

Bibliotheek Hoofdkantoor TNO  
's-Gravenhage  
23 JUNI 1978

# Versneld drogen van hout

DOOR

Ir. J. F. RIJSDIJK

**HOUTINSTITUUT TNO**

**DELFT**

**november 1977**

---

Inhoud	blz.
Verklaring van enige begrippen betreffende	5
Het hout	5
Het klimaat	9
Het drogen van hout. Inleiding	11
Bijzondere methoden van houtdrogen	13
A. Drogen bij temperaturen boven 100°C	13
B. Drogen in persen bij hoge temperaturen	16
C. Hoogfrequent drogen	17
D. Drogen bij verminderde druk	19
E. Drogen in oplosmiddelen. (solvent drying)	23
Drogen in damp-luchtmengsels bij temperaturen beneden 100°C.	27
De invloed van de temperatuur, relatieve vochtigheid	
en luchtsnelheid op het drogen	27
De invloed van de temperatuur	27
De invloed van de relatieve vochtigheid	28
De invloed van de luchtsnelheid	32
Invloed van de houtsoort	35
De invloed van de houtafmetingen op de droogsnelheid	37
De houtdikte	37
De houtbreedte	39
Het vochtgehalte van het hout	41
De eindvochtgehalten	41
De hoeveelheid te verdampen water bij drogen van het hout	41
De stapellatten:	45
De afmetingen	45
De houtsoort	45
De onderlinge afstand in de houtstapels	46
Beschadigingen in gedroogd hout en hun oorzaken.	47
I Beschadigingen, ten gevolge van natuurlijke gebreken	47
Vervormingen ten gevolge van krimp	47
Vervorming ten gevolge van natuurlijke gebreken in het hout	49
a. reactiehout	49
b. schuin draadverloop en draaigroei	54
c. kwasten en het draadverloop om de kwasten	54
d. sterke kruisdraad	55
e. golvende en warrige draad, slingerend hart e.d.	58
II. Beschadigingen ten gevolge van onjuist drogen	58
a. Scheuren in het oppervlak, en in de kopse einden	58
b. Collaps	59
c. Inwendige scheuren	62
d. Vervormingen	63
e. Stapellatvlekken	64

Droogspanning	blz. 65
De invloed van de versheid van het hout op het gedrag van het hout tijdens het drogen	68
Voorbehandelingen van het te drogen hout	69
a. Behandeling van het hout met chemicaliën	69
b. Bevriezen van hout	70
c. Stomen van hout	72
1. Invloed van het stomen op de groeispanningen in vers gezaagd hout	73
2. Invloed van het stomen op de krimp	74
3. Invloed van het stomen op het drogen	74
De keuze tussen het drogen van hout in ongekantrechte en in bestek gezaagde vorm.	77
Methoden van drogen	81
I Drogers met geforceerde luchtcirculatie	81
a. Toegepaste materialen	82
b. Luchtcirculatie	82
c. De benodigde energie	84
d. Regeling van het klimaat in de droger	84
e. Direct verwarmde drogers	87
II Het drogen met behulp van ontvochtigers	87
a. Het principe van de ontvochtiger	88
b. De capaciteit van een ontvochtigingsinstallatie	90
c. Schatting van de droogtijd en het energieverbruik	91
d. De klimaatregeling in een droogruimte met een ontvochtigingsinstallatie.	95
III Het drogen in geklimatiseerde droogruimten	
a. Kenmerken van de geklimatiseerde droogruimte	95
b. Verstoring van het systeem door zeer vers hout	103
c. Het nadrogen van vuren timmerhout tijdens opslag.	103
Opslag van kunstmatig gedroogd hout	109
Literatuur	111

## VERKLARING VAN ENIGE BEGRIPPEN

### HET HOUT

#### Het houtvochtgehalte ( $\chi$ )

geeft aan de hoeveelheid vocht (water) die in een stuk hout aanwezig is, berekend ten opzichte van het geheel droge gewicht van datzelfde stuk hout. Als verhoudingsgetal wordt het vochtgehalte uitgedrukt in %. Vanwege de berekening ten opzichte van het geheel droge gewicht kan het percentage boven 100 liggen voor lichtere houtsoorten bij volledige verzadiging, in vers gekapte toestand en voor spinhout in verse toestand.

In formule:  $\frac{\text{gewicht nat} - \text{gewicht droog}}{\text{gewicht droog}} \times 100$  in %

( $\chi = \text{chi}$ )

#### Het beginvochtgehalte ( $\chi_b$ )

is het vochtgehalte aan het begin van het droogproces. Het beginvochtgehalte is afhankelijk van de voorbehandeling van het hout, de tijdsduur en het jaargetijde tussen het verzagen van de stam en het begin van het droogproces. Het kan variëren van zeer hoog bij vers hout, afhankelijk van de houtsoort tussen ca. 50 en 180%, tot laag 20 à 25%, bij luchtgedroogd hout.

#### Het eindvochtgehalte ( $\chi_e$ )

is het gemiddelde vochtgehalte dat met behulp van de droogbehandeling wordt bereikt. De hoogte hiervan is afhankelijk van het gebruiksdoel van het hout (zie blz. 41).

#### Het evenwichtsvochtgehalte ( $\chi_\varphi$ )

is het vochtgehalte dat hout als gevolg van zijn hygroscopische eigenschap uiteindelijk bereikt onder constante klimatologische omstandigheden. De relatieve vochtigheid is hierbij de bepalende factor. Daarnaast is het evenwichtsvochtgehalte afhankelijk van:

##### 1. de houtsoort.

Hoewel binnen een houtsoort het evenwichtsvochtgehalte bij een bepaalde R.V. ( $\varphi$ ) een zekere spreiding vertoont, kunnen de gemiddelde evenwichtsvochtgehalten voor de vele houtsoorten sterk van elkaar verschillen. Zo kan bij  $\varphi = 90\%$  het vochtgehalte bij vochtafgifte variëren tussen ca. 23 en 17% en bij  $\varphi = 60\%$  tussen ca. 14 en 10%.

##### 2. vochtafgifte en vochtopneming.

Het evenwichtsvochtgehalte ligt bij een gelijke RV bij vochtafgifte of uitdrogen (desorptie) hoger dan bij vochtopneming (adsorptie). Dit verschil in gedrag onder overigens gelijke omstandigheden heet hysteresis en is in het algemeen het grootst in het gebied van  $\varphi = 50\%$  tot 90%. Afhankelijk van de houtsoort kan het grootste verschil tussen vochtafgifte en vochtopneming van ongeveer 1% tot meer dan 4% bedragen.

##### 3. de temperatuur.

Uitgaande van 0°C neemt bij verhoging van de temperatuur het evenwichtsvochtgehalte af, tussen 0° en ongeveer 25° weinig, maar bij verdere stijging van de temperatuur wordt de afneming steeds meer. Tussen 0° en 20° is het ver-

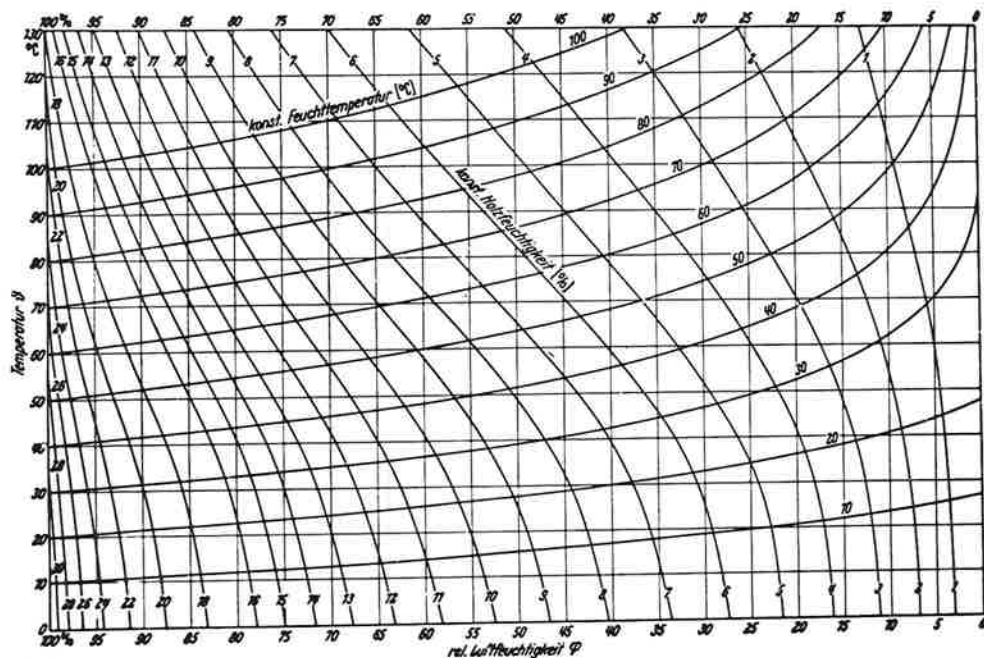


Fig. 1  
Evenwichtsvochtgehalte van naaldhout (algemeen) in afhankelijkheid van de temperatuur ( $\theta$ ) en de relatieve vochtigheid ( $\varphi$ ) volgens Keylwerth.

schil ongeveer een half procent. Bij geringe temperatuurverschillen is deze invloed van geen belang.

#### Het vezelverzadigingspunt (afkorting: v.v.p.) ( $\chi_{98}$ ).

Hieronder verstaat men het vochtgehalte dat wordt bereikt bij klimatiseren van het hout boven gedestilleerd water. In het algemeen wordt hiervoor een RV van 100% opgegeven. In feite is dit niet juist, aangezien bij 100% R.V. de geringe capillaire krachten, die in wijdere capillairen in het hout heersen, ervoor zullen zorgen dat ook de wijde capillairen goed gevuld raken met water. Bij werkelijk 100% R.V. zal het vochtgehalte van het hout dan ook in de buurt van het totale verzadigingspunt moeten liggen. Daarbij komt, dat een R.V. van werkelijk 100% voor praktisch gericht onderzoekwerk niet te realiseren is.

Om deze redenen wil men de R.V. bij het klimatiseren boven gedestilleerd water wel op 97 of 98% stellen.

Men spreekt altijd van het vezelverzadigingspunt als het vochtgehalte waarbij de wanden van het houtweefsel geheel met water verzadigd zijn, maar daarnaast nog geen "vrij water" of capillair gebonden water in het hout voorkomt. Ook deze opvatting behoeft een correctie. Bij een veel lager vochtgehalte (16 à 20%) beginnen bij vocht opneming of adsorptie de allerfijnste capillairen, waarin de grootste capillairkrachten heersen, reeds vocht vast te houden. Dit is een gevolg van het afnemen van de kracht, waarmede vocht in de wanden van het houtweefsel wordt gebonden, met toenemend vochtgehalte. Op een gegeven moment wordt deze kracht kleiner dan de grootste in het hout heersende capillairkrachten. De vezelwanden

zijn echter nog niet verzadigd en bij verdere vocht opneming heeft dan ook nog steeds zwellings plaats.

Het vezelverzadigingspunt kan men ook zien als het vochtgehalte waarbij de maximale zwellings bij adsorptie wordt bereikt. Men zou ook kunnen zeggen: het vochtgehalte waarbij de krimp begint. Aangezien hout echter reeds krimpverschijnselen kan vertonen bij veel hogere vochtgehalten, indien men van vers hout uitgaat, ontstaan problemen bij het hanteren van de krimp voor het bepalen van het vezelverzadigingspunt.

Voor het vezelverzadigingspunt wordt derhalve in het algemeen het evenwichtsvochtgehalte genomen bij adsorptie en klimatiseren boven gedestilleerd water.

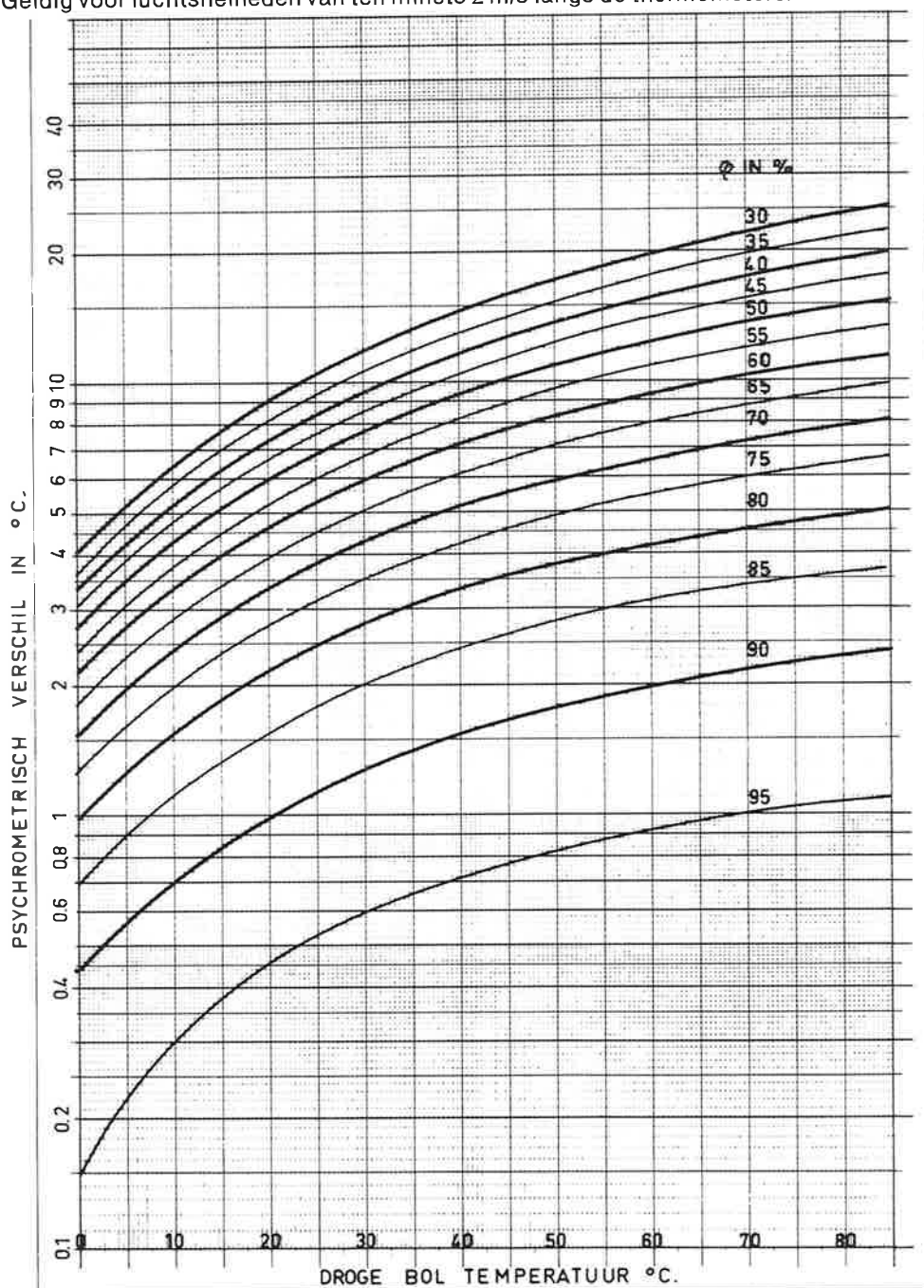
**Dichtheidsgetal** (onbenoemd getal)

is de verhouding van de massa van het hout in geheel droge toestand tot het volume in natte toestand dus:

$$\frac{\text{massa geheel droog}}{\text{volume nat}}$$

Boven het vezelverzadigingspunt is het volume praktisch constant aangezien vochtveranderingen dan geen krimpen of zwellen meer tengevolge hebben. Het dichtheidsgetal varieert tussen ca. 300 en 900.

Fig. 2  
 Psychrometrische grafiek voor het bepalen van de relatieve vochtigheid met behulp van een psychrometer volgens Assmann.  
 Geldig voor luchtsnelheden van ten minste 2 m/s langs de thermometers.



## HET KLIMAAT

### **Relatieve vochtigheid** (afkorting: R.V.)

is de verhouding tussen de hoeveelheid waterdamp die in de lucht aanwezig is en de hoeveelheid die de lucht onder gelijke omstandigheden voor temperatuur en druk maximaal kan bevatten. Men kan ook zeggen: de verhouding tussen de heersende of partiële waterdampdruk en de verzadigingsdruk. Als verhoudingsgetal wordt  $\varphi$  vaak uitgedrukt in % maar ook in een getalwaarde tussen 1 en 0 waarbij 1 = 100% = het maximale waterdampgehalte.  
( $\varphi = f_i$ ).

### **De temperatuur**

wordt gemeten in graden celcius met een normale kwikthermometer of langs elektronische weg, waarbij de meetwaarde wordt "terug vertaald" in graden celcius. Daar het glazen kwikreservoir van de thermometer in direct contact staat met de lucht waarvan men de temperatuur meet, wordt deze temperatuur ook droge temperatuur of droge bol (= reservoir) temperatuur genoemd in tegenstelling tot:

### **De natte bol temperatuur**

van lucht wordt gemeten met een thermometer die voorzien is van een kousje om het kwikreservoir. Het kousje wordt nat gemaakt en een luchtstroom wordt langs dit kousje gevoerd. Voor de verdamping van deze dunne waterlaag is warmte nodig: de verdampingswarmte.

De opstelling moet zodanig zijn, dat warmte-straling of- geleiding naar de natte bol wordt voorkomen, zodat de verdampingswarmte uitsluitend door de langsstromende lucht wordt geleverd. Door de verdamping koelt de waterlaag af tot een temperatuur die bij de heersende droge bol temperatuur overeenkomt met de verzadigingsdruk van de in de lucht aanwezige waterdamp (de partiële waterdampdruk). De natte bol temperatuur is derhalve direct afhankelijk van de droge bol temperatuur en de R.V. Maar ook: de R.V. kan direct worden afgeleid uit de droge- en natte bol temperaturen. Deze beide vormen samen de:

### **Psychrometrische meting.**

Twee precies gelijk aanwijzende thermometers vormen de basis voor de meting. Eén der twee thermometers wordt als natte bol thermometer ingericht en een luchtstroom wordt langs beide thermometer-reservoirs gevoerd.

Het apparaat waarmee dit gebeurt heet een psychrometer. Het bepalen van de R.V. uit de gemeten temperaturen gebeurt met behulp van een psychrometrische grafiek of een z.g. Mollierdigram. De eerste is de eenvoudigste. In een psychrometrische grafiek is de droge bol temperatuur op de X-as aangebracht en het verschil tussen droge en natte boltemperatuur, het psychrometrisch verschil, op de Y-as. Lijnen van constante RV zijn in de grafiek opgenomen (Fig. 2) (berekend via de formule van Sprung).

Meestal zijn de grafieken berekend voor een luchtsnelheid van ten minste 2 m/s doch er bestaan ook grafieken voor luchtsnelheden van ongeveer 1 m/s.





## HET DROGEN VAN HOUT

### INLEIDING

Het drogen van hout is een fysisch verschijnsel, waarbij water aan het materiaal wordt onttrokken onder toevoeging van een equivalente hoeveelheid warmte aan dit materiaal. Er vindt een zogenaamde "warmte-stof uitwisseling" plaats. Dit gebeuren heeft een ander fysisch verschijnsel tot gevolg: het krimpen van het hout.

Het onttrekken van vocht aan het hout voert tot de vraag naar de mogelijke snelheid van onttrekken en de consequenties die dit voor het hout heeft. Verder naar de afhankelijkheid van de factoren die bij het droogproces een rol spelen, te weten: de temperatuur, de relatieve vochtigheid van de het hout omringende lucht en de snelheid waarmee deze lucht langs het houtoppervlak strijkt. Van de zijde van het hout komt daar nog bij de mogelijke snelheid van het vochttransport in het houtweefsel. Deze kan van soort tot soort sterk wisselen en is afhankelijk van de temperatuur en van het vochtgehalte in het hout zelf.

Zoals bij meer fysische processen is ook het drogen van hout een verschijnsel, dat niet direct waarneembaar is. Slechts door het toepassen van meetmethoden b.v. wegen of vochtmeten kan het proces zichtbaar worden gemaakt. Verder wordt het proces wat gecompliceerder door het in elkaar grijpen van de reeds genoemde factoren, die een rol spelen bij het drogen van hout. Het is dan ook nodig om te weten, welke invloed iedere factor afzonderlijk heeft op het droogproces om zich een beeld te kunnen vormen van de invloed van combinaties van de factoren op het drogen.

Het voorgaande geldt voor de drie methoden van drogen, die in Nederland worden toegepast, te weten:

- I in drogers met geforceerde luchtcirculatie bij temperaturen tot 100°C
- II met behulp van ontvochtigers in combinatie met een geforceerde luchtcirculatie bij temperaturen tot 40°C
- III in geklimatiseerde droogruimten bij temperaturen tot 40 à 50°C.

Naast deze drie methoden kent de techniek nog andere om hout te drogen. Zij worden echter weinig toegepast. Vanwege mogelijke ontwikkelingen in de toekomst willen wij ze hier toch zeer in het kort bespreken. Het zijn:

- A. drogen bij temperaturen boven 100°C
- B. drogen in persen bij hoge temperaturen
- C. hoog frequent drogen
- D. drogen bij verminderde druk
- E. drogen in oplosmiddelen (solvent drying)

Deze methoden zullen eerst worden besproken alvorens de normaal toegepaste methoden worden behandeld. Daarbij zullen eerst de invloed van de temperatuur, relatieve vochtigheid en luchtsnelheid benevens de factoren die het te drogen hout met zich meebrengt ter sprake worden gebracht. Vervolgens zullen de principes van drogers en droogruimten worden besproken.

Droogschema's zullen niet worden gegeven. Deze hangen te zeer samen met de toe te passen methode en bij drogers met de benaderingen en opvattingen van de constructeurs. Het is bovendien gebruikelijk dat de leverancier van een installatie ook de toe te passen droogschema's verstrekt.



# "Versneld drogen van hout"

## ERRATA

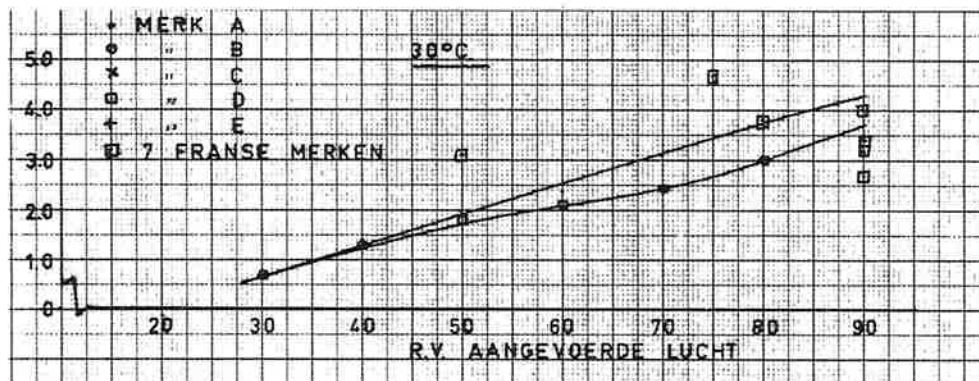
blz. 30 In de formule ( $\sigma_d - \sigma_n$ ) moet zijn:  
( $\theta_d - \theta_n$ )

blz. 35 Fig. 15a A B C D moet zijn:  
D C B A

blz. 56 en 57 Bij de figuren ontbreken de aanduidingen "a" resp. "b".

blz. 74 Vierde alinea: "Vilière" moet zijn: "Villière".

blz. 92 In de onderste grafiek van Fig. 52 ontbreekt de opgave van de genoemde 7 Franse merken.  
De onderste grafiek moet als volgt worden:





## BIJZONDERE METHODEN VAN HOUT DROGEN

Achtereenvolgens zullen worden besproken:

- A. het drogen bij temperaturen boven 100°C.
- B. het drogen in persen bij hoge temperaturen
- C. het hoogfrequent drogen
- D. het drogen bij verminderde druk
- E. het drogen in oplosmiddelen (solvent drying.)

### A. Drogen bij temperaturen boven 100°C

Hierbij kan men 2 werkwijzen onderscheiden:

- 1. drogen in een damp-lucht mengsel
- 2. drogen in stoommilieu.

A1. Bij het drogen in een damp-lucht mengsel blijft de natte bol temperatuur beneden 100°C en gaat de droge bol temperatuur boven 100°C, meestal tot ca. 110°C, maar sommige onderzoekers gaan naar hogere temperaturen. De methode wordt alleen bij naaldhout toegepast. Bekend is het toepassen ervan in Canada en in Rusland. In Duitsland begint men nu weer meer aandacht aan deze methode te besteden, hoewel men in en na de laatste oorlog in dit land veel onderzoekwerk heeft verricht naar het drogen bij temperaturen boven 100°C.

Men bereikt droogtijden die ongeveer de helft en nog korter zijn van die bij 65°C.

A2. Afhankelijk van de gekozen temperatuur stelt zich in een bepaald stoommilieu een bepaald evenwichtsvochtgehalte in. Bij ca. 104°C bedraagt dit 12% vochtgehalte, bij 107°C: 9% en bij 113°C: 6%. De droging verloopt vaak nog sneller dan bij de onder A1 genoemde methode. Men wil de methode wel toepassen bij naaldhout en bij zachte, snel drogende loofhoutsoorten met een open vatsysteem waartoe populieren en ook berken behoren. Het hout wordt meestal in geringe dikten gedroogd.

De methode verloopt zo snel, doordat in hout met een hoog vochtgehalte het vrije water op het kookpunt komt. De houttemperatuur blijft 100°C zolang er vrij water kookt en verdampt. Bij het dalen van het vochtgehalte beneden het vezelverzadigingspunt stijgt de houttemperatuur langzaam tot in de buurt van de heersende stoomtemperatuur.

Het proces speelt zich af in dampdichte drogers of ketels, die geschikt zijn voor een overdruk van tenminste 0,5 tot 1,0 atmosfeer. De installatie moet corrosiebestendig zijn. Bij beide methoden is het gevaar voor scheuren van het hout groot; bij andere dan de genoemde houtsoorten en eveneens bij hoge vochtgehalten in de genoemde soorten, is ook het gevaar voor collaps groot. Het hout krijgt meestal een donkerder kleur en bij naaldhout komen na het drogen volgens deze methoden losse kwasten veel voor. In Canadese publicaties worden de resultaten van droogproeven bij hoge temperaturen vergeleken met die, welke zijn verkregen door het hout te drogen volgens hun "gebruikelijke droogschema's". Deze laatsten blijken bij een nadere beschouwing naar Europese maatstaven toch nog zo ontzettend scherp te zijn, dat een groot uitvalpercentage hierbij ons inziens bijna onvermijdelijk is. Het gevolg hiervan is een naar onze mening wat optimistische opgave van de verkregen Canadese resultaten bij het drogen bij temperaturen boven 100°C.

Men zoekt het toepassingsgebied voor deze methoden bij hout, waaraan geringe eisen worden gesteld wat de kleur betreft en waarbij het voorkomen van een

scheur geen nadelige invloed heeft op het gebruik van het hout. In Canada geldt dit onder andere voor hout bestemd voor wandconstructies van veelal geheel houten woningen.

Bij het zoeken naar een methode om collaps en een sterke vervorming van het hout bij drogen bij deze hoge temperaturen tegen te gaan, is men in één der Canadese laboratoria op de gedachte gekomen om het hout vóór het drogen tussen een paar boven elkaar opgestelde rollers (een soort "mangel") heen te halen. Daarbij wordt het verse hout 10 à 15% van de houtdikte ingedrukt. Hout met een zeer hoog vochtgehalte verliest tijdens dit persen reeds water. Volgens de opgaven in de literatuur droogt het hout daarna snel en goed. De proeven zijn uitgevoerd met Canadees berken en ahorn. (Fig. 3).

De mechanische eigenschappen zouden door deze behandeling niet belangrijk worden verminderd. Wel moet het houtweefsel vooral in de buitenlagen vele zeer fijne scheurtjes in de wanden hebben gekregen, getuige o.a. de vermelding van een veel betere impregneerbaarheid daarna, van een normaal moeilijk te impregneren houtsoort.

Eigen onderzoek met kleine proefstukken afzelia (afmetingen l x b x d: 40 x 30 x 4,2 cm) gaf eveneens een zeer korte droogtijd te zien bij toepassen van een temperatuur van 108°C. Uitgaande van een begin-vochtgehalte van 63% werd het hout in 5 dagen gedroogd tot 10% vochtgehalte, terwijl het proefstuk dat bij 70°C werd gedroogd, na 18 dagen nog een gemiddeld vochtgehalte had van ongeveer 23%. Het bij 108°C gedroogde stuk vertoonde na het drogen geen beschadiging; de kleur van het hout was donkerder geworden. Echter trad na 2 drogingen van het afzelia bij 108°C een dermate sterke corrosie van de aluminium wanden van de proefdroger op, dat verder onderzoek in dit temperatuurgebied is gestaakt. (De oorzaak hiervan moet worden gezocht in de corrosieve werking van verdund azijnzuur, afkomstig uit het afzelia, op aluminium bij temperaturen boven 100°C).

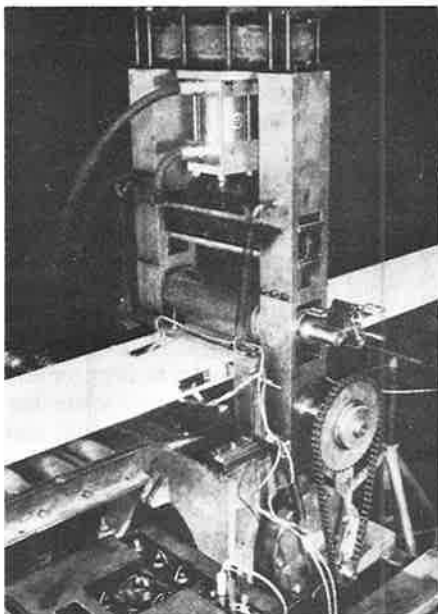


Fig. 3  
Walsenpers, een  
soort "mangel"  
gebruikt voor het  
persen van vers  
gekapt en ge-  
zaagd hout alvo-  
rens het te drogen.

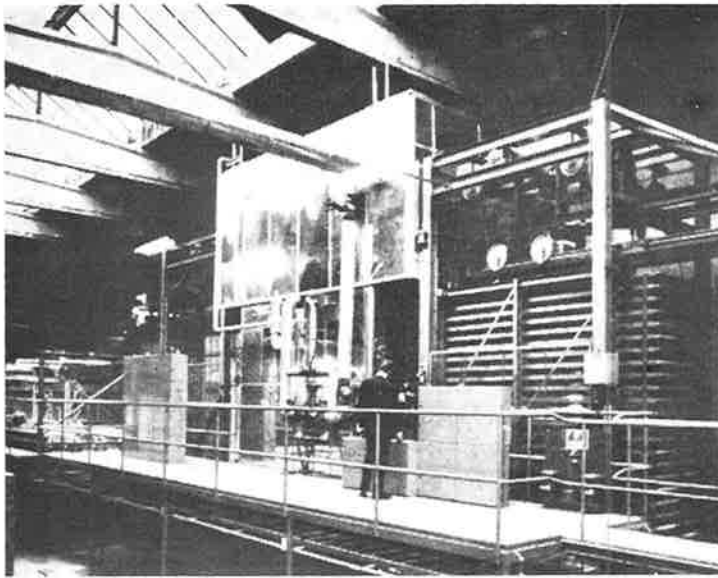


Fig. 4  
Persdroger, blz. 16



Fig. 5  
Opeengebarsten  
stuk hout t.g.v.  
met thyllen ver-  
stoppte vaten, blz. 16

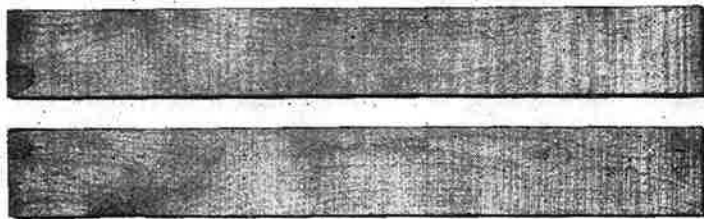


Fig. 6  
Goed gedroogd en na-  
gestoomd beuken, blz. 16



Wij zelf zijn nogal huiverig voor het toepassen van deze zeer snelle methoden van drogen, gezien de grote kans op een belangrijke kwaliteitsvermindering van het gedroogde hout. Het waarschijnlijk vrij beperkte toepassingsgebied motiveert een wat afwachtende houding, waarbij de ontwikkelingen in andere landen wordt gevolgd.

#### **B. Drogen in persen bij hoge temperaturen. (Fig. 4-6)**

Het drogen van hout in persen heeft vooral bekendheid gekregen door het toepassen van deze methode in een parketfabriek in Denemarken. Hierbij gaat het om het drogen van beuken parketfriezen met de afmetingen (l x b x d) 61 x 7,5 x 3,0 cm. Veel onderzoekwerk is aan de industriële toepassing vooraf gegaan. Tot slot is men gekomen tot de volgende werkwijze:

Bij een druk van 1,18 - 1,37 N/mm<sup>2</sup>\* en een plaattemperatuur van 165°C worden de beuken friezen met een begin-vochtgehalte van 80 à 85% in 120 - 135 minuten gedroogd tot een eindvochtgehalte van 1-3%. De breedte der delen is na het drogen vrijwel gelijk aan de oorspronkelijke breedte. Vervolgens wordt het hout in grote ketels of autoclaven gereden. De behandeling hierin omvat vacuum trekken, waarna stoom in de ketels wordt toegelaten. Na ca. 4½ uur heeft het beuken een vochtgehalte van 7 à 8% bereikt, het gewenste vochtgehalte voor vloerenhout in Denemarken.

Naast de bijzonder korte behandelingstijd van in totaal 7 uren biedt de methode nog de volgende voordelen:

- a. De stabiliteit van het beuken is sterk verhoogd: het werken van het hout is tot ongeveer 40% van het werken van normaal gedroogd beuken gereduceerd, indien het hout in vrij droge omstandigheden blijft. Wordt het hout nat (door condensatie bv.) dan gaat een deel van dit effect weer verloren.
- b. Na het drogen zijn de friezen volkomen vlak. Dit is eveneens het geval bij het verwerken van een middelmatige kwaliteit. Indien dit hout volgens conventionele methoden wordt gedroogd, moet met een groot percentage krom en scheluw getrokken hout worden gerekend. Te zamen met het behouden van een praktisch gelijke breedte-maat wordt een circa 20% hoger rendement van het hout bereikt. (Fig. 6).
- c. De kleur van het hout is "warmer" geworden met een duidelijke tekening van de groeiringen in vergelijking met beuken, dat op normale wijze is gedroogd. Voor vloeren is dit zeer gewenst, daar de vloer anders een monotone indruk maakt.

Wat de mechanische eigenschappen betreft is de buigsterkte wat toegenomen, maar de hardheid (volgens Brinell) is gelijk gebleven in vergelijking met die van op de conventionele wijze gedroogd hout.

De methode heeft ook enige nadelen o.a.:

1. Ze kan alleen worden toegepast bij beuken, dat vrij is van thyllen (thyllen zijn "blaasjes" die in de houtvaten groeien en deze verstoppert; het rode kernhout van beuken zit vol thyllen en is bij deze droogmethode niet te gebruiken). Alleen houtsoorten met open vaten kunnen op deze wijze worden gedroogd. Is dit niet het geval dan scheurt het hout, krijgt collaps en kan zelfs uit elkaar barsten. (Fig. 5).
2. De installatie is kostbaar, waardoor de methode slechts is te overwegen bij een continue productie van hout in uniforme en vrij kleine afmetingen (regels).

\* ) 1,18 — 1,37 N/mm<sup>2</sup> = 12 — 14 kgf/cm<sup>2</sup>.

Amerikaans onderzoekwerk op het gebied van drogen in persen was wat minder doelgericht dan de Deense benadering, waarbij men eveneens niet voor de methode geschikte houtsoorten trachtte te drogen. Overigens waren de conclusies in overeenstemming met de Deense ervaringen.

