

6. Træfyringens teori

En effektiv og fuldstændig forbrænding er en nødvendighed for udnyttelse af træ som et miljøvenligt brændsel. Ud over en høj energidnyttelse skal forbrændingsprocessen derfor sikre destruktion af træet og undgå dannelse af miljømæssigt uønskede forbindelser.

For at opretholde en forbrænding er der visse grundlæggende forhold, der skal være opfyldt /ref. 48/.

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

Det er vigtigt at forstå, at gasser brænder som flammer, og at faste partikler gløder, samt at ved forbrænding af træ frigives ca. 80% af energien som gas og resten frigives fra koksresten.

Under opblandingen af brændslet og luften er det vigtigt at opnå en god kontakt mellem luftens ilt og træets brændbare bestanddele. Jo bedre kontakt, jo hurtigere og bedre forbrænding. Hvis brændslet er på gasform, som f.eks. naturgas, er opblandingen optimal, idet vi har to luftformige stoffer, der kan blandes i netop det ønskede forhold. Forbrændingen kan forløbe hurtigt, og reguleringen er dermed også hurtig, da vi kan tilføre mere eller mindre brændsel. For at opnå tilnærmelsesvis samme situation med træ, vil det være nødvendigt at finmale træet til meget små partikelstørrelser (som mel). Disse fine partikler vil følge luftens bevægelser. En god opblanding kan herved opnås med en forbrænding, der minder om en gas- eller olieflamme. Fremstilling af træpulver koster imidlertid så meget, at træpulver kun anvendes i begrænset omfang i Danmark. I praksis vil man derfor opleve træ som brændsel i størrelser fra flis til brændeknuder.

Fyringsteknologien til træ og øvrige faste brændsler er derfor vanskeligere og mere kompliceret end

eksempelvis fyringsteknologien i et naturgas- eller oliefyret anlæg.

Forbrændingens faser

For at opnå en forbrænding skal brændslet igennem tre faser, som er illustreret i figur 13.

- Tørring
- Afgasning og forbrænding
- Koksudbrænding

Når træet opvarmes, begynder vandet at fordampe fra træets overflade. Derefter sker to ting; dels vil overfladen af træet begynde at afgasse, - pyrolysere (opvarmning af et brændsel uden tilgang af forgasningsmiddel f.eks. ilt og vand kaldes pyrolyse) - og dels vil temperaturen længere inde i træet stige med deraf følgende vandfordampning fra dets indre.

Efterhånden som vandet fordamper og transporteres bort, breder området, der pyrolyseres, sig ind i træet.

Den frigivne gas antændes over brændslet og tilbagestråler varme til den fortsatte fordampning og pyrolyse. Forbrændingsprocessen er nu selvkørende. Det afgassede træ bliver til glødende koks (trækul), der omsættes med ilt, indtil kun aske er tilbage.

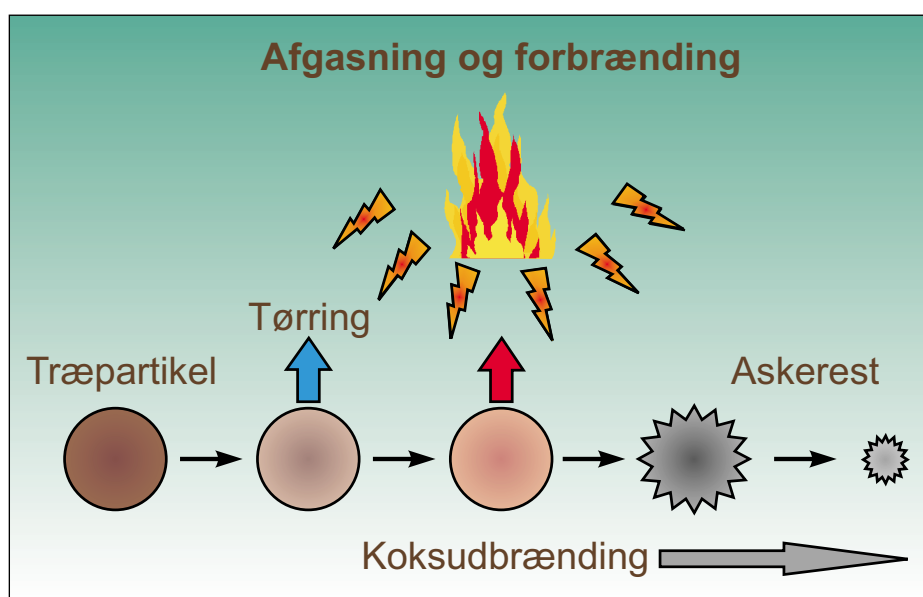
Brændselsstørrelse

Jo større brændselspartiklen er, jo længere tid tager forbrændingsprocessen. Man kan forestille sig en håndfuld savsmuld, der hurtigt vil brænde, hvis den kastes ind i et varmt bål. Der er god kontakt mellem brændsel og luft, idet de små partikler hurtigt tørrer, forgasser og brænder, så der opnås en høj forbrændingsintensitet.

