



Referencelaboratoriet for måling af emissioner til luften

Titel	Grænseværdier for anlæg til direkte tørring
Undertitel	
Forfatter(e)	Ole Schleicher, Knud Christiansen
Arbejdet udført, år	2014
Udgivelsesdato	27. november 2015
Revideret, dato	14. november 2017

Ved revisionen den 14. november 2017 er emissionsgrænseværdierne ved referencen 10 % O₂ rettet til korrekte værdier. Desuden er enkelte slåfejl rettet, og enkelte formuleringer er justeret til at være mere præcise.

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	2
2	Måleresultater fra anlæg til direkte tørring	3
3	Referencetilstand	5
4	Usikkerhed på O ₂ målingen	8
5	Problemer med målingernes detektionsgrænser	9
6	Diskussion og anbefaling.....	12
6.1	Forslag til fastsættelse af grænseværdier	13

1 Indledning

Luftvejledningen omfatter ikke emissionsgrænseværdier for NO_x og CO fra energianlæg, som anvendes til direkte tørring. Ved direkte tørring er der ofte iblandet så meget ekstra tørreluft, at O₂ koncentrationen kan være i området 19 – 21 Vol. % O₂. Ved så høj O₂ koncentration er det problematisk at korrigere målte emissioner til en reference O₂ %, fordi korrektionen indebærer, at der divideres med forskellen mellem luftens og tørreluftens indhold af O₂, hvorved korrektionen bliver meget stor og usikker (pga. usikkerheden på iltmålingen).

Fremstilling af fødevarer, som sukker, kartoffelstivelse, animalsk protein og blodprodukter er eksempler på produktioner, som anvender direkte tørring. For ikke at ødelægge eller ændre produkterne ved varmepåvirkningen i tørringen, anvendes en relativ lav tørretemperatur, og derved opblandes røggassen med en stor mængde tørreluft, således at det fordampede vand kan bæres væk. Den store andel af tørreluft betyder, at O₂ koncentrationen bliver høj, og i nogle tilfælde kommer meget tæt på luftens indhold på 20,94 Vol. %.

Asfalanlæg anvender også direkte tørring til at tørre og opvarme stenmaterialer, før de blandes med bitumen, men her er formålet primært opvarmning af stenmaterialerne til over 100 °C, hvorved vandindholdet fordamper og ledes væk. På grund af den ønskede høje temperatur på stenmaterialerne og den begrænsede mængde vand, der skal fjernes, så blandes der kun en moderat mængde frisk luft ind i røggassen, så O₂ indholdet normalt ikke vil være højere end omkring 17 - 18 Vol. % på disse anlæg.

Der findes generelt ingen regulering eller grænseværdier for forbrændingsparametre for tørreanlæg, hvor der anvendes direkte tørring, ligesom krav til fyringsanlæg ikke omfatter anlæg til direkte tørring. Eneste undtagelse er asfalanlæg, som reguleres efter standardvilkårene C202 i bekendtgørelse om standardvilkår i godkendelse af listevirksomhed¹.

Dette projekt vedrører udelukkende emission af forbrændingsparametrene CO og NO_x fra anlæg til direkte tørring.

Formålet med projektet er at give Miljøstyrelsen et kvalificeret grundlag til at fastsætte vejledende emissionsgrænseværdier for CO og NO_x for energianlæg, der anvendes til direkte tørring.

¹ Miljøministeriets bekendtgørelse nr.682 af 18.juni 2014

2 Måleresultater fra anlæg til direkte tørring

Miljøstyrelsen har udleveret en række målerapporter fra målinger på anlæg til direkte tørring. Måleresultaterne, som kun omfatter O₂ og NO_x og ikke CO, er vist i Tabel 1. Det er et relativt beskedent udsnit af det samlede anlæg til direkte tørring, der formodes at findes i Danmark.

Tabel 1. Målinger på anlæg til direkte tørring

Anlæg størrelse MW	Fyringsmedie	O ₂ Vol. %	NO _x ved aktuel O ₂ mg/m ³ (n,t)	NO _x ved 10 Vol. % O ₂ mg/m ³ (n,t)	NO _x GV for energianlæg mg/m ³ (n,t,10%O ₂)
0,54	Naturgas	20,5	< 10	< 240	65
2,0	Naturgas	19,9	3	59	65
3,2	Naturgas	19,9	3,5	36	65
3,3	Naturgas	20,3	5,5	89	65
4,2	Naturgas	20,1	< 10	< 120	65
4,6	Naturgas	19,9	< 10	< 100	65
>10	Fuelolie ¹	16,3	185	340	300
>10	Kul ¹	16,7	65	119	200

¹ Der er røggasrensning på anlæggene

Det ses tydeligt, at flere anlæg kører med meget høj O₂ koncentration, og at der ved nogle af målingerne dels angives en detektionsgrænse for NO_x på 10 mg/m³(n,t) og ved tre målinger er de målte værdier fra 3 til 5,5 mg/m³(n,t).

Der findes ikke nogen samlet viden om, hvilke brændsler der anvendes i anlæg til direkte tørring, men ud fra de anvendte brændsler i de kendte målerapporter, er der lavet en oversigt over brændslernes emissionsgrænseværdier for energianlæg, som er vist i Tabel 2. Der er dog ikke kendskab til nogen anlæg til direkte tørring, der fyres med biomasse, men biomasse er medtaget for at få yderpunkter for de relativt høje grænseværdier for CO og NO_x.

Tabel 2. Grænseværdier ved referencen 10 Vol. % O₂ for energianlæg i standardvilkårene G201 og G202

Brændsel	Indfyret effekt	CO mg/m ³ (n,t)	NO _x mg/m ³ (n,t)
Naturgas	120 kW – 50 MW	75	65
Gasolie	120 kW – 50 MW	100	110
Fuelolie	2 MW – 50 MW	100	300
Kul	5 MW – 50 MW	100	200
Biomasseaffald	120 kW – 1 MW	500	-
	1 MW – 5 MW	625	-
	5 MW – 50 MW	625	300

Rapport nr. 72

Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

Til sammenligning er grænseværdierne for tørreprocessen på asfalanlæg i standardvilkårene C202 i bekendtgørelsen om standardvilkår vist i Tabel 3.