**C. Hoog frequent drogen** (Fig. 7 en 8),

Reeds meer dan 40 jaren kent men het principe van het drogen van hout in een hoog frequent electrisch wisselveld. Hierbij wordt het hout in de eerste plaats opgewarmd via het in het hout aanwezige water. De asymmetrisch gebouwde watermoleculen komen in een hoog frequent veld in een zeer snelle slingering, waarbij door wrijving warmte ontstaat. Het belangrijke hierbij is dat de warmte niet door overdracht via lucht op het houtoppervlak en vervolgens door geleiding in het hout moet worden gebracht, maar direct in het hout wordt opgewekt uit de toegevoerde electrische energie. Daarbij vindt de verwarming het sterkst plaats in de gedeelten met de hoogste vochtgehalten, ook wanneer deze in de kern van het stuk hout voorkomen, zoals normaal het geval is.

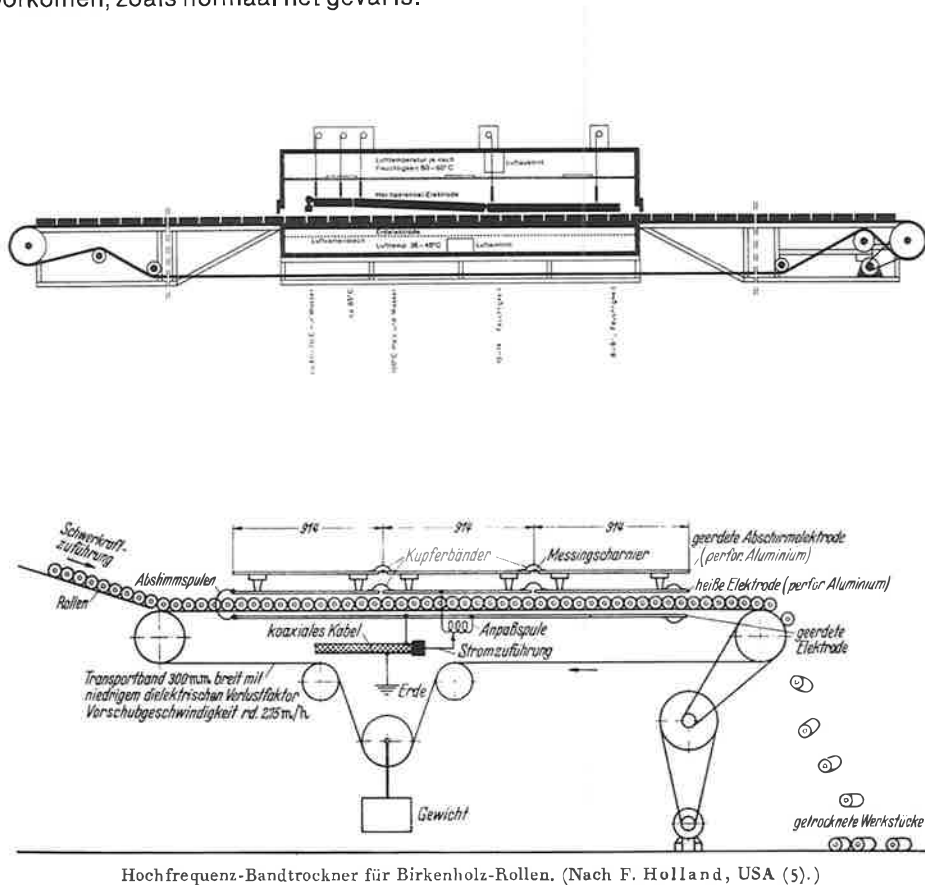
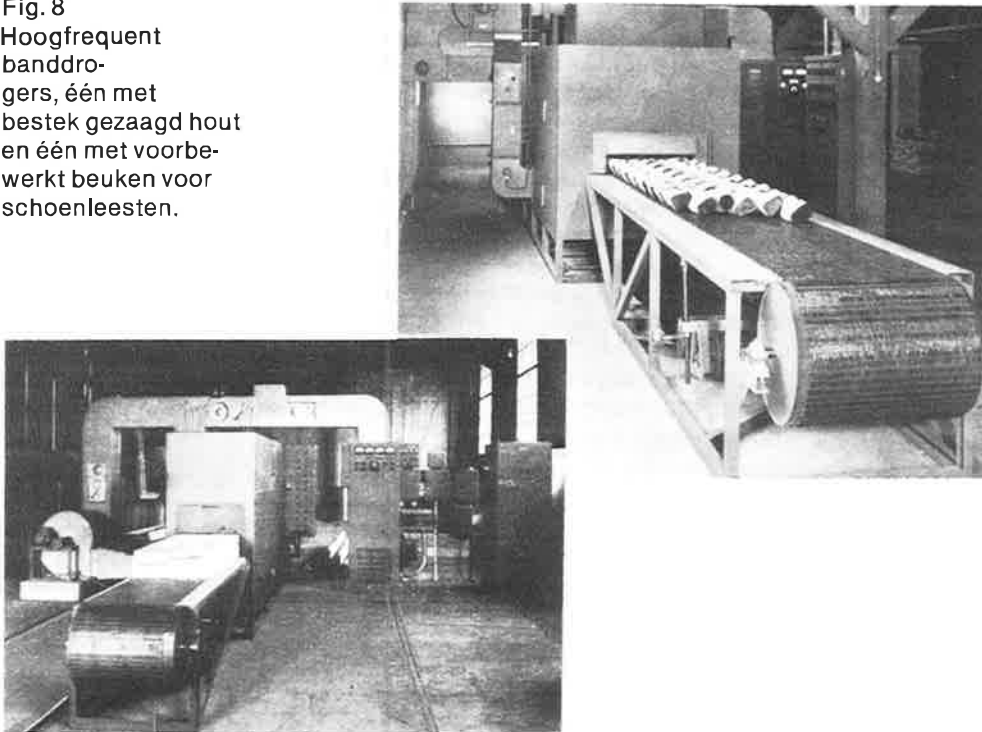


Fig. 7  
Twee schema's van een hoogfrequent banddroger,

Fig. 8  
Hoogfrequent  
banddro-  
gers, één met  
bestek gezaagd hout  
en één met voorbe-  
werkt beuken voor  
schoenleesten.



De temperatuur in het hout loopt in dit proces zeer snel op tot ongeveer 100°C en bij lagere vochtgehalten vaak tot ca. 110°C. Door de met stijgende temperatuur toenemende waterdampspanning wordt het vocht snel naar het oppervlak gedrukt, waar het verdampt.

In de jaren '60 heeft men het principe uitgewerkt tot industriële houtdrogers met verschillende capaciteiten bij een frequentie van ongeveer 13,5 MHz. Het hout wordt in een tamelijk gesloten pakket op een transportband geplaatst, die langzaam door de droger loopt.

In de loop der jaren heeft men met een aantal houtsoorten ervaringen opgedaan en in het algemeen kan worden gezegd dat houtsoorten met open vatsystemen en/of met geringe krimpwaarden goed te drogen zijn. Opgemerkt moet echter worden dat alle voorbeelden altijd betrekking hebben op beuken. De eindvochtgehalten zijn zeer gelijkmatig. Vooral bij dik hout en lage eindvochtgehalten (8 à 10%) is de grote gelijkmatigheid in het vochtgehalte opvallend. Maar ook langs deze weg is een houtsoort als eiken niet of zeer moeilijk te drogen.

De drogers zijn zeer kostbaar en doordat het drogen geheel electrisch geschiedt, ook duur in energie. De totale droogkosten zijn tenminste 2 à 3 maal zo hoog als die bij toepassen van de conventionele methoden. Deze hoge kosten moeten dan ook worden gecompenseerd door de zeer snel verlopende droging tot een egaal eindvochtgehalte.

Voor het toepassen van een hoogfrequent droger kunnen de volgende voorwaarden worden gesteld:

1. Hout in zware bestekmaten of in voorgezaagde vorm (60 mm en dikker), vooral van soorten met een geringe waterdampdiffusieweerstand.

2. Door de zeer korte droogtijden van meestal 2 à 5 uren per m<sup>3</sup>, komen die houtsoorten en afmetingen in aanmerking, die op de conventionele wijze een zeer lange droogtijd vergen, welke tijd men in het bedrijf moeilijk kan opvangen.
3. Vanwege de hoge energiekosten is voor deze methode het vochttraject van het vezelverzadigingspunt af tot aan een eindvochtgehalte van circa 10% of minder, het gunstigste.
4. Door de zeer hoge aanschaffingskosten is een hoge bezettingsgraad van de droger noodzakelijk. De behoefte van het bedrijf aan bestekhout in zware afmetingen van bepaalde houtsoorten (geen eiken!) moet gewaarborgd zijn voor de jaren, waarover de afschrijving van de droger wordt berekend.

Het gedroogde hout is na afkoelen direct geschikt voor verdere bewerking. Met behulp van toe- en afvoerinrichtingen en transportbanden kan de droger in een productielijn worden opgenomen.

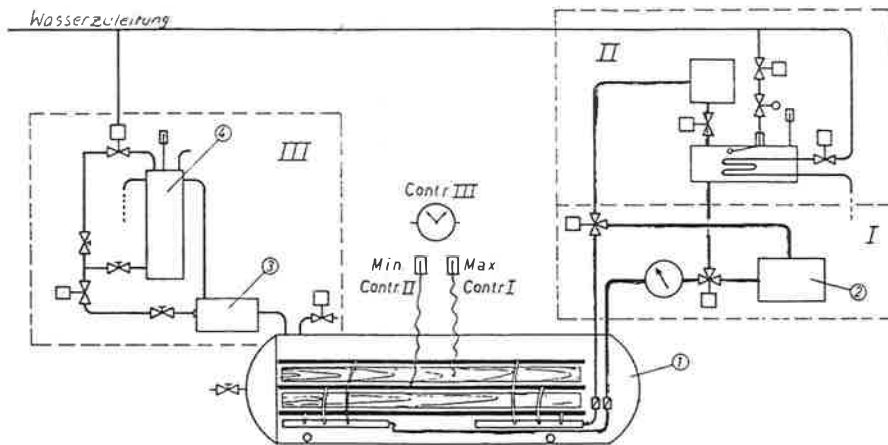
In Europa worden tot nu toe slechts enkele hoogfrequent drogers industrieel toegepast.

#### **D. Drogen bij verminderde druk**

Men duidt deze methode vaak aan met de term "vacuum drogen", maar een werkelijk hoog vacuüm met enkele millimeters kwikdruk wordt er niet getrokken. Deze methode maakt gebruik van het verschijnsel dat bij een onderdruk, gelijk aan de waterdampspanning bij een gekozen temperatuur, het water gaat koken. Bij atmosferische druk gebeurt dit bij 100°C en men vervalt hierbij in de methode van drogen bij hoge temperaturen in een stoommilieu (zie blz. 13). Bij deze methode geschiedt in feite niets anders, alleen verlaagt men het kookpunt door onderdruk, waardoor het hout op dezelfde wijze niet bij 100°C maar bv. bij 50 of 60°C wordt gedroogd.

Hout met een zeer hoog beginvochtgehalte bereikt bij drogen een houttemperatuur die gelijk is aan de koelgrenstemperatuur van de lucht (dit is de temperatuur die lucht bij gelijkblijvende warmteinhoud bij verzadiging met vocht bereikt). Om de droging snel voortgang te doen vinden wordt de temperatuur in de droger 10 à 15°C hoger opgevoerd dan de gekozen "kooktemperatuur" bij de heersende onderdruk. Men werkt derhalve weer in oververhitte stoom.

De methode biedt enkele voordelen. Doordat in een stoommilieu bij een temperatuur beneden 100°C bij onderdruk wordt gewerkt, wordt het vochtgehalte in het houtoppervlak wat minder laag dan bij de normale droogmethode bij atmosferische druk en temperaturen beneden 100°C. Daardoor wordt de vochtgradiënt in het hout minder steil en is de kans op beschadiging van het hout tijdens het drogen verminderd.



*Allgemeine Schemazeichnung eines Pagnozzi-Vakuum-Trockners*

I - Heizungssystem II - Kühlsystem III - Vakuum-Pumpsystem

1 - Autoklav 2 - Kessel 3 - Vakuum-Pumpe 4 - Kondensator

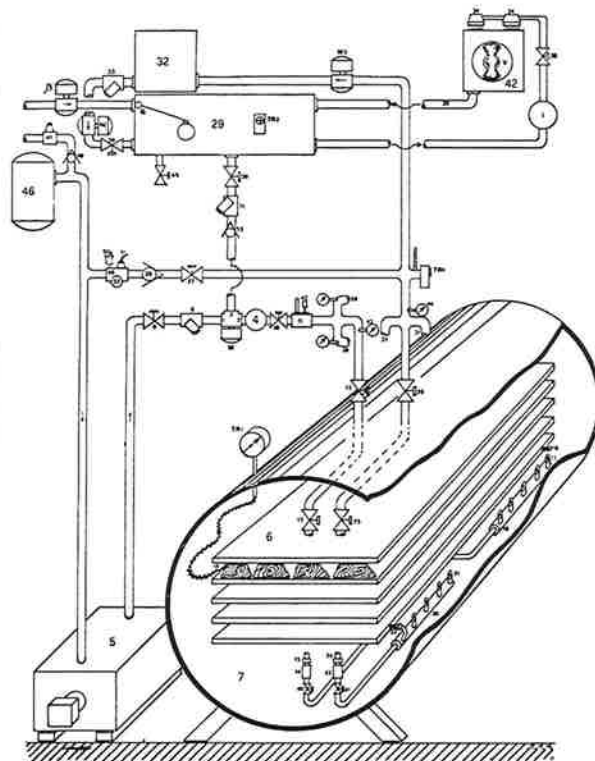


Fig. 9  
Principe- en leidingschema van een vacuümdroger volgens Pagnozzi, blz. 21.

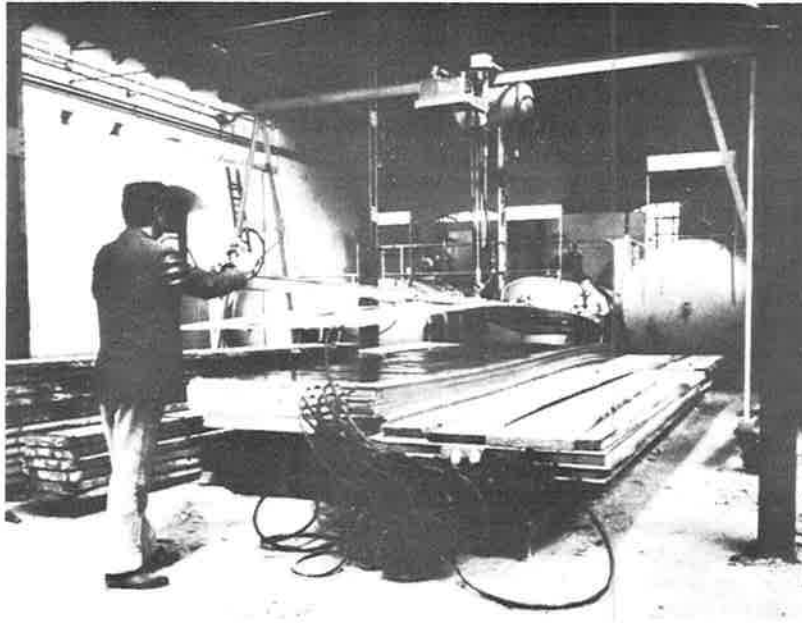


Fig. 10  
Stapelen van het hout voor een vacuümdroging (Maspell).

Met kleine proefstukken (27,5 x 10 x 2,5 cm) bij een temperatuur van 60°C en een onderdruk van 150 mm kwik werd beuken gedroogd in ongeveer 40% en eiken in ongeveer 80% van de tijd, die onder atmosferische omstandigheden bij 60°C nodig is. Het gedroogde hout vertoonde geen beschadigingen. Het grote probleem voor het toepassen van deze wijze van drogen schuilt in de installatie en de warmte-overdracht op het te drogen hout. Vanwege de onderdruk moet het drogen in een vacuüm-ketel gebeuren. Naast verwarming is een vacuümpomp nodig en een inrichting om het aan het hout onttrokken water te condenseren en af te voeren. Geschiedt de verwarming via b.v. ribbenbuizen, dan zijn ventilatoren nodig om via de ijle waterdamp in de ketel, de warmte naar het hout te transporteren om de verdamping van het vocht in het hout gaande te houden.

Een Italiaan, Pagnozzi, heeft een op deze methode berustende droger ontworpen, welke thans door Maspell in Italië wordt vervaardigd. Het drogen geschiedt in ketels. Het probleem van de warmte-overdracht heeft men opgelost door het hout tussen ongeveer 1 cm dikke metalen verwarmingsplaten te leggen. De warmte-overdracht vindt hierbij plaats door contact en door straling. (Fig. 9).

Volgens verkregen informatie is de werkwijze als volgt: Door de verwarmingsplaten voert men warm water van bv. 80°C, waardoor het hout wordt opgewarmd. Dit gebeurt bij atmosferische druk. Er wordt zo lang opgewarmd, tot het hout inwendig de gewenste temperatuur heeft bereikt b.v. 60°C. Het houtoppervlak heeft op dat moment een hogere temperatuur en wel even beneden de plaattemperatuur. Nu gaat men de houttemperatuur egaliseren door de watertemperatuur ongeveer gelijk te stellen met de temperatuur die het hout inwendig heeft. Gedurende deze opwarmtijd kan geen vocht uit de ketel weg, waardoor het vochtgehalte in het houtoppervlak hoog blijft en het hout in de opwarmfase niet kan scheuren.

Vervolgens wordt een tamelijk hoog vacuüm van ongeveer  $5,3 \cdot 10^2 \text{ N/m}^2$  (= ca. 40 mm Hg of 59 mbar) gezogen, waardoor het vocht in het houtoppervlak bij die lage druk gaat koken, daardoor snel verdampt en via de vacuumpomp wordt afgevoerd. Men gaat hiermede zolang door, tot de temperatuur in het houtoppervlak zover is gedaald, dat geen water meer verdampt. Dit is het dauwpunt voor die temperatuur en druk. Hiermede is de cyclus beëindigd en men begint weer met het opwarmen van het hout tot de gewenste temperatuur van  $60^\circ\text{C}$ .

In dit proces maakt men handig gebruik van 2 fysische verschijnselen. Tijdens het vacuüm trekken vindt er ten gevolge van het koken van het water in het houtoppervlak een sterke verdamping plaats, waardoor warmte aan het hout in de buitenste lagen wordt onttrokken. Het oppervlak koelt daardoor sterk af, terwijl de kern van het hout nog warm is. Nu bestaat er in alle vochthoudende poreuze materialen de neiging tot een vochttransport in de richting van een temperatuurgradiënt, indien deze in het materiaal aanwezig is. Uitgaande van een situatie waarin het vocht gelijkmatig in het materiaal is verdeeld, zal het dus van de warme naar de koude plaats stromen. Bij deze methode van vacuüm drogen doet zich dus de situatie voor dat tijdelijk in de kern van het hout de hoogste temperatuur heerst en aan het oppervlak een veel lagere, waarbij bovendien het vochtgehalte in de kern hoger is dan in het houtoppervlak. Temperatuur- en vochtgradiënt werken derhalve in dezelfde richting om het vocht naar het houtoppervlak te transporteren.

De werkwijze leidt tot korte droogtijden, waarbij de kwaliteit van het gedroogde hout zeer goed heet te zijn. Zeer korte droogtijden worden bereikt bij houtsoorten met een geringe diffusie-weerstand. Opgegeven worden beuken, haagbeuken en noten. Voor houtsoorten met een grote diffusieweerstand is de tijdswinst belangrijk minder groot. Bij deze houtsoorten zou het nadrogen van luchtdroog (ongeveer 20% vochtgehalte) tot 10 à 8% nog interessant kunnen zijn. Dit zou o.a. gelden voor eiken.

Er zijn echter ook houtsoorten waarbij het droogproces volgens deze methode toch praktisch niet sneller gaat dan in de conventionele drogers. Men heeft dit geconstateerd voor vuren en waarschijnlijk geldt het ook voor okoumé.

Voor iedere methode van drogen geldt als één der belangrijkste criteria de droogkosten per  $\text{m}^3$ . Hierover konden slechts enkele informatie worden verkregen, waarbij vergelijkingen zijn gemaakt met de droogkosten van equivalente hoeveelheden in een conventionele, in aluminium cassettenbouw, vervaardigde droger. De vergelijkbare kosten zijn te splitsen in:

- a. investeringskosten
- b. stapelkosten
- c. energiekosten.

a. Investeringskosten.

Volgens de prijsopgaven van Maspell in mei 1975 is de investering, berekend per  $\text{m}^3$  nuttige inhoud, voor een middelgrote installatie met een nuttige inhoud van 7-12  $\text{m}^3$  ongeveer twee maal zo hoog als die voor een conventionele droger. Voor kleine installaties van 2-4  $\text{m}^3$  wordt de investering al gauw ongeveer drie maal zo hoog.

b. Stapelkosten. (Fig. 10)

Daar het hout per laag op een verwarmingsplaat moet worden gestapeld en dit geheel met de hand moet gebeuren, zijn de stapelkosten in het algemeen hoog. Vergeleken met het op de normale wijze formeren van houtstapels voor de conventionele drogers, zal men voor het stapelen voor een vacuüm droger wel met

de dubbele stapeltijd moeten rekenen en derhalve ook met stapelkosten die tweemaal zo hoog zijn.

c. Energie.

Ook in energie als totaal van verwarmings- en electriciteitsverbruik zal men in de regel niet lager uitkomen dan in conventionele drogers. Slechts indien het droogproces in een conventionele droger zeer langzaam verloopt en daarbij vergeleken in de vacuümdroger zeer snel, kan het energieverbruik gunstig zijn. Theoretisch zal het warmteverbruik voor de verdamping van het vocht uit het hout en ook het warmteverlies van de installatie wat lager kunnen zijn dan in een droger, het electriciteitsverbruik ligt daarentegen belangrijk hoger.

De conclusie, die uit deze eerste en nog vrij beperkte informatie kan worden getrokken is dat de methode van drogen droogtechnisch zeer interessant is, waarbij heel goede droogresultaten kunnen worden verwacht. Ten gevolge van de hoge investeringskosten, hoge stapelkosten en zeker niet lagere energiekosten kan de methode slechts economisch interessant worden in die gevallen waarbij zeer korte droogtijden kunnen worden bereikt, vergeleken met de normale droogmethode in houtdrogers. Naar schatting zal de droogtijd ten hoogste 1/3 moeten zijn van de normale droogtijd om op vergelijkbare droogkosten te komen.

Over het vacuümdrogen is documentatie ontvangen van de firma Maspell. Daarnaast hebben wij van een fabriek inzage gekregen in interne rapporten over een aantal in de praktijk uitgevoerde drogingen in een vacuümdroger van Maspell. Bij de uitgevoerde drogingen zijn alle energieverbruiken opgenomen benevens de benodigde stapeltijden en de totale droogtijden. Ter vergelijking waren de overeenkomstige waarden vermeld voor drogingen van dezelfde houtsoorten en -dikten in conventionele drogers. De in deze rapporten vermelde gegevens waren beduidend minder gunstig dan de opgaven in de documentatie van Maspell.

In de nieuwste uitvoeringen heeft men de verwarming en daarmee ook de methode van stapelen gewijzigd. De verwarming geschiedt nu via een normaal verwarmingsregister en het hout wordt op de gewone wijze op lorries gestapeld en de ketel ingereden. Of deze verandering een invloed heeft op het beschreven droogproces is niet bekend.

**E. Drogen in oplosmiddelen (solvent drying)**

Het grondprincipe van deze methode is het onttrekken van water aan het hout door het natte hout langdurig te overgieten met een oplosmiddel dat goed mengbaar is met water, een hydrophyl oplosmiddel. Een voor dit doel gunstig oplosmiddel is aceton, andere produkten zijn enkele alcoholen en ethylacetaat. Tijdens deze behandeling wordt het water in het hout langzamerhand vervangen door een mengsel van water + oplosmiddel waarbij, naarmate de behandeling langer wordt voortgezet, de hoeveelheid water in het hout steeds verder afneemt en de hoeveelheid oplosmiddel toeneemt.

De praktische uitvoering gaat als volgt (Fig. 11 en 12): in een roestvrij stalen tank wordt het hout vertikaal geplaatst met een ruimte van ongeveer 6 mm tussen de delen. Onder in de tank komt de rond te pompen vloeistof, die aldaar tot even beneden het kookpunt wordt opgewarmd. Voor aceton is dit ongeveer 55°C. Via boven het hout aangebrachte sproeiers wordt het warme oplosmiddel over het hout gespreid en dit stroomt over het houtoppervlak terug in de ruimte onder in de tank. Hierbij wordt het water aan het houtoppervlak onttrokken als gevolg van het verschil in concentratie van water in de vloeistof en in het houtoppervlak en te



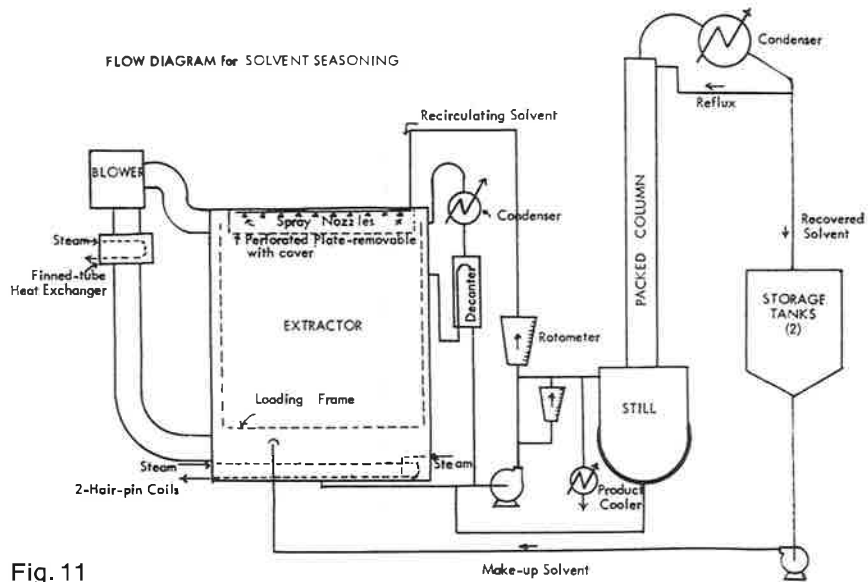


Fig. 11

Schema van een droger werkende met oplosmiddelen, blz. 23.

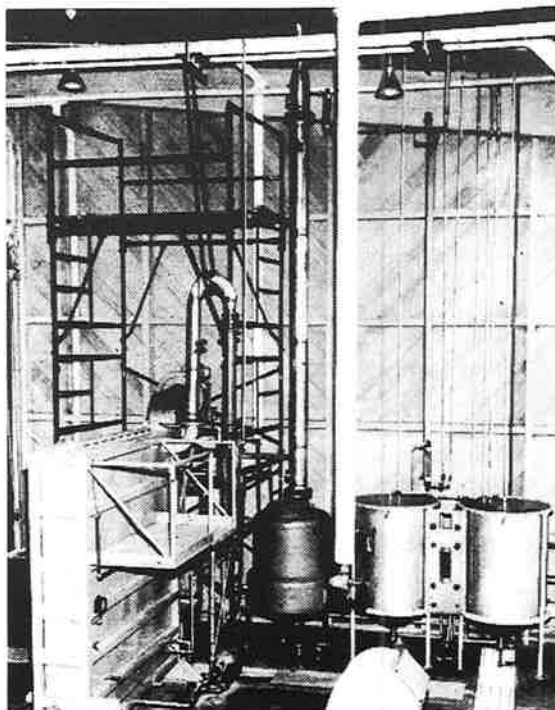


Fig. 12

Laboratoriumopstelling van een droger werkende met oplosmiddelen, blz. 23.

vens diffundeert het oplosmiddel het hout in. Met het water worden ook de in water en in aceton oplosbare inhoudstoffen aan het hout onttrokken.

Regelmatig wordt een gedeelte van de vloeistof aan de tank onttrokken en vervangen door vers oplosmiddel. Uit het onttrokken mengsel wordt het oplosmiddel teruggewonnen, het water afgescheiden en de uit het hout opgeloste inhoudstoffen opgevangen. Een zekere waarde vertegenwoordigen deze inhoudstoffen die bij grenesoorten uit harsachtige stoffen en terpetijn bestaan en bij eikesoorten uit looistoffen of tanninen. Men zet het sproeien van het oplosmiddel over het hout voort tot het gewenste eindvochtgehalte in het hout is bereikt. Dit eindvochtgehalte wordt bepaald door het watergehalte van het versproeide oplosmiddel te bepalen. Bevat het oplosmiddel veel water, dan verkrijgt men een milde droging en een hoog eindvochtgehalte. In het begin van het droogproces werkt men dan ook met een hoog watergehalte van het oplosmiddel en verlaagt dit tijdens het droogproces regelmatig tot dat het watergehalte is bereikt, waarmee het gewenste eindvochtgehalte van het hout wordt verkregen.

Tot slot van het droogproces wordt al het oplosmiddel uit de tank afgevoerd en het in het hout aanwezige oplosmiddel met warme lucht zoveel mogelijk verdampt en teruggewonnen. Daarna ondergaat het hout nog een stoombehandeling om restanten oplosmiddel te verwijderen en eventuele spanningen in het hout weg te werken.

De methode leidt tot zeer korte droogtijden. Zo heeft men vers gekapt (25 mm dik) redwood, de houtsoort waarvoor de methode is uitgedacht, in ongeveer één week kunnen drogen van ongeveer 200% tot circa 10% vochtgehalte. Ook met 50 mm dik redwood had men zeer goede resultaten. In de praktijk wordt dit hout eerst in de buitenlucht gedroogd, waarbij de vuistregel geldt dat het hout per inch (25 mm) dikte een jaar buiten moet staan, alvorens in een droger te kunnen worden gedroogd.

Redwood is een zeer langzaam drogende houtsoort die in verse toestand erg collaps-gevoelig is. Met een aantal grenesoorten heeft men eveneens goede resultaten bereikt en een houtsoort als tan oak (*Lithocarpus densiflorus*), die langs normale weg niet te drogen is vanwege zeer sterke collaps en scheurvorming, werd op deze wijze goed gedroogd. Terzijde zij opgemerkt dat tan oak geen echte eike-soort (= *Quercus sp.*) is. Tan oak wordt gebruikt voor het winnen van looistoffen.

Ondanks alle positieve punten is men niet verder gekomen dan een proefinstallatie, opgezet door de Western Pine Association te Bend, Oregon USA.

Welke de negatieve punten zijn komt in de literatuur niet naar voren, behalve dan dat ze wat duurder zal zijn dan de normale methode met behulp van gewone drogers. Misschien speelt juist het onttrekken van een grote hoeveelheid inhoudstoffen aan het hout bij de appreciatie door de industrie toch een grotere rol dan men had gedacht.

Naast deze droogwijze met behulp van hydrofiele oplosmiddelen bestaat een vorm, waarbij men gebruik maakt van het verschijnsel dat enkele oplosmiddelen in een bepaalde verhouding met water een verlaging van het kookpunt te zien geven (het azeotropisch punt). Het azeotropisch drogen verkeert nog geheel in het laboratorium stadium.



## DROGEN IN DAMP- LUCHTMENGELS BIJ TEMPERATUREN BENEDEN 100°C

Op blz. 3 is reeds opgemerkt, dat eerst iets moet worden gezegd over de invloed van de verschillende factoren op het drogen van hout, voordat de drie in Nederland toegepaste methoden van drogen zullen worden besproken. Voor het klimaat zijn de factoren, temperatuur, relatieve vochtigheid (afgekort: RV) en luchtsnelheid van belang. Voor het hout de afmetingen, waarbij vooral dikte en breedte van belang zijn en de fysische eigenschappen van de houtsoort, te weten: de radiale en tangentiale krimp, de diffusiesnelheid van het vocht door het hout, die voor de radiale en tangentiale richting voor vele houtsoorten verschillend is en de eventuele aanwezigheid van bijzondere weefsels als druk- en trekhout, schuin draad verloop, kruisdraad enz.

### De invloed van temperatuur, relatieve vochtigheid en luchtsnelheid op het drogen

#### De invloed van de temperatuur $\theta$

Zoals bij zovele reacties verloopt ook het drogen van hout sneller naarmate de temperatuur hoger is. Een hogere temperatuur werkt dus droogtijd verkortend. Doch hierbij treden enkele verschijnselen op die bij de keuze van een droogtemperatuur moeten worden overwogen.

1. Men kan de droge bol temperatuur  $\theta_d$  niet willekeurig hoger stellen en daarbij dezelfde RV aanhouden. Is  $\theta_2$  beduidend hoger dan  $\theta_1$ , dan zal in het algemeen ook de RV hoger moeten worden gekozen om beschadiging van het hout te voorkomen. Is derhalve bij  $\theta_1$  reeds een gunstige, dat wil zeggen niet te hoge RV gekozen, dan zal een te verwachten droogtijd-verkorting bij een hogere temperatuur in de praktijk weer enigszins worden beperkt door een hogere instelling van de RV.
2. Beneden 100°C zijn 4 "grens"-temperaturen aan te wijzen. Dit zijn temperaturen waarboven er "iets" voor bepaalde houtsoorten verandert.
  - 2a. De eerste temperatuurgrens ligt bij ongeveer 40°C, in een enkel geval zelfs reeds bij 30°C. Boven deze temperatuur treedt bij de daarvoor gevoelige houtsoorten zeer gemakkelijk collaps op, wanneer het vochtgehalte van het hout nog tussen circa 80% (voor sommige soorten circa 120%) en ongeveer 35% ligt.  
(zie voor collaps blz. 59).
  - 2b. De tweede temperatuurgrens ligt bij 50 à 55°C. Deze grens geldt voor naaldhout. Kiest men hogere temperaturen, dan neemt de kans op harsuitvloeiing en op het ontstaan van losse kwasten toe en wel des te sterker naarmate de temperatuur hoger is. Losse kwasten veroorzaken gaten in het hout, maar vaak is het erger dat een klein stukje van de kwast in het beetelblok blijft steken en een diepe groef in het geschaafde hout veroorzaakt.
  - 2c. De derde temperatuurgrens ligt bij 60 à 65°C. Boven deze temperatuur treedt een verkleuring van het hout op naar donkerder tinten en deze verkleuring wordt sterker naarmate de temperatuur hoger is gekozen. Bij temperaturen beneden 60°C behoudt het hout vrijwel de natuurlijke kleur. Naaldhout krijgt een donkergele kleur, wanneer het hout bij hoge temperaturen wordt gedroogd.
  - 2d. Ten slotte kunnen houtsoorten die van nature een mooie glans hebben deze glans verliezen en dof en vaak monotoner van kleur worden, wanneer ze bij temperaturen van 80 à 85°C of hoger worden gedroogd.

Op blz. 27 is reeds opgemerkt dat een hogere temperatuur droogtijd verkortend werkt. De consequentie van iedere gekozen temperatuur is in het voorgaande aangegeven.

Als vuistregel voor de temperatuurinvloed op de droogtijd wordt wel eens de volgende lineaire betrekking aangehouden:

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$$

geldend voor normale houtdrogers, waarin de luchtsnelheden hoger zijn dan 1 m/s.

