

4. Køb og salg af træ til energi

Der omsættes mange forskellige former for træbrændsler i Danmark f.eks. brænde, flis, træpiller og træbriketter, bark, savsmuld og kutterspåner. I det følgende beskrives de mest almindelige metoder til køb og salg af disse brændsler.

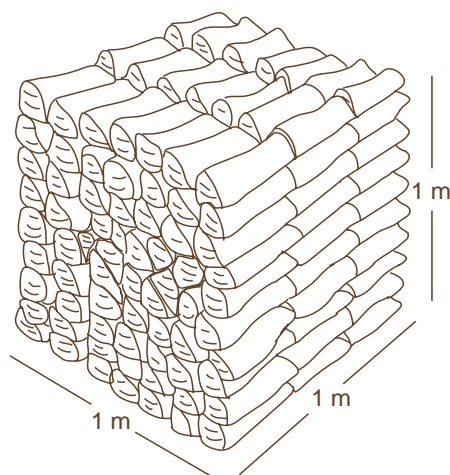
Brænde

Almindelig brænde afregnes efter volumen. Der findes mange forskellige volumenangivelser for træ, men de refererer alle til to principielt forskellige enheder:

- En rummeter træ angiver den mængde træ inklusiv luft, der kan være i en stabel eller kasse med udvendige mål på 1 m 1 m 1 m.
- En kubikmeter fastmasse angiver den mængde fast træ, der nøjagtigt fylder 1 m³, f.eks. en massiv træblok med længde, højde og bredde på 1 m.

I Danmark handles brænde hovedsageligt i rummeter (en rummeter savet kløvet og stablet brænde, en rummeter helt træ eller en kasserummeter) /ref. 38/.

En rummeter savet, kløvet og stablet brænde indeholder mest træ af de tre rummetre, men mængden af træ afhænger af stakkens tæthed og stykkernes størrelse. Jo større



Figur 8: En rummeter savet, kløvet og stablet træ. Brændværdien for en rummeter bøg med 20% vandindhold ligger på 7,6-8,6 GJ.

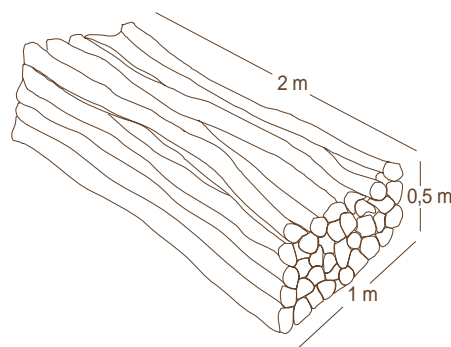
stykker, jo mere træ er der i en rummeter.

En rummeter helt træ er træ, der stables i skoven efter fældning og opskæring. Oftest er det i to-meter stykker, men for nåltræ også i længder på en og tre meter. Det er typisk træ, der leveres til selvopskæring. Der kan være en masse luft i sådan

Træart	Kg tørstof per m ³	I forhold til bøg i %
Avnbøg	640	110
Bøg og eg	580	100
Ask	570	98
Ahorn	540	93
Birk	510	88
Bjergfyr	480	83
Gran	390	67
Poppel	380	65

Tabel 5: De mest almindelige danske træarters gennemsnitlige indhold af tørt træ per kubikmeter fastmasse /ref. 39/.

en bunke. Er stykkerne lange og krumme og evt. stablet med kran, er indholdet af træ lille. En stabel, der består af korte stykker med stor diameter, indeholder mere træ, end hvis den består af lange, tynde stykker.



Figur 9: En rummeter helt træ. En rummeter bøg bestående af 1-meter-stykker indeholder ca. 65% fastmasse, mens en rummeter 3-meter-stykker kun indeholder ca. 55%. Brændværdien for en rummeter bøg i 2-meter-stykker med 20% vandindhold er ca. 6,5 GJ.

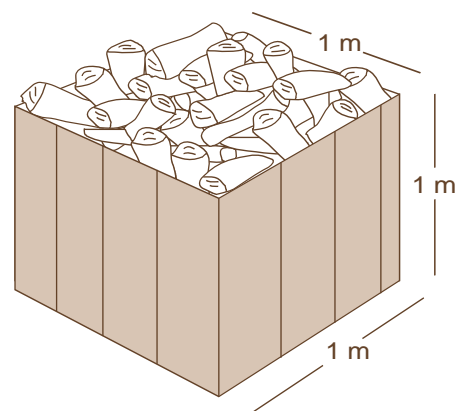
En kasserummeter består af træ, der ikke er stablet, men blot hældt ned i en kasse på 1 m 1 m 1 m. Det giver plads til masser af luft, fordi stykkerne ligger hulter til bulter. En kasserummeter brænde anslås at indeholde mellem halvt og to trediedele så meget fastmasse som en rummeter savet, kløvet og stablet brænde.

