

Afbrænding af lettere forurenede træaffald i fyringsanlæg på fx møbelfabriker

Jesper Cramer, Ole Schleicher, Lene Christensen & Knud Christiansen

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

INDHOLD	3
FORORD	7
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	9
SUMMARY AND CONCLUSIONS	15
1 DEFINITION AF LETTERE FORURENEDE TRÆRESTER	21
1.1 MATERIALER I TRÆ- OG MØBELINDUSTRIEN	21
1.1.1 <i>Massivt træ</i>	21
1.1.2 <i>Limtræ</i>	21
1.1.3 <i>Lamineret træ</i>	22
1.1.4 <i>Finer</i>	22
1.1.5 <i>Spånplade</i>	22
1.1.6 <i>MDF-plade</i>	22
1.1.7 <i>Træfiberplade</i>	23
1.1.8 <i>Plastlaminat</i>	23
1.1.9 <i>Folie</i>	24
1.1.10 <i>Lak og pigmenteret lak</i>	24
1.1.11 <i>Limtyper</i>	24
1.1.12 <i>Brandhæmmende materialer</i>	25
1.1.13 <i>Andre stoffer og materialer</i>	26
1.2 DEFINITION AF LETTERE FORURENET TRÆRESTER:	26
1.2.1 <i>Positiv liste</i>	27
1.2.2 <i>Negativ liste</i>	27
1.2.3 <i>Øvre grænse for indholdet af lim</i>	28
2 OVERSIGT OVER DANSKE FYRINGSANLÆG	29
2.1 FYRINGSANLÆGGENES STØRRELSE	29
2.2 INSTALLATIONSÅR	30
2.3 BESKRIVELSE AF TRÆFYRINGSANLÆGGENE	30
2.3.1 <i>Varmtvandskedler</i>	30
2.3.2 <i>Indfyrringsarrangement</i>	30
2.3.3 <i>Installation af anlægsmålere</i>	30
2.4 BRÆNDSSEL	32
2.4.1 <i>Sammensætning</i>	32
2.4.2 <i>Salg eller køb af brændsel</i>	32
2.4.3 <i>Danske eller udenlandske spån- og MDF-plader</i>	32
2.4.4 <i>Overfladebelægning af træ</i>	32
2.4.5 <i>Brændselsanalyser</i>	33
3 UDENLANDSKE REGLER	35
3.1 TYSKLAND	37
3.1.1 <i>Regler for små fyringsanlæg mindre end 1 MW</i>	37
3.1.2 <i>Regler for større fyringsanlæg på mellem 1 MW og 50 MW</i>	38
3.2 ØSTRIG	39
3.2.1 <i>Grænseværdier for træfyrede dampkedelanlæg</i>	40
3.3 HOLLAND	41
3.4 SVERIGE	43

3.5	DANMARK	43
4	NYERE EMISSIONSMÅLINGER	45
4.1	STØV, CO OG NO _x	45
4.2	DIOXIN OG PAH	46
5	EKSISTERENDE EMISSIONSBEGRÆSENDE FORANSTALTNINGER	49
5.1	MULTICYKLON	49
5.2	POSEFILTER	49
5.3	INGEN RENSNING	49
5.4	EMISSIONSMÅLINGER PÅ EKSISTERENDE FYRINGSANLÆG	50
5.4.1	Emissionsforhold ved rensning i multicyklon	50
5.4.2	Emissionsforhold ved rensning i både multicyklon og posefilter	50
6	MULIGHEDER FOR BEDRE EMISSIONSBEGRÆSENDE FORANSTALTNINGER	51
6.1	FORBEDRINGER I NYE ANLÆG I DE SIDSTE ÅRTIER	51
6.2	RENSNINGSFORANSTALTNINGER	52
6.2.1	Partikelrensning	52
6.2.2	NO_x rensning	52
6.3	GRUNDPRINCIPPER FOR FORBRÆNDING AF TRÆ	54
6.4	EMISSIONER	54
6.4.1	Partikulær emission	55
6.4.2	Betydningen af brændslets kemiske sammensætning	55
6.4.3	Fugtighedens betydning	55
6.4.4	Brændslets kornstørrelse	55
6.4.5	Luftoverskud og luftfordeling	57
6.4.6	Dioxiner	57
6.4.7	Styring af forbrændingen	58
6.5	VIDEO-OVERVÅGNING AF FORBRÆNDINGEN	58
7	FORSLAG TIL EMISSIONS-GRÆNSEVÆRDIER	61
7.1	GENERELT	61
7.2	EMISSIONER VED FORBRÆNDING	61
7.2.1	Indhold af C, O og H (kulstof, oxygen og hydrogen)	62
7.2.2	Indhold af N (kvælstof)	62
7.2.3	Indhold af Cl (klorid)	62
7.2.4	Indhold af S (svovl)	63
7.2.5	Indhold af øvrige stoffer	63
7.2.6	Sammenfatning	64
7.3	UDENLANDSKE GRÆNSEVÆRDIER FOR TILSVARENDE ANLÆG	64
7.4	FORSLAG TIL GRÆNSEVÆRDIER	65
7.4.1	Partikler	65
7.4.2	Carbonmonoxid (CO)	67
7.4.3	Kvælstofoxider, NO_x	68
7.4.4	Opsummering af grænseværdier for støv, CO og NO_x	70
7.5	GRÆNSEVÆRDIER I DANMARK FOR ANDRE ENERGIANLÆG	71
8	FORSLAG TIL EMISSIONSKONTROL OG DRIFTSKONTROL MM.	73
8.1	FORSLAG TIL KRAV/VILKÅR TIL ANLÆG:	74
8.1.1	Nye anlæg	74
8.1.2	Eksisterende anlæg	74
8.1.3	Driftskontrol	74
8.1.4	Journal	75

9	FORSLAG TIL BORTSKAFFELSE AF ASKE	77
10	REFERENCER	79

Bilag A
Brev til kedelleverandører

Bilag B
Spørgeskema

Bilag C
Forslag til afsnit til bekendtgørelse

Bilag D
Røggasmængder og eksempler på emissioner

Forord

Denne rapport er resultatet af arbejde udført som rådgivning og bistand for Miljøstyrelsen omkring afbrænding af lettere forurenede trærester på fx møbelfabrikker. Efter at Biomassebekendtgørelsen er trådt i kraft, skal virksomhederne betale afgift ved forbrænding af resttræ, der indeholder mere en 1% limrester. Miljøstyrelsen har siden afgjort, at forbrændingen af resttræ skal reguleres efter affaldsforbrændingsdirektivet.

Reguleringen af afbrændingen af lettere forurenede trærester sker i øjeblikket i henhold til bekendtgørelse om affaldsforbrænding, idet der skal betales affaldsafgift for trærester med mere end 1% lim.

Projektet har undersøgt status på området både i Danmark og internationalt og derudfra foreslået nye regler for afbrænding af lettere forurenede trærester.

Projektet er udført af medarbejdere i dk-TEKNIK: Jesper Cramer (projektleder), Ole Schleicher, Lene Christensen, Knud Christiansen og Susanne Westborg.

Undersøgelsen af status på området er koordineret med Ikast Kommunes egen undersøgelse og Dansk Industris sideløbende projekt inden for branchen.

Vi vil gerne takke:

- Medlemmerne af følgegruppen: Jørn L. Hansen (Miljøstyrelsen), Thorkil Hoff Andersen (Dansk Industri), Niels Erik Nielsen (Jamo A/S) og Børge Dahl (Ikast Kommune) for det positive samarbejde.
- De mange virksomheder i træ- og møbelindustrien som har besvaret vores omfattende spørgeskema.
- De danske kedelproducenter, der har besvaret vores mange spørgsmål.

På grund af behovet for en klar definition af "lettere forurenede trærester" er denne nye aktivitet tilføjet den oprindelige opgavedefinition. I stedet er omfanget af undersøgelsen af nyere udenlandske målinger blevet nedprioriteret efter aftale med Miljøstyrelsen.

Det har været dk-TEKNIKS klare mål, at forslagene til nye regler på området både skulle sikre miljøet, være rimelige for virksomhederne og lette at administrere for både myndigheder og virksomheder.

September 2002

Jesper Cramer
dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ

Sammenfatning og konklusioner

Dette projekt har til formål at foreslå nye regler for afbrænding af lettere forurenede trærester med et limindhold større end 1%. Efter at Biomassebekendtgørelsen er trådt i kraft, skal virksomhederne betale afgift ved forbrænding af resttræ, der indeholder mere en 1% limrester. Miljøstyrelsen har siden afgjort, at forbrændingen af resttræ skal reguleres efter affaldsforbrændingsdirektivet.

Forslaget til nye regler på området har været baseret på:

- Regler gældende for andre brændsler
- Regler gældende i andre lande
- Miljømæssige aspekter
- Teknisk og økonomisk mulige rensnings- og styringsteknikker

Projektet har haft ni hovedaktiviteter:

1. Definition af lettere forurenede trærester
2. Oversigt over danske fyringsanlæg
3. Udenlandske regler
4. Nyere emissionsmålinger
5. Eksisterende emissionsbegrænsende foranstaltninger
6. Muligheder for bedre emissionsbegrænsende foranstaltninger
7. Forslag til emissionsgrænseværdier
8. Forslag til emissionskontrol og driftskontrol mm.
9. Forslag til bortskaffelse af aske

Definition af lettere forurenede trærester

Vi foreslår følgende definitionen af lettere forurenede trærester:

Ved lettere forurenede trærester forstås stykker af træ, f.eks. savsmuld, høvlspåner, flis, pudsestøv, træstykker og pladerester, som kan indeholde lim, lak, maling, folie- og lamineringsmaterialer, træbeskyttelsesmidler og andre stoffer, som ved forbrænding ikke giver anledning til væsentligt forhøjede emissioner af stoffer, der er skadelige for miljøet. Undtagen herfor er dog emissionen af NO_x, som kan være forhøjet på grund af kvælstofholdigt lim i specielt pladematerialer.

Definitionen foreslås **suppleret** med en positiv liste og en negativ liste, dvs. en liste over materialer og indholdsstoffer, som enten må eller ikke må brændes i mindre fyringsanlæg.

Positiv- og negativlisterne foreslås at være åbne, således at de kan udvides i takt med eventuel nye viden om eksisterende eller ved introduktion af nye stoffer og materialer.

Oversigt over danske fyringsanlæg

Vores kortlægning af danske fyringsanlæg er sket ved kontakt til en række danske leverandører af kedelanlæg og et repræsentativt udsnit af danske træ- og møbelproducerende virksomheder, der fyrer med spåner fra bl.a. spån- og MDF-plader.

Vi har sendt breve ud til kedelleverandører med en række spørgsmål, ligesom vi har sendt breve ud til træ- og møbelproducerende virksomheder med spørgsmål inddelt i seks grupper:

1. Kedelanlæggets størrelse og alder
2. Selve kedelanlægget
3. Røggasrensning
4. Anlægsmålere
5. Eventuelle emissionsmålinger
6. Brændsel

Undersøgelsen af status på området er koordineret med Ikast Kommunes egen undersøgelse og Dansk Industris sideløbende projekt inden for branchen.

Undersøgelsens vigtigste resultater er:

De fleste anlæg har en størrelse mellem 0,5 og 1,5 MW indfyret effekt, og mere en halvdelen af anlæggene stammer fra før 1990.

Omkring 30 % af alle fyringsanlæggene har installeret en ilt-måler. Kun på enkelte nyere anlæg er der installeret en egentlig iltstyring til at optimere forbrændingen.

Ca. 19 % af anlæggene har installeret en CO-måler.

Omkring hvert tiende anlæg har installeret posefilter som supplerende rensning efter en multicyklon. Dette gælder udelukkende kedelanlæg, der er etableret i slutningen af 1990'erne og senere.

Udenlandske regler

Vi har undersøgt reglerne for afbrænding af træaffald i Tyskland, Østrig, Holland og Sverige. I Sverige findes ingen specielle krav. Med mindre forskelle i grænseværdier for støv, CO og NO_x behandles lettere forurenede træaffald i de andre lande som rent træ, dog med visse krav til anlægsudformning, drift, etc. og en højere grænseværdi for NO_x.

Nyere emissionsmålinger

Der er samlet en række emissionsmålinger fra danske anlæg, der fyres med trærester. Materialet er ikke særlig veldokumenteret. Det er vanskeligt at fremskaffe måleresultater, fordi der kun findes relativt få målinger.

Målingerne giver et meget broget billede af emissionerne med enkelte meget høje værdier for CO og NO_x. Flere målinger viser tydeligt, at selvom der brændes spånpladeflis eller pladerester, så er NO_x emissionen ikke nødvendigvis markant højere end ved forbrænding af rent træ.

Muligheder for bedre emissions-begrænsende foranstaltninger

Emissionsbegrænsende foranstaltninger kan principielt ske på to måde - enten ved rensningsforanstaltninger - eller ved bedre forbrændingsbetingelser, så der dannes og emitteres mindre mængder forurenende stoffer. En kombination giver det mest optimale resultat. Vi har vurderet mulighederne for at begrænse emissionerne af partikler, NO_x , CO og andre uønskede organiske forbrændingsprodukter.

Begrænsning af partikelemission

Partikelrensning er tidligere næsten altid sket med multicyklon anlæg, men i de senere år er posefiltre blevet standard også på små anlæg ned til 1 MW, for at emissionsgrænsen på 40 mg/m^3 kan overholdes. Posefiltre er normalt meget effektive, og meget lave emissionsværdier kan opnås - normalt mindre end 10 mg/m^3 og ofte også mindre end 1 mg/m^3 .

Posefiltre er væsentligt dyrere end multicykloner, både investeringsmæssigt og driftsmæssigt, idet poserne skal skiftes med nogle års mellemrum. Den eksisterende teknologi til partikelrensning vurderer vi til at være den optimale i forhold til de opstillede emissionsgrænseværdier.

Begrænsning af NO_x -emission

Den eneste realistiske rensningsmetode for NO_x på mindre træfyrede anlæg er røggastilbageføring. På eksisterende anlæg vil det normalt være urealistisk at etablere røggastilbageføring, idet anlægget skal være dimensioneret til den større røggasmængde, der kommer i recirkulationskredsen.

Begrænsninger i CO-emissionen

Emissionen af CO og andre uønskede organiske forbrændingsprodukter hænger nøje sammen med forbrændingsbetingelserne dvs. brændselsstruktur, anlægsdesign og driftsbetingelser.

Krav til brændslet

Det er vigtigt, at det anvendte brændsel er nogenlunde homogent, og at det ikke indeholder meget store stykker træ, som er længe om at brænde. Brændslet må heller ikke blive for fint, med for meget fint savsmuld og pudsestøv. Det bedste er en blanding af fine og grovere partikler, som giver struktur, således at primærluften nemt kan passere jævnt igennem brændselslaget.

Krav til anlæggets opbygning og styring

Det er yderst vigtigt, at indfødningssystemet og forbrændingskammeret er indrettet til at brænde den type træ med det fugtindhold og den struktur, der anvendes.

Det anbefales, at alle anlæg - både nye og eksisterende - skal/bør være forsynet med iltmåling og automatisk styring og regulering af forbrændingsluftmængden, så konstant O_2 -koncentration i røggassen kan opretholdes. Desuden bør indfødningen af brændslet på nye anlæg ske trinløst, og på eksisterende anlæg i den udstrækning, det er muligt at eftermontere. On/Off styring af indfødningen vil påvirke forbrændingens kvalitet mærkbart i negativ retning, men med iltmåling og -styring bliver effekten mindre, og bør accepteres på eksisterende anlæg, hvor trinløs regulering ikke er mulig.

Forbrændingsluften skal tilsættes på de steder (zoner), hvor der er behov for den. En dårlig luftfordeling kan give høje emissioner af CO, etc. og dårlig udbrænding, selv om den samlede luftmængde er korrekt.

Video-overvågning

Erfaringerne med videoovervågning af forbrændingsprocessen i anlæg med bevægelig rist er meget positive og benyttes på næsten alle affaldsforbrændingsanlæg og på mindst to fjernvarmeværker. Et kamera placeret over risten vil kunne afsløre mange "forbrændingsfejl" og give både virksomheden og anlægsleverandøren vigtig viden om årsagen til eventuelle problemer og mulighederne for at løse dem og optimere anlæggets design og styring.

Forslag til emissions-grænseværdier

Vi foreslår følgende grænseværdier i $\text{mg/m}^3(\text{n,t})$ ved 10 % O_2

Parameter	Anlæggets samlede indfyrede effekt (p) i MW		
	0,120 < p < 1	1 ≤ p < 5	5 ≤ p < 50
Partikler	300	40	40
Partikler for anlæg uden filter	300	100	100
CO, nye anlæg	400	300	200
CO, eksisterende anlæg	500	500	500
NO _x	ingen	ingen	400

Forslag til emissionskontrol og driftskontrol mm.

Vi foreslår disse regler for emissions- og driftskontrol:

	Anlæggets samlede indfyrede effekt (p) i MW			
	0,120 < p < 1	1 ≤ p < 5	5 ≤ p < 30	30 ≤ p < 50
Støv	Præstationskontrol ₃₎	Præstationskontrol	Præstationskontrol ₁₎	AMS
CO	Præstationskontrol ₃₎	Præstationskontrol	AMS	AMS
NO _x	-	-	Præstationskontrol	AMS
O ₂ måling	AMS	AMS	AMS	AMS
Styring af forbrændingen ²⁾	+	+	+	+

1) Luftvejledningen forskriver AMS kontrol, men Miljøstyrelsen har blødt op på dette krav, så præstationskontrol, og gerne en støvagt med alarm for forhøjet støvemission, kan accepteres.

2) Regulering af forbrændingsluft efter O₂ måling og indfødning efter temperatur. O₂-målingen skal styre indblæsning af forbrændingsluft, så konstant O₂ koncentration kan opretholdes, i hele driftsområdet, også ved On/Off regulering af brændselsindfødning. Forbrændingsluftblæseren må ikke kunne stoppe, før temperaturmåling i kedlen indikerer, at der ikke er mere brændsel i brændkammeret. Nye kedler bør have regulering af brændselsindfødning ved trinløs variabel hastighed på indfødningen.

3) Det bør dokumenteres ved mindst én præstationskontrol, at anlægget kan overholde emissionsgrænserne.

AMS: (Automatisk Målende System)

Vi har desuden foreslået andre krav og vilkår til anlæggene, fx:

- Anlægsudformning, der tager hensyn til brændslets struktur
- Anlæggets størrelse, der er tilpasset energibehovet
- Driftskontrol og dokumentation

- Journal-føring

Der er mindre forskelle mellem reglerne for nye og eksisterende anlæg.

Forslag til bortskaffelse af aske

Asken fra forbrænding af lettere forurenede trærester vil have en sammensætning, der er sammenlignelig med aske fra forbrænding af rent træ. Asken fra anlæg, der er omfattet af de foreslåede krav, vil derfor kunne bortskaffes efter reglerne for aske fra forbrænding af rent træ i Bioaskebekendtgørelsen.

Summary and conclusions

The object of this project is to propose new regulations for the burning of minor contaminated wood residues with a content of glue higher than 1%. According to the present regulations the burning of waste wood with a content of glue higher than 1% is imposed with a duty. Moreover the Danish Environmental Protection Agency has settled that the burning of waste wood must follow the EU Directive on Waste Incineration.

The proposal of new regulations in this field is based on:

- Regulations for other fuels
- Regulations in other countries
- Environmental aspects
- Technical and economical available cleaning and control techniques.

The project has had nine main activities:

1. Definition of minor contaminated wood residues
2. Survey of Danish boilers firing minor contaminated wood residues
3. International regulations
4. Resent measurements of emissions
5. Existing emission control equipment
6. Prospects for better emission control
7. Proposal of emission limits
8. Proposal of emission control and inspection of operation
9. Proposal of disposal of ash

Definition of minor contaminated wood residues

We suggest the following definition of minor contaminated wood residues:

Minor contaminated wood residues are pieces of wood, e.g. saw dust, shavings, wood chips, sanding dust, wood pieces and board residues containing glue, enamel, enamel paint, residuals of foil and laminated materials, wood preservatives and other substances which through burning do not cause significant increase in the emission of substances, which are harmful to the environment. Because of the content of nitrogen containing glues in especially boards, the increased emission of NO_x is excluded from above.

We suggest that this definition is supplemented by a positive and negative list, i.e. a list of materials and substances that either may or must not be burned in smaller boilers.

It is suggested that the positive and negative lists are open for extensions due to new knowledge about existing or introduction of new substances and materials.

Survey of Danish boilers firing minor contaminated wood residues
Our survey of Danish boilers firing minor contaminated wood residues is based on contact to a number of manufactures of boilers and companies representing the Danish wood and furniture industries firing i.e. chips from chip and MDF boards.

We have sent letters to boiler manufactures with a number of questions, and we have sent letters to wood and furniture industries with questions in six categories:

1. Capacity and age of the boiler
2. Plant structure
3. Flue gas cleaning
4. Measuring equipment
5. Measurements of emissions
6. Fuel

The survey has been coordinated with parallel surveys conducted by the local authorities of Ikast and The Confederation of Danish Industries.

The most important results are:

Most of the boilers have a capacity between 0.5 and 1.5 MW input effect, and more the 50% of the boilers has been installed before 1990.

Approximately 30% of the boilers are equipped with an Automatic Measuring System (AMS) for oxygen. Only few newer boilers are equipped with oxygen control for combustion optimisation.

Approximately 19% of the boilers are equipped with a AMS for carbon-monoxide (CO).

Only 10% of the plants have installed a bag filter as a supplement to a multi-cyclone. The plants with bag filter are all installed after 1990.

International regulations

We have examined the regulations of the burning of wood waste in Germany, Austria, The Netherlands and Sweden. Sweden has no special regulations. With only smaller differences in emission limits of dust, CO and NO_x these countries treats minor contaminated wood residues like virgin wood, although there is certain requirements to plant structure, operation, etc. and higher emission limits for NO_x.

Resent measurements of emissions

There are a number of measurements of emissions from Danish boilers fired with wood waste. The data is not very well documented. It is difficult to provide measuring results, because the total number of measurements is few.

The measurements show a confused picture of the emissions with single very high values for CO and NO_x. In spite the fact that chips of chipboard and residues of boards is fired, more measurements clearly show that the emission of NO_x not necessarily is significantly higher than for virgin wood.