In werkelijkheid is het verband ingewikkelder. In zijn eenvoudigste vorm zal de functie een exponentiële zijn:  $\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)^n$ , waarbij waarden voor n in het algemeen tussen 1,5 en 2,5 liggen. Eigen berekeningen leidden tot een wat grotere spreiding, maar als gemiddelde waarde zal 1,7 à 1,8 wel een redelijk resultaat opleveren (Fig. 13). Dit betekent dus dat de invloed van een hogere temperatuurkeuze op de droogsnelheid groter is dan een eenvoudige lineaire betrekking zou geven. Het volgende voorbeeld moge dit illustreren:

Kiest men onder overigens identieke klimaatomstandigheden in plaats van 40° een temperatuur van 60°C, dan zal bij een lineaire betrekking de droogtijd bij 60° worden:

$$t_2 = \frac{40}{60} \times t_1 = 0,67t_1$$

Bij een exponentiële betrekking met n = 1,7 wordt de tijd:

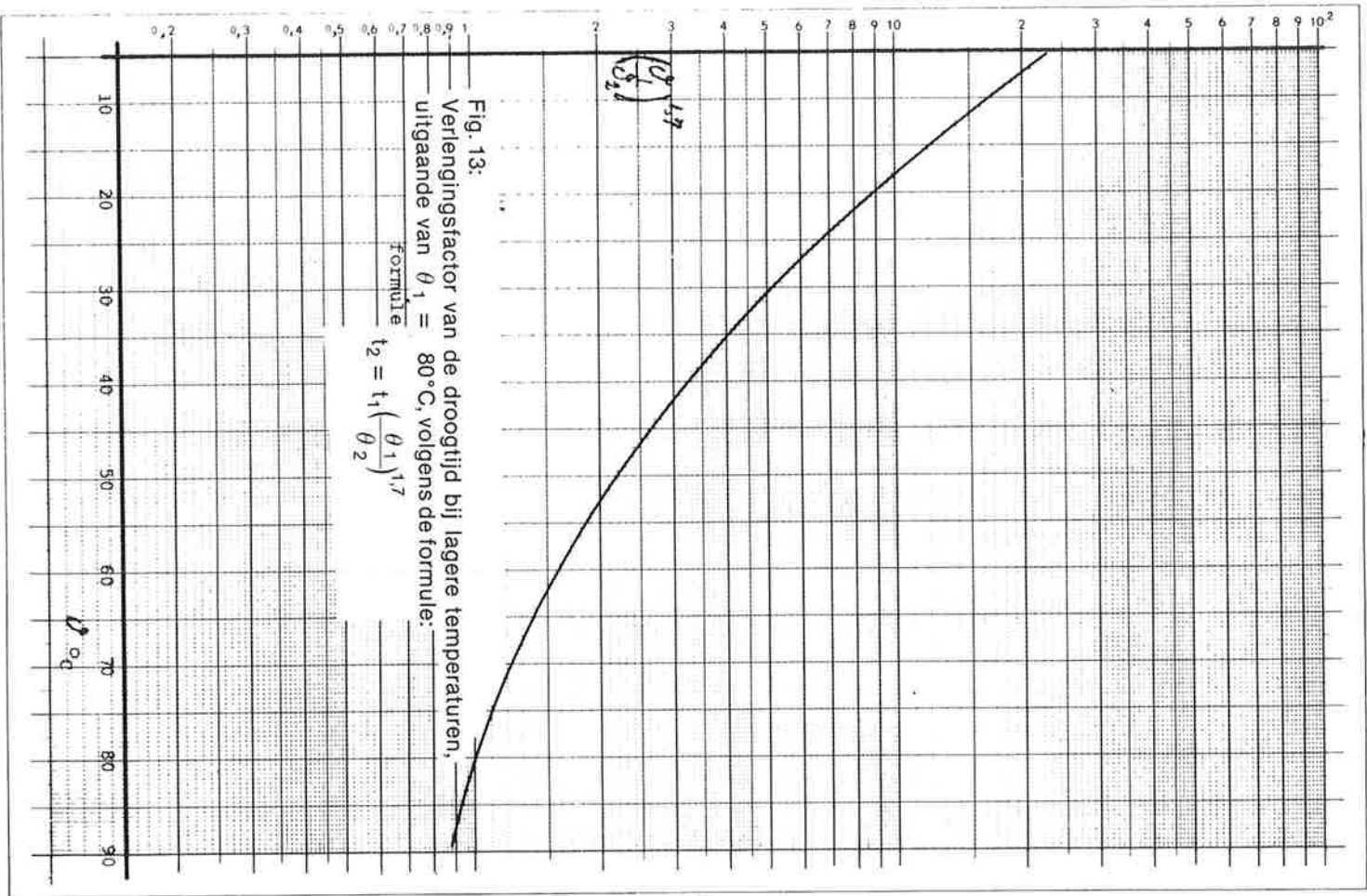
$$t_2 = \left(\frac{40}{60}\right)^{1,7} t_1 = 0,50t_1$$

Het sneller drogen en de gegeven formules gelden in het algemeen voor niet al te dik hout (bv. tot 50 mm dikte) en bij vochtgehaltes boven ca. 20%. Bij lagere vochtgehaltes wordt het drogen hoe langer hoe meer beheerst door een steeds trager verlopende diffusie van het vocht door het hout. Het droogproces verloopt daardoor steeds langzamer naarmate het vochtgehalte van het hout verder afneemt en de mogelijkheid tot beïnvloeden van de droogsnelheid neemt daarbij evenredig af.

#### **De invloed van de relatieve vochtigheid (RV)**

In de meeste droogprocessen voor hout past men bij het drogen van een partij hout met een hoog beginvochtgehalte in de beginperiode, na het opwarmen van het hout, een hoge RV toe. Naarmate het vochtgehalte van het hout afneemt, wordt de RV voorzichtig verlaagd tot uiteindelijk het gewenste eindvochtgehalte van het hout is bereikt. De praktijk leert daarbij welke RV-waarden men het beste kan kiezen en bij welke vochtgehaltes of na hoeveel drooguren men de RV kan verlagen. Langs deze zuiver experimentele weg bouwt ieder zijn eigen droogschema op.

Het verband tussen RV en droogsnelheid is in wezen echter zeer gecompliceerd. Uitgaande van een gemakkelijk te drogen houtsoort met een zeer hoog beginvochtgehalte, bijvoorbeeld vers populieren, zijn er drie droogfasen te onderscheiden: zie Fig. 14



### Fase 1

In deze fase is het hout nog zo nat dat het oppervlak als het ware met een laagje water is bedekt. De verdamping van het vocht aan het oppervlak is hierbij te vergelijken met de verdamping aan een vrij wateroppervlak. Voor deze in het algemeen zeer kort durende fase geldt een eenvoudige lineaire betrekking, waarin de luchtsnelheid een rol speelt. Hoe lager de RV in deze fase is en hoe hoger de luchtsnelheid, hoe sneller het hout droogt. Als algemene formule voor deze eerste fase geldt:

$$\sigma_1 = c (\sigma_d - \sigma_n) f(v) \text{ gr/m}^2\text{s}$$

waarin:

$\sigma_1$	= de droogsnelheid
c	= een constante afhankelijkheid van de houtsoort
$\theta_d$ resp. $\theta_n$	= de droge en natte bol temperatuur
v	= de luchtsnelheid

Is in deze fase  $\sigma_1 = \text{constant}$  (dat wil zeggen het aantal grammen water dat per m<sup>2</sup> houtoppervlak per tijdseenheid wordt afgegeven) en heeft de ervaring geleerd dat daarbij geen scheuren in het hout optreden, dan heeft een continue vochtstroom uit het hout naar het oppervlak plaats. Hoe langer deze vochtstroom in stand kan worden gehouden, hoe sneller men in deze periode droogt. Daar voor iedere droger de luchtsnelheid een vast gegeven is, kan men de droogsnelheid  $\sigma_1$  slechts veranderen door ( $\theta_d - \theta_n$ ) te veranderen, dat wil zeggen door de RV bij een gekozen temperatuur  $\theta_d$  te verlagen of te verhogen.  $\sigma_1$  wordt groter bij verlagen van de RV.

Heerst in een andere droger een lagere luchtsnelheid dan in de ene, dan kan door een iets groter verschil tussen  $\theta_d$  en  $\theta_n$  te kiezen, de droogsnelheid  $\sigma_1$  weer worden aangepast. In deze droogfase kan men een lagere of hogere luchtsnelheid dus compenseren door een wat lagere of hogere RV te kiezen.

### Fase 2

In deze fase gaat de weerstand van het houtweefsel bij het vochttransport naar het houtoppervlak toe een steeds grotere rol spelen met het afnemen van het vochtgehalte. In de eerste droogfase en in het begin van de tweede droogfase heeft het vochttransport vooral plaats in de vorm van capillair watertransport bij een houtsoort als populieren, die hier als voorbeeld is gedacht. Daarna begint in het vochttransport naar het houtoppervlak de diffusie van waterdamp steeds belangrijker te worden. Deze verschuivingen in transportvorm maken de tweede fase reeds tot een fysisch moeilijk proces. En om het proces nog wat moeilijker te maken, beginnen in dit stadium van drogen met het dalen van het vochtgehalte in de buitenste houtlaag bovendien bindingskrachten van het vocht in de vezel- of celwanden op te treden, die toenemen naarmate het vochtgehalte van deze vezelwanden verder beneden 20% daalt. Dit zijn de oorzaken van het steeds langzamer verlopen van het droogproces in deze fase.

In de formule voor de tweede fase, die men in het algemeen bij het bereiken van het vezelverzadigingspunt wil laten eindigen, komt de luchtsnelheid niet meer voor. Voor snel drogende houtsoorten in geringe dikte-afmetingen is dit niet geheel juist: de luchtsnelheid heeft daarbij nog wel invloed op de droogsnelheid tot even boven het vezelverzadigingspunt, tot 40 à 30% vochtgehalte (zie ook invloed van de luchtsnelheid blz. 32).

In de tweede droogfase mag de RV niet te laag worden gekozen, maar men mag de RV ook niet te hoog aanhouden daar in beide omstandigheden de droogsnel-

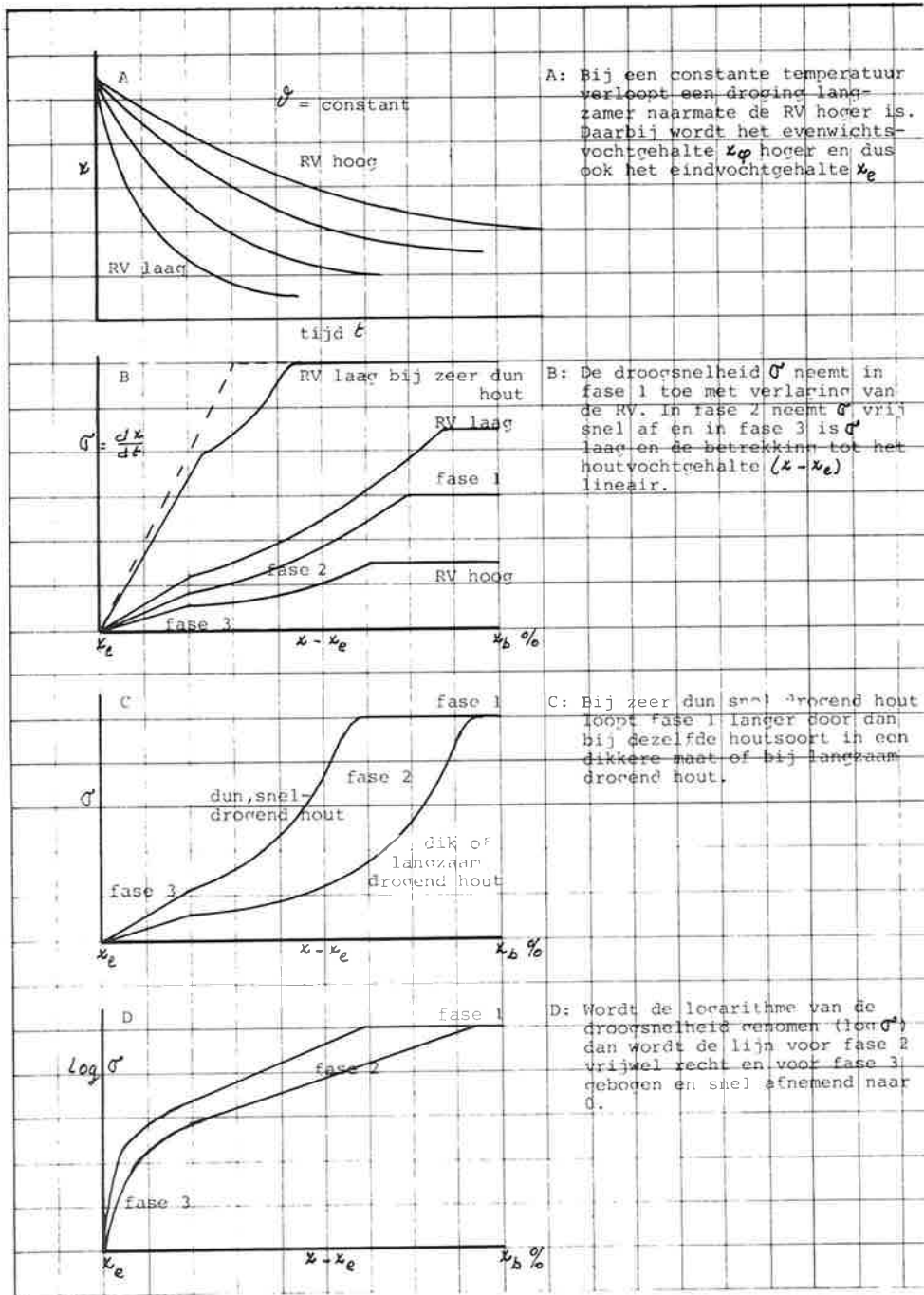


Fig. 14  
Schematisch verloop van een droging



heid wordt vertraagd. Een goede keuze van de RV in deze fase is dus van groot belang om over een zo lang mogelijke periode de toch steeds verder afnemende droogsnelheid nog zo hoog mogelijk te houden.

### Fase 3

De derde droogfase begint even beneden het vezelverzadigingspunt, in het algemeen gesproken tussen ongeveer 25 en 20% vochtgehalte. Bij dun hout kan het wat lager liggen en bij dik hout wat hoger.

Voor deze fase geldt weer een lineaire betrekking:

$$\sigma_3 = -k_3(X - X_\varphi) \text{ gr/m}^2\text{s}$$

waarin:

$\sigma_3$  = de droogsnelheid

$k_3$  = constante

$X$  = het heersende vochtgehalte van het hout

$X_\varphi$  = het evenwichtsvochtgehalte bij het ingestelde droogklimaat

In de derde fase neemt de constante  $k_3$  toe met een afnemende RV tot een maximum is bereikt. Daarna neemt  $k_3$  weer af. Door het verlagen van de RV wordt  $X_\varphi$  wat lager en de factor  $(X - X_\varphi)$  iets groter. Maar zodra het vochtgehalte van het hout wat is afgenomen, is het beoogde effect weer verdwenen en is  $\sigma_3$  weer op de oude waarde teruggevallen.

Het drogen in deze fase verloopt het langzaamst, waarbij het asymptotisch benaderen van  $X_\varphi$  de meeste tijd vergt en dus moet worden vermeden. Men kiest dan ook aan het einde van het droogproces een klimaat waarvan het evenwichtsvochtgehalte  $\varphi$  enkele procenten lager ligt dan het gewenste eindvochtgehalte.

De invloed van de RV op de droogsnelheid in de 3 droogfasen kan als volgt worden samengevat:

### Fase 1

Het hout heeft een zeer hoog vochtgehalte en het oppervlak is nat. De keuze van een niet al te hoge RV heeft een duidelijk versnellende invloed op de droogsnelheid, waarbij de RV niet zo laag mag zijn, dat het hout hierdoor wordt beschadigd.

### Fase 2

Naast watertransport begint damptransport een steeds grotere rol te spelen in het systeem van vochttransport in het hout. De droogsnelheid gaat duidelijk afnemen. In het begin van deze fase is het gewenst de RV niet lager te gaan stellen. Laag gekozen RV-waarden, waarbij het hout zelf geen schade ondervindt, kunnen echter wel vertragend werken op het droogproces.

### Fase 3

Eerst in deze fase, waarbij het vochtgehalte beneden het vezelverzadigingspunt komt, wordt de RV beduidend lager ingesteld. Deze fase verloopt het langzaamst.

In dit licht gezien kunnen vaak van in de praktijk gevolgde droogschema's de RV-waarden in de beginperiode van het droogproces (niet te verwarren met de opwarm-periode!) wat worden verlaagd en tot vochtgehalten omstreeks het vezelverzadigingspunt worden aangehouden. Eerst bij lagere vochtgehalten worden met het afnemen van het vochtgehalte ook lagere RV-waarden ingesteld.

### De invloed van de luchtsnelheid (v)

Bij de bespreking van de invloed van de relatieve vochtigheid op de droogsnelheid

is reeds aangegeven dat in de eerste droogfase en in het begin van de tweede fase de luchtsnelheid een rol speelt. Daarna neemt deze invloed snel af. De invloed is groot bij hoge vochtgehalten en bij snel te drogen hout. Eveneens wordt ze belangrijker, naarmate het hout dunner is. Vandaar dat in fineerdrogers met hoge luchtsnelheden wordt gewerkt (snelheden in de openingen van z.g. "Düsenkasten" en vlak over het fineer van 20 m/sec en meer). Bij vochtgehalten in de buurt van het vezelverzadigingspunt wordt de invloed van de luchtsnelheid op het droogproces zeer gering. En bij langzaam drogende houtsoorten en bij hout in grotere dikteafmetingen wordt deze invloed reeds zeer gering bij gemiddelde vochtgehalten die belangrijk boven het vezelverzadigingspunt liggen (Fig. 15).

Onderzoek van Kollmann en Schneider (1960), van Tuomola (1943), van Steinhagen (1974) en ook eigen onderzoek (1956, 1957) toonden aan dat bij de snel drogende houtsoorten beuken, grenen en populieren van ca. 2 cm dikte en meer, de invloed van de luchtsnelheid bij een vochtgehalte tussen circa 40 en 30% zeer gering wordt. Zoals reeds is aangegeven, is de droogsnelheid verder afhankelijk geworden van de dampdiffusieweerstand in het hout, welke vooral temperatuur afhankelijk is en in mindere mate afhankelijk van de relatieve vochtigheid. Geringe luchtsnelheden van minder dan 1 m/s zijn dan voldoende voor de benodigde warmte-toevoer naar het hout en de afvoer van het verdampende vocht.

Volgens deze informatie zou men in houtdrogers in de meeste gevallen dus heel goed met geringe luchtsnelheden van ongeveer 1 m/s en minder kunnen werken. De minimum luchtsnelheid in een houtdroger wordt echter bepaald door een heel andere eis die aan de installatie wordt gesteld en dat is de eis van de gelijkmatigheid in droging van de gehele houtstapel. Zowel boven als onder in de houtstapel moet het hout gelijk drogen. Aan de luchtuittreezijde van de stapel mag het vochtgehalte bij snel drogende houtsoorten niet te veel achter lopen bij het vochtgehalte aan de luchtintreezijde. De minimale luchtsnelheid wordt hierdoor tevens afhankelijk van de afmetingen van de houtdroger. Zo zal in een houtdroger met een luchtcirculatie dwars op de lengterichting van het te drogen hout (ook wel een "dwarsdroger" genoemd) bij een stapelhoogte van 1,5 m en een totale stapelbreedte van niet meer dan 2 m een gemiddelde luchtsnelheid van 1,3 à 1,5 m/s in de meeste gevallen voldoende zijn. Bij stapelhoogten van 2 m en stapelbreedten van in totaal 3 m wordt meestal een gemiddelde luchtsnelheid van 2 à 2,5 m/s toegepast om verzekerd te zijn van een gelijkmatige droging.

In maximale zin wordt de luchtsnelheid eveneens begrensd, maar nu door de daaraan verbonden kosten. Boven 3 à 4 m/s gaan deze namelijk zeer sterk oplopen. Kollmann en Schneider geven voor deze betrekking de volgende formule:

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{2,4}$$

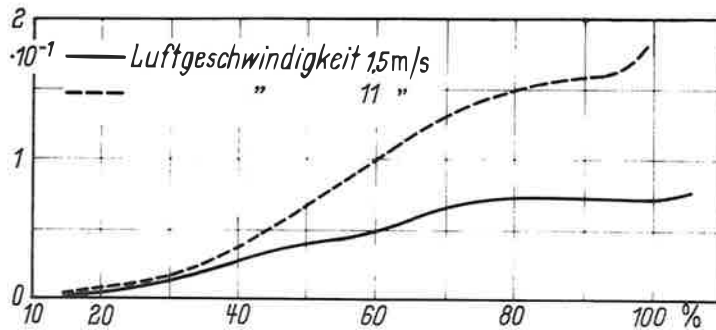
waarin: A = motorvermogen  
v = luchtsnelheid

Dit betekent dat wanneer de luchtsnelheid wordt verhoogd van:

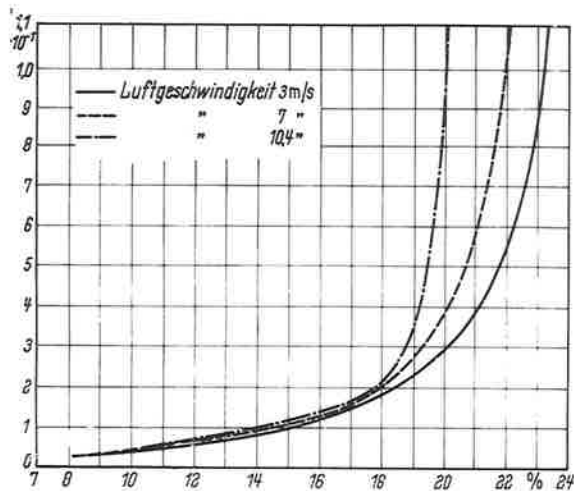
2 m/s naar 4 m/s het vermogen 5,3 maal zo groot wordt

2 m/s naar 6 m/s het vermogen 13,9 maal zo groot wordt.

Om deze redenen en omdat zoals reeds vermeld werd bij vochtgehalten van ongeveer 40% en lager de luchtsnelheid vrijwel geen invloed meer heeft op de droogsnelheid, wordt in het algemeen ongeveer 3 m/s als maximum luchtsnelheid aangehouden, ook in zeer grote drogers.



- a. Invloed van de luchtsnelheid op de droogsnelheid van met water verzadigd beuken, waarvan de kopse einden dampdicht waren afgesloten. Bij een vochtgehalte van 40 à 30% is de invloed van de luchtsnelheid vrijwel verdwenen  $\theta_d = 65^\circ\text{C}$   $\text{RV} = 70\%$ .



- b. Invloed van de luchtsnelheid op de droogsnelheid van beuken met een begin vochtgehalte van 23%. Tijdens het verdampen van het vocht aan het houtoppervlak is nog een invloed merkbaar daarna, bij 18%, niet meer.  $\theta_d = 66^\circ\text{C}$ ,  $\text{RV} = 25\%$ .

Fig. 15

De invloed van de luchtsnelheid op de droogsnelheid van beuken proefstukken van 45 x 10 x 2 cm. a voor nat hout, b voor luchtdroog hout.

Uit: Kollmann, F.u. Schneider, A, 1960: Der Einfluss der Belüftungsgeschwindigkeit auf die Trocknung von Schnittholz mit Heissluft-Dampf-Gemischen. Holz als Roh- und Werkstoff 18 (3), 81/94.

### Invloed van de houtsoort

De houtsoort zelf met zijn aan de soort eigen fysische eigenschappen speelt een zeer grote rol bij het drogen. Er zijn snel en gemakkelijk drogende houtsoorten maar ook matig langzaam of zeer langzaam en moeilijk drogende soorten, waarbij de begrippen "snel" en "langzaam" betrekking hebben op een lagere of hogere diffusieweerstand die het vocht bij het transport door het hout ondervindt. De begrippen "gemakkelijk" en "moeilijk" slaan op de geringe of grote kans op beschadiging of vervorming van het hout tijdens het drogen ten gevolge van krimp, collaps, spanningen enzovoort.

In het algemeen gesproken neemt de diffusieweerstand toe met een toename in de volumieke massa. Hoe zwaarder een houtsoort derhalve is, hoe langzamer hij droogt. Dit is heel begrijpelijk aangezien verreweg het grootste gedeelte van het vocht bij het transport door het hout de wanden der houtelementen moet passeren. Bij houtsoorten met dikwandige elementen, dat wil zeggen: zwaar hout, verloopt dit passeren van de wanden belangrijk langzamer dan bij houtsoorten met dunwandige elementen of wel: licht hout.

Deze verschillen gelden ook binnen een houtsoort, hetgeen in Figuur 15a bij eiken wordt geïllustreerd. Daarbij moet worden opgemerkt, dat bij alle ringporige houtsoorten de volumieke massa vrij sterk wordt beïnvloed door de groeiringsbreedte.

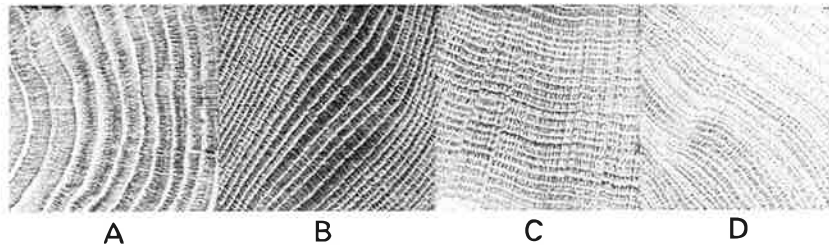


Fig. 15a: Invloed van de structuur van eiken op de snelheid van drogen (ribben).

Monster	gemiddeld aantal groeiringen per cm	begin vocht- gehalte %			vochtgehalte na 2 weken bij 20°C. 50% R.V.		
		kern	rand	gem.	kern	rand	gem.
A licht hout	7,3	37	23	31	17	13	14
B licht hout	4,5	41	25	34	29	14	21
C zwaar hout	3,9	41	28	34	19	13	16

Hoe smaller de groeiringen zijn, hoe groter het procentuele aandeel van het ringporige vroege hout op de totale massa is en hoe lichter ook het hout is. Eiken met brede groeiringen is in het algemeen taaier, sterker, zwaarder, krimpt meer en droogt langzamer dan eiken met zeer smalle groeiringen (zie ook: Houtsoorten, Informatie voor de praktijk: eiken. Publ. Houtinstituut TNO 1977).

Op de gegeven algemene regel voor het verband tussen volumieke massa en diffusieweerstand zijn natuurlijk een aantal uitzonderingsgevallen aan te wijzen. De

aanwezigheid van grote hoeveelheden inhoudstoffen kan het drogen sterk vertra- gen. Een lichte houtsoort als redwood is hier een bekend voorbeeld van, maar ook grotere hoeveelheden hars in het hout kan dit tot gevolg hebben (Keroewing). De aanwezigheid van grote hoeveelheden wasachtige en slijmachtige stoffen in Wane (*Ocotea rubra Mez.*) zijn er de oorzaak van dat deze niet direct zware houtsoort (vergelijkbaar met beuken) slechts in dikten tot 25 mm nog wel te drogen is. In gro- tere dikten is de kern vrijwel niet droog te krijgen. Iroko droogt in het algemeen vrij snel, maar wanneer kalkafzettingen in het hout voorkomen (vaak te zien als "witte puntjes" op het met een scherp mes aangesneden kopse vlak) wordt hierdoor de diffusie sterk geremd en daarmee het drogen. Iets dergelijks komt ook voor bij de zeer lichte houtsoort Abachi (*Triplochiton scleroxylon K. Schum.*) Aangezien Abachi zeer snel bij hoge temperaturen kan worden gedroogd, ontstaan door deze diffusie-remmende afzettingen plaatselijk grote verschillen in vochtgehalte, waar- door de beruchte "waternesten" worden gevormd.

Daarentegen zijn de tamelijk zware houtsoorten afrormosia (*Pericopsis elata v. Meeuwen*) en basralocus (*Dicorynia paraensis Benth.*) naar verhouding snel te dro- gen, hetgeen in verband staat met de anatomische structuur van het hout.

De diffusieweerstand en daarmee de droogsnelheid moet dan ook altijd worden beschouwd aan de hand van de anatomische structuur van de houtsoort, de aan- wezigheid van inhoudstoffen en de plaatsen waar deze zijn afgezet, het voorkomen van thyllen of gomachtige afzettingen in de vaten en vooral ook de structuur van het straalweefsel. Dit kan een belangrijke rol spelen bij het transport van vocht van de kern van het stuk hout naar het oppervlak. Daardoor is bij een groot aantal minder zware houtsoorten het dosse gezaagde hout eerder droog dan het kwar- tiers gezaagde. Dit hele anatomische beeld is voor iedere houtsoort anders, karak- teristiek voor de soort en bepalend voor de vochtdiffusieweerstand.

## DE INVLOED VAN DE HOUTAFMETINGEN OP DE DROOGSNELHEID.

### De houtdikte

Voor de invloed van de houtdikte op de droogtijd geldt een eenvoudige betrekking:

$$\frac{t_2}{t_1} = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^n$$

Verschillende onderzoekers hebben voor  $n$  waarden tussen 1 en 2 bepaald: Schlüter en Fessel 1,25; Villière 1,50; Egner 1,70; Kollmann en Moll 1,50; Kollmann 2,00. De factor 1,25 blijkt te laag te zijn. Bij niet te grote verschillen in dikte zal met  $n = 1,5$  à 1,7 een redelijke benadering mogelijk zijn. Bij vergelijking van grote dikteverschillen bijvoorbeeld 25 en 75 mm dik hout, zal  $n$  dichter bij de waarde 2,0 liggen. Bij een dergelijke vergelijking komt nog dat het veel dikkere hout met een belangrijk milder klimaat moet worden gedroogd om beschadiging van het hout te voorkomen.

De volgende tabel en Figuur 16 geven de berekende verlengingsfactoren voor verschillende waarden van  $n$  (zie de formule).

Houtdikte mm	volgens formule $n =$				Verlengingsfactoren bij toepassen van de formule
	1,25	1,50	1,70	2,0	
25	1	1	1	1	$\frac{t_2}{t_1} = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^n$ voor verschillende waarden voor $n$ en houtdikten van 25, 50, 75 en 100 mm.
50	2,4	2,8	3,2	4	
75	4,0	5,2	6,5	9	
100	5,7	8,0	10,6	16	

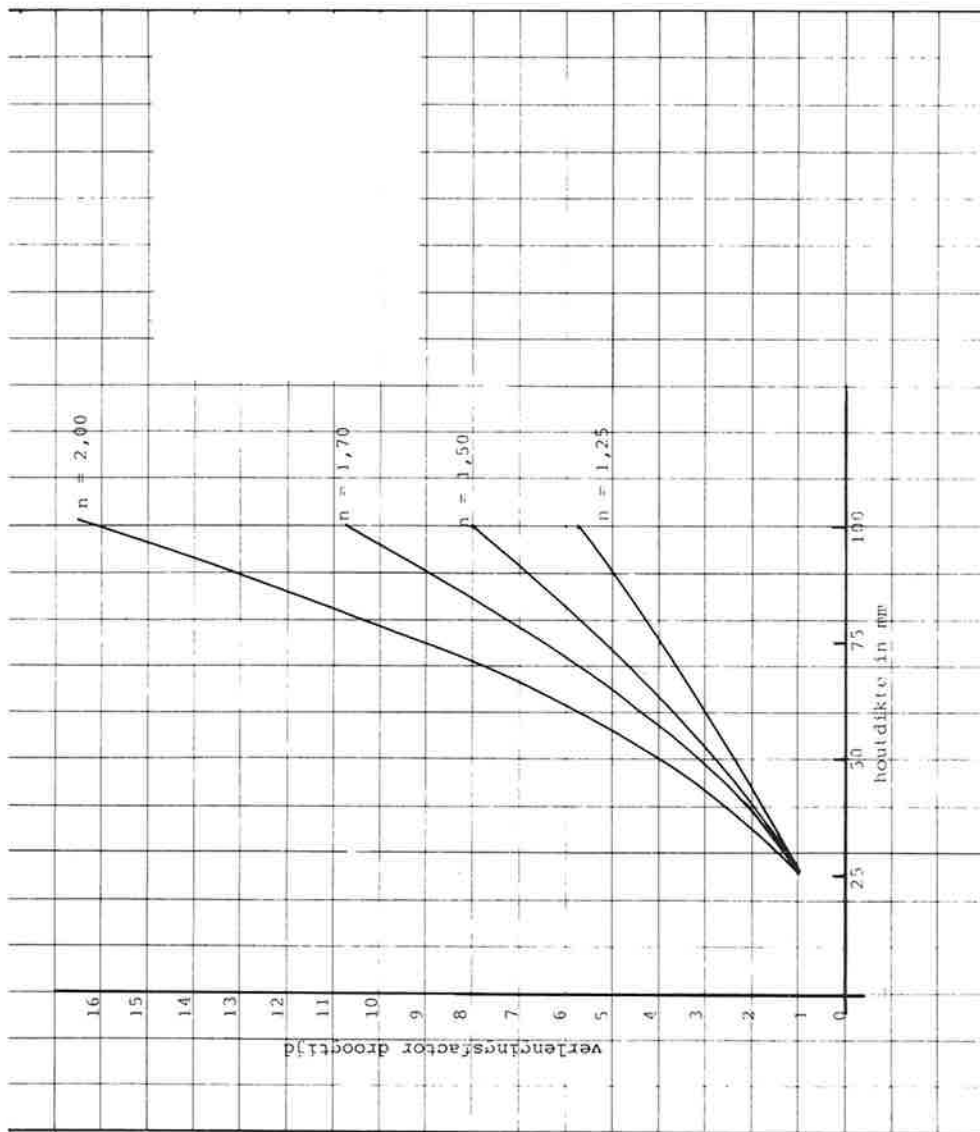
Ook deze benadering geldt globaal. Naast snel drogende houtsoorten als abachi, populieren, berken of beuken bij welke een wat lagere waarde voor  $n$  een betere uitkomst kan geven, bestaan matig vlug, langzaam en zeer langzaam drogende houtsoorten. Tot de laatste groep behoren onder andere teak, afzelia, merbau. Te verwachten is dat voor deze soorten de waarde voor  $n$  aan de hoge kant zal liggen, dat wil zeggen dichter bij 2. Daarnaast geldt nog dat dosse gezaagd hout wat vlugger droogt dan kwartiers gezaagd hout, behalve bij de zeer langzaam drogende houtsoorten waarbij dit verschijnsel weer vrijwel is verdwenen.

Daar het vocht via het houtoppervlak uit het te drogen stuk hout moet verdwijnen, is dus het totaal oppervlak per  $m^3$  hout, dat voor het droogproces ter beschikking staat van groot belang. Bij hout in zware afmetingen is dit oppervlak veel geringer dan bij hout in geringe afmetingen. Zo is het totaal verdampend oppervlak (kopse einden buiten beschouwing gelaten) van hout van 80 x 130 mm per  $m^3$  hout: 40,38  $m^2$  en van hout van 24 x 105 mm: 102  $m^2$ , dus ruim 2½ maal zo groot. Alleen al vanwege het oppervlak droogt het dunne hout dus 2½ maal zo snel als het dikke.

In de tijd dat het oppervlak afdroogt tot een diepte in het hout, gelijk aan ongeveer 1/3 van de dikte van het dunne hout, zal in beide genoemde gevallen evenveel vocht per  $m^2$  houtoppervlak worden afgegeven.

Daarna begint de steeds langer wordende diffusieweg van het vocht in het dikke hout steeds sterker merkbaar te worden in de steeds geringer wordende vochtgift per  $m^2$  houtoppervlak. De lange weg van het omlaag krijgen van het vochtgehalte in het inwendige van het dikke hout is begonnen!

Telt men daarbij dat bij zware houtsoorten veel meer water per procent vochtgehalte moet worden verdampt (zie hiervoor blz. 43) en dat de diffusieweerstand die



Figuur 16  
Verlengingsfactoren bij toepassen van de formule

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^n$$

voor verschillende waarden voor n en houtdikten van 25, 50, 75 en 100 mm.

het vocht bij het transport door het hout ondervindt zeer veel groter is dan bij lichte houtsoorten (licht in gewicht), dan gaat het duidelijk worden waarom zwaar hout in zware maten bijna altijd een zo véél langere droogtijd vergt dan hout in dunneren maten of van een lichtere soort.

### **De Houtbreedte**

Over de invloed van de houtbreedte op de droogsnelheid is in de literatuur geen informatie te vinden.

Enig eigen onderzoek heeft tot resultaat gehad, dat de droogtijd van ribben bij hout in dikkere maten (proeven met 6,5 cm dik sipo en sapeli) ongeveer de helft wordt van die van plaathout.

Vergelijking van enkele andere drogingen van andere houtsoorten in gelijke dikte maar verschillende breedtematen leidde tot de benadering dat de droogtijdverhouding

$$\frac{\text{plaathout}}{\text{bestekhout}}$$

ongeveer evenredig zal zijn met het aandeel van het zijoppervlak van het in bestek gezaagde hout in het totaaloppervlak, waarbij 50% voor een rib het maximum is. De droogtijdverkorting voor bestek gezaagd hout van verschillende breedte zal bij deze benadering grafisch eenvoudig zijn na te gaan (zie Fig. 17). Regels of ribben moeten daarbij wel met enige ruimte tussen de delen worden gestapeld om de zijvlakken als verdampingsvlakken te benutten.

