

<b>Referencelaboratoriet for måling af emissioner til luften</b>	
<b>Titel</b>	<b>Grænseværdier for anlæg til direkte tørring</b>
<b>Undertitel</b>	
<b>Forfatter(e)</b>	<b>Ole Schleicher, Knud Christiansen</b>
<b>Arbejdet udført, år</b>	<b>2014</b>
<b>Udgivelsesdato</b>	<b>27. november 2015</b>
<b>Revideret, dato</b>	<b>14. november 2017</b>
	<b>31. januar 2020</b>
	<b>3. maj 2022</b>

## Indholdsfortegnelse

1	Indledning .....	2
2	Anlæg til direkte tørring .....	3
2.1	Krav til direkte tørring.....	4
2.2	Brændere til direkte tørring.....	4
2.3	Regulering af brændere til direkte tørring .....	8
2.4	LowNOx brændere til direkte tørring.....	9
3	Måleresultater fra anlæg til direkte tørring .....	11
4	Referencetilstand og usikkerhed på O <sub>2</sub> måling .....	13
4.1	Usikkerhed på O <sub>2</sub> målingen .....	16
4.2	Detektionsgrænser .....	17
5	Diskussion og anbefaling.....	18
5.1	Forslag og anbefalinger til fastsættelse af grænseværdier .....	20
Bilag A	Dannelse og emission af CO og NO <sub>x</sub> .....	23
Bilag B	Forslag til krav om dokumentation for nye og bestående anlæg.....	27
Bilag C	Eksempler på tørreanlæg til markafgrøder .....	28

# Rapport nr. 72

## Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

---

### Forord

Ved revisionen den 14. november 2017 er emissionsgrænseværdierne ved referencen 10 % O<sub>2</sub> rettet til korrekte værdier. Desuden er enkelte slåfejl rettet, og enkelte formuleringer er justeret til at være mere præcise.

Ved revisionen i januar 2020 er der udført væsentlige tilføjelser og ændringer i det meste af rapporten.

Der er bl.a. suppleret med beskrivelse af anvendte brændere og styring i anlæg til direkte tørring, beskrivelse af dannelse af CO og NO<sub>x</sub>, og der gives konkrete anbefalingerne om fastsættelse af emissionsgrænseværdier for eksisterende og nye anlæg, afhængigt af brænderteknologien.

Ved revisionen i maj 2022 er emissionsgrænseværdien fra MCP-bekendtgørelsen for nye anlæg rettet til 100 mg/m<sup>3</sup> (var fejlagtigt angivet til 105 mg/m<sup>3</sup>).

## 1 Indledning

Rapporten indeholder anbefalinger for regulering af emissioner fra anlæg til direkte tørring, og vil indgå som baggrundsmateriale i Miljøstyrelsens arbejde med revision af Luftvejledningen (vejledning nr. 2, 2001). I den forbindelse vil Miljøstyrelsen tage stilling til vejledende emissionsgrænseværdier for anlæg med direkte tørring.

Luftvejledningen omfatter ikke emissionsgrænseværdier for NO<sub>x</sub> og CO fra energianlæg, som anvendes til direkte tørring. Ved direkte tørring er der ofte iblandet så meget ekstra tørreluft, at O<sub>2</sub> koncentrationen kan være i området 19 – 21 Vol. % O<sub>2</sub>. Ved så høj O<sub>2</sub> koncentration er det problematisk at korrigere målte emissioner til en reference O<sub>2</sub> %, fordi korrektionen indebærer, at der divideres med forskellen mellem luftens og tørreluftens indhold af O<sub>2</sub>, 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 O<sub>2</sub> 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 fordampes 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 O<sub>2</sub> 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 listevirksomhed<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Miljøministeriets bekendtgørelse nr.682 af 18.juni 2014

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

---

Formålet med projektet er at give Miljø et kvalificeret grundlag til at fastsætte vejledende emissionsgrænseværdier for CO og NO<sub>x</sub> for energianlæg, der anvendes til direkte tørring.

## 2 Anlæg til direkte tørring

I anlæg til direkte tørring anvendes røggasserne fra et brændersystem til at tørre mediet ved direkte kontakt. Røggasserne blandes med luft, der tilsættes enten før eller efter brændersystemet, for at opnå den temperatur der skal bruges i tørringen. Der skal være en vis kontakttid mellem medie og tørreluften, for at vandet kan nå at fordampe, hvilket normalt opnås i en tørretromle eller et tørrerør. Efter tørreprocessen adskilles mediet fra luften i cykloner og/eller partikelfiltre, og tørreluften afledes via en skorsten.

Direkte tørring anvendes ofte når tørre-mediet kan tåle at være i kontakt med fortyndet røggas. Røggassens indhold af forurenende stoffer spiller en væsentlig rolle ved valg af brændsel til direkte tørring af foderstoffer og fødevarer. Naturgas er et almindeligt anvendt brændsel, da forbrændingen er ren og røggassens indhold af problematiske stoffer er lille. LPG gas og gasolie anvendes på nogle anlæg, fx små korn- og grønttørringsanlæg.

Fuelolie og faste brændsler anvendes sjældent, men der er kendskab til enkelte anlæg i Danmark, der anvender fuelolie og kul.

Direkte tørring er bl.a. udbredt til tørring af følgende medier:

- Korn og foderstoffer
- Bi- og restprodukter der anvendes til foder, fx fra sukker-, kartoffelmel fabrikker og bryggerier.
- Stivelse og protein på kartoffelmelsfabrikker
- Blodprodukter (fra slagterier)
- Fødevarer, som morgenmadsprodukter, kaffe, tobak, salt.
- Slam fra spildevandsrensning
- Stenmaterialer på asfaltfabrikker

Se bilag A om beskrivelse af anlæg til direkte tørring af markafgrøder.

Processer, hvor der tørres og brændes fx cement, kalk eller letklinker, har direkte tørring i forbindelse med opvarmning af materialerne til meget høj temperatur med henblik på at opnå en kemisk omdannelse af materialet (fx dekarbonisering) og/eller afbrænding af organisk materiale for at danne en porøs struktur. Denne type anlæg, hvor den direkte tørring ikke er hovedformålet med processen, omtales ikke yderligere i denne rapport.

Processen i asfaltfabrikker har udover den direkte tørring også til formål at opvarme stenmaterialerne, så den færdige asfalt kan forarbejdes frem til anvendelsen. Asfaltfabrikker medtages som eksempel i denne rapport, fordi direkte tørring er en del af processen og der er standardvilkår med emissionsgrænseværdier for asfaltfabrikker.

Ifølge Gastech, som forhandler og servicerer brændere til direkte tørring, er en stor del af anlæggene i Danmark små anlæg på mindre end 1 MW. Hovedparten af resten er mellem 5 og 10 MW, og antallet over 10 MW er lille.

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

---

#### 2.1 Krav til direkte tørring

Ved direkte tørring er en konstant, ensartet og relativ lav temperatur vigtig for at sikre, at produktet får den ønskede ensartede tørhed, uden at det går ud over kvalitet, smag eller næringsværdi. Mange materialer og produkter kan ikke tåle for høj temperatur, fordi det enten kan give fysiske skader (fx skaltørring), uens fugtfordeling eller ændring af smag eller kvalitet (fx ødelæggelse af proteiner).

Det er således vigtigt, at tørreluftens temperatur kan reguleres hurtigt i takt med ændringer i produktionen og materialets vandindhold. Det stiller store krav til de brændere, der anvendes, og til den måde man blander røggas og ekstra luft for at opnå den ønskede lave, stabile og ensartede tørretemperatur.

Tørreanlæggets udformning har stor betydning for forløbet af tørreprocessen. Der findes derfor mange forskellige typer, som hver især er velegnede til forskellige materialer og produkter med varierende partikelstørrelse og fysisk/kemiske egenskaber. Da selve tørreanlæggenes udformning ikke har direkte indflydelse på emissionerne fra brænderne, så omtales de ikke yderligere i denne rapport.

#### 2.2 Brændere til direkte tørring

Der findes to typer brændere til direkte tørring, som beskrives i de næste to afsnit:

1. Dysebrændere
2. Kanalbrændere

##### 2.2.1 Dysebrændere

Dysebrændere svarer til almindelige brændere til gas eller olie, hvor brændslet blæses ud gennem en dyse i midten af brænderhovedet, og forbrændingsluften blæses ind i et mønster lige omkring dysen, som sikrer en god opblanding af brændsel og luft, hvilket giver en god og effektiv forbrænding.

Tørreluft kan enten tilføres i en ring udenom brænderen eller efter flammen, eller brænderen kan installeres, så den brænder vinkelret eller skråt ind i en kanal med den luftstrøm, der skal varmes op til tørrelufttemperaturen.

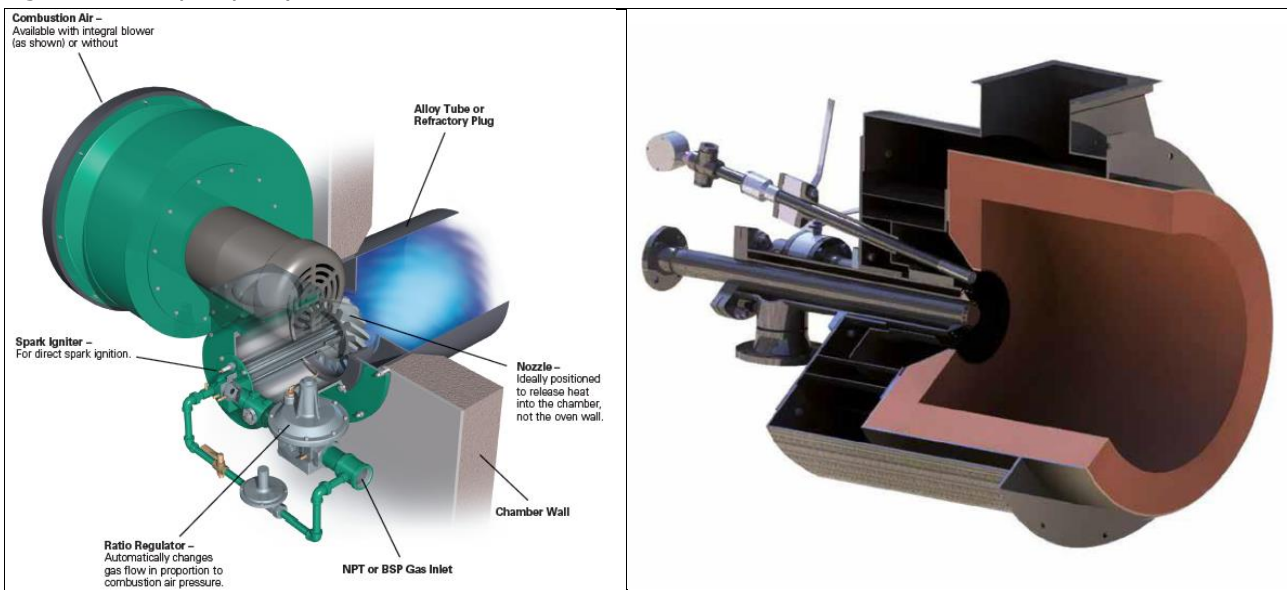
Dysebrændere til direkte tørring kan normalt kun anvendes til gasformige brændsler (naturgas og LPG). Der kan leveres kombinationsbrændere, som både kan køre med gas og gasolie, men de findes kun til større effekter, dvs. fra 5-10 MW og op. De fleste anlæg, der bruger gasolie eller fuelolie, anvender derfor den samme type brændere, der anvendes i almindelige energianlæg til den pågældende olietype.

På dysebrændere kan man normalt regulere på forbrændingsluft og gas/olie flowet samtidig, så man altid har det optimale forhold, og dermed en effektiv forbrænding. Til gengæld kan det være vanskeligt at opnå en effektiv opblanding af røggas og tørreluft, så temperaturen bliver ensartet. Dysebrændere giver en lang flamme med en relativ høj temperatur, og det er generelt vanskeligt at blande varm luft effektivt med koldere luft.