Prospects for better emission control

The limitation of emissions can be achieved in two different ways – either by end-of-pipe solutions (filters, cyclones, etc.) – or by better combustion conditions. A combination of the two gives the most optimal result. We have evaluated the prospects for reduction of the emissions of particles, CO and NO_x and other unwanted combustion products.

Reduction of particle emission

Earlier particle removal has been done by multi-cyclones, but recently bag filters have become standard also at smaller boiler plants down to 1 MW in order to comply with the emission limit of 40 mg/m³. Bag filters are normally very efficient, and very low emission values can be reached – normally less than 10 mg/m³ and often below 1 mg/m³.

Bag filters are significantly more expensive than multi-cyclones, both in investment and operation costs, since the bags have to be exchanged at intervals of few years. The existing technology for particle removal is evaluated to be optimal for the proposed limit values for particle emission.

Reduction of NO_x-emission

The only realistic technology for NO_x removal at smaller wood fired plants is flue gas recirculation. At existing plants flue gas recirculation is normally not a realistic solution, because the plants must be designed for the larger flue gas flow in the recirculation loop.

Reduction in CO-emission

The emission of CO and other unwanted organic combustion products is closely connected to the combustion conditions i.e. the structure of the fuel, plant design and running conditions.

Requirements on the fuel

It is important that the fuel is reasonably homogenous, and does not contain larger pieces of wood, that burns slowly. The fuel must neither be too fine with too much sawdust or sanding dust. The optimum is a mixture fine and coarse particles giving a fixed structure allowing the primary air to be distributed uniformly through the fuel layer.

Requirements on plant design and control

It is extremely important, that the stoker and combustion chamber is designed for burning of the used type of wood – including its water content and structure.

It is recommended that all plants – both new and existing – must/ought to be equipped with a measuring system for oxygen and automatic control of the combustion air flow, in order to achieve a constant O₂-concentration in the flue gas. Moreover continuous fuel feeding ought to be standard on new plants and also at existing plants, if retrofit is possible. On/Off control of the feed will have significant negative influence on the combustion quality, but with oxygen measurement and control the effect will be less. On/Off control ought to be accepted on plants, where it is not possible to retrofit continuous control.

The combustion air must be supplied at locations (zones) where there is a demand for it. Bad air distribution could cause high emissions of CO, etc. and bad burnout even though the total air flow is correct.

Video monitoring

Experiences with video monitoring on waste incineration plants with moving grate is very positive and the systems are used at almost all Danish incineration plants and on at least two district heating plants. A camera placed above the grate will show many “combustion errors” giving both the owner and boiler manufacturer important knowledge about the cause of possible problems and the possibilities to solve them and to optimise the plant design and control.

Proposal of emission limits

We propose the following emission limits in the unit of $\text{mg/m}^3(\text{n,t})$ at 10 % O_2

Parameter	Input effect (p) in MW		
	$0,120 < p < 1$	$1 \leq p < 5$	$5 \leq p < 50$
Particles	300	40	40
Particles for plants without filter	300	100	100
CO, new plants	400	300	200
CO, existing plants	500	500	500
NO_x	Non	Non	400

Proposal of emissions control and operation control etc.

We propose these regulations for emissions control and operation control:

	Input effect (p) in MW			
	$0,120 < p < 1$	$1 \leq p < 5$	$5 \leq p < 30$	$30 \leq p < 50$
Dust	Performance inspection ³⁾	Performance inspection	Performance inspection	AMS
CO	Performance inspection ³⁾	Performance inspection	AMS	AMS
NO_x	-	-	Performance inspection	AMS
O_2 measuring	AMS	AMS	AMS	AMS
Combustion control	X	X	X	X

AMS: (**A**utomatic **M**easuring **S**ystem)

Moreover we suggest other demands on and conditions for the plants, e.g.:

- Plant design must be adapted to the fuel structure
- Plant capacity must fit the energy demand
- Operation control and documentation
- Journal system

There are small differences between regulations concerning new and existing plants.

Proposal of disposal of ash

The ash from burning of minor contaminated wood residues will have a composition like ash from burning of virgin wood. The ash from plants comprising the proposed definition of minor contaminated wood residues can be disposed according to the regulations for ash from burning of virgin wood in the Danish statutory order of ash from biomass, "Bioaskebekendtgørelsen", Ref. 6.

1 Definition af lettere forurenede trærester

1.1 Materialer i træ- og møbelindustrien

Som indledning til definitionen af lettere forurenede trærester beskrives i dette afsnit de materialer, der anvendes i træ- og møbelindustrien. Det efterfølgende afsnit 1.2 vil indeholde argumenter for, hvilke materialer, der bør og hvilke der ikke bør kunne afbrændes i almindelige fyringsanlæg.

Træ- og møbelindustrien producerer og anvender mange forskellige træbaserede materialer, som kombineres med en række forskellige overfladematerialer. Alle disse materialer kan i større eller mindre udstrækning ende i spånfyret i forbindelse med bearbejdning af produkterne.

De mest almindelige træbaserede materialer er:

- Massivt træ
- Limtræ (indeholder < 1 % lim)
- Lamineret træ (indeholder < 1 % lim)
- Finer
- Finerplader (indeholder 2 – 6 % lim)
- Spån- og MDF plader (indeholder 7 – 13 % lim)
- Træfiberplader der er bundet sammen af træets naturlige limstoffer.

Desuden benyttes:

- Plastlaminat
- Folie
- Lak og pigmenteret lak
- Lim
- Brandhæmmende materialer
- Diverse andre stoffer

1.1.1 Massivt træ

Anvendes fortrinsvis til møbler, bordplader, låger mv. Løvtræ som eg, bøg, ask, mahogni osv. er hårdt, mens fyrretræ er en forholdsvis blød træsort, hvilket har betydning for træets forbrændingstekniske egenskaber.

1.1.2 Limtræ

Limtræ består af større stykker træ, der er limet sammen. Limtræ indeholder mindre end 1% lim.

1.1.3 Lamineret træ

Lamineret træ fx møbelplade evt. med finer indeholder mindre end 1% lim.

1.1.4 Finer

Finer, der som regel kun ca. 0,6 mm tyk, limes på spånplade eller MDF-plade. Anvendes ofte til bordplader, reoler, køkkenlåger og andre pladekonstruktioner. Finerbelægning er normalt lakeret eller olieret for at kunne holde til slid, rengøring osv.

Træet kan være bejdset eller pigmenteret (farvet) i forbindelse med lakeringen. Udtryk som "mahognibejdset", "kirsebærbejdset" eller lignende dækker over billigere træsorter, der er farvet, så det ligner mahogni osv.

1.1.5 Spånplade

Plade af træspåner og lim, der presses sammen under opvarmning. Spånpladen har en tæt struktur på begge ydersider og en grovere struktur i midten. Anvendes i et utal af møbelkonstruktioner, til skabe (korpus), til låger, hylder og skuffebunde. Desuden som underlag for bordplader af plastlaminat og rustfrit stål.

Spånplader indeholder typisk:

- 82 % Træ
- 7 % Fugt
- 9 % Urea-formaldehyd lim
- 0,5 % Hærder (ammoniumklorid eller -sulfat)
- 0,5 % Voks (paraffin)
- < 1 % Urea

Desuden kan der være op til 2 % laminat eller foliebelægning.

1.1.6 MDF-plade

MDF er forkortelsen af Medium Density Fiberboard. Plade af træfibre og lim, der presses sammen under opvarmning. MDF-plader har en ensartet tæt struktur i hele pladens tykkelse. Den er derfor lettere at bearbejde end spånpladen, og anvendes fx til finere møbler og konstruktioner med runde eller fræsedede kanter, f.eks. låger med profileringer.

MDF plader indeholder typisk:

- 81 % Træ
- 6% Fugt
- 11 % Urea-formaldehyd lim
- < 1 % Hærder (ammoniumklorid eller -sulfat)
- 0,7 % Voks (paraffin)
- < 1 % Urea

Desuden kan der være op til 2 % laminat eller foliebelægning.

1.1.7 Træfiberplade

Plade af træfibre, der presses sammen under opvarmning (fx masonit). Fibrene holdes sammen af træets naturlige limstoffer. Anvendes fx til bagklædninger i skabe, og til skuffebunde og hylder.

Derudover kan resttræ indeholde mindre mængder af:

1.1.8 Plastlaminat

Tynd plade af mange lag papir samt fenollim, der presses sammen under tryk og opvarmning. Overfladen forsynes med farve og/eller mønster, så det f.eks. ligner forskellige træsorter, sten m.m.

Højtryksslaminat er hårdt, robust og slidstærkt og har god varmebestandighed. Anvendes især som belægning på bordplader.

Lavtryksslaminat er mere smidigt, men mindre robust og med mindre varmebestandighed.

Laminater anvendes indenfor bygge- og inventarindustrien, hvor der stilles stor krav til overfladen, f.eks. med hensyn til design, slidstyrke, rengøringsevne og fugtbestandighed. Laminat limes på et underlag, som i de fleste tilfælde er en spånplade. Ses begge sider af pladen pålægges typisk den samme laminat på begge sider. Ses kun den side, pålægges typisk et billigere balancepapir på den anden side. Mange laminater er godkendt til kontakt med fødevarer, og anvendes i stor udstrækning i køkkeninventar, med køkkenbord af laminatplade som det bedst kendte eksempel.

Laminat består ifølge Perstorps miljødeklaration Ref. 7 af:

- 50 % ubleget kraftpapir
- 15 % hvid dekorpapir
- 20 % phenolharpiks
- 15 % melaminharpiks

I specielle anvendelser anvendes brandhæmmende laminater. Perstorp Ref. 7 har oplyst, at de for nogle år siden ophørte med at anvende bromerede flammehæmmere i deres flammehæmmende laminat, og at der anvendes fosfater i dag. Fra omkring begyndelsen af 2003 vil fosfaterne blive udskiftet med aluminium-trihydroxyd som flammehæmmer.

Eksempel på dekorativt laminat på spånplader.

Tykkelse 0,8 mm med en vægt på 1,050 kg/m² pålagt begge sider af 16 mm spånplade med densiteten 625 kg/m³, der svarer til 10 kg/m². Vægten af laminatet vil udgøre 17 % pladen vægt.

I de fleste tilfælde vil der blive anvendt en folie med en vægt på omkring 100 gram/m², hvorved belægningens vægtandel på en 16 mm spånplade vil udgøre ca. 2%.

Laminat på køkkenbordsplader er normalt 0,6 – 0,9 mm tyk, med et tyndere balancepapir på bagsiden som alligevel ikke kan ses. Med en samlet vægt af laminat og balancepapir på 1,5 kg/m², belagt på en 28 mm spånplade (normal

køkkenbordspladetykkelse) med en densitet på 625 kg/m³, vil belægningen udgøre ca. 8 % af pladens vægt.

1.1.9 Folie

Folie af papir eller plast, der er imprægneret med melaminplast. Kaldes også "dekorpapir". Folien er knap så robust som plastlaminat. Anvendes som overflade på låger, hylder, skabssider, indfatninger, fodpaneler, lister, profilerede lister m.m.

Folie kan være farvet og præget som træ, og det kan være vanskeligt at skelne fra ægte træ.

Folier af PVC var tidligere meget udbredte pga. gode egenskaber, men de er i de seneste år mange steder blevet erstattet af andre plasttyper.

1.1.10 Lak og pigmenteret lak

Det mest udbredte er UV lak, syrehærdende lak og vandbaseret acryllak, hvor de to sidstnævnte kan indeholde pigmenter. UV lak indeholder meget sjældent pigmenter, da pigmenter vil hindre en effektiv hærdning med UV lys.

UV lak anvendes primært på plane flader med valsepålægning. De øvrige lakker og pigmenterede lakker anvendes til alle former for overfladebehandling på møbler og låger.

Farvepigmenter var tidligere i stor udstrækning baseret på metal- og tungmetallforbindelser, men er i de senere år mere og mere blevet erstattet af organiske forbindelser uden tungmetaller. En forventning om, at tungmetaller ikke mere fandtes i de pigmenter der anvendes i træindustrien, kunne dog ikke dokumenteres. Dansk Industri har som følge af dette nedsat en arbejdsgruppe, som skal undersøge udbredelsen af tungmetaller i pigmenterede lakker, og om der findes alternative pigmenter uden tungmetaller.

1.1.11 Limtyper

De mest anvendte limtyper er angivet i Tabel 1.1 og sammensætningen er angivet i Tabel 1.2.

Tabel 1.1 Limtyper anvendt i træ- og møbelindustrien

Forkortelse	Navn	Anvendelse
PF	Phenol-Formaldehyd lim	Plader med specielle egenskaber, bl.a. fugtbestandige. Ukendt lille dansk forbrug
PMDI (og MDI)	Polymeriseret DiphenylMethan- Diisocyanat lim	
UF	Urea-formaldehyd lim	Spån- og MDF plader, krydsfiner, finering, sammenlimning af træ mm.
	Phenol og Phenol-Resorcinol lim	Krydsfiner og limtræ til udendørs brug. Ingen eller meget lille forbrug i træindustrien
MUF	Melamin-Urea-Formaldehyd lim	Spån- og MDF plader

Forkortelse	Navn	Anvendelse
MUPF	Melamin-Urea-Phenol-Formaldehyd lim	
PVAc	Poly-Vinyl-Acetat lim	Konstruktions og samlingslim, universallim, sammenlimning af træ, kantlister mm.
Smeltelim	Ethylen-VinylAcetat, 80% af forbruget, resten Polyamid og Polyurethan	Kantlister, omviklet folie, montage, mm.

Tabel 1.2 Sammensætning af forskellige limtyper.

Materiale	Elementar-sammensætning i vægt %						
	C	H	O	N	Cl	S	Aske
PF lim	75	6	18	0,5	-	-	-
UF lim	34	6	23	37	-	-	-
MF lim	42	7	3	38	-	-	-
MUF/MUPF lim	39	6	18	37	-	-	-
PMDI lim	72	4	13	11	-	-	-
PVAc	56	7	37	-	-	-	-
Smeltelim ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-

¹⁾ Det har ikke været muligt umiddelbart at skaffe oplysninger om den kemiske sammensætning af smeltelim.

Alle de anvendte limtyper består således hovedsageligt af C, H og O, ligesom træ, men med et varierende og væsentligt indhold af N.

1.1.12 Brandhæmmende materialer

Mange pladematerialer og overfladebelægninger findes i brandhæmmende udgaver, til specielle anvendelser. Der kan være anvendt bromerede flammehæmmere eller uorganiske salte, fx fosfater for at give materialerne den brandhæmmende virkning. Der er ikke tale om, at materialerne bliver ubrændbare, men at antændelsestiden forøges og antændelsestemperaturen bliver højere.

Anvendelsen af brandhæmmende materialer er ikke udbredt, da materialerne er dyrere, og derfor kun anvendes, hvor der stilles specielle krav om brandhæmmende materialer. Salget af brandhæmmende laminater i Danmark er meget lille i forhold til det samlede salg af laminater. Anvendelsen af de brandhæmmende materialer kan fx være laminater på laboratoriebord og i stinkskabe, men dette er ikke undersøgt nærmere.

Ved forbrænding af findelt materiale med en brandhæmmende laminat overflade vil den brandhæmmende effekt formentlig være ubetydeligt, men hvis hele pladen er imprægneret med brandhæmmere, vil forbrændingen blive betydeligt dårligere. Hvis der er anvendt bromerede flammehæmmere, vil der ved forbrænding af rester kunne udvikles betydelige mængder brombrinte (HBr) og bromerede dioxiner.

1.1.13 Andre stoffer og materialer

Behandling af møbler med olie, voks, sæbe og lud, som opsuges og trænger ind i træet, og ispinde behandlet med paraffin, betragtes alle som uproblematisk stoffer i forbrændingsmæssig henseende ved de aktuelt forekomne koncentrationer i træet..

1.2 Definition af lettere forurenede trærester:

I EU direktivet for affaldsforbrænding Ref. 8 i Artikel 2, Anvendelsesområde står følgende definition for trærester, der skal tilføres affaldsforbrændingsanlæg:

1. Dette direktiv omfatter affaldsforbrændingsanlæg og kombinerede forbrændingsanlæg.
2. **Følgende anlæg er ikke omfattet af direktivet:**
 - a) Anlæg, der kun behandler følgende affaldstyper:
 - iv) **Træaffald undtagen træaffald, der kan indeholde halogenerede forbindelser eller tungmetaller som følge af behandling med træbeskyttelsesmidler eller overfladebehandling, herunder navnlig sådant træaffald fra bygge- og nedrivningsaffald**

Tilsvarende står nøjagtigt den samme definition af træaffald i Artikel 2 i forslaget til nyt direktiv for fyringsanlæg større end 50 MW Ref. 1, men således at alt træaffald, undtagen træaffald med halogener og tungmetaller ifølge definitionen, kan brændes i store fyringsanlæg.

Det er således tydeligt hensigten, at almindeligt trærester fra træindustrien, der forarbejder nye materialer med lim, laminat mv., ikke skal tilføres affaldsforbrændingsanlæg.

Definitionen af lettere forurenede træmaterialer, som kan brændes i mindre fyringsanlæg, foreslår vi udvidet og præciseret i forhold til direktivernes definition. Mindre fyringsanlæg har normalt dårligere forbrændingsbetingelser og mindre avanceret styring og overvågning, samt mindre effektiv røggasrensning end store fyringsanlæg, og der er derfor behov for en yderligere begrænsning af det brændsel, der må anvendes i disse anlæg.

Definitionen af lettere forurenede trærester foreslås derfor at være:

Ved lettere forurenede trærester forstås stykker af træ, f.eks. savsmuld, høvlspåner, flis, pudsestøv, træstykker og pladerester, som kan indeholde lim, lak, maling, folie- og lamineringsmaterialer, træbeskyttelsesmidler og andre stoffer, som ved forbrænding ikke giver anledning til væsentligt forhøjede emissioner af stoffer, der er skadelige for miljøet. Undtagen herfor er dog emissionen af NO_x, som kan være forhøjet på grund af kvælstofholdigt lim i specielt pladematerialer.

Definitionen foreslås **suppleret** med en positiv liste og en negativ liste, dvs. en liste over materialer og indholdsstoffer, som enten må eller ikke må brændes i mindre fyringsanlæg.

Positiv- og negativlisterne foreslås at være åbne, således at de kan udvides i takt med eventuel nye viden om eksisterende eller ved introduktion af nye stoffer og materialer.

1.2.1 Positiv liste

Langt de fleste materialer, der benyttes i træ- og møbelindustrien vil uden videre kunne afbrændes i almindelige fyringsanlæg. Kun emissionen af kvælstofoxider, der ikke vurderes som et miljømæssigt problem i Danmark, vil være en smule forhøjede i forhold til forbrænding af rent træ på grund af kvælstofindholdet i lime og hærde i lime.

1.2.1.1 Forslag til positiv liste:

1. Træ og kompositmaterialer fremstillet af træ
2. Almindeligt anvendte og hærde lime anvendt i plader, finer, pålægning af overfladematerialer, samling af møbler mv.
3. Ovennævnte materialer, der er overfladebehandlet med lak, maling og olie, som ikke indeholder tungmetaller eller halogenforbindelser
4. Laminat, dekorpapir, folie mv., selvom der er anvendt ammoniumklorid som hærde i limen.
5. Træmaterialer behandlet med paraffin og voks

1.2.2 Negativ liste

Brugte træmaterialer bør ikke kunne afbrændes, da det ikke er muligt at dokumentere deres oprindelse eller indhold af fx tungmetaller eller halogener.

Materialer, der er imprægneret eller overfladebehandlet med halogen- eller tungmetallholdige produkter, eller på anden måde indeholder tungmetaller eller halogener, kan give anledning til emissioner af HCl, dioxiner eller tungmetaller. Trærester bør derfor kun kunne afbrændes, hvis de indeholder disse stoffer i koncentrationer, der kan sammenlignes med rent træ.

PVC er uønsket i trærester, der skal forbrændes, da det giver anledning til dannelse af HCl og risiko for kraftigt forøget dannelse af dioxin. Alle trærester mm., der indeholder rester af materialer med PVC, anbefales derfor opført på negativlisten over lettere forurenede trærester, der kan brændes i almindelige forbrændingsanlæg til træ.

Alt resttræ, der indeholder bromerede flammehæmmende midler, anbefales opført på negativlisten, da det vil give medføre dannelse af bromerede dioxiner ved forbrænding. Andre typer brandhæmmende midler, uorganiske salte af fosfor eller aluminium mv. vurderes at være mindre problematiske, hvis de kun indgår i en mindre del af det der brændes, dvs. nogle få procent, som fx plader belagt med brandhæmmende laminat.

Afbrænding af plade- og kompositmaterialer, hvor der er anvendt ammoniumklorid som hærde i limen, medfører forøgede emissioner af HCl og dioxiner. Alternative hærde (ammoniumsulfat eller -nitrat) medfører en større emission af henholdsvis SO₂ og NO_x. Umiddelbart vurderes den forøgede dioxin emission at være den mest problematiske, således at anvendelse af ammoniumklorid som hærde bør begrænses mest muligt ved at det anbringes på negativlisten. Dette har dog vist sig at medføre en række problemer, både for dansk produktion af spånplader, hvor der anvendes ammoniumklorid, og et skift til anden type vil medføre forøgede produktionsomkostninger - på et i

forvejen presset marked - og for træindustrier, der brænder pladerester, fordi deres indkøbsmuligheder vil blive væsentligt begrænset. Vi anbefaler derfor, at ammoniumklorid varsles optaget på negativlisten efter fx 2 eller 3 år, dels for at give tid til at undersøge problemet nærmere, eventuel ved gennemførelse af emissionsmålinger, og vurdering af konsekvenserne for industrien, samt give tid til en velovervejet omstilling til anden type hærder.

1.2.2.1 Forslag til negativ liste:

1. Alle former for brugte træmaterialer.
2. Materialer der er imprægneret eller overfladebehandlet med halogen- eller tungmetaltholdige produkter, eller på anden måde indeholder tungemetaller eller halogener, i koncentrationer der samlet er højere end det der kan forekomme i rent træ.
3. Materialer der indeholder bromerede flammehæmmende midler.
4. Alle former for overfladematerialer, der indeholder PVC.
5. Plade- og kompositmaterialer med mere end 1 % limindhold, hvor der er anvendt ammoniumklorid som hærder i limen. Denne regel bør indføres 2 eller 3 år efter de øvrige regler.