Bij hout dunner dan 35 mm worden voor vele houtsoorten de droogtijden vaak reeds zo kort, dat het verschil in droogtijd niet meer interessant wordt. In die gevallen kan men bij het drogen van hout in bestekmaten van gemakkelijk drogende houtsoorten de delen beter tegen elkaar aan schuiven om de vullingsgraad van de droger te verhogen.

Bij langzaam drogende houtsoorten kan het echter toch nog zin hebben om ook bij geringere houtdikte de invloed van het wel of niet tegen elkaar aan schuiven der houtdelen op de droogtijd na te gaan.



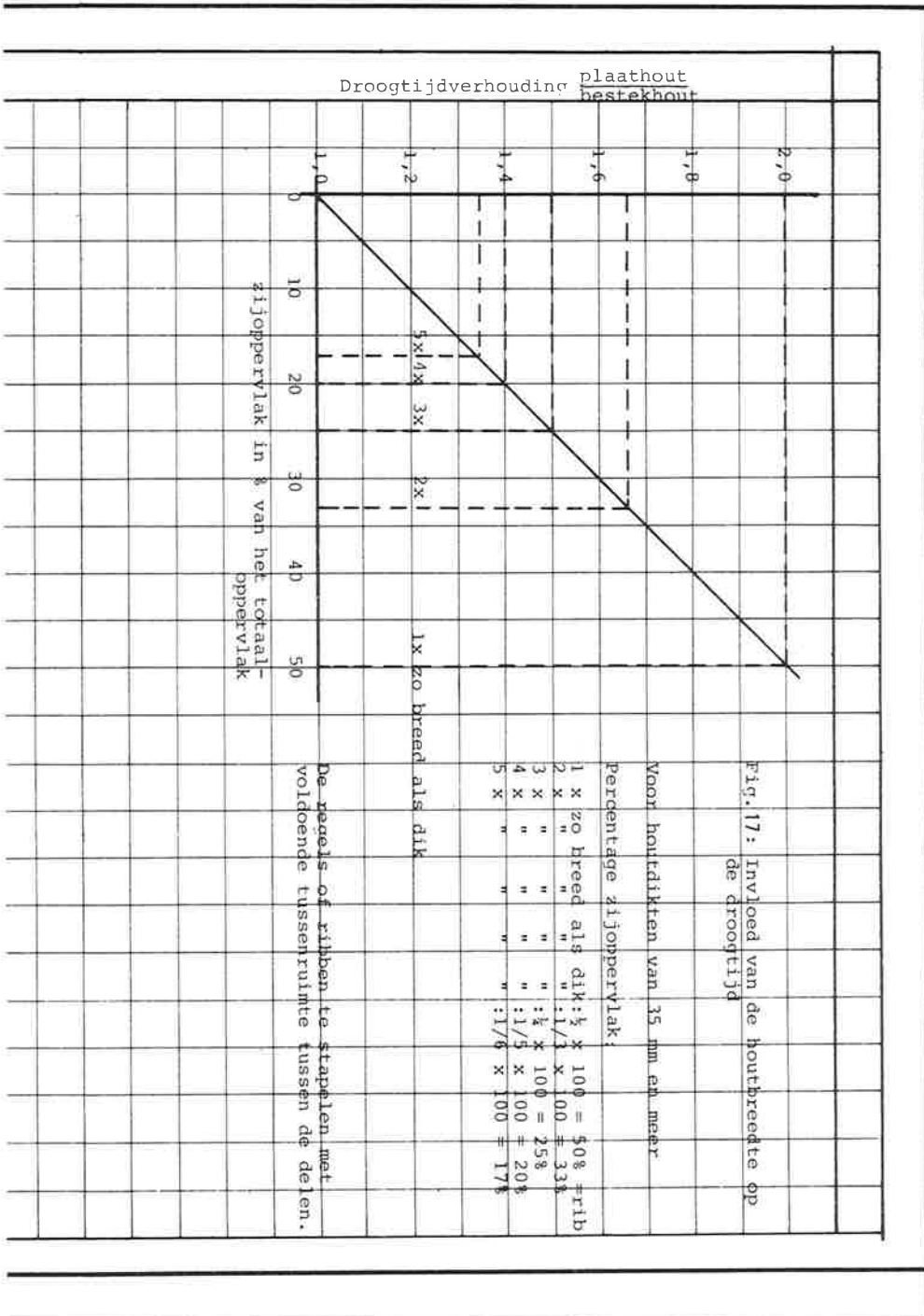


Fig. 17: Invloed van de houtbreedte op de droogtijd

Voor houtdikten van 35 mm en meer

Percentage zijoppervlak:

1 x zo breed als dik:	$\frac{1}{2} \times 100 = 50\%$	= rib
2 x "	$\frac{1}{3} \times 100 = 33\%$	
3 x "	$\frac{1}{4} \times 100 = 25\%$	
4 x "	$\frac{1}{5} \times 100 = 20\%$	
5 x "	$\frac{1}{6} \times 100 = 17\%$	

## HET VOCHTGEHALTE VAN HET HOUT

### De eindvochtgehalten

Bij het drogen van hout wordt altijd gesproken over het drogen van nat hout met een vochtgehalte van zoveel procent tot een gewenst of voorgeschreven eindvochtgehalte. Dit eindvochtgehalte is afhankelijk van het gebruiksdoel van het hout; het moet zodanig worden gekozen dat het in evenwicht is met het gemiddelde vochtgehalte onder de gebruiksomstandigheden. Het volgende overzicht geeft voor een aantal producten deze gewenste of voorgeschreven eindvochtgehalten:

toepassing	gemiddeld eindvochtgehalte % (m/m)
parket	8
raamwerk voor binnendeuren	8
meubelhout	10
schroten voor binnen plint- en omtimmeringshout traphout	13
hout voor buitendeuren (zowel loof-als naaldhout)	13 maximaal 1/5 van de partij tot max. 17
hout voor ramen en glaslatten	14
schroten voor buitenwerk	16
hout voor draaiwerk	17

Tabel 2 — Aanbevoien of vereiste gemiddelde eindvochtgehalten voor hout met een dikte van 52 mm of minder.

In verband met een duidelijk afwijkend evenwichtsvochtgehalte van een bepaalde houtsoort kan het wel mogelijk zijn, dat een geringe afwijking van de vermelde vochtgehalten wenselijk is. Dit kan zowel een verlaging als een verhoging van het voorgeschreven vochtgehalte betekenen.

### De hoeveelheid te verdampen water bij drogen van het hout

Naast het begin- en eindvochtgehalte wordt ook altijd gesproken over de hoeveelheid energie, die voor dat vochtverlies nodig is. Hiervoor is het nodig te weten hoeveel liters water met 1% vochtgehalte overeenkomen. Dit is geen constant getal, het is afhankelijk van de volumieke massa van de te drogen houtsoort. Houtsoorten die licht in gewicht zijn, bijvoorbeeld redwood, western red cedar, populieren, bevatten per procent vochtgehalte minder liters water dan zware houtsoorten als merbau, wengé, bubinga.

houttoepassing	hoogste eindvochtgehalte % (m/m)	
	rand	kern
montage-kozijnen voor binnen, inclusief binnen-deurkozijnen	12	16
hout voor geveltimmerwerk; vuren/grenen voor montage-kozijnen	14	18
Dark red meranti, sipo, abarco, makoré, hemlock en oregon pine voor montage-kozijnen	14	18
hout voor kozijnen in ruwbouw, afhankelijk van afwerking en krimp	17 14	21 18
iroko, teak, alerce, redwood, western red cedar, afzelia, merbau voor montage-kozijnen	17	21
met buitenbeits af te werken kozijnhout	14	18

Tabel 3 — Aanbevolen of vereiste hoogste eindvochtgehalte voor hout met een dikte van meer dan 52 mm.

De reden hiervan is de betrekking van het vochtgehalte op het geheel droge gewicht van het hout volgens de bekende formule:

$$\frac{\text{gewicht nat} - \text{gewicht droog}}{\text{gewicht droog}} \times 100 = \% \text{ vochtgehalte}$$

Dit verschil in aantal liters water kan nogal groot zijn voor de vele te drogen houtsoorten.

In de volgende tabel is voor enige houtsoorten het aantal liters water per % vochtgehalte voor 1 m<sup>3</sup> nat hout vermeld.

Het aantal liters water per procent vochtgehalte is direct af te leiden uit het dichtheidsgetal (d) van een houtsoort (in oudere literatuur vermeld onder "volumedichtheid"), namelijk  $\frac{1}{100} \times d$  (het dichtheidsgetal d = het gewicht van de geheel droge stof per m<sup>3</sup> nat hout).

Het is jammer dat in het onderzoek van houtsoorten nog te weinig aandacht wordt besteed aan het bepalen van het dichtheidsgetal.

Om abachi te drogen van 50% tot 8% moet in totaal per m<sup>3</sup> nat hout worden verdampt: (50-8) x 3,2 = 134,4 liters water en om beuken te drogen van 35% tot 10% (35-10) x 5,8 = 145 liters water.

Bij de berekening van de warmtecapaciteit (of verdampingscapaciteit) van een houtdrooginstallatie moet derhalve wel enigszins rekening worden gehouden met de te

Houtsoort	liters water per % vochtgehalte per m <sup>3</sup> nat hout (gemiddeld)
abachi	3,2
western red cedar	3,4
populieren	3,4
redwood	3,5
vuren	3,8
eiken (licht)	5,2
eiken (zwaar)	5,7
donkerrode meranti	5,4
beuken	5,8
bubinga	7,0
merbau	7,0
wengé	7,7

Tabel 4: aantal liters water per % vochtgehalte per m<sup>3</sup> nat hout voor verschillende houtsoorten.

drogen houtsoorten en het vochtgehalte van het nog natte hout aan het begin van het droogproces. Uit de gegeven getallen blijkt, dat bij het drogen van nat hout in de meeste gevallen hoeveelheden water tussen ongeveer 100 en 180 l per m<sup>3</sup> nat hout moeten verdampen, maar ook wel meer dan 200 l (bijvoorbeeld voor eiken van 60% tot gemiddeld 12%; ongeveer 260 l).



## DE STAPELLATTEN

### De afmetingen

Afhankelijk van de methode van drogen worden in Nederland in het algemeen twee latafmetingen toegepast, namelijk 20 x 20 mm vierkant voor het drogen van hout in drogers met een geforceerde luchtcirculatie, de normale "sneldrogers", en 25 x 25 mm voor het drogen in geklimatiseerde droogruimten. In de literatuur worden voor de drogers met geforceerde luchtcirculatie in samenhang met de dikte van het te drogen hout diverse afmetingen voor zowel de hoogte als de breedte der latten opgegeven. De opzet hiervan is om bij verandering van houtdikte de luchtsnelheid in de houtstapel op een ongeveer gelijke waarde te houden. Indien dikker hout wordt gedroogd, neemt bij eenzelfde lathoogte het totale luchtdoorlatende oppervlak af, hetgeen een hogere luchtsnelheid tot gevolg heeft. Door een hogere stapellat te gebruiken kan dit worden vermeden. Bij geringe verschillen in houtdikten zijn deze veranderingen onbeduidend. Wordt het verschil zeer groot, bijvoorbeeld tussen 25 mm en 75 mm dik hout, dan neemt de luchtsnelheid wel toe, doch toch nog belangrijk minder dan uit deze verhouding kan worden verwacht. De weerstand neemt namelijk ook toe en wel kwadratisch met de luchtsnelheid, waardoor de ventilatiecapaciteit eveneens wat terugloopt. Een hogere luchtsnelheid kan een wat scherpere droging tot gevolg hebben, hetgeen men juist bij dikker hout niet wenst vanwege de grotere kans op scheuren. Volgens de formule van bladzijde 30 is dit echter heel eenvoudig te compenseren door een wat hogere RV of een hoger evenwichtsvochtgehalte  $X_{\phi}$  in te stellen.

Een variatie in stapellatafmetingen is echter één der ongelukkigste dingen bij het verzorgen van het gezaagde hout. Men dient er naar te streven dat op de gehele houtwerf slechts latten in één afmeting voorkomen. Dan kunnen er geen vergissingen worden gemaakt waarbij dikkere latten naast dunnere in dezelfde stapel en houtlaag worden gebruikt. Dit heeft altijd gebogen hout tot gevolg.

Ook de variaties in latbreedte zijn onzes inziens niet nodig. Ook dit kan weer gemakkelijk tot vergissingen aanleiding geven waarbij de latten op hun kant worden gelegd in plaats van op hun plat. Dit gebeurt wanneer het verschil tussen de breedte- en hoogteafmeting van de lat te gering is gekozen. Indien brede latten nodig zijn voor het stapelen van zwaar nat hout, kan men latten maken met een breedte die gelijk is aan tweemaal de hoogte. Komt het stapelen van zwaar nat hout in hogere houtstapels (bijvoorbeeld 4 tot 6 m hoog) slechts zo nu en dan voor, dan kan men de grote druk op de latten van de onderste pakketten ook opvangen door twee gelijke stapellatten tegen elkaar aan te plaatsen. Latten met afwijkende afmetingen zijn dan niet nodig.

Blijkt in de praktijk de vierkante lat te zwak, doordat er een te hoog percentage breuk optreedt, dan kan men kiezen tussen een vierkante lat van grotere afmetingen dan voordien of een rechthoekige lat waarvan de breedte gelijk is aan tweemaal de hoogte.

### De houtsoort

In principe kunnen de stapellatten uit diverse houtsoorten worden gezaagd, doch altijd moet de stapellat uit een minder harde soort zijn vervaardigd dan de te drogen houtsoort. Wanneer de totale belasting te hoog is geworden mag wel de lat in elkaar worden gedrukt maar het te drogen hout mag geen "moet" of "indeuking" krijgen. Een tweede voorwaarde voor de te kiezen houtsoort is het niet veroorzaken van verkleuringen in het te drogen hout. De beste en meest neutrale houtsoort is nog altijd vuren. Een lichte en goedkope houtsoort als populieren heeft het nadeel dat hij erg gemakkelijk vocht opneemt en snel door schimmels wordt aangetast. Dit laatste

---

geldt ook voor beuken en grenen met zijn vele spint. Deze houtsoorten zijn dan ook minder geschikt voor de vervaardiging van stapellatten dan vuren.

#### **De onderlinge afstand in de houtstapels**

Evenals voor de afmetingen worden ook voor de onderlinge afstand in de houtstapel diverse afstanden genoemd in samenhang met de dikte van het te drogen hout. Ook dit is voor de praktijk geen bruikbare informatie. Veel beter is om voor al het hout met een dikte van 25 mm en meer een vaste afstand te kiezen, bijvoorbeeld 90 cm of 100 cm, en voor al het dunnere hout de halve afstand. Op deze wijze ontstaat een goede uniformiteit in al het gestapelde hout. Ondersteuning van de stapels onder de verticale rijen stapellatten met strijkhouten kan zonder veel moeite nauwkeurig gebeuren.

Bij het stapelen wordt de eerste lat op de kop van het hout geplaatst of ten hoogste enkele centimeters van de kop af (vanwege ruimte voor de vingers om het hout op te pakken). Vervolgens worden de latten op de gewenste afstand uit elkaar geplaatst tot men aan het andere einde komt waar eveneens een lat op de kop wordt geplaatst. Deze koplatt is niet nodig indien de afstand van de laatste lat dat het kopse einde minder is dan ongeveer 25 cm.

De halve lattaafstand wordt bij dun hout gekozen om het "doorhangen" te voorkomen. Doet men dit niet dan is de kans groot dat het dunne hout in een gebogen vorm of een golvende lijn droogt, hetgeen een onnodige vervorming van het hout betekent.

## BESCHADIGINGEN IN GEDROOGD HOUT EN HUN OORZAKEN

### I Beschadigingen ten gevolge van natuurlijke gebreken

Bij het drogen is het vanzelfsprekend van groot belang te weten of men wel goed heeft gedroogd. Indien hout niet goed gedroogd is wordt dit zichtbaar door het voorkomen van beschadigingen zoals scheuren, vervormingen enzovoort. Een moeilijkheid hierbij is echter dat niet alle opgetreden beschadigingen veroorzaakt zijn door onjuist drogen doch dat een groot aantal beschadigingen een gevolg zijn van natuurlijke gebreken in het hout. De minste problemen worden ondervonden bij het drogen van de beste houtkwaliteiten. Hout wordt echter in zijn kwaliteit gewaardeerd naar het voorkomen van die natuurlijke gebreken (afgezien van afmetingen). Bij mindere kwaliteiten zal men dan ook altijd meer natuurlijke gebreken kunnen tegenkomen, waardoor het drogen ervan moeilijker wordt en meer ervaring vergt. Het is derhalve nodig die gebreken te weten evenals de gevolgen daarvan op het te drogen hout. De opgetreden beschadigingen ten gevolge hiervan kunnen namelijk niet als droogfouten worden aangemerkt.

Daarnaast treden vervormingen van het hout op als gevolg van verschillen in tangentele en radiale krimp. Naarmate het vochtgehalte aan het einde van het droogproces lager is, is de opgetreden krimp groter en daarmee ook de vervorming. Het is dan ook zinvol om dit hoofdstuk te beginnen met een korte bespreking van vervormingen ten gevolge van de krimp en van afwijkende structuren alvorens de droogfouten zelf te behandelen.

### Vervormingen ten gevolge van krimp

De vervormingen ten gevolge van de krimp van hout worden het beste geïllustreerd door de tekening in figuur 18, ontleend aan een publicatie van het Forest Products Laboratory, Madison USA. Naast het kleiner worden van de houtafmetingen in natte toestand treedt ook een vervorming op.

Hoewel in de literatuur vaak wordt uitgegaan van de verhouding van de tangentele tot de radiale krimp, is dit als leidraad voor de vervormingsgraad van hout van een bepaalde soort niet juist. De werkelijke grootte en het verschil in de krimp in de beide genoemde richtingen zijn te gebruiken als aanwijzing voor de te verwachten graad van vervorming. Naarmate het eindvochtgehalte van het gedroogde hout lager is, is tevens het verschil tussen de tangentele en radiale krimp groter. Dit geldt voor vrijwel alle houtsoorten. Bij houtsoorten met zeer geringe krimpwaarden is dit verschil zó gering dat meestal slechts een zeer lichte vervorming optreedt bij het drogen tot lage vochtgehalten (12% en minder). Het dosse gezaagde hout zal bijna niet hol trekken. Voorbeelden van houtsoorten met een zeer geringe krimp zijn alerce, redwood, western red cedar, afzelia, iroko, honduras mahonie, muninga en teak. Tot de houtsoorten met grote krimpwaarden behoren: beuken, eiken, essen, keroewing, red lauan en yang.\*)

Het door het drogen holtrekken van ongekantrecht hout en de in doorsnede ruitvormige vervorming van ribben en gekantrecht hout in grote diktematen, is derhalve niet een gevolg van onjuist drogen. Integendeel, geen vervorming na het drogen

---

\*) Gegevens over de krimp en swelling van een groot aantal houtsoorten zijn opgenomen in de publicatie van het Houtinstituut TNO:

"HOUTSOORTEN, Informatie voor de praktijk" (1977).

De krimp en swelling zijn hierin grafisch weergegeven als afhankelijk van het vochtgehalte.



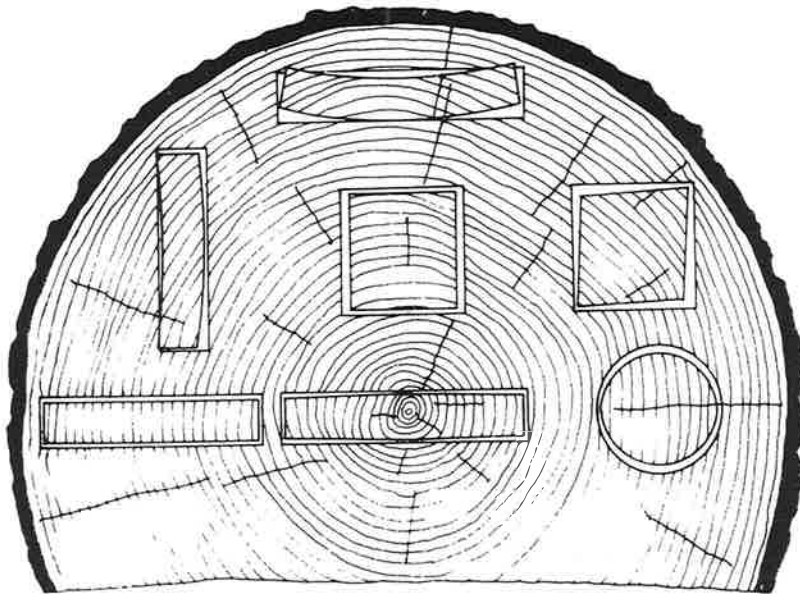


Fig. 18: Krimp en vervorming van hout. Ten gevolge van de anisotrope krimp speelt de plaats waar het hout uit de stam is gezaagd, een belangrijke rol bij de vervorming door krimp. (Foto For. Prod. Lab. Madison USA)

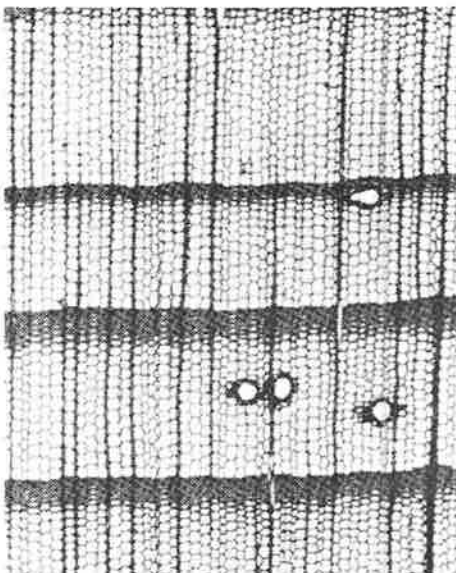


Fig. 19: Vorming van dunwandig vroeg- en dikwandig laat-hout in normaal naaldhout. De overgang van vroeg- naar laat-hout binnen een groeiring is vrij scherp (Foto Côté 1965)

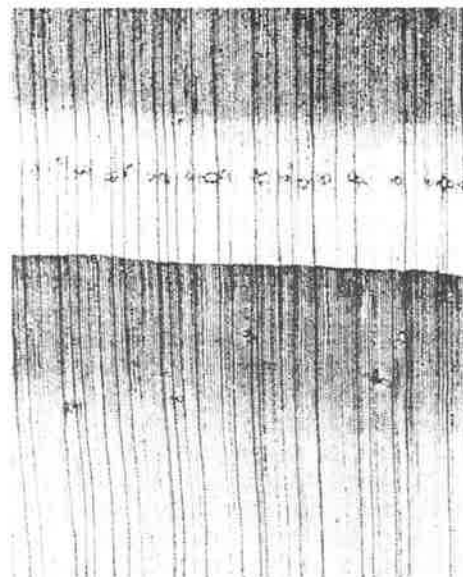


Fig. 20: Groeiringen in drukhout. De overgang van het vroeg-hout naar het laat-hout is vaag ten gevolge van het voorkomen van zeer veel vezels met drukhout.

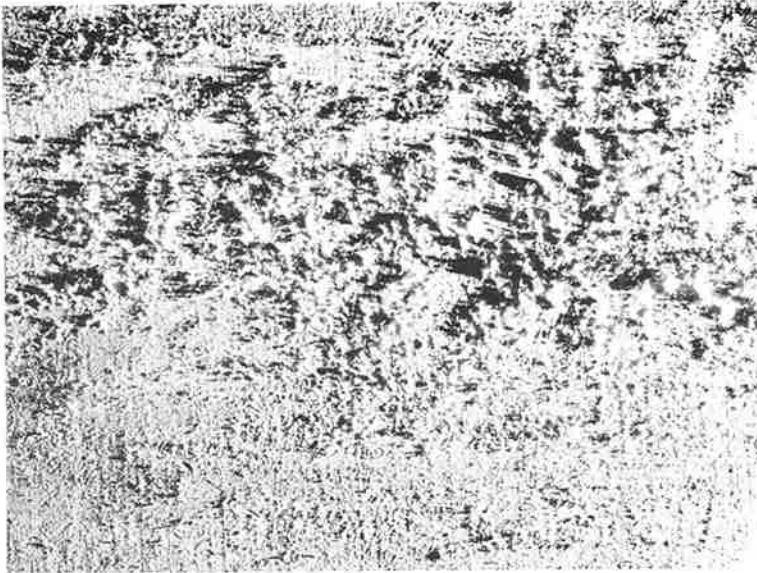


Fig. 21: Wollig oppervlak van gezaagd populieren, veroorzaakt door trekhout.

van hout met grote krimpwaarden wijst erop dat het vochtgehalte nog aan de hoge kant zal zijn, waardoor nog slechts een geringe krimp is opgetreden.

#### **Vervorming ten gevolge van natuurlijke gebreken in het hout**

Van de natuurlijke gebreken in hout willen wij in verband met het drogen de volgende noemen:

- a. reactiehout
- b. schuin draadverloop en draaigroei
- c. kwasten en het draadverloop om de kwasten
- d. sterke kruisdraad
- e. golvende en warrige draad, slingerend hart e.d.

#### **a. Reactiehout**

Reactiehout is de gemeenschappelijke naam voor het drukhout dat in naaldhout en het trekhout dat in loofhout kan voorkomen. Het is een houtweefsel dat de boom vormt als reactie op een verstoring of een hinder in zijn normale rechtstandige groei. Zo zal een boom die scheef gezakt is door bijvoorbeeld een grondverschuiving daarop reageren door zich weer op te richten om de top weer recht omhoog te krijgen. Dit doet de naaldboom door vaak vrij veel bijzonder hout, het drukhout, aan de naar de aarde toe gerichte zijde te vormen en zo de boom als het ware weer op te duwen. De boom wordt ter plaatse krom en door de eenzijdige vorming van veel hout komt het hart excentrisch te liggen.

De loofboom doet dit door aan de van de aarde afgekeerde zijde eveneens bijzonder hout te vormen, maar in dit geval trekhout. Het doel van de boom (of van de natuur) is hetzelfde als dat bij de naaldboom, n.l. het oprichten van de boom.

Maar ook andere krachten kunnen op een boom inwerken waardoor reactiehout wordt gevormd. Bekend is dat een scheve kroon, bijvoorbeeld bij randbomen van een bosopstand of bomen op een steile helling, de vorming van reactiehout tot ge-

volg heeft evenals voortdurende en eenzijdige winddruk. Onder de voortdurende druk van het eigen gewicht vormen takken zeer veel reactiehout.

Drukhout is met het blote oog te herkennen aan de donkerder kleur van het houtweefsel. Men krijgt daarbij de indruk dat de zone laat-hout in de groeiringen erg breed en donker van tint is en ook dichter en vaster is (Fig. 19 en 20).

Onder het microscoop is drukhout in de dwarse doorsnede direct te herkennen aan de ronde vorm der vezeltracheiden en de grotere wanddikte, vergeleken met normale vezeltracheiden.

Trek hout is in de meer uitgesproken vorm eveneens vaak met het blote oog te herkennen en wel door een wollig, een harig oppervlak van het vers gezaagd hout. Het voorkomen van trekhout bij populieren is karakteristiek en wordt dan ook vaak als voorbeeld gegeven (Fig. 21). Ook de aanwezigheid van een "baard" of "harige franje" langs de zaagsnede in vers hout wijst veelal op de aanwezigheid van trekhout.

Onder het microscoop is trekhout goed te herkennen, waarbij het door middel van kleuring duidelijk te scheiden is van het normale weefsel. (Fig. 22 en 23). In tegenstelling tot drukhout is het trekhout na het schaven in de meeste gevallen niet meer met het blote oog of een loupe terug te vinden.

De moeilijkheid van reactie-hout bij het drogen is de afwijkende krimp. Reactie-hout krimpt in de longitudinale (= lengte) richting veel meer dan het normale hout

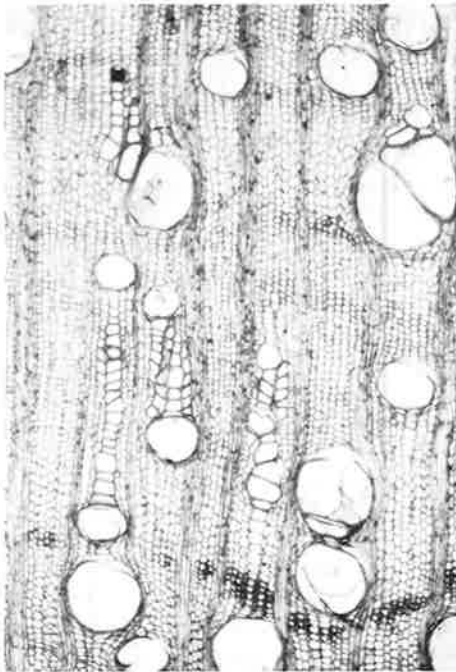


Fig. 22: Microfoto van normaal iroko.

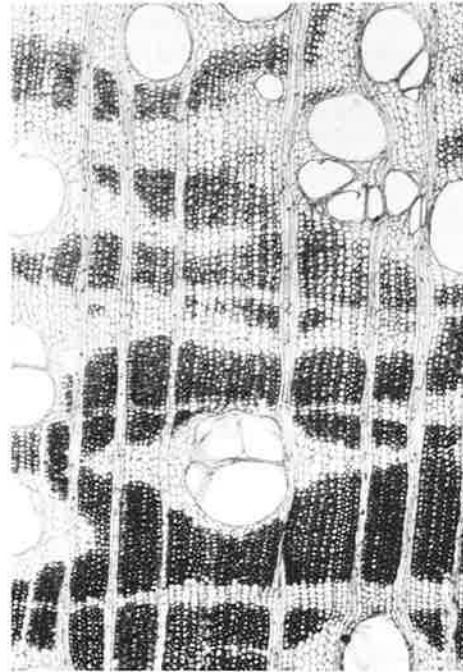


Fig. 23: Microfoto van iroko met trekhout. Het donkere vezelweefsel op de foto is trekhout dat door kleuring duidelijk zichtbaar is gemaakt.

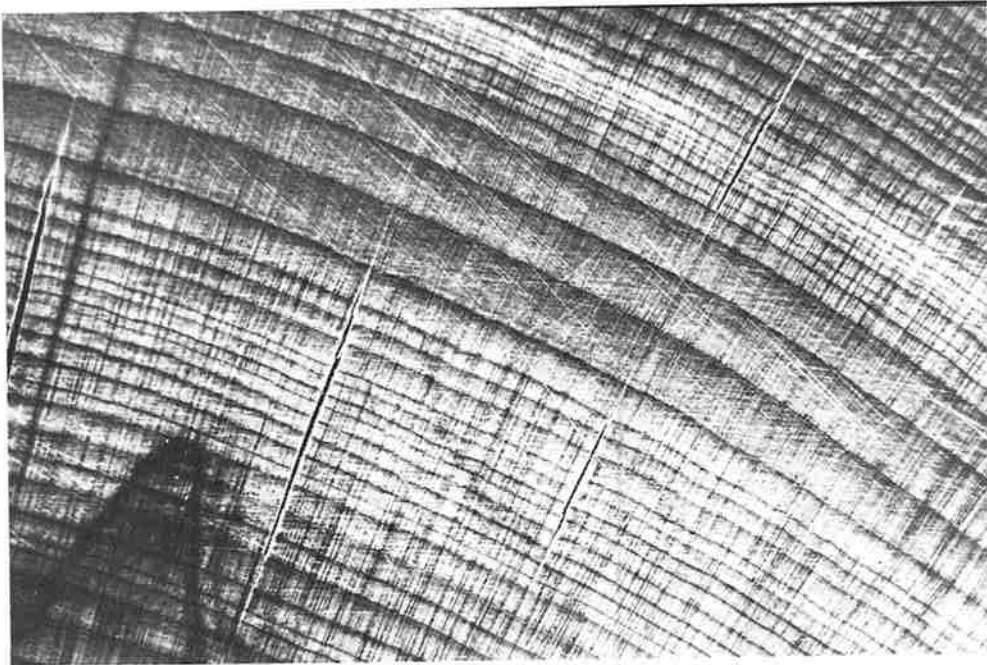
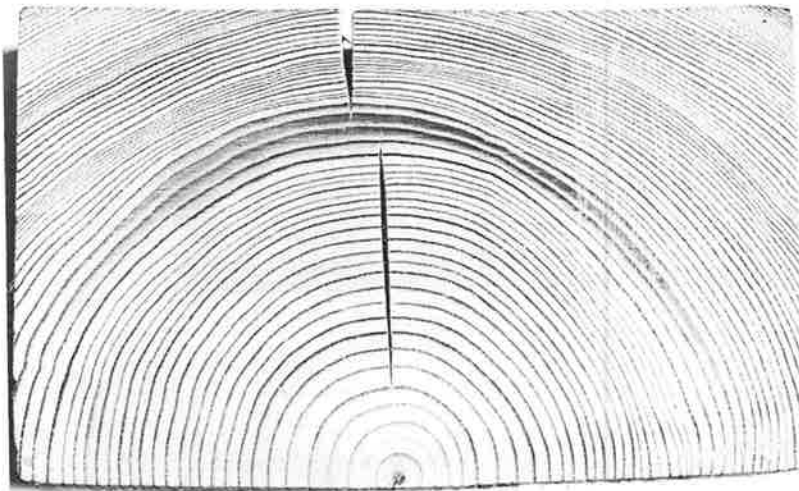


Fig. 24: Kopscheuren in parana pine met drukhout. De scheuren ontstaan in de zône's normaal hout, waarin de tangentielle krimp groter is dan in de zônes met drukhout.

Fig. 25: Idem figuur 24 maar bij vuren. De vier donker gekleurde groeiringen bevatten veel drukhout.



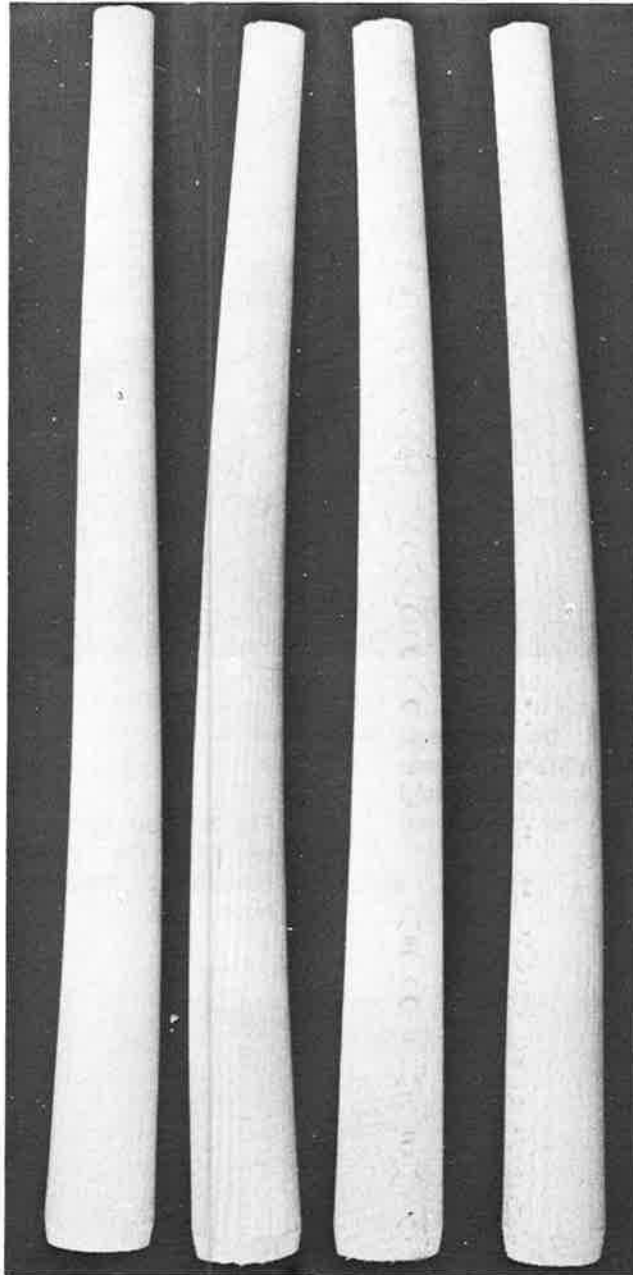


Fig. 26: Beuken stoelpoten, nat gedraaid en vervolgens gedroogd. Door de aanwezigheid van veel trekhout, trekken bij het drogen een aantal poten krom.