Ved fastsættelsen af en rummeter brændes værdi tager man hensyn til brændets forarbejdningsgrad, træarten og fastmassetallet eller fastmasseprocenten.

Forarbejdningsgraden beskriver, om brændet er skåret i passende længde og kløvet. Alle danske træarter har stort set den samme brændværdi per kg tørstof, men deres tørvægt er meget forskellig per volumenenhed (tabel 5).

Fastmassetallet eller fastmasseprocenten angiver andelen af fast træmasse i en rummeter brænde. Er fastmassetallet for eksempel 0,65, så er fastmasseprocenten 65, og det betyder i begge tilfælde, at én rummeter brænde indeholder 0,65 kubikmeter fast træ eller 65% træ. Resten er luft.

Fastmassetallet varierer en hel del og navnlig spiller den omhu, hvormed brændet er stablet, en stor rolle. Træarten og brændestykkernes længde påvirker også fastmassetallet, som det fremgår af tabel 6.



Figur 10: En kasserummeter. For bøg og gran med et vandindhold på 20% af totalvægten er fastmasseindholdet 45%. Brændværdien for en kasserummeter bøg i 40-cm-stykker med 20% vandindhold er ca. 4,8 GJ.

Indholdet af træ er for samme fastmassetal det samme i en rummeter brænde uanset størrelsen af vandindholdet. Ved køb og salg af brænde tages der derfor ikke meget hensyn til vandindholdet, idet det dog er en forudsætning for fyring med brænde i en brændeovn, at brændet er tørt. Det vil sige, at vandindholdet i procent af totalvægten er under 20%.

Flis

Handel med brændselsflis kræver en opmåling af flisen, hvori prisen fastsættes under hensyn til flisens kvalitet og brændværdi.

Kvalitet

Flisens kvalitet afhænger af flisstykkernes størrelsesfordeling, af vandindholdet i flisen og af flisens indhold af fremmedlegemer (jord, sten og lignende). Man forbinder som regel flisens kvalitet med dens håndterings- og forbrændingsegenskaber. En dårlig fliskvalitet er således ofte ensbetydende med en vanskelig håndtering, dvs. en uhensigtsmæssig indflydelse på flisens friktionsvinkel, skridningsvinkel og flisens tilbøjelighed til at danne bro. Flisens kvalitet kan også have en væsentlig indflydelse på forbrændingens kvalitet (nyttevirkningen) og på røgens og askens indhold af skadelige stoffer (f.eks. cadmium).

I 1987 udgav Dansk Skovforening en norm for bestemmelse af kvaliteten på brændselsflis med hensyn til størrelsesfordelingen for flis hugget i gennemsnitslængder fra 5 til 50 mm /ref. 26/. Tiden og den tekniske udvikling, der er sket indenfor fyringsteknologien, er løbet fra normen, og den er under revision (se kapitel 2.4).

Brændværdi

Den mængde energi per vægt- eller volumenenhed, som frigøres ved fuldstændig forbrænding af et brændstof, benævnes brændværdien. Der anvendes forskellige brændværdiangivelser: øvre brændværdi, nedre brændværdi og effektiv brændværdi. Den mest anvendte angivelse



foto: biopress/forben skøtt

Oparbejdning af brænde, der stables kunstfærdigt i gammeldags, runde brændestabler, der fremmer tørringen.

i Danmark og den, der danner grundlag for køb og salg, er den nedre brændværdi.

Den øvre brændværdi eller, som den også benævnes, kalorimetrisk brændværdi, defineres som den varmemængde, der frigøres ved fuldstændig forbrænding af en veldefineret mængde træ ved konstant tryk og under forudsætning af, at såvel brændets oprindelige vandindhold, som det vand, der dannes under forbrændingen (ca. 0,5 kg vand per kg tørstof), er kondenseret. Enhed: Ofte MJ per kg eller GJ per ton.

Den nedre brændværdi defineres som den varmemængde, der udvikles ved fuldstændig forbrænding af en veldefineret mængde træ under forudsætning af, at træets vandindhold og det vand, som dannes ved forbrænding af træet selv (ca. 0,5 kg vand per kg tørstof) befin-

der sig på gasform. Det vil sige, at varmegenindvindingen ved kondensation af vanddamp i røggassen ikke medregnes. Enhed: Ofte MJ per kg eller GJ per ton.