1.2.3 Øvre grænse for indholdet af lim

Lim er dyrt, og pladeproducenterne vil derfor ikke anvende mere lim end nødvendigt, for at pladens egenskaber og kvalitet er i orden. Mere lim og flere tilsætningsstoffer giver dyrere plader, som derfor kun kan sælges til specielle formål, som f.eks. fugtbestandige plader til udendørs facadebeklædning. Den type plader formodes sjældent eller aldrig anvendt i træ- og møbelindustrien. Limindholdet i almindeligt anvendte pladematerialer vil sjældent overstige 11-13 %. En øvre grænse for limindholdet i træmaterialer er således ikke styringsmæssigt nødvendig

Fastsættes en øvre grænse kan det dog give anledning til krav om dokumentation for at indholdet af lim i et givent brændsel er under grænsen, hvilket kan være både vanskeligt, dyrt og unødvendigt at kontrollere. En øvre grænse for limindhold på f.eks. 15 % i det samlede brændselsmiks vil formentlig ikke volde nogen problemer at overholde.

Ønskes en øvre grænse for limindholdet fastsat, anbefales den fastsat til mindst 15 %, således at grænsen nemt kan dokumenteres overholdt, ved beskrivelse af anvendte materialer og oplysninger fra leverandører om limindhold.

dk-TEKNIK mener ikke, at det er nødvendigt at fastsætte en øvre grænse for limindholdet.

2 Oversigt over danske fyringsanlæg

Vi har foretaget en kortlægning af danske fyringsanlæg, der fyrer med lettere forurenede overskudstræ. Vores kortlægning er sket på baggrund af kontakt til en række danske leverandører af kedelanlæg og et repræsentativt udsnit af danske træ- og møbelproducerende virksomheder, der fyrer med spåner fra bl.a. spån- og MDF-plader.

Vi har sendt breve ud til kedelleverandører med en række spørgsmål, ligesom vi har sendt breve ud til træ- og møbelproducerende virksomheder, hvori der var vedlagt et spørgeskema. Spørgsmålene var inddelt i seks grupper:

1. Kedelanlæggets størrelse og alder
2. Selve kedelanlægget
3. Røggasrensning
4. Anlægsmålere
5. Eventuelle emissionsmålinger
6. Brændsel

Kopi af brev til kedelleverandører har vi vedlagt som bilag A. Kopi af spørgeskema til de træ- og møbelproducerende virksomheder har vi vedlagt som bilag B.

Vi har taget kontakt til i alt 7 danske leverandører af kedelanlæg og i alt 44 danske træ- og møbelproducerende virksomheder. Hertil kommer informationer, som Ikast Kommune har stillet til rådighed fra en tilsvarende undersøgelse og vores eget kendskab til træfyringsanlæg, som vi har oparbejdet gennem mangeårigt rådgivningsarbejde for virksomhederne.

Alle kontaktede virksomheder og leverandører er sikret anonymitet.

På de 44 kontaktede virksomheder er der i alt 27 fyringsanlæg, der fyrer med spåner fra bl.a. spån- og MDF-plader. De øvrige anlæg er enten fyret med rent træ, gasolie eller naturgas. Enkelte virksomheder har installeret fjernvarme. De virksomheder, der ikke selv fyrer med deres spåner fra spån- og MDF-plader, har oplyst, at de sælger spånerne til genanvendelse hos producenter af spånplader.

2.1 Fyringsanlæggenes størrelse

De oplyste anlægsstørrelser varierer fra mindre end 0,5 MW til større end 2 MW i indfyret effekt. Nedenstående viser vi størrelsesfordelingen på de enkelte anlæg:

< 0,5 MW:	8 %
0,5 – 1 MW:	22 %
>1 – 1,5 MW:	37 %
> 1,5 – 2 MW:	22 %
> 2 MW:	11 %

2.2 Installationsår

Vores kortlægning indikerer, at over halvdelen af alle anlæggene er installeret i årene 1980-1990, især med hovedvægt i den første del i perioden. Der findes dog nogle få endnu ældre anlæg, ca. 8 %.

Fordelingen i installationsår ser således ud:

Før 1980:	8 %
1980 – 1990:	52 %
1990 – 2000:	33 %
Senere end 2000:	7 %

2.3 Beskrivelse af træfyrianslæggene

2.3.1 Varmtvandskedler

Langt den overvejende del af alle træfyrianslæggene (96 %) fungerer som varmtvandskedler, hvor opvarmet vand anvendes til både rumopvarmning og eventuelle procesformål.

2.3.2 Indfyriansarrangement

Indfyrian af brændslet sker for hovedparten af anlæggene (85 %) med sneglestoker i retorte, hvor brændslet ved hjælp af en snegl skubbes ind i kedlen nedefra. Forbrændingen begynder, når det friske brændsel opvarmes ved varmeledning fra de øverste brændende lag og til slut gennem strålevarmen fra det brændende lag. Primærluft tilføres nedefra og sekundærluft fra oven. Udbrændt aske skubbes ud over siden af bunken og ned til askeudtaget. Fyriansanlæg med retorte er ikke velegnede til fyrian med alt for finkornede brændsler, da dette giver uens fyrian og meget flyveaske.

I en mindre del af anlæggene (15 %) sker indfyrian af brændslet på en rist inde i kedlen. Risten kan have forskellig udformning, eksempelvis trapperist, vandrerist, kæderist, roterende rist og skubberist. Ved ristesystemer fyries brændslet ind i den ene ende af risten og føres frem af ristes bevægelse(r) til den anden ende under forbrændingen. Det er vigtigt, at tilførslen af brændsel sker jævnt over ristes tværsnit. Primærluft tilføres gennem risten og brændselslaget og sekundærluft over brændselslaget. Pyrolyseprocessen i brændslet starter ved hjælp af strålingen fra en udmuret tændbue, der opvarmes af de brændende gasser over laget. Forbrændingsprocesserne fortsætter hen over risten efterhånden som den bevæger brændslet ned mod askefaldet. Ved ristes slutning findes der dermed færdigudbrændt aske. For at få den bedste udbrænding af brændslet kræves et stort (højt) forbrændingskammer med god opblanding af uforbrændte gasser og partikler fra ristelaget og sekundærluften.

2.3.3 Installation af anlægsmålere

Vores kortlægning viser endvidere, at på omkring 30 % af alle fyriansanlæggene er der installeret en iltmåler. Kun på enkelte anlæg er der installeret en egentlig iltstyring til at optimere forbrændingen. Dette er overvejende på fyriansanlæg, der er installeret i slutningen af 1990'erne og senere. På de få æl-

dre anlæg, hvor der er installeret iltstyring, er iltstyringen oftest installeret senere efter krav fra miljømyndighederne.

Det fremgår endvidere, at omkring 19 % af anlæggene har installeret CO-måler, der giver mulighed for at registrere, hvor god forbrændingen er. Tilsvarende ved installering af iltstyring gælder, at det overvejende er de nyeste fyringsanlæg, hvor der er installeret CO-måler. Der er endvidere enkelte ældre fyringsanlæg, hvor CO-måler er installeret senere efter krav fra miljømyndighederne.

2.3.3.1 O₂-styring

På anlæg med iltstyring (O₂-styring) måles ilt-indholdet i røggassen efter kedlen. Ud fra denne måling justerer en automatisk regulator lufttilsætningen, så den ønskede bøværdi for ilt-overskudet nås.

Iltstyring sikrer, at der altid er et rigtigt forhold mellem brændsels- og luftmængden og dermed, at anlægget har en god forbrænding - selv når brændslet har varierende brændværdi og massefylde. Dette er vigtigt på anlæg, hvor brændselsindføringen startes og stoppes. Her vil iltstyringen sikre, at der altid er den korrekte luftmængde til den øjeblikkelige driftssituation.

2.3.3.2 CO-måling

En måling af CO efter kedlen kan benyttes til at indregulere anlægget tættere på det optimale brændsels/luft-forhold tilpasset variationer i brændslets struktur og fugtindhold. De forbrændingstekniske egenskaber vil ofte afsløre sig i røggassens CO-indhold.

Selv mindre, lokale "forbrændingsfejl" vil give anledning til en væsentlig ændring i CO-indholdet.

2.3.3.3 Styring af ældre fyringsanlæg

Fra leverandørerne af kedelanlæg bekræftes det, at forbrændingsluftmængden tidligere udelukkende blev styret i forhold til den indfyrede brændselsmængde, der igen styres efter varmekonsumet.

Der var ikke korrektion af forbrændingsluftmængden ved hjælp af kontinuerlige O₂- eller CO₂-målinger. Indreguleringen foregik ved enkeltmålinger af CO₂-indholdet, og derefter blev der ikke foretaget anden regulering end, at man sørgede for, at brændslet blev udbrændt.

2.3.3.4 Styring af nye fyringsanlæg

På nye anlæg vil forbrændingen automatisk blive styret ud fra iltindholdet i røggassen. Efter ønske installeres kontinuerlig CO-måling, der dog ikke indgår i styring af anlægget. CO-måling er med til at sikre bedre indregulering og kontrol af forbrændingen i anlægget.

De nye anlæg har også større moduleringsområde, så mange stop/start undgås.

Ved indregulering af nye fyringsanlæg vil der desuden blive foretaget O₂-, CO- og NO_x-målinger.

For at sikre en kontinuerlig brændseltilførsel er der på nye anlæg omdrejningsregulering på indfyringsneglen. Med hensyn til regulering af selve forbrændingen vil blæsere desuden omdrejningsreguleres for at give nøjagtig do-

sering af luftmængden både til primærluft (under risten) og til sekundærluft (over forbrændingen).

2.4 Brændsel

2.4.1 Sammensætning

I forbindelse med kortlægningen er de enkelte virksomheder blevet spurgt om den aktuelle sammensætning af deres brændsel. Hovedparten af de anlæg (81 %), der fyrer med det, der benævnes lettere forurenede overskudstræ, oplyser, at indholdet af spån- og MDF-plader udgør mere end 50 %. Knap hver femte anlæg (19 %) fyrer med brændsel, hvor indholdet af spån- og MDF-plader udgør mindre end 50 %.

2.4.2 Salg eller køb af brændsel

Afhængig af den enkelte virksomheds lagerkapacitet (størrelse af træsilos) er der virksomheder, der sælger brændsel (overvejende i sommerperioden) og virksomheder, der køber brændsel (overvejende i fyringssæsonen). Til 22% af anlæggene køber virksomhederne ekstra brændsel. Fra 15% af anlæggene sælger virksomhederne brændsel. Ved salg af brændsel går spånerne hovedsageligt til genanvendelse i form af produktion af nye spånplader.

2.4.3 Danske eller udenlandske spån- og MDF-plader

Samtlige virksomheder har oplyst, at de anvender udenlandske spån- og MDF-plader. 81% af anlæggene anvender endvidere også dansk producerede spån- og MDF-plader.

2.4.4 Overfladebelægning af træ

Vi har endvidere spurgt virksomhederne om eventuel overfladebehandling af træet. Hertil svarer mere end halvdelen, at deres træ er belagt med laminat, melamin, folie og kantlister. Hovedparten af virksomhederne oplyser endvidere, at PVC ikke indgår i nogle af de førnævnte belægninger. Omkring halvdelen af virksomhederne har oplyst, at træet er overfladebehandlet med lak eller maling.

Andelen af virksomheder, der benytter forskellige overfladebehandlinger, er vist nedenfor:

Laminat:	52 %
Melamin:	85 %
Folie:	78 %
Kantlister:	59 %
PVC:	7 %
Lak eller maling:	52 %
Evt. andet:	7 %

Kun en enkelt virksomhed oplyser, at der kan forekomme flammehæmmere i noget af brændslet.

2.4.5 Brændselsanalyser

På 15 % af anlæggene har de fået foretaget brændselsanalyse af deres brændsel.

Af de brændselsanalyser, vi har fået tilsendt, fremgår det, at typiske værdier i brændsel bestående overvejende af spån- og MDF-plader er:

Svovl (S):	0,02 – 0,06 %
Kulstof (C):	omkring 45 %
Hydrogen (H):	omkring 6 %
Kvælstof (N):	3,1 – 3,7 %
Klor (Cl):	0,02 – 0,05 %

3 Udenlandske regler

Der er forskel på de reference O₂ %-er der anvendes i de forskellige undersøgte lande. Danmark bruger 10 %, Tyskland og Holland anvender 11 % og Østrig 13% O₂. For at kunne sammenligne de udenlandske grænseværdier med de danske, så er de alle omregnet til den danske reference på 10 % O₂, hvilket er årsagen til de lidt skæve tal.

I de følgende tre tabeller gives en oversigt over landenes emissionsgrænser for støv, CO og NO_x, for anlæg op til 5 MW.

De danske grænseværdier for trærester svarer til den nuværende praksis med at træ med mere end 1 % lim er affald, som skal brændes i anlæg der er godkendt som et affaldsforbrændingsanlæg. Grænseværdierne er derfor henholdsvis grænseværdierne i den nuværende Bekendtgørelse om affaldsforbrænding, nr. 41 af 14. januar 1997, og grænseværdierne for små anlæg i det nye EU direktivet om forbrænding af affald, som skal være implementeret med en dansk bekendtgørelse ved årsskiftet 2002/03.

Der er kun medtaget grænseværdierne for støv, CO og NO_x, da kun de kan sammenlignes med andre landes grænseværdier.

Tabel 3.1 Emissionsgrænseværdier for støv i mg/m³(n,t) ved 10 % O₂

Indfyret effekt MW	Tyskland	Østrig	Holland	Sverige	Danmark	
	Rent træ og trærester	Rent træ og trærester	Rent træ og trærester	Rent træ og trærester	Rent træ	Trærester
4,8	165 (55 for anlæg mellem 5 og 50 MW)	61 (gælder for anlæg op til 50 MW)	28	Ingen krav	40 (gælder op til 50 MW)	40 ved godkendelse efter bekendtgørelsen for affaldsforbrændingsanlæg. 10 ved godkendelse efter ny bekendtgørelse for affaldsforbrændingsanlæg.
4,6						
4,4						
4,2						
4						
3,8						
3,6						
3,4						
3,2						
3						
2,8						
2,6						
2,4						
2,2						
2						
1,8						
1,6						
1,4						
1,2						
1		183			55	
0,8						
0,6						
0,4						
0,2						
0			110		300	
					Ingen krav	

Tabel 3.2 Emissionsgrænseværdier for CO i mg/m³(n,t) ved 10 % O₂

Indfyret effekt MW	Tyskland		Østrig Rent træ og trærester	Holland Rent træ og trærester	Sverige Rent træ og trærester	Danmark	
	Rent træ	Trærester				Rent træ	Trærester
4,8	275		122 (122 for anlæg mellem 5 og 50 MW)	275	Ingen krav (500 for anlæg større end 10 MW)	625 (gælder op til 50 MW)	100 ved godk. efter bekendtgørelsen for affaldsforbrændingsanlæg. Højest 100 ved godk. efter ny bekendtgørelse for affaldsforbrændingsanlæg.
4,6							
4,4							
4,2							
4							
3,8							
3,6							
3,4							
3,2							
3							
2,8							
2,6							
2,4							
2,2							
2							
1,8							
1,6							
1,4							
1,2							
1							
0,8	550	330	Ingen krav	Ingen krav	Ingen krav	500	
0,6	1.100	550					
0,4	2.200						
0,2	4.400						
0	880	Ingen krav					

Tabel 3.3 Emissionsgrænseværdier for NOx, målt som NO, i mg/m³(n,t) ved 10 % O₂

Indfyret effekt MW	Tyskland		Østrig		Holland		Sverige		Danmark	
	Rent træ	trærester	Rent træ	trærester	Rent træ	trærester	Rent træ	trærester	Rent træ	trærester
4,8	Ingen krav for anlæg mindre end 20 MW. (440 for anlæg større end 20 MW)	550 (for anlæg op til 50 MW)	244 (for alle anlæg større end 2 MW)	428 (for anlæg op til 50 MW)	Ingen krav	440 ved mere end 80-90 % plader	Ingen krav til små anlæg. (Normalt krav på ca. 200 for anlæg større end 10 MW)		Ingen krav til anlæg mindre end 5 MW (For anlæg på 5 - 50 MW: 300 og 400 ved højt bark- og stort nåleindhold)	Ingen krav ved godkendelse efter bekendtgørelsen for affaldsforbrændingsanlæg. 400 ved godkendelse efter ny bekendtgørelse for affaldsforbrændingsanlæg.
4,6										
4,4										
4,2										
4										
3,8										
3,6										
3,4										
3,2										
3										
2,8										
2,6										
2,4										
2,2										
2										
1,8										
1,6										
1,4										
1,2										
1										
0,8										
0,6										
0,4										
0,2										
0										
		Ingen krav	306	610		Ingen krav			Ingen krav	
			Ingen krav						Ingen krav	

3.1 Tyskland

Forbrænding ifølge 1. og 4. BimSchV (Bundes-Immissionschutzgesetzes) Regelbrennstoffe im Sinne §3, Abs.1 Nr.7 der TA Luft handelt.

1. Forordningen for mindre ikke godkendelsespligtige fyringsanlæg med en indfyret effekt på mindre end 1 MW. 1. BimSchV, Ref. 14.
2. Forordningen for godkendelsespligtige anlæg med indfyret effekt på mellem 1 og 50 MW. 4. BimSchV, Ref. 15.

Store fyringsanlæg på mere end 50 MW er omfattet af 13. BimSchV og affaldsforbrænding er omfattet af 17. BimSchV. Disse er ikke relevante i forhold til mindre anlæg fyret med resttræ, og omtales ikke nærmere.

3.1.1 Regler for små fyringsanlæg mindre end 1 MW

Regler for små fyringsanlæg mindre end 1 MW findes i 1. BimSchV. § 3 Definition af tilladte brændsel i de pågældende fyringsanlæg, Ref. 14.

I punkt 4, 5 og 5a, er alle former for jomfrueligt træ, dvs. rent træ som ikke er påført fremmede stoffer, og ikke tidligere været industrielt forarbejdet, og anvendt til andre formål, inden det er forarbejdet til den form der brændes. Herunder er også træpiller som ikke indeholder bindemidler.

I punkt 6 og 7 er lettere forurenede trærester beskrevet:

6. Rester af lakeret eller coatet træ, som ikke indeholder nogen træbeskyttelsesmidler og belægningerne ikke indeholder halogenerede organiske forbindelser.
7. Spånplader, fiberplader og andre belimte træmaterialer og rester, for så vidt det ikke indeholder træbeskyttelsesmidler og ikke indeholder halogenerede organiske forbindelser.
- Anlæg til fast brændsel må ikke sode mere end Grauwet 1 efter Ringelmann-skalaen.
 - Anlæg til faste brændsler må kun fyres med den type brændsler, og med den struktur, som de er beregnet til.
 - Anlæg på mindre end 15 kW må kun fyres med brændsler nævnt under punkterne 1 til 5a (dvs. rent træ).
 - Træaffald under punkterne 6 og 7 må kun brændes i anlæg på mindst 50 kW, og kun på anlæg der befinder sig på den virksomhed hvor træaffaldet genereres.

Grænseværdier for emissionen fra anlæg større end 15 kW (og op til 1 MW):

Tabel 3.4 Tyske grænseværdier For rent træ, punkterne 4 til 5a.

	15 kW til 50 kW	50 kW til 150 kW	150 kW til 500 kW	500 kW til 1 MW
Støv, mg/m ³	165	165	165	165
CO, mg/m ³	4.400	2.200	1.100	550

Tabel 3.5 Tyske grænseværdier For træaffald, punkterne 6 og 7.

	15 kW til 100 kW	100 kW til 500 kW	500 kW til 1 MW
Støv, mg/m ³	165	165	165
CO, mg/m ³	880	550	330

Der er ikke krav om offentlig kontrol af emissionen fra disse små anlæg.

3.1.2 Regler for større fyringsanlæg, på mellem 1 MW og 50 MW

Regler for større fyringsanlæg, på mellem 1 MW og 50 MW reguleres ifølge 4. BimSchV. Næsten alle former for træaffald kan brændes efter disse regler.

Rester af lakeret eller coatet træ, spånplader, fiberplader og andre belimte træmaterialer som ikke er behandlet med, eller indeholder nogen træbeskyttelsesmidler, men belægninger må indeholde halogenerede organiske forbindelser. Det sidste må dog formodes at blive ændret ved implementering af EU Direktivet om forbrænding af affald.

Ved afbrænding af resttræ med indehold af tungmetaller, evt. fra pigmenter i malinger, anvendes emissionsgrænserne fra 17. BimSchV om affaldsforbrænding. Dette formodes også at blive ændret ved implementering af EU Direktivet om forbrænding af affald.

Tabel 3.6 Karakteristiske emissioner fra tre typer træ og træaffald

Værdier i mg/m ³	Jomfrueligt træ	Trærester med belægninger	Trærester med PVC
Fluor	< 11	< 33	> 33
Kobber	< 6	< 22	> 22
Benz(a)Pyren	< 0,06	<0,1	> 2
Klor	< 110	< 110	> 330

Emissionsgrænser

Tabel 3.7 Tyske emissionsgrænser for støv

Anlægsstørrelse indfyret effekt	Emissionsgrænse mg/m ³ (n,t,11%O ₂)
1 til 5 MW	165
5 til 50 MW	55

Tabel 3.8 Tyske emissionsgrænser for CO

Anlægsstørrelse indfyret effekt	Emissionsgrænse mg/m ³
1 til 50 MW	275

Tabel 3.9 Tyske emissionsgrænser for NO_x

Brændsel	Emissionsgrænse mg/m ³
Rent træ for nye anlæg > 20 MW	440
Resttræ fra limede træfiberplader	550

Tabel 3.10 Tyske grænseværdier for andre parametre

Parameter	Emissionsgrænse mg/m ³
SO ₂	550
TOC målt som mg C/m ³	55
HCl	33
Benzen	6
Dioxiner og furaner, ng I-TEQ/Nm ³	0,1 ¹⁾

¹⁾ "Target value" for anlæg > 1 MW.

3.2 Østrig.

Reglerne i Østrig refererer til:

1. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. Ausgegeben am 13. Jänner 1989. 10. Stück, 19. Verordnung: Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen 1989 – LRV-K 1989. Ref. 16.