Tabel 3. Emissionsgrænseværdier for asfalanlæg ved 17 Vol. % O₂ og omregnet til 10 Vol. % O₂.

Brændsel	mg/m ³ (n,t) ved 17 Vol. % O ₂			mg/m ³ (n,t) ved 10 Vol. % O ₂		
	CO	NO _x	Støv	CO	NO _x	Støv
Naturgas, LPG og gasolie	350	400	10	963	1100	28
Fuelolie	500	400	10	1375	1100	28

Dette tolkes således, at emissionsgrænseværdier for anlæg til direkte tørring ikke behøver at svare til de grænseværdier, der gælder for de samme brændsler i almindelige energianlæg.

Et tørreri kan ikke betegnes som et energianlæg, men da det er en forbrænding af et velkendt brændsel, der er energikilden i anlægget, er det nærliggende at tage udgangspunkt i de grænseværdier, der gælder for energianlæg men med hensyntagen til de væsentlige forskelle, der er i anlæggets opbygning og virkemåde. Det er nødvendigt at tage højde for de problemer, der er med at bestemme emissionen ved en reference O₂ % samtidig med den høje O₂ koncentration, der ofte er i anlæg med direkte tørring. Endvidere ses der også på de regler, der findes i Luftvejledningen.

3 Referencetilstand

Baggrunden for, at grænseværdierne for energianlæg angives ved en reference O₂ %, som målte emissioner skal omregnes til, er dels at grænseværdien skal være ens for alle, uanset hvilken O₂ koncentration anlægget drives ved, og dels for at sikre, at man ikke kan overholde grænseværdien, ved at køre ved en højere O₂ koncentration, hvilket svarer til at fortynde røggassen med luft. Fortynding kan også forekomme pga. utætheder, hvor der suges luft ind i røggassystemet, hvilket omregningen til referencen også tager højde for.

Det er almindelig praksis, at reference-O₂ er fastsat til en værdi, der er i nærheden af anlægstypens normale drifts-O₂, så referencen nogenlunde afspejler den normale drift på denne type anlæg. Denne praksis er dog ikke helt fulgt i Danmark, hvor der i Luftvejledningen er indført en generel reference på 10 Vol. % O₂ for alle typer brændsel. Herudover er der i diverse bekendtgørelser, f.eks. gasmotor- og store fyr bekendtgørelserne, en række forskellige reference O₂ procenter, fra 3 Vol. % til 15 Vol. %.

Det har dog ikke nogen praktisk betydning for vurderingen af målingerne i forhold til grænseværdien, hvilken reference O₂ % der anvendes, bare der er taget hensyn til omregningen ved fastsættelse af grænseværdien. Hvis en grænseværdi med referencen 10 % O₂ omregnes til 3 Vol. % O₂, vil det give nøjagtigt samme vilkår for dem, der er underlagt grænseværdien, uanset om reference er 10 eller 3 Vol. % O₂ og fra hvilken O₂ koncentration, de skal lave omregningen – så længe anlægget ikke drives ved en O₂ koncentration, der er i nærheden af luftens indhold af O₂.

Ved korrektion af målte emissioner til den reference O₂ %, der gælder for grænseværdien, anvendes formelen i punkt 9.2 på side 101 i Luftvejledningen, som er vist i Formel 1.

Formel 1. Omregning til reference O₂ %

$$C_{ref.} = \frac{21 - O_2 \%_{(ref)}}{21 - O_2 \%_{(m\grave{a}lt)}} \cdot C_{m\grave{a}lt}, \text{ hvor}$$
$$C_{ref.} = \text{koncentration ved reference } O_2 \% \left[\text{mg} / \text{norm. m}^3_{(ref.)} \right]$$
$$C_{m\grave{a}lt} = \text{målt koncentration} \left[\text{mg} / \text{norm. m}^3_{(m\grave{a}lt)} \right]$$
$$O_2 \%_{(ref)} = \text{reference } O_2 \% \left[\text{Vol} \% \right]$$
$$O_2 \%_{(m\grave{a}lt)} = \text{målt } O_2 \% \left[\text{Vol} \% \right]$$

Det kan ses i formelen, at man dividerer med differencen mellem luftens O₂ koncentration (21 Vol. %)² og den målte O₂ koncentration, og jo tættere den målte O₂ koncentration er på luftens koncentration, jo mindre er det tal, man dividerer med, og jo større vil korrektionen være. Korrektionen bliver uforholdsmæssig stor ved høje O₂ koncentrationer, hvilket er vist i nedenstående graf, som viser korrektion af en måling på 1 mg/m³ til 11 Vol. % O₂ ved stigende O₂ koncentration op til 20,9 Vol. %.

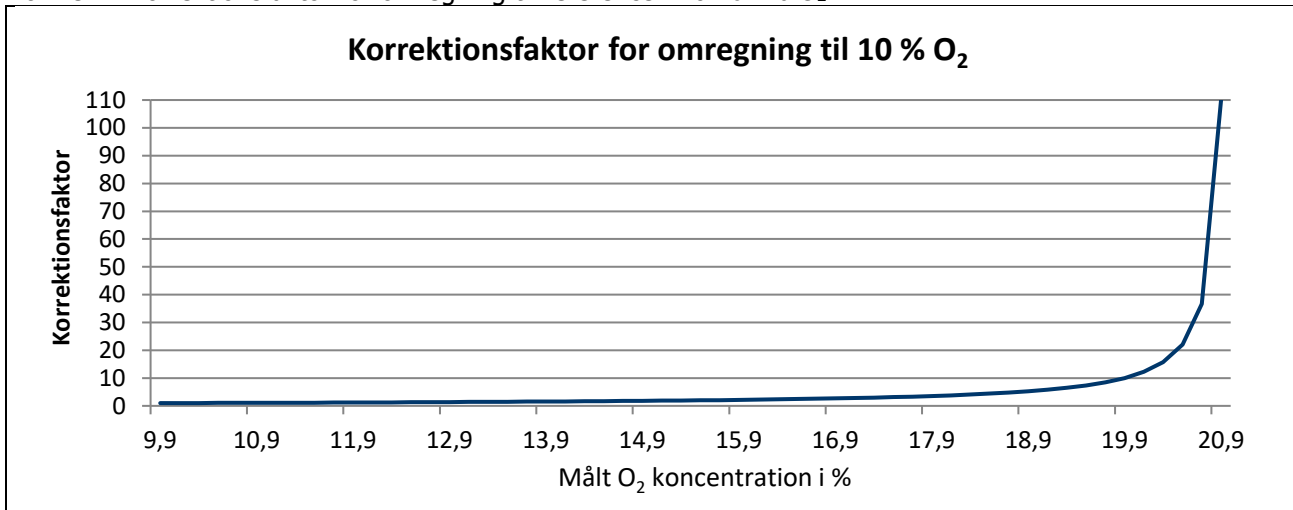
² Atmosfærens iltindhold er 20,94 Vol %, men i mange sammenhænge, bl.a. luftvejledningen, anvendes 21 Vol %.