# Rapport nr. 72

## Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

Figur 1. Eksempler på dysebrændere



Dysebrændere kan fås i udgaver med lave eller meget lave NO<sub>x</sub> emissioner, men de markedsføres ikke nødvendigvis som LowNO<sub>x</sub> brændere. De almindeligt anvendte brændere på markedet har dog generelt lave emissionsværdier, som vist i Tabel 1.

Tabel 1. Dysebrændere med leverandørens opgivelser ved fyring med naturgas for emission af NO<sub>x</sub> og CO i mg/normal m<sup>3</sup> tør røggas

Dysebrændere			Ved 3% O <sub>2</sub>		Ved 17% O <sub>2</sub>		Ved 19% O <sub>2</sub>	
Fabrikat	Type	Model	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO
Eclipse	Winnox (LowNO <sub>x</sub> )	WX0100	<b>6</b>	<b>40</b>	2	10	1	5
Eclipse	RatioMatic	RM0200	<b>100 - 150</b>	-	22 - 30	-	11 - 15	-
Fives ITAS	Intensityflame	MI	<b>&lt; 200</b>	<b>&lt; 190</b>	< 45	< 42	< 22	< 21
Fives ITAS	Dryflame		<b>&lt; 200</b>	<b>&lt; 60</b>	< 45	< 15	< 22	< 8

Værdier med **fede typer** er leverandørens oplysninger for fyring med naturgas, og de øvrige er omregnede værdier. Leverandørens oplysninger er ikke garantiværdier, da emissioner altid vil afhænge af anlæggets konkrete udformning og last, samt det anvendte brændsel.

Anvendes LPG vil der generelt være en højere emission af NO<sub>x</sub> i forhold til naturgas, fordi LPG har en højere brændværdi, og det medfører en højere flammetemperatur, som giver en større dannelse af termisk NO<sub>x</sub>. Winnox brænderen er opgivet til at have en fordobling af NO<sub>x</sub>-emissionen ved fyring med LPG, og RatioMatic har en forøgelse på 50 – 60%. De to andre brændere har kun opgivet data for naturgas. Der er derfor en betydelig usikkerhed på, hvor meget højere emissionerne vil være ved fyring med LPG.

Dysebrænderne i Tabel 1 er kun beregnet til fyring med gas. Ved fyring med gasolie eller andre flydende brændsler, anvendes brændere til almindelige energianlæg, som er konstrueret anderledes end gasbrændere, fordi olien skal forstøves i en dyse. Ved fyring med flydende brændsler vil emissionen af CO og NO<sub>x</sub> generelt være højere end ved fyring med naturgas.

## Rapport nr. 72 Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

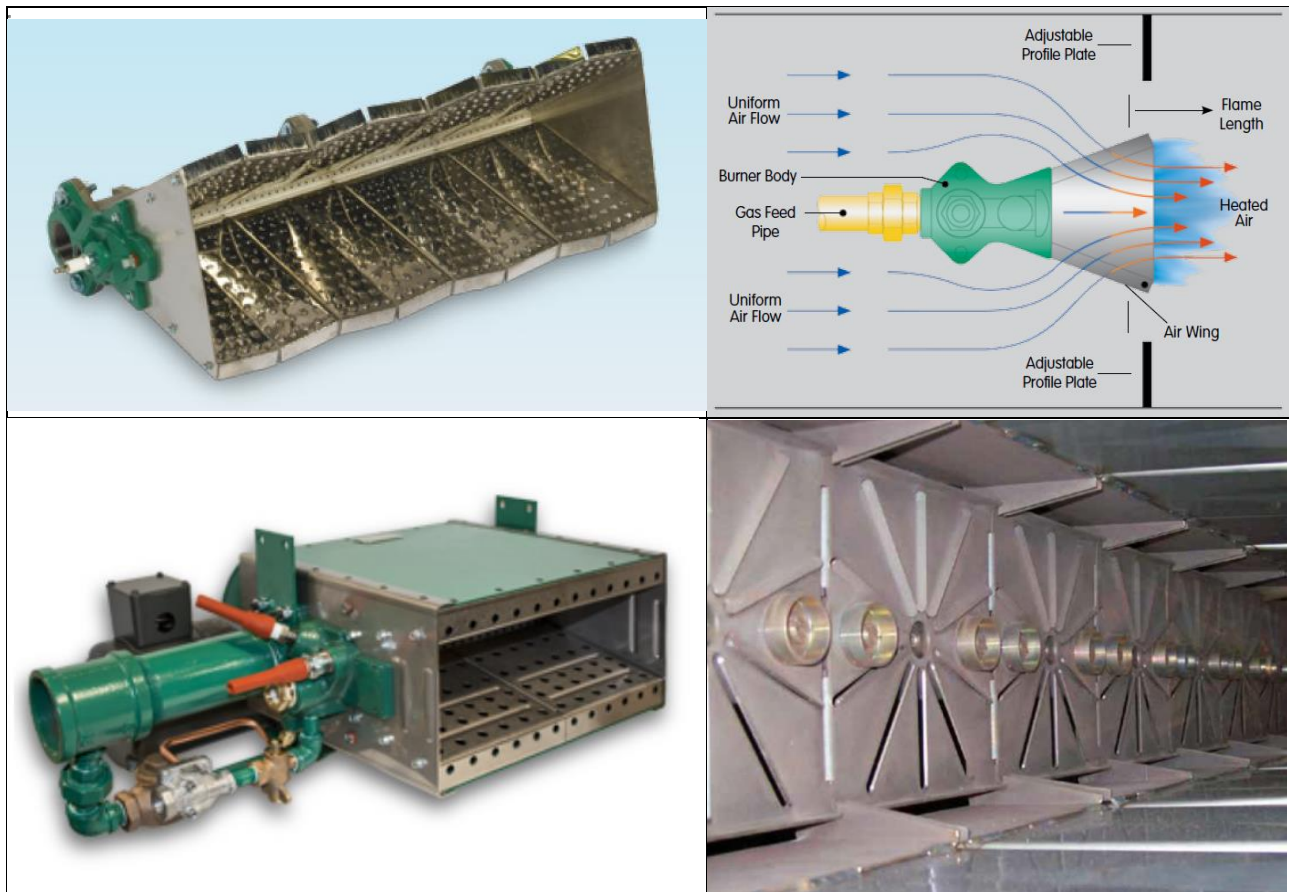
Ældre dysebrændere i eksisterende anlæg antages at kunne have emissioner i samme niveau som dysebrænderen med de højeste emissionsniveauer i Tabel 1 (Intensityflame fra Fives ITAS). Det kan dog ikke udelukkes, at der findes brændere og installationer, som har væsentlig højere emissioner.

### 2.2.2 Kanalbrændere

Kanalbrændere er sammensat af et antal små brændersektioner, der sidder i et gitter jævnt fordelt over tværsnittet i en firkantet kanal, hvor tørreluften blæses igennem. En brændersektion er enten 17" eller 1 fod (150 / 300 mm) og i bunden af hver er der et antal dyser, som egentlig bare er en række små huller i gasrøret, med 0,7 – 1 cm afstand. Det første billede i Figur 2 viser en kanalbrændersektion, hvor der kan ses en række små huller (dyser) i det rør, der ligger i inderst i enheden. Det andet billede viser princippet for forbrændingen med luftflow forbi brændersektionen. De to nederste billeder er andre typer kanalbrændere.

Kanalbrændere kan kun anvendes til gasformige brændsler, og her er naturgas det mest udbredte, men der kan også anvendes LPG (flydende gas under tryk, som består af 98% propangas og lidt butangas).

Figur 2. Eksempler på kanalbrændere



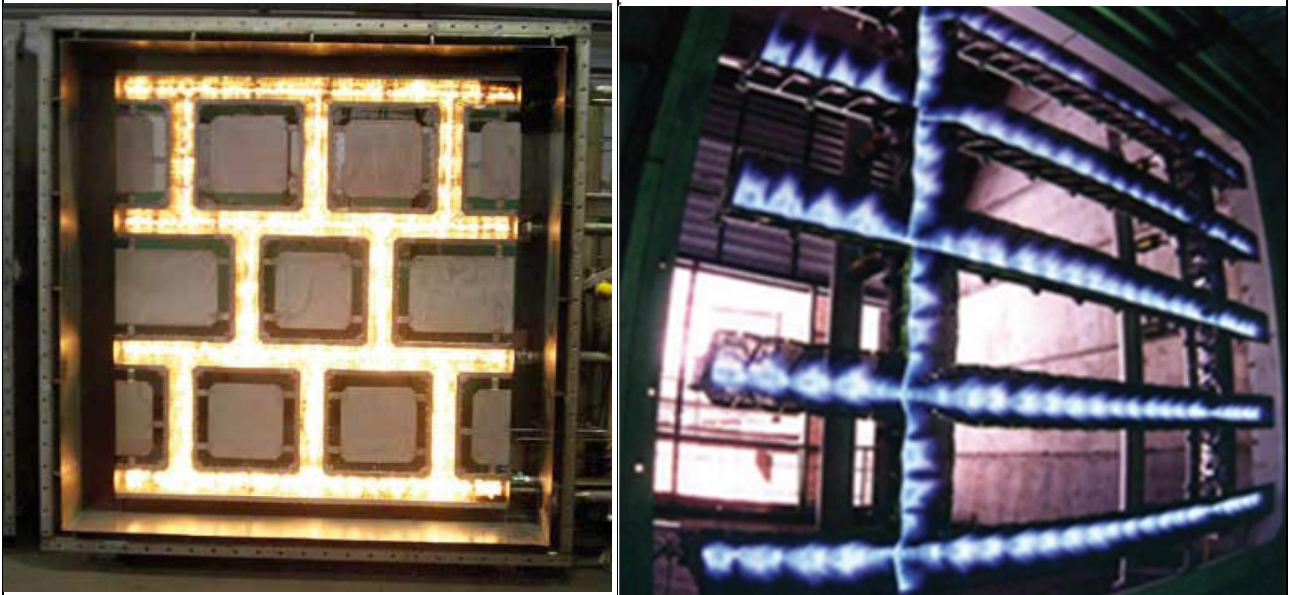
Den viste kanalbrændersektion i Figur 2 (billede 1) har en indfyret effekt på maksimalt 300 kW. For at opnå den ønskede effekt bygges flere brændersektioner normalt sammen i et mønster i en kanal. De mange små sektioner med flere dyser jævnt fordelt i kanalen giver en god temperaturfordeling over kanaltværsnittet.

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

Forbrændingen i en kanalbrænder sker som altid med et stort luftoverskud under alle driftsforhold for at beskytte brænderens vitale dele mod for høj temperatur.

Figur 3. Eksempler på sammensatte kanalbrændere, der giver en jævn opvarmning af luften i kanalen.



Der findes forskellige type kanalbrændere afhængigt af, om de skal anvendes til opvarmning af frisk luft eller recirkuleret luft, og de kan enten have egen forbrændingsluftsbleser til selve flammen eller de kan udelukkende bruge luften i kanalen til forbrændingen.

Kanalbrændere kan fås i udgaver med lav NO<sub>x</sub> emission, hvor niveauet dog afhænger af reguleringsmetoden, som beskrevet i afsnit 2.3. De almindeligt anvendte brændere på markedet har generelt lave emissionsværdier, som vist i Tabel 2.

Tabel 2. Kanalbrændere med leverandørens opgivelser om emissionsniveauer for NO<sub>x</sub> og CO i mg/normal m<sup>3</sup> tør røggas for uspecificerede gasformig brændsel

Kanalbrænder			Ved 3 % O <sub>2</sub>		Ved 17 % O <sub>2</sub>		Ved 19 % O <sub>2</sub>	
Fabrikat	Type	Model	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO
Eclipse	AirHeat	AH-MA	<b>120 – 180</b>	<b>250-&gt;1250</b>	25 – 100	44 - >200	7 - 10	22 - > 100
Eclipse	Linnox	ULE	<b>&lt; 30</b>	<b>&lt; 125</b>	<b>&lt; 7</b>	<b>&lt; 28</b>	< 2	< 11
Fives ITAS	Ductflame	F	<b>&lt; 160</b>	<b>&lt; 90</b>	< 35	< 20	< 20	< 10
Fives ITAS	Ductflame	L	<b>&lt; 200</b>	<b>&lt; 560</b>	< 44	< 125	< 22	< 62
Fives ITAS	Ductflame	R	<b>&lt; 200</b>	<b>&lt; 60</b>	< 44	< 13	< 22	< 7
Fives ITAS	Ductflame	H/T/C	<b>&lt; 100</b>	<b>&lt; 100</b>	< 22	< 22	< 11	< 11

Værdier med **fede typer** er leverandørens oplysninger for naturgas ved høj last, og de øvrige er omregnede værdier. Leverandørens oplysninger er ikke garantiværdier, da emissioner altid vil afhænge af anlæggets konkrete udformning og last, samt den anvendte type gas.