Med ændringer i:

2. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich.
 Jahrgang 1994. Ausgegeben am 30. September 1994. 246. Stück
 785. Verordnung: Änderung der Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen 1989 [EWR/Anh. II: 388 L 0609]. Ref. 17.

De Østrigske grænseværdierne gælder ved reference O_2 -koncentrationen 13 %, men de er alle omregnet til den danske reference på 10 % O_2 .

3.2.1 Grænseværdier for træfyrede dampkedelanlæg

§ 19. (1) Som træbrændsel gælder naturligt træ, i form af stykker og kløvede, træbriketter uden bindemiddel, flis, savsmuld og slibestøv såvel som kork, kvas og kogler, såvel som yderligere inden for fabrikkens område tiloversbleven resttræ fra håndværksmæssig eller industriel træbe- eller -forarbejdning og fra byggepladser, forudsat træet ikke er trykimprægneret eller indeholder halogenforbindelser.

(2) Dampkedelanlæg der fyres med træbrændsel, skal overholde følgende emissionsgrænseværdier:

Tabel 3.11 Østrigske emissionsgrænser for støv

Anlægsstørrelse indfyret effekt	Emissionsgrænse mg/m ³
< 2 MW	183
2 til 5 MW	61
> 5 MW	61

Tabel 3.12 Østrigske emissionsgrænser for CO

Anlægsstørrelse indfyret effekt	Emissionsgrænse mg/m ³
0,1 til 5 MW	305
> 5 MW	122

Tabel 3.13 Østrigske emissionsgrænser for NO_x målt som NO₂

Anlægsstørrelse indfyret effekt	0,1 til 2 MW	2 til 50 MW	> 50 MW
Brændsel	Emissionsgrænse i mg/m ³		
Gælder for resttræ fra limede, coatede eller lake- rede træmaterialer eller træ konstruktioner	610	428	244
	0,1 til 10 MW	10 til 50 MW	> 50 MW
Naturligt bøg og egetræ, kork, kvas og kogler	367	244	244
Øvrigt jomfrueligt træ	306	244	244

Ved samtidig forbrænding af flere forskellige typer træbrændsel, skal emissionsgrænseværdien beregnes som angivet i § 22 (som giver en formel for en resulterende emissionsgrænseværdi).

3.2.1.1 Emission af uforbrændte organiske forbindelser, målt som kulstof (TOC)

Tabel 3.14 Østrigske emissionsgrænser for uforbrændte organiske forbindelser, målt som kulstof (TOC)

Anlægsstørrelse indfyret effekt	Emissionsgrænse mg/m ³
> 0,1 MW	61

3.2.1.2 Emission af tungmetaller

For resttræ behandlet med tungmetalholdigt lak eller maling, anvendes emissionsgrænserne i § 18 Abs. 2 Z 3, Ref. 17, som gælder for affaldsforbrændingsanlæg. Dette formodes at blive ændret ved implementering af EU Direktivet om forbrænding af affald.

Tabel 3.15 Østrigske Emissionsgrænser for tungmetaller fra affaldsforbrændingsanlæg (§ 18 Abs. 2 Z 3)

	Små anlæg < 750 kg/h	Mellemstore anlæg 750 til 15.000 kg/h	Store anlæg > 15.000 kg/h
	Emissionsgrænse i mg/m ³ (n,t) ved 11% O ₂		
Hg, Zn, Cr	6	3,6	2,4
As, Co, Ni	1,2	0,9	0,6
Cd	0,1	0,06	0,06
Hg	0,1	0,1	0,06

(4) For anlæg med en indfyret effekt på mere end 10 MW, som anvender brændsel der indeholder stoffer der kan medføre dannelse af dioxiner og furaner (§18 Abs.4), gælder en emissionsgrænseværdi på 0,1 ng I-TEQ/m³.

3.3 Holland

Regler for luftemissioner findes i NeR, Ref. 18.

F7 anlæg til forbrænding af ikke kontamineret træ og trærester. Denne regulering gælder kun for forbrænding af træ i anlæg med en termisk effekt på op til 5 MW.

Ved ikke kontamineret træ forstås stykker af træ (savsmuld, høvlspåner, flis, trærester, pladematerialer, etc.) som ikke indeholder nogen komponenter (maling, laminerings materialer, træbeskyttelsesmidler, etc.) som indeholder stoffer, som ved forbrænding kan give anledning til forhøjede emissioner af stoffer, der er skadelige for miljøet. Reglerne kan ikke anvendes for anlæg der forbrændes træaffald, som beskrevet i Miljøbeskyttelsesloven (f.eks. træ fra nedrivninger, trærester indsamlet på regional basis, etc.)

De Hollandske emissionsgrænseværdier gælder ved en referenceiltprocent på 11%, men de er alle omregnet til den danske reference på 10 % O₂.

Tabel 3.16 Hollandske emissionsgrænser

Anlægsstørrelse, indfyret effekt	< 0,5 MW	0,5 til 1,5 MW	1,5 til 5,0 MW
Emissionsgrænseværdi	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
Partikler	110	55	28

Anlægsstørrelse, indfyret effekt	< 0,5 MW	0,5 til 1,5 MW	1,5 til 5,0 MW
CO			275
VOC (regnet som total-C)			55
NO _x ved mindst 80-90% plader			440 ¹⁾

1) Gælder kun for anlæg > 2,5 MW.

NeR giver en række anvisninger for hvordan emissionsgrænseværdierne kan overholdes, ved valg af teknologi og sikring af optimal drift af anlægget.

Standard for partikelemission

En emission på mindre end 110 mg/m³ kan opnås ved optimal design af forbrændingskammeret, sammen med et multicyklonanlæg designet til at overholde grænseværdien.

Emissioner på mindre end 55 og 28 mg/m³ kan opnås ved optimal design af forbrændingskammeret sammen med et elektrofilter med et sektion.

CO, VOC og PAH:

Emissionen af CO, VOC og PAH skal begrænses ved at sikre en god og effektiv forbrænding. Anlæggets kapacitet skal være tilpasset det varmekonsum der skal dækkes. Alle producentens og installatørens anbefalinger til sikring af god og effektiv forbrænding skal medtages i tilladelsen til drift af anlægget. I det omfang det ikke er i modstrid med specifikke driftsinstruktioner, skal følgende forhold også medtages i tilladelsen:

- Der skal foreligge en godkendt vedligeholdelsesplan for anlægget, fx i form af en vedligeholdelses eller tilsynsaftale med producenten eller installatøren, eller et uafhængigt firma der er autoriseret til at udføre den slags arbejde.
- Driften af anlægget skal nøje følge designværdier og instruktioner, med hensyn til indfyret mængde træ, træets fugtindhold, luftoverskud osv.
- Fin regulering af automatiske systemer til styring og kontrol af forbrændingsforholdene i overensstemmelse med driftsinstruktionen, hvis de forefindes.
- Forbrændingsluftmængden skal tilpasses brændselsmængden, når driften er mindre end fuld belastning.

PAH emission:

Når forbrændingsforholdene er i orden og emissionsgrænseværdierne for CO og VOC overholdes, er yderligere tiltag for at begrænse PAH emissionen ikke nødvendige. Ligeledes vil der normalt heller ikke være behov for tiltag til at reducere lugtemissionen.

NO_x:

Der er ingen tvungen krav til NO_x, med mindre anlægget er større end 2,5 MW, og der anvendes træ der indeholder mere end 80-90 % plademateriale (spån-, MDF- eller fiberplader med stort limindhold). Dette kan kontrolleres ved målinger på brændslet (målemetode angives ikke, men det formodes at være måling af kvælstofindholdet).

Emissionskontrol:

- For anlæg mindre end 1,5 MW anbefales en støvmåling efter installation af anlægget, til verifikation af at grænseværdien overholdes.

- For anlæg mellem 1,5 og 5 MW anbefales måling af støv, CO og VOC efter installation af anlægget til verifikation af at grænseværdierne overholdes.

Driftsvilkår:

Vedligeholdelsesplanen skal indeholde både inspektion, som kan verificere at der er en god og effektiv forbrænding og eftersyn af at anlæg til reduktion af støvemissionen fungerer rigtigt. Resultaterne af disse eftersyn skal dokumenteres i servicereporter, og kopier skal sendes til myndighederne.

3.4 Sverige

Fra: Björn Ejner, Naturvårdsverket, Ref. 19. er modtaget nedenstående, som er oversat til dansk:

Vi har i Sverige ikke nogen præcise krav til forbrænding af "letter forurenede træaffald". I nogle tilfælde blandes forskellige træaffaldsfraktioner sammen med "normalt brændsel" i forskellige fjernvarmeverker. Ved miljøvurderingen laves en vurdering om der behøves specielle krav på grund af sådan indblanding. Normalt bedømmes der ikke at være nogen større problemer på anlæg med gode forbrændingsforhold (temperatur etc.) og avanceret partikelrensning. Det forekommer dog også at "fabrikationsspild" ved mindre industrier forbrændes i egen mindre kedel. Også her foretages miljøvurdering, men her er usikkerheden større, om forbrændingsforholdene altid er gode. Dette område er svært, ikke mindst nu, i forhold til tolkningen om hvorvidt disse affaldstyper er omfattet af det nye affaldsforbrændingsdirektiv. Vi ved ikke hvor meget arbejde vi fremover kommer til at gøre på dette område. Foreløbigt har vi ikke meget information at hjælpe med. Jeg tror at Danmark hidtil har gjort mere end Sverige på dette område.

Sverige har ingen generelle forskrifter eller bindende regler for emissionen fra fyringsanlæg. Normale krav til anlæg på mere end omkring 10 MW fyret med træ, som kan være blandet med "returtræ" er:

Støv: 20 – 50 mg/m³. Posefilter eller elektrofilter nødvendig. Normalt kræves AMS måling.

CO: 500 mg/m³ som timemiddelværdi og 250 mg/m³ som døgnmiddelværdi. Mange anlæg her ikke CO krav, men det er i de senere år blevet almindeligt med disse kravværdier. Nogen har lavere grænseværdier og krav om AMS.

NO_x: 60 – 80 mg/MJ svarende til ca. 200 mg/m³. Forbrændingstekniske tiltag eller rensning normalt nødvendig. Normalt kræves AMS.

Normalt stilles der ikke krav til processtyring, temperatur og opholdstid osv.

3.5 Danmark

Alle grænseværdier er ved 10% O₂.

Der er ingen krav og grænser til anlæg på mindre end 120 kW.

For anlæg der anvender træ der opfylder biomassebekendtgørelsens definitioner, bl.a. med krav om et limindhold på mindre end 1 %, gælder grænseværdierne i Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Emissionsgrænseværdier for træfyrede anlæg

	120 kW til <1 MW	1 MW til <5 MW	5 MW til < 50 MW
Støv	300	40 ¹⁾	40 ¹⁾
CO	500	625	625
NO _x	-	-	300 ²⁾

¹⁾ Støvemissionsgrænseværdien kan ved anvendelse af f.eks. kondenserende anlæg lempes til 100 mg/m³(n,t).

²⁾ For fyring med flis med højt barkindhold og stor nåleandel kan emissionsgrænseværdien hæves til 400 mg/normal m³.

I august 1998 har Miljøstyrelsen, på foranledning af en forespørgsel fra Århus Amt og Rosenholm Kommune, fortolket biomassebekendtgørelsen og andre bekendtgørelser således, at træ med mere end 1 % lim er at betragte som affald, som skal brændes i anlæg der er godkendt som affaldsforbrændingsanlæg, hvilket siden har været bredt praktiseret i amter og kommuner.

De mest relevante grænseværdier for affaldsforbrændingsanlæg, som også kan sammenlignes med andre landes grænseværdier for træ og træaffald er anført i Tabel 3.18.

Tabel 3.18 Emissionsgrænseværdier for (små) affaldsforbrændingsanlæg

	Nuværende bekendtgørelse ¹⁾	Ny bekendtgørelse efter EU direktiv ²⁾	
Støv	40	10	
CO	100	100	
NO _x	Ingen krav	400	
TOC, målt som total-C	20	20	

¹⁾ Bekendtgørelse om affaldsforbrændingsanlæg. Nr. 41 af 14. januar 1998

²⁾ Direktiv 2000/76/EF af 4. december 2000 om forbrænding af affald

Miljøstyrelsens anbefalede krav og emissionskontrolregler for fyringsanlæg til træ i luftvejledningen, nr. 2/2001, er anført i Tabel 3.19.

Tabel 3.19 Kontrol, måling og regulering

	120 kW til <1 MW	1 MW til <5 MW	5 MW til < 30 MW	30 MW til < 50 MW
Støv	Ingen krav	Præstationskontrol	AMS	AMS
CO	Ingen krav	Præstationskontrol	AMS	AMS
NO _x	Ingen krav	Præstationskontrol	Præstationskontrol	AMS
O ₂ -måling og -regulering	Ingen krav	X	X	X

4 Nyere emissionsmålinger

Der er samlet en række emissionsmålinger fra danske anlæg der fyres med trærester. Materialet er ikke særlig veldokumenteret. Det er vanskeligt at fremskaffe måleresultater, fordi der ikke findes så mange målinger, for det er de færreste virksomheder der har krav i deres miljøgodkendelse om dokumentationsmålinger på fyringsanlægget. Derudover er der forskel på hvilke parametre der er målt i de forskellige målerapporter. Måling af støv og CO er udbredt og i mindre grad måles NO_x. Måling af TOC og PAH er ikke almindeligt, men der er dog fundet to målinger af PAH.

4.1 Støv, CO og NO_x

Målerapporterne har sjældent nogen ordentlig angivelse af hvilket brændsel der er anvendt. At der er fyret med flis giver ikke nogen særlig god beskrivelse af brændslet, set i forhold til dette projekts definition af brændslet og formål med undersøgelsen. Målingerne og beskrivelserne i kapitel 4, viser dog tydeligt, at brændslets sammensætning og indhold af lim mm. har meget lille betydning for emissionerne af støv og CO, men i nogen grad for NO_x. Det er brændkammerets udformning og drift der bestemmer forbrændingens kvalitet og dermed dannelsen og emissionen af forureningskomponenter.

Tabel 4.1 Emissionsmålinger på anlæg fyret med rent træ eller lettere forurenede resttræ.

Anlæg	Kedel MW	Støv mg/m ³	CO mg/m ³	NO _x mg/m ³	Aktuel O ₂ %	Brændsel
1		61	25	187		Flis
2	1	112	81	290	9,6	Pladerester
3	6,3	0,3	90	256	8,8	Spånpladeflis
4	0,88	94	96	850		
5	2	191	97	1059		Spåner
6	0,8	100	108	88		Papirgranulat
7	0,99	69	134	514		
8		329	142	307	9,9	Bark
9	1	193	200	450		Pladerester
10	6,3	0,4	230	159	10,7	Rent træ
11	0,33	45	253	576		
12	1	29	269	130	9,6	Flis fra møbelfabrik, 7,5 % fugt
13		189	302	226		Halm
14		0,06	308	170		
15		111	387	201	10,1	Bark
16	1,46		424	22		Savsmuld
17	0,99	69	425	456		
18	2,5	214	440		7,3	
19		0,06	500			
20			500	280	6,3	

	Kedel	Støv	CO	NO _x	Aktuel	
Anlæg	MW	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	O ₂ %	Brændsel
21	1,15		585	18		Savsmuld
22	0,5	126	600	133	9,5	Savsmuld, slibestøv, briketter
23	0,5	126	738	101	9,9	Savsmuld, slibestøv, briketter
24	1,46		760	95		Savsmuld
25	1,15		2040	35		Savsmuld
26		308				MDF- og spånpladerester
27	?			200	7,5	Halm og lidt flis
Gns.:		113	389	283		

Målingerne giver et meget broget billede af emissionerne med enkelte meget høje værdier for CO og NO_x (markerede felter). De høje CO værdier er sandsynlig forårsaget af dårlige forbrændingsforhold. Målingerne 16, 21, 24 og 25 er 4 kedler, der brænder det samme brændsel. CO er relativt høje for alle kedler, men 7c og specielt 7d er meget høje, hvilket med rimelighed kan antages at skyldes anlægsbetingede forhold.

De høje NO_x målinger kan skyldes, at der anvendes limholdigt brændsel, og måske også en kombination af løvtræ og limholdigt brændsel, fx MDF plader fremstillet af løvtræ. Flere målinger viser dog tydeligt, at selvom der brændes spånpladeflis eller pladerester, så er NO_x emissionen ikke nødvendigvis markant højere end ved forbrænding af rent træ.

4.2 Dioxin og PAH

Målingerne 10 og 3 er foretaget på et 6,3 MW anlæg på Mariager Fjernvarmeverk i 2000, i forbindelse med målinger til miljøstyrelsens miljøprojekt, Måling af dioxinmissionen fra udvalgte sekundære kilder, Miljøprojekt nr. 649/2001, Ref. 5. Anlægget har en god forbrænding med kontinuert måling af O₂ og CO, med automatisk styring af brændsels- og lufttilførsel. Her blev der udført et måleprogram for dioxin ved anvendelse af rent træ og ved anvendelse af spånpladeflis. Samtidigt blev der målt PAH på to prøver.

Tabel 4.2 Dioxin og PAH fra 6,3 MW fjernvarmeanlæg

	Dioxin pg I-TEQ/m ³ (n,t,10%O ₂)	PAH ng B[a]P-ækv/m ³ (n,t,10%O ₂)
Rent træ	2,3	2,6
Spånplade	2,5	2,1

Som det ses, så er der ingen forskel på dioxinmissionen ved fyring med rent træ eller spånpladeflis. Værdierne er også meget lave i forhold til grænseværdien på 100 pg I-TEQ/m³(n,t,10%O₂), og de er yderligere på niveau med andre målinger på store biomassefyrede anlæg. Der foreligger desværre ikke oplysninger om den anvendte hærder i spånpladeflisen, men da emissionen ikke afviger fra rent træ, antages det at være en type, der ikke indeholder ammoniumklorid.

Flere målinger i Ref. 10, Ref. 11, Ref. 12 og Ref. 13 dokumenterer, at dioxinemissionen er væsentligt højere (5 – 10 gange), ved forbrænding af spånplade med ammoniumklorid som hærdere, end for spånplader med ammoniumsulfat som hærdere, i samme fyringsanlæg.

I Ref. 11, side 338, er der refereret en undersøgelse med tre forsøg med forbrænding af spånpladerester i det samme fyr, med et stigende mængde spånplade produceret med ammoniumklorid som hærdere. Kloridindholdet steg fra 90 mg/kg til 920 mg/kg, og emissionen af dioxin steg fra 0,06 til 0,57 ng I-TEQ/m³(n,t).

Tilsvarende er forøgelsen af emissionen af dioxin endnu større ved forbrænding af træ med PVC i forhold til forbrænding af rent træ. Det skal dog bemærkes, at typen af fyringsanlægget og dermed forbrændingens kvalitet er mest betydende for det aktuelle niveau for dioxinemissionen.

PAH emissionerne er meget lave i forhold til emissionsgrænseværdien på 5.000 ng B[a]P-ækv/m³(n,t,10%O₂). Målingerne er på niveau med B-værdien for PAH, som er 2,5 ng B[a]P-ækv/m³

Samlet viser disse målinger, at ved en god forbrænding er der ikke forskel på emissionen af dioxin og PAH ved fyring med spånpladeflis i forhold til fyring med rent træ. Emissionerne er desuden meget lave og langt under emissionsgrænseværdierne.

I Miljøprojektet indgår også målinger på en manuelt fyret brændeovn fyret med rent træ, et lille stokerfyret træpillefyr.

Tabel 4.3 Emissionsfaktorer for dioxin for birkebrænde i 5 kW brændeovn

Måling	Emissionsfaktor ng I-TEQ/ton træ			Koncentration ng I-TEQ/m ³ (n,t,10%O ₂)	CO	O ₂ ¹	Røggas temperatur
	Prøve A	Prøve B	Gennemsnit	Gennemsnit	Vol%, tør	%	°C
Normal fyring	5.300	4.900	5.100	0,76	0,23	13,8	264
Nat fyring	600	610	610	0,09	1	15,5	112

¹ Målt i fortyndingskanalen

Tabel 4.4 Emissionsfaktorer for dioxin for ovntørret bøg i 5 kW brændeovn

Måling	Emissionsfaktor ng I-TEQ/ton træ			Koncentration ng I-TEQ/m ³ (n,t,10%O ₂)	CO	O ₂ ¹	Røggas temperatur
	Prøve A	Prøve B	Gennemsnit	Gennemsnit	Vol%, tør	%	°C
Normal fyring	1.700	2.100	1.900	0,28	0,65	13,9	248
Nat fyring	720	560	640	0,10	1,29	14,1	124

¹ Målt i fortyndingskanalen

Tabel 4.5 Emissionsfaktorer for dioxin for træpiller i 19 kW stokerfyr

Måling	Emissionsfaktor ng I-TEQ/ton træpiller			Koncentration ng I-TEQ/m ³ (n,t,10%O ₂)	CO	CO ₂	Røggas temperatur
	Prøve A	Prøve B	Gennemsnit	Gennemsnit	ppm	%	°C
100 % last	500	560	530	0,066	300	15,8	128
26 % last	220	200	210	0,026	950	10,1	51

Der findes således meget højere dioxinmissioner fra anlæg med dårligere forbrændingsforhold, dvs. manuel og batch indfyring og manuel indstilling af luftoverskud. De dårligere forbrændingsforhold giver sig også tydeligt udslag i højere CO værdier.

5 Eksisterende emissionsbegrænsende foranstaltninger

Som supplement til kortlægningen af de eksisterende fyringsanlæg, der fyrer med lettere forurenede resttræ, har vi bedt de kontaktede virksomheder oplyse om deres nuværende emissionsbegrænsende foranstaltninger og eventuelt bidrage med aktuelle emissionsdata, hvis de på et tidspunkt har fået foretaget emissionsmålinger.

De hyppigst installerede emissionsbegrænsende foranstaltninger er multicyklon og posefilter.

5.1 Multicyklon

En cyklon anvender centrifugalkraften til at slynge partiklerne ud til siden, således at den rensede røggas kan udledes fra cyklonens centrale rør. Princippet kan sammenlignes med en centrifuge, hvor vandet slynges ud af tøjet. I en cyklon er det afkastluften, der roterer. For at udnytte centrifugalkraften skal diameteren være så lille som mulig og indløbshastigheden så stor som mulig. Derfor anvendes overvejende multicykloner, som er et batteri af mange små cykloner.