Hvis man i stedet kaster en brændeknude ind i et varmt bål, vil der gå lang tid, før den er udbrændt. Man kan sammenligne med en steg, der sættes i ovnen. Selv om den har været en time i ovnen, er den stadig rå i midten. Størrelsen af brændslet har derfor stor betydning for forbrændingshastigheden.

Vandindhold

Vandindholdet i brændslet reducerer energiindholdet udtrykt ved brændværdien, $H_{n,v}$ (se kapitel 4), idet en del af energien skal anvendes til at fordampe vandet. Tørt træ har en høj brændværdi, og varmen fra forbrændingen skal bortledes fra fyrrummet for at hindre overtemperatur og deraf følgende materialeskader. Våd træ



Figur 13. En træpartikels forbrændingsforløb. Den friske træpartikel gennemgår tørring og afgasning, hvorved flammerne dannes. Partiklen udbrændes og ender som en askepartikel /ref. 49/.

har lille brændværdi per kg totalvægt, og forbrændingen skal isoleres for at holde på varmen, således at forbrændingsprocessen kan forløbe. Dette foregår typisk ved foring af ildstedet med ildfaste og varmeisolerende sten. Fyrrummet vil derfor normalt være designet til at brænde træ i et bestemt fugtighedsinterval.

Vandindhold i træ på over 55-60% af totalvægten vil gøre det meget svært at opretholde forbrændingsprocessen.

Askeindhold

I brændslet findes forskellige urenheder i form af ubrændbare bestanddele - aske. I sig selv er asken uønsket, da den kræver en partikelrensning af røggassen med en efterfølgende bortskaffelse af aske og slagge. Asken i træ stammer primært fra jord og sand opfanget i barken. En mindre del kommer desuden fra salte optaget under træets vækstperiode.

I asken findes ligeledes tungmetaller, der er kilde til en uønsket miljøpåvirkning, men indholdet af tungmetallerne er generelt lavere end fra andre faste brændsler.

En speciel egenskab ved asken er dens varmeisolerende egenskab. For brændeovne vil askelaget i bunden danne en varm flade, der hjælper med den endelige udbrænding af trækullet. For ristefyrede anlæg er askeindholdet væsentligt til at sikre beskyttelse af risten mod varmestrålingen fra flammerne.

I træ findes også salte, der har betydning for forbrændingsprocessen. Det drejer sig primært om salte på basis af kalium (K) og tildels

	% af TS
Kalium (K)	0,1
Natrium (Na)	0,015
Fosfor (P)	0,02
Kalcium (Ca)	0,2
Magnesium (Mg)	0,04

Tabel 11: Typiske mineralske fraktioner i træflis angivet i % af træets tørstof (TS). Til sammenligning med halm ligger K-indholdet i træflis ca. 10 gange lavere /ref. 50, 51/.

		Træflis	Halm (hvede)	Variation efter træsort (eks.)		
				Bøg	Fyr	Gran
Kulstof	C % af TS	50	47,4	49,3	51	50,9
Hydrogen	H % af TS	6,2	6	5,8	6,1	5,8
Ilt	O % af TS	43	40	43,9	42,3	41,3
Kvælstof	N % af TS	0,3	0,6	0,22	0,1	0,39
Svovl	S % af TS	0,05	0,12	0,04	0,02	0,06
Klor	Cl % af TS	0,02	0,4	0,01	0,01	0,03
Aske	a % af TS	1	4,8	0,7	0,5	1,5
Flygtige bestanddele	% af TS	81	81	83,8	81,8	80
Effektiv brændværdi	MJ/kg TS	19,4	17,9	18,7	19,4	19,7
Typisk vandindhold	%	35-45	10-15			
Effektiv brændværdi	MJ/kg	9,7-11,7	14,8-15,8			

Tabel 10: Brændselsdata for træflis samt sammenligning med halm. Det bemærkes, at elementerne i træets tørstof (TS) varierer dels efter træsort, dels efter vækstbetingelser. Eksempelvis er vist variationen mellem bøg, fyr og gran. For træflis gælder, at barkdelen indeholder ca. 6% aske og træveddet kun ca. 0,25% aske /ref. 50, 51/.

natrium (Na). K og Na giver en klæbrig aske med risiko for belægninger i kedelparten. Na- og K-indholdet i træ ligger normalt så lavt, at der ikke opstår problemer med de traditionelle fyringsteknologier.