Man anvender normalt ikke med betegnelsen LowNO<sub>x</sub> brændere for kanalbrændere, fordi NO<sub>x</sub> emissionen også afhænger af den anvendte gastype og i høj grad af den konkrete installation og regulering af brænderen.

## Rapport nr. 72 Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

Anvendes LPG vil der generelt være en højere emission af NO<sub>x</sub> i forhold til naturgas, fordi LPG har en højere brændværdi, og det medfører en højere flammetemperatur, som giver en større dannelse af termisk NO<sub>x</sub>. Leverandørernes emissionstal er angivet uden specificering af gastype, så det er uvist om man kan regne med, at værdierne gælder for både naturgas og LPG.

LPG anvendes i en del anlæg, hvor der ikke er naturgas i nærheden. Der forventes et stigende antal LPG-fyrede anlæg, fordi flere gasoliefyrede anlæg forventes at skifter til LPG, bla. for at få mindre påvirkning af produktet fra tørreprocessen.

Ældre kanalbrændere i eksisterende anlæg antages at have emissioner i samme niveau som Eclipse AirHeat AH-MA, som er en brænder, der har været på markedet i mange år. Det kan dog ikke udelukkes, at der findes brændere og installationer, som har væsentlig højere emissioner.

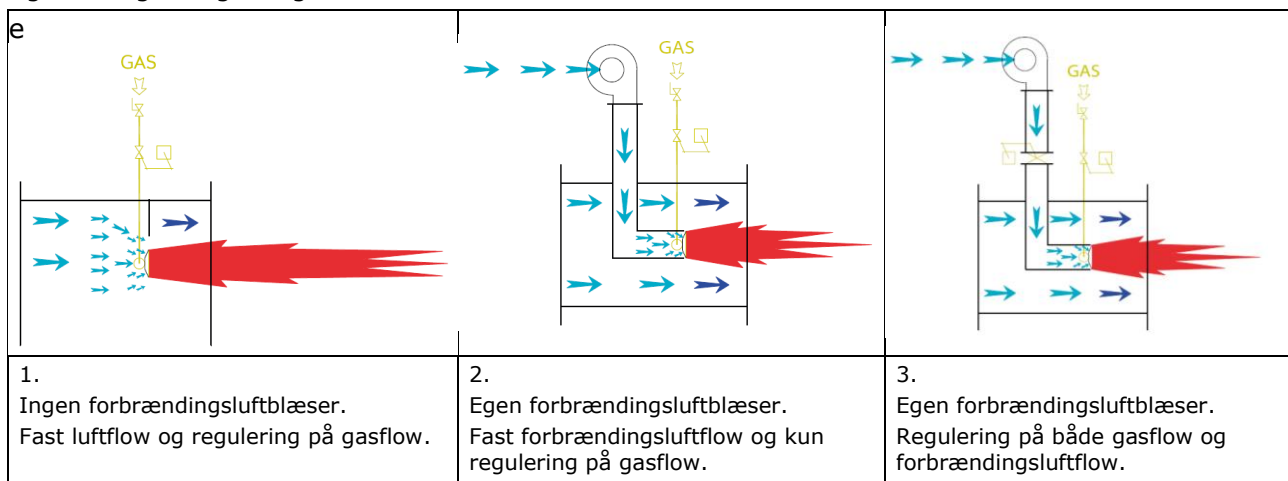
### 2.3 Regulering af brændere til direkte tørring

Der er tre måder at regulere temperatur og luftflow i anlæg til direkte tørring med kanalbrændere, mens der på dysebrændere normal altid reguleres på luft- og brændsels-tilførsel samtidigt.

De tre reguleringsmåder for kanalbrændere er illustreret i Figur 4.

Det første billede viser det simpleste anlæg med et fast luftflow, hvor temperaturen udelukkende reguleres på gasflowet. Ved lav last (mindre end 50 – 60 % last) stiger CO emissionen, fordi lavere last giver en øget afkøling af flammerne.

Figur 4. Reguleringsmuligheder for kanalbrændere



En bedre regulering med større arbejdsområde opnås på installationer med egen forbrændingsluftblæser til flammen, som enten kan være med et fast eller regulerbart flow (billede 2 og 3 i Figur 4). I begge tilfælde kan der også reguleres på brændselsflowet (gas flowet), og der opnås en bedre og mere effektiv forbrænding i flammen i forhold til den første reguleringsmulighed. Den bedste forbrænding med laveste emissioner i hele reguleringsområdet kan opnås med regulering på både gasflow og forbrændingsluftflow, som vist i billede 3.

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

---

Anlæg med fast forbrændingsluftmængde (billede 2) har også problemer med, at CO emissionen er stigende ved lav last, men mindre end for brændere uden egen forbrændingsluftblæser (billede 1).

LowNOx kanalbrændere har altid egen forbrændingsluftforsyning og regulering af både gas og forbrændingsluft, som vist på billede 3. LowNOx effekten opnås ved den automatiske regulering af forbrændingsluften.

I installationer med egen forbrændingsluftblæser kan der også reguleres på det store flow af tørreluft i kanalen, og dermed kan der opnås et meget stort reguleringsområde, uden meget høj CO emission ved lav last.

Der kan være meget stor forskel på de krav, der stilles til anlæg til direkte tørring med hensyn til tørretemperatur, tørrekapacitet, regulering efter varierende vandindhold i det der skal tørres, hyppighed af skift mellem forskellige produkter mv., og det har betydning for den type brændere og reguleringsmuligheder, der kan vælges.

Der er dog en stigende tendens til, at der vælges LowNOx brændere af hensyn til kvaliteten af produktet, ikke fordi der er nogen krav fra Fødevarestyrelsen, men af hensyn til nuværende eller forventede kommende krav eller ønsker fra kunderne.

Tørreanlæggets udformning og reguleringsmuligheder fastlægges ud fra de krav og ønsker, der er før etableringen. Her vil krav til emission af CO og NO<sub>x</sub> også have en betydning, men da der hidtil ikke har været regler om faste emissionsgrænseværdier, så har det nok sjældent haft nogen større betydning for valg af brændere.

#### 2.4 LowNOx brændere til direkte tørring

Både dysebrændere og kanalbrændere kan fås i udgaver med lav NO<sub>x</sub> emission, men de omtales normalt ikke som LowNOx brændere. Der er stort prismæssigt spring fra almindelige brændere til dem med lav NO<sub>x</sub> emission, idet prisen næsten fordobles.

For dysebrændere benyttes 2 principper til at reducere NO<sub>x</sub> dannelsen:

- FGR (flue gas recirkulation)
- Forøgelse af forbrændingsluftmængde i selve flammen.

Begge metoder sænker flammemetemperaturen og derved reduceres dannelsen af termisk NO<sub>x</sub>.

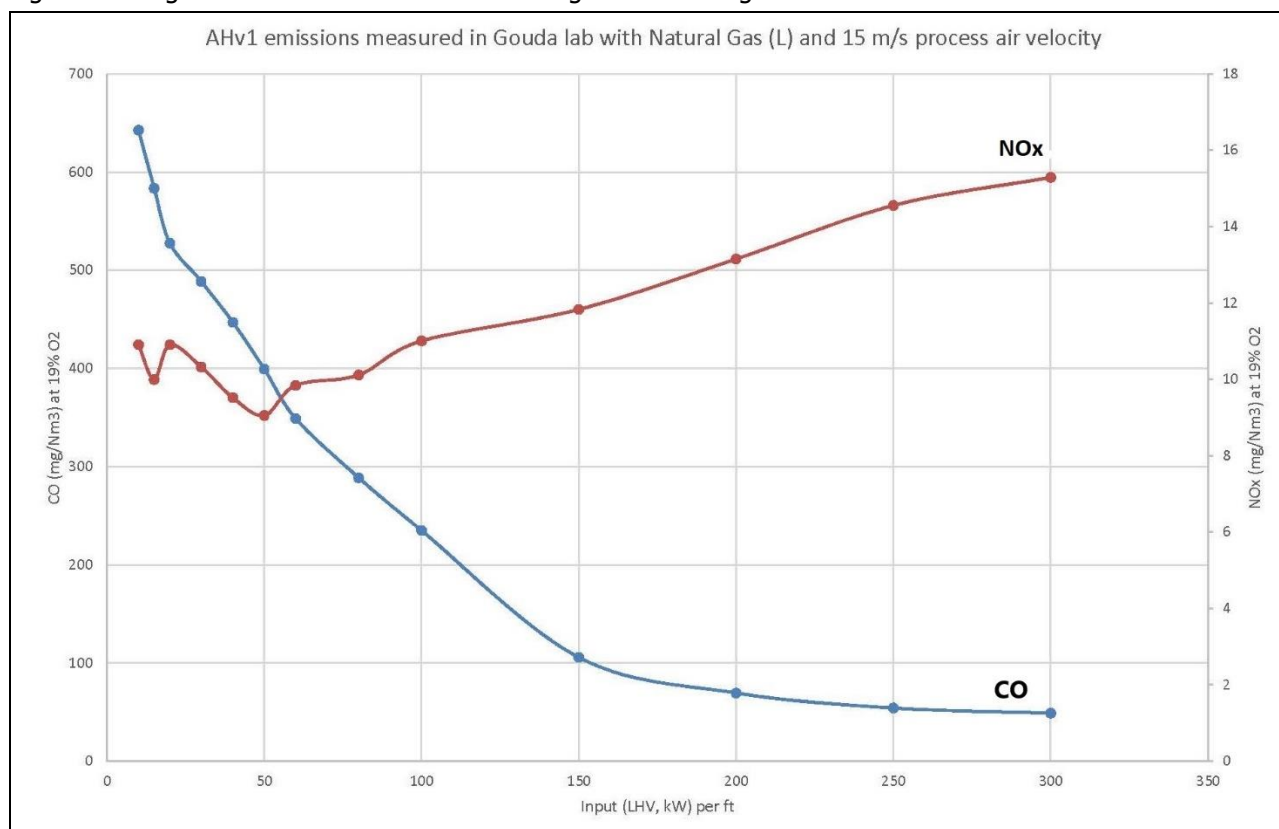
For kanalbrænderne er det altid udformning og styringen af flammeforbrændingen, der giver lavere NO<sub>x</sub>, fordi der altid er rigeligt luftoverskud til at give den nødvendige køling af flammen, som reducerer dannelsen af termisk NO<sub>x</sub>.

I almindelige nyere gas- og oliefyrede energianlæg er der normalt altid anvendt LowNOx brændere for at kunne overholde de gældende emissionsgrænseværdier. Det har medført et faldende marked for ikke-LowNOx brændere, og et større salg af LowNOx brændere. Markedskræfterne har medført en vis reduktion af prisforskellen. For brændere, der anvendes til direkte tørring, er markedet mindre og en tilsvarende nedgang i priserne for brændere med lav NO<sub>x</sub> emission kan ikke forventes.

### 2.4.1 Brænderreguleringens betydning for emissionen af CO og NO<sub>x</sub>

Reguleringen af brænderne har en stor indflydelse på CO emissionen, som på nogle applikationer kan blive meget høj, når anlægget kører med lav eller meget lav belastning. I Figur 5 er vist et eksempel på sammenhængen mellem CO og NO<sub>x</sub>-emissionen afhængigt af belastningen på et anlæg, hvor brændselsflowet kan reguleres, mens luftflowet er konstant.

Figur 5. CO og NO<sub>x</sub> som funktion af varierende gasflow i anlæg med konstant luftflow



CO emissionen er lav (ca. 50 mg/Nm<sup>3</sup>) ved høj belastning (200 – 300 kW), hvor NO<sub>x</sub> til gengæld er højest (13 – 15 mg/Nm<sup>3</sup>). Ved lav belastning stiger CO emissionen voldsomt, fordi den meget lave forbrænding giver en lille flamme med lav temperatur og kort opholdstid, så den CO, der altid dannes i flammen, ikke kan nå at blive brændt til CO<sub>2</sub>.