Vores kortlægning viser, at på 78 % af fyringsanlæggene er der installeret multicyklon til rensning af røggassen.

5.2 Posefilter

Et posefilter er den mest almindelige teknik, når man taler om filtrerende udskillere. Princippet ved filtrerende udskillere er, at røggassen suges eller trykkes gennem en dug af naturligt eller syntetisk tekstil, hvorpå og hvori støvpartiklerne afsættes. Filtreringsmekanismen er en kombination af egentlig si-virkning, indfangning, diffusion og elektrostatisk tiltrækning. Filterelementet er som hovedregel poseformet, hvilket har givet anledning til navnet.

På omkring hvert tiende anlæg (11 %) er der installeret posefilter som supplerende rensning efter en multicyklon. Dette gælder udelukkende forholdsvis nye kedelanlæg, etableret i slutningen af 1990'erne og senere.

5.3 Ingen rensning

Endelig har vores kortlægning vist, at omkring hvert tiende anlæg (11 %) ikke har installeret nogen form for rensning og leder røggassen urensset til det eksterne miljø. Det er overvejende mindre anlæg af ældre dato, hvor der ikke foretages nogen rensning af røggassen.

Leverandørerne af kedelanlæg bekræfter, at tidligere blev stort set alle fyringsanlæg udelukkende udstyret med cyklon eller multicyklon til rensning af røg-

gassen. I dag vil rensningen af røggassen overvejende foregå med multicyklon efterfulgt af posefilter.

5.4 Emissionsmålinger på eksisterende fyringsanlæg

Vores kortlægning viser endvidere, at på 56 % af anlæggene er der foretaget emissionsmålinger i forbindelse med opstart af anlæggene. Dette gælder både ældre og nyere anlæg. Omkring hver fjerde anlæg (26 %) er senere blevet bedt om at dokumentere sine emissionsforhold ved målinger.

10 af anlæggene har bidraget med oplysninger om aktuelle emissionsforhold. Virksomhederne har givet oplysninger om emissionsforhold ved vidt forskellige referencetilstande.

Vi har omregnet alle oplyste emissioner til referencetilstanden [$\text{mg/m}^3(\text{n,t})$ ved 10 % O_2].

5.4.1 Emissionsforhold ved rensning i multicyklon

Efter omregning viser vores kortlægning, at aktuelle emissioner efter rensning i multicyklon ligger på niveauerne:

Partikler (støv):	60 - 270 $\text{mg/m}^3(\text{n,t})$ ved 10 % O_2
NO_x :	600 - 1.200 $\text{mg/m}^3(\text{n,t})$ ved 10 % O_2
CO:	100 - 450 $\text{mg/m}^3(\text{n,t})$ ved 10 % O_2

5.4.2 Emissionsforhold ved rensning i både multicyklon og posefilter

efter omregning viser vores kortlægning, at aktuelle emissioner efter rensning i både multicyklon og posefilter ligger på niveauet:

Partikler (støv):	< 10 $\text{mg/m}^3(\text{n,t})$ ved 10 % O_2
NO_x :	800 $\text{mg/m}^3(\text{n,t})$ ved 10 % O_2
CO:	300 - 500 $\text{mg/m}^3(\text{n,t})$ ved 10 % O_2

Emissionsniveauet af stofferne CO og NO_x reduceres som forventet ikke yderligere ved rensning i posefilter. Det er udelukkende partikelemissionen, der reduceres yderligere ved supplerende rensning i posefilter.

6 Muligheder for bedre emissionsbegrænsende foranstaltninger

Emissionsbegrænsende foranstaltninger kan principielt ske på to måde - enten ved rensningsforanstaltninger - eller ved bedre forbrændingsbetingelser, så der dannes og emitteres mindre mængder forurenende stoffer. En kombination giver selvfølgelig det mest optimale resultat.

Det er generelt meget begrænset, hvilke muligheder for rensningsforanstaltninger, der er økonomisk realistiske at etablere på de generelt små fyringsanlæg, der findes i træindustrien. Ifølge undersøgelsen i kapitel 2 er kun 11 % af fyringsanlæggene større end 2 MW. I dette kapitel fokuseres der derfor meget på muligheder for at forbedre forbrændingsforholdene, idet der vurderes at være et stort potentiale for forbedringer, specielt på eksisterende og lidt ældre anlæg.

I dette kapitel gennemgås derfor:

- Forbedringer i nye anlæg i de sidste årtier
- Muligheder for bedre rensningsforanstaltninger
- Muligheder for emissionsbegrænsning ved bedre forbrænding

6.1 Forbedringer i nye anlæg i de sidste årtier

I den gennemførte spørgeskemaundersøgelse blandt kedelleverandører, har de alle oplyst, at tidligere, dvs. op til omkring 1990, var det normalt med multicyclonanlæg til partikelrensning, on/off styring af brændselsindfødningen, og manuelt indreguleret forbrændingsluftmængde. Denne type anlæg fungerer bedst med den bedste forbrænding og laveste emission ved maksimal belastning, hvor anlægget er indreguleret. Ved lavere last er forbrændingen ofte markant dårligere på grund af den manglende styring af forbrændingsforholdene.

I dag tilbyder leverandørerne almindeligvis som standard:

- multicykloner på anlæg mindre end 1 MW
- posefilter for anlæg større end 1 MW.
- iltmåling og styring af forbrændingsluften, så konstant ilt-koncentration kan opretholdes.
- trinløs styring af indfødning efter varmekonsum
- CO måling på lidt større anlæg

Nye anlæg kan derved afhængigt af brændsel og den valgte styring reguleres fra 30 til 100% last og alligevel opretholde gode forbrændingsforhold i hele lastområdet.

Det skal tilføjes, at det er kunden, der i sidste ende bestemmer graden af udstyr på den leverede kedel, og at virksomheden kan spare penge ved at undlade at følge leverandørens anbefalinger.

Nye anlæg vurderes generelt at kunne overholde de foreslåede grænseværdier med den eksisterende teknologi, der tilbydes og anvendes.

6.2 Rensningsforanstaltninger

6.2.1 Partikelrensning

Partikelrensning er tidligere næsten altid sket med multicyklon anlæg, men i de senere år er posefiltre blevet standarden også på små anlæg ned til 1 MW for at emissionsgrænsen på 40 mg/m³ kan overholdes. Posefiltre er normalt meget effektive, og meget lave emissionsværdier kan opnås - normalt mindre end 10 mg/m³ og ofte også mindre end 1 mg/m³.

Posefiltre er væsentligt dyrere end multicykloner, både investeringsmæssigt og driftsmæssigt, idet poserne skal skiftes med nogle års mellemrum. Der er også risiko for at gløder fra forbrændingen antænder poserne, så de skal udskiftes i utide. Derfor bibeholdes normalt en multicyklon for at hindre, at gløder når frem til poserne. Der er også et større elforbrug til at overvinde det tryktab, som posefilteret forårsager.

I runde tal koster et 1 MW fyringsanlæg til træ med en lille silo og en multicyklon omkring 1 mio. kr. Prisen er nærmere 1,5 mio. kr., hvis anlægget leveres med posefilter. Posefiltre fordyrer således anlægsudgiften med ca. 50 %.

Et elektrofilter (el-filter) er et godt alternativ til et posefilter, da det er effektivt på emissioner fra forbrænding af biobrændsler, idet udskilningen af partikler fungerer bedre jo mere fugtig røggassen og partiklerne er. El-filtre har generelt en lidt dårligere udskilningseffektivitet end posefiltre.

El-filtre har driftsomkostninger til strømforbrug til elektroderne, mens tryktabet er minimalt. Etableringsomkostningerne for el-filtre er dog væsentligt større end for posefiltre på mindre anlæg, hvilket formentlig er hovedårsagen til den ringe udbredelse.

Med hensyn til partikelrensning vurderes den eksisterende teknologi at være den optimale i forhold til de opstillede emissionsgrænseværdier. For anlæg mindre end 1 MW er teknologien tilstede, således at anlæggene vil kunne overholde den lavere grænseværdi, der gælder for anlæg større end 1 MW. Men omkostningerne til rensningen vil derved komme til at udgøre omkring halvdelen af anlægsudgiften.

6.2.2 NO_x rensning

De gængse teknologier til NO_x-fjernelse på forbrændings- og fyringsanlæg er:

- Røggastilbageføring
- SCR
- SNCR
- Reburning

6.2.2.1 Røggastilbageføring

Ved røggastilbageføring recirkuleres en del af røggassen efter kedlen tilbage til brændkammeret.

På træfyrede kedler bliver effekten størst, når røggassen føres tilbage til primærluften, da NO_x 'en hovedsageligt dannes ved forbrænding af organisk bundet kvælstof i træet og limen. NO_x emissionen kan reduceres i størrelsesordenen op mod 50 % med røggastilbageføring. Indreguleringen af systemet skal ske ved hjælp af kontinuerede målinger af NO_x .

Systemet er relativt nemt og billigt at installere på nye anlæg. Dele af røggas-systemet skal dimensioneres til en større røggasmængde, der skal lidt ekstra røggaskanal, et par automatspjæld og en lille blæser. Merprisen for dette er ikke undersøgt nærmere, da det ikke er med i kedelleverandørerne standardprogram til det danske marked. En leverandør indikere en merpris i størrelsen 5 til 20 % af anlægsudgiften, afhængigt af kedlens størrelse og bestykning.

6.2.2.2 SCR

SCR er Selective Catalytic Reduction, hvor der indblæses ammoniak i røggassen ved 200-400 °C umiddelbart før en katalysator. Herved reduceres NO til N_2 gas. Virkningsgraden er typisk 80-90 %. Ulempen ved SCR er de relativt høje omkostninger til installation og drift (udskiftning af katalysator). Katalysatorerne har desuden vist sig at være følsomme overfor "forgiftning" med bl.a. alkalimetall som forekommer ved forbrænding af især biobrændsler. Derfor bør der være enten et effektivt filter eller en vådvasker og genopvarmning af røggassen før katalysatoren, hvilket gør det urealistisk at anvende denne teknologi på mindre fyringsanlæg.

6.2.2.3 SNCR

SNCR er Selective Non Catalytic Reduction med typisk ammoniak eller urea (amin-baseret reagent), som indblæses i røggassen ved 900-1100 °C. Virkningsgraden er betydeligt lavere, omkring 50 %, afhængig af temperaturforhold i kedlen og opblandingsforhold. NO-reduktionen er karakteristisk ved at foregå i et relativt snævert temperatur-"vindue", og dette begrænser den i praksis opnåelige virkningsgrad. Til gengæld er omkostningerne til installation og drift betydeligt lavere end for SCR, typisk en faktor 10, afhængig af anlægsstørrelse og ønsket NO_x -reduktion. På grund af restindhold af ammoniak efter katalysatoren, bør der også være en vådvasker, som kan opfange dette.

SNCR er ikke en anvendelig teknologi for mindre træfyrede anlæg, primært fordi temperaturforholdene ofte ikke kan opnås, da det kræver en god styring for at reduktionen kan ske i det snævre temperaturinterval. Men også restindholdet af ammoniak skal fjernes i en vådvasker.

6.2.2.4 Reburning

Ved reburning indblæses metan eller andre kulbrinter. Tilførsel af disse ved et passende temperaturniveau skaber en reducerende zone. Fordele og ulemper ved reburning er meget lig SNCR.

6.2.2.5 Konklusion

Den eneste realistiske rensningsmetode for NO_x på mindre træfyrede anlæg er derfor røggastilbageføring. På eksisterende anlæg vil det normalt være urealistisk at etablere røggastilbageføring, idet anlægget skal være dimensioneret til den større røggasmængde, der kommer i recirkulationskredsen. Ofte vil der heller ikke være plads til indbygning af de ekstra røggaskanaler.

Mindre fyringsanlæg til træ med røggastilbageføring er kommercielt tilgængelige i andre lande, specielt i Tyskland.

6.3 Grundprincipper for forbrænding af træ

For at opretholde en god forbrænding af træ er der visse grundlæggende forhold der skal være opfyldt.

- Der skal sikres en høj opblanding af brændslet og ilt (luft) i et bestemt forhold.
- Der skal være en stråling af varme fra det antændte brændsel til det indkommende brændsel, for at forbrændingen kan forløbe

Forbrændingskvaliteten af det anvendte træbrændsel og de resulterende emissioner er afhængige af:

- Træsarten
- Træets vandindhold
- Partikelstørrelse og størrelsesfordeling
- Brændkammerets udformning og princip
- Luftoverskud
- Lufttilførsel og opblanding
- Forgasningsforhold
- Indhold af lim, overfladebelægninger mv.

Forbrændingens kvalitet er stærkt afhængig af belastningen på brændkammeret. Hvis brændkammeret er for lille, så anlægget ofte overbelastes med gasser fra en voldsom pyrolyse og forgasning det ekstremt tørre træ, formindskes udbrændingseffektiviteten, og emissionerne stiger.

6.4 Emissioner

Ved forbrænding af træ og lettere forurenede trærester, vil der blandt andet dannes og emitteres følgende stoffer:

Partikulært:	Aske Uforbrændte træpartikler Tjærestoffer (aerosoler) Sod
Gasser:	CO Organiske forbindelser (total C) NO _x HCl SO ₂

Polycykliske aromatiske hydrocarboner (PAH) emitteres bundet til partikler.

Dioxiner og Furaner (PCDD/PCDF) vil også forekomme bundet til partikler. Afhængigt af det aktuelle brændsel, styringen af forbrændingen og anlæggets aktuelle røggasrensningssystem, vil de nævnte forureningskomponenter dannes og emitteres i varierende omfang.

6.4.1 Partikulær emission

Jo dårligere forbrændingen er, jo mere tjære, sod og uforbrændte træpartikler bliver der dannet. For høj primærluftmængde gennem brændselslaget kan forårsage medrivning af mindre partikler.

6.4.2 Betydningen af brændslets kemiske sammensætning

Test med forbrænding af forskellige typer træ har vist, at disse forskelligheder i træ, har forsvindende betydning for forbrændingen i forvarmede og lukkede forbrændingskamre. Andre faktorer som luftoverskud, princip for lufttilførsel, brændselsindfødningsmetode, samt træets fugtindhold og størrelse er meget vigtigere. Reproducerbare forskelle er kun fundet for NO_x emissionen.

6.4.3 Fugtighedens betydning

Vandindholdet reducerer brændslets brændværdi, idet en del af varmen skal anvendes til at fordampe vandet. Våd træ har en lille brændværdi, og forbrændingskammeret skal isoleres med ildfaste og varmeisolerende sten. Forbrændingskammeret vil derfor normalt være designet til at brænde træ i et bestemt fugtighedsinterval.

Hvis forbrændingskammeret er beregnet til vådt træ, og der benyttes tørt træ, kan forbrændingstemperaturen blive så høj, at der dannes betydelige mængder termisk NO_x . Benyttes derimod vådt træ i et forbrændingskammer, der er beregnet til tørt træ, og derfor kun har lidt eller ingen udmuring med ildfaste sten, kan forbrændingstemperaturen være alt for lav, så forbrændingen ikke forløber ordentligt, med udslip af store mængder CO, PAH og uforbrændte kulbrinter.

Det er derfor yderst vigtigt, at forbrændingskammeret er indrettet til at brænde den type træ, med det fugtindhold, der anvendes.

6.4.4 Brændslets kornstørrelse

Jo større brændselspartiklerne er, jo længere tid tager forbrændingsprocessen for hver enkelt partikel. Små partikler, fx savsmuld brænder hurtigt, idet de små partikler hurtigt tørrer, forgasser og brænder, så der opnås en høj forbrændingsintensitet.

En brændeknude brænder derimod langsomt, og der går meget lang tid før den er udbrændt. Den tørrer hurtigt på overfladen, men varmen er lang tid om at trænge helt ind til midten af brændeknuden.

Det er derfor vigtigt, at det anvendte brændsel er nogenlunde homogent, og at det ikke indeholder meget store stykker træ, som er længe om at brænde. Brændslet må heller ikke blive for fint, med for meget fint savsmuld og pudsestøv, da det kan blokere for en jævn fordeling af primærluften op gennem risten, og give zoner med ilt-underskud, som kan medføre forøgede emissioner af CO, PAH og kulbrinter.

Det bedste er en blanding af fine og grovere partikler, som giver struktur, således at primærluften nemt kan passere jævnt igennem brændselslaget.

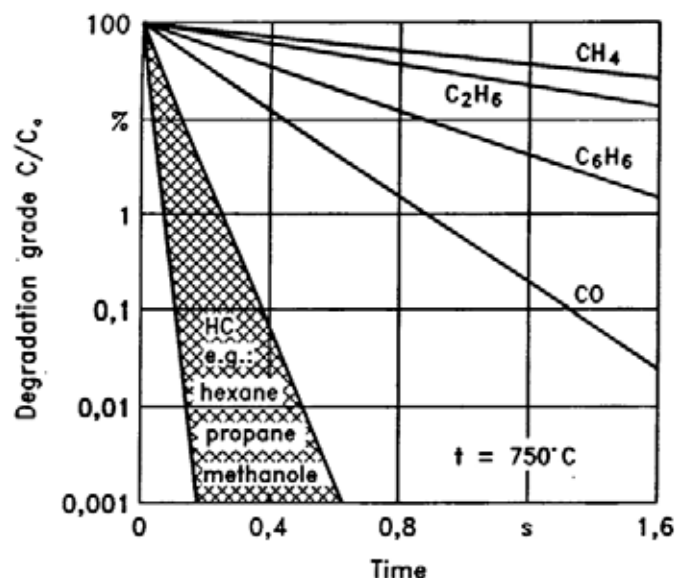
Samlet er det vigtigste, at anlægget er egnet til at forbrænde brændsel med den kornstørrelsesfordeling, der er i det anvendte brændsel, og at brændslet er homogent, således at der ikke forekommer store udsving i kornstørrelsesfordelingen.

For at sikre stabile og gode forbrændingsforhold skal fyringsanlæggets indfødningsystem, brændkammer og kedel først og fremmest være tilpasset brændslets egenskaber, men det er også meget vigtigt, at kedeldydelser er tilpasset virksomhedens varmebehov. Fyringsanlæggets optimale driftspunkt i forhold til emissionerne bør svare til det varmeforbrug virksomheden har i hovedparten af årets driftstimer. I principper er det også ved denne belastning af anlægget at eventuelle emissionsmålinger bør udføres.

Fyringsanlæg med meget stort reguleringsområde kan have relativt dårlige forbrændingsforhold i det lav lastområde. Dette skyldes den lavere lufthastighed og mindre belastning af brændkammeret.

Opblandingen af forbrændingsluften kan sikres at være god ved lav last, enten ved at designe udformningen af tilsætningen af forbrændingsluften til den laveste lufthastighed, eller ved at nogle af kanalerne lukkes med automatspjæld.

Forbrændingens kvalitet er stærkt afhængig af belastningen på brændkammeret, dvs. størrelsen i forhold til mængden, der brændes per tidsenhed. Hvis brændkammeret er for lille, så anlægget ofte overbelastes med gasser fra en voldsom koksudbrænding af det ekstremt tørre træ, formindskes udbrændingseffektiviteten og emissionerne stiger, fordi opholdstiden bliver for kort til at alle pyrolysegasserne når at brænde. Modsat kan emissionerne også stige ved lav last, hvis temperaturen falder, så nogle af pyrolysegasserne ikke brændes så effektivt. Figur 1 viser sammenhængen mellem opholdstid og forbrændingseffektivitet ved 750 °C for nogle gasser.



Figur 1 sammenhængen mellem opholdstid og forbrændingseffektivitet ved 750 °C for udvalgte gasser

Det er således vigtigt, at der kan opretholdes en tilstrækkelig høj temperatur i forbrændingszonen i hele reguleringsområdet.

6.4.5 Luftoverskud og luftfordeling

Et givent brændsel kræver en vis mængde luft (ilt) for at forbrænde fuldstændigt, kaldet den støkiometriske luftmængde. I praksis vil forbrændingen altid ske med et luftoverskud, da det ikke er muligt at få en tilfredsstillende forbrænding med den støkiometriske luftmængde. For forbrænding af træ anbefaler Marutzky (Ref. 10), at mængden ikke overstige 150 % af den støkiometriske mængde, hvilket for træ svarer til ca. 7,5 % O₂. Det opnåelige luftoverskudstal afhænger i høj grad af fyringsteknologien. Store og gode forbrændingsanlæg med avanceret styring kan fungere med et meget lille luftoverskud, svarende til 3–5 % O₂, mens mindre anlæg med ringe styring behøver et større luftoverskud, svarende til omkring 10 % O₂ eller mere, for at få en bare nogenlunde forbrænding.

Det er meget vigtigt, at forbrændingsluften tilsættes på de steder (zoner), hvor der er behov for den. En dårlig luftfordeling kan give høje emissioner af CO, etc. og dårlig udbrænding, selv om den samlede luftmængde er korrekt.

6.4.6 Dioxiner

Tre forhold er meget væsentlig for dannelse og emission af dioxiner fra forbrænding af lettere forurenede trærester:

1. forbrændingsforholdene, idet dårlig forbrænding giver mere dioxin.
2. støvrensningens effektivitet, idet dioxinerne mest findes på de mindre partikler.
3. indholdet af klorid og visse metaller i brændslet, idet højere kloridindhold giver mere dioxin, ligesom visse metaller gør, specielt kobber, ved at katalyserer dannelsen af dioxin.

Der anbefalede krav om gode forbrændingsforhold, ved krav til CO emissionen samt iltmåling og -styring sikrer, at betingelserne er til en lav dioxinemission.

De anbefalede krav til partikelemissionen sikrer, at anlæg større end 1 MW har en partikelrensning, idet den mest udbredte partikelrensning er posefiltre, som også giver en god tilbageholdelse af de mindre partikler, hvortil dioxiner hovedsageligt er bundet.