Den mængde vand, som træbrændslet i praksis altid indeholder, skal fordampes i det første stadie af forbrændingen. Energien hertil kommer fra forbrændingen af træet. Det medfører, at mængden af energi, der reelt kan udnyttes, formindskes. Ved hjælp af følgende formel kan vandindholdets indflydelse på brændværdien beregnes:

$$H_{n,v} = H_n \left(\frac{100 - F}{100} \right) - \frac{2,442}{100} F$$

hvor:

- $H_{n,v}$ er nedre brændværdi for vådt træ (GJ per ton totalvægt)
- H_n er nedre brændværdi for tørt træ (GJ per ton totalvægt)

- F er vandindholdet i procent af totalvægt
- 2,442 er vands latente fordampningsvarme ved 25°C (GJ per ton)

Vær opmærksom på følgende forhold, når brændværdier ses angivet /ref. 15/:

- Hvilken brændværdi er der tale om: (1) øvre brændværdi, (2) nedre brændværdi for ovntørt træ, eller (3) nedre brændværdi for vådt træ.
- Vær opmærksom på, at visse steder anvendes betegnelsen effektiv brændværdi i stedet for nedre brændværdi for vådt træ.
- Er der tale om nedre brændværdi, dvs. brændværdien fratrukket kondensationsvarmen for dannet vanddamp, skal vandindholdet være specificeret. Vær opmærksom på, om vandindholdet da er angivet på (1) totalvægt-basis (F) eller (2) tørstof-basis (u). I udenlandsk og noget dansk litteratur anvendes symbolerne »F« og »u« ikke nødvendigvis, men f.eks. »w« i stedet for »F«.
- Dernæst skal det undersøges, om den nedre brændværdi ved det givne vandindhold er opgivet: (1) per tørstofvægt, (2) per totalvægt, (3) per rm eller (4) per m³ fastmasse.

Afregning af skovflis

Langt de fleste flisfyrede danske varme- og kraftvarmeværker afregner skovflis efter flisens energiindhold bestemt som den nedre brændværdi per ton totalvægt. I enkelte tilfælde kan der dog forekomme partier, som afregnes per rummeter flis. Den nedre brændværdi beregnes efter ovenstående formel, der kan omregnes til:

For skovflis af skandinavisk oprindelse bestående af overvejende fyrre-, gran- og birketræ.

$$H_{n,v} = 19,2 - 0,2164 \times F$$

(GJ per ton totalvægt)

hvor F er flisens vandindhold i procent af flisens totalvægt.

For blandingsflis af forskellig oprindelse bestående af overvejende løvtræ eller ukendt sammensætning

$$H_{n,v} = 19,0 - 0,2144 \times F$$

(GJ per ton totalvægt)

Brændets længde m	Fastmassen i bølgebrænde	Fastmassen i granbrænde
0,40	0,70	0,80
1,00	0,65	0,75
2,00	0,60	0,70
3,00	0,55	0,65

Tabel 6: Gennemsnitlige og omtrentlige tal for fastmassen i en rummeter bølge- og granbrænde, der er stablet i forskellige afkortningslængder /ref. 39/.

hvor F er flisens vandindhold i procent af flisens totalvægt.

Bestemmelsen af værdien af et lastbillæs med flis kræver viden om læssets vægt og læssets vandindhold. Læssets vægt bestemmes ved at veje lastbilen med og uden læs på en brovægt. Differencen viser læssets totalvægt, det vil sige vægten af læssets indhold af tørstof + vand.

Læssets vandindhold bestemmes i praksis repræsentativt ved udtagelse af prøver på i alt 5-10 liter i en spand 3-5 steder i stakken efter aflæsning. Derefter blandes disse prøver grundigt, og der udtages én prøve på ca. 3 liter til bestemmelse af det gennemsnitlige vandindhold i læsset. Vandindholdet opgøres normalt i procent af totalvægten på følgende måde:

- Prøven vejes umiddelbart efter udtagning.
- Prøven tørres i tørreskab ved 105 °C til konstant vægt. I praksis tørres 3 liter flis fordelt i en bakke til konstant vægt i et ventileret tørreskab på 16 timer.
- Differencen imellem den friske prøves vægt og den tørre prøves vægt i procent af den friske prøves vægt viser vandindholdet i procent af totalvægten (F).

$$\text{Vandindhold} = \frac{\text{frisk vægt} - \text{ovntør vægt}}{\text{frisk vægt}} \cdot 100\%$$

	Tørstoffets brændværdi i GJ/ton
Ren vedmasse	19,5
Skovflis	19,2
Bark	18,0
Træpiller	19,0

Tabel 7: Den nedre brændværdi for forskellige former for biomasse /ref. 40/.