Anlæg med brænderen som i Figur 5, der altid kører ved høj belastning, vil generelt have lave CO-emissioner, men hvis det er dimensioneret til at kunne køre normal produktion ved worst case forhold, fx meget højt fugtindhold i det materiale der skal tørres, og det normalt kører med en lav belastning på måske 30-40 % last, så vil der være en betydeligt højere emission af CO. Med den aktuelle brænder (Figur 5) vil der være en væsentlig forhøjet emission af CO, mens NO<sub>x</sub> vil nærme sig det lavest mulige niveau.

Brænderen, der er vist i Figur 5, er en gængs og meget anvendt kanalbrænder, der bl.a. sidder på et anlæg til direkte tørring i Danmark. Her er der udført emissionsmålinger, som viste en CO emission på 76-80 mg/m<sup>3</sup>(n,t) ved den aktuelle ilt koncentration på omkring 20 % O<sub>2</sub>. Brænderen er i følge brænderfabrikanten korrekt indreguleret, og det betyder, at CO emissionen ligger på det niveau, hvor man teoretisk forventer, at brænderen vil ligge i høj last. Sænkes lasten vil CO emission blive højere, som vist på kurven.

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

Hvis CO emission skal sænkes, vil det være nødvendigt, at brænderen udskiftes til en LowNOx kanalbrænder. En af de bedste LowNOx kanalbrændere, der findes på markedet, har en forventet CO emission ved maksimal kapacitet på ca. 28 mg/Nm<sup>3</sup> ved 17% O<sub>2</sub>.

Det er således muligt at opnå væsentlig lavere emission ved anvendelse af en LowNOx kanalbrænder, men omkostningen kan være stor. Et konkret priseksempel er et 400 kW kanalbrændersystem til 130.000 kr., som med LowNOx brændere vil koste 225.000 kr.

Se mere om dannelsen af CO og NO<sub>x</sub> i forbrændingsprocesser i Bilag A.

### 3 Måleresultater fra anlæg til direkte tørring

Miljøstyrelsen har udleveret en række målerapporter fra målinger på anlæg til direkte tørring. Måleresultaterne, som kun omfatter O<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> og ikke CO, er vist i Tabel 3. Det er et relativt beskedent udsnit af det samlede anlæg til direkte tørring, der formodes at findes i Danmark.

Tabel 3. Målinger på anlæg til direkte tørring

Anlæg størrelse MW	Brændsel	O <sub>2</sub> Vol. %	NO <sub>x</sub> ved aktuel O <sub>2</sub> mg/m <sup>3</sup> (n,t)	NO <sub>x</sub> ved 10 Vol. % O <sub>2</sub> mg/m <sup>3</sup> (n,t)	NO <sub>x</sub> GV for energianlæg mg/m <sup>3</sup> (n,t,10%O <sub>2</sub> )
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 <sup>1</sup>	16,3	185	340	300
>10	Kul <sup>1</sup>	16,7	65	119	200

<sup>1</sup> Der er røggasrensning på anlæggene

Det ses tydeligt, at flere anlæg kører med meget høj O<sub>2</sub> koncentration, og at der ved nogle af målingerne dels angives en detektionsgrænse for NO<sub>x</sub> på 10 mg/m<sup>3</sup>(n,t) og ved tre målinger er de målte værdier fra 3 til 5,5 mg/m<sup>3</sup>(n,t).

To ud af de seks naturgasfyrede anlæg har NO<sub>x</sub> emissioner, der er under grænseværdien på 65 mg/m<sup>3</sup>(n,t,10%O<sub>2</sub>), en er over, og på de 3 sidste er der målt med udstyr, der har en alt for høj detektionsgrænse i forhold til den aktuelle koncentration der skulle måles. Det er derfor yderst vigtigt, at målinger udføres med udstyr med så lav detektionsgrænse, at de faktiske koncentrationer kan bestemmes.

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 4.

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

Tabel 4. Grænseværdier i mg/normal m<sup>3</sup> ved referencen 10 Vol. % O<sub>2</sub> for energianlæg i standardvilkårene G201 og G202 og bekendtgørelsen for mellemstore fyringsanlæg (MCP)

Brændsel	Indfyret effekt	Standardvilkår G201/202		MCP Bestående anlæg		MCP nye anlæg	
		CO	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Naturgas	≥1 MW - <50 MW	75	65	76	64	76	61
Gasolie	≥1 MW - <50 MW	100	110	101	110	101	110
Fuelolie	≥1 MW - ≤5 MW	100	300	101	397	101	183
	>5 MW - <50 MW	100	300	101	299	101	183
Kul	≥1 MW - ≤5 MW	(Ikke tilladt)		99	477	99	367
	>5 MW - <50 MW	100	200	99	202	99	202

Emissionsgrænseværdierne i standardvilkårene for listepunkt G201 og G202, og i bekendtgørelsen om mellemstore fyringsanlæg gælder dog ikke for anlæg til direkte tørring.

Til sammenligning er grænseværdierne for tørreprocessen på asfaltanlæg i standardvilkårene for listepunkt C202 i bekendtgørelsen om standardvilkår vist i Tabel 5, sammen med grænseværdierne fra luftvejledningen for tilsvarende brændsler i energianlæg.

Tabel 5. Emissionsgrænseværdier for asfaltanlæg i standardvilkår C202 ved 17 og 10 Vol. % O<sub>2</sub>, samt de tilsvarende grænseværdier i luftvejledningen

Brændsel	mg/m <sup>3</sup> (n,t) ved 17 Vol. % O <sub>2</sub>				mg/m <sup>3</sup> (n,t) ved 10 Vol. % O <sub>2</sub>			
	CO		NO <sub>x</sub>		CO		NO <sub>x</sub>	
	C202	Luftvejled.	C202	Luftvejled.	C202	Luftvejled.	C202	Luftvejled.
Naturgas, LPG og gasolie	350	27 - 36	400	23 - 36	963	75 - 100	1.100	65 - 110
Fuelolie	500	36	400	108	1.375	100	1.100	300

Emissionsgrænseværdierne er generelt fastsat i forhold til de emissionsniveauer den pågældende type anlæg kan overholde, og da grænseværdierne for asfaltanlæg blev fastsat i standardvilkårene for listepunkt C202, blev det med væsentligt højere værdier, end grænseværdierne for energianlæg i luftvejledningen.

Et anlæg til direkte tørring er ikke et energianlæg, men da der anvendes de samme brændsler og til dels samme brænderteknologi, 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, virkemåde, og de emissionsniveauer, der kan opnås med de anvendte brændere. Det er også nødvendigt at tage højde for de problemer, der er med at omregne en målt emission til en reference O<sub>2</sub> %, når der er en meget høj O<sub>2</sub> koncentration. Mange anlæg til direkte tørring kører med en O<sub>2</sub> koncentration i området omkring og over 19 - 20 %.

## 4 Referencetilstand og usikkerhed på O<sub>2</sub> måling

Baggrunden for, at grænseværdierne for energianlæg angives ved en reference O<sub>2</sub> %, som målte emissioner skal omregnes til, er dels, at grænseværdien skal være ens for alle, uanset hvilken O<sub>2</sub> koncentration anlægget drives ved, og dels for at sikre, at man ikke kan overholde grænseværdien ved at køre ved en højere O<sub>2</sub> 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-O<sub>2</sub> er fastsat til en værdi, der er i nærheden af anlægstypens normale drifts-O<sub>2</sub>, 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. % O<sub>2</sub> for alle typer brændsel. Herudover er der i diverse bekendtgørelser, f.eks. gasmotor-, mellemstore fyr- og store fyr bekendtgørelserne, en række forskellige referencer på 3, 6 og 15 Vol.% O<sub>2</sub>.

Det har dog ikke nogen praktisk betydning for vurderingen af målingerne i forhold til grænseværdien, hvilken reference O<sub>2</sub> % der anvendes, bare der er taget hensyn til omregningen ved fastsættelse af grænseværdien. Hvis en grænseværdi med referencen 10 % O<sub>2</sub> omregnes til 3 Vol. % O<sub>2</sub>, vil det give nøjagtigt samme vilkår for dem, der er underlagt grænseværdien, uanset om reference er 10 eller 3 Vol. % O<sub>2</sub> og fra hvilken O<sub>2</sub> koncentration, de skal lave omregningen. Det gælder dog kun så længe anlægget ikke drives ved en O<sub>2</sub> koncentration, der er i nærheden af luftens indhold af O<sub>2</sub>.

Ved korrektion af målte emissioner til den reference O<sub>2</sub> %, 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 O<sub>2</sub> %

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

Det kan ses i formlen, at man dividerer med differencen mellem luftens O<sub>2</sub> koncentration (21 Vol. %)² og den målte O<sub>2</sub> koncentration, og jo tættere den målte O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> koncentrationer, hvilket er vist i nedenstående graf, som viser korrektion af en måling på 1 mg/m³ til 11 Vol. % O<sub>2</sub> ved stigende O<sub>2</sub> koncentration op til 20,9 Vol. %.

Princippet for reference O<sub>2</sub> % er, at koncentrationen ved den målte O<sub>2</sub> % 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<sub>2</sub> koncentration går

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

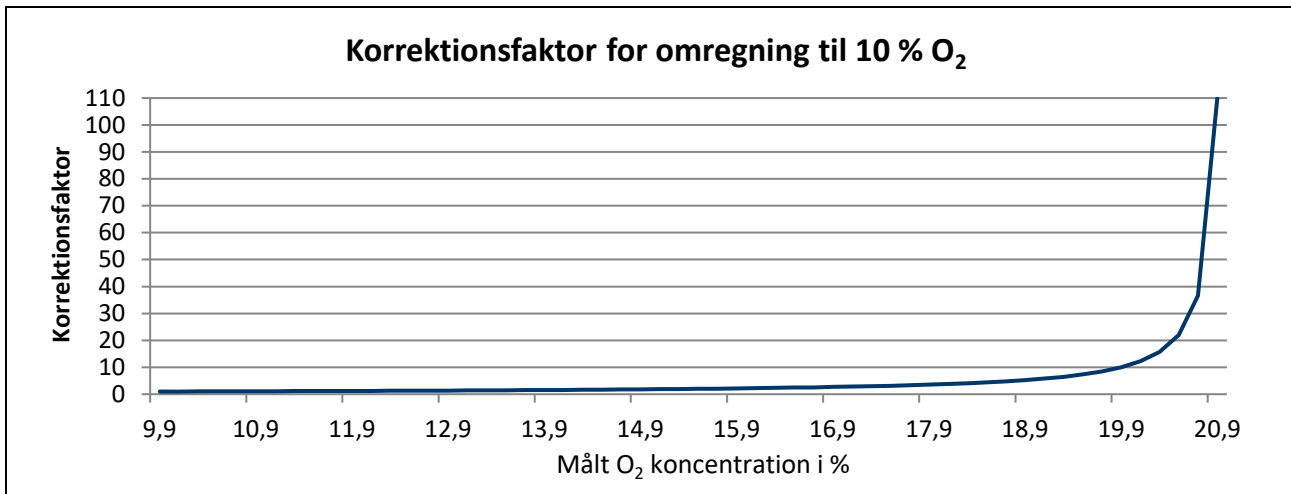
## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

mod luftens O<sub>2</sub> koncentration, går den korrigerede koncentration ved reference O<sub>2</sub> % mod uendeligt, og beregnes røggasmængden ved referencen, går den mod 0. Den samlede masseemission er derved konstant.

Korrektionsfaktoren er den faktor, der kan beregnes efter Luftvejledningens formel for omregning til referencetilstanden ved at anvende værdien 1 for C<sub>målt</sub>. Korrektionsfaktoren for omregning til 10% O<sub>2</sub> er beregnet og vist i Figur 6.