Rent træ indeholder meget lave koncentrationer af klorid, mens der kan være betydeligt mere i lettere forurenede trærester, på grund af anvendelsen af ammoniumklorid som hærdere i limsystemer, specielt UF og MUF lime, der normalt anvendes i spån- og MDF plader, samt PCV i overfladebelægninger. Flere målinger viser en betydeligt højere dioxinemission ved forbrænding af denne type trærester end ved forbrænding af rent træ. Dette kan undgås, ved at undlade at bruge PVC-holdige overfladebelægninger og plader med ammoniumklorid som hærdere. Alternative hærdere, ammoniumsulfat og ammoniumnitrat, medfører dog lettere forhøjede emissioner af andre stoffer, som SO₂ og NO_x.

Emissionen af dioxiner kan reduceres ved rensning, typisk ved absorption på aktivt kul, som tilsættes røggassen før filteret, hvor det udskilles. Herved kan koncentrationen reduceres til væsentligt under 0,1 ng I-TEQ/m³. Rensning er dyr og anvendes sjældent på anlægsstørrelser op til få MW, der er mest ud-

bredt i træindustrien. Mindre anlæg, med høje dioxinmissioner som fx forbrændingsanlæg til hospitalsaffald har (eller bør have) dioxinrensning.

6.4.7 Styring af forbrændingen

Styringen af forbrændingen er indlysende af stor betydning for forbrændingens kvalitet og dermed emissionernes størrelse. Enhver ændring i driften, fx ved start eller stop af indfødning af brændsel eller et øget eller reduceret varmebehov, vil ændre driftspunktet og påvirke forbrændingens kvalitet, og dermed give anledning til forøgede emissioner. Forsøg med online målinger har vist, at selv relativt små ændringer i driften medfører markant øgede emissioner af fx CO og kulbrinter (bl.a. PAH), og effekten kunne måles i nogen tid efter påvirkningen (Ref. 9).

En god styring af anlægget, der dels sikrer gode og konstante forbrændingsforhold, og glidende overgange ved ændringer i varmekonsumet er meget vigtigt for at opnå de laveste emissioner.

Derfor anbefales det, at alle anlæg - både nye og eksisterende - skal/bør være forsynet med iltmåling og automatisk styring og regulering af forbrændingsluftmængden, så konstant O₂-koncentration i røggassen kan opretholdes. Desuden bør indfødningen af brændslet ske trinløst efter varmekonsumet på nye anlæg, og på eksisterende anlæg i den udstrækning, det er muligt at eftermontere. On/Off styring af indfødningen vil påvirke forbrændingens kvalitet mærkbart i negativ retning, men med iltmåling og styring bliver effekten mindre, og bør accepteres på eksisterende anlæg hvor trinløs regulering ikke er mulig.

6.5 Video-overvågning af forbrændingen

Erfaringerne med videoovervågning af forbrændingsprocessen i anlæg med bevægelig rist er meget positive og benyttes på næsten alle affaldsforbrændingsanlæg og på mindst to fjernvarmeværker. Placeres kameraet over risten, så synsfeltet dækker hele risten, vil driftspersonalet på en monitor i kontrolrummet tydeligt kunne se overfladen af brændselslaget og kunne afsløre mange "forbrændingsfejl", fx:

- Dårlig brændselsfordeling pga. ujævn indfødning eller transport på risten
- Dårlig primærluftfordeling, der giver ujævn forbrænding
- Lokale forskelle i brændselslagets tykkelse
- Tilbagebrænding
- Gløder i aske/slagge-faldet
- Ændringer i forbrændingsmønstret, når brændslets sammensætning eller struktur varierer

Koksforbrændingsfasen, som kun vanskeligt kan identificeres med det blotte øje, vil tydeligt kunne ses, og dens bevægelse frem og tilbage på risten vil kunne følges.

Benyttes et CCD-kamera, der er følsomt i det nær-infrarøde område (NIR), og et optisk filter, der fjerner synlig lys, vil kameraet kunne se endnu tydeligere igennem flammerne. Sod og glødende partikler vil dog altid sløre billedet af overfladen af brændselslaget.

Video-overvågning vil kunne give meget værdifulde oplysninger om de lokale forbrændingsforhold på risten og på længere sigt give fabrikanterne vigtige informationer til optimering af deres fyringsanlæg.

Videovervågningssystemer er relativt billige (10-20.000 kr.) og vil kunne erstatte eller supplere en CO-måler. Et CCD-kamera med optisk filter, der måler i NIR-området vil være en smule dyrere.

På store anlæg vil video-overvågningen kunne udvides med et vision-system, der med online billedeanalyse automatisk vil kunne indgå i anlæggets proceskontrollsystem og regulere fx primærluft-fordelingen, mm.

Video-overvågning er ikke ret udbredt, men på grund af de gode erfaringer ser vi et stort potentiale i, at det kan bidrage meget positivt til at forbedre forbrændingskvaliteten på træfyrede anlæg. Sammenholdt med den lave pris, vil vi stærkt anbefale industrien og kedelleverandørerne at afprøve og indføre denne teknologi i træfyrede anlæg.

7 Forslag til emissionsgrænseværdier

7.1 Generelt

Grænseværdierne i Danmark er i langt de fleste bekendtgørelser og vejledninger opdelt i følgende størrelser

- a) Større end eller lig med 0,12 MW og mindre end 1 MW**
- b) Større eller lig med 1 MW og mindre end 5 MW**
- c) Større eller lig med 5 MW og mindre end 50 MW**
- d) Større end 50 MW**

Dette projekt omhandler kun anlæg mindre end 50 MW, idet energianlæg større end 50 MW er omfattet af en særlig bekendtgørelse (pt. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 689 af 15 oktober 1990). I denne bekendtgørelse er der særlige grænseværdier for de forskellige parametre.

Det vil derfor være naturligt at opstille undersøgelsens resultater i disse størrelser, samt videre fremover i forslag til grænseværdier at fastholde denne gruppering.

7.2 Emissioner ved forbrænding

Ved forbrænding af trærester, uanset om de drejer sig om rent træ eller lettere forurenede trærester, dannes større eller mindre mængder af forskellige forurenende stoffer. Nogle af disse stoffer, som CO, hydrocarboner (HC), tjærestoffer og sod, dannes ved ufuldstændig forbrænding af de brændbare komponenter. Andre stoffer som NO_x, hydrogen-halogener (HCl/HF) og tungmetaller kommer fra indholdet af elementer i brændslet. SO₂ er normalt af mindre betydning, fordi indholdet af svovl i træ og i lettere forurenede trærester normalt er meget lavt.

I Tabel 7.1 er opstillet en oversigt over, hvilke emissioner der kan forekomme ved afbrænding af træ, samt hvad der er hovedårsag til emissionen.

Tabel 7.1 Emissioner og årsag til emissioner ved træfyring.

Emission / Parameter	Årsag
Partikler	Forbrændingsforhold, partikel rensning
CO	Ufuldstændig forbrænding, inhomogent brændsel og dårlig luftfordeling
HC og PAH	Ufuldstændig forbrænding, inhomogent brændsel og dårlig luftfordeling
Sod og tjære	Ufuldstændig forbrænding, inhomogent brændsel og dårlig luftfordeling
NO _x	Kvælstof bundet i træ og lim

Emission / Parameter	Årsag
HCl	PVC, ammoniumklorid (hærder i lim) og klorid bundet i træet
HF, HBr, arsen, bor og tungmetaller	Imprægnering, flammehæmmere
Dioxiner	Forbrændingsforhold, kloridindhold, kobberindhold, imprægnering (specielt PCP), røggassens afkølingsforhold, partikel rensning

Årsagen til de forskellige emissioner er dels materialets indhold af forskellige komponenter og dels forbrændingsforholdene. Hvis forbrændingsforholdene var ens, hvad ville indholdet af forskellige komponenter i brændslet så medføre af emissioner ved afbrænding af resttræ i forhold til afbrænding af rent træ? I Tabel 7.2 er vist, hvordan indholdet af komponenter er i rent træ og resttræ.

Tabel 7.2 Indhold af forskellige grundstoffer og aske i forskellige materialer.

Materiale	Grundstofsammensætning og askeindhold i vægt %						
	C	H	O	N	Cl	S	Aske
Træ	49,5	6,3	44,2	0,2-0,5	< 0,01	< 0,01	0,5
Bark	50	6	43	0,5	< 0,02	< 0,02	2
Plader	48-49	6	42-44	0,5-4	< 0,01-2	0,02-1	1-2
Lim	39-75	4-6	3-18	0,5-38	-	-	-
PVC folie	40	6	3	-	49	-	2

7.2.1 Indhold af C, O og H (kulstof, oxygen og hydrogen)

Disse stoffer udgør normalt langt det største indhold i brændsler. Indholdet af C, H og O, der forventes i resttræ, er på samme niveau som ved almindeligt træ, idet indholdet af lim kun udgør en mindre del (< 15%) af den samlede masse. Limenes kemiske sammensætning ligger desuden tæt på rent træ. Ved optimale forbrændingsforhold vil de blive omdannet til H₂O og CO₂.

7.2.2 Indhold af N (kvælstof)

I fossile brændsler som naturgas, gasolie og fuelolie ligger indholdet af kvælstof typisk fra < 0,05% til ca. 0,5 %. Analyser af resttræ viser, at kvælstofindholdet er ca. 3 %. Alene på denne baggrund kan der forventes væsentlig højere emissioner af NO_x end for de øvrige brændsler.

Kvælstofholdige komponenter giver en positiv effekt på oxidationsprocesserne. Derfor kan UF og MF lime og ammoniumsalte i trærester, reducere dannelsen af CO og HC signifikant, i forhold til forbrænding af rent træ. Ved forbrænding af blandet lettere forurenede trærester kan indholdet af disse stoffer derfor opveje den hæmmende virkning af alkalimetaller. Mekanismen for denne forbrændingsfremmende effekt er dog ikke kendt.

7.2.3 Indhold af Cl (klorid)

Rent træ har et meget lavt indhold af klorid, mellem 0,003 og 0,01 %. Højere klorid indhold kan ofte findes i resttræ fra træ- og møbelindustrien på grund af anvendelse af ammoniumklorid som hærder i limen i primært MDF- og

spånplader. Anvendelsen af ammoniumklorid som hærdere i produktionen af MDF- og spånplader blev i Tyskland udfaset i begyndelsen af 90'erne på grund af miljøproblemer ved forbrænding. Status for anvendelse af hærdere i andre lande er ukendt, og det vides derfor heller ikke, hvilke hærdere der er anvendt i importerede plader. Ammoniumklorid anvendes som hærdere i dansk producerede spånplader.

Ved forbrænding frigøres klor fra ammoniumklorid og denne klor danner saltsyre (HCl). Sådanne halogenholdige forbindelser dannet ved forbrænding er meget reaktive, og noget omdannes derfor til mindre flygtige salte ved reaktion med den alkaliske aske eller konstruktionsmaterialerne i røggassystemet (korrosion).

Ifølge Ref. 21 vil mindre end 2 % af kloriden i en ammoniumklorid hærdere emitteres som HCl, mens Ref. 12 angiver andelen til 5 %.

Typiske indhold af hærdere i spån- og MDF plader er opgivet i afsnit 1.1.5 og 1.1.6. Disse tal svarer til forbruget af hærdere, og kan ikke umiddelbart anvendes til at beregne klorid- eller svovlindholdet i pladerne, fordi noget af det emitteres som HCl og SO₂ under fremstillingsprocessen.

Under antagelsen af, at halvdelen af kloriden fra hærdere forsvinder under produktionsprocessen, og kun 5 % emitteres som HCl ved forbrændingen, så vil anvendelse af 0,7 % ammoniumklorid til fremstillingen, medføre en emission af HCl på maksimalt 11 mg/m³(n,t).

7.2.4 Indhold af S (svovl)

Svovlindholdet i rent træ er meget lavt, mindre end 0,01 %. Højere svovlindhold kan ofte findes i resttræ fra træ- og møbelindustrien på grund af anvendelse af ammoniumsulfat som hærdere i limen i primært MDF- og spånplader.

De samme forhold, som er nævnt i forrige afsnit om ammoniumklorid, gør sig gældende for ammoniumsulfat, men der er ikke fundet referencer, som giver tal for den andel, der emitteres ved forbrænding. Det antages at være i samme størrelsesorden som for klorid.

Under antagelsen af, at halvdelen af sulfaten fra hærdere forsvinder under produktionsprocessen, og at op til 10 % emitteres som SO₂ ved forbrændingen, vil anvendelse af 0,7 % ammoniumsulfat til fremstillingen medføre en koncentrationen af svovl i pladen på 0,08 % og en emission af SO₂ på maksimalt 33 mg/m³(n,t). Denne værdi er så lav, at vi ikke mener, at der er behov for en emissionsgrænse for SO₂.

7.2.5 Indhold af øvrige stoffer

I Danmark har tidligere været anvendt og tilladt imprægneringsmidler til træ indeholdende uorganiske stoffer, som arsen, bor, zink og tungmetaller. Stoffer som calcium, jern, bly, titan m.m. kan forekomme i lak, maling, laminat og andre overfladebelægninger. Flere af disse stoffer er specielt problematiske, fordi de ikke kun er meget giftige, men også flygtige ved almindelige forbrændingsforhold. Eksempler er arsen og bly, som er, eller har været, ingredienser i træ imprægnerings- og -beskyttelsesmidler. For andre stoffer som krom, kobber, bly, tin og zink, vil en mindre del ende som forurening i røggassen ved

forbrænding. Kobber vil dog indgå som katalysator i dannelsen af dioxiner, og signifikant påvirke dannelsen. Kun nogle få uorganiske ingredienser, som fosfor, jern, titan og bor, ser ud til at være uskadelige ved forbrænding, men de kan muligvis alligevel være problematiske. F.eks. er borsalte kendt som forbindelser med lav toksicitet og lav flygtighed, men anvendt som brandhæmmere, kan de medføre en dårligere forbrænding, og dermed en forøgelse af de stoffer som følger af ufuldstændig forbrænding. Forsøg med forbrænding af træ imprægneret med borsalte, har overraskende vist en stor boremission. Det ser ud til, at ved forbrændingen bringer bor først på gasfase, og derefter oxideres det til elementær boroxid, som kondenserer i meget fine partikler, som er meget vanskelige at fange i almindelige støvfiltersystemer.

7.2.6 Sammenfatning

Selv når der er stillet krav til de materialer, der må forbrændes som resttræ (se afsnit 1.2), er det meget nødvendigt, at det sikres, at forbrændingen sker under optimale forhold.

Det vurderes ikke nødvendigt at fastsætte en grænseværdi for HCl pga. forbud mod PVC.

Sammenholdt med udenlandske regler for forbrænding af lettere forurenede resttræ, som beskrevet i kapitel 2, anbefales derfor kun fastsat emissionsgrænseværdier for partikler, CO og NO_x, samt en række krav til anlægget, med det formål at sikre en god forbrænding, hvorved emissionen af stoffer som TOC, tjærestoffer, PAH og dioxiner vil være lave.

Den forventede emission af SO₂, hvis der benyttes ammoniumsulfat som hælder, er så lav, at vi ikke mener, at der er behov for en emissionsgrænse for SO₂.

7.3 Udenlandske grænseværdier for tilsvarende anlæg

Hvilke grænseværdier gælder i en række andre lande? Dette er nærmere beskrevet i kapitel 2

I Tabel 7.3 er opstillet undersøgelsens hovedresultater opdelt i de tre førstnævnte grupper (a, b og c). Gruppe d er ikke medtaget i opstillingen, da der her gælder samme regler for alle lande (EU-direktiv), og da dette projekt ikke omfatter denne størrelse anlæg.

Tabel 7.3 Grænseværdier i andre lande i mg/m³(n,t) ved 10 % O₂

Parameter/Land	Indfyret effekt (p) i MW		
	0,120 < p < 1	1 ≤ p < 5	5 ≤ p < 50
Partikler			
Tyskland	-	-	165
Østrig	183	183/61 ¹⁾	61
Holland	110/55 ²⁾	55/28 ³⁾	28
Sverige	-	-	-
CO			
Tyskland	550-330	275	275
Østrig	-	-	122

Holland	-	275 ³⁾	275
Sverige	-	-	500 ⁴⁾
NO _x			
Tyskland	-	550	550
Østrig	610	610/428 ¹⁾	428
Holland	-	440 ³⁾	440
Sverige	-	-	200 ⁴⁾

- ingen grænseværdier

¹⁾ gælder fra 2 MW

²⁾ gælder fra 0,5 MW

³⁾ gælder fra 1,5 MW

⁴⁾ gælder fra 10 MW

⁵⁾ gælder fra 20 MW

Hvis grænseværdierne for denne type anlæg i Danmark skal afspejle grænseværdierne i de undersøgte lande vil værdierne skulle være indenfor de i Tabel 7.4 viste intervaller.

Tabel 7.4 Grænseværdier i andre lande i mg/m³(n,t) ved 10 % O₂

Parameter	Indfyret effekt (p) i MW		
	0,120 < p < 1	1 ≤ p < 5	5 ≤ p < 50
Partikler	55 -183	28 -183	28 - 165
CO	330 -550	275	122-500
NO _x	610	428 - 610	200 -440

7.4 Forslag til grænseværdier

Emissionsgrænser for anvendelse af resttræ i kedelanlæg mindre end 50 MW er vurderet ud fra fire hovedprincipper.

1. Grænseværdier gældende for andre brændsler.
2. Grænseværdier gældende i andre lande.
3. Mulige rensningsteknikker.
4. Miljømæssige aspekter.

I det følgende er der vurderet forslag til grænseværdier for de tre parametre efter disse grundlag.

7.4.1 Partikler

En oversigt over de enkelte princippers muligheder er vist i Tabel 7.5.

Tabel 7.5 Sammenligning af emissionsgrænser for partikler i mg/m³(n,t) ved 10 % O₂.

Anlægsstørrelse (p) indfyret i MW	1. Andre brændsler	2. Træ med < 1 % lim	3. Andre lande	4. Mulige rensningstekniker
0,12 < p ≤ 1	300	300	55 - 183	200
1 < p ≤ 5	40 - 100	40	28 - 183	40 - 80
5 < p ≤ 50	75 - 100	40	28 - 165	40 - 80

For anlæg under 1 MW viser betragtningerne, at grænseværdien for støv bør ligge mellem 200 - 300 mg/m³(n,t) ved 10 % O₂. Med en emissionsgrænse på 300 mg/m³ (n,t) ved 10 % O₂, vil der være en vis sikkerhed i overholdelse af

grænseværdien under anvendelse af simpel partikelrensningsteknologi som cyklonanlæg med en rensningsgrad til ca. 200 mg/m³ eller fyringsteknologi med lav støvemission.

For anlæg med en indfyret effekt større end 1 MW og mindre en 50 MW bør den vejledende grænseværdi i følge Tabel 7.5 være mellem 28 og 183 mg/m³(n,t) ved 10% O₂, idet værdierne sammenlignet på tværs ikke giver anledning til at skelne mellem anlæg større eller mindre end 5 MW. En grænseværdi under 150 mg/m³(n,t) ved 10% O₂ kan kun overholdes med rimelig sikkerhed, hvis der

- installeres posefilter eller tilsvarende rensningsmetode
- anvendes en kondenserende enhed i røggasstrømmen eller,
- anvendelse af alternativ fyringsteknologi med lav støvemission.

Grænseværdien for støv kan fastsættes ud fra to principielle modeller, eller kombination heraf.

- Den bedste rensningsteknik
- Den bedste fyringsteknologi

Den bedste rensningsteknologi vil direkte lægge sig op ad posefilteret med en præstation på 10 mg/m³(n,t) ved 10%O₂, svarende til en anbefalet grænseværdi på 20 - 40 mg/m³(n,t) ved 10%O₂.

Anvendelse af modellen til bedste rensningsteknologi vil i praksis på sigt betyde en stadig skærpet grænseværdi. Herved fjernes imidlertid incitamentet til at udvikle nye fyringsteknologier med lav støvemission. I dag er til eksempel en ny teknologi - 2 trinsforbrænding - næsten færdigudviklet. Denne teknologi lover en støvemission fra anlæg på 50 - 100 mg/m³(n,t) ved 10% O₂ uden nogen form for rensning af partikler i røggassen. En grænseværdi efter bedste rensningsteknik vil derfor gøre denne eller andre teknologiudviklinger mindre attraktiv.

Anvendes i stedet den mulige fyringsteknologi som model, kan grænseværdien for støv fastsættes til 40 - 80 mg/m³(n,t) ved 10% O₂ for kondenserende anlæg og eksempelvis 100 mg/m³(n,t) ved 10% O₂ for nye fyringsteknologier, der ikke anvender nogen form for partikelrensning (fx 2-trinsforbrænding).

Hovedkonklusionen er derfor, at der bør anvendes en maksimal emissionsgrænse for støv på 80 - 100 mg/m³(n,t) ved 10% O₂ for kondenserende anlæg og nye fyringsteknologier, hvor der ikke etableres yderligere rensningsanlæg. For anlæg, der bygger på fyringsteknologi med efterfølgende støvfilteranlæg, skal anlægget forsynes med posefilter eller tilsvarende rensningsteknologi. Herved bør der for disse anlæg gælde en reel grænse på max. 40 mg/m³(n,t) ved 10% O₂.

På baggrund af undersøgelserne finder dk-TEKNIK derfor at de vejledende grænseværdier bør være som vist i Tabel 7.6.

Tabel 7.6 Forslag til vejledende grænseværdier for partikler i mg/m (n,t) ved 10 % O₂.

Anlægsstørrelse (p) i indfyret MW	Anlæg med støvfilter	Kondenserende anlæg eller teknologi uden støvfiltere
0,12 < P ≤ 1	300	300
1 < p ≤ 50	40	100

De foreslåede grænseværdier svarer til de grænseværdier, der gælder for fyringsanlæg, der anvender rent træ.

7.4.2 Carbonmonoxid (CO)

7.4.2.1 CO-dannelse

Ved forbrænding vil brændslets indhold af kulstof (C) oxideres til kulstoffer (CO₂ og CO). Er der ikke tilstrækkelig med ilt tilstede til en fuldstændig forbrænding (understøkiometrisk forbrænding), eller hvis temperaturen er for lav, vil der dannes CO samt uforbrændte carbonhydrider (UHC), herunder PAH (Polycykliske Aromatiske Kulbrinter) m.m. En reduktion af oxygen med det formål at begrænse NO-dannelsen kan således give anledning til andre væsentlige uønskede emissioner af bl.a. CO. Det er vigtigt ved forbrænding at sikre forbrændingskvaliteten.