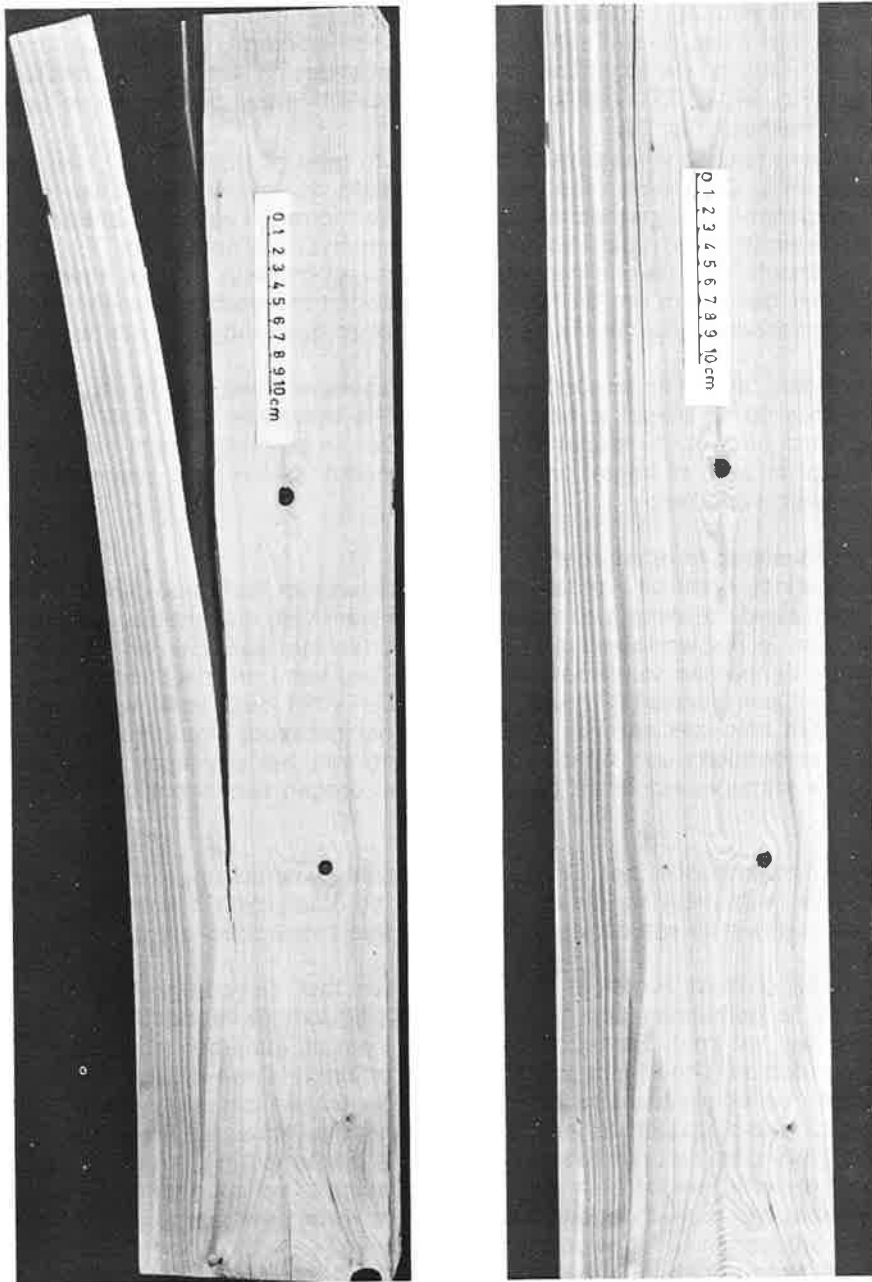


Fig. 27: Vuren met aan één zijde een brede zône drukhout. Op de grens van normaal hout en drukhout is het deel gescheurd. Links: bij  $X = 10\%$  staat de scheur wijd open en staat het drukhout gedeelte naar buiten gebogen. Rechts: bij  $X = 22\%$  is de scheur bijna gesloten en staat het drukhoutgedeelte recht. Door het stuk hout achtereenvolgens in een klimaat met een lage en een hoge RV te plaatsen is het proces te herhalen.

en in transversale richting (= dwars op de lengterichting) minder. Het gevolg hiervan is dat een stuk hout, waarin een zône reactiehout voorkomt, vrijwel zeker krom zal trekken en soms op de scheiding van het reactiehout en het normale weefsel zelfs scheurt (Fig. 24, 25, 27). Veel krom hout bij beuken is een gevolg van de aanwezigheid van trekhout (Fig. 26).

Reactiehout komt veel voor maar vaak slechts in zo geringe mate dat dit niet tot vervormingen leidt. Daarnaast moet worden vermeld dat niet alle boomsoorten even sterk reageren op de genoemde uitwendige verstoringen van de rechtstandige groei met de vorming van reactiehout. De redenen hiervan zijn onbekend.

Om van hout waarin veel reactiehout voorkomt "zoveel mogelijk over te houden", doet men er het beste aan om dit langzaam te drogen (bijvoorbeeld in een open loods) met een verzwaring op de stapel hout om het zo goed mogelijk vlak te drukken.

Voor dunner hout (32 mm en minder) wordt een stapellatafstand van 50 cm aangehouden. De druk op de stapel is het eenvoudigst te realiseren door één of twee andere pakketten hout op de stapel te plaatsen. Ook in de droger komt de stapel met reactiehout onderin te liggen om tijdens het nadrogen het hout eveneens zoveel mogelijk vlak te drukken.

#### **b. Schuin draadverloop en draaigroei**

Schuin draadverloop komt bij normale rechte stammen met rechtdradig hout vaak voor in de voet van de stam en wel in dat gedeelte waar vele stammen breed uitlopen en overgaan in het wortelstelsel. Bij boomsoorten met een vlak wortelstelsel (beuken, vuren, dennen en vele tropische houtsoorten) komt dit meer voor dan bij houtsoorten met een penwortel (eiken, grenen). Men vindt deze vorm van schuin draadverloop dan ook vaak aan een uiteinde van het gezaagde hout. Het schuine draadverloop veroorzaakt een op de lengterichting van het gezaagde hout wat schuin gerichte krimp waardoor dit gedeelte bij het drogen vaak krom of scheluw trekt.

Terwijl in een normale boom het longitudinaal gerichte weefsel ongeveer evenwijdig loopt met de lengterichting van de stam, loopt bij draaigroei dit weefsel in een spiraal om de centrale as van de stam. De spiraal kan zowel links- als rechtsdraaiend zijn.

Draaigroei is bij ontbast rondhout van houtsoorten met gewoonlijk een rechte draad duidelijk te herkennen aan de schuine richting van de droogscheurtjes in het oppervlak van het hout. Eenzelfde beeld komt voor bij stammen van tropische soorten met kruisdraadig hout, hetgeen hier echter inherent is aan de aanwezigheid van kruisdraad. Volledigheidshalve moet worden opgemerkt dat zeer vele bomen met een rechte draad tijdens de jeugdgroei een geringe draaigroei vertonen. Tijdens de diktegroei gaat de draad evenwijdig met de lengterichting van de stam lopen en op oude leeftijd treedt weer een geringe draaigroei op doch nu in een richting tegengesteld aan die uit de jeugdperiode. Deze vorm van draaigroei is echter zo gering dat hieruit geen nadelige gevolgen voortkomen.

Vindt echter deze verandering in draadrichting niet plaats, dan ontstaat vaak juist een versterking van de afwijking ten opzichte van de lengte-as van de stam en dit resulteert in een duidelijke draaigroei.

Stammen met een duidelijke draaigroei leveren hout dat als zaaghout onbruikbaar is, daar dit hout bij drogen altijd scheluw trekt.

#### **c. Kwasten en het draadverloop om de kwasten heen.**

Gezonde bomen in hun oorspronkelijk verspreidingsgebied zullen hun takken in

het jeugd stadium tijdens de lengtegroei van de boom over de stamlengte die later het zaaghout levert, in het algemeen vrij snel verliezen. De functie van deze takken en hun bladeren houdt door lichtgebrek meestal spoedig op waardoor de takken afsterven. De boom sluit het weefsel naar de tak af waarna de afgestorven tak door schimmels en insecten wordt aangetast, bros wordt en afbreekt bij harde wind of sneeuwbelasting, stoten, enzovoort.

Bij de meeste loofbomen breekt het nog dunne takje direct bij de stam af, het stompje wordt door het cambium overgroeid en bij de verdere diktegroei is niets meer te merken van de tijdelijke aanwezigheid van een takje. Vlak bij het hart van de boom vindt men later slechts de kleine, goed met het stamhout vergroeide kwastjes terug.

Bij naaldhout verloopt de takafstoting vaak moeilijker, de dode tak breekt verder van de stam af en het duurt lang voordat de takstomp geheel overgroeid is. In het stamhout ontstaat een stuk vaste of vergroeide kwast en een stuk dode, losse kwast (Fig. 28). Zolang de tak leeft wordt elk jaar of elke groeiperiode ook in de tak een groei ring gevormd, die doorloopt in de groei ring van de stam (Fig. 29). Dit om buigen van de groei ringen veroorzaakt warrigheid om de kwast in de stam. Bovendien moet het in de lengte gerichte stamweefsel om de takingroei heen buigen, hetgeen bij dikkere takken vaak tot vrij ver van de takingroei in de stam merkbaar is. Bij het drogen van dergelijk hout kunnen hierdoor vervormingen ontstaan, waarbij vaak het recht uitgezaagde hout ter plaatse van de grotere takingroei na drogen een knik vertoont.

In een vergroeide kwast ontstaat door het drogen vaak een scheur in het kopse vlak van de kwast.

Bij de dode kwasten ontstaat ruimte tussen de kwast en het omringende hout ten gevolge van verschillen in krimp. Hierdoor gaan deze kwasten los zitten en kunnen uit het hout vallen.

Hoewel kwasten in het algemeen als storend en kwaliteit-verminderend worden aangemerkt, kan kwastrijk hout in bepaalde gevallen als decoratief worden gewaardeerd. Voorwaarde is dat de kwasten gezond en in de stam vergroeid zijn. Om zowel de kwasten als het weefsel om de kwasten heel te houden kan dergelijk hout het beste eerst in een open loods in de buitenlucht worden gedroogd en eerst daarna volgens een voorzichtig droog schema versneld gedroogd tot het gewenste eindvochtgehalte.

Doordat ronde kwasten in hun lengterichting een longitudinale krimp hebben en het omringende stamhout een transversale, gaat bij nakrimpen of werken van het hout een kwast op den duur altijd uitsteken. Wil men dit voorkomen dan moet het kwastrijke hout tot een lager vochtgehalte worden gedroogd dan voor het normale hout voor dezelfde toepassing geldt. Slechts dan is het mogelijk om een glad oppervlak te behouden.

Kwastrijk hout wordt vanwege het decoratieve effect wel toegepast voor wandbepimperingen (grenen, vuren, larix) terwijl in het Alpengebied het arvenhout (*Pinus cembra L.*) met grote, fel tekenende kwasten gezocht is voor meubelen.

#### **d. Sterke kruisdraad**

Een vrij groot aantal tropische houtsoorten heeft een zwakke tot vrij sterke kruisdraad. Deze ontstaat door een periodiek van richting wisselen van het longitudinaal gerichte weefsel van spiraalsgewijs linksdraaiend naar rechtsdraaiend (Fig. 30 en 31). Wijkt de draadrichting sterk af van de longitudinale, dan heeft men te maken met een sterke kruisdraad. Bij drogen van dergelijk hout kunnen als gevolg van het schuin door het gezaagde hout lopende "kopscheurtjes" ontstaan als gevolg van het grote verschil in transversale krimp tussen de gedeelten met verschillend ge-



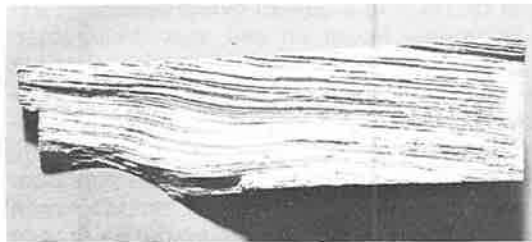
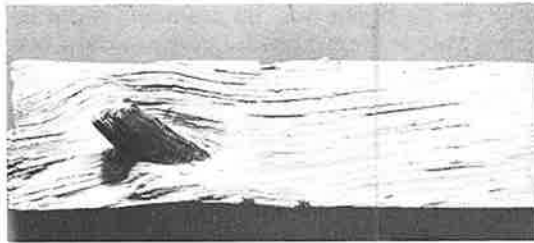


Fig. 28a en b.  
a: Dode takstomp in een stuk gekloofd grenen. De takstomp vormt een losse kwast in gezaagd hout. Het verloop van de draad om de takingroei heen is door het kloven duidelijk zichtbaar geworden.  
b: Op 7 cm van de takingroei was het draadverloop nog merkbaar.

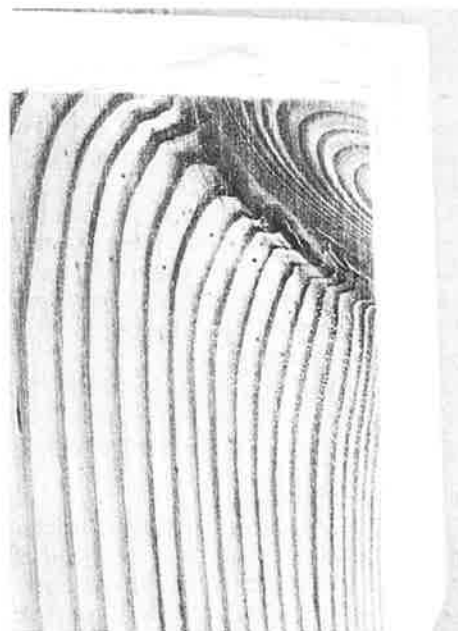


Fig. 29a en b: Verloop van de groeiringen om een vergroeide kwast heen. a: links onder het merg van de stam.

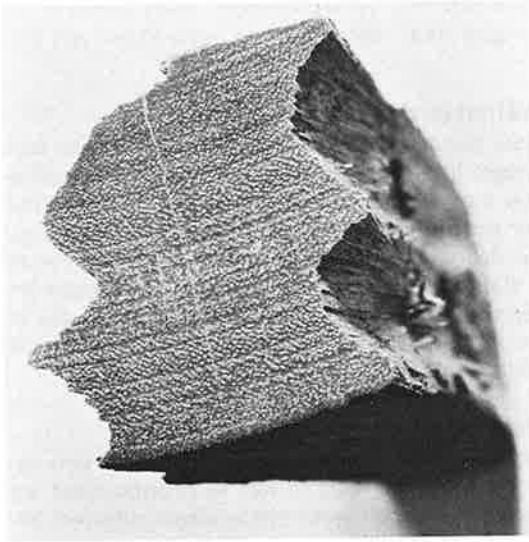


Fig. 30: Kruisdraad in merbau. Door het hout te kloven wordt aan de randen van het kopse vlak de verandering van draadrichting duidelijk zichtbaar.



Fig. 31: Kruisdraad in donkerrode meranti. Ook op het gekloofde zijvlak is de wisseling in draadrichting goed zichtbaar.

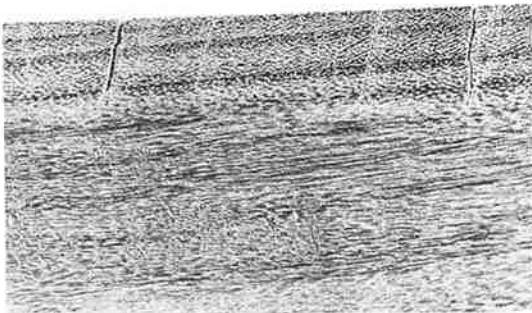
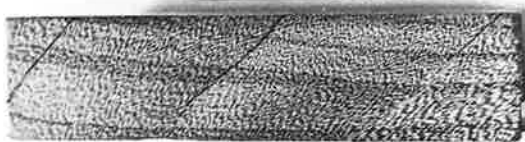


Fig. 32 a. en b. Dwarsscheuren in het oppervlak van een armlegger uit afrormosia. De armlegger is over de scheurtjes doorgezaagd. a. De houttekening bij de scheuren is te vergelijken met die op een kops vlak; het weefsel daaronder is longitudinaal gericht. b. verloop van de scheuren in het zaagvlak. De scheurtjes lopen dwars door de armlegger.



richt draadverloop. Deze beschadigingen zijn niet te voorkomen. Men bemerkt de te sterke kruisdraad en de beschadigingen vaak eerst bij het verwerken van het reeds gedroogde hout. (Fig. 32).

#### **e. Golvende en warrige draad, slingerend hart en dergelijke**

Al deze afwijkingen van de rechte draad van het longitudinaal en evenwijdig aan de lengte-as van de stam gerichte weefsel kan gemakkelijk tot krom en/ of schieluw trekken van het hout leiden. Bij een aantal houtsoorten (ahorn, essen, tamme kastanje) wordt een golvende draad zeer gewaardeerd om de decoratieve tekening. De beste methode om dergelijk hout te drogen is weer om het in een open loods of in de buitenlucht voor te drogen en daarna volgens een voorzichtig droogschema versneld na te drogen tot het gewenste vochtgehalte. Zowel in de loods als in de droger dient dit hout te worden gedroogd met een belasting op de houtstapel om het hout zo goed mogelijk vlak te houden.

## **II. Beschadigingen ten gevolge van onjuist drogen**

Bij het kunstmatig drogen kan door het kiezen van een temperatuur en/of een relatieve vochtigheid, die niet passen bij de toestand waarin het te drogen hout op dat moment verkeert, goed hout, dat geen der voren genoemde anomaliteiten bevat, toch worden beschadigd. Deze beschadigingen kunnen zijn: scheuren in het oppervlak en in de kopse einden, collaps en inwendige scheuren.

### **a. Scheuren in het oppervlak en in de kopse einden**

Door een te scherp droogklimaat in de beginperiode van het droogproces ontstaan droogscheuren. Daarbij is bijna altijd de R.V. (of het evenwichtsvochtgehalte) van het droogklimaat te laag gekozen voor de toestand van het hout op dat moment. Dit is te voorkomen door:

1. tijdens de opwarmperiode langzamer op te warmen en een hogere RV in te stellen of bij regeling van het klimaat via het evenwichtsvochtgehalte  $\chi_{\phi}$ , hiervoor een hogere waarde te kiezen.
2. in het begin van het droogproces zelf, eveneens een hogere RV of een hogere waarde voor  $\chi_{\phi}$  in te stellen dan voorheen.

(Zie verder ook: Droogspanningen blz. 65)

Kopscheuren zijn vervelende en vaak ook zeer verraderlijke beschadigingen. Houtsoorten met grote krimpwaarden zijn er vaak gevoelig voor maar ook bij houtsoorten met veel gunstiger krimpwaarden kunnen kopscheuren gemakkelijk voorkomen. Ze zijn het uiteindelijke gevolg van de zeer gemakkelijke en daardoor snelle verdamping van het vocht uit het natte hout via het kopse vlak. In het kopse oppervlak wordt het evenwichtsvochtgehalte  $\chi_{\phi}$  met de daarbij behorende krimp snel bereikt. Maar één of enkele centimeters onder dit oppervlak is het hout nog nat en niet aan krimpen toe.

Nu is rechtdradig hout veelal gemakkelijk in de radiale richting te kloven omdat de zwakste plaatsen in het hout worden gevormd door de contactvlakken tussen het longitudinaal gerichte weefsel en de radiaal lopende houtstralen. Bij krimpen van het hout ontstaan in diezelfde contactvlakken echter ook de grootste spanningen. Te verwachten is dan ook dat bij het ontstaan van kopscheuren deze in verreweg de meeste gevallen langs de stralen zullen lopen. Ook langsscheuren in het houtoppervlak beginnen bij de stralen en hetzelfde geldt voor de fijne haarscheurtjes in hout bij expositie in weer en wind.

Kopscheuren springen niet slechts in nat hout. Luchtdroog hout uit een open loods (vochtgehalte 20 à 25%) dat in de winter in een binnenklimaat komt vertoont

vaak na één of enkele dagen kopscheurtjes, radiaal langs de stralen lopend met soms nogal willekeurig verlopende dwarsscheurtjes daartussen. Een snelle verdamping van vocht via het kopse vlak met de daarbij optredende krimp kan altijd leiden tot het ontstaan van kopscheurtjes en soms ook tot grotere scheuren.

Berucht zijn de kopscheuren bij eiken. Eiken behoort tot de sterk krimpende houtsoorten en splijt ten gevolge van de grote en brede stralen, de spiegels, zeer gemakkelijk in radiale richting. Scheuren in de kopse einden van eiken trekken tijdens het versneld drogen bijna altijd dieper het hout in, wel tot 10 cm en niet zelden nog dieper bij hout in zwaardere afmetingen. Daarbij trekt de scheur in het oppervlak van het kopse einde meestal weer dicht zodat het hout er op het eerste gezicht gaaf uitziet. Zaagt men echter een plak van een halve cm dikte van het kopse einde af, dan komt de scheur tevoorschijn. Bij voorzichtig buigen van de kopse schijf wordt de oorspronkelijke scheur zichtbaar. Ook bij drogen in de buitenlucht kunnen kopscheuren, ontstaan na het verzagen van vers eiken tot bijvoorbeeld ribben van diverse afmetingen, zodanig dichttrekken dat ze bij normale inspectie niet opvallen.

Na het versneld nadrogen van in de buitenlucht gedroogd hout kan men wel eens onverwacht worden geconfronteerd met scheuren in het oppervlak of in de kopse einden. De vraag doet zich dan voor of de scheuren reeds in het hout aanwezig waren of zijn ontstaan tijdens het versneld nadrogen. In een aantal gevallen kan de vraag worden beantwoord na onderzoek met behulp van een binoculair microscoop van het houtoppervlak in de scheur. Hiertoe wordt het hout langs de scheur gespleten. In een scheur, ontstaan tijdens het drogen in de buitenlucht, zijn stofkorreltjes te vinden op het scheuroppervlak. Vaak vertoont dit oppervlak vlak bij het houtoppervlak een verkleuring naar donkerder tinten. Zijn de scheuren tijdens het versneld nadrogen ontstaan, dan is het scheuroppervlak schoon en er is geen verkleuring langs de rand van de scheur te zien. Wel kunnen scheuren die reeds zijn ontstaan tijdens het drogen in de buitenlucht, dieper en ook groter worden tijdens het versneld nadrogen. De remedie tegen kopscheuren bij hiervoor gevoelige houtsoorten zoals eiken, beuken, iepen enzovoort is, om aansluitend aan het afkorten van het hout de verse kopse zaagvlakken af te dichten. Hiertoe heeft Mobil Oil twee producten "Mobilcer A" en Mobilcer M" in de handel gebracht. Een ander goed werkend product is van Dow Chemicals: Dow latex No 307. Maar ook kan een goed resultaat worden verkregen met een goedkope PVAClijm, eventueel wat verdund met water. Ook verf kan worden gebruikt hoewel verf meestal veel duurder is dan de genoemde producten. Het gaat er slechts om de verdamping van vocht via het kopse vlak sterk af te remmen. En daarbij is zeer belangrijk te weten dat een eenmaal aanwezige scheur in het kopse einde altijd dieper het hout intrekt, ook al is na het ontstaan van de scheur het kopse vlak afgedicht.

**Opmerking:** Scheuren ten gevolge van besloten hart en een scheur aan de bastzijde in het midden van sterk dosse gezaagd hout vooral in zwaardere afmetingen zijn in het algemeen niet te voorkomen. Breed plaathout kan men over de lengte een zaagsnede ter hoogte van het hart laten geven. Daardoor blijven de plaathelften vlak en vrij van scheuren.

#### b. Collaps

Op bladzijde 27 is reeds vermeld dat bij een droogtemperatuur boven 40°C en soms zelfs boven circa 35°C collaps kan optreden in daarvoor gevoelige houtsoorten. Collaps is een duidelijk zichtbare typische vervorming waarbij het stuk hout naar het midden toe dunner is geworden dan de buitenzijden. (zie Fig. 33

en 34). Collaps kan slechts optreden indien het hout in een zeer natte of verse toestand verkeert. Als bovengrens voor het vochtgehalte wordt meestal circa 80% opgegeven, hoewel dit voor enkele houtsoorten hoger kan zijn, tot ongeveer 120% toe. Als laagste vochtgehalte waarbij collaps nog kan optreden wordt 40 à 35% aangehouden. De vervorming begint dus reeds bij een vochtgehalte ver boven het vezelverzadigingspunt, waarbij nog geen sprake kan zijn van de normale krimp van het hout. Natuurlijk treedt er reeds een geringe krimp op zodra de buitenste rand van een stuk hout tot beneden het vezelverzadigingspunt droogt, doch ook deze krimp heeft niets met dit verschijnsel te maken.

Collaps wordt veroorzaakt door een sterke vervorming van cellen en/of vezels in het hout. Deze celdeformatie hangt samen met onderdrukken, die tijdens het drogen in het celweefsel optreden. Vooral bij houtsoorten, waarin het transport van vrij water zeer moeilijk gaat, wordt de kans op celcollaps groot bij aanwezigheid van dunwandige cellen. Deze celwanden zijn in natte, verse toestand reeds weinig stevig en worden bij hogere temperaturen nog slapper. Bovendien veroorzaken de hogere temperaturen ook grotere onderdrukken in de lumina van de cellen en vezels. Het zijn dan ook in het algemeen de parenchymweefsels die bij celcollaps deformereren. Maar lichte houtsoorten met dunwandige vezels als balsa en de naaldhoutsoorten redwood en alerce kunnen eveneens gemakkelijk collaps krijgen. Zeer collaps-gevoelige houtsoorten zijn bijna alle Eucalyptus-soorten en eiken-soorten. In verse toestand ook de Europese houtsoorten, iepen, noten, beuken, peren. Bij de tropische houtsoorten is collaps gevonden bij keroewing en yang (*Dipterocarpus sp.*), dark red meranti (*Shorea sp.*) en een Braziliaanse houtsoort: imbuia (*Ocotea porosa L. Barroso*).

Bij het optreden van collaps speelt de versheid van het hout ook een belangrijke rol, hetgeen vooral voor de Europese loofhoutsoorten geldt. Hoe verser het hout is, dat wil zeggen hoe vlugger na het vellen van de boom het hout versneld wordt gedroogd, hoe groter de kans op collaps wordt.

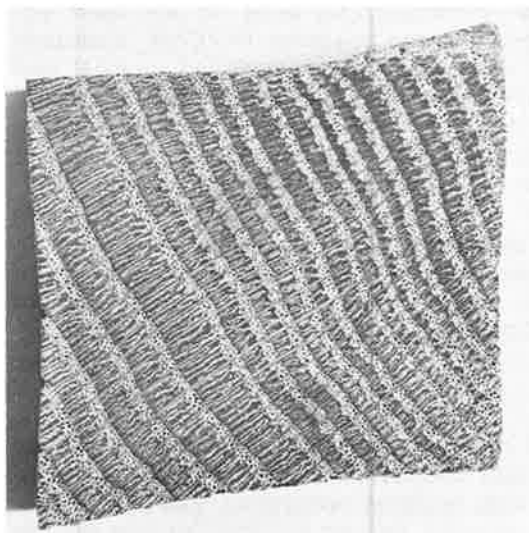


Fig. 33: Collaps in een rib Amerikaans rood eiken. Ten gevolge van de anisotrope krimp is de rib ruitvormig geworden (half kwartiers gezaagd, zie ook Fig. 18). De zijvlakken zijn "ingevallen" door collaps.

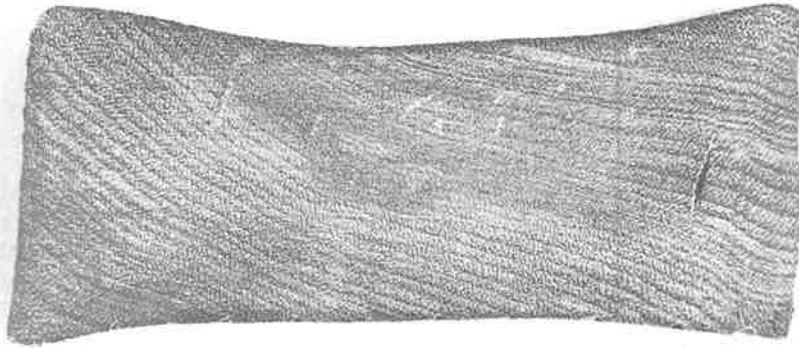
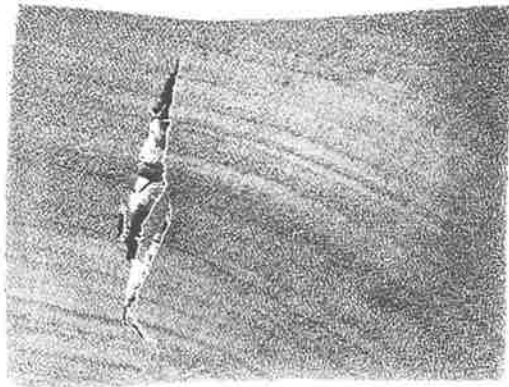


Fig. 34: Sterke collaps in imbuia, waarbij een klein inwendig scheurtje is ontstaan.



Fig. 35: Collaps in 75 mm dik donkerrode meranti. De typische vervorming is duidelijk te zien. Het hout is bovendien inwendig gescheurd, een begeleidend verschijnsel bij sterke vormen van collaps.



Zeer sterke collaps kan het optreden van één of meer scheuren binnen in het hout tot gevolg hebben (Fig. 35). Het hout moet dan wel als verloren worden beschouwd. Collaps kan door een stoombehandeling voor een belangrijk gedeelte en soms vrijwel geheel weer worden opgeheven. Deze stoombehandeling wordt uitgevoerd wanneer het hout een vochtgehalte heeft bereikt van 18 à 15% en duurt, afhankelijk van de houtsoort en de mate van collaps, van enige uren tot meer dan een dag.

### c. Inwendige scheuren

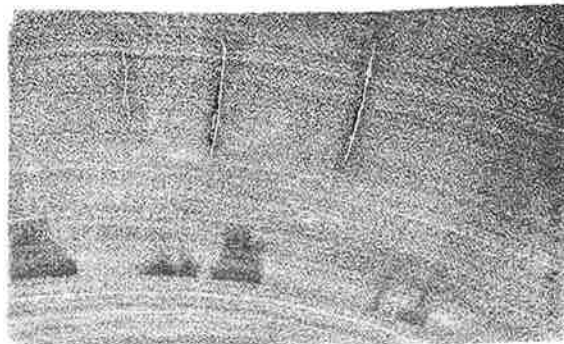
Het kan gebeuren dat het hout er na het versneld drogen goed uitziet, zonder scheuren of collaps. Bij de verwerking blijkt het hout echter inwendige scheuren te hebben waardoor het onbruikbaar is geworden.

In tegenstelling tot het voorkomen van inwendige scheuren in door collaps vervormd hout, is dit hout zeker niet vervormd maar heeft toch inwendige scheuren (Fig. 36 en 37). De oorzaak hiervan is het instellen van een veel te scherp droogklimaat op een moment dat het hout nog een vrij hoog vochtgehalte in de kern heeft. Het droogproces is goed ingezet en het hout is goed, zij het vaak wat scherp gedroogd tot een gemiddeld vochtgehalte van 30 à 25% is bereikt. Bij dat vochtgehalte wordt meestal naar een scherper droogklimaat overgegaan. Het hout kan echter door verschillende oorzaken zoals een veel hoger beginvochtgehalte dan men voor dat hout gewend is of extra zwaar hout voor de soort, een steile vochtgradient hebben gekregen, waarbij het gemiddelde vochtgehalte wel met het gevolgde droogschema in overeenstemming was. Dat gemiddelde vochtgehalte was echter ontstaan uit een hoog kernvochtgehalte van misschien wel 40% of nog meer en een laag randvochtgehalte van bijvoorbeeld 13%. Bij dit lage randvochtgehalte geeft deze rand niet veel meer mee bij het krimpen van het hout in de kern. Het weefsel in de kern moet derhalve alle krimp en spanningen opvangen. Verloopt het droog- en krimproces te snel, dan gelukt dit niet met als gevolg hiervan een inwendige scheur. Inwendige scheuren lopen weer radiaal langs de stralen (zie Fig. 38).

Men kan vergissingen in deze richting voorkomen door een goede analyse van kern- en randvochtgehalten naast het gemiddeld vochtgehalte, alvorens het hout te drogen. Verder dienen tijdens het drogen de kern- en randvochtgehalten ook afzonderlijk te worden gevolgd. Voor de metingen van de kernvochtgehalten zijn langere elektroden met een geïsoleerde schacht doelmatig; voor de metingen van de randvochtgehalten worden korte elektroden gebruikt. De elektroden moeten tot de juiste diepte in het hout worden geslagen dat wil zeggen tot halverwege de houtdikte en tot 10 à 15 mm diepte. (Zie ook "Droogspanningen, blz. 65).



Fig. 36: Inwendige scheuren in 75 mm dik donkerrode meranti. Beide stukken zijn niet vervormd zoals bij collaps het geval is. De scheuren kunnen over grote lengten door het hout lopen.



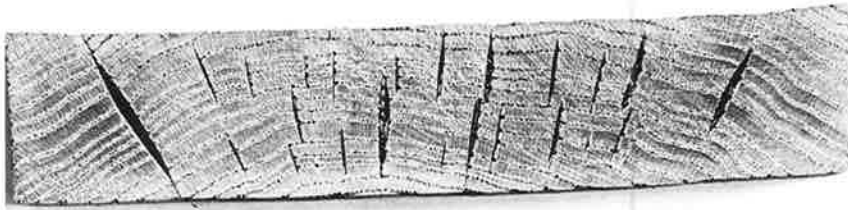


Fig. 37: Zeer ernstige inwendige scheurvorming in 55 mm dik Amerikaans rood eiken. Collaps is in geringe mate ook opgetreden.

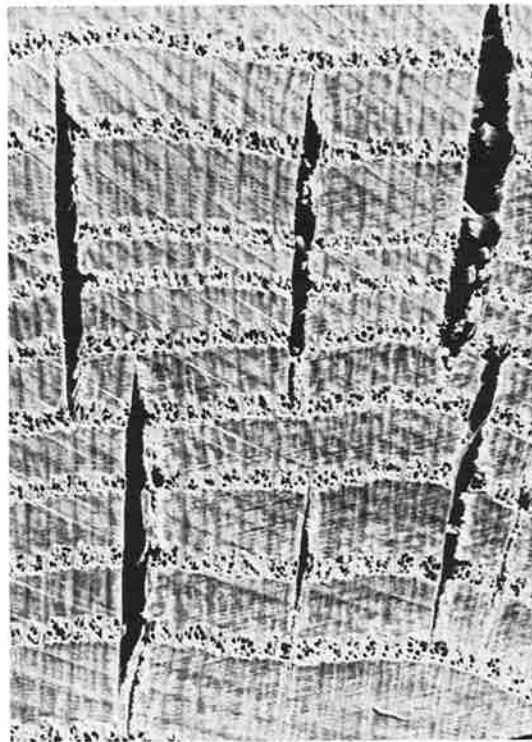


Fig. 38: Macro-opname van het Amerikaans rood eiken van figuur 37. De scheuren lopen langs de stralen en eindigen aan boven- en onderzijde bij dezelfde straal.

#### d. Vervormingen

Gebogen en scheluwgetrokken hout kan na het drogen eveneens voorkomen, doch dit is geen gevolg van een onjuiste keuze van het droogklimaat. In de meeste gevallen is de oorzaak te zoeken in onjuist of slordig plaatsen van de stapellatten en strijkhouten tussen het te drogen hout. Deze moeten altijd in een verticale lijn geplaatst zijn, waarbij de onderste strijkhouten of stapellatten een stevige en vlakke ondersteuning hebben. Bij het niet opvolgen van deze regel zal het nog natte hout, dat als een plastisch, enigszins vervormbaar materiaal te beschouwen is, onder invloed van schuin werkende krachten worden verbogen en in die vorm gedroogd. Bij het drogen van dun hout, dunner dan 25 mm, wordt een onderlinge lat-afstand van 50 cm aangehouden; voor dikker hout geldt in het algemeen een on-



derlinge latafstand van 1 m. Wordt dun hout met een latafstand van 1 m gestapeld, dan loopt men grote kans dat het natte hout tussen de latten gaat "doorhangen" en in de lengte gezien in een soort van golvende lijn droogt.

