligvis ikke)
 - Hvis H₂O måles i samme prøveudtag vil korrektionen til tør gas blive helt korrekt.
 - Hvis H₂O måles i et separat system kan der være en bias i korrektionen til tør gas.

Ved QAL2/AST parallelmålinger, hvor to uafhængige målesystemer benyttes, vil der ved ovennævnte situationer være en bias i resultatet, som delvist korrigeres ved QAL2 kalibreringsfunktionen. Ved at følge anbefalingen i standarden og i dette metodeblad, om at benytte den sekundære metode ved vandmættet gas, så opnås det mest korrekte resultat ved en QAL2/AST. Ved anvendelsen af den primære metode er der risiko for at fejlen (bias) bliver større. Hvis SRM-metoden fx er en FTIR, som også måler H₂O i den udsugede gas og AMS måler vådt, så anbefales det at benytte FTIR'ens H₂O måling ved korrektion til våd (her antages det at begge udtagsystemer (SRM og AMS) medtager nogenlunde den samme mængde dråber).

Hvis en (opvarmet) multigasmonitor (fx FTIR) også bestemmer H₂O, så vil korrektionen til tør koncentration for de andre gasser målt med samme FTIR altid blive korrekt.

Information 2

Ved vandmættet gas:

- Den primære metode (isokinetisk prøvetagning) skal anvendes ved OML-beregninger af våde gasser som beskrevet i Referencelaboratoriets rapport nr. 69B (www.ref-lab.dk).
- Den sekundære metode (mættet vanddamp ved aktuel temperatur) bør anvendes ved QAL2/AST og præstationskontrolmålinger.

Alternative metoder til måling af vanddamp skal have demonstreret ækvivalens til SRM jf. EN 14793 /4/. Kriterier for ækvivalens er anført i afsnit 10 i standarden /1/.

Eksempel 1

Et eksempel på en alternativ metode er måling af vanddamp med psykrometer (vådt/tørt termometer. Ved denne metode bestemmes temperaturen i gassen med et tørt termometer og et vådt termometer. Det tørre termometer måler direkte i gassen og det våde er placeret i stykke vådt klæde. Så længe vand

² Når røggassen indeholder dråber, vil fordampningen af dråberne efter at røggassen har forladt skorstens-toppen medføre, at røgfanen køles. Denne effekt er ikke inkluderet i OML-modellen, og der henvises til Referencelaboratoriets rapport nr. 69B og DCE's notat om OML-beregning på våde røgfaner (begge kan findes på www.ref-lab.dk).

fordamper fra klædet vil det våde termometer vise lavere temperatur end det tørre termometer. Den lavere temperatur er afhængig af vanddampindholdet i gassen. Vanddampindholdet kan aflæses i en tabel ud fra den tørre og den våde temperatur.

Standarden beskriver ikke støkiometrisk beregning, men i dette metodeblad tillades den støkiometriske metode under visse betingelser. Ved den støkiometriske metode kan man ud fra oplysninger om brændselssammensætning og en CO₂- eller en O₂-måling i røggassen beregne vanddampindholdet i røggassen. Kun ved forbrænding af homogene brændsler, som fx gas eller olie med kendt sammensætning kan den støkiometriske metode tillades som et alternativ til den manuelle vandmåling^{Modifikation 1}. Metoden beskrives ikke nærmere her.

Modifikation 1

Ved afbrænding af homogene brændsler med kendt brændselssammensætning kan metoden suppleres med bestemmelse af vanddampindholdet ved støkiometrisk beregning ud fra brændselssammensætning og en CO₂- eller O₂-måling i røggassen.

Ved QAL2/AST parallelmålinger tillades i visse tilfælde, at vanddampindholdet beregnes ud fra temperatur og mættet gas – se MEL-16 /8/. Metoden kaldes temperaturmetoden og er beskrevet i afsnit 4.2.

3.1 Måleområde

Primærmetodens måleområde er fra 4 vol% til 40 vol% som volumen svarende til fra 29 g/m³ til 250 g/m³ som våd gas.