Figur 6. Korrektionsfaktor for omregning til referencen 10 Vol. % O<sub>2</sub>

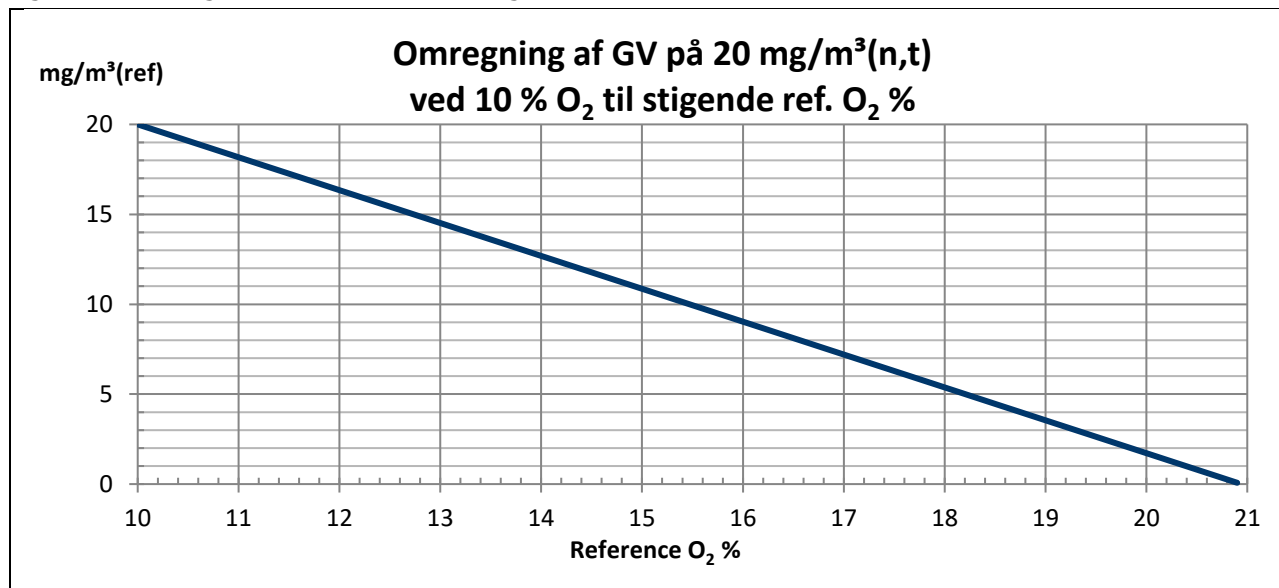


Det ses tydeligt, at korrektionsfaktoren stiger meget voldsomt, når den målte O<sub>2</sub> koncentration kommer op over 18-19 Vol. %, og det giver en uforholdsmæssig stor korrektion i forhold til korrektionen ved lavere O<sub>2</sub> koncentration. Hvis den målte O<sub>2</sub> koncentration nærmer sig 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<sub>2</sub> koncentration på 20,9 Vol. %, når der anvendes 21 Vol. % for luftens indhold af O<sub>2</sub>.

Når korrektionsfaktoren stiger så voldsomt ved høj O<sub>2</sub> koncentration, betyder det også, at der er nogle specielle problemer forbundet med målinger ved så høj O<sub>2</sub> koncentration og efterfølgende omregning til en lavere reference O<sub>2</sub> %.

Problemet illustreres bedst ved at se på en grænseværdi og omregne den til højere reference-O<sub>2</sub> %. I Figur 7 er vist en grænseværdi på 20 mg/m<sup>3</sup>(n,t) ved 10 Vol. % O<sub>2</sub>, der er omregnet til en stigende reference O<sub>2</sub> %. Grænseværdien falder, fordi der fortyndes med mere og mere luft, men masseemissionen er stadig den samme.

Figur 7. Samme grænseværdi ved forskellige reference O<sub>2</sub> %



Grænseværdien ved 21 Vol. % O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> koncentrationen.

Grænseværdierne for CO og NO<sub>x</sub> for energianlæg ved referencen 10% O<sub>2</sub> fra standardvilkårene i G201 er vist i de næste to tabeller, sammen med omregninger til referencerne 3% og 6% O<sub>2</sub> der anvendes i bekendtgørelse om mellemstore fyringsanlæg for henholdsvis gas og olie, samt kul. Der er suppleret med omregninger til reference fra 16 til 20% O<sub>2</sub>.

Tabel 6. CO grænseværdier for energianlæg fra standardvilkår G201 omregnet til forskellige reference O<sub>2</sub>%.

mg/m <sup>3</sup> (n,t) ved referencen:	3%	6%	10%	16%	17%	18%	19%	20%
Naturgas og biogas	125	-	75	34	27	20	14	7
Gasolie og vegetabilsk	165	-	100	45	36	27	18	9
Fuelolie, anlæg > 5 MW	165	-	100	45	36	27	18	9
Kul, anlæg > 5 MW	-	135	100	45	36	27	18	9

Tabel 7. NO<sub>x</sub> grænseværdier for energianlæg fra standardvilkår G201 omregnet til forskellige reference O<sub>2</sub>%.

mg/m <sup>3</sup> (n,t) ved referencen:	3%	6%	10%	16%	17%	18%	19%	20%
Naturgas og biogas	105	-	65	30	24	18	12	6
Gasolie og vegetabilsk	180	-	110	50	40	30	20	10
Fuelolie, best. anlæg >5 MW	490	-	300	136	109	82	55	27
Fuelolie, nye anlæg >5 MW	300	-	183	83	67	50	33	17
Kul, anlæg >5 MW	-	275	200	91	73	55	36	18

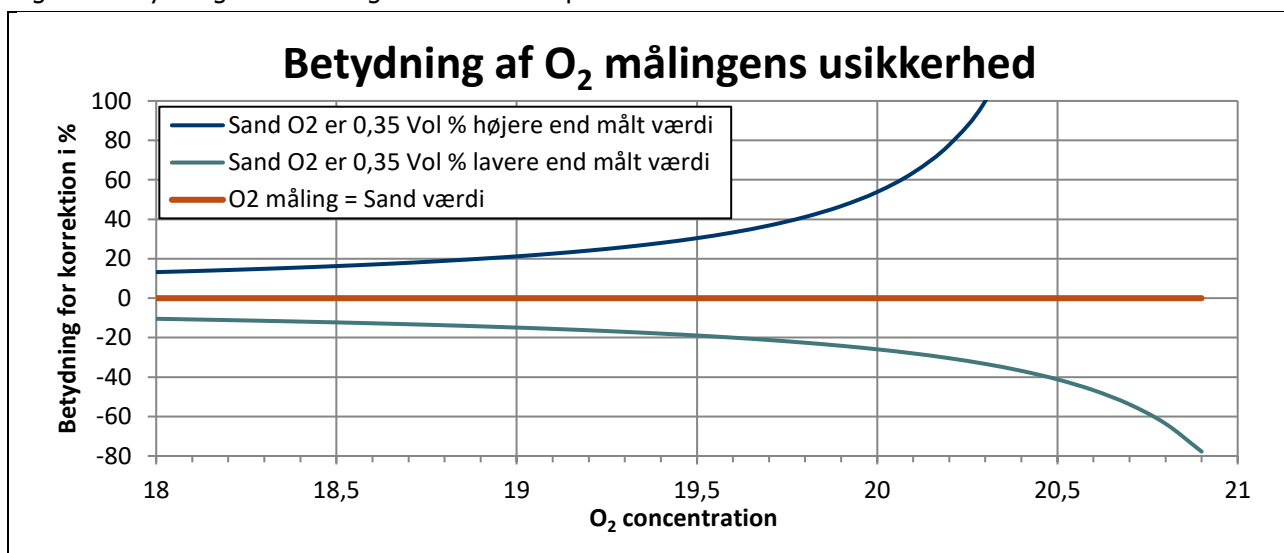
Ud fra omregningerne i tabellerne kunne man finde de grænseværdier, der passer med den O<sub>2</sub> % et givent anlæg kører ved, men når O<sub>2</sub> koncentration stiger, er der stigende problemerne med usikkerheden på O<sub>2</sub> målingen og med detektionsgrænserne for CO og NO<sub>x</sub>-målerne, som det vises i de to næste afsnit.

#### 4.1 Usikkerhed på O<sub>2</sub> målingen

Den samlede usikkerhed på O<sub>2</sub> målingen er i CEN standarden for måling af O<sub>2</sub> beregnet til  $\pm 0,69$  Vol. %, men da O<sub>2</sub> målere normalt er bedre end dette, regnes her med en usikkerhed på det halve, dvs.  $\pm 0,35$  Vol. %. Det betyder, at ved måling på en fortyndet røggas med en O<sub>2</sub> koncentration på 20,5 %, så kan et O<sub>2</sub> måleinstrument vise fra 20,15 Vol. % og op til 20,85 Vol. % O<sub>2</sub>.

Dette er illustreret i Figur 8, der viser hvilken betydning en usikkerhed på  $\pm 0,35$  Vol. % på målingen af O<sub>2</sub> har for omregningen til en referencetilstand. Figuren viser kun området fra 18 til 21 Vol. % O<sub>2</sub>, fordi betydningen bliver mindre, jo lavere den målte O<sub>2</sub> koncentration er.

Figur 8. Betydning af O<sub>2</sub> målingens usikkerhed på korrektion til en referencetilstand



Hvis O<sub>2</sub> målingen svarer til den sande værdi, er der ingen afvigelse fra den korrekte omregnede værdi til en reference O<sub>2</sub> %, hvilket vises med den røde streg gennem 0, dvs. at der er 0 % afvigelse på omregningen.

Hvis den sande O<sub>2</sub> koncentration er 0,35 Vol. % højere end den målte værdi (dvs. inden for den angivne usikkerhed på O<sub>2</sub> 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. % O<sub>2</sub> aflæses betydningen for korrektion i Figur 8 til 54 % på den mørkeblå kurve øverst. Hvis den beregnede værdi ved f.eks. 18 Vol. % O<sub>2</sub> er 20 mg/m<sup>3</sup>(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 O<sub>2</sub> 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. % O<sub>2</sub> aflæses betydningen for korrektion i Figur 8 til -41 % på den lyseblå kurve nederst. Hvis den beregnede værdi ved f.eks. 18 Vol. % O<sub>2</sub> er 20 mg/m<sup>3</sup>(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. % O<sub>2</sub>, 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 O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> målingen på ±0,35 Vol. %, kan man kun korrigere fra målte værdier op til 20 Vol. % O<sub>2</sub>, og 19 Vol. % O<sub>2</sub>, hvis usikkerheden på omregningen kun må være 20 %. Dette er dog forudsat, at usikkerheden på O<sub>2</sub> 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.

## 4.2 Detektionsgrænser

Der kan også være problemer med detektionsgrænsen for måling på anlæg til direkte tørring, specielt hvis de kører med meget høj iltkoncentration, for så er koncentrationerne af NO<sub>x</sub> og CO meget lave, uanset om anlægget har et LowNO<sub>x</sub> brænder system eller ej. I følge Luftvejledningen bør detektionsgrænsen være mindst 10 gange lavere end grænseværdien. Detektionsgrænsen for CO og NO<sub>x</sub> med kontinuerte 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% af måleområdet. Det er dog op til målefirmaerne at beregne den aktuelle detektionsgrænse for det udstyr og den måleopstilling de anvender.

Ved måling på anlæg til direkte tørring, bør der stilles krav om anvendelse af måleudstyr, som har detektionsgrænser, der lever op til luftvejledningens generelle krav om, at detektionsgrænsen skal være mindst 10 gange lavere end emissionsgrænseværdien.

Hvis der skal udføres emissionsmålinger på anlæg der ikke har fastsat nogen emissionsgrænseværdier, så bør der foretages en kvalificeret vurdering af de mulige koncentrationer, så man med sikkerhed udfører målinger med udstyr der har en så lav detektionsgrænse, at de konkrete emissioner kan måles med rimelig sikkerhed i forhold til de grænseværdier der kan forventes stillet.

## 5 Diskussion og anbefaling

Anlæg til direkte tørring har en meget stor variation i emissionen af NO<sub>x</sub> og CO fra forskellige anlægstyper og brænderteknologier. De mere simple og billigste typer har typisk relativt høj emission af NO<sub>x</sub> og CO, og de nyere og mest avancerede og også dyreste brænderteknologier har typisk meget lav emission af NO<sub>x</sub> og CO. Det betyder, at anbefalinger til grænseværdier må deles op i nye og eksisterende anlæg. Da der yderligere er meget stor forskel i brænderteknologi og emissioner fra anlæg med dysebrændere og anlæg med kanalbrændere, så må anbefalinger til grænseværdier yderligere deles op i de to anlægstyper.