Soms kan vervorming een gevolg zijn van het niet gelijkmatig over de gehele lengte drogen van lang hout. De oorzaak hiervan is het niet gelijkmatig werken van de droger door het niet goed functioneren van een verwarmingsregister of het uitvallen van een ventilator of iets dergelijks. Maar ook een onjuist ontwerp van de droger kan ongelijkmatig drogen tot gevolg hebben (zie ook blz. 84). In een ergere vorm kunnen ook nog plaatselijke scheuren in het houtoppervlak ontstaan. Het goed onderhouden van de droger is wel van belang om dergelijke onaangename verrassingen te voorkomen.

De eigenlijke oorzaak van de laatgenoemde vervormingen is het eerder krimpen van het hout in de sneller drogende gedeelten. Dit veroorzaakt spanningen in het lange hout met vervorming of scheuren als mogelijk gevolg.

#### **e. Stapellatvlekken**

Stapellatvlekken die tot een zodanige diepte in het hout voorkomen dat ze na schaven nog zichtbaar zijn, treden bij het versneld drogen niet vaak op. Het is veel meer een euvel van het drogen in de buitenlucht, het natuurlijk drogen. In enkele houtsoorten kunnen stapellatvlekken bijzonder snel optreden en diepe, onherstelbare verkleuringen teweeg brengen. Tot deze soorten behoren ahorn, iroko en beuken, maar ook in eiken, peren en kersen kunnen deze vlekken vrij snel optreden.

De vlekken ontstaan door een zeer gemakkelijke ontleding van inhoudstoffen in een nog vrij natte toestand van het hout bij toetreding van zuurstof. Daarbij worden gekleurde verbindingen gevormd die de donkere vlek veroorzaken. De vlek wordt intenser van kleur naarmate de vrij natte toestand van het hout langer aanhoudt en de temperatuur hoger is. Men kan een opgetreden vlek naderhand wel trachten te verwijderen door een chemische behandeling (meestal een bleekmiddel) doch het resultaat daarvan is bijna altijd een andere vlek, namelijk die van het bleekmiddel.

De methode om stapellatvlekken in daarvoor gevoelige houtsoorten te voorkomen is om na het verzagen van de stam het oppervlak van het verse hout zo snel mogelijk tot enkele millimeters in het hout te laten drogen. Daarbij blijft in het hout onder de lat een natte plek. Om deze plekken waar dus stapellatten en hout tegen elkaar aan komen ook snel te laten drogen, moet het hout na twee à drie dagen worden omgestapeld, waarbij de latten op een andere plaats tussen het hout komen. Enkele dagen later gebeurt dit nogmaals waarbij de latten op weer een andere plaats tussen het hout worden gelegd (dus niet terug op de eerste plaats!). Bij wat gunstig drogend weer is het hout na een week tot tien dagen voldoende diep aan de buitenzijde ingedroogd waardoor het gevaar voor latvlekken is geweken. Essentieel hierbij is dat iedere maal weer schone en droge latten worden gebruikt.

Deze houtsoorten zijn ook gevoelig voor regenwater, en wel in die situaties waarbij plassen gedurende langere tijd op het hout blijven staan. Zo kan men vaak duidelijke vlekken vinden bij beuken plaathout dat met de bastzijde naar boven is gestapeld en waar in het door krimpen wat hol getrokken hout bij opslag in weer en wind plassen regenwater vrij lang kunnen blijven staan.

Bij het versneld drogen van vers gezaagd hout van de genoemde soorten is het derhalve ten zeerste aan te bevelen om het hout op boven omschreven wijze aan het oppervlak te laten aandrogen alvorens het hout definitief te stapelen voor het versneld drogen.

### Droogspanning

Droogt een nat stuk hout, dan staat het aan de buitenzijde vocht af dat van binnen uit vertraagd wordt aangevoerd. Wordt het droogproces zodanig geleid dat de verdamping aan het oppervlak ongeveer gelijk is aan de aanvoer, dan verloopt een dergelijk proces zeer langzaam. Bij het drogen in droogkamers met een geforceerde luchtcirculatie is het om louter commerciële redenen van belang het droogproces juist snel door te voeren. Hierbij zal het oppervlak van het te drogen hout snel een laag vochtgehalte bereiken, b.v. ca. 10%, hetgeen een sterke krimp tot gevolg heeft en daarmee een grote spanning in het hout. Het spanningsbeeld tijdens een dergelijk droogproces verloopt als volgt (Fig. 39).

Na de opwarmperiode van een lading nat hout wordt een vrij scherp droogklimaat ingesteld, waardoor de buitenzijde van het hout snel droogt en wil krimpen. Dit krimpen ondervindt een grote weerstand van het meer naar de kern toe gelegen nog natte en nog niet krimpemde hout. De buitenzijde van het hout wordt hierdoor als het ware opgerekt en komt onder een trekspanning te staan. Het middengedeelte ondervindt een drukspanning (Fig. 39 stadium 1). Er bestaan droogschema's waarbij er naar wordt gestreefd deze trekspanning zo groot mogelijk te maken, daar het droogproces daarna snel verder kan verlopen.

Is in dit stadium het klimaat te scherp gekozen, d.w.z. is de optredende trekspanning te groot om door deformatie van het weefsel aan het oppervlak te worden opgevangen, dan breekt het weefsel en er ontstaan oppervlakscheuren. Is dit niet het geval dan wordt met het ingestelde klimaat verder gedroogd, waarbij het verdampingsvlak zich iets naar binnen in het hout verplaatst, het vochtgehalte daalt en de krimp langzaam in de richting van de kern trekt.

Dan begint het kerngedeelte te drogen en te krimpen waarbij de drukspanning in de kern gaat verdwijnen en de trekspanning aan de buitenzijde wordt opgeheven (stadium 2). Na een moment van evenwicht slaat het spanningsbeeld om (stadium 3).

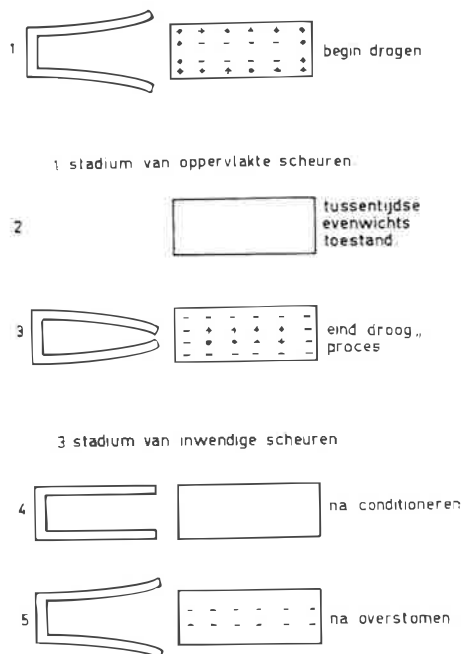


Fig. 39: Het spanningsbeeld van een stuk hout in de verschillende stadia tijdens het kunstmatig drogen.

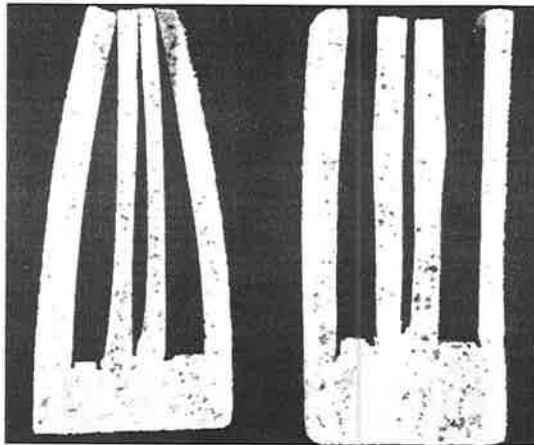


Fig. 40: Kunstmatig gedroogd Yang vóór en na het conditioneren. De droogspanning is door deze behandeling uit het hout weggevoerd.

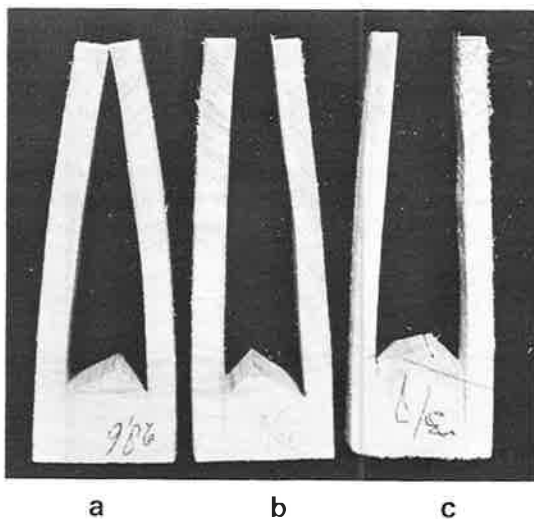


Fig. 41: Droogspanning in kersen:  
 a. voor het conditioneren.  
 b. halverwege het conditioneren, de spanning neemt af  
 c. de spanning is vrijwel uit het hout weggevoerd.

De opgerekte, droge en stug geworden buitenzijde blijft in dezelfde toestand en ondervindt van de zich samentrekkende kern een drukspanning. Omgekeerd komt de kern zelf onder een trekspanning te staan.

Wordt in dit stadium het droogklimaat te vroeg en/of te veel verscherpt om een afnemen van de droogsnelheid zoveel mogelijk op te vangen, dan kan de trekspanning in de kern te groot worden waardoor het weefsel scheurt: er ontstaan inwendige scheuren.

Aan het einde van het droogproces is het spanningsbeeld van stadium 3 aanwezig. Deze droogspanning is gemakkelijk op te heffen door tot slot enige uren bij een wat hogere temperatuur dan die van het droogproces zelf een hoge relatieve vochtigheid in te stellen, waardoor het hout aan de droge stugge en opgerekte buitenzijde weer vochtig en soepeler wordt. Hierdoor kan het weefsel toegeven aan de heersende drukspanning: de spanning verdwijnt uit het hout. Dit is de z.g. conditioneringsperiode (stadium 4). Zie de Figuren 40 en 41.

Houdt men deze behandeling te lang aan, dan ontstaat een plastische vervorming van de vezels aan het oppervlak ten gevolge van het te sterk zwellen van deze vezels. Nadat het vochtgehalte in het hout geëgaliseerd is, is door deze vervorming in de kern een drukspanning ontstaan (stadium 5).

Het spanningsbeeld kan zichtbaar worden gemaakt met behulp van z.g. vorkproefjes, zoals die in verschillende stadia terzijde van het spanningsbeeld zijn getekend. Deze worden uit een 1 à 1½ cm dik kopschijfje gezaagd op de wijze als in stadium 4. De afbeeldingen in Figuur 40 en 41 tonen de stadia 3 en 4 waarin te zien is dat de droogspanning geheel kan worden opgeheven. Is de conditionering van het hout na het drogen onvoldoende geweest of is de behandeling geheel achterwege gelaten, (hetgeen in de praktijk vaak gebeurt) dan kan een stuk hout met voldoende spanning bij de verdere verwerking reageren. Passeert het hout de vlakbank, dan wordt aan één zijde een laag materiaal weggehaald waardoor het spanningsevenwicht uit stadium 3 verbroken wordt en het hout iets krom getrokken van de vlakbank komt.

Het verzagen van kunstmatig gedroogd plaathout met veel spanning veroorzaakt sterk klemmen van het hout op de zaag, hetgeen in de fabrieken geïllustreerd wordt door de man die achter het spouwmes van de cirkelzaag houten wiggen in de zaagsnede moet slaan, om het verzagen toch mogelijk te maken.

Niet slechts bij het zoveel sneller verlopende droogproces in drogers met geforceerde luchtcirculatie treedt droogspanning op. Ook bij het drogen in geklimatiseerde droogruimten en met behulp van ontvochtigers kan droogspanning in het hout gemakkelijk ontstaan. Bij beide laatstgenoemde methoden van drogen moet men er extra voor waken een niet te grote droogspanning in het hout op te bouwen bij de neiging om steeds sneller te willen drogen. Deze drooginstallaties zijn er niet op ingericht om door conditionering de opgetreden spanning weer weg te werken. De gewone droger met een sproeistoombuis heeft die mogelijkheid wel.

### **De invloed van de versheid van het hout op het gedrag van het hout tijdens het drogen**

Reeds verschillende malen is in het voorgaande opgemerkt dat een beschadiging eerder en/of gemakkelijker optreedt in het hout van een pas gevelde en direct daarna verzaagde boom. In een vers gevelde stam heersen vaak groeispanningen, die zo sterk kunnen zijn dat de stam bij het vellen openscheurt. Op diverse manieren zijn deze spanningen aangetoond. Blijft een stam na het vellen een tijd liggen, voordat hij wordt verzaagd en blijft het gezaagde hout ook nog een tijd liggen, voordat het hout wordt gedroogd, dan krijgen deze spanningen de tijd om te verdwijnen door zeer geringe vervormingen van het weefsel onder invloed van die spanningen. Het verdwijnen van spanningen op een dergelijke wijze heet relaxatie. In onze Europese loofhoutsoorten heersen vaak grote groeispanningen en de beuk is hiervoor het klassieke voorbeeld. Wordt het hout nu snel na het vellen van de stam versneld gedroogd, dan worden aan de nog aanwezige groeispanningen de droogspanningen toegevoegd, hetgeen sneller kan leiden tot vervormingen en scheuren van het hout.

In vers geveld hout zijn de wanden van het dunwandige weefsel, het parenchym in de eerste plaats en daarnaast in bepaalde houtsoorten ook dunwandige tracheidale elementen, vaak nog zeer week. Geringe krachten zijn voldoende om ze sterk te vervormen. Dit leidt tot collaps maar ook gemakkelijk tot scheuren van het zeer vers gezaagde hout dat versneld wordt gedroogd.

Vanuit dit oogpunt verdient het dan ook alle aanbeveling om zeer vers gezaagd hout enige tijd te laten liggen, voordat het hout versneld wordt gedroogd. Het krijgt de tijd om te relaxeren, het zeer weke weefsel wordt wat minder week en bovendien verliest het hout bij opslag in de buitenlucht reeds een hoeveelheid vocht. Om vorengenoemde redenen heeft het inzagen van houtsoorten als beuken, eiken, en essen bij goed warm en droog zomerweer met een oosten wind zeer sterk scheuren van het hout tot gevolg. Niettemin gebeurt dat iedere zomer weer.

## VOORBEHANDELINGEN VAN HET TE DROGEN HOUT

Reeds van de beginperiode van het drogen bij verhoogde temperaturen af is gezocht naar methoden om hout zodanig voor te behandelen, dat het drogen sneller zal gaan zonder kwaliteitsverlies. Het verminderen van de krimp en van het krommen scheluw trekken van het hout nam hierbij eveneens een belangrijke plaats in.

Op blz. 14 is iets gemeld over het tussen rollers persen van vers gekapt hout om collaps en sterke vervorming tegen te gaan bij het drogen met hoge temperaturen (boven 100°C). Andere voorbehandelingen van het hout zijn;

- behandeling met chemicaliën
- bevriezen
- stomen

### a. Behandeling van hout met chemicaliën

De opzet hierbij is om een op het oppervlak van vers gezaagd hout gebrachte stof (vaak een zout) via het oplossen in het houtvocht, in de buitenlaag van het hout te laten diffunderen. Door de hoge zoutconcentratie aan het oppervlak en de afwezigheid van het zout in het hout zelf, vindt dit diffusieproces plaats hetwelk tijdens het drogen verder gaat ten gevolge van een toenemende concentratieverhoging aan de buitenzijde door verlaging van het vochtgehalte.

Aangezien een zoutoplossing een lagere waterdampspanning heeft dan gewoon water, ontstaat in de lucht grenzend aan het houtoppervlak met de zoutoplossing een lagere R.V. dan boven een nat houtoppervlak normaal heerst. Deze R.V. staat in nauw verband met het in oplossing gebrachte zout. De R.V.-verlaging treedt ook op wanneer de zoutoplossing zich in het oppervlak van het hout bevindt. Nu heeft de zoutoplossing altijd de neiging om de bij de oplossing behorende R.V. in stand te houden. Is de R.V. van de omgeving hoger dan die, welke bij de zoutoplossing behoort, dan trekt de zoutoplossing water uit de lucht aan en is de R.V. lager, dan staat de zoutoplossing water aan de lucht af. Er gaat dus van de oplossing een bufferende werking uit. Op het houtoppervlak toegepast zal een zout het snel uitdrogen van het houtoppervlak in een droge omgeving afremmen en daarbij vocht uit het hout zelf naar het oppervlak trekken. Hierdoor wordt scheurvorming tegengegaan en tevens ontstaat een wat minder steile vochtgradiënt in het hout. Daarnaast heeft het in het hout gediffundeerde zout een vermindering van de krimp tot gevolg.

Deze diffusieprocessen duren in het algemeen vrij lang, tenminste 1 à 2 maanden.

Voor een dergelijke behandeling geschikte stoffen moeten:

- a. gemakkelijk in water oplossen
- b. in oplossing niet te visceus zijn
- c. een vrij klein molecuul hebben
- d. boven de verzadigde oplossing een R.V. hebben van omstreeks 70 à 75%.
- e. bij hogere temperaturen (drogen) niet chemisch ontleden.

Voor deze behandeling toegepaste chemicaliën zijn o.a.: keukenzout [NaCl], ammoniumnitraat [NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>], ammoniumsulfaat [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>], calciumnitraat [Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], invertsuiker, ureum en combinaties van deze stoffen.

Ook wordt voor dit doel wel polyethyleenglycol gebruikt. Komt het hout met ijzer in contact (schroeven, nagels, bouten), dan werkt b.v. keukenzout zeer corrosief. De toe te passen chemicaliën mogen verder de lijmbaarheid en de oppervlakafwerking niet nadelig beïnvloeden. Bij toepassing van het behandelde hout in de buitenlucht mag het middel de aantasting door houtvernietelende schimmels niet stimuleren.

De chemische voorbehandeling van het hout wil men wel propageren voor houtsoorten die na het verzagen vlug scheuren of die een sterke neiging hebben tot krom- en scheluw trekken zoals *Eucalyptus*- en *Nothofagus*soorten in Australië en Nieuw Zeeland en *Pinus radiata* in Zuid Afrika en Nieuw Zeeland.

Door de bufferende werking van het zout in het houtoppervlak kan het hout bij een voor de betreffende soort scherp klimaat worden gedroogd en hierin schuilt dan weer een kans op tijdwinst bij het drogen.

De werkwijze wordt in Europa vrijwel niet toegepast.

#### **Opmerking:**

Eenzelfde verschijnsel als hiervoor beschreven treedt op wanneer hout wordt geïmpregneerd met een brandvertragend middel. Een dergelijk product is in de meeste gevallen een in water gemakkelijk oplosbaar fosforzout b.v. een ammonium- of siliciumfosfaatverbinding. Komt op deze wijze behandeld hout in een vochtige omgeving of wordt in de ruimte, waarin het behandelde hout is aangebracht de R.V. hoger dan ongeveer 80%, dan wordt het houtoppervlak weer vochtig. Het zout trekt vocht aan en gaat bij een RV boven 80% vervloeien. Het impregneren met een brandvertragend middel wordt wel voorgeschreven bij toepassing van hout voor wand- en plafondbekleding (b.v. schroten of ook wel balken) in openbare gebouwen en kantoren.

#### **b. Bevroren van hout.**

De laatste 10 jaren wordt in Amerika regelmatig gewerkt aan onderzoek naar de invloed van het in verse toestand bevroren van hout op het gedrag bij drogen en op de krimp. In deze voorbehandeling wordt het hout bij een ruimtetemperatuur van  $-25$  à  $-28^{\circ}\text{C}$  door en door bevroren tot een temperatuur in de kern van  $-18$  à  $-20^{\circ}\text{C}$  is bereikt.

De resultaten wijzen in de richting dat door het bevroren enige vermindering van de krimp kan worden verwacht. Bij het drogen van het ontdooide hout wordt algemeen ervaren dat de kans op collaps is afgenomen, evenals op het ontstaan van oppervlakscheuren. Daardoor kunnen scherpere droogschema's en hogere temperaturen worden toegepast, hetgeen een tijdwinst in het totale droogproces oplevert. Niet alle houtsoorten reageren echter op gelijke wijze. Bij enige soorten is een verminderde krimp gevonden, doch de mate van vermindering is bij deze houtsoorten niet even groot.

Voor black cherry (*Prunus serotina* Ehrh. Amerikaanse vogelkers), American elm (*Ulmus Americana* L. Amerikaanse iep) en redwood (*Sequoia sempervirens* Endl.) wordt een duidelijke reductie in de krimp opgegeven. Vrijwel geen vermindering in krimp is geconstateerd bij black walnut (*Juglans nigra* L. Amerikaans noten) en white oak (*Quercus alba* L. Amerikaans wit eiken).

De artikelen over het bevroren van redwood hebben ons nogal verwonderd, aangezien naar de algemene ervaring in Nederland zeer nat redwood bij bevroren scheurt en een wat strengere vorstperiode het hout in ernstige mate kan beschadigen. Naar aanleiding van deze berichten zijn in het Houtinstituut proeven uitgevoerd met het bevroren en aansluitend drogen van redwood in de afmetingen: dikte 3,5 en 7,5 cm, breedte 20 cm, lengte 45 cm. Het hout werd bevroren tot een inwendige temperatuur van  $-18^{\circ}\text{C}$ . Samengevat waren de resultaten van dit onderzoek:

1. Nat redwood met een vochtgehalte van meer dan circa 80% vriest stuk op het tangentiale of dosse vlak bij een houtdikte van 3,5 cm en meer.

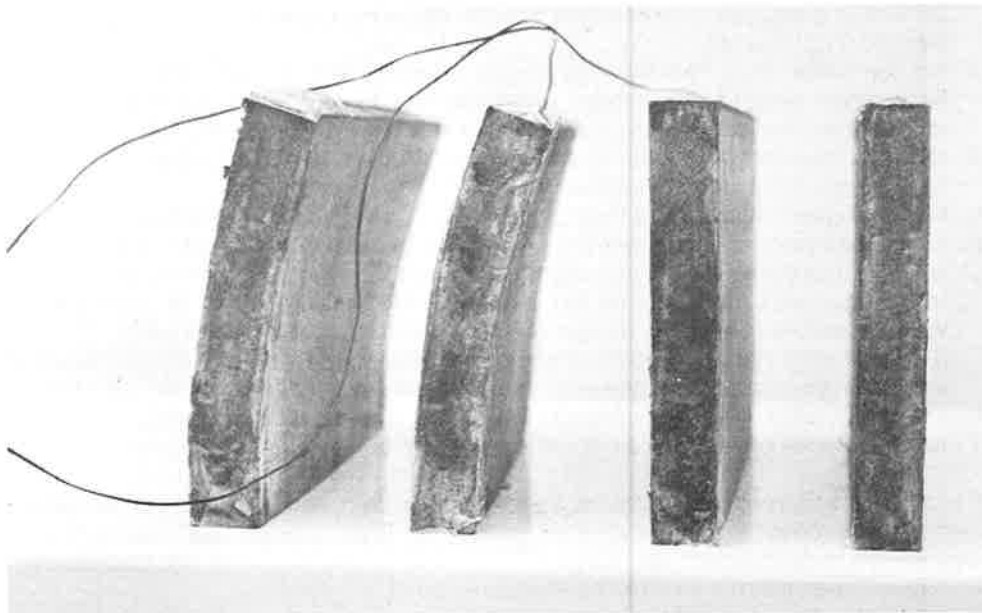


Fig. 42: Redwood proefstukken (3,5 x 20 x 45 cm) met vochtgehalten van circa 180% (dosse) en 140% (kwartiers) werden tot  $-18^{\circ}\text{C}$  bevroren. De dosse gezaagde proefstukken (links) waren na het bevroren krom getrokken, de kwartiers gezaagde proefstukken (rechts) bleven recht.

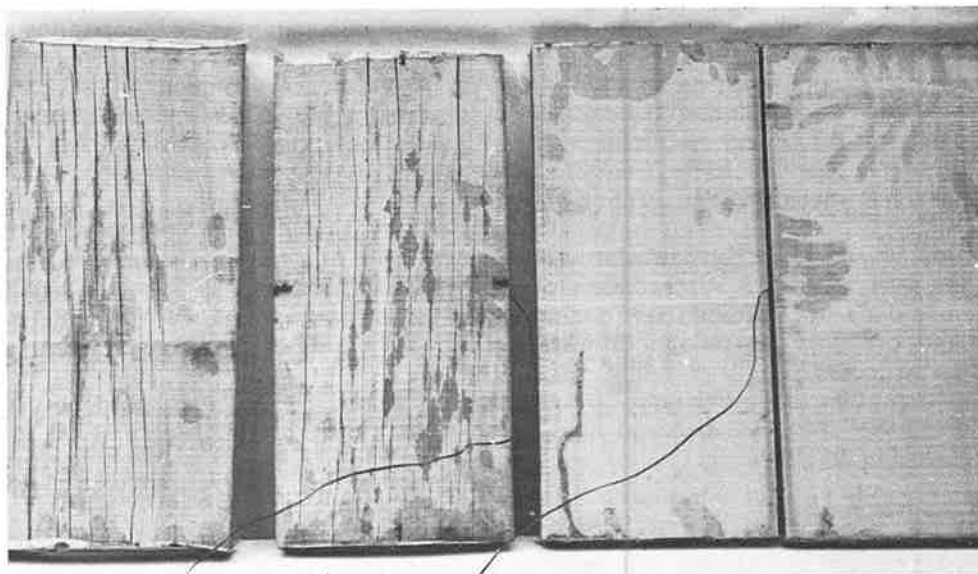


Fig. 43: Idem fig. 42; de dosse gezaagde proefstukken waren na het bevroren gescheurd (links), de kwartiers gezaagde proefstukken (rechts) bleven heel.



De dosse gezaagde proefstukken van 3,5 cm dikte waren na bevroren kromgetrokken (Fig. 42 en 43).

2. Droogproeven met kwartiers gezaagde proefstukken bij een temperatuur van 67°C gaven slechts een geringe verhoging van de droogsnelheid voor de bevroren proefstukken te zien ten opzichte van de niet bevroren proefstukken.
3. Na deze droogproeven vertoonde het niet bevroren hout een lichte collaps. Bij het bevroren hout was dit niet het geval.
4. Een geringere volumekrimp werd gevonden bij de bevroren proefstukken.
5. Zowel bevroren als niet bevroren kwartiers gezaagde proefstukken bij kamertemperatuur (circa 20°C) gedroogd, gaven een aanzienlijk kleinere volumekrimp te zien dan was gevonden na het drogen bij 67°C. Daarbij was de volumekrimp van het bevroren hout zelfs iets groter dan die van het niet bevroren hout. Dit duidt erop dat de grotere volumekrimp, opgetreden na het drogen bij 67°C toch een gevolg zal zijn geweest van het optreden van een vorm van collaps, die ten gevolge van het bevroren iets is verminderd en die daarbij niet leidde tot de bekende opvallende deformatievorm, zo eigen aan hout met collaps.

Het eigen onderzoek gaf derhalve voor het bevroren van redwood in het geheel niet de grote voordelen te zien, die de Amerikaanse onderzoekers opgeven. Opgemerkt moet worden dat, zover kon worden nagegaan, voor de Amerikaanse onderzoekingen slechts kwartiers gezaagd redwood is gebruikt.

De invloed van een vriesbehandeling op het eventueel verzwakken van de neiging tot collaps en vermindering van de krimp bij het kunstmatig drogen van vers gezaagd hout koppelen de Amerikaanse onderzoekers aan het tanninegehalte van het hout. De beste resultaten zouden daarbij zijn te verwachten bij tanninerijke houtsoorten. Cooper en Barham noemen nog enkele Eucalyptussoorten, incense cedar (*Libocedrus decurrens Torr*) en tan oak (*Lithocarpus densiflorus Rehd*), die gunstig reageren op een vriesbehandeling en eveneens hoge tanninegehalten hebben. Zij tonen dit aan door normaal niet reagerend populieren (cotton wood, *Populus deltoides Bartr.*) na kort aan de lucht te zijn aangedroogd, te impregneren met tanninen verkregen uit de bolsters van noten, en het hout vervolgens te bevriezen. Vergeleken met het niet behandelde of slechts met tanninen geïmpregneerde populieren waren de resultaten van het geïmpregneerde en bevroren hout na het drogen zeer veel beter, waarbij collaps vrijwel niet voorkwam en het hout zeer snel kon worden gedroogd tot circa 8%.

Mijns inziens moet het bevroren van het verse hout in al deze gevallen vele zeer fijne scheurtjes in de vezelwanden tot gevolg hebben, waardoor de kans wordt verminderd op het optreden van onderdrukken in het houtweefsel, één der belangrijkste oorzaken van collaps. Door de aanwezigheid van deze zeer fijne scheurtjes kan het hout ook sneller drogen.

Op blz. 14 is reeds gewezen op eenzelfde effect dat wordt nagestreefd bij het "mangelen" van vers gezaagd hout, waarbij eveneens fijne scheurtjes in de vezelwanden ontstaan.

### c. Stomen van hout

Het stomen is een algemeen bekende voorbehandeling van hout en is in ons land vooral bekend van beuken, dat daardoor een rode kleur krijgt. Verder is men algemeen van mening dat gestoomd beuken "beter" is dan niet gestoomd beuken. Er is vrij veel onderzoekwerk verricht op het gebied van het stomen van hout en de resultaten zijn interessant genoeg om er wat meer aandacht aan te besteden.

Het stomen van hout gebeurt meestal in stoomputten, betonnen "bakken" die meestal in de grond, soms echter ook op de begane grond zijn gebouwd.

De put wordt afgedekt met een groot, de gehele put bedekkend, deksel. Het deksel is meestal nog van hout, hoewel men deksels heeft trachten te vervaardigen uit diverse kunststoffen, zowel in de vorm van een schuim als isolatiemateriaal als in de vorm van platen voor de buitenzijden. Voor zover wij geïnformeerd zijn voldoen de kunststofdeksels niet. Tegenwoordig bestaan ook deksels uit aluminium. Het te stomen hout wordt op bokken, vrij van de bodem, in de put gestapeld. In de ruimte onder het hout wordt verzadigde stoom in de put geblazen.

Al het afdruipe water moet kunnen worden afgevoerd. De putten zijn niet voorzien van één of andere vorm voor circulatie van de stoom. Deze zoekt zijn weg zelf wel tussen het hout door, waarbij het hout wordt opgewarmd tot 100°C.

Een andere methode is om een laag water onder in de put op te warmen via verwarmingsbuizen of om oververhitte stoom onder het wateroppervlak uit te blazen. Het water wordt zo op de gewenste temperatuur gebracht, eventueel de kooktemperatuur. Boven het water ontstaat verzadigde damp, waarin het te stomen hout staat. Gedurende de gehele behandeling mag het hout niet in het water komen te staan.

In Frankrijk en vooral in het Noord-Oosten van het land past men bij eiken en beuken een speciale behandeling toe die "Dessevage des bois" heet. Direct na het verzagen wordt het hout gestapeld op de wijze als voor het drogen, waarna het hout in een betonnen kamer of een stoomput wordt geplaatst. Men "stoomt" het hout door inblazen van stoom of beter nog door het te plaatsen in verzadigde lucht van 60 à 70°C. De regel is dat men 18 uren "stoomt" per cm houtdikte. De stoomruimten hebben noch verwarming, noch ventilatoren. Volgens de ervaring zou na een dergelijke behandeling het drogen sneller verlopen en bovendien zou de behandeling "tuer le nerf du bois" (het werken van het hout doden). Villière heeft de invloed van "Dessevage" op het gedrag van het hout nader onderzocht. In het navolgende wordt op verschillende plaatsen hierop teruggekomen.

Bij sommige houtsoorten wordt een stoombehandeling toegepast om de kleur van het hout te beïnvloeden. Zo worden noten en iepen vaak gestoomd om het spint bij te kleuren waardoor het kleurverschil met het kernhout geringer wordt en men het spint ook kan gebruiken. Het echte mahonie (*Swietenia sp.*) wordt wel gestoomd om een gelijkmatige donkerrode kleur te krijgen.

Het stomen kan een vrij grote invloed hebben op het hout zelf. Naast veranderingen in de mechanische eigenschappen kan de invloed van belang zijn bij het drogen van het hout, en wel op:

- a. de groeispanningen in vers gezaagd hout
- b. de krimp
- c. de droogsnelheid.

#### **c1. Invloed van het stomen op de groeispanningen in vers gezaagd hout**

In beuken komen vaak sterke groeispanningen voor, welke soms zo sterk zijn dat de stammen bij de kap tot enkele meters kunnen openscheuren. Het verminderen van deze spanningen is van belang in verband met het verminderen van de neiging tot vervormen van het hout tijdens het drogen. Gonet (1970, 1973) heeft aangetoond dat door een stoombehandeling deze groeispanningen inderdaad kunnen worden opgeheven en dat in gestoomd beuken na het kunstmatig drogen minder spanning

aanwezig is dan in niet gestoomd beuken. Uit zijn onderzoekingen bleek dat voor 38 mm dik beuken een stoomperiode van 24 uren reeds voldoende zal zijn om de groeispanningen in versgezaagd hout praktisch weg te werken. Gonet, die de in het hout heersende spanningen heeft gemeten en ook de veranderingen daarin tijdens het stomen, wijst erop dat in de eerste uren van de stoombehandeling de spanningen kunnen toenemen en zelfs tot scheuren van het hout kunnen leiden. Daarna nemen de spanningen snel af.

Tijdens het stomen van het beuken verkleurt het hout naar rood toe. De kleur is afhankelijk van de duur van het stoomproces. Zo is de kleur na 24 uren stomen licht roze/rood, na 72 uren donkerrood en na 96 uren donker paarsrood. Meestal wordt het beuken vanwege de kleur 48 tot 72 uren gestoomd.

### **c2. Invloed van het stomen op de krimp**

Tiemann meldde reeds in 1919 een invloed van het stomen op de krimp van hout. Hij vond het probleem ingewikkeld: soms constateerde hij een zeer sterke toename in de krimp o.a. bij essen en eiken, dan weer vond hij weinig of geen invloed (Western larch, een larixsoort, Noble fir een dennesoort).

Hij constateerde dat het stomen van vers gezaagd hout meestal wel goed ging, doch dat men niet moet stomen bij hogere stoomdrukken en dat het stomen van luchtgedroogd hout ook wel tot beschadigingen kan leiden.

Kubinsky heeft veel onderzoekwerk verricht naar de invloed van het stomen op de krimp. Hij vond dat na een korte stoombehandeling (6 uren) in het algemeen de tangentiële krimp is afgenomen en de radiale krimp toegenomen. De veranderingen zijn voor de verschillende houtsoorten verschillend. De afname van de tangentiële krimp tot een vochtgehalte van 10% varieerde tussen 0,1 en 1,5% en de toename van de radiale krimp van bijna 0 tot 0,8% (krimp-procenten!).

Wordt lang gestoomd (96 uren), dan neemt in het algemeen de tangentiële krimp toe in plaats van af en de radiale krimp neemt veel sterker toe, de laatste tot 1 à 1,5%. Amerikaans rood eiken reageert van het begin af op het stomen met een sterke toename in de krimp. Na 96 uren stomen is de tangentiële krimp 3,5 x zo groot geworden en de radiale krimp 4 x zo groot.

Hoewel de krimp de neiging vertoont door het stomen toe te nemen, wordt het verschil tussen tangentiële en radiale krimp toch kleiner en ook de verhouding tussen beide wordt gunstiger, waardoor een stoombehandeling toch niet als een alleen maar ongunstige invloed op de krimp moet worden gezien.

Het is echter duidelijk dat een houtsoort als het Amerikaans rood eiken absoluut niet geschikt is voor een stoombehandeling. Moet dit hout om de een of andere reden worden gestoomd, dan is een stoombehandeling van enkele uren slechts mogelijk.

Vilière heeft de invloed van de Franse werkwijze: stomen bij een temperatuur van 60 à 70°C, op de krimp onderzocht en kwam tot de conclusie dat deze behandeling geen invloed heeft op de krimp van eiken en beuken.

De oorzaak van de veranderingen in de krimp moet worden gezocht in veranderingen die door de stoombehandeling in de celwand ontstaan en die van houtsoort tot houtsoort kunnen verschillen.