Luft mættet med vanddamp kan maksimalt indeholde vanddamp ved en koncentration, der er bestemt af lufttemperaturen. Maksimale vanddampkoncentrationer ved forskellige temperaturer kan aflæses i tabellen i annex B i standarden /1/. Luft ved 25°C kan fx maksimalt indeholde 3,2 vol% vanddamp.

Da metodens nedre måleområde er 4 vol%, anbefales det i dette metodeblad, at vanddampindholdet i ventilationsluft kan estimeres^{Modifikation 2}. Estimatet kan baseres på lufttemperaturen og en vurderet mæthedsgrad eller ved en simpel måling med diverse tilgængelige målemetoder (fx psykrometer).

Modifikation 2

Metoden suppleres med muligheden for at estimere vanddampindholdet i ventilationsluft.

Primærmetoden er valideret i området fra 7 vol% - 26 vol%.

3.2 Begrænsninger

Primærmetoden er begrænset til gasser uden dråber. I gasser med dråber er gassen overmættet, og vanddampmålingen bliver overestimeret. I tilfælde, hvor en beregning af det teoretiske vanddampindhold ud fra temperaturen og mættet vanddamp giver lavere værdi end den målte, kan det teoretiske vanddampindhold benyttes som resultat.

Dette metodeblad angiver endvidere en metode til at bestemme dråber i overmættet gas. Dråber kan forekomme ved overmættet gas og ved medrivning af dråber fra fx en demister.

4 Måleprincip

4.1 Primær metode, gravimetrisk metode / volumenbestemmelsesmetode

En kendt delgasstrøm suges gennem et vandopsamlingsystem. Vægtforøgelsen af vandopsamlingsystemet eller det opsamlede volumen måles og sammenholdes med den udsugede gasmængde for at beregne koncentrationen af vanddamp.

4.2 Sekundær metode, temperaturmetode

En temperaturføler placeres i en kanal, der indeholder mættet vanddamp, indtil der opnås en stabil temperatur. Vanddampindholdet i den mættede gas kan derefter aflæses i et ligevægtsdiagram for mættet vanddamp eller i en vanddamptabel.

5 Planlægning

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 vanddamp eller anden relevant komponent. MEL-22 /7/ 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 /7/.

Der skal traverseres i følgende situationer:

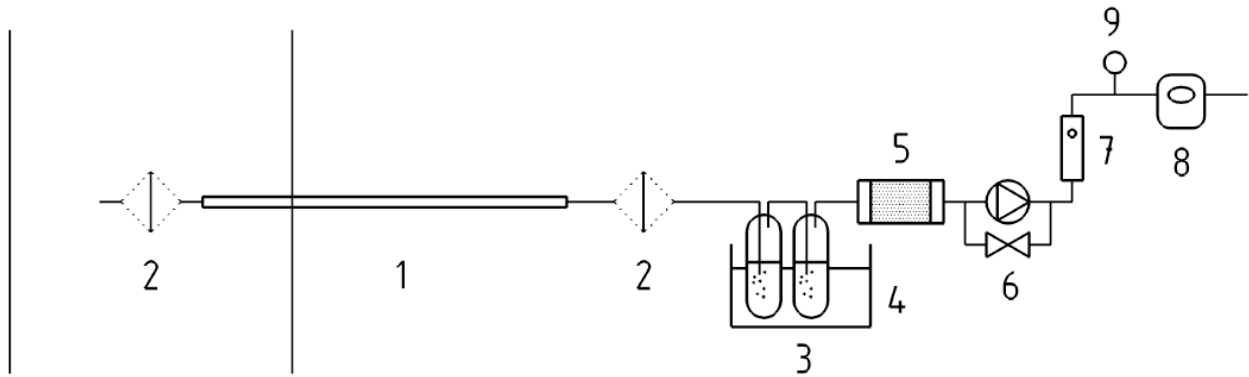
- Hvis målestedet er dokumenteret inhomogent.
- Hvis der burde være udført en homogenitetstest på et målested, og den ikke er udført.
- Hvis der i øvrigt er en mistanke om inhomogenitet.

Da vandmålinger ofte udføres samtidig med en støvmåling, vil det være naturligt at traversere i samme omfang som støvmålingen.