Rapport nr. 72

Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

Princippet for reference O_2 % er, at koncentrationen ved den målte O_2 % omregnes til koncentrationen ved referencen, og da masseemissionen er uændret, svarer det til en tilsvarende omregning af røggasflowet. Det vil sige, at hvis koncentrationen bliver større, så bliver røggasflowet ved referencen tilsvarende mindre, så koncentration gange flow giver den samme masse. Det betyder også, at når den målte O_2 koncentration går mod luftens O_2 koncentration, går den korrigerede koncentration ved reference O_2 % mod uendeligt, og beregnes røggasmængden ved referencen, går den mod 0. Den samlede masseemission er derved konstant.

Formel 2. Korrektionsfaktor for omregning til referencen 10 Vol. % O_2



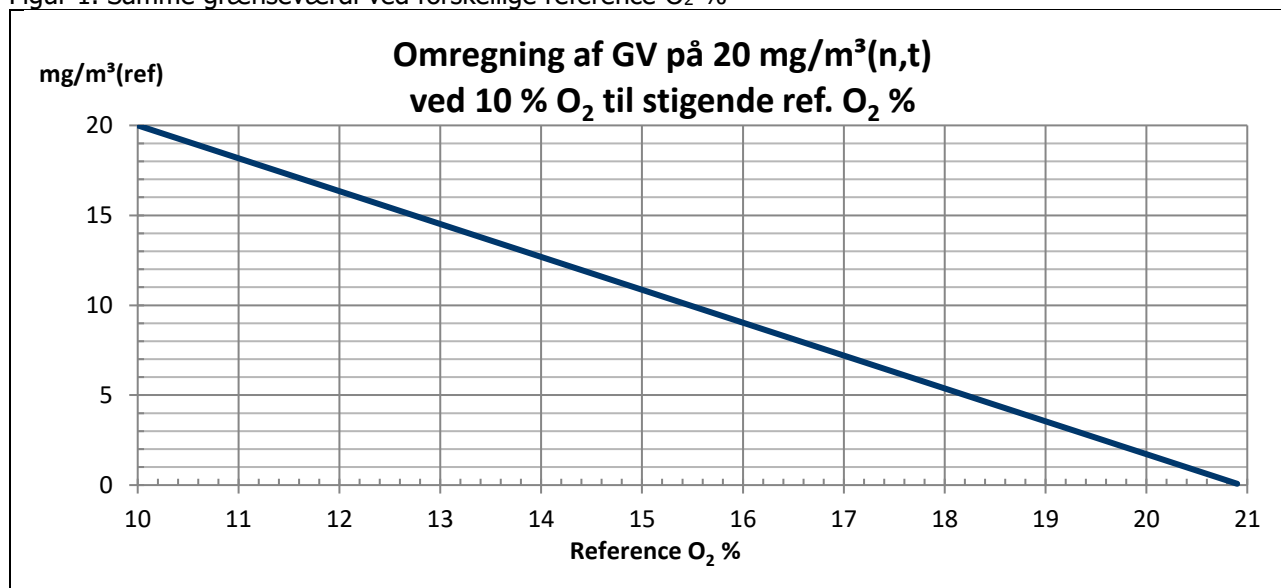
Korrektionsfaktoren er den faktor, der kan beregnes efter Luftvejledningens formel for omregning til referencetilstanden ved at anvende værdien 1 for $C_{\text{målt}}$.

Det ses tydeligt, at korrektionsfaktoren stiger meget voldsomt, når den målte O_2 koncentration kommer op over 18-19 Vol. %, og det giver en uforholdsmæssig stor korrektion i forhold til korrektionen ved lavere O_2 koncentration. Hvis den målte O_2 koncentration nærmer sig til luftens koncentration, bliver korrektionsfaktoren uendelig stor, fordi det tal, der skal divideres med, nærmer sig 0. På kurven er den højeste værdi 110 for en O_2 koncentration på 20,9 Vol. %, når der anvendes 21 Vol. % for luftens indhold af O_2 .

Når korrektionsfaktoren stiger så voldsomt ved høj O_2 koncentration, betyder det også, at der er nogle specielle problemer forbundet med målinger ved så høj O_2 koncentration og efterfølgende omregning til en lavere reference O_2 %.

Problemet illustreres bedst ved at se på en grænseværdi og omregne den til højere reference- O_2 %. I nedenstående diagram er vist en grænseværdi på 20 $mg/m^3(n,t)$ ved 10 Vol. % O_2 , der er omregnet til en stigende reference O_2 %. Grænseværdien falder, fordi der fortyndes med mere og mere luft, men masseemissionen er stadig den samme.

Figur 1. Samme grænseværdi ved forskellige reference O₂ %



Grænseværdien ved 21 Vol. % O₂ er nul, hvilket naturligvis ikke er operativt, men det kan i princippet heller ikke lade sig gøre at drive en direkte tørring med en forbrænding, uden at der er brugt noget af luftens O₂ til forbrændingen. I praksis kan det dog godt lade sig gøre, at der ikke kan måles noget iltforbrug til en forbrænding, fordi der er usikkerhed på måling af O₂ koncentration.