### **c3. Invloed van het stomen op het drogen**

Tiemann (1919) vermeldt reeds een versnellende invloed van een stoombehandeling op het drogen van het hout. Door diverse onderzoekers is daarna geconstateerd

dat na een stoombehandeling het droogproces bij verschillende houtsoorten sneller verloopt. Vaak wordt daarbij een stoomduur van 4 uren toegepast: Ellwood and Ecklund (1961) voor California black oak (*Quercus velutina* Lam.), Comstock (1965) voor eastern hemlock, Benvenuti (1963) voor loblolly pine. Ook heeft men Australische Eucalyptussoorten gestoomd en daarvan een gunstig resultaat bij het drogen ondervonden. (Campbell 1961) en Kinninmonth (1971) constateerden hetzelfde voor Nieuw Zeelandse rode beuk (*Nothofagus fusca* Oerst).

Simpson (1975) heeft de invloed van stomen op het drogen onderzocht bij 2 eikesoorten, sweetgum (*Liquidambar styraciflua* L.) en een dennesoort (*Abies concolor* Gord. white fir). Bij alle 4 soorten vond hij een duidelijk hogere droogsnelheid en daarmee een kortere droogtijd voor het gestoomde hout.

De behandelingsduur behoeft bij vele houtsoorten waarschijnlijk niet langer te zijn dan ½ tot 4 uren, doch dit dient wel te worden nagegaan, mede in verband met de genoemde andere eigenschappen van het hout die door stomen kunnen veranderen.

Villière vond alweer praktisch geen invloed van een stoombehandeling bij 60 - 70°C (dessevage des bois) op de droogtijd van eiken en beuken.

Men kan derhalve stellen dat het stomen van vers gezaagd hout als één der meest interessante voorbehandelingen van het hout vóór het drogen moet worden gezien. Wij hebben ons hier beperkt tot het aansnijden van de invloed van het stomen op enkele fysische eigenschappen van het hout in verband met het drogen, doch een reeks andere eigenschappen kunnen eveneens een verandering ondergaan ten gevolge van een stoombehandeling.

Het stomen dient te geschieden met verzadigde stoom van 100°C. De Frans methode om bij 60 à 70°C een stoombehandeling uit te voeren leidt niet tot enig resultaat en kan dan ook achterwege blijven.



## DE KEUZE TUSSEN HET DROGEN VAN HOUT IN ONGEKANTRECHTE EN IN BESTEK GEZAAGDE VORM

Een keuze tussen deze twee vormen van hout drogen berust meestal niet op zuiver technische gronden maar is afhankelijk van een gekozen bedrijfsvorm of bedrijfspolitiek. Tegenwoordig geldt deze keuzemogelijkheid alleen in de meubelindustrie.

Het van tevoren drogen van ongekantrecht hout en vlak voor het verwerken in bestekmaten verzagen is de van oudsher gevolgde werkwijze. Vroeger werd het ongekantrechte hout eerst in blokstapeling aan de lucht in lattenloodsen gedroogd en vervolgens op droge zolders of in een afgesloten gedeelte van het bedrijf opgeslagen, waarbij het hout nog wat nadroogde.

Voor deze wijze van drogen reserveerde men gewoonlijk enkele jaren, tot het hout "geheel uitgewerkt" was. Uit de droge voorraad werd voor de verwerking de platen gekozen in de dikten die men voor de te vervaardigen producten nodig had.

Door het toepassen van houtdrogers, eerst gebaseerd op een natuurlijke luchtcirculatie (omstreeks 1860) en later (omstreeks 1915) door toepassen van een geforceerde luchtcirculatie met behulp van één of meerdere ventilatoren, eerst één ventilator buiten de droger opgesteld, later meerdere ventilatoren in de droger, werd de droogtijd verkort tot meestal enkele weken. Men ging daarbij in het algemeen uit van (tendele) in de buitenlucht voorgedroogd hout. Met het in gebruik nemen van houtdrogers werd ook spoedig de vorm van het te drogen hout gewijzigd: er werd veel meer hout vóór het drogen op bepaalde maten gezaagd.

De Verenigde Staten van Amerika waren Europa in die tijd op het gebied van versneld drogen van hout ver vooruit. Deze werkwijze is ook in Amerika ontstaan. Dit kwam doordat in de jaren rond de eeuwwisseling een zeer sterke behoefte groeide aan hout voor de woningbouw. Op de grote steden na zijn nog steeds vrijwel alle woningen geheel uit hout gebouwd of het beneden gedeelte, het "basement" is uit steen opgetrokken en het bovengedeelte van de woning uit hout (tegenwoordig in houtskeletbouw). Voor geheel Noord Amerika wordt geschat dat 80 à 85% der woningen uit hout bestaat. Al dit hout werd in gekantrechte vorm gedroogd en dit is zo gebleven.

In ons land hadden voor de laatste oorlog vele houthandelaren een balkengat waarin ook naaldhoutstammen werden opgeslagen, die voor de timmerindustrie op de gevraagde maten werden verzaagd. Thans kent de gehele timmerindustrie geen andere vorm meer dan de gekantrechte in een aantal courante maten, in welke afmetingen dit hout ook wordt gedroogd.

Voor de meubelindustrie is de situatie wat anders. Ook in deze industrie ging men in de USA vrij spoedig na het toepassen van houtdrogers over op het kantrechten en in bepaalde maten verzagen van het hout vóór het drogen, maar daarnaast droogde men toch nog ongekantrecht hout.

Wat de keuze betreft tussen het drogen in plaatvorm of in bestek gezaagde vorm kan men trachten om voor de tegenwoordige tijd een aantal argumenten tegenover elkaar te stellen. Hierbij moet echter eerst een scheiding worden gemaakt tussen de technologische en fabriekspolitieke zijde van het probleem.

Onder de technologische zijde willen wij daarbij verstaan:

- a. verschillen in drogen
  - b. verschillen in houtkwaliteit
  - c. verschillen in houtverliezen
- en onder de fabriekspolitiek:
- d. verschillen in flexibiliteit.

Vervolgens kan men zich afvragen of er in een bedrijf waar deze vraagstelling speelt, ook mogelijkheden aanwezig zijn voor een combinatie van de beide vormen.

Technologisch zijn de volgende verschillen te noemen:

#### PLAATHOUT

#### IN BESTEK GEZAAGD HOUT

##### A. VERSCHILLEN IN DROGEN

- |   |   |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. sneller te stapelen, lagere stapelkosten per m<sup>3</sup></li><li>2. vullingsgraad droger in het algemeen geringer</li><li>3. bij hout in dikten van 40 mm en meer beduidend langere droogtijden</li><li>4. afval wordt meegedroogd</li><li>5. vervormingskans in het algemeen groter, vooral bij hout van mindere kwaliteit en bij houtsoorten met grotere krimpwaarden.</li></ol> | <p>meer werk in stapelen, hogere stapelkosten per m<sup>3</sup></p> <p>vullingsgraad droger in het algemeen hoger</p> <p>kortere droogtijden</p> <p>afval wordt niet meegedroogd.</p> <p>vervormingskans voor dezelfde houtsoorten geringer. Bij houtsoorten met grotere krimpwaarden het plaathout eerst enige tijd in de buitenlucht voordrogen. Anders sterke ruitvormige vervorming mogelijk.</p> |
|---|---|

##### B. VERSCHILLEN IN HOUTKWALITEIT

- |   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Meestal afkomstig uit de onderstam of uit het tweede stamstuk, betere kwaliteit.</li><li>2. bij blokstapeling altijd eenzelfde kleur en tekening per blok.</li><li>3. Voor bijzonder werk kan gebruik worden gemaakt van draad- en tekeningverloop in de platen.</li><li>4. door betere kwaliteit meestal hogere prijs per m<sup>3</sup></li></ol> | <p>Het in bestek gezaagde hout is afkomstig van een zagerij.</p> <p>Meestal afkomstig uit stammen van mindere kwaliteit, uit dunnere stammen en uit delen vlak onder de boomkroon.</p> <p>altijd massa product, geen kleurselectie.</p> <p>geen mogelijkheden</p> <p>prijs per m<sup>3</sup> meestal lager, inclusief in bestek zagen.</p> |
|---|--|

## C. VERSCHILLEN IN HOUTVERLIEZEN

- |   |   |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Na drogen kunnen de gewenste maten zonder overmaat in de lengte en breedte worden uitgezaagd.</li> <li>2. bij houtsoorten met grote krimpwaarden alleen overmaat in de dikte nodig.</li> <li>3. minder afval bij vervaardiging der onderdelen.</li> <li>4. geen extra bewerking nodig.</li> <li>5. veel meegedroogd afval (spint, hart, slechte stukken als kwasten, sterk draadverloop, enz.) ontstaat bij het in bestekmaten verzagen.</li> </ol> | <p>de bestekmaten zijn vaak groter dan nodig is voor de te vervaardigen onderdelen.</p> <p>voor deze houtsoorten meer overmaat nodig in verband met mogelijke vervorming (ruitvormig). meer afval bij verwerking.</p> <p>soms door afkorten extra bewerking nodig<br/>weinig afval.</p> |
|---|---|

Wordt het in bestek gezaagde hout in eigen bedrijf uit plaathout gezaagd, dan vervallen de onder B en C genoemde verschillen.

## D. VERSCHILLEN IN FLEXIBILITEIT (FABRIEKSPOLITIEK)

- |   |   |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gunstig voor bijzonder werk, kleine series, plotselinge opdrachten met bijzondere vormen en afmetingen.</li> <li>2. beslissing voor het toepassen van het hout kan vlak voor de verwerking geschieden.</li> <li>3. gunstig voor bedrijven met een grote variatie in de afmetingen der onderdelen en kleinere series.</li> <li>4. voorraad gedroogd plaathout voor nog niet bestemde doeleinden kan vrij beperkt zijn.</li> <li>5. gerekend naar het per m<sup>3</sup> in bestek gezaagde hout vergt plaathout veel opslagruimte.</li> </ol> | <p>in het algemeen voor grotere series, altijd massa.</p> <p>niet of slechts bij uitzondering mogelijk</p> <p>gunstig voor bedrijven met kleinere variatie in de afmetingen der onderdelen en grotere series.</p> <p>zal vele bestekmaten in voorraad vereisen met kans op meer houtafval bij verwerken.</p> <p>in bestek gezaagd hout vergt veel minder opslagruimte</p> |
|---|---|



**Kan het wenselijk zijn om de mogelijkheden van een combinatie van beide vormen na te gaan?**

Droogtechnisch gezien is het drogen van in bestek gezaagd hout duidelijk voordeliger dan het drogen van plaathout. De verschillen, genoemd onder D kunnen het echter toch voor een bedrijf aantrekkelijk maken om de voorkeur te geven aan het in voorraad hebben en drogen van ongekantrecht hout. Bij het uitzagen van bestekmaten uit gedroogde platen zal al gauw moeten worden gerekend met een afvalpercentage van 25 indien wordt uitgegaan van grote en brede platen (plaatbreedte ten minste ca. 60 cm). Bij het verzagen van smallere en kortere platen zal het percentage afval toenemen.

Daar verder de prijs van plaathout voor de Europese houtsoorten als eiken en beuken vaak hoger is dan voor het reeds in bestekmaten op de zagerij verzaagde hout, lijkt het voor bedrijven die altijd uitgaan van gedroogd plaathout de moeite waard om te overwegen, welke onderdelen van meubelmodellen uit bestekmaten kunnen worden vervaardigd, eventueel met extra houtverlies en wat meer arbeid.

Daarnaast krijgt men meteen antwoord op de vraag voor welke onderdelen, meestal van bijzondere vorm en afmetingen, het drogen en in voorraad hebben van ongekantrecht hout gunstig kan zijn. In een kostenvergelijking moeten de volgende punten worden betrokken:

1. de houtprijs per m<sup>3</sup>
2. de droogkosten
3. de kosten voor het in bestek zagen van het gedroogde ongekantrechte hout
4. de verwerkingskosten waarin opgenomen het houtverlies en de arbeidskosten.

Tezamen geven zij de kosten van het meubelonderdeel in bewerkte vorm.

Een ieder zal echter voor zichzelf moeten uitmaken welke argumenten voor zijn bedrijf het zwaarst wegen. Deze zullen voornamelijk op het bedrijfspolitieke vlak liggen.

Gezien de huidige tendens van zagerijen in de landen van herkomst, ook in tropische gebieden, om meer werk naar zich toe te trekken moet onzes inziens worden verwacht dat het op de markt brengen van hout in bestek gezaagde maten eerder zal toenemen dan afnemen. Daarbij mag worden aangenomen dat op den duur de zagerijen ook het drogen ter hand zullen gaan nemen. Het is echter niet te zeggen of deze laatste ontwikkeling in een langzaam of snel tempo zal verlopen.

Voor de Afrikaanse landen willen wij wel rekening houden met een langzame ontwikkeling. In de Zuid Amerikaanse en Oost Aziatische landen zal deze ontwikkeling wel eens snel kunnen verlopen. Ook kan worden verwacht dat op den duur meer Europese zagerijen zullen gaan drogen.

Indien de geschetste ontwikkelingen inderdaad zullen plaats vinden, dan zal men in Nederland in staat moeten zijn om het gedroogde hout ook droog op te slaan, eventueel met inbegrip van een geringe nadroging van het hout tot het gewenste vochtpercentage.

## METHODEN VAN DROGEN

In Nederland worden 3 methoden van drogen toegepast namelijk:

I in drogers met geforceerde luchtcirculatie

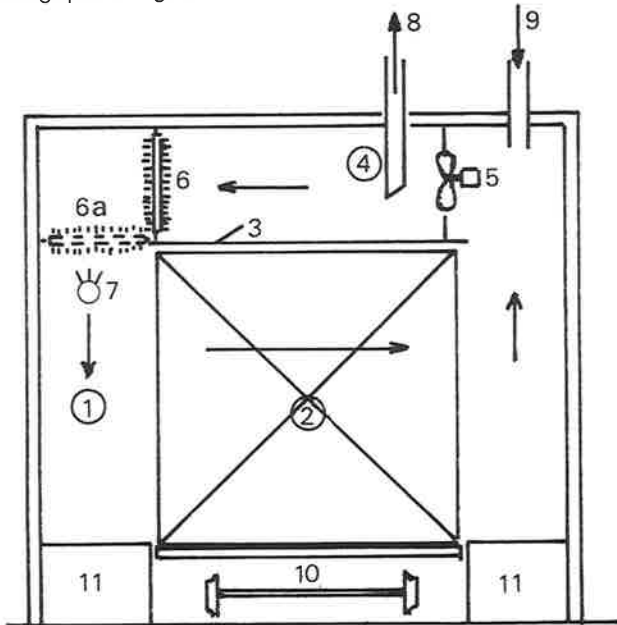
II in ruimten met behulp van ontvochtigers

III in geklimatiseerde droogruimten.

Het principe van iedere methode zal hierna in het kort worden besproken.

### I. Drogers met geforceerde luchtcirculatie

Van de diverse typen die op de markt zijn wordt hier het grondschema gegeven van het type dat het best een egale droging waarborgt en dat ook het meest wordt toegepast. Fig. 44.



Een droger bestaat uit een goed geïsoleerde ruimte (1) waarin het te drogen hout (2) wordt geplaatst onder een tussenplafond (3). In de ruimte tussen dit tussenplafond en het plafond (4) van de droger zijn aan één zijde ventilatoren (5) in een verder geheel gesloten ventilatoren-schot geplaatst, die de lucht dwars op de lengterichting van het hout doen circuleren.

Fig. 44: Schema van een houtdroger.

Aan de andere zijde van dit tussenplafond is een verwarmingsregister (6) geplaatst. Dit register kan staand zijn aangebracht of liggend (6a) in de opening tussen het tussenplafond en de drogerwand. Verder is voor het droogproces sproei-stoom nodig die via een sproeibuis (7) over de lengte van de droger gelijkmatig wordt verdeeld.

De afvoer van vochtige lucht en toevoer van verse buitenlucht geschiedt via de kokers (8 en 9), aangebracht in de hartlijn van iedere ventilator in respectievelijk het overdruk- en het onderdrukgebied van de ventilator.

De kokers zijn voorzien van een klepmechanisme waarmee de afvoer en toevoer van lucht wordt geregeld. In de gekozen opstelling wordt de af te voeren vochtige lucht met kracht in de afvoerkoker gedrukt en naar buiten geblazen. Door de optredende onderdruk in de droger wordt via de toevoerkoker aan de onderdrukzijde van de ventilator verse lucht aangezogen.

De houtstapels zelf worden gewoonlijk op lorries op rails rijdend in de droger gereden. Iedere lorie heeft een gesloten lorrievloer (10) waarop de houtstapel komt te

staan. Ter hoogte van de lorrievloer bevindt zich aan weerskanten van de lorrie in de droger een gesloten verhoging (11). De beide verhogingen moeten tezamen met de gesloten lorrievloer voorkomen dat lucht onder de houtstapel doorstroomt in plaats van door de houtstapel. Een kortsluiting in de luchtcirculatie mag niet optreden: alle circulerende lucht moet door de houtstapel stromen.

#### **a. Toegepaste materialen**

Tegenwoordig worden de wanden en het plafond vrijwel algemeen in een cassettebouw-uitvoering geleverd. De cassetten zijn vervaardigd uit platen van vrijwel zuiver aluminium met in de cassette een isolatiemateriaal. Het isolatiemateriaal kan een deken van minerale wol zijn (glaswol, steenwol, e.d.) of platen polyurethaanschuim. Soms wordt polystyreen als isolatiemateriaal toegepast. Wij willen hiervoor waarschuwen daar polystyreen bij temperaturen van 60°C en hoger op den duur sterk gaat krimpen, zodat de isolatiewaarde van de cassette met de tijd sterk kan teruglopen.

Van de in te bouwen onderdelen zijn het tussenplafond, de ventilatoren en de luchttoe- en afvoerkokers in het algemeen eveneens uit aluminium vervaardigd. De stoomsproeibuis is uit aluminium of beter nog uit roestvast staal en de moderne verwarmingsregisters zijn van een bimetaal: het inwendige gedeelte is een stalen buis en de uitwendige zijde en de ribben zijn uit aluminium. Soms zijn de registers geheel uit aluminium vervaardigd en een enkele maal is stalen ribbenbuis, afgewerkt met een bitumineuse verf toegepast. Door de grotere kans op corrosie bij deze uitvoeringen moet aan de eerstgenoemde de voorkeur worden gegeven. Stalen ribbenbuis kan zeer lang goed blijven mits het register altijd warmer is dan het klimaat in de droger tijdens het droogproces, zodat geen condensatie op het register plaatsvindt. Aangezien alle aluminium onderdelen uit vrijwel zuiver aluminium zijn vervaardigd en dit metaal zeer gevoelig is voor koper waardoor een electro-chemische corrosie van het aluminium optreedt, mag niets van koper in de droger worden ingebouwd. Naast aluminium mag roestvast staal worden toegepast of vercadmiemd staal (bijvoorbeeld bouten en moeren).

De vloer van de droger en meestal ook alle verhogingen in de vloer zijn van beton. Ten behoeve van de warmteisolatie wordt wel onder het beton een isolatielaag aangebracht bestaande uit een laag breuksteen en slakken of een isolatiemateriaal zoals polyurethaanschuim. Schuimglas (foamglas) zou ook kunnen voldoen. De isolatielaag onder de vloer is in het algemeen gunstig doch niet beslist nodig.

#### **b. Luchtcirculatie**

In kleinere drogers met een nuttige inhoud tot 50 à 60 m<sup>3</sup> hout loopt de luchtcirculatie in de regel in één richting. In drogers met een grotere nuttige inhoud wil men nogal eens de circulatierichting periodiek omkeren, vooral als 4 of meer houtstapels naast elkaar komen te staan.

Als reden wordt opgegeven dat het optredende verschil in vochtgehalte tussen luchtintreezijde en luchtuitreezijde van de totale in de droger geplaatste partij hout op deze wijze belangrijk wordt verminderd en de partij derhalve regelmatig zal drogen.

Hoewel het argument op zichzelf waar is, is het omkeren van de luchtcirculatie bij een goede berekening der ventilatoren capaciteit niet nodig. Echter worden vaak in deze grote drogers ventilatoren ingebouwd die een geringere capaciteit hebben dan uit de berekening volgt, mede om het benodigde elektrische vermogen te verminderen. Gaat men nu aan beide zijden van een gedroogde partij meten, dan zal het verschil inderdaad nihil zijn, maar wel moet men dan ook het vochtgehalte me-

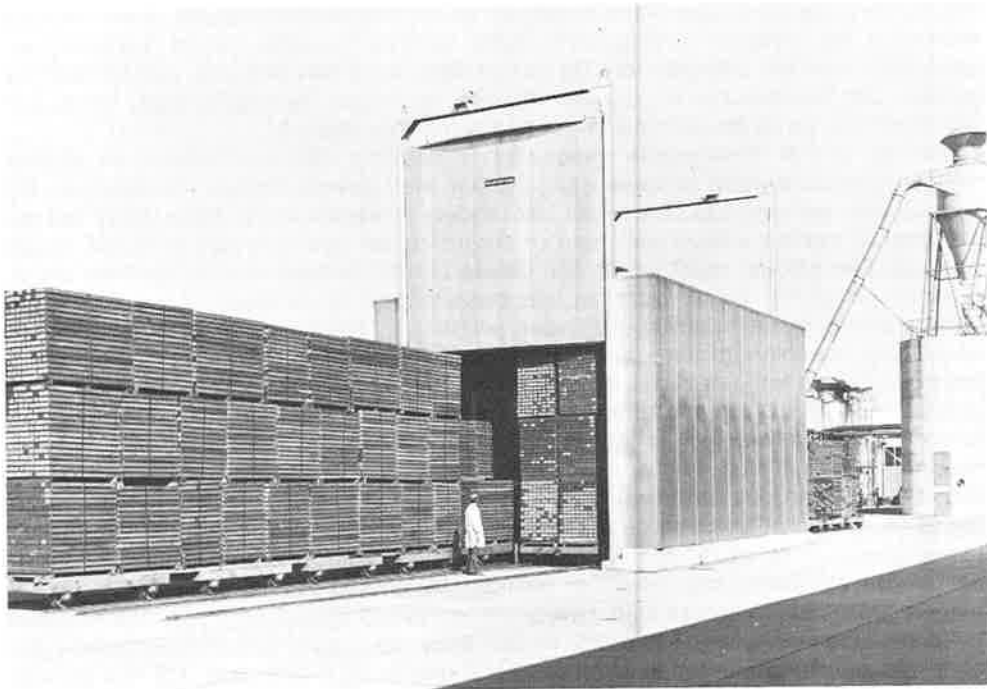
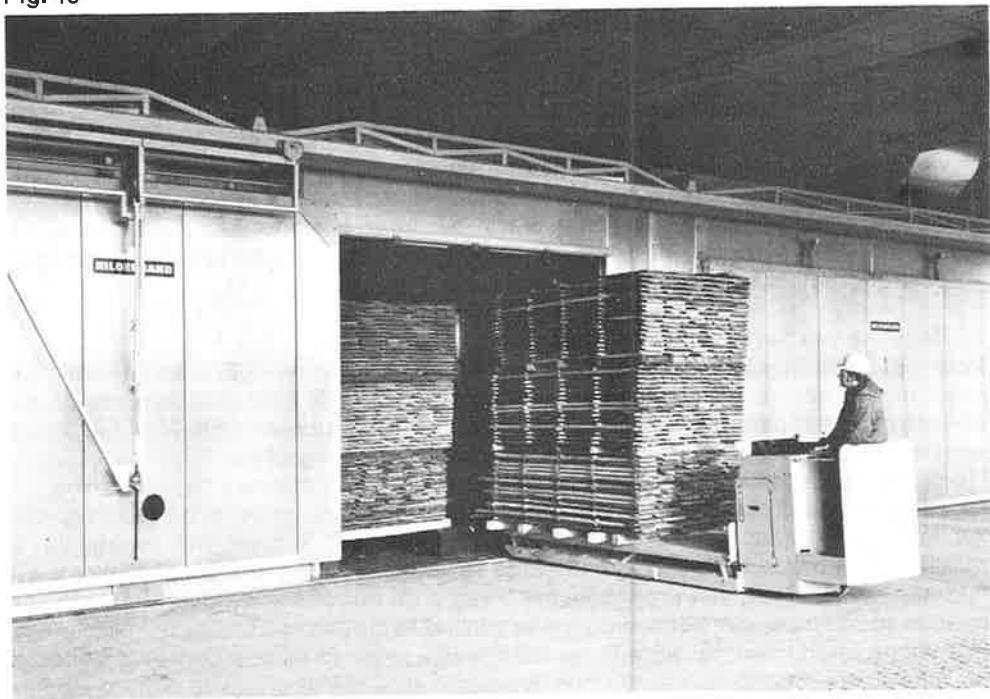


Fig. 45

Drogers in geheel metalen uitvoering (Foto's Fa. Hildebrand).

Fig. 46



ten halverwege de totale breedte van de gezamenlijke houtstapels, waar bij deze werkwijze het hoogste vochtgehalte moet worden gezocht. Verder wordt bij het aanprijzen van het omkeren van de circulatierichting niet vermeld, dat de luchtcapaciteit der ventilatoren bij draaien in twee richtingen belangrijk lager wordt dan de capaciteit die bij draaien in één richting kan worden bereikt.

Naast de in het voorgaande geschetste opstelling van ventilatoren en verwarmingsregisters worden drogers aangeboden met diverse andere opstellingen der ventilatoren en registers. De reden van andere opstellingen is bijna altijd het pogen om de nuttige inhoud aan hout te vergroten ten opzichte van de totale drogeinhoud. Een enkele maal wordt een betere bereikbaarheid van de motoren als argument genoemd. Bij al deze andere opstellingen is de kans aanwezig dat de luchtsnelheid in de houtstapel minder gelijkmatig is dan in de eerst beschreven opstelling, waarvan grotere verschillen in de vochtgehalten van het gedroogde hout het gevolg kunnen zijn. Een ongelijkmatige droging kan leiden tot een minder gelijkmatige krimp van vooral lang hout met daardoor meer kans op vervorming en soms plaatselijk ook op scheuren in het oppervlak bij toepassing van scherpe droogschema's.

Het verdient dan ook aanbeveling om over goede informatie te beschikken betreffende de gelijkmatigheid in de luchtsnelheid bij het kiezen van een nieuwe droger. In verband met de opstelling der ventilatoren, de nagestreefde gelijkmatigheid en de hoogte van de luchtsnelheid in de houtstapel, kan het aangesloten motorvermogen grote verschillen te zien geven. Uitgedrukt in  $\text{kW/m}^3$  hout zijn ons opgaven bekend tussen ongeveer 0,7 en 0,2  $\text{kW/m}^3$  hout. Voor goed gedimensioneerde drogers met een luchtsnelheid van ongeveer 2 m/s in de houtstapel ligt een gunstig motorvermogen in drogers met een inhoud tussen 20 en 50  $\text{m}^3$  hout bij 0,25 à 0,30  $\text{kW/m}^3$  hout en in grotere drogers bij 0,20 à 0,25  $\text{kW/m}^3$  hout.

#### c. De benodigde energie

De energieberekening voor een droger met geforceerde luchtcirculatie is als volgt samengesteld:

1. het motorvermogen der ventilatoren
2. de warmteverliezen van de droger tijdens het gehele droogproces. Deze hangen af van de toegepaste isolatie en constructie van de wanden, plafond en deur, de vloerconstructie, mogelijke warmtebruggen en lekverliezen.
3. de verdampingswarmte van het vocht in het hout. Hiervoor kan men ruwweg rekenen met 1  $\text{m}^3$  aardgas per 8 liter te verdampen water, uitgaande van een gemiddelde droogtemperatuur van 60°C.

#### d. Regeling van het klimaat in de droger

Voor het regelen van het klimaat en het leiden van het droogproces kan men gebruik maken van eenvoudige elektronische proportionele regelaars voor de droge- en natte boltemperatuur tot volautomatische apparatuur waarbij vóór het begin van het drogen het gehele droogprogramma kan worden ingesteld.

Heeft men gekozen voor eenvoudige elektronische proportionele regelaars voor de regeling van de droge- en natte-boltemperatuur, de psychrometrische regeling, dan zal men tijdens het gehele droogproces in totaal 3 á 4 maal het droogklimaat moeten veranderen door een instelknopje te verstellen. Het droogproces wordt geleid aan de hand van een droogschema waarop de gewenste temperaturen zijn vermeld in samenhang met het vochtgehalte van het te drogen hout.

Het vochtgehalte van het hout is op eenvoudige wijze te volgen door een periodieke elektrische vochtmeting. Hiertoe worden vaste meetpunten in het te drogen

hout aangebracht. Via een keuzeknop voor meestal 12 aansluitingen worden de vochtgehalten op een elektrische vochtmeter afgelezen.

Gebruikt men 3 meetpunten per droger, dan kunnen in totaal 4 drogers op één keuzeknop worden aangesloten. Maar men kan naar believen ook 6 meetpunten in 2 drogers gebruiken. De elektrische vochtmeter is van een type, dat daarnaast als een gewone vochtmeter in het bedrijf kan worden gebruikt. De meter is voorzien van een temperatuurcorrectie.

De volautomaat doet alles zelf. De in principe op dezelfde wijze gemeten houtvochtgehalten worden op het apparaat aangegeven en automatisch gemiddeld. De temperatuur wordt op gelijke wijze elektronisch geregeld als bij eenvoudige elektronische apparaten.

Het klimaat in de droger wordt geregeld via het evenwichtsvochtgehalte van het hout, waartoe een 1 mm dikke houtspaan in een speciale electrode geklemd in de droger is aangebracht.

Naast de eenvoudige psychrometrische regeling bestaan ook eenvoudige regelingen via de evenwichtsvochtgehalte-metingen. Door middel van een knop wordt het evenwichtsvochtgehalte  $X_{\varphi}$  verlaagd aan de hand van het bereikte vochtgehalte van het te drogen hout.

Zoals reeds gezegd (zie blz. 28) is de R.V. bij het drogen de belangrijkste factor die bepaalt hoe laag het evenwichtsvochtgehalte van het hout uiteindelijk zal worden. De invloed van de temperatuur op de droging is groot waarbij nog komt dat bij hogere temperaturen de evenwichtsvochtgehalten naar lagere waarden verschuiven (zie Fig. 1).

Het verschil tussen beide methoden van klimaatregeling schuilt dus in de manier van de RV-regeling, die bij de psychrometrische regeling via de natte boltemperatuur plaats vindt en bij de andere methoden via een 1 mm dikke houtspaan geschiedt.

Een meting van de R.V. met een hygrovoeler (een haarbundel, kunstofband, katoenvezels e.d.) wordt in drogers niet of zelden toegepast daar deze voelers hiervoor te temperatuur- en/of vuilgevoelig zijn.

De houtspaan neemt snel een vochtgehalte aan dat in evenwicht is met het heersende klimaat en het vochtgehalte van de spaan wordt evenals dat van het hout voortdurend elektrisch gemeten. Het droogproces wordt geleid door vergelijking van het gemiddelde houtvochtgehalte en het spaanvochtgehalte, waarbij beneden 30% houtvochtgehalte een van tevoren in te stellen verhouding tussen hout- en spaanvochtgehalte wordt aangehouden.

De nieuwste ontwikkelingen op het gebied van de Duitse volautomatische regelapparaten voor drogers geven de volgende veranderingen in de meettechniek te zien:

1. De meting van het vochtgehalte in de kern van het hout geschiedt met elektroden, waarvan de stiften aan de punt blank zijn en voor het overige geïsoleerd.
2. Een correctie voor de houtsoorten is ondergebracht in een 4-standenknop, waartoe de houtsoorten naar hun te corrigeren waarden in 4 groepen zijn ingedeeld.
3. Het is mogelijk meer dan 3 meetpunten in de te drogen partij hout aan te brengen, tot 8 meetpunten toe. Naar keuze kunnen bepaalde meetpunten voor de regeling worden ingeschakeld.

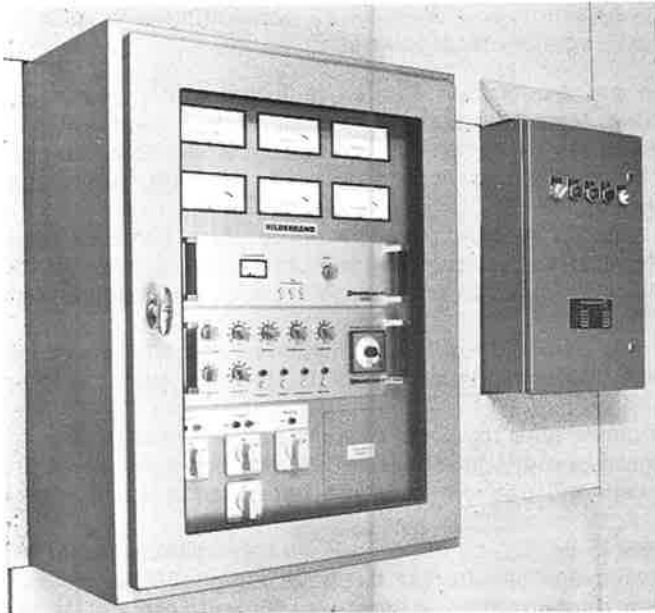
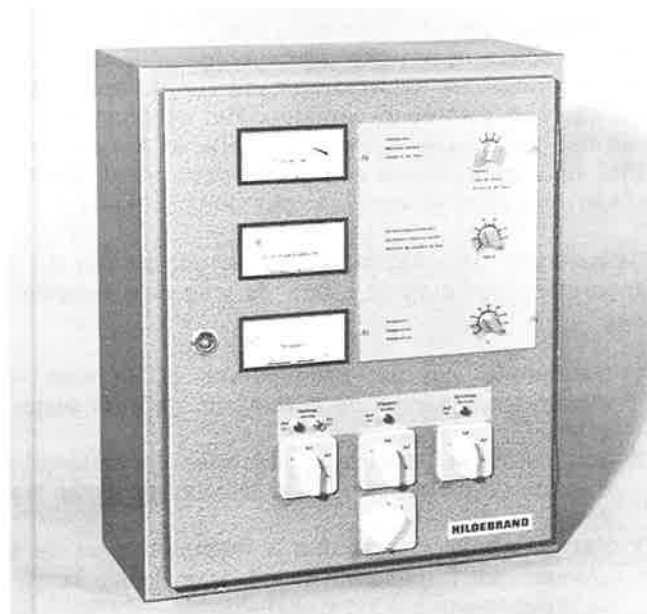


Fig. 47: Regelkast voor een volautomatische regeling van het droogproces. (Foto Hildebrand).



Fig. 48: Regelkast voor een half-automatische regeling van het droogproces. De temperatuur en het evenwichtsvochtgehalte worden tijdens het droogproces met de hand veresteld. (Foto Hildebrand).



4. Naast het meten van het evenwichtsvochtgehalte via een houtspaan bestaat nu ook een snel reagerende klimaatvoeler uit een cellulosepreparaat.

En met betrekking tot het sturen van het droogproces zelf:

5. Maatregelen zijn genomen om langzamer te kunnen opwarmen, waarbij de temperatuur en het evenwichtsvochtgehalte (ofwel de R.V.) worden gekoppeld. De temperatuur kan daardoor niet "weglopen" waardoor een te droog klimaat kan ontstaan. Het is nu ook mogelijk om zonder sproeistoom op te warmen.
6. Terwijl voorheen algemeen een z.g. open-dichtregeling werd gevolgd voor de verwarming en de luchttoe- en afvoerkleppen worden beide thans, indien gewenst, proportioneel geregeld. De laatste vorm verdient zeker de voorkeur.
7. Zolang het houtvochtgehalte boven het vezelverzadigingspunt ligt, wordt gedurende het droogproces het klimaat langzaam iets verscherpt. Deze verscherping is van tevoren in te stellen.
8. Komt het houtvochtgehalte beneden het vezelverzadigingspunt dan neemt de temperatuur langzaam toe tot een vochtgehalte van b.v. 15% is bereikt. Parallel hiermede loopt een eveneens van tevoren in te stellen verscherping van het klimaat.

De klimaatregeling is derhalve verbeterd en er zijn meer mogelijkheden opgenomen om in het droogproces in te grijpen als gevolg van eigen ervaringen en inzichten.

Naast de beschreven regelapparatuur worden eveneens volautomatische regelaars aangeboden die op basis van een tijdregeling werken, dat wil zeggen dat de klimaatveranderingen plaats vinden tegen de tijd in plaats van tegen het gemiddelde houtvochtgehalte (tijd-afhankelijke programmaregeling). Dergelijke regelaars zijn geschikt voor nadroogwerk van steeds dezelfde houtsoort(en) in constante dikte en ongeveer gelijke begin- en eindvochtgehalte(n).