Hvis intet andet er angivet eller forlangt, tilstræbes det, at der ved præstationskontrol udtages i alt tre prøver, hvor hver prøve har en varighed på ca. 1 time, som angivet i Luftvejledningen /2/. Ved QAL2 og AST følges reglerne i MEL-16 /8/. Der kan i øvrigt være forhold i processen, som berettiger til kortere eller længere prøvetagningstider.

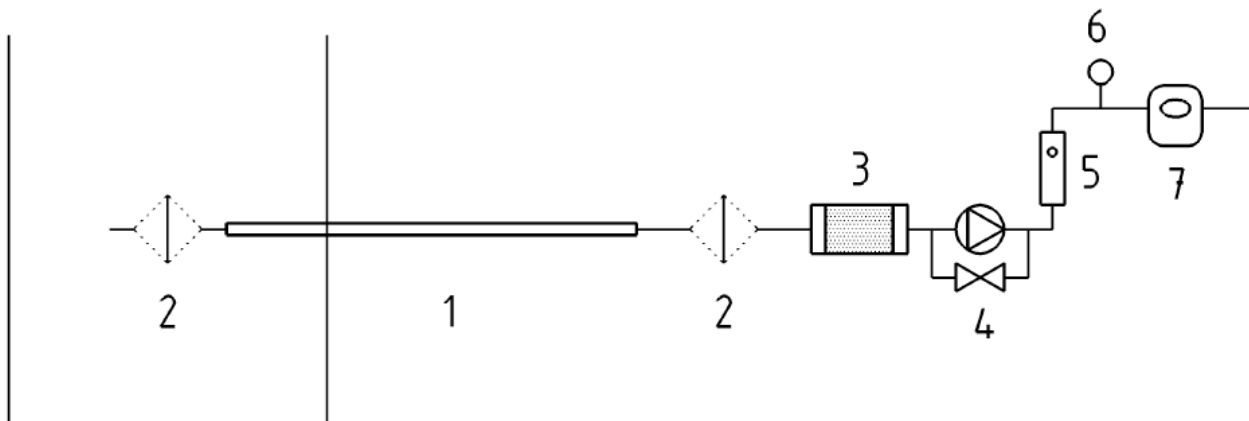
6 Udstyr

6.1 Primær metode, gravimetrisk metode / volumenbestemmelsesmetode



- | | |
|--|----------------------------|
| 1 Opvarmet sonde | 6 Pumpe |
| 2 Opvarmet filter (in-stack eller out-stack) | 7 Flowmeter |
| 3 Vaskeflasker/kondensatfælde | 8 Gasmeter |
| 4 Kølebad (valgfri) | 9 Temperatur og trykmåling |
| 5 Adsorptionsbeholder (tørretårn) | |

Figur 1 Skitse af prøvetagningsopstilling med kondensation og adsorption (fra standarden /1/)



- | | |
|--|----------------------------|
| 1 Opvarmet sonde | 5 Flowmeter |
| 2 Opvarmet filter (in-stack eller out-stack) | 6 Temperatur og trykmåling |
| 3 Adsorptionsbeholder (tørretårn) | 7 Gasmeter |
| 4 Pumpe | |

Figur 2 Skitse af prøvetagningsopstilling med adsorption (fra standarden /1/)

6.1.1 Prøvetagning, gravimetrisk metode / volumenbestemmelsesmetode

Følgende udstyr anvendes (sonderør, filter og slanger frem til vandopsamlingsystemet skal opvarmes til minimum 120°C og ca. 20°C over gassens syredugpunkt³):