Kanalbrændere kan udelukkende anvende gasformige brændsler, dvs. naturgas, LPG, biogas mv., men dysebrændere kan fås til både gasformige og flydende brændsler, som typisk er naturgas eller gasolie. Da emissionerne normalt er højere fra fyring med gasolie end fra naturgas og grænseværdier ligeså, så er det nødvendigt med en yderligere opdeling af grænseværdierne for dysebrændere i gasformige og flydende brændsler. Her behandles dog kun brændslerne naturgas og gasolie.

Anbefalinger til grænseværdier deles derfor naturligt op som vist i Tabel 8.

Tabel 8. Opdeling af anbefalinger til grænseværdier

Brænderteknologi	Brændsel	Nye / Eksisterende anlæg
Dysebrændere	Naturgas	Nye anlæg
		Eksisterende anlæg
	Gasolie	Nye anlæg
		Eksisterende anlæg
Kanalbrændere	Naturgas	Nye anlæg
		Eksisterende anlæg

Opdelingen betyder ikke, at eksisterende anlæg automatisk skal have lempeligere emissionsvilkår end nye anlæg. Eksisterende anlæg med brændere der kan overholde de samme krav som nye anlæg, bør have samme emissionsvilkår som nye anlæg.

Der er også en række andre forhold, der bør tages i betragtning ved fastsættelse af emissionsgrænseværdier for anlæg til direkte tørring:

1. De faktiske emissioner der er fra eksisterende og nye brændere, afhængigt af brændslet (naturgas, LPG eller gasolie).
2. Hvilke brændere der kan anses for at være BAT for anlæg til direkte tørring og hvilke emissioner de typisk giver.
3. At emissionen af CO typisk vil være højere end fra almindelige energianlæg, og på nogle anlæg kan være meget højere ved lav last og tomgangskørsel i forhold til fuld last.
4. At man normalt ikke kan etablere rensning for NO<sub>x</sub> i anlæg til direkte tørring.
5. At der kan være måletekniske problemer ved måling af de meget lave koncentrationer, der typisk er på anlæg, der kører med meget højt ilt koncentration (19 – 21 % O<sub>2</sub>).

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

---

6. At hvis den målte emission skal omregnes til en referenceiltprocent, så er der stigende problemer med usikkerheden på O<sub>2</sub> målingen jo højere den målte O<sub>2</sub>-koncentration er. En lille fejl på O<sub>2</sub>-koncentrationen giver en meget stor og stigende fejl i den korrigerede værdi, jo nærmere man kommer på luftens O<sub>2</sub>-koncentration.

Dysebrændere i anlæg til direkte tørring er grundlæggende samme teknologi som brændere til fyring med flydende og gasformige brændsler i almindelige energianlæg. Leverandørerne oplysninger viser, at der findes brændere på markedet, som kan overholde grænseværdier for nye anlæg i bekendtgørelsen om mellemstore fyringsanlæg. Derfor anbefales grænseværdier for nye anlæg i bekendtgørelsen om mellemstore fyringsanlæg anvendt for nye anlæg til direkte tørring, der anvender dysebrændere.

Kanalbrændere er en teknologi, der udelukkende anvendes, når der skal anvendes luft med relativ lav temperatur og dermed en høj O<sub>2</sub> koncentration. Selvom brænderteknologien er forskellige fra den, der anvendes i energianlæg, så viser leverandørernes oplysninger, at der er kanalbrændere på markedet, som kan overholde emissionsgrænseværdier for nye anlæg i bekendtgørelsen om mellemstore fyringsanlæg. Derfor anbefales grænseværdier for nye anlæg i bekendtgørelsen om mellemstore fyringsanlæg anvendt for nye anlæg med kanalbrændere.

For dysebrændere og kanalbrændere på eksisterende anlæg, med brændere der kan overholde emissionsgrænseværdier for nye anlæg i bekendtgørelsen om mellemstore fyringsanlæg, anbefales de grænseværdier anvendt for de pågældende anlæg.

For dysebrændere og kanalbrændere på eksisterende anlæg, som ikke kan overholde grænseværdierne i bekendtgørelsen om mellemstore fyringsanlæg, anbefales at tage udgangspunkt i de faktiske emissioner fra hver enkelt anlæg, og fastsætte grænseværdier for CO og NO<sub>x</sub> som de kan overholde. Hvis emissionerne er meget høje i forhold til andre eksisterende anlæg og/eller hvis B-værdierne for CO og/eller NO<sub>x</sub> ikke overholdes, bør der stilles krav om forhøjelse af afkast eller lavere grænseværdier, selvom det vil medføre udgifter til udskiftning af brændere.

For at have et udgangspunkt for vurdering og fastsættelse af konkrete grænseværdier for eksisterende anlæg, anbefales at anvende de højeste grænseværdier for det pågældende brændsel i Luftvejledningens kapitel 6 som vejledende grænseværdier. Dog med en eventuel forhøjelse (fordobling) af CO grænseværdien, da CO-emissionen typisk vil være højere fra anlæg til direkte tørring end fra almindelige energianlæg, specielt for anlæg med kanalbrændere.

Brænderleverandørerne giver begrænsede oplysninger om forventet CO emission fra brænderne, fordi den vil afhænge af lokale forhold, dvs. luftflow, fysisk opbygning af brænderinstallationen og det anvendte brændsel. Desuden er der stor variation i leverandørernes angivelser af emissionerne fra forskellige brændertyper og modeller, hvilket gør det meget vanskeligt at lave et sæt grænseværdier der gælder for alle, medmindre den mindste fællesnævner vælges, dvs. grænseværdier som alle anlæg kan overholde.

#### Reference iltprocent

Der er flere muligheder for at håndtere problemerne med korrektion af målte emissioner fra meget høje O<sub>2</sub> koncentration til en lavere reference O<sub>2</sub> %:

1. Der fastsættes grænseværdier ved en fast høj O<sub>2</sub> koncentration, fx 19% eller 20% O<sub>2</sub>, som gælder for målinger ved højere O<sub>2</sub> koncentration. Hvis der måles ved lavere O<sub>2</sub> koncentration, korrigeres

resultatet til referencen, mens der ikke foretages korrektion for målinger ved højere O<sub>2</sub> koncentrationer. Grænseværdier fastsat på denne måde vil være afhængige af typen af brændsel, og reference O<sub>2</sub> % 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 O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> målingen. Her vil det være nødvendigt enten at fastsætte en øvre grænse for den O<sub>2</sub>-koncentration omregningen foretages fra, så der ikke anvendes en højere værdi end fx 19 eller 20 Vol.%, selvom den målte koncentration er højere, eller at der fratrækkes en usikkerhed på iltmålingen, fx 0,5 Vol.% ved koncentrationer over 19 Vol.%.
3. Der stilles krav om masseemission i forhold til mængden af brændsel, f.eks. i g/GJ, g/ton brændsel, eller alternativt en grænseværdi for emissionen per tidsenhed (g/h). Dette vil fjerne problemerne med den store usikkerhed på O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> 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.

## **5.1 Forslag og anbefalinger til fastsættelse af grænseværdier**

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

Med udgangspunkt i brænderleverandørernes oplysninger om forventede emission af CO og NO<sub>x</sub> er der udarbejdet forslag til emissionsgrænseværdier for gasfyrede kanalbrændere og dysebrændere i henholdsvis nye og bestående anlæg, se Tabel 9 og Tabel 10.

Nye anlæg bør som udgangspunkt etableres med brændere med lav NO<sub>x</sub> emission, dvs. LowNO<sub>x</sub> dysebrændere eller kanalbrændere med regulering som angivet på billes 3 i Figur 4, da det må anses for at være BAT for anlæg til direkte tørring. Dette afspejles i de foreslåede lavere emissionsgrænseværdier for nye anlæg.

Der bør dog udføres en individuel vurdering af grænseværdierne for bestående anlæg, hvis både leverandørens oplysninger om de forventede emissioner og målinger viser, at de foreslåede grænseværdier ikke kan overholdes.

De foreslåede grænseværdier for nye anlæg svarer til grænseværdierne for nye anlæg i bekendtgørelsen om mellemstore fyringsanlæg, som nye brændere ifølge leverandørerne opgivelser kan overholde. For bestående anlæg er der taget udgangspunkt i de højeste grænseværdier i for NO<sub>x</sub> i Luftvejledningen, mens værdierne for CO er højere og afspejler brænderleverandørernes angivelser af den store usikkerhed, der er på

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

den konkrete CO emission fra et anlæg. For eksisterende anlæg skal de angivne grænseværdier betragtes som vejledende, så der for de enkelte anlæg tages udgangspunkt i de faktisk emissioner.

Grænseværdierne fra bekendtgørelsen om mellemstore fyringsanlæg er omregnet fra den gældende reference O<sub>2</sub> på 3 % til henholdsvis 10, 17 og 19 % O<sub>2</sub>, så der kan vælges grænseværdier der er tæt på den normalt forekommende O<sub>2</sub> % i et givent tørreanlæg.

Tabel 9. Forslag til emissionsgrænseværdier for anlæg til direkte tørring med naturgasfyrede kanalbrændere og dysebrændere

Reference:		3 % O <sub>2</sub>		10 % O <sub>2</sub>		17 % O <sub>2</sub>		19 % O <sub>2</sub>	
Anlæg	Enhed	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO
Bestående	mg/m <sup>3</sup>	205	245	125	150	46	54	23	27
Nye	mg/m <sup>3</sup>	100	125	61	75	22	27	11	14

Tabel 10. Forslag til emissionsgrænseværdier for anlæg til direkte tørring med gasoliefyrede dysebrændere

Reference:		3 % O <sub>2</sub>		10 % O <sub>2</sub>		17 % O <sub>2</sub>		19 % O <sub>2</sub>	
Anlæg	Enhed	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO
Bestående	mg/m <sup>3</sup>	205	245	125	150	46	54	23	27
Nye	mg/m <sup>3</sup>	180	165	110	101	40	37	20	18

De foreslåede grænseværdier for dysebrændere gælder kun for naturgas og gasolie, og dem for kanalbrændere gælder kun for naturgas. Forbrænding af LPG-gas giver lidt højere NO<sub>x</sub>-emission i forhold til naturgas, så her kan der være behov for en lidt højere grænseværdi, men det er ikke undersøgt nærmere.

Anlæg til direkte tørring med dysebrændere anvender de samme brændere som anvendes i almindelige energianlæg, og så blandes røggasserne med ekstra luft for at opnå den ønskede temperatur i tørreluft. Derfor er der anvendelige LowNO<sub>x</sub> brændere på markedet, som kan overholde emissionsgrænseværdierne i bekendtgørelsen om mellemstore fyringsanlæg, uanset hvilket brændsel der ønskes anvendt. Derfor anbefales det som udgangspunkt, at for nye anlæg med dysebrændere fastsættes de samme emissionsgrænseværdier, som gælder for det pågældende brændsel i bekendtgørelsen om mellemstore fyringsanlæg.

For eksisterende anlæg bør der ved fastsættelse af grænseværdier tages hensyn til:

- målte emissionsniveauer
- mulighederne for at indregulere anlægget til lavest mulige emission af CO og NO<sub>x</sub>
- brændernes alder og tilstand
- mulighederne og omkostningerne for at udskifte brænderne til LowNO<sub>x</sub> brændere, under forudsætning af, at det er fysisk muligt at installere dem.

Se forslag til krav om dokumentation for både eksisterende og nye anlæg i forbindelsen med fastsættelse af emissionsgrænseværdier i Bilag B.