Grænseværdierne for CO og NO_x for energianlæg fra standardvilkårene i G201 er i de næste to tabeller vist omregnet til reference O₂ % fra 16 til 20 Vol. %.

Tabel 4. CO grænseværdierne for energianlæg omregnet til høje reference O₂ %.

mg/m ³ (n,t) ved O ₂ %:	10 Vol. %	16 Vol. %	17 Vol. %	18 Vol. %	19 Vol. %	20 Vol. %
Naturgas (> 120 kW)	75	34	27	20	14	7
Gasolie (> 120 kW)	100	45	36	27	18	9
Fuelolie (> 2 MW)	100	45	36	27	18	9
Kul (> 5 MW)	100	45	36	27	18	9
Biomasse (> 5 MW)	625	284	227	170	114	57

Tabel 5. NO_x grænseværdierne for energianlæg omregnet til høje reference O₂ %.

mg/m ³ (n,t) ved O ₂ %:	10 Vol. %	16 Vol. %	17 Vol. %	18 Vol. %	19 Vol. %	20 Vol. %
Naturgas (> 120 kW)	65	30	24	18	12	6
Gasolie (> 120 kW)	110	50	40	30	20	10
Fuelolie (> 2 MW)	300	136	109	82	55	27
Kul (> 5 MW)	200	91	73	55	36	18
Biomasse (> 5 MW)	300	136	109	82	55	27

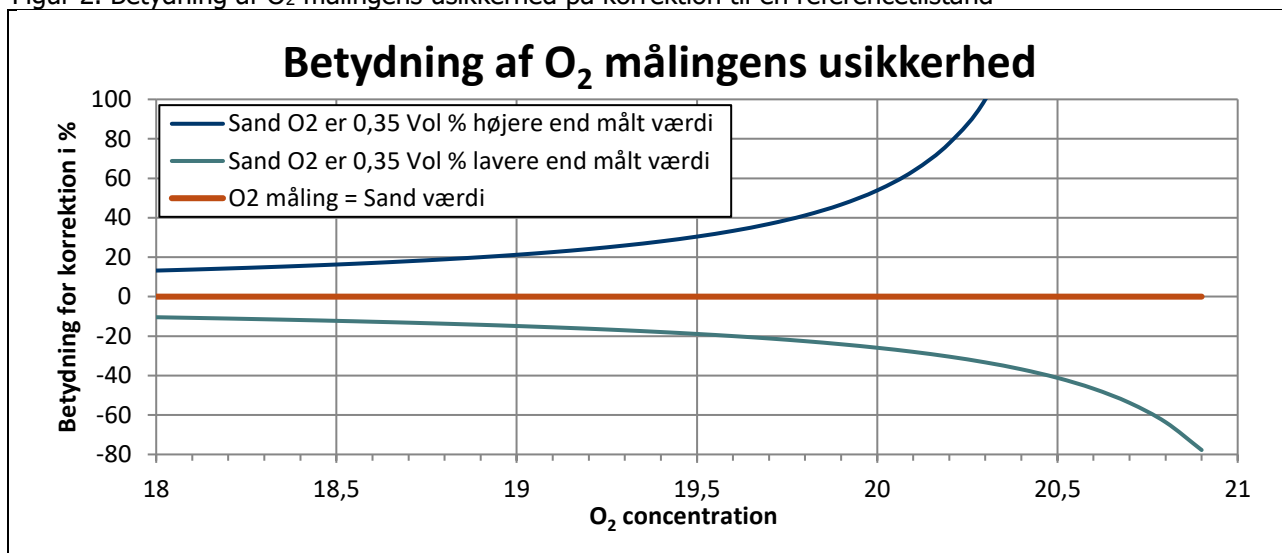
Ud fra omregningerne i tabellerne kunne man bare finde de grænseværdier, der passer med den O₂ % et givent anlæg kører ved, men når O₂ koncentration stiger, er der stigende problemerne med usikkerheden på O₂ målingen og med detektionsgrænserne for CO og NO_x målerne, som det vises i de to næste afsnit.

4 Usikkerhed på O₂ målingen

Den samlede usikkerhed på O₂ målingen er i CEN standarden for måling af O₂ beregnet til $\pm 0,69$ Vol. %, men da O₂ målere normalt er bedre end dette, regnes her med en usikkerhed på det halve, dvs. $\pm 0,35$ Vol. %. Det betyder, at et O₂ måleinstrument kan vise fra 20,15 Vol. % og op til 20,85 Vol. % O₂, selvom den sande værdi er 20,5 Vol. %.

Dette er illustreret i Figur 2, der viser hvilken betydning en usikkerhed på $\pm 0,35$ Vol. % på målingen af O₂ har for omregningen til en referencetilstand. Figuren viser kun området fra 18 til 21 Vol. % O₂, fordi betydningen bliver mindre, jo lavere den målte O₂ koncentration er.

Figur 2. Betydning af O₂ målingens usikkerhed på korrektion til en referencetilstand



Hvis O₂ målingen svarer til den sande værdi, er der ingen afvigelse fra den korrekte omregnede værdi til en reference O₂ %, hvilket vises med den røde streg gennem 0, dvs. at der er 0 % afvigelse på omregningen.

Hvis den sande O₂ koncentration er 0,35 Vol. % højere end den målte værdi (dvs. inden for den angivne usikkerhed på O₂ målingen), bliver den omregnede værdi for lav, hvilket de positive værdier for den mørkeblå kurve viser, dvs. den målte og korrigerede værdi skal tillægges det antal %, der kan aflæses på kurven for at svare til den sande værdi.

Eksempel:

Ved 20 Vol. % O₂ aflæses betydningen for korrektion i Figur 2 til 54 % på den mørkeblå kurve øverst. Hvis den beregnede værdi ved f.eks. 18 Vol. % O₂ er 20 mg/m³(n,t), er den sande værdi:

$$20 \text{ mg/m}^3(\text{n,t}) + 54 \% \text{ af } 20 \text{ mg/m}^3(\text{n,t}) = 30,8 \text{ mg/m}^3(\text{n,t}).$$

Rapport nr. 72

Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

Er den sande O₂ koncentration 0,35 Vol. % lavere end den målte værdi (også inden for den angivne usikkerhed), bliver de omregnede værdier for høje, hvilket er vist med de negative værdier med den lysere blå kurve, hvor den målte og korrigerede værdi skal fratrækkes det antal % der kan aflæses på kurven for at svare til den sande værdi.