1. Sonderør i passende korrosionsbestandigt materiale⁴ i passende længde i forhold til kanalen/skorstenen.
2. Filterholder i materiale, der ikke reagerer med vanddamp.
3. Partikelfilter af inert materiale
4. Vandopsamlingsystem bestående af
 - a. Evt. kolde prøveslanger⁵ i passende materiale, der ikke reagerer med vand. Kolde slanger betragtes som en del af vandopsamlingsystemet og skal vejes med.
 - b. Adsorptionsenhed alene (se Figur 2):
 - i. Minimum en beholder fyldt med et passende tørremiddel, fx farvet silicagel⁶.
 - c. Kombination af kondenseringsenhed og adsorptionsenhed (se Figur 1):
 - i. En kondenseringsenhed med valgfrit kølebad. Temperaturen ud af kondenseringsenheden skal være så lav som muligt.
 - ii. En adsorptionsenhed som beskrevet tidligere.
5. En gastæt pumpe.
6. Flowmeter med tilhørende ventil til justering af flowet gennem vandopsamlingsystemet (valgfrit).
7. Gasmåler til tør gas, der kan bestemme den nødvendige udsugede gasmængde, med maksimal usikkerhed ($k=2$) på $\pm 5,0$ % af den målte værdi⁷.
 - a. Gassens temperatur og tryk i gasmåleren skal begge bestemmes med en maksimal usikkerhed ($k=2$) på 2 % af den målte værdi (absolut temperatur i Kelvin).
8. Barometer⁸ med en maksimal usikkerhed på 1 kPa ($k=2$)

Hele samplesystemet inklusive pumpe skal endvidere overholde de relevante kriterier nævnt i Tabel 1.

6.1.2 Analyse, gravimetrisk metode

Vægt med en opløsning der er $\leq 0,1$ g eller $\leq 2\%$ af den vandmængde der skal bestemmes.

6.2 Sekundær metode, temperaturmetode

6.2.1 Prøvetagning, temperaturmetode

Termoføler til måling af kanaltemperatur med maksimal usikkerhed på $\pm 2,5^\circ\text{K}$ ($k=2$).

³ Det er ikke et krav at man måler eller kender syredugpunktet. Hvis der er tvivl om tilstrækkelig opvarmning kan man øge temperaturen. I praksis vurderes det ikke at være et problem på danske anlæg.

⁴ fx. rustfrit stål, borosilicatglas, kvartsglas, PTFE eller titanium. PTFE og PFA kan kun bruges ved temperaturer $< 200^\circ\text{C}$.

⁵ Sonde og prøveslangers længde frem til vandopsamlingsystemet skal minimeres, så responstiden optimeres.

⁶ Standarden /1/ er valideret med silicagel, som kan optage CO₂. Denne fejl er blevet accepteret.

⁷ Hvis volumen korrigeres med en kalibreringsfaktor for gasmåleren kan større usikkerheder accepteres.

⁸ Bemærk, at i Danmark kan data fra DMI (som oplyses ved havoverfladen) normalt benyttes, men at højdeforskelle, afstande etc. har indflydelse på atmosfæretrykket. Trykket falder ca. 14 mbar pr. 100 meter, hvilket DMI data bør korrigeres for. Når der anvendes meteorologidata skal de være sammenfaldende i tid.

7 Fremgangsmåde ved måling i felten

7.1 Primær metode, gravimetrisk metode / volumenbestemmelsesmetode

Når der anvendes en kondenseringsenhed med vaskeflasker, skal der fyldes tilstrækkeligt med vand (eller absorptionsvæske til fx SO₂, HCl eller lign.) i, så der opnås en effektiv opsamling af fugt⁹. Vaskeflasker skal altid kombineres med en beholder med tørremiddel.

1. Saml vandopsamlingssystemet inklusive samlinger, slanger mm.
2. Vej og noter vægten af hele vandopsamlingssystemet.
3. Saml hele prøvetagningssystemet
4. Hvis relevant, tændes der for opvarmningssystemet til sonde og filterholder. Indstil temperaturen til den valgte temperatur.
 - a. Opvarmningens formål er at forhindre kondensation før vandopsamlingssystemet.
5. Før hver prøve læktestes systemet i henhold til beskrivelsen i MEL-22 /7/.
6. Gasmålerens visning aflæses og noteres.
7. Udstyret placeres i kanalen/skorstenen. Når opvarmningen er slut, startes pumpen, og udsugningsflowet justeres til det ønskede. Tidspunktet noteres.
8. Temperatur og tryk i gasmåleren aflæses og noteres¹⁰. Der skal tages tilstrækkeligt med aflæsninger til at en pålidelig gennemsnitsværdi kan beregnes.
9. Igennem hele måleperioden holdes der øje med, om vandopsamlingssystemet bliver overbelastet. Dette kan gøres ved:
 - a. at temperaturen ud af systemet ikke overstiger 4°C eller
 - b. at farveskiftet i silicagelen ikke omfatter mere end halvdelen af den samlede mængde.
10. Efter endt prøvetagning stoppes pumpen, udstyret demonteres fra kanalen/skorstenen, og gasmålerens visning aflæses og noteres.
11. Afmonter vandopsamlingssystemet, tør det af på ydersiden med en tør klud (fjerner regn eller kondens), og vej hele systemet. Noter vejeresultatet.
12. Ved flere prøver startes ved punkt 1 igen.