#### Korrektion til referenceilt

Det er i princippet ligegyldigt, hvilken reference-O<sub>2</sub> % der anvendes, og ved hvilken aktuel O<sub>2</sub> koncentration der måles, men der er et problem med stærk stigende usikkerhed og fejl ved måling og omregning fra meget høje O<sub>2</sub> koncentrationer. Det der betyder mest er:

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

---

- Detektionsgrænsen for den komponent der skal måles
- Usikkerheden på O<sub>2</sub> målingen

På grund af den stigende betydning af usikkerheden på O<sub>2</sub>-målingen ved stigende O<sub>2</sub> koncentration, anbefaler referencelaboratoriet følgende:

1. Hvis den målte O<sub>2</sub> koncentration som timemiddelværdi er mindre end 19 Vol.%, anvendes den aktuelle koncentration til korrektion til referencetilstanden.
2. Hvis den målte O<sub>2</sub>-koncentration som timemiddelværdi er 19 Vol.% eller større, anvendes værdien 19 Vol.% til korrektionen til referencetilstanden.

Dette svarer til de maksimale O<sub>2</sub> koncentrationer i boksen på side 25 i luftvejledningen, som gælder for specifikke processer.

#### **Krav til måleudstyr ved præstationskontrol**

Målingerne skal udføres med udstyr, der har et måleområde og specielt en detektionsgrænse, der passer til at kunne bestemme de koncentrationer der forekommer. Detektionsgrænsen er det vigtigste, for den skal være så lav, at der kan udføre valide målinger af koncentrationen. I følge Luftvejledningen skal detektionsgrænsen være mindre end 10 % af den grænseværdi der skal eftervises, og det kan omregnes til den detektionsgrænse der gælder for måling ved den aktuelle O<sub>2</sub> koncentration.

#### **Forslag til kontrolvilkår**

Krav til præstationskontrol for emissionen af CO og NO<sub>x</sub> bør suppleres med krav om måling ved både normal drift og ved lav belastning eller tomgangskørsel, medmindre det kan dokumenteres, at emissionen er størst ved normal drift.

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

---

#### Bilag A    Dannelse og emission af CO og NO<sub>x</sub>

I anlæg til direkte tørring anvendes i vid udstrækning naturgas, og i mindre grad gasolie. Dette afsnit om dannelse og emission af CO og NO<sub>x</sub> vil derfor tage udgangspunkt i fyring med naturgas, men de forbrændingsmæssige beskrivelser er i princippet også gældende for flydende brændsler og støvbrændere, men ikke for faste brændsler.

##### **Emission af CO og NO<sub>x</sub> fra anlæg til direkte tørring**

Anlæg til direkte tørring giver anledning til emissioner af CO og NO<sub>x</sub> ligesom alle andre slags anlæg med gas- eller oliebrændere. Den store forskel er det meget store luftoverskud (høj iltprocent) anlæggene kører med. Det store luftoverskud medfører, at koncentrationerne af CO og NO<sub>x</sub> er lave pga. fortyndingen i den store luftmængde. Det store luftoverskud medfører dog typisk også højere CO niveauer, end man normalt ser fra almindelige energianlæg. På nogle typer brændere er der endda en meget stigende CO koncentration ved lavere last.

##### **Generelt om CO dannelse og emission**

Ved enhver forbrænding dannes og emitteres CO og koncentrationen afhænger af forbrændingens effektivitet. CO er derfor en god indikator for effektiviteten af en forbrænding, og grænseværdier for CO emissionen har derfor været et almindeligt krav ved regulering af fyringsanlæg.

CO dannes ved ufuldstændig forbrænding af kulstof (C), som ved fuldstændig forbrænding bliver til CO<sub>2</sub>. Der kræves et vist overskud af luft til forbrændingen for at sikre en effektiv forbrænding med lav CO emission. Det er generelt nemmest at opnå en effektiv forbrænding af gasser (fx naturgas), fordi de nemt kan blandes effektivt med forbrændingsluften, og dermed kan der opnås meget lave emissioner af CO. Flydende brændsler er lidt sværere at brænde end gasser, fordi de først skal forstøves til fine dråber, som skal fordampe til gasser, før de kan brænde. De giver derfor generelt lidt højere CO emissioner end gasser. Faste brændsler er endnu vanskeligere at brænde, for de skal først opvarmes så meget, at de fordamper til brændbare gasser. Faste brændsler giver derfor endnu højere CO emissioner end flydende brændsler. Disse forhold afspejles i de grænseværdier for CO der gælder for forskellige typer brændsler.

Naturgas er den reneste af alle fossile brændstoffer, og består primært af metan og nogle procent højere kulbrinter. Ved en fuldstændig forbrænding dannes stort set udelukkende kuldioxid og vanddamp, men selvom det er nemt at blande gas og luft, så kan man aldrig opnå en fuldstændig forbrænding. Der vil altid være områder i en gasflamme, hvor der lokalt er underskud af ilt, hvor forbrændingen bliver ufuldstændig, så der dannes CO og uforbrændte eller delvist forbrændte kulbrinter. Hovedparten af CO og kulbrinter forbrændes til CO<sub>2</sub> længere henne i flammen, men effektiviteten afhænger af forbrændingsforholdene og afkølingen af flammen. Den mest effektive forbrænding opnås derfor, når der er en høj temperatur i flammen, overskud af ilt og når flammen ikke afkøles ved luftindblanding, før alt CO og kulbrinter er forbrændt.

De dannede kulbrinter kan være alle mulige små og store molekyler, afhængigt af forbrændingsforholdene. Det kan være fra simple formaldehydmolekyler til store komplekse PAH-molekyler, hvoraf flere er kræftfremkaldende, men jo bedre forbrænding jo færre store molekyler vil der dannes. I det følgende benævnes de simple kulbrinter TOC (Total Organisk Carbon) og de komplekse molekyler benævnes PAH.

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

---

#### Forbrænding med underskud af O<sub>2</sub>

En forbrænding med underskud af ilt vil give en stærkt stigende emission af CO, kulbrinter og sod, som består af uforbrændt kulstof, som også kan indeholde kondenserede kulbrinter og PAH. Flammerne i sådan en gasflamme vil være gule og nærmest sorte i spidserne, pga. sod. Den gule farve viser, at der er sod og kulbrinter, der ikke når at brænde i flammen, og derfor emitteres med røggassen. Flammentemperaturen kan godt være høj, men da der er iltunderskud, så kan forbrændingen ikke forløbe optimalt.

Forbrænding med underskud af O<sub>2</sub> vil også medføre en lavere NO<sub>x</sub>-emission, fordi der ikke er ilt nok til stede til at oxidere N<sub>2</sub> til NO (eller NO<sub>2</sub>). Man kan derfor godt indregulere en brænder til mindst muligt NO<sub>x</sub>, ved at køre med mindst muligt luftoverskud, men så vil det være på bekostning af en højere CO. Omvendt kan man også minimere CO emissionen ved at hæve luftoverskuddet, men på bekostning af en lille stigning i NO<sub>x</sub>-emissionen.

#### Forbrænding med optimalt O<sub>2</sub> overskud

En god og effektiv gasforbrænding ved et typisk iltoverskud på 3-6 % har en blålig flamme med en høj temperatur, med kun en anelse gule spidser. Her vil der være de mest optimale forhold til minimal dannelse og emission af CO og kulbrinter, fordi den smule der dannes, kan nå at blive brændt igen længere henne i flammen.

#### Forbrænding med stort O<sub>2</sub> overskud

Forbrænding med et stort overskud af O<sub>2</sub> vil give en lav flammentemperatur og en hurtig afkøling af flammen, som dog vil afhænge af, hvordan luften tilføres omkring flammen, og hvor hurtigt det bliver blandet op med røggassen.

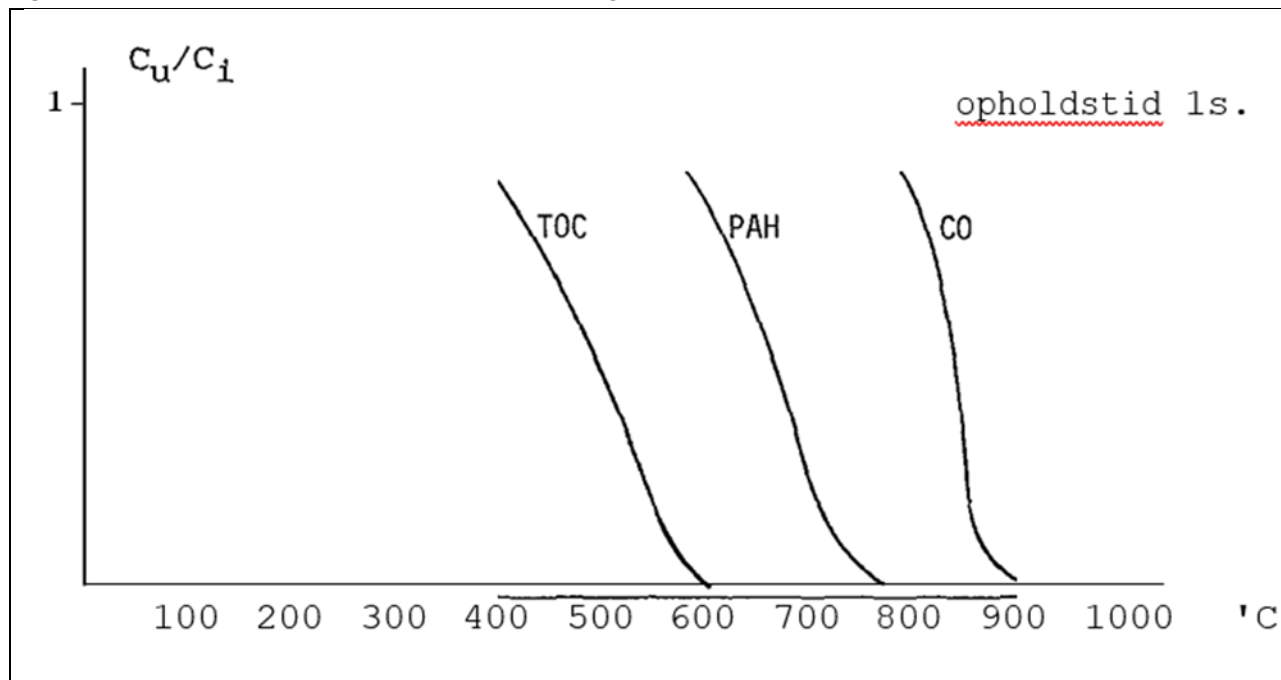
Ved stigende luftoverskud øges dannelsen af termisk NO<sub>x</sub> i form af NO, fordi øget O<sub>2</sub> koncentration i flammen øger oxidationen af luftens N<sub>2</sub> til NO. Termisk NO dannelse er dog også temperaturafhængig, og ved stigende luftoverskud reduceres flammentemperaturen også, hvilket medfører en reduktion i NO dannelsen.

Stort luftoverskud vil medføre en lavere dannelse af CO og uforbrændte kulbrinter i flammen, men på grund af den hurtigere afkøling af flammen, så vil en større del af det dannede CO ikke nå at brænde videre til CO<sub>2</sub> i flammen, og derfor medføre en højere CO emission. Kulbrinterne brænder ved lavere temperatur end CO, så de kan nemmere nå at brænde, og derfor vil en højere CO sandsynligvis ikke også betyde en tilsvarende højere emission af kulbrinter.

#### Dannelse og genforbrænding af CO, TOC og PAH

Der vil altid dannes CO og uforbrændte komponenter i en forbrænding, og mængden afhænger af luftoverskud, turbulens og temperatur, dvs. forbrændingens effektivitet. Emissionen er dog også i høj grad bestemt af forholdene for genforbrænding af det CO og TOC, der dannes i flammen. Her er opholdstid ved høj temperatur afgørende for den faktiske emission. Her er stoffernes antændelsestemperatur også meget vigtig, for jo lavere antændelsestemperatur et stof har, jo længere opholdstid vil der være i det område, der er over denne temperatur. CO har en højere antændelsestemperatur end de fleste af de uforbrændte komponenter der dannes i flammen, hvilket er illustreret i **Error! Reference source not found.** med nogle skitserede destruktionskurver.

Figur 9. Skitserede destruktionskurver for TOC, PAH og CO.