Læssets brændværdi

Læssets brændværdi i GJ per ton totalvægt bestemmes ved anvendelse af en af de to ovenstående formler for den nedre brændværdi ($H_{n,v}$). Derefter ganges læssets vægt i ton total med antal GJ per ton og med den aftalte pris per GJ (f.eks. i 1998 35 kr per GJ). Figur 11 illustrerer bl.a. den nedre brændværdi (totalvægt-basis) i GJ per ton som funktion af vandindholdet i procent af totalvægten.

Beregningseksempel for nåletræskovflis:

- Vandindhold i flisen: 55% af totalvægt
- Læssets vægt: 15 tons
- Energifris (1998): 35 kr pr GJ
- Flisens brændværdi $H_{n,v}$: 19,2 GJ/ton - 0,2164 · 55 = 7,30 GJ/ton
- Flisens energiindhold: 15 tons · 7,30 GJ/ton = 109,50 GJ
- Flisens pris: 35 kr/GJ · 109,50 GJ = 3.832,50 kr

Den danske metode, der har været anvendt siden 1980, er enkel og let at praktisere, og der har kun været mindre problemer i praktisk brug. Metoden kan forenkles, hvis der er tale om levering af et stort antal læs fra samme leverandør. I så fald kan antallet af flisprøver til bestemmelse af vandindholdet i læssene formindskes. Afvigelser fra den officielle prøveudtagningsmetode skal aftales ved kontraktens indgåelse. Det aftales ligeledes, hvem der udtager og behandler prøverne.

Træpiller og træbriketter

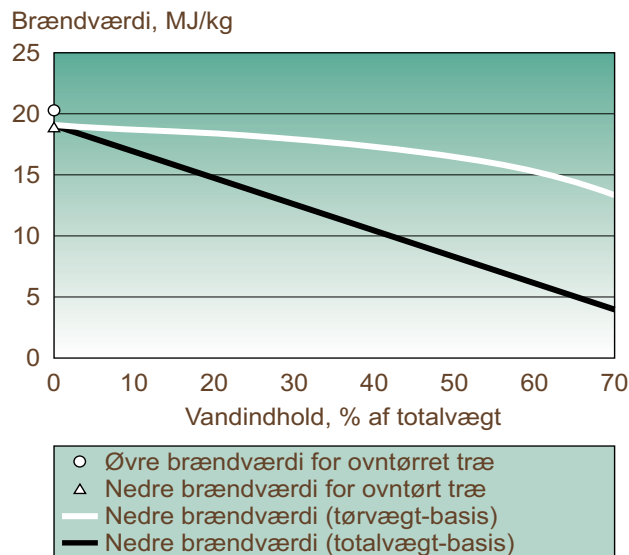
Af disse to brændselstyper har træpiller langt det største omfang. Pillerne anvendes i fjernvarmeværker og har der den fordel, at de uden vanskeligheder kan anvendes i kedler, der er bygget til fyring med kul. Udover anvendelse i fjernvarmeværker

er træpiller meget populære til opvarmning af enfamiliehuse, hvor de typisk erstatter oliefyr eller elopvarmning.

Træpiller og træbriketter handles per kg totalvægt. Vandindholdet er så lille (5-10% af totalvægten) og ensartet, at man udmærket kan undlade at bestemme vandindholdet i den enkelte leverance. Man mangler i Danmark en standard eller en norm for bestemmelse af pillernes kvalitet, men lovgivningen sætter grænser for, hvor mange fremmede stoffer, som pillerne må indeholde /ref. 31/.

Bark

Dansk bark anvendes i stort omfang til fyring på fjernvarmeværker og afregnes på samme måde som brændselsflis. Det vil sige, at læssets vægt og vandindhold bestemmes og der betales per GJ. Men da bark ofte er af ringere kvalitet end flis, så er prisen per GJ som regel mindre end for flis.



Figur 11: Øvre og nedre brændværdi for barkfrit ved som funktion af vandindholdet i % af totalvægt /ref. 15/.

Savsmuld og kutterspåner

Savsmuld og kutterspåner kan handles på samme måde som bark og flis. Det vil sige ved betaling efter energiindhold fastlagt ved brændslets totalvægt og vandindhold. Men

hvor brændslet er tørt med et vandindhold under 10-15% af totalvægten vil man ofte nøjes med at veje læsset og så aftale en pris per ton total uafhængigt af en mindre variation i det næsten tørre materiale.