7.2 Sekundær metode, temperaturmetode

Temperaturen i kanalen bestemmes som en middelværdi over den ønskede måleperiode.

7.3 Måling i overmættet gas med dråber

Når gassen indeholder dråber, vil den primære metode overestimere indholdet af vanddamp, idet dråberne medbestemmes som vanddamp. Ved ikke-isokinetisk prøvetagning vil en del af dråberne medbestemmes og ved isokinetisk prøvetagning vil alle dråber medbestemmes som vanddamp. Vanddampindholdet eksklusiv eventuelle dråber kan i denne situation bestemmes ved en temperaturmåling (se afsnit 7.2) og opslag i tabel over vandmættede gasser (se annex B i standarden).

⁹ På denne måde kan vandbestemmelsen kombineres med bestemmelse af fx SO₂. Bemærk at metoden kun kan benyttes ved vandbaserede absorptionsvæsker, idet fx organiske væsker fordamper under prøvetagningen og ikke vil blive fanget i den efterfølgende silicagel.

¹⁰ Ved placering af gasmåleren efter pumpen kan det antages, at trykket er identisk med barometertrykket.

MEL-27: november 2025

Bestemmelse af koncentrationer af vanddamp (H₂O) i strømmende gas (gravimetrisk metode)

Saturation temperature °C	Saturated vapour pressure hPa	Saturated water vapour concentration					
		g/kg (wet)	g/m ³ (wet at <i>T</i> and <i>p</i> _{ref})	g/m ³ (dry at <i>T</i> and <i>p</i> _{ref})	% (absolute; wet)	g/m ³ (wet)	g/m ³ (dry)
57	174	114,5	114,5	138,3	17,21	138,4	167,2
58	183	120,4	119,7	140,0	18,04	145,1	177,0
59	192	126,6	125,0	154,2	18,91	152,1	187,5
60	201	133,2	130,6	162,8	19,81	159,3	198,6
61	210	140,0	136,3	172,0	20,74	166,8	210,5

Figur 3 Udklip af tabel over vandmættet gas fra annex B i standarden /1/. En gastemperatur på 59°C giver en vandprocent på 18,91 vol%(våd).

Ved isokinetisk prøvetagning kan mængden af dråber bestemmes som differensen mellem måleresultatet og vanddampindholdet bestemt fra temperaturmålingen¹¹.

Se endvidere Referencelaboratoriets notat fra 2015 om "Våde røggasser i relation til OML-beregning".

8 Kvalitetssikring i felten og ved årlig kontrol

Laboratoriet skal demonstrere at:

- kriterierne i Tabel 1 kan opfyldes
- den relative ekspanderede usikkerhed ($k=2$) ved at kombinere relevante kriterier i Tabel 1 ikke overstiger 20,0 % af den målte værdi.

¹¹ Hvis der tilføres dråber til en ikke mættet gas, kan der forekomme dråber samtidig med, at gassen ikke er overmættet, indtil der opstår en ligevægt, eller alle dråber er fordampet. I denne situation er det ikke muligt med denne metode at bestemme det korrekte dråbe- og vanddamp-indhold.

MEL-27: november 2025

Bestemmelse af koncentrationer af vanddamp (H₂O) i strømmende gas (gravimetrisk metode)

Tabel 1 Krav til målesystemet. L: demonstreres i laboratoriet; F: demonstreres i felten.