$C_u/C_i$  = koncentration efter 1 s / koncentration før varmpåvirkning

Destruktionskurverne viser, at TOC generelt brænder effektivt på 1 s ved temperaturer fra 600 °C, mens PAH'er skal være 1 s ved 800 °C for at brænde lige så effektivt som TOC. CO er generelt meget vanskeligere at brænde end både TOC og PAH, for det skal have 1 s ved 900 °C for at brænde effektivt. Affaldsforbrændingsanlæg har fx krav til 2 s opholdstid ved mindst 850 °C for at sikre effektiv udbrænding af stoffer, der er svære at antænde og brænde effektivt.

Forbrænding ved meget højt iltoverskud vil give lavere flammetemperatur og kortere opholdstid ved de temperaturer, der skal til for at forbrænde CO og kulbrinter effektivt. Den aktuelle temperatur og opholdstid i flammen vil dog også afhænge af brændertypen, og specielt af, hvor i forhold til flammen der indblandes den luft, der medfører det høje iltoverskud.

Dysebrændere og kanalbrændere med egen forbrændingsluft forsyning vil derfor give en bedre og mere effektiv forbrænding, pga. højere flammetemperatur end kanalbrændere, der ikke har egen forbrændingsluft-forsyning.

Destruktionskurverne viser ikke direkte noget om forholdene ved forbrænding ved meget højt iltoverskud, men alligevel, for et højt iltoverskud betyder først og fremmest at der vil være mere ilt til stede i selve flammen, og derfor kan det med rimelighed antages, at der vil blive dannet en mindre mængde uforbrændte komponenter, end hvis der var iltunderskud. Til gengæld vil der være en kortere opholdstid ved en lidt lavere temperatur, i forhold til en optimal forbrænding og lufttilførsel, og dermed en lavere destruktion af primært CO, jvf. Figur 5. Selvom temperaturen er for lav til en effektiv forbrænding af CO, så kan den stadig være høj nok til en effektiv forbrænding af uforbrændte organiske komponenter.

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

---

Det betyder, at selvom der er en forhøjet koncentration af CO, så er det ikke ensbetydende med, at der også er en højere emission uforbrændte organiske stoffer (TOC og PAH), for de kan godt være blevet forbrændt effektivt ved de givne temperaturforhold og opholdstid i forbrændingen.

Da både TOC og PAH brænder ved en lavere temperatur end CO, så kan det med rimelighed antages, at der vil være en forholdsvis meget mindre stigning i emissionen af uforbrændte gasser end stigningen i CO emissionen, når iltoverskuddet i forbrændingen øges, fordi den lavere temperatur vil påvirke forbrændingen af CO mere end forbrændingen af TOC og PAH. Det har dog ikke været muligt at finde målinger der direkte understøtter denne antagelse.

CO kan således stadig anvendes som indikator for forbrændingen ved højt iltoverskud, men med mindre direkte sammenhæng til forøget emission af uforbrændte kulbrinter.

Forbrænding med stort overskud af O<sub>2</sub> vil også medføre en øget NO<sub>x</sub>-emission, fordi der er rigelig ilt til at oxidere luftens N<sub>2</sub> til NO, men ved stigende O<sub>2</sub> overskud falder NO dannelsen, fordi den ekstra luft køler flammen, så temperaturen bliver lavere.

---

**Bilag B Forslag til krav om dokumentation for nye og bestående anlæg**

Uden at tage konkret stilling til fastsættelse af emissionsgrænseværdier, kunne krav til dokumentation for både eksisterende og nye anlæg i forbindelse med fastsættelse af emissionsgrænseværdier omfatte:

1. Dokumentation fra leverandøren for de anvendte brændere om:
  - a. Brændertype og reguleringsmuligheder.
  - b. Forventet emission af CO og NO<sub>x</sub>, afhængigt af belastningen, dvs. fra tomgangsdrift til fuld last.
2. Beskrivelse og dokumentation for anlægget driftsforhold, herunder:
  - a. Beskrivelse af anlæggets opbygning og drift.
  - b. Angivelse af den O<sub>2</sub> koncentration anlægget normal kører med, og hvilke variationer der kan være.
  - c. Styling af temperatur og flow.
  - d. Beskrivelse af normal belastning på anlægget, samt hyppighed og varighed af perioder med lav belastning eller tomgangskørsel, fx ved skift af produkt.

Nye anlæg bør desuden beskrive og dokumentere:

1. At den valgte tørreproces og brændere er BAT.
2. Hvilke emissionsgrænseværdier anlægget kan overholde.

---

## **Bilag C    Eksempler på tørreanlæg til markafgrøder**

### **Tromletørring**

Afgrøden snittes og transporteres direkte til et grønttørreri – eller den skårlægges og forvejres først på marken i 1-2 døgn til 70% vand eller lavere. Til produktion af grøntpiller snittes afgrøden fint, mens den til produktion af grønhø snittes i relativt lange stykker.

På tørreriet tørres til ca. 12% vand i en tromletørrer i medstrøm med tørreluft opvarmet til ca. 800 °C. Det tørrede materiale presses direkte i baller til grønhø, eller det formales og pelletteres i ca. 8 mm piller til grønpiller. Det totale tørstof-tab ved hele processen kan normalt holdes under 2%.

Energiforbruget til tørring er 0,8-0,9 kWh pr. kg afdampet vand - lidt lavere for grønpiller end for grønhø, da det finere materiale tørrer hurtigere til det ønskede vandindhold på 12% ved ca. 120 °C i afgangsluften, mod ca. 140 °C til grønhø. Til gengæld skal det tørrede materiale formales og pelletteres.

Ved den hurtige tørring bevares afgrødens grønne farve samt høje indhold af vitaminer og karotiner, når forvejringsen på marken begrænses til ca. 1 døgn. Produkterne har derfor en højere foderværdi end hø og ensilage. Grøntpiller er en lagerfast vare og indgår som andre tørre fodermidler i foderindustriens foderblandinger. De bruges bl.a. i kvægfoder samt til høns og søer på grund af det høje indhold af karotin og E-vitamin. Grønhø er meget efterspurgt som hestefoder, men anvendes også til kvægfoder. Det er en lagerfast vare med lavt vandindhold, som kombineret med en rimelig rumvægt gør varen transportvenlig.

### **Roepulp (Sukkerroeaffald)**

Roepulp er et biprodukt, der fremkommer ved sukkerudvinding fra sukkerroer. Det friske affald har et tørstofindhold på typisk 11-12%. Ved presning i særligt kraftige skruepresser kan indholdet af tørstof hæves til 20-28%, og den afpressede saft returneres i processen til ekstraktion af friske roesnitter.

Roepulp bruges især til kvægfoder. Frisk roepulp har kun en meget kort holdbarhed, og allerede efter et par døgn kan der være synlige tegn forrådnelse. Tidligere blev roepulpen afsat til lokale kvægbesætninger som frisk affald. Udviklingen med sukkerfabrikkerne i Østdanmark og kvægvælden i koncentreret i Vest- og Sydjylland har imidlertid medført, at roepulpen nu bliver tørret for at spare transport af vandet og sikre en afsætning af roepulp som et almindeligt handelsfodermiddel til indblanding i foderblandinger.

### **Gennemløbstørring**

Tørring på vertikale gennemløbstørrerier er den dominerende metode til konservering i grovvareindustrien og hos større kornavlere. Kornet fyldes ind i toppen og glider ned gennem tørreriet i tynde vertikale lag, hvor tørringen sker i tværstrøm ved gennemblæsning af kornet. Lufttemperaturen kan varieres fra ca. 60 °C til udsæd og maltbyg til ca. 120 °C til foderkorn. Den nederste del af tørreriet anvendes til køling, hvor kornet gennemblæses med kold udeluft. Tørretiden er typisk 1-2 timer, og normalt kan kornet tørres til 14- 15% i et gennemløb. Meget fugtigt korn tørres dog ofte ved flere gennemløb. Det tørrede korn transporteres herefter til lageret, som fortrinsvis vil være et beluftet planlager.

Metoden giver en uensartet tørring af kernerne, men en god blanding af fugtige og tørre kerner ved udløbet af tørreriet. På lageret sker der derfor en relativ hurtig udligning til nær samme vandindhold i alle kerner.

Korrekt styret gennemløbstørring giver en udmærket kornkvalitet til enhver anvendelse af kornet. Energiforbruget er 1,1-1,5 kWh pr. kg afdampet vand afhængigt af virkningsgrad og -type af varmekilde, lufttemperatur, recirkulering af tørreluft, kornets vandindhold og styring af nedtørningsgrad. Behovet for arbejdskraft er relativt lille, da det normalt drejer sig om anlæg med meget stor kapacitet, 20-50 tons pr. time.

## Rapport nr. 72

### Grænseværdier for anlæg til direkte tørring

---

#### Tromletørring

Korn kan også tørres i en tromletørrer, hvor tørreluft er enten forbrændingsluft eller indirekte opvarmet luft med en indgangstemperatur på 400-1000 °C. Hvis kornet skal bevare spireevnen og bruges til udsæd eller maltbyg, skal kornets temperatur holdes under ca. 60 °C, mens temperaturer op til ca. 100 °C kan accepteres til foderkorn. Tørretiden er kun ca. 5 minutter, hvorefter det varme korn køles og køres på lager.

Metoden giver en meget ensartet tørring af kernerne og en vis desinfektion af kornet. Metoden er specielt velegnet til sikring af kvaliteten i et meget vådt høstår; idet kapaciteten af tørreriet er næsten uafhængigt af kornets vandindhold. Metoden anvendes dog næsten kun til foderkorn som følge af en meget krævede styring af tørreriet for at holde en lav kernetemperatur.

Energiforbruget afhænger især af tørreluftens indgangs- og udgangstemperatur samt af en korrekt udført, langsom køling af kornet. Det vil normalt være ca. 1,0 kWh pr. kg afdampet vand. Behovet for arbejdskraft er relativt lille, da det normalt drejer sig om anlæg med meget stor kapacitet, 20-50 tons pr. time.

#### Tørrerityper

Til tørring af våde råvarer anvendes helt dominerende tørretromler (figur 4a.). Varen tørres i medstrøm med direkte eller indirekte opvarmet tørreluft, som også transporterer materialet gennem den roterende tromle. Tørvaren udskilles i en cyklon og presses i baller som grønhø eller pelleteres til grønpiller eller pulpetter.

For at sænke temperaturen af direkte opvarmet tørreluft og undgå svidning af tørregodset er det nødvendigt at køre med tilsætning af sekundærluft i ovnen, og det giver et energitab til opvarmning af luften. Dette tab kan næsten elimineres ved at erstatte sekundærluften med recirkuleret afgangsluft, og energibesparelsen vil typisk andrage 7-10%.

Også på anlæg med indirekte opvarmet tørreluft vil der være en besparelse ved recirkulation, og tørringen foregår da delvis med overheded damp. I et sådant system kan tørretromlen erstattes af en speciel damptrørrer (Niro fluid-bed). Når den varme og meget fugtige afgangsluft herfra udnyttes til forvarmning af råvaren og til vakuuminddampning af pressesaft (se nedenfor) kan man opnå en miljømæssig fordel ved helt at undgå at lede støvfylt luft til skorsten

#### Tørreritype

Ved industriel tørring af korn og frø er vertikale gennemløbstørrerier eller søjletørrerier helt dominerende, men specielt i våde høstår anvendes også tromletørrerier. I søjletørrerier anvendes lufttemperaturer fra 60 til ca. 120 °C, og kapaciteten for vandafdampning stiger med temperaturen, men er næsten uafhængig af kornets vandindhold. Kapaciteten pr. ton tørvare falder derfor kraftigt med stigende vandindhold og er således lav i våde høstår, hvor der netop er brug for en høj kapacitet. Dertil kommer, at der til udsæd, maltbyg m.m. kun kan anvendes lav lufttemperatur og tilsvarende lav kapacitet af hensyn til tørvarens kvalitet.

I tromletørrerier (figur 4c) anvendes lufttemperaturer fra ca. 300 til 900 °C, hvilket giver gode muligheder for at variere vandafdampningskapaciteten. Tørvare-kapaciteten falder derfor ikke meget med stigende vandindhold i kornet, og tromletørring er især attraktiv i våde høstår. Normalt bruges systemet kun til foderkorn, hvilket udgør ca. 67% af den danske kornhøst. Det er dog muligt at anvende tromletørring til maltbyg og udsæd, men med lav lufttemperatur og stærkt reduceret kapacitet.