Eksempel:

Ved 20,5 Vol. % O₂ aflæses betydningen for korrektion i Figur 2 til -41 % på den lyseblå kurve nederst. Hvis den beregnede værdi ved f.eks. 18 Vol. % O₂ er 20 mg/m³(n,t), er den sande værdi:

$$20 \text{ mg/m}^3(\text{n,t}) - 41 \% \text{ af } 20 \text{ mg/m}^3(\text{n,t}) = 11,8 \text{ mg/m}^3(\text{n,t}).$$

Den mørkeblå kurve er ikke vist for højere værdi end 20,3 Vol. % O₂, fordi den går nærmest lodret opad. Ved målt værdi på 20,5 Vol. %, der svarer til en sand værdi på 20,85 Vol. %, er fejlen på den omregnede emission helt oppe på at være 700 % for høj.

Fejlen på målinger, hvor den sande værdi er 0,35 Vol. % lavere end målt værdi, er betydelig mindre, hvilket er en naturlig følge af, at betydningen for omregningen stiger kraftigt, jo højere O₂ koncentrationen er.

Den mørkeblå kurve viser, at hvis man kan acceptere en usikkerhed på op til 50 % på omregningen til en lavere iltprocent og har den angivne usikkerhed på O₂ målingen på ±0,35 Vol. %, kan man kun korrigere fra målte værdier op til 20 Vol. % O₂, og 19 Vol. % O₂, hvis usikkerheden på omregningen kun må være 20 %. Dette er dog forudsat, at usikkerheden på O₂ målingen er ±0,35 Vol. %. Bedre måleudstyr og specielle krav til kalibreringen kan reducere denne usikkerhed, men det vil ikke umiddelbart være omfattet af målefirmaernes akkreditering, og det er også uvist, hvor lav usikkerhed der kan opnås på den måde.

5 Problemer med målingernes detektionsgrænser

Der kan også være problemer med detektionsgrænsen for målingen, som ifølge Luftvejledningen bør være mindst 10 gange lavere end grænseværdien. Detektionsgrænsen for CO og NO_x med kontinuerede målere, skal ifølge standardernes performance kriterier være bedre end 2 % af måleområdet. Detektionsgrænsen vil typisk være væsentligt bedre end performancekravet og derfor ofte være mindre end 1 %.

CO og NO_x målere findes med forskellige måleområder, og nogle typer kan skifte mellem flere måleområder. Når der som her er tale om stærkt fortyndet røggas i direkte tørreprocesser, vil det også være meget lave koncentrationer, der skal måles, og derfor bør der anvendes målere med lave måleområder og tilsvarende lave kalibreringsgasser for at få lave detektionsgrænser. Tabel 6 viser måleområde og maksimum detektionsgrænse for CO og NO_x målere med lave måleområder.

Tabel 6. Eksempler på måleområder og detektionsgrænser for CO og NO_x målere

Parameter	Måleområde		Detektionsgrænse	
	ppm	mg/m ³ (n,t)	ppm	mg/m ³ (n,t)
CO	0 - 100	0 - 125	2	2,5
	0 - 10	0 - 13	0,2	0,3
NO _x	0 - 100	0 - 410	2	4,1
	0 - 10	0 - 41	0,2	0,4

Rapport nr. 72

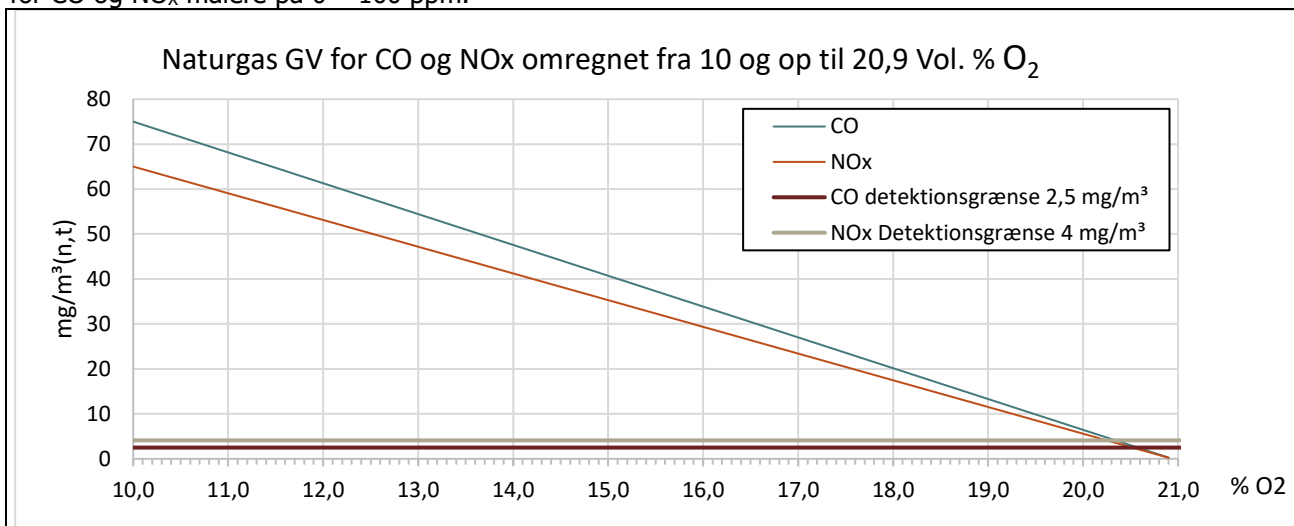
Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

Det er muligt at anvende målere med endnu lavere måleområder, idet der findes måleudstyr på markedet til både CO og NO_x med variable måleområder, hvor det laveste måleområde er 0 – 10 ppm eller 0 – 20 ppm, men det kan ikke forventes, at alle akkrediterede målefirmaer er i besiddelse af den type målere med så lave måleområder.