Krav til målesystemet	L	F	Kriterium ^{d)}
Gasmeter: standard usikkerhed af prøvevolumen ^{a)}	L		≤ 2,5% af prøvevoluminet
standard usikkerhed af temperatur ^{a)}	L		≤ 2,0% af den absolutte temperatur (i Kelvin)
standard usikkerhed af absolut tryk ^{a)}	L		≤ 2,0% af det absolutte tryk
Læk i prøvetagningsystemet		F	≤ 2,0% af det nominelle prøvetagningsflow
Vejning af opsamlet vand: usikkerhed tilknyttet vægten ^{b)}	L	F	
usikkerhed tilknyttet vejning i felten ^{c)}		F	

a) Usikkerhederne af prøvevolumen, temperatur og absolut tryk er en kombination af usikkerheder fra kalibrering, opløsning, drift mellem to efterfølgende kalibreringer og spredningen af middelværdien når flere værdier er bestemt for at opnå et resultat. Når et barometer benyttes, se afsnit 6.1.1.

b) Usikkerhedsbidragene fra vægten kan fx være opløsning, reproducerbarhed og usikkerhed på kalibreringen af vægten. Se afsnit 6.1.2.

c) Når vejning gennemføres i felten, kan variationer af fx temperatur, luftstrømme og vibrationer være kilder til usikkerhed.

d) Alle usikkerhedsangivelser i denne tabel er standardusikkerheder (k=1).

9 Beregninger

Vanddampkoncentrationen i g/m³(n,t) beregnes efter følgende formel:

$$C_w = \frac{m_w}{V_m(n, t)}, \text{ hvor}$$

$$C_w = \text{vanddampkoncentrationen} \left[\frac{g}{m^3(n, t)} \right]$$

$$m_w = \text{opsamlet vandmængde} [g]$$

$$V_m(n, t) = \text{prøveluftmængden} [m^3(n, t)]$$

Vanddampkoncentrationen i vol% (m³ vanddamp / m³ våd gas) beregnes efter følgende formel:

$$h_m = \frac{\frac{m_w \cdot V_{mol}}{M_w}}{\frac{m_w \cdot V_{mol}}{M_w} + V_m(n, t)}, \text{ hvor,}$$

$$h_m = \text{målt vanddampkoncentration, volumenbaseret} [vol\%] \left(\frac{m^3 \text{ vanddamp}}{m^3 \text{ våd gas}} \right)$$

$$V_m(n, t) = \text{prøveluftmængden} [m^3(n, t)]$$

$$m_w = \text{opsamlet vandmængde} [g]$$

$$M_w = \text{vands molekylvægt, } 18,01534 \left[\frac{g}{mol} \right] \text{ (kan afrundes til 18)}$$

$$V_{mol} = \text{molvoluminet, } 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ ved } 0^\circ\text{C og } 101,3 \text{ kPa} [m^3/mol].$$

MEL-27: november 2025

Bestemmelse af koncentrationer af vanddamp (H₂O) i strømmende gas (gravimetrisk metode)

Information 3

I annex D i standarden /1/ anføres en værdi på $21,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ ved 0°C og 101,3 kPa. Denne værdi er realgasmolvoluminet. Ideale gasser har et molvolumen på $22,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$.

Tabellen i standardens bilag B /1/ er baseret på idealgasmolvolumen, hvilket er i direkte modstrid med annex D i samme standard.

I rapport 87 fra Referencelaboratoriet (se www.ref-lab.dk) problematiseres anvendelsen af realgasmolvolumen, og rapporten når til den konklusion, at det i fortyndede gasser er mest korrekt at anvende idealgasmolvoluminet. Forskellen mellem de to molvolumener er ca. 6% relativt på vandbestemmelsen, hvilket vil slå direkte igennem ved kalibrering af fx en IR-måler til vand.

Når vandkoncentrationen benyttes til korrektion af fx en våd NO_x-koncentration til tør koncentration, bliver den relative forskel mellem anvendelsen af de to forskellige molvolumener uden væsentlig betydning (fx 0,9% relativt ved 15 vol% vand).