I omgivelserne har CO ingen stor miljømæssig betydning. Der er således ikke fastlagt en B-værdi for CO.

7.4.2.2 Grænseværdier

Tabel 7.7 Sammenligning af emissionsgrænser for CO i mg/m³(n,t) ved 10 % O₂.

Anlægsstørrelse indfyret effekt (p) MW	1. Andre brændsler	2. Træ med 1 % lim	3. Andre lande
0,12 > p ≤ 1	75 - 500	500	330 - 550
1 > p ≤ 5	75 - 625	625	275
5 < p ≤ 50	75 - 625	625	122 - 275

Erfaringer fra andre typer biobrændselsanlæg viser, at der er behov for en lav emissionsgrænse for CO for at sikre en god forbrænding. Dette afspejler sig også tydeligt i emissionsgrænserne i Holland, Østrig og Tyskland.

Ved sammenligning af de gældende grænseværdier for CO fra disse lande, finder dk-TEKNIK, at de vejledende grænseværdier for fyring med lettere forurenede trærester bør fastsættes til de i Tabel 7.8 angivne værdier.

Tabel 7.8 Forslag til vejledende grænseværdier for CO i mg/m (n,t) ved 10 % O₂.

Anlægsstørrelse indfyret effekt (p) MW	Nye anlæg	Eksisterende anlæg
0,12 > p ≤ 1	400	500
1 > p ≤ 5	300	500
5 < p ≤ 50	200	500

De foreslåede grænseværdier for nye anlæg er lavere end de tyske grænseværdier, men højere end de Østrigske. For eksisterende anlæg, der reguleres ved revision af miljøgodkendelse eller ved påbud, anbefales grænseværdien for CO fastsat til noget højere værdier, som dog er lavere end grænseværdierne ved

anvendelse af rent træ, fordi det vurderes, at det kan være vanskeligt at forbedre forbrændingsforholdene tilstrækkeligt i nogle ældre anlæg.

Der forventes ikke problemer for nye anlæg med at overholde de foreslåede grænseværdier, men mange eksisterende anlæg må forventes at skulle gennemgå forbedringer, med bl.a. iltmåling og styring af forbrændingsluften, samt eventuelt forbedringer i fyrboksen med ildfast udmuring og/eller ændringer i tilførslen af forbrændingsluften, for at de foreslåede grænseværdier kan overholdes.

For eksisterende anlæg, der reguleres ved revision af miljøgodkendelse, bør der gives en rimelig tidsfrist, f.eks. op til maksimalt 2 år, til indførelse af nødvendige forbedringer af fyringsanlægget, så emissionsgrænser og øvrige krav kan overholdes.

7.4.3 Kvælstofoxider, NO_x

7.4.3.1 NO_x -dannelse

Ved forbrændingsprocesser dannes blandt andet nitrose gasser, nitrogenoxider. De mest dominerende er nitrogenoxid (NO) og nitrogendioxid (NO_2). Disse to gasser omtales sammenhængende som NO_x . NO_x -emissionen beregnes vægtmæssigt som NO_2^1 . I røggassen fra forbrændingsprocessen vil typisk 90 - 95% (molforhold) af den samlede NO_x -emission bestå af NO , resten vil være NO_2 .

I atmosfæren oxideres NO til NO_2 , der igen kan omdannes til HNO_3 (salpetersyre). Dette sker bl.a. ved reaktion med ozon (O_3) eller carbonhydrider. Salpetersyre medvirker til forurening af nedbøren.

Ved forbrænding af brændsler er følgende mekanismer for dannelse af NO_x dominerende:

- prompte NO_x -dannelse (brændsels- NO_x)
- termisk NO_x -dannelse

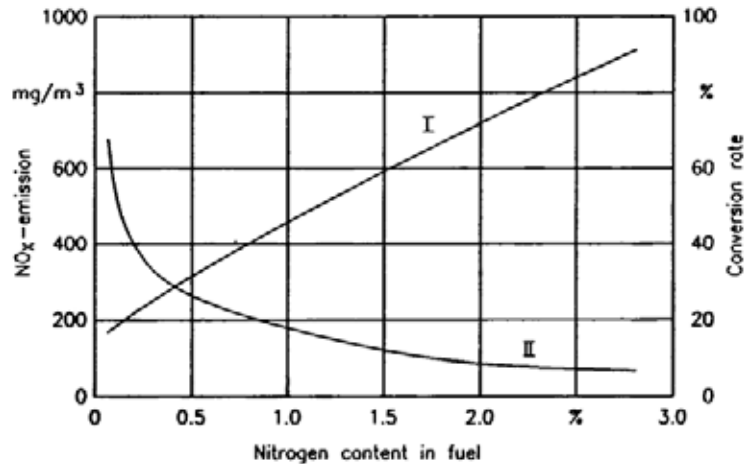
NO_x -dannelsen er meget afhængig af indholdet af kvælstof i det brændsel, der anvendes. I fossile brændsler som naturgas, gasolie og fuelolie ligger indholdet af kvælstof i brændslet typisk fra $< 0,05\%$ til ca. $0,5\%$. Analyser af resttræ jævnfør afsnit 1 viser, at kvælstof-indholdet er ca. 3% . Alene på denne baggrund kan der forventes væsentlig højere emissioner af NO_x end for de øvrige brændsler.

Kvælstoffet i brændslet bliver omdannet til NO_x og frit kvælstof (N_2). Lettere forurenede trærester med højt indhold af kvælstofholdig urea-formaldehyd lim (UF, MUF lim), specielt MDF- og spånplader, indeholder mellem 3 og 5% kvælstof. I forhold til forbrænding af rent træ, kan NO_x emissionen være 2 til 4 gange højere ved forbrænding af trærester med stor andel af MDF- og/eller spånpladerester, selvom kvælstofindholdet kan være op til 25 gange højere. Rent træ har et kvælstofindhold på $0,2$ til $0,5\%$.

¹ NO_x -emissionen dvs. den samlede emission af $\text{NO} + \text{NO}_2$ måles normalt i ppm NO_x , hvilket er det samme som $\text{ml}/\text{NO}_x/\text{m}^3$ røggas. Ved 0°C og $101,3\text{ kPa}$ er volumen af 1 mol gas 22.400 ml . 1 mol NO_2 vejer $14 + 16 \times 2 = 46\text{ g}$ eller 46.000 mg . Atomvægten af nitrogen og ilt er henholdsvis 14 og 16 .

$1\text{ ppm } \text{NO}_x = 1/22.400 \times 46.000 = 2,05\text{ mg } \text{NO}_2/\text{m}^3$ ved 0°C og $101,3\text{ kPa}$ (ppm er uafhængig af tryk og temperatur).

Der er ikke en lineær sammenhæng mellem indholdet af kvælstof i trærester og omdannelsen til NO_x ved forbrændingen. Jo mere kvælstof, der er i brændslet, jo mindre andel af dette kvælstof omdannes til NO_x - og jo større andel omdannes til frit, gasformigt kvælstof (N_2). Alligevel er emissionen af NO_x relativt høj, og i mange tilfælde også højere end de udenlandske grænseværdier.



Figur 2: NO_x emissionen som funktion af kvælstofindholdet i brændslet. I er NO_x emissionen som funktion af nitrogen indholdet i brændslet. II er omdannelsesraten for kvælstof i brændslet.

Termisk NO_x dannes primært i flammen. Afgørende faktorer for dannelsen er bl.a. O_2 -koncentration, opholdstid og temperatur. Den største NO_x -dannelse opnås ved svagt overstøkiometrisk forbrænding, dvs. en forbrænding med lille ilt-overskud og høj forbrændingstemperatur. Denne mekanisme har ikke stor indflydelse ved forbrændingen af resttræ, da ilt-overskudet normalt er relativt højt og forbrændingstemperaturerne lave.

Hvordan reduceres emissionen af NO_x ?

7.4.3.2 Reduktion af NO_x

Såfremt man ønsker at reducere NO_x -dannelsen ved forbrændingsprocessen, kan dette gøres ved at:

- nedsætte den maksimale forbrændingstemperatur
- formindske opholdstiden ved maksimal temperatur
- mindske O_2 -koncentrationen i reaktionszonen

På mindre anlæg er det kun realistisk at forsøge at reducere NO_x -dannelsen i forbrændingsprocessen ved at recirkulere røggas. Rensning af NO_x er forholdsvis kompliceret og kan først komme på tale ved relativt store anlæg dvs. anlæg over 50 MW. Da denne type anlæg ikke er omfattet af dette projekt, er der ikke redegjort nærmere for rensningen her. I kapitel 5 er redegjort nærmere for mulighederne for rensning.

7.4.3.3 Eksisterende grænseværdier

Opstiller man de grænseværdier, der gælder for andre brændsler i Danmark og de grænseværdier, der gælder i andre lande for afbrænding af resttræ, bliver resultatet som vist i Tabel 7.9.

Tabel 7.9 Sammenligning af emissionsgrænser for NO_x i mg/m³(n,t) ved 10 % O₂.

Anlægsstørrelse (p) i indfyret effekt MW	1. Andre brændsler	2. Træ med < 15 lim	3. Andre lande
0,12 > p ≤ 1	65 - 378	Ingen	610
1 > p ≤ 5	65 - 378	Ingen	428 - 610
5 < p ≤ 50	65 - 378	300 ¹⁾	200- 550

¹⁾ Kan lempes til 400 ved højt barkindhold eller stor nåleandel

I Miljøstyrelsens vejledning nr. 2/2001 gælder grænseværdien for NO_x kun for anlæg, der er større end 5 MW. Udover dette er der en højere grænseværdi for anlæg, der anvender træflis. Det kan således også diskuteres, om der skal være en grænseværdi for anvendelse af resttræ på anlæg under 5 MW. Hvis der stilles krav om en grænseværdi, bør der også stilles krav om kontrolmålinger.

På baggrund af undersøgelserne finder dk-TEKNIK derfor, at de vejledende grænseværdier bør være som vist i Tabel 7.10. De opstillede forslag til grænseværdier afviger ikke væsentligt fra grænseværdierne for andre anlæg.

Tabel 7.10 Forslag til vejledende grænseværdier for NO_x (beregnet som NO₂) i mg/m³(n,t) ved 10 % O₂.

Anlægsstørrelse (p) i indfyret effekt MW	Forslag
0,12 < p ≤ 1	Ingen grænseværdi
1 < p ≤ 5	Ingen grænseværdi
5 < p ≤ 50	400

Den foreslåede grænseværdi svarer til den lempede grænseværdi i luftvejledningen for forbrænding af træ med højt barkindhold eller stor nåleandel.

Der anbefales ikke fastsat en grænseværdi for anlæg mellem 1 og 5 MW, selvom det findes i udenlandske regler, fordi NO_x er et mindre problem i Danmark i forhold til Centraleuropa, og effekten af en emissionsgrænseværdi vil være yderst marginal i forhold til den samlede danske emission.

Hvis der ønskes fastsat en emissionsgrænseværdi for anlæg mellem 1 og 5 MW, anbefales den fastsat til 500 mg/m³(n,t) ved 10 % O₂. For at give en rimelig tid til at alle danske kedelleverandører kan levere anlæg der kan overholde denne grænseværdien, anbefales grænseværdien først at gælde f.eks. 2 år efter ikrafttrædelse af reglen.

7.4.4 Opsummering af grænseværdier for støv, CO og NO_x

dk-TEKNIKS forslag til emissionsgrænseværdier for anlæg, der fyres med lettere forurenede resttræ er vist i Tabel 7.11.

Tabel 7.11 Foreslåede grænseværdier i mg/m³(n,t) ved 10 % O₂.

Parameter	Anlæggets samlede indfyrede effekt (p) i MW		
	0,120 < p < 1	1 ≤ p < 5	5 ≤ p < 50
Partikler	300	40	40
Partikler for anlæg uden filter	300	100	100
CO, nye anlæg	400	300	200
CO, eksisterende anlæg	500	500	500
NO _x	ingen	ingen	400

For eksisterende anlæg der reguleres ved revision af miljøgodkendelse, bør der gives en rimelig tidsfrist, f.eks. op til maksimalt 2 år, til indførelse af nødvendige forbedringer af fyringsanlægget, så emissionsgrænser og øvrige krav kan overholdes.

I specielle tilfælde, hvor et ældre fyringsanlæg med begrænset restlevetid ikke kan forbedres tilstrækkeligt, og der kun er tale om mindre overskridelser af grænseværdierne, bør tilsynsmyndigheden kunne tillade fortsat drift af anlægget med lempede emissionsgrænser i f.eks. op til 5 - 10 år.

7.5 Grænseværdier i Danmark for andre energianlæg

Sammenholdes forslagene til grænseværdier for anlæg, der forbrænder trærester, med de vilkår, der gælder for andre energi anlæg i Danmark, er der ikke nogen væsentlige forskelle.

I Danmark findes for forskellige energi anlæg mindre end 50 MW grænseværdier for de tre parametre. Grænseværdierne fra de relevante vejledninger og bekendtgørelser er opstillet i Tabel 7.12. Grænseværdierne er omregnet til 10 % O₂, hvis grænseværdien ikke normalt er specificeret ved denne referencetilstand.

Tabel 7.12 Grænseværdier i Danmark for forskellige energianlæg.

Indfyret mængde	Fyringsmedie/	Emissionsgrænser mg/m ³ (n,t) ved 10 % O ₂		
		Partikler	NO _x	CO
MW	Specielle			
	Anlæg			
Større end 0,120 men mindre end 1	Naturgas		65	75
	Gasolie		110	100
	Træ	300		500
	Biobrændsler	300		500
	Halm			
	Gasmotorer		378	344
	Gasturbiner		138	103
Større end 1 men mindre end 5	Naturgas		65	75
	Gasolie		110	100
	Fuelolie	100	300	100
	Træ	40/(100) ¹		625
	Biobrændsler	40/(100) ¹		625
	Halm	40		625
	Gasmotorer		378	344
Gasturbiner		138	103	
Større end 5 men mindre end 50	Naturgas		65*	75
	Gasolie	30	110*	100
	Fuelolie	100	300*	100
	Træ	40/(100) ¹	300/400 ^{2*}	625
	Biobrændsler	40/(100) ¹	300*	625
	Halm	40	300*	625
	Kul	100	200*	100
	Gasmotorer		378*	344
	Gasturbiner		138*	103
Ingen grænseværdi				

1 Tallene i parentes er for kondenserende anlæg og ny teknologi
2 Ved højt bark- og nåleindhold

I Tabel 7.13 grænseværdier for andre danske energianlæg sammenholdt med de foreslåede grænseværdier (vist i parentes).

Tabel 7.13 Grænseværdier for andre energianlæg i mg/m³(n,t) ved 10 % O₂.

Parameter	Indfyret effekt (p) i MW		
	0,120 < p < 1	1 ≤ p < 5	5 ≤ p < 50
Partikler	300 (300)	40 – 100 (40)	75 - 100 (40)
CO	75 – 500 (400)	75 – 625 (300)	75 - 625 (200)
NO _x	65 – 378 (ingen)	65 - 378 (ingen)	65 - 378 (400)

De foreslåede grænseværdier ligger for støv og CO inden for de intervaller af grænseværdier, der gælder for andre energianlæg. Dog er grænseværdien for støv for store anlæg (> 5 MW) lavere med begrundelse i state-of-the-art inden for fyrings- og rensningsteknologi.

På grund af det relativt høje indhold af kvælstof i resttræ med limrester er de foreslåede grænseværdier for NO_x højere end for andre energianlæg.

8 Forslag til emissionskontrol og driftskontrol mm.

Forbrændingen af træ og specielt resttræ fra træ- og møbelindustrien er svære at styre end forbrændingen af almindelige fossile brændsler som gasolie og gas. Anlæg, der forbrænder lettere forurenede resttræ bør derfor overholde de samme regler for emissions- og driftskontrol som anlæg, der forbrænder fx gas og gasolie.

Ifølge Miljøstyrelsens vejledning nr. 2/2001 bør der ved gas og gasoliefyrede anlæg med en indfyret effekt på 5-30 MW ved præstationskontrol kontrolleres, at grænseværdien for NO_x og CO er overholdt. Anlæg med en indfyret effekt på over 30 MW bør være forsynet med måle- og reguleringsudstyr for oxygen (O₂) til styring af forbrændingsprocessen og med AMS (Automatisk Målende System) måleudstyr for NO_x. Endvidere bør det ved præstationskontrol kontrolleres, at grænseværdien for CO er overholdt.

Ifølge samme vejledning bør emissionsgrænseværdierne kontrolleres ved præstationskontrol ved træfyrede anlæg med en indfyret effekt større end 1 MW men mindre end 5 MW. Anlæg med en indfyret effekt på 5 MW og derover bør være forsynet med automatisk måleudstyr til måling og registrering af partikler og CO.

Træfyrede anlæg med en indfyret effekt på over 1 MW bør være forsynet med måle- og reguleringsudstyr for oxygen (O₂) til styring af forbrændingsprocessen. Har anlægget en indfyret effekt på 5-30 MW bør grænseværdien for NO_x kontrolleres ved præstationskontrol. Anlæg med en indfyret effekt på over 30 MW bør forsynes med AMS måleudstyr til måling af NO_x.

Tabel 8.1 Forslag til emissionskontrol

	Anlæggets samlede indfyrede effekt (p) i MW			
	0,120 < p < 1	1 ≤ p < 5	5 ≤ p < 30	30 ≤ p < 50
Støv	Præstationskontrol ₃₎	Præstationskontrol	Præstationskontrol ₁₎	AMS
CO	Præstationskontrol ₃₎	Præstationskontrol	AMS	AMS
NO _x	-	-	Præstationskontrol	AMS
O ₂ måling	AMS	AMS	AMS	AMS
Styring af forbrændingen ²⁾	+	+	+	+

1) Luftvejledningen forskriver AMS kontrol, men Miljøstyrelsen har blødt op på dette krav, så præstationskontrol, og gerne en støvvagt med alarm for forhøjet støvemission, kan accepteres.

2) Regulering af forbrændingsluft efter O₂ måling og indfødning efter temperatur. O₂-målingen skal styre indblæsning af forbrændingsluft, så konstant O₂ koncentration kan opretholdes, i hele driftsområdet, også ved On/Off regulering af brændselsindfødning. Forbrændingsluftblæseren må ikke kunne stoppe, før temperaturmåling i kedlen indikerer, at der ikke er mere brændsel i brændkammeret. Nye kedler bør have regulering af brændselsindfødning ved trinløs variabel hastighed på indfødningen.

3) Det bør dokumenteres ved mindst én præstationskontrol, at anlægget kan overholde emissionsgrænserne.

8.1 Forslag til krav/vilkår til anlæg:

8.1.1 Nye anlæg:

- Anlæg skal være tilpasset brændslets struktur, vandindhold og forbrændingstekniske egenskaber.
- Ved ændringer af brændslet skal det sikres, at anlægget stadig er tilpasset brændslets egenskaber, og eventuelle justeringer, ændringer og/eller ombygninger skal foretages for at sikre dette. Dokumenteres fx af leverandør af anlægget eller firmaet der ombygger/justere anlægget.
- Forbrændingsanlæggets størrelse skal være tilpasset virksomhedens energibehov, således at anlægget fortrinsvist køres i det for forbrændingen mest optimale driftsområde.
- Anlægget skal være forsynet med kontinuert O₂-måling.
- Kontinuert regulering af forbrændingen efter energibehov, med kontinuert indfødning af brændsel styret efter energibehov, og styring af forbrændingsluftmængden efter iltmåling.
- Logning eller udskrift af AMS målere som 1-minuts middelværdier for dokumentation af forbrændingens kvalitet.

8.1.2 Eksisterende anlæg

Eksisterende anlæg ved revision af miljøgodkendelse eller ved påbudssager:

- Anlæg skal være tilpasset brændslets struktur, vandindhold og forbrændingstekniske egenskaber.
- Ved ændringer af brændslet skal det sikres at anlægget stadig er tilpasset brændslets egenskaber, og eventuelle justeringer, ændringer og/eller ombygninger skal foretages for at sikre dette. Dokumenteres fx af leverandør af anlægget eller firmaet, der ombygger/justerer anlægget.
- Forbrændingsanlæggets størrelse skal være tilpasset virksomhedens energibehov, således at anlægget fortrinsvist køres i det for forbrændingen mest optimale driftsområde.
- Kontinuert iltmåling skal etableres, hvis det ikke forefindes.
- En eventuel On/Off styring skal forbedres, mindst ved at forbrændingsluftmængden styres trinløst af iltmålingen, således at et konstant iltindhold i forbrændingen kan opretholdes. Eventuelt suppleret med en trinløst regulering af indfødning af brændsel efter energibehovet (styring efter vandtemperatur eller damptryk).
- Logning eller udskrift af AMS målere som 1-minuts middelværdier for dokumentation af forbrændingens kvalitet.

8.1.3 Driftskontrol

Der skal foreligge beskrivelser og forskrifter for, og driftspersonalet skal være instrueret i:

- drift og vedligeholdelse af anlæg samt de ansvarlige herfor.
- kontrol og rensning af forbrændingskammer, multicyklonanlæg og eventuel posefilter.
- bortskaffelse af aske.

8.1.4 Journal

Der skal føres journal, eventuelt på elektronisk form, over:

- kontrol og rensning af forbrændingskammer, multicyklonanlæg og eventuel posefilter.
- udskiftning af filterposer
- kalibrering, kontrol og udskiftning af sonder på anlægsmålere.
- bortskaffelse af aske.
- indreguleringer af forbrændingen.
- driftstid, opstarter og nedlukninger
- mængde og type af forbrændte trærester.
- driftsforstyrrelser og uheld der kan have medført forhøjede emissioner.

9 Forslag til bortskaffelse af aske

Definitionen af lettere forurenede trærester inklusive de foreslåede positiv- og negativ-lister (se afsnit 1.2) sikrer at brændslet ikke indeholder tungmetaller i koncentrationer, der samlet er højere end det der kan forekomme i rent træ.

De opstillede krav til styring af forbrændingsprocessen sikrer, at forbrændingen vil ske effektivt, og at asken har samme indhold af restkulstof etc. som ved forbrænding af rent træ.

Asken fra forbrænding af lettere forurenede trærester vil derfor have en sammensætning, der er sammenlignelig med aske fra forbrænding af rent træ. Asken fra anlæg, der er omfattet af de foreslåede krav, vil derfor kunne bortskaffes efter reglerne som aske fra forbrænding af rent træ i Bioaskebekendtgørelsen, Ref. 6.