Anlæg til direkte tørring kan anvende forskellige typer brændsel, som har forskellige grænseværdier for CO og NO_x ved anvendelse i energianlæg. Nogen anlæg anvender endvidere brændsler, som medfører vilkår til andre parameter end CO og NO_x, f.eks. tungmetaller. I det følgende ses der udelukkende på parametrene CO og NO_x.

I de følgende diagrammer vises kurver for emissionsgrænseværdierne for CO og NO_x for fyring med naturgas, gasolie og biomasse, der er omregnet til reference O₂ % op til 21 Vol. % O₂, og de sammenlignes med detektionsgrænserne for CO og NO_x målere med lave måleområder.

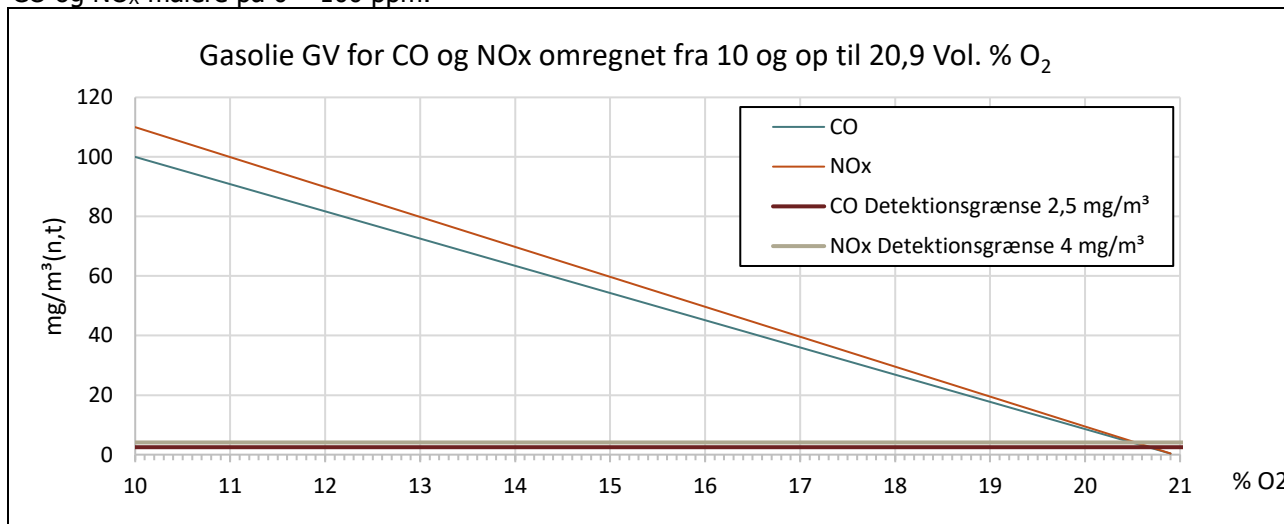
Figur 3. Naturgas grænseværdier for CO og NO_x omregnet til høj O₂ koncentration og detektionsgrænserne for CO og NO_x målere på 0 – 100 ppm.



Naturgas har de laveste grænseværdier for CO og NO_x på henholdsvis 65 og 75 mg/m³(n,t) ved 10 Vol. % O₂. Hvis målingerne på naturgasfyrede anlæg skal leve op til kravet om, at detektionsgrænsen skal være mindre end 10 % af grænseværdien, kan der med måleudstyr for både CO og NO_x med måleområder på 0 – 100 ppm kun udføres målinger op til ca. 14 Vol. % O₂ for NO_x og ca. 17 Vol. % O₂ for CO, fordi GV er ca. 10 gange detektionsgrænsen ved disse O₂ koncentrationer. Skal denne regel overholdes ved målinger ved højere O₂ koncentration, skal der anvendes målere med måleområde 0 – 10 ppm (med mindre der er tale om store overskridelser af grænseværdien).

Med måleområder på 0 – 100 ppm kan det aflæses i diagrammet, at GV for CO og NO_x kommer under detektionsgrænserne ved omkring 20,3 Vol. % O₂ for CO og 20,6 Vol. % O₂ for NO_x.

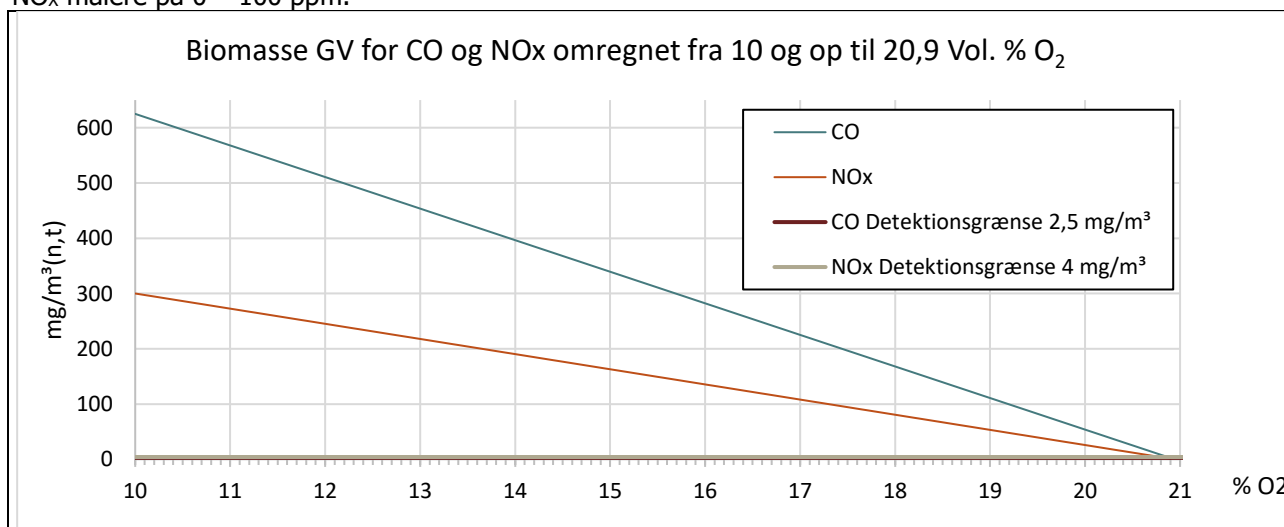
Figur 4. Gasolie grænseværdier for CO og NO_x omregnet til høj O₂ koncentration og detektionsgrænserne for CO og NO_x målere på 0 – 100 ppm.