Ved alle metoder, hvor vægten af vand indgår vil anvendelsen af realgasmolvolumen contra idealgasmolvolumen have en betydning:

- den gravimetrisk metode (primærmetoden i dette metodeblad)
- dannelse af vanddamp med kendte koncentrationer ved fordampning af vand (fx vha. HovCAL), herunder:
 - FTIR og andre vandbestemmelsesmetoder, der er kalibreret med udgangspunkt i vejning af vand.
- Opslag i tabeller baseret på vejning af vand:
 - Temperaturmetoden ved opslag i standardens tabel /1/ (den sekundære metode i dette metodeblad)
 - psykrometermetoden mm. bestemmer vand ved opslag i tabeller, som sandsynligvis er baseret på idealgasmolvolumen.

Det er nærliggende at antage, at anvisningen om at benytte realgasmolvolumen til beregning af vandkoncentrationen er en fejl.

Modifikation 3

Ved målinger i henhold til dette metodeblad anvendes et idealgasmolvolumen på $22,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ ved 0°C og 101,3 kPa i stedet for standardens angivelse på $21,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ ved 0°C og 101,3 kPa.

10 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. Der henvises til DS/EN ISO 14956 /5/ eller GUM /6/ for beregning af målingens usikkerhed¹². Annex D i standarden indeholder et eksempel på usikkerhedsberegninger.

Usikkerhedsangivelser i dette metodeblad er angivet som standard usikkerhed¹³ eller ekspanderet usikkerhed¹⁴.

11 Rapportering

Rapporten udformes som beskrevet i ISO 17025 /3/, EN 15259 /9/ og i afsnit om rapportering i MEL-22 /7/.

¹² I usikkerhedsberegningen kan der ses bort fra værdier af standardusikkerhed, som er mindre end 5% relativt af den maksimale standardusikkerhed.

¹³ Standard usikkerhed: $k=1$ eller ca. 66,7% konfidensinterval.

¹⁴ Ekspanderet usikkerhed: $k=2$ eller 95% konfidensinterval.

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:

- Placering af målepunkt(er) i kanalen
- Information om målesystemet

12 Modifikationer

Dette metodeblad er udarbejdet med udgangspunkt i EN 14790: 2017 /1/. Der er foretaget modifikationer på følgende punkter:

nr.	Modifikation	Afsnit i dette metodeblad
1	Kun ved afbrænding af homogene brændsler med kendt brændselssammensætning kan metoden suppleres med bestemmelse af vanddampindholdet ved støkiometrisk beregning ud fra brændselssammensætning og en CO ₂ - eller O ₂ -måling i røggassen.	3
2	Metoden suppleres med muligheden for at estimere vanddampindholdet i ventilationsluft.	3.1
3	Ved målinger i henhold til dette metodeblad anvendes et idealgasmolvolumen på $22,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ ved 0°C og 101,3 kPa i stedet for standardens angivelse på $21,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ ved 0°C og 101,3 kPa.	9

13 Referencer

- /1/ EN 14790:2017. Stationary Source Emissions — Determination of the water vapour in ducts – Standard reference method.
- /2/ Miljøstyrelsens vejledning nr. 2, 2001 Luftvejledningen, Begrænsning af luftforurening fra virksomheder.
- /3/ DS/EN ISO/IEC 17025: 2017 Generelle krav til prøvetagnings- og kalibreringslaboratoriernes kompetence.
- /4/ EN 14793: 2017 Stationary Source Emissions — Demonstration of equivalence of an alternative method with a reference method.
- /5/ DS/EN ISO 14956: 2002 Air Quality - Evaluation of the suitability of a measurement method by comparison with a stated measurement uncertainty.
- /6/ DS/ISO/CEN Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). 2000.

MEL-27: november 2025**Bestemmelse af koncentrationer af vanddamp (H₂O) i strømmende gas (gravimetrisk metode)**

/7/ MEL-22 Kvalitet i emissionsmålinger (www.ref-lab.dk).

/8/ MEL-16 Kvalitetssikring af AMS (Automatisk Målende Systemer) (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.