Flygtige bestanddele

Træ og andre biomasser indeholder omkring 80% flygtige stoffer (i % af tørstof). Det betyder, at træets bestanddele under opvarmning vil frigive 80% af sin vægt som gasser, mens resten er trækul. Dette er blandt andet årsagen til, at en sæk trækul synes meget let i forhold til det visuelle volumen. Trækullene har stort set beholdt det friske træes oprindelige volumen, men har mistet 80% af vægten.

Det høje indhold af flygtige bestanddele betyder, at forbrændingsluften generelt skal tilsættes over brændselslaget (sekundærluft), hvor selve gasforbrændingen foregår, og ikke under brændselslaget (primærluft).

Luftoverskud

Et givent brændsel kræver en given mængde luft (ilt) for at blive omsat støkiometrisk, svarende til at luftoverskudstallet (λ) er lig 1. Brændslet omsættes støkiometrisk, når den eksakte iltmængde, der kræves for at omsætte alt brændslet under ideelle betingelser, er til stede.

Tilføres mere ilt end svarende til lig 1, fås ilt i røggassen. Ved f.eks. lig 2 tilføres dobbelt så meget luft som nødvendigt for at forbrænde brændslet.

I praksis vil forbrændingen altid ske med et luftoverskudstal højere end 1, da det ikke er muligt at få en tilfredsstillende forbrænding med en støkiometrisk luftmængde. I tabel 12 er de typiske luftoverskudstal vist sammen med den tilsvarende resulterende iltprocent i røggassen.

Luftoverskudstallet afhænger, som det ses af tabel 12, i høj grad af fyringsteknologien og i nogen grad af brændslet.

Miljø

Brændslet har indflydelse på forbrændingskvaliteten. Ved fuldstæn-

	Luftoverskudstal λ	O ₂ , tør (%)
Pejs åben	>3	>14
Brændeovn	2,1-2,3	11-12
Fjernvarme skovflis	1,4-1,6	6-8
Fjernvarme træpiller	1,2-1,3	4-5
Kraftvarme træpulver	1,1-1,2	2-3

Tabel 12. Typiske luftoverskudstal, λ , og resulterende iltindhold i røggassen /ref. 23/.

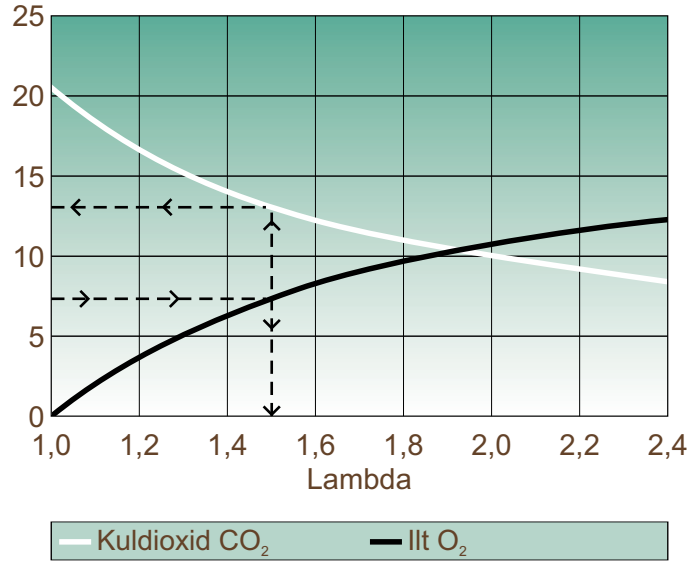
dig forbrænding dannes kuldioxid (CO_2) og vand (H_2O). En forkert kombination af brændsel, anlægstype og lufttilsætning kan give en dårlig udnyttelse af brændslet med heraf følgende u hensigtsmæssig miljøpåvirkning.

En effektiv forbrænding kræver tilstrækkelig:

- Høj temperatur
- Iltoverskud
- Opholdstid
- Opblanding

Herigennem sikres en lav emission af kulmonoxid (CO), kulbrinter og polyaromatiske hydrocarboner (PAH'er) samt et lille indhold af uforbrændt kulstof i slaggen. Desværre er disse betingelser (høj temperatur, højt luftoverskud, lang opholdstid) netop en væsentlig årsag til dannelse af NO_x . Den anvendte teknologi skal derfor være såkaldt "lav- NO_x ", dvs. teknologi

Procent i tør røggas



Figur 14: Træforbrænding foregår bedst med et luftoverskudstal λ på mellem 1,4 og 1,6. Som eksempel måles der 7,5% ilt i røggassen. Kurven viser, at der er ca. 13% kuldioxid, og luftoverskuddet er 1,5.

med anvendelse af metoder, der giver en mindre NO_x -emission.

Røggassen vil ud over CO_2 og H_2O indeholde luft (O_2 , N_2 og Ar)

samt en større eller mindre del uønskede reaktionsprodukter såsom CO , kulbrinter, PAH, NO_x m.v.