Gasolie har grænseværdier for CO og NO_x på henholdsvis 100 og 110 mg/m³(n,t) ved 10 Vol. % O₂. Hvis målingerne på gasoliefyrede anlæg skal leve op til kravet om, at detektionsgrænsen skal være mindre end 10 % af grænseværdien, kan der med måleudstyr for CO og NO_x med måleområder på 0 – 100 ppm kun udføres målinger op til ca. 17 Vol. % O₂ for NO_x og ca. 18 Vol. % O₂ for CO, fordi GV er ca. 10 gange detektionsgrænsen ved disse O₂ koncentrationer. Skal denne regel overholdes ved målinger ved højere O₂ koncentration, skal der anvendes målere med måleområde 0 – 10 ppm.

Med måleområder på 0 – 100 ppm kan det aflæses i diagrammet, at GV for CO og NO_x kommer under detektionsgrænserne ved omkring 20,5 Vol. % O₂.

Figur 5. Biomasse grænseværdier for CO og NO_x omregnet til høj O₂ % og detektionsgrænserne for CO og NO_x målere på 0 – 100 ppm.



Rapport nr. 72

Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

Biomasse har meget højere grænseværdier for CO og NO_x end naturgas og gasolie, henholdsvis 625 og 300 mg/m³(n,t) ved 10 Vol. % O₂. Hvis målingerne på biomassefyrede anlæg skal leve op til kravet om, at detektionsgrænsen skal være mindre end 10 % af grænseværdien, kan der med måleudstyr for CO og NO_x med måleområder på 0 – 100 ppm kun udføres målinger op til ca. 19 Vol. % O₂ for NO_x og ca. 20 Vol. % O₂ for CO, fordi GV er ca. 10 gange detektionsgrænsen ved disse O₂ koncentrationer. Skal denne regel overholdes ved målinger ved højere O₂ koncentration, skal der anvendes målere med måleområde 0 – 10 ppm.

Med måleområder på 0 – 100 ppm kan det aflæses i diagrammet, at GV for CO og NO_x kommer under detektionsgrænserne ved omkring 20,7 Vol. % O₂.

6 Diskussion og anbefaling

Grænseværdierne for CO og NO_x for anlæg til direkte tørring, bør som udgangspunkt svare til de grænseværdier, der gælder for energianlæg, fordi der grundlæggende anvendes den samme type forbrændingsteknologi til tørreanlæg, og derfor kan de som udgangspunkt også overholde de samme grænseværdier. Som omtalt, er det problemer med detektionsgrænser og usikkerheden på O₂ målingen, der giver vanskelighederne, når røggassen fortyndes med meget luft.

Hvis det er muligt at foretage emissionsmålinger, før røggassen blandes med ekstra luft og det materiale, der skal tørres i den direkte tørring, kan de almindeligt gældende grænseværdier anvendes, men det er sjældent muligt på anlæg til direkte tørring, fordi luften blandes ind umiddelbart omkring og efter forbrændingen. Derfor kan man som udgangspunkt kun kontrollere emissionen efter tørreprocessen, og efter at det tørrede materiale er separeret fra tørreluften.

Det er i princippet ligegyldigt, hvilken reference-O₂ % der anvendes, og ved hvilken aktuel O₂ koncentration der måles, men der er en begrænsning i, hvor høj O₂ koncentration der kan måles ved, og det der betyder mest er:

- Detektionsgrænsen for den komponent der skal måles
- Usikkerheden på O₂ målingen

Der er flere ting, der rent måleteknisk kan gøres for at reducere de negative effekter og forbedre målingerne ved høj O₂ koncentration:

1. Høj kvalitet af måleudstyr med måleområder, der modsvarer de grænseværdier, der skal eftervises og de koncentrationer, der måles. For måling af CO og NO_x betyder det, at hvis de målte koncentrationer er mindre end 10 ppm, skal der anvendes udstyr med måleområde 0 – 10 ppm, og hvis de målte værdier er mellem 10 og 100 ppm, skal måleområdet være 0 – 100 ppm.
2. Måleudstyr kalibreres med kalibreringsgasser, der er tæt på de koncentrationer, der skal måles, og kalibrering skal foretages både før og efter målingen.
 - a. O₂ måleren kalibreres med luft som spangas, og med en kalibreringsgas med højt O₂ indhold i N₂, i området 13 – 18 Vol. % O₂.
 - b. CO og NO_x målere skal kalibreres med kalibreringsgasser, der udgør ca. 80 % af det anvendte måleområde, dvs. ca. 8 ppm for måleområdet 1 – 10 ppm og ca. 80 ppm for måleområdet 0 – 100 ppm.

Der er flere muligheder for at fastsættes grænseværdier for anlæg med direkte tørring:

Rapport nr. 72

Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

1. Der fastsættes grænseværdier ved en fast høj O₂ koncentration, som gælder for målinger ved højere O₂ koncentration. Hvis der måles ved lavere O₂ koncentration, korrigeres resultatet til referencen, mens der ikke foretages korrektion ved højere O₂ koncentrationer. Grænseværdier fastsat på denne måde vil være afhængige af typen af brændsel, og reference O₂ % kan dermed også være fastsat til forskellige værdier for hver brændselstype, selvom der kan være fordele ved at have den samme.
2. Grænseværdierne fastsættes som ved en fast høj O₂ koncentration som under punkt 1, men der stilles også krav til målernes kvalitet, måleområde og kalibrering for at reducere detektionsgrænserne og betydningen af usikkerheden på O₂ målingen. Her vil det være nødvendigt at fastsætte en øvre grænse for den O₂-koncentration omregningen foretages fra, så der ikke anvendes en højere værdi end f.eks. 19,5 Vol. %, selvom den målte koncentration er højere.
3. Der stilles krav om masseemission i forhold til mængden af brændsel, f.eks. i g/GJ eller g/ton brændsel. Dette vil fjerne problemerne med den store usikkerhed på O₂ målingen og omregningen til referencetilstand, men der vil stadig være problemer med målinger, der er mindre end målernes detektionsgrænser. Desuden forudsætter det nøjagtig måling af flow og forbrugt brændsel i måleperioden, hvilket introducerer usikkerhed på måling af disse to parametre, hvor specielt måling af forbrugt mængde brændsel kan være forbundet med meget stor usikkerhed.