10 Referencer

- Ref. 1: European Union. 1998/0225 (COD) C5-0323/2001. Directive of the European Parliament and of the Council on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants. Brussels, 2 August 2001.
- Ref. 2: Miljøstyrelsens vejledning nr. 2/2001. Luftvejledningen
- Ref. 3: Bekendtgørelse om begrænsning af svovlindholdet i visse flydende og faste brændstoffer Miljø- og Energimin. bek. nr. 532 af 25. maj 2001
- Ref. 4: Støvemissionsvilkår for træfyrede anlæg mindre end 50 MW dk-TEKNIK rapport 11033
- Ref. 5: Schleicher O, Jensen AA, Blinksbjerg P. Måling af dioxinmissionen fra udvalgte sekundære kilder. Miljøstyrelsen. Miljøprojekt nr. 649, 2001. <http://www.mst.dk/default.asp?sub=/udgiv/publikationer/2001/87-7944-868-2/html/>
- Ref. 6: Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse og biomasseaffald til jordbrugsformål, Miljø- og Energiministeriets bek. nr. 39 af 20. januar 2000.
- Ref. 7: Formica PSM A/S. Miljø- og byggevaredeklaration. dekorativ laminat type HGS og HG
- Ref. 8: Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/76/EF af 4. december 2000 om forbrænding af affald.
- Ref. 9: Træ til energiformål. Teknik – Miljø – Økonomi. Videncenter for Halm- og Flisfyring. 1999
- Ref. 10: Marutzky R. Concept for an ideal wood waste residue combustion system. Advances in Thermochemical Biomass Conversion. Vol. 1. 643-653-
- Ref. 11: Marutzky R. Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen.
- Ref. 12: Marutzky R. Erkenntnisse zur Schadstoffbildung bei Verbrennung von Holz und Spanplatten. WKI-Bericht Nr. 26. Oktober 1991.
- Ref. 13: VDI 3462 Part 4. Marts 1999. Emission control. wood machining and processing – Combustion of wood.
- Ref. 14: Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV
- Ref. 15: Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV
- Ref. 16: Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. Ausgegeben am 13. Jänner 1989. 10. Stück 19. Verordnung: Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen 1989 – LRV-K 1989.
- Ref. 17: Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. Jahrgang 1994. Ausgegeben am 30. September 1994. 246. Stück 785. Verordnung: Änderung der Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen 1989 [EWR/Anh. II: 388 L 0609].
- Ref. 18: Netherlands Emission Guidelines for Air (NeR). Kun udgivet på internettet, findes på adressen <http://www.infomil.nl/eng/index.htm>
- Ref. 19: Björn, Ejner. Swedish Environmental Protections Agency. Personlig korrespondance.

Ref. 20: Nilsson, Lennart. Formica PSM (Perstorp Surface Materials) AB. Personlig korrespondance

Ref. 21: Fyring med biomassebaserede restprodukter. Miljøprojekt nr. 358/1997

1 Brev til kedelleverandører

Danstoker a-s
Agner Lund
Industrivej Nord 13
Postboks 160
7400 Herning

Undersøgelse i forbindelse med fyring med lettere forurenede overskudstræ

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ er i samarbejde med Miljøstyrelsen og Dansk Industri i gang med at undersøge de miljømæssige forhold ved fyring med lettere forurenede overskudstræ, herunder eksempelvis spån- og MDF-plader.

Lettere forurenede overskudstræ bliver oftest kategoriseret som affald.

Undersøgelsen har til formål at kortlægge de eksisterende forhold ved fyring med lettere forurenede overskudstræ. På baggrund af de indsamlede oplysninger vil vi kunne vurdere og foreslå, hvilke krav der er rimelige at stille til anlæg, der fyres med lettere forurenede overskudstræ, frem for at stille samme krav som til et affaldsforbrændingsanlæg. Undersøgelsen har dermed også til formål at opnå bedre muligheder for at fyre med lettere forurenede overskudstræ.

Det er vores indtryk, at der generelt ikke er forskel på anlæg, der fyres med rent træ eller lettere forurenede overskudstræ. Dette spørgsmål håber vi at få afklaret med jeres hjælp. I relation hertil vil vi gerne vide, om I designer et fyringsanlæg forskelligt afhængigt af, om der skal fyres med rent træ eller overskudstræ bestående af eksempelvis spån- og/eller MDF-plader, eller om I designer mere efter brændslets struktur og vandindhold ?

Vi vil også gerne vide lidt om jeres anbefalede anlægsbestykning (evt. afhængig af anlæggets størrelse) med hensyn til:

- Røggasrensning (multicyklon, posefilter, evt. elektrofilter)
- Anlægsmaalere (temperatur, O₂ og CO)
- Styring af forbrændingen (mekanisk efter termoføler, automatisk efter temperatur og/eller iltmåling)

Er der sket ændringer i designgrundlag og anlægsbestykning de sidste 10-20 år ?

Vi vil desuden bede jer om at bidrage med oplysninger om, hvor I har leveret anlæg til fyring med lettere forurenede overskudstræ, herunder

- installationsår
- indfyret effekt
- indfyrringsarrangement
- evt. installation af anlægsmaalere og O₂-styring
- evt. røggasrensning (multicyklon og posefilter)
- evt. resultater af emissionsmålinger

Det er vigtigt, at vi får indsamlet så mange oplysninger som muligt. Jeres svar bliver anonymiseret og vil ikke indgå direkte i undersøgelsen.

Vi ser frem til at modtage jeres besvarelser og beder jer om at sende jeres svar inden udgangen af uge 25 til dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ, Ølgodvej 7, 9220 Aalborg Ø, att.: Lene Christensen.

På forhånd tak.

Med venlig hilsen
dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ
Energi- og miljørådgivning

Lene Christensen
projektingeniør

Spørgeskema

1 Spørgeskema

1. Spørgsmål om kedelanlæggets størrelse og alder

1.1 Kedelanlæggets størrelse, målt i kW ?

1.2 Kedelanlæggets alder (Evt. installationsår) ?

Evt. bemærkninger

1.1 2. Spørgsmål om selve kedelanlægget

2.1 Varmtvandskedel (Maks. vandtemperatur < 120 °C) ?

2.2 Hedtvandskedel (Maks. vandtemperatur > 120 °C) ?

2.3 Dampkedel ?

2.4 Hedtoliekedel ?

1.3

1.4 2.5 Sker indfyring af brændsel med sneglestoker i retorte ?

1.5 2.6 Sker indfyring af brændsel på rist ?

1.6

Ja Nej 1.2 Evt. bemærkninger

Ja	Nej	1.2 Evt. bemærkninger

1.7 3. Spørgsmål om røggasrensning

3.1 Er der installeret multicyklon ?

3.2 Er der installeret posefilter ?

Ja Nej Evt. bemærkninger

Ja	Nej	Evt. bemærkninger

1.8 4. Spørgsmål om anlægsmålere

4.1 Er der installeret O₂-måler (evt. O₂-styring) ?

4.2 Er der installeret CO-måler ?

Ja Nej 1.9 Evt. bemærkninger

Ja	Nej	1.9 Evt. bemærkninger

1.10 5. Spørgsmål om eventuelle emissionsmålinger

5.1 Er der foretaget målinger af røggassen i forbindelse med opstart af anlægget ?

5.2 Har kommunen senere stillet krav om at få foretaget emissionsmålinger ?

5.3 Er I interesseret i at udlevere kopi af eventuelle måleresultater ? (Vedlæg kopi)

Ja Nej 1.11 Evt. bemærkninger

Ja	Nej	1.11 Evt. bemærkninger

1.12 6. Spørgsmål om brændsel

6.1 Hvor stor mængde brændsel anvender I på års basis, opgivet i tons ?

1.13 Evt. bemærkninger

--	--

	Ja	Nej	Evt. bemærkninger
6.2 Køber I brændsel ?			
6.3 Sælger I brændsel ?			

	Evt. bemærkninger		
6.4 Hvordan er sammensætningen af jeres brændsel, opgiv forholdet mellem rent træ og spån-/MDF-plader ?			

	Ja	Nej	Evt. bemærkninger
6.5 Har I fået foretaget en brændselsanalyse ?			
6.6 Er I interesseret i udlevere en kopi af evt. brændselsanalyse ? (Vedlæg kopi)			

	Ja	Nej	Evt. bemærkninger
6.7 Er der noget af det træ, I anvender som brændsel overfladebehandlet med:			
Laminat ?			
Melamin ?			
Folie ?			
Kantlister ?			
Indgår PVC i nogen af ovenstående belægninger ?			
Lak eller maling			
Eventuelt andet ?			

	Ja	Nej	Evt. bemærkninger
Er der flammehæmmere i noget af brændslet ?			

	Ja	Nej	Evt. bemærkninger
6.8 Anvender I danske spån-/MDF-plader ?			
6.9 Anvender I udenlandske spån-/MDF-plader ?			

7. Evt. supplerende kommentarer:

Forslag til afsnit til bekendtgørelse

1.1 Definition af trærester der er omfattet af bekendtgørelsen

Ved lettere forurenede trærester forstås stykker af træ, f.eks. savsmuld, høvlspåner, flis, pudsestøv, træstykker og pladerester, som kan indeholde lim, lak, maling, folie- og lamineringsmaterialer, træbeskyttelsesmidler og andre stoffer, som ved forbrænding ikke giver anledning til væsentligt forhøjede emissioner af stoffer, der er skadelige for miljøet. Undtagen herfor er dog emissionen af NO_x, som kan være forhøjet på grund af kvælstofholdigt lim i specielt pladematerialer.

Lettere forurenede trærester skal desuden opfylde kravene i nedenstående positiv liste og ikke kunne henføres til negativ listen.

1.1.1 Positivliste

1. Træ og kompositmaterialer fremstillet af træ
2. Almindeligt anvendte og hærdede lime anvendt i plader, finer, pålægning af overfladematerialer, samling af møbler mv.
3. Ovennævnte materialer, der er overfladebehandlet med lak, maling og olie, som ikke indeholder tungmetaller eller halogenforbindelser
4. Laminat, dekorpapir, folie mv., selvom der er anvendt ammoniumklorid som hærdet i limen.
5. Træmaterialer behandlet med paraffin og voks

1.1.2 Negativliste

1. Alle former for brugte træmaterialer.
2. Materialer der er imprægneret eller overfladebehandlet med halogen- eller tungmetalholdige produkter, eller på anden måde indeholder tungmetaller eller halogener, i koncentrationer der samlet er højere end det der kan forekomme i rent træ.
3. Materialer der indeholder bromerede flammehæmmende midler.
4. Alle former for overfladematerialer, der indeholder PVC.
5. Plade- og kompositmaterialer med mere end 1 % limindhold, hvor der er anvendt ammoniumklorid som hærdet i limen. Denne regel bør indføres 2 eller 3 år efter de øvrige regler.

1.2 Krav til anlæg og styring af forbrændingsprocessen

1.2.1 Nye anlæg:

- Anlæg skal være tilpasset brændslets struktur, vandindhold og forbrændingstekniske egenskaber.
- Ved ændringer af brændslet skal det sikres, at anlægget stadig er tilpasset brændslets egenskaber, og eventuelle justeringer, ændringer og/eller ombygninger skal foretages for at sikre dette. Dokumenteres fx af leverandør af anlægget eller firmaet der ombygger/justere anlægget.
- Forbrændingsanlæggets størrelse skal være tilpasset virksomhedens energibehov, således at anlægget fortrinsvist køres i det for forbrændingen mest optimale driftsområde.
- Anlægget skal være forsynet med kontinuert O₂-måling.
- Kontinuert regulering af forbrændingen efter energibehov, med kontinuert indfødning af brændsel styret efter energibehov, og styring af forbrændingsluftmængden efter iltmåling.
- Logning eller udskrift af måleværdier fra **Automatisk Målende System (AMS)** som 1-minuts middelværdier for dokumentation af forbrændingens kvalitet.

1.2.2 Eksisterende anlæg

Eksisterende anlæg ved revision af miljøgodkendelse eller ved påbudssager:

- Anlæg skal være tilpasset brændslets struktur, vandindhold og forbrændingstekniske egenskaber.
- Ved ændringer af brændslet skal det sikres at anlægget stadig er tilpasset brændslets egenskaber, og eventuelle justeringer, ændringer og/eller ombygninger skal foretages for at sikre dette. Dokumenteres fx af leverandør af anlægget eller firmaet, der ombygger/justerer anlægget.
- Forbrændingsanlæggets størrelse skal være tilpasset virksomhedens energibehov, således at anlægget fortrinsvist køres i det for forbrændingen mest optimale driftsområde.
- Kontinuert iltmåling skal etableres, hvis det ikke forefindes.
- En eventuel On/Off styring skal forbedres, mindst ved at forbrændingsluftmængden styres trinløst af iltmålingen, således at et konstant iltindhold i forbrændingen kan opretholdes. Eventuelt suppleret med en trinløst regulering af indfødning af brændsel efter energibehovet (styring efter vandtemperatur eller damptryk).
- Logning eller udskrift af måleværdier fra AMS som 1-minuts middelværdier for dokumentation af forbrændingens kvalitet.

1.3 Emissionsgrænseværdier

Emissionsgrænseværdier for anlæg, der fyres med lettere forurenede resttræ er vist i Tabel 0.1.

Tabel 0.1 grænseværdier i $\text{mg/m}^3(\text{n,t})$ ved 10 % O_2

Parameter	Anlæggets samlede indfyrede effekt (p) i MW		
	$0,120 < p < 1$	$1 \leq p < 5$	$5 \leq p < 50$
Partikler	300	40	40
Partikler for anlæg uden filter	300	100	100
CO, nye anlæg	400	300	200
CO, eksisterende anlæg	500	500	500
NO_x	ingen	ingen	400

For eksisterende anlæg der reguleres ved revision af miljøgodkendelse, bør der gives en rimelig tidsfrist, f.eks. op til maksimalt 2 år, til indførelse af nødvendige forbedringer af fyringsanlægget, så emissionsgrænser og øvrige krav kan overholdes.

I specielle tilfælde, hvor et ældre fyringsanlæg med begrænset restlevetid ikke kan forbedres tilstrækkeligt, og der kun er tale om mindre overskridelser af grænseværdierne, bør tilsynsmyndigheden kunne tillade fortsat drift af anlægget med lempede emissionsgrænser i f.eks. op til 5 - 10 år.

1.4 Driftskontrol

Der skal foreligge beskrivelser og forskrifter for, og driftspersonalet skal være instrueret i:

- drift og vedligeholdelse af anlæg samt de ansvarlige herfor.
- kontrol og rensning af fyrrum, multicyklonanlæg og eventuel posefilter.
- bortskaffelse af aske.

1.4.1 Journal

Der skal føres journal, eventuelt på elektronisk form, over:

- kontrol og rensning af fyrrum, multicyklonanlæg og eventuel posefilter
- udskiftning af filterposer
- kalibrering, kontrol og udskiftning af sonder på anlægsmålere
- bortskaffelse af aske
- indreguleringer af forbrændingen
- driftstid, opstarter og nedlukninger
- mængde og type af forbrændte trærester
- driftsforstyrrelser og uheld der kan have medført forhøjede emissioner

1.5 Emissionskontrol

	Anlæggets samlede indfyrede effekt (p) i MW			
	$0,120 < p < 1$	$1 \leq p < 5$	$5 \leq p < 30$	$30 \leq p < 50$
Støv	Præstationskontrol ³⁾	Præstationskontrol	Præstationskontrol ¹⁾	AMS
CO	Præstationskontrol ³⁾	Præstationskontrol	AMS	AMS
NO _x	-	-	Præstationskontrol	AMS
O ₂ måling	AMS	AMS	AMS	AMS
Styring af forbrændingen ²⁾	+	+	+	+

1) Luftvejledningen forskriver AMS kontrol, men Miljøstyrelsen har blødt op på dette krav, så præstationskontrol, og gerne en støvvagt med alarm for forhøjet støvemission, kan accepteres.

2) Regulering af forbrændingsluft efter O₂ måling og indfødning efter temperatur. O₂-målingen skal styre indblæsning af forbrændingsluft, så konstant O₂ koncentration kan opretholdes, i hele driftsområdet, også ved On/Off regulering af brændselsindfødning. Forbrændingsluftblæseren må ikke kunne stoppe, før temperaturmåling i kedlen indikerer, at der ikke er mere brændsel i brændkammeret. Nye kedler bør have regulering af brændselsindfødning ved trinløs variabel hastighed på indfødningen.

3) Det bør dokumenteres ved mindst én præstationskontrol, at anlægget kan overholde emissionsgrænserne.

AMS: (**A**utomatisk **M**ålende **S**ystem)

Røggas og emissionsmængder fra træbrændsel

I dette bilag er vist beregninger af en række karakteristiske emissionsparametre. Det er:

1. Sammenhæng mellem indfyret effekt, indfyret mængde træbrændsel og røggasvolumen.
2. Emissions af partikler ved grænseværdien
3. Emission af CO ved grænseværdien
4. Emission af NO_x ved grænseværdien
5. Emissions af SO₂ ved anvendelse af ammoniumsulfat som hærder i MDF plader.
6. Emissions af HCl ved anvendelse af ammoniumchlorid som hærder i MDF plader.

Alle værdierne er beregnet ved 10 % ilt.

1. Sammenhæng mellem indfyret effekt, indfyret mængde træbrændsel og røggasvolumen

Indfyret effekt	Træ indfyret	Røggas mængder per time			
		Normaltilstand		Ved drift 110°C	Ved drift 150°C
MW	t/h	m ³ /h(n,t)	m ³ /h(n,våd)	m ³ /h	m ³ /h
0,1	0,021	167	175	246	271
0,2	0,043	335	350	491	543
0,5	0,107	837	875	1.228	1.356
0,9	0,192	1.506	1.576	2.210	2.441
1	0,213	1.673	1.751	2.456	2.713
2	0,426	3.346	3.501	4.912	5.425
5	1,065	8.365	8.753	12.280	13.563
10	2,130	16.730	17.506	24.560	27.125
30	6,390	50.191	52.519	73.681	81.376
50	10,650	83.651	87.532	122.801	135.626

Alt for træ med 10 % vandindhold og 10% ilt i røggassen

2. Emission af partikler ved grænseværdien

Indfyret effekt	Træ indfyret	Røggas volumen	Emission	
			Grænseværdi	Emission
MW	t/h	m ³ /h(n,t)	Mg/m ³ (n,t)	kg/h
0,1	0,021	167	300	0,05
0,2	0,043	335	300	0,1
0,5	0,107	837	300	0,3
0,9	0,192	1.506	300	0,5
1	0,213	1.673	40	0,08
2	0,426	3.346	40	0,16
5	1,065	8.365	40	0,3
10	2,130	16.730	40	0,7
30	6,390	50.191	40	2,0
50	10,650	83.651	40	3,3

3. Emission af CO ved grænseværdien

Indfyret effekt	Træ indfyret	Røggas volumen	Emission	
			Grænseværdi	Emission
MW	t/h	m ³ /h(n,t)	mg/m ³ (n,t)	kg/h
0,1	0,021	167	400	0,07
0,2	0,043	335	400	0,1
0,5	0,107	837	400	0,3
0,9	0,192	1.506	400	0,6
1	0,213	1.673	300	0,5
2	0,426	3.346	300	1,0
5	1,065	8.365	300	2,5
10	2,130	16.730	200	3,3
30	6,390	50.191	200	10,0
50	10,650	83.651	200	16,7

4. Emission af NO_x ved grænseværdien

Indfyret effekt	Træ indfyret	Røggas volumen	Emission	
			Grænseværdi	Emission
MW	t/h	m ³ /h(n,t)	mg/m ³ (n,t)	kg/h
0,1	0,021	167	Aktuel emission regnet til 600 mg/m ³ (n,t)	0,1
0,2	0,043	335		0,2
0,5	0,107	837		0,5
0,9	0,192	1.506		0,9
1	0,213	1.673		1,0
2	0,426	3.346		2,0
5	1,065	8.365	400	3,3
10	2,130	16.730	400	6,7
30	6,390	50.191	400	20,1
50	10,650	83.651	400	33,5

5. Beregning af koncentration af Svovl i trærester og i røggas ved forbrænding

Komponent:	Svovl, S	
Anvendt % (NH ₄) ₂ SO ₄ ved fremstilling	0,70	%
S koncentration anvendt ved fremstilling:	0,17	%
Noget svovl emitteres som SO ₂ ved fremstillingsprocessen:		
Andel der emitteres ved fremstilling:	50,0	%
S koncentration i færdig plade	0,08	%
Andel der emitteres ved forbrænding:	10,0	%

Beregnet koncentration i afkast:	33,1	mg/m ³ (n,t) 10 % O ₂ .
----------------------------------	------	---

Indfyret effekt	Træ indfyret	Røggas volumen	Beregnet HCl emission
MW	t/h	m ³ /h(n,t)	g/h
0,1	0,021	167	6
0,2	0,043	335	11
0,5	0,107	837	28
0,9	0,192	1.506	50
1	0,213	1.673	55
2	0,426	3.346	111
5	1,065	8.365	277
10	2,130	16.730	553
30	6,390	50.191	1.660
50	10,650	83.651	2.767

6. Beregning af koncentration af **Chlorid** i trærester og i røggas ved forbrænding

Komponent:	Chlorid, Cl	
Anvendt % NH ₄ Cl ved fremstilling	0,50	%
Cl koncentration anvendt ved fremstilling:	0,33	%
Noget clorid emitteres som HCl ved fremstillingsprocessen:		
Andel der emitteres ved fremstilling:	50,0	%
Cl koncentration i færdig plade	0,17	%
Andel der emitteres ved forbrænding:	5,0	%

Beregnet HCl koncentration i afkast:	10,8	mg/m ³ (n,t) 10 % O ₂ .
--------------------------------------	------	---

Indfyret effekt	Træ indfyret	Røggas volumen	Beregnet HCl emission
MW	t/h	m ³ /h(n,t)	g/h
0,1	0,021	167	2
0,2	0,043	335	4
0,5	0,107	837	9
0,9	0,192	1.506	16
1	0,213	1.673	18
2	0,426	3.346	36
5	1,065	8.365	90
10	2,130	16.730	181
30	6,390	50.191	543
50	10,650	83.651	904