Ved at fastsætte en maksimal O₂ koncentration under punkt 1 og 2, kan man fortynde sig ud af et problem, ved at tilføre mere tørreluft, men ifølge luftvejledningen må der ikke anvendes fortynding for at overholde emissionsgrænseværdier. Det anses dog også for vanskeligt i praksis, fordi mere tørreluft giver lavere temperatur og dårligere tørring, så den ønskede tørring ikke opnås.

6.1 Forslag til fastsættelse af grænseværdier

Vi har følgende forslag til fastsættelse af grænseværdier og krav til målinger for anlæg til direkte tørring:

For anlæg, hvor det er muligt at foretage emissionsmålinger i røggassen fra forbrændingen, før den blandes med ekstra tørreluft og anlæg, der kører med moderat O₂ koncentration - f.eks. op til 16 - 18 Vol. %, anvendes som udgangspunkt de almindeligt gældende grænseværdier for energianlæg i standardvilkårene G201 og G202 ved 10 Vol. % O₂.

For anlæg, der kører med en højere O₂ koncentration, som kan være helt op i nærheden af luftens koncentration på 21 Vol. % O₂, foreslås:

- Grænseværdien fastsættes ved en O₂ reference i nærheden af det pågældende anlægs normale drifts O₂ koncentration, f.eks. 18 eller 19 Vol. % O₂ ud fra beregningerne i Tabel 4 og Tabel 5, hvor værdierne forøges med betydningen af O₂ målingens usikkerhed på O₂ korrektionen i Figur 2.
- Der fastsættes en maksimal O₂ koncentration, og målinger op til denne værdi skal korrigeres til referencen for grænseværdien. Måles højere O₂ koncentration, anvendes den maksimale O₂ koncentration til korrektionen.
- Der stilles krav til målernes detektionsgrænse, måleområde og de kalibreringsgasser, der skal anvendes. Kravene fastsættes ud fra de fastsatte grænseværdier og den maksimale O₂ koncentration.

Rapport nr. 72

Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

I Tabel 7 er vist et eksempel på, hvordan grænseværdier for direkte tørring for anlæg der kører ved mindst 19 Vol. % O₂ kunne fastsættes.

Tabel 7. Eksempel på grænseværdier for CO for anlæg til direkte tørring

CO [mg/m ³ (n,t)]	Grænse- værdi	Korrigeret til 19 Vol. % O ₂	Korrigeret med +54 %*	Afrunding
Reference O ₂ %:	10	19		
Naturgas (> 120 kW)	75	14	21	25
Gasolie (> 120 kW)	100	18	28	30
Kul (> 5 MW)	100	18	28	30

* Korrektion med betydningen af O₂ målingens usikkerhed på O₂ korrektionen aflæst i Figur 2 på den mørkeblå kurve ved 20 Vol. % O₂ (den maksimale O₂ koncentration til korrektion).

Tabel 8. Eksempel på grænseværdier for NO_x for anlæg til direkte tørring

NO _x [mg/m ³ (n,t)]	Standardvilkår i G202	Korrigeret til 19 Vol. % O ₂	Korrigeret med +54 %*	Afrunding
Reference O ₂ %:	10 Vol. %	19 Vol. %		
Naturgas (> 120 kW)	65	12	18	20
Gasolie (> 120 kW)	110	20	31	30
Kul (> 5 MW)	200	36	56	60

* Korrektion med betydningen af O₂ målingens usikkerhed på O₂ korrektionen aflæst i Figur 2 på den mørkeblå kurve ved 20 Vol. % O₂ (den maksimale O₂ koncentration til korrektion).

Hvis den aktuelle O₂ % måles til højere værdier end 20 Vol. %, anvendes 20 Vol. % til korrektionen af reference tilstanden.

Der er tale om et eksempel, hvor principperne for fastsættelse af grænseværdien kan anvendes til andre reference O₂ koncentrationer. Der kan også vælges en anden maksimal O₂ koncentration til korrektion, som også anvendes til fastsættelse af korrektionsfaktoren. Endelig kan korrektionsfaktoren ændres, hvis usikkerheden på O₂ målingen er større eller mindre end de forudsatte ± 0,35 Vol. %.

Ved målingerne skal der anvendes måleudstyr med måleområder, der svarer til grænseværdierne og den aktuelle O₂ koncentration, der skal måles ved. For både CO og NO_x vil det være et måleområde på 0 – 100 ppm ved reference O₂ på 19 Vol. % samt mulighed for at skifte til et måleområde på 0 – 10 ppm, hvis måleresultatet er mindre end 10 ppm. Målerne skal kalibreres med kalibreringsgasser med koncentration på ca. 80 % af det anvendte måleområde, dvs. 8 ppm for området 0 – 10 ppm og 80 ppm for området 1 – 100 ppm.

O₂ måleren skal være kalibreret med luft som spangas, og en kalibreringsgas med høj O₂ koncentration (f.eks. 13 – 18 Vol. %), således at de målte værdier ligger imellem disse to kalibreringsgasser.

Princippet kan også bruges på andre parametre, f.eks. tungmetaller.

Som tidligere nævnt kan også emissionsgrænseværdier i f.eks. g/MJ anvendes. Ved sådanne grænseværdier undgås problemerne med høj O₂, men til gengæld skal der måles både volumenstrøm og brændselsflow med de dertil hørende usikkerheder og omkostninger.