#### e. **Direct verwarmde drogers**

Naast de normale drogers, die een ketelinstallatie vergen voor de verwarming en voor levering van sproeistoom, kunnen thans ook drogers worden geleverd die worden verwarmd met de verbrandingsgassen van een oliebrander. De verbrandingsgassen worden direct in de droger gebracht via een langs één zijde over de gehele lengte van de droger lopend kanaal. Boven in dit kanaal is een smalle sleuf aangebracht die zodanig wordt afgesteld dat de droger over de gehele lengte gelijkmatig wordt verwarmd. Voor de bevochtiging van de lucht wordt water verstovent. Indien toch sproeistoom wordt verlangd is hiervoor een aparte kleine stoomketel nodig. Voor het overige werkt de droger op geheel dezelfde wijze als een normale droger. Het enige verschil is dat door een chemische reactie het houtoppervlak van bepaald houtsoorten (o.a. Afrikaanse mahonie soorten) door de verbrandingsgassen rood verkleurt. Bij het op deze wijze gedroogde hout vond bij een eigen inspectie de verkleuring slechts in het oppervlak plaats. Ongeveer 1 mm onder het oppervlak had het hout de normale kleur.

Als voordelen van een dergelijke droger worden opgegeven het besparen van een ketelinstallatie en een hoger rendement van de gestookte olie.

## **II Het drogen met behulp van ontvochtigers**

In 1965 is Ullevalseter van de landbouw universiteit te Vollebakk in Noorwegen op de gedachte gekomen om voor het drogen van een stapel nat hout, de R.V. van de



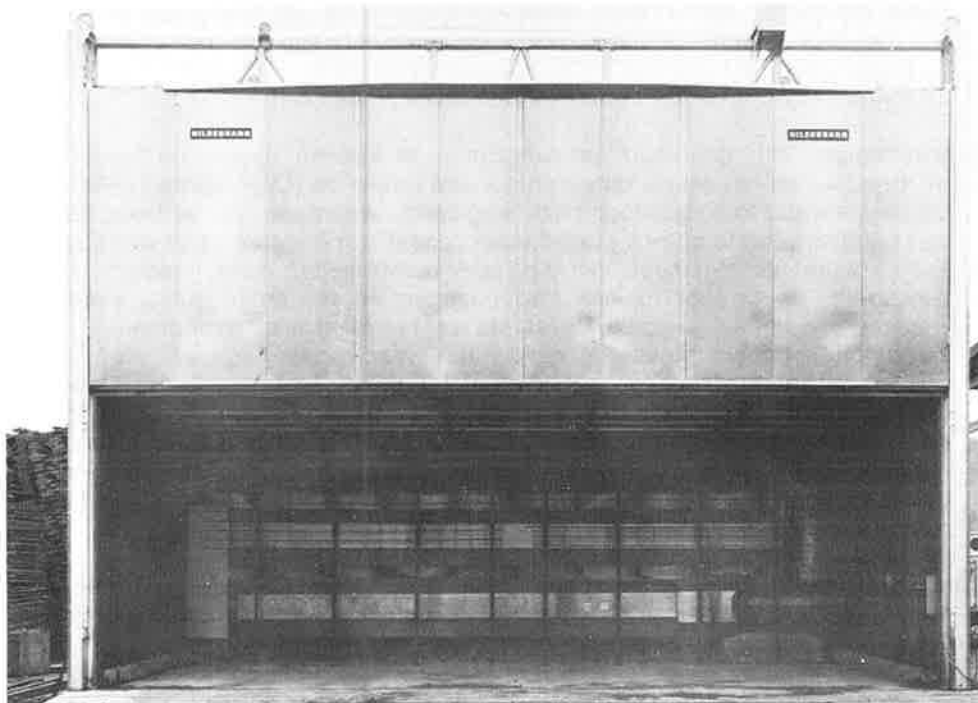


Fig. 49: Een direct verwarmde droger. De verbrandingsgassen van een oliebrander worden via een op de achtergrond nog juist zichtbaar kanaal in de droger gevoerd. (Foto Fa. Hildebrand).

drooglucht op een zekere waarde te houden met behulp van een ontvochtiger. Dit bleek heel goed mogelijk en in 1967 heeft hij deze wijze van drogen gepubliceerd. De methode kreeg direct veel belangstelling in Europa. Oorspronkelijk werden slechts Engelse ontvochtigers voor het drogen van hout toegepast, doch thans worden apparaten aangeboden uit Duitsland, Frankrijk, Italië enz. en ook uit Nederland. Naast losse ontvochtigers worden complete installaties inclusief een geïsoleerde kamer aangeboden.

#### a. Het principe van de ontvochtiger

Een ontvochtiger is in principe een normaal koelaggregaat, bestaande uit een koelgedeelte waarin de rond te pompen koelvloeistof (vaak freon R22) verdampt, een compressor en een condensor, waarin de tot vloeistof gecompriëerde damp zijn warmte afgeeft. Voor het verdampen van de koelvloeistof in het koelgedeelte of verdamper is verdampingswarmte nodig, die aan de omgeving wordt onttrokken. Hierdoor koelen de buizen van de verdamper sterk af. Vervolgens wordt de damp via de compressor weer tot vloeistof samengeperst, waarbij dezelfde hoeveelheid warmte die voor de verdamping van de koelvloeistof nodig was, als condensatiewarmte weer vrij komt.

Een in de ontvochtiger ingebouwde ventilator zorgt voor een luchtstroom langs de verdamper, die na het passeren van de condensor het apparaat weer verlaat. Deze luchtstroom voert tevens de warmte van de compressor af. Zo wordt alle

electrische energie, die altijd als warmte vrijkomt, in de luchtstroom opgenomen.

Wordt nu vochtige, warme lucht langs de verdamper gezogen, dan zal de lucht afkoelen en vocht uit de lucht zal op de koude buizen condenseren. Of wat exacter gezegd: ligt het dauwpunt van de langs de verdamper stromende lucht hoger dan de temperatuur van de verdamper dan vindt condensatie plaats. De opgenomen warmte afkomstig zowel van de afgekoelde lucht als uit het gecondenseerde water, wordt via het koelmedium naar de condensor overgepompt. Het eindresultaat is dat de luchtstroom, die uit de ontvochtiger komt, warmer en droger is dan de in het apparaat aangezogen lucht. Doordat op deze wijze warmte bij een lagere temperatuur kan worden "verzameld" en bij een hogere temperatuur weer afgegeven, spreekt men ook wel van een warmtepomp bij het aanduiden van het beschreven proces. (Fig. 50).

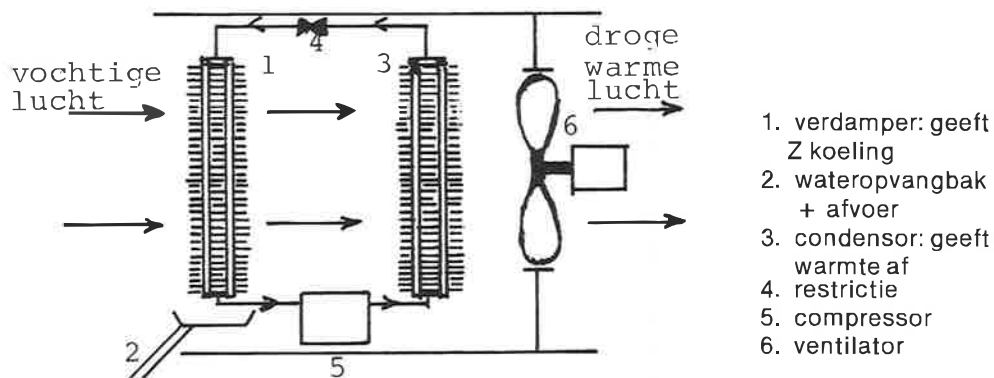
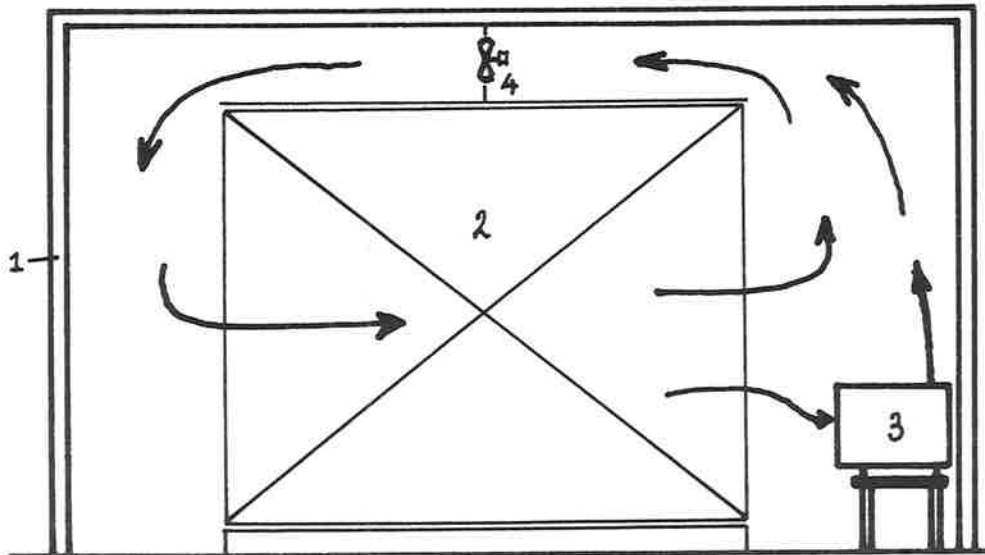


Fig. 50: Principeschema van een ontvochtigingsapparaat.

Voor de verdamping van vocht uit het hout is warmte nodig, de verdampingswarmte van het water bij de heersende temperatuur. Bij lage houtvochtgehalten is daarnaast nog wat warmte nodig voor het opheffen van bindingsenergie van het vocht in het hout. Deze bindingsenergie gaat bij lage vochtgehalten een wat grotere rol spelen, ook bij het drogen van het hout in normale drogers en men dient er dan ook enige rekening mede te houden bij de theoretische berekening van de benodigde energie voor het drogen van hout. In de praktijk wordt deze energie hoeveelheid verwaarloosd, omdat zij toch klein is in vergelijking tot de totale hoeveelheid energie die nodig is om hout met een hoog beginvochtgehalte te drogen tot het gewenste eindvochtgehalte.

In tegenstelling tot normale droogmethoden, waarbij op theoretische basis het benodigde energieverbruik vrij nauwkeurig kan worden berekend en bijvoorbeeld uitgedrukt in het aantal liters water dat per m<sup>3</sup> aardgas of per hoeveelheid energie kan worden onttrokken, ligt dit bij ontvochtigers veel moeilijker. De problemen schuilen in de volgende punten:

- De hoeveelheid lucht en de snelheid waarmee de lucht door de verdamper wordt gezogen is afhankelijk van de ventilatorcapaciteit en de afmetingen van de verdamper. Deze factoren verschillen bij de diverse merken ontvochtigers.
- Bij het passeren van de verdamper wordt niet alle lucht geheel afgekoeld tot beneden het dauwpunt. Tot welke gemiddelde temperatuur de lucht afkoelt is



Figuur 51: Principe schets van een droogruimte werkende met een ontvochtigingsapparaat. 1. geïsoleerde wand, 2. houtstapel, 3. ontvochtigingsapparaat, 4: ventilatoren. De pijlen geven de richting van de luchtcirculatie aan.

slechts door meting vast te stellen.

- c. Het oppervlak van de verdamper heeft een temperatuur, die enige graden hoger ligt dan de aangenomen verdampingstemperatuur van het rondgepompte freon gas.
- d. Bij verandering van de RV van de te ontvochtigen lucht (bij een constante luchttemperatuur) veranderen ook de temperaturen van de verdamper en van de condensor. Deze veranderingen zijn weer via metingen vast te stellen.

In feite komt dit er op neer dat het rendement van een ontvochtiger niet door berekeningen kan worden vastgesteld maar dat dit moet worden gemeten. Daarbij moeten naast het aantal liters water dat wordt gecondenseerd, ook de luchtcondities vóór en achter de verdamper worden gemeten, de hoeveelheid doorgestroomde lucht en het door de compressor en de ventilator opgenomen vermogen. En dit zal voor verschillende luchtcondities aan de luchtinvoerzijde van de ontvochtiger moeten gebeuren. Eerst dan kan men het rendement van een ontvochtiger op de juiste wijze bepalen.

In het algemeen zijn de technische opgaven in prospecti van ontvochtigingsinstallaties onvolledig. Er wordt altijd wel een hoeveelheid condensatiewater vermeld, doch de daarbij behorende klimaatomstandigheden zijn meestal niet opgenomen. Men kan gerust aannemen dat de vermelde hoeveelheden maximale waarden zijn bij een hoge temperatuur (35 of 40°C). In enkele gevallen worden de compressor- en ventilatorvermogens opgegeven.

#### **b. De capaciteit van een ontvochtigingsinstallatie**

Daalt de RV van de in de ontvochtiger aangezogen lucht, dan daalt ook de hoeveelheid vocht die per kW. (of per uur) kan worden onttrokken. Uit de beperkte ter

beschikking staande informatie hebben wij getracht een verband te schetsen tussen de RV van de aangevoerde lucht en het aantal liters condensatiewater per kW. compressorvermogen bij luchttemperaturen van 30°, 35° en 40°C. (Fig. 52).

Wij hebben redenen aan te nemen dat deze informatie reëel zijn. Per kW. compressorvermogen varieert de hoeveelheid condensatiewater van ongeveer 0,7 l bij 30% R.V. tot 4 á 4,5 l bij 90% R.V., waarbij de temperatuurinvloed op de vochtonttrekking in dit temperatuurgebied niet groot blijkt te zijn.

Aangezien de hoogste vochtonttrekking wordt bereikt bij een zo hoog mogelijke R.V. van de te ontvochtigen lucht, zal men trachten om de RV van de lucht aan de uittrezijde van de houtstapel zo lang mogelijk hoog te houden. Bij nat hout kan dit door de luchtsnelheid in de houtstapel laag te kiezen, hetgeen dan ook algemeen wordt toegepast. De consequentie van een lage luchtsnelheid is reeds besproken bij de behandeling van de luchtsnelheid (zie blz. 32).

Met het dalen van het vochtgehalte van het te drogen hout daalt de RV van de lucht achter de houtstapel. Daarmede neemt ook de vochtproductie per kW van de ontvochtiger af. Dit is een direct gevolg van de toenemende invloed van de diffusieweerstand op het vochttransport in het hout zelf.

De diffusieweerstand is afhankelijk van de houtsoort: er zijn zeer langzaam drogende houtsoorten als afzelia, teak, merbau, redwood, langzaam drogende als eiken, wengé en vlug drogende als beuken, populieren, abachi met alle mogelijke variaties daartussen. Verder wordt het droogproces trager naarmate het hout dikker is.

De vochtproductie van het te drogen hout, meestal uitgedrukt in grammen water per m<sup>2</sup> houtoppervlak, kan derhalve zeer sterk uiteen lopen. Vooral bij langzaam drogende houtsoorten in wat grotere diktematen, die bovendien tot lage vochtgehalten moeten worden gedroogd, bijvoorbeeld voor de meubelindustrie, is de vochtproductie van het hout na het bereiken van vochtgehalten beneden 20% zeer gering geworden. Dit resulteert in lage RV- waarden van de te ontvochtigen lucht.

Om niet in te droge klimaten te vervallen, waardoor beschadiging van het hout kan optreden, zijn de meeste ontvochtigers voorzien van een hygrostaat aan de luchtinvoerzijde van het apparaat, die de compressor uitschakelt wanneer een ingestelde RV wordt bereikt. De vochtonttrekking houdt daardoor op, totdat de RV door verdamping van vocht uit het hout zo hoog is geworden dat de hygrostaat de compressor weer inschakelt.

In het algemeen zal de R.V. van een klimaat in een houtdrooginstallatie, werkende met ontvochtigers bij lagere temperaturen, verlopen tussen ongeveer 90 á 80% aan het begin bij zeer nat en snel te drogen hout tot ongeveer 40 á 35% aan het einde van het droogproces. Gedurende een belangrijk gedeelte van het droogproces zal de RV liggen tussen 75 á 70% en 50 á 45%, hetgeen neerkomt op een vochtonttrekking tussen ongeveer 3 en 2 l/h per kW. compressorvermogen. Bij langzaam drogend hout zal de gemiddelde vochtproductie dichter bij 2 l/h of zelfs beneden 2 l/h liggen en bij vlug drogend hout dichter bij 3 l/h per kW.

Ontvochtigingsinstallaties worden geleverd in een reeks capaciteiten met compressorvermogens van ongeveer 1 kW en zelfs nog minder, tot meer dan 25 kW. In het algemeen wijkt de vochtonttrekking van een grote installatie, berekend in liters per kW compressorvermogen niet veel af van die van een kleinere installatie.

### **c Schattingen van de droogtijd en het energieverbruik**

In het hoofdstuk "Het watergehalte van het te drogen hout" (blz. 41) is aangegeven op welke wijze de hoeveelheid te onttrekken water is te berekenen, waarbij

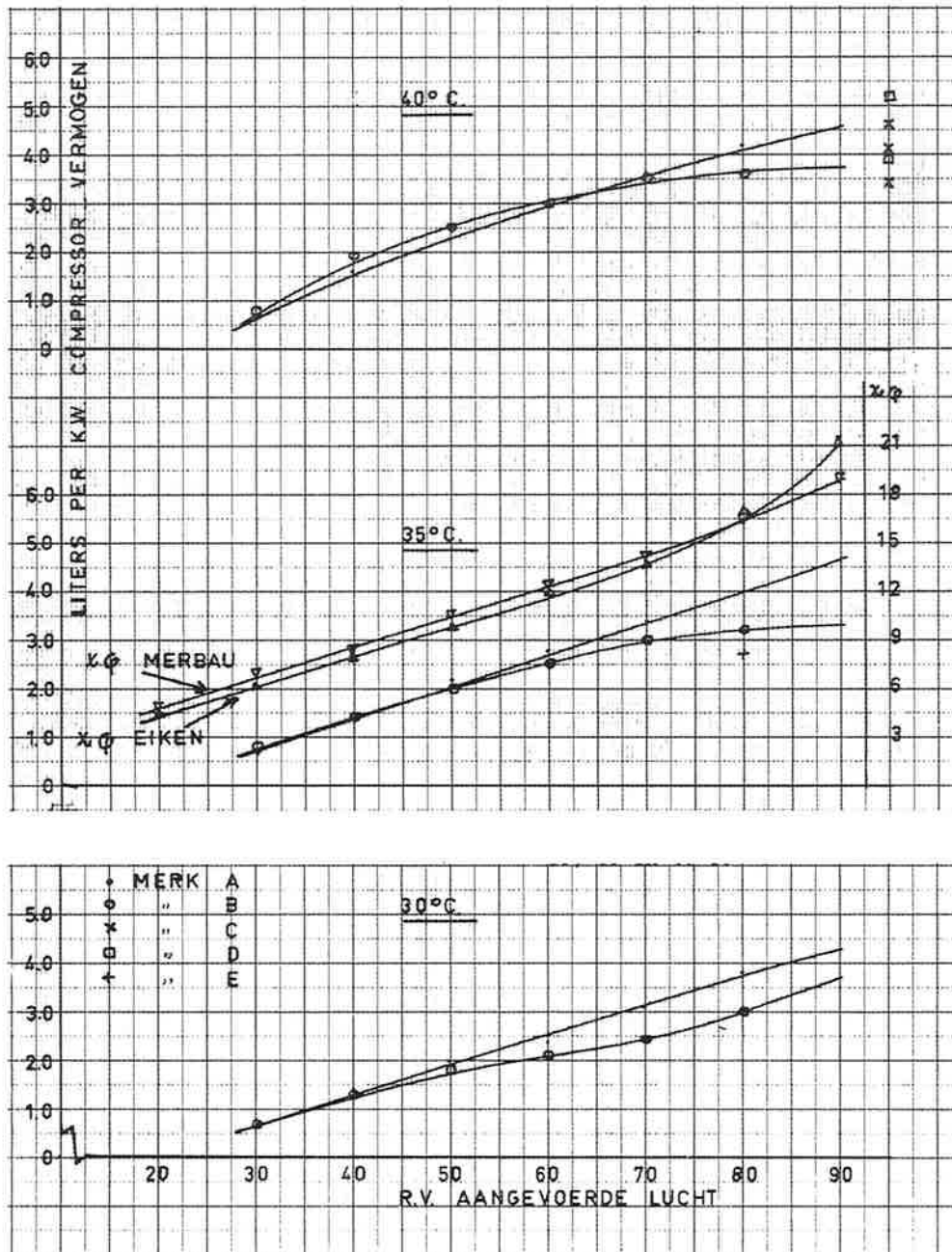


Fig. 52: Het verband tussen de vochtonttrekking per kW compressorcapaciteit en het klimaat van de in de ontvochtiger gevoerde lucht bij temperaturen van 30, 35 en 40°C. De opgaven van de 7 Franse merken gelden officieel bij 25°C, doch gezien de geringe invloed van de temperatuur zijn de waarden ter vergelijking bij 30°C vermeld.

ook het begrip "dichtheidsgetal" ter sprake is gebracht. Uit de gemiddelde vochtonttrekking per kW compressorvermogen, het dichtheidsgetal van het te drogen hout en het aantal m<sup>3</sup> hout dat per kW compressorvermogen wordt gedroogd, is theoretisch de droogsnelheid in % per uur uit te rekenen. Uit het verschil tussen begin- en eindvochtgehalte en de droogsnelheid kan een schatting worden gemaakt van de droogtijd, waarbij nog rekening moet worden gehouden met de totale tijdsduur waarin de compressor door de hygrostaat is uitgeschakeld. Deze tijd moet bij de geschatte droogtijd worden geteld en zal van geval tot geval uit de ervaring moeten volgen. Bij zeer langzaam drogende houtsoorten en/of grote diktematen zal de compressor bij het bereiken van wat lagere vochtgehalten in het hout veel vaker stil staan, dan bij snel drogende houtsoorten in geringe diktematen. Kan de houtsoort een lage RV goed verdragen, dan is het mogelijk dat de compressor in het geheel niet afslaat.

De omrekening van de gemiddelde vochtonttrekking tot de droogsnelheid in % per uur kan geschieden via de grafiek in figuur 53.

De aflezing gaat als volgt: Men heeft de gemiddelde vochtonttrekking in l/h per kW compressorvermogen bepaald. Daarna wordt het gemiddelde dichtheidsgetal van de te drogen houtsoort opgezocht. Vervolgens zoekt men de hoeveelheid hout op die per kW compressorvermogen in de droogruimte wordt gedroogd, waarna de droogsnelheid in % per uur kan worden afgelezen. Het verschil tussen begin- en eindvochtgehalte gedeeld door deze droogsnelheid levert de droogtijd in uren.

Voorbeeld: een partij beuken moet worden gedroogd van 40% tot 12% vochtgehalte. Stel dat een gemiddelde vochtonttrekking van ongeveer 2,8 l/h per kW is vastgesteld. Het gemiddelde dichtheidsgetal van beuken is 580. Verder is berekend dat in de ruimte 10 m<sup>3</sup> beuken per kW compressorvermogen wordt gedroogd. In de grafiek volgt men nu de richting van de pijlen en men vindt voor de droogsnelheid: 0,048% per uur.

Men moet drogen van 40% tot 12% = 28%.  $\frac{28}{0,048} = 583$  uren.

Het energie verbruik is dan eveneens bekend:

Het aantal liters water dat per m<sup>3</sup> moet worden onttrokken is  $28 \times 5,80 \approx 162$  liter. Gemiddeld wordt 2,8 l/h per kW onttrokken. Nodig per m<sup>3</sup> beuken:  $\frac{162}{2,8} \approx 58$  kWh.

Hier moet worden bijgeteld het vermogen van de ventilatoren in de ruimte en van de ventilator in de ontvochtiger. Dit vermogen zal in de praktijk vaak liggen rond 0,05 kW per m<sup>3</sup> hout. De droogtijd is geschat op 583 uren. In totaal wordt aan vermogen opgenomen:  $583 \times 0,05 \approx 29$  kWh.

Voor de droging is in totaal aan energie nodig:  $58 + 29 = 87$  kWh per m<sup>3</sup> hout.

Hierbij moet worden opgemerkt dat in de meeste gevallen de ventilatorcapaciteit in de droogruimte te gering is. In al die gevallen zal, om een aanvaardbare luchtverdeling over de gehele houtstapel te verkrijgen naast voldoende ruimte aan de luchtin- en afvoorzijde van de houtstapel, een grotere ventilatoren-capaciteit moeten worden ingebouwd. (Zie ook: invloed van de luchtsnelheid blz. 32). Dit betekent echter tevens een groter motorvermogen. Men zal daarbij komen aan een ventilatorenvermogen dat eerder in de buurt van 0,10 á 0,12 kW/m<sup>3</sup> hout ligt, dan de factor van 0,05 kW/m<sup>3</sup> waarmee in bovenstaand voorbeeld is gerekend.

In tegenstelling tot de beide andere methoden van drogen spelen de warmteverliezen bij deze installaties een minder belangrijke rol. Om het proces op gang te krij-

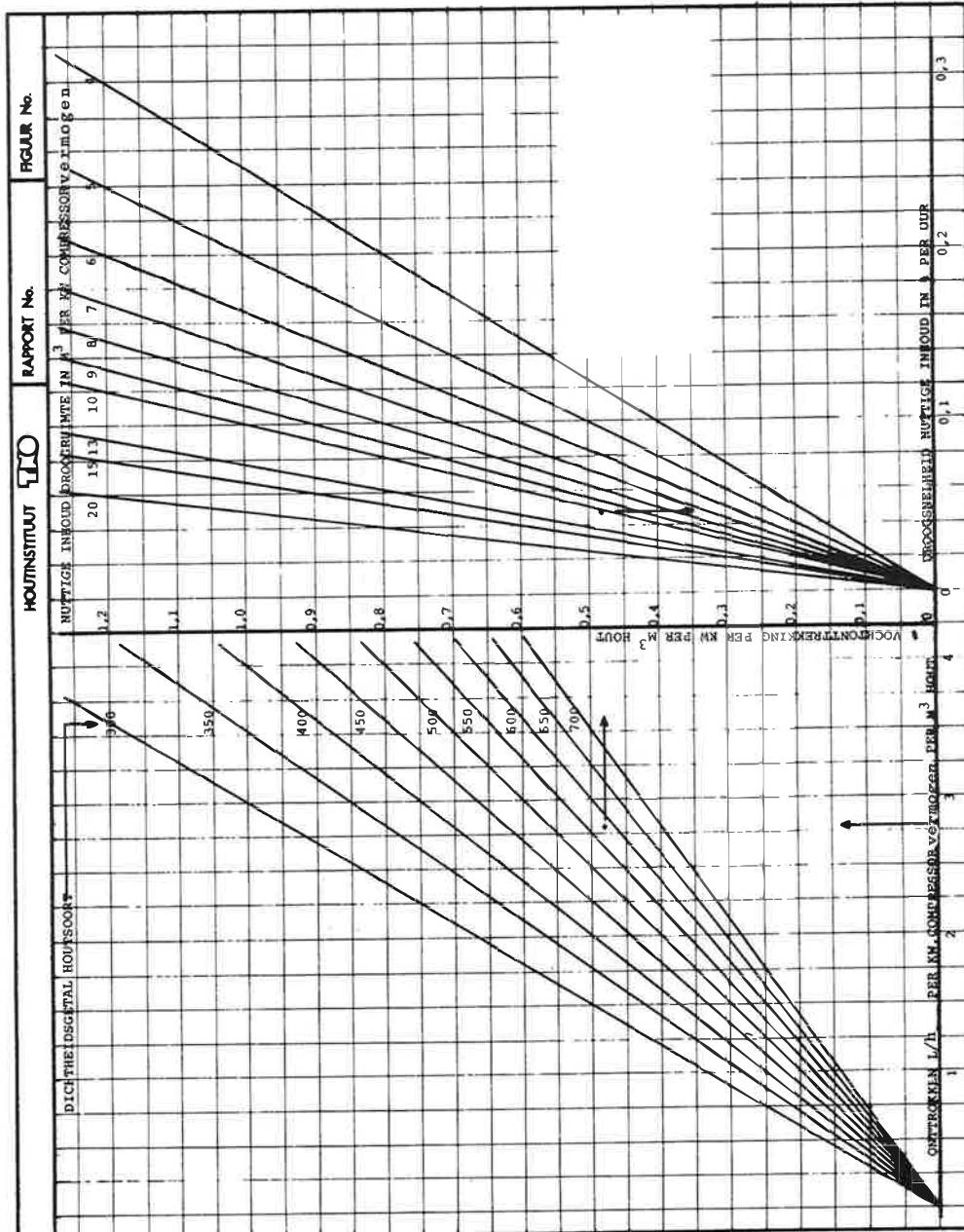


Fig. 53:  
 De herleiding van de gemiddelde vochtonttrekking per kW. compressorvermogen via het dichtheidsgetal van het te drogen hout en de vulling van de droogruimte tot de droogsnelheid van de partij hout in % per uur.

gen is slechts in de beginperiode een hoeveelheid warmte nodig om hout en water tot de gewenste temperatuur (30 à 40°C) op te warmen. Bij een goed gebouwde ruimte is daarna de vrijkomende hoeveelheid warmte van de gebruikte elektrische energie voldoende om de ruimte op de gewenste temperatuur te houden. Aan het einde van het droogproces ontstaat vaak zelfs een warmte-overschot, dat via andere voorzieningen moet worden afgevoerd.

**d. De klimaatregeling in een droogruimte met een ontvochtigingsinstallatie.**

In verreweg de meeste gevallen wordt voor het regelen van het klimaat de thermostaat en hygrostaat gebruikt die bij de luchtintreezijde van de ontvochtiger zijn gemonteerd. Dit biedt echter geen mogelijkheid om het klimaat in de droogruimte zelf onder controle te houden en bij te regelen. De genoemde thermostaat reageert slechts op een in te stellen maximaalwaarde en dient eigenlijk meer als beveiliging van het apparaat.

De hygrostaat schakelt de compressor uit wanneer de RV aan de luchtintreezijde van het apparaat beneden een ingestelde waarde komt. Maar langs deze weg kan het klimaat aan de luchtintreezijde van de houtstapel niet onder controle komen. De klimaatbewaking zal dan ook hier moeten plaats vinden en niet bij het ontvochtigingsapparaat dat altijd aan de luchtuitreezijde van de houtstapel staat.

Men kan het klimaat in de droogruimte derhalve regelen door aan de luchtintreezijde van de houtstapel een hygrostaat en een thermostaat aan te brengen die de ontvochtiger regelen. De aan de ontvochtiger gemonteerde hygrostaat dient daarbij slechts als een beveiligingsapparaat bij een minimale R.V. en de thermostaat als beveiliging tegen een te hoge temperatuur. Beide moeten in het regelcircuit worden opgenomen. Daarnaast is thans van diverse fabrikaten automatische apparatuur op de markt, waarmee het droogproces geheel wordt geregeld op de wijze zoals ook geschiedt bij drogers met geforceerde luchtcirculatie. Met een meetelement aan de luchtintreezijde van de houtstapel wordt het evenwichtsvochtgehalte bepaald dat behoort bij de luchtcondities aldaar. Via een elektrische vochtmeting wordt op 3 of meer plaatsen in de houtstapel het werkelijk vochtgehalte gemeten en gemiddeld. Dit gemiddelde vochtgehalte wordt continu vergeleken met het evenwichtsvochtgehalte en de verhouding tussen deze twee wordt constant gehouden op een van tevoren ingestelde waarde. Daalt nu het vochtgehalte van het hout dan moet ook het evenwichtsvochtgehalte omlaag gaan, hetgeen wordt bereikt door een iets droger klimaat in te stellen. De regelapparatuur verzorgt deze regeling automatisch en commandeert daartoe de ontvochtiger.

**III Het drogen in geklimatiseerde droogruimten**

Wanneer nat hout in een luchtige stapeling in een ruimte, bijvoorbeeld een fabriekshal of een laboratoriumruimte op enige hoogte boven de vloer staat, ontstaat door verdamping van vocht een afkoeling van de lucht in de houtstapel. Door deze afkoeling wordt de lucht zwaarder dan de lucht in de omgeving, waardoor ze uit de stapel zakt. Deze uit de stapel zakkende lucht trekt omgevingslucht achter zich aan de stapel in. Zo ontstaat een luchtstroom in verticale richting van boven naar beneden door de houtstapel waarbij het hout vocht afgeeft aan de langsstromende lucht en dus droogt. Deze luchtstroom kan een ieder direct ervaren door zijn hand onder aldus gestapeld nat hout te houden: de luchtstroom is merkbaar koeler dan de omgeving van de houtstapel. Met rook is de luchtstroom zichtbaar te maken.

Bij de bestudering van het drogen in de buitenlucht kwamen Prochaska en Rijsdijk in 1959 op de gedachte om het bovenstaande principe te benutten om hout op een eenvoudige en goedkope manier te drogen. Met de ervaring van Prochaska op het



gebied van drogen, vooral ook met oudere droger-typen, kon vrij spoedig een ontwerp voor een droogruimte tot stand komen. De verwarming werd daarbij rond om de houtstapel achter een convectorschot aangebracht, waardoor de warme lucht van boven naar beneden in de richting van de natuurlijke luchtstroom door de houtstapel kon stromen. Onder het convectorschot was voldoende ruimte gelaten opdat de verwarming de lucht weer kon aanzuigen en zo voor een luchtcirculatie zorgen. Afvoer van de vochtige lucht vond plaats onder de houtstapel. Dit alles in tegenstelling tot de vroeger veel toegepaste drogers, waarin juist onder de houtstapel verwarmingsbuizen werden aangebracht, die een verticale luchtstroom van beneden naar boven forceerden. Deze luchtstroom was dus tegengesteld aan de natuurlijke. De vochtafvoer vond daarbij plaats boven de houtstapels. Een berucht nadeel van deze drogers was dat op ongeveer tweederde van de stapelhoogte midden in de houtstapel een grote plek veel langzamer droogde ten gevolge van het naar opzij wegstromen van de opgestuwde lucht. Om dit euvel op te heffen heeft men oplossingen gezocht in diverse stapel-methoden, waarbij slechts gedeeltelijk succes werd bereikt. Deze vorm van drogers is thans geheel verdwenen.

Het bovenomschreven principe van hout drogen in geklimatiseerde droogruimten vond weerklink in de Nederlandse houtverwerkende industrie als een eenvoudige en goedkope vorm van drogen met kwalitatief heel goed gedroogd hout als resultaat. Rijdsijk en Dijkstra hebben in de loop der jaren de geklimatiseerde droogruimte ontwikkeld tot de huidige vorm. In principe bestaat ze uit een goed geïsoleerde en dampdichte ruimte met een vlak plafond, waarin langs de wanden met vrij laten van de deuropeningen 2 ribbenbuizen op 15 cm boven de vloer zijn gemonteerd.

In één der lange wanden is in de beide benedenhoeken van de ruimte een luchtinvoeropening aangebracht. In dezelfde wand, eveneens vlak boven de vloer, bevindt zich de opening voor de afvoer van de vochtige lucht. De maximaal toegepaste breedte is 15 m. De meeste ruimten zijn niet langer dan 35 m. Een enkele is enige meters langer. De inwendige hoogte is maximaal 6 m.

Er functioneren thans in Nederland ongeveer 175 geklimatiseerde droogruimten waarvan de nuttige inhoud varieert van enkele 10-tallen m<sup>3</sup> hout tot 400 á 500 m<sup>3</sup>.

#### **a. Kenmerken van de geklimatiseerde droogruimte**

De kenmerken van de geklimatiseerde droogruimte zijn in de volgende punten samen te vatten:

1. De droging verloopt vertikaal van boven naar beneden ten gevolge van de in deze richting geleide luchtstroom. De snelheid van de luchtstroom is meestal 10 á 15 cm/s.
2. De luchtstroom wordt mede in stand gehouden door een laag geplaatste verwarming achter een luchtgeleidings- of convectorschot. In de door dit schot en de wand van de droogruimte gevormde smalle luchtschacht ontstaat boven de verwarmingsbuizen een convectiestroom.
3. Voor de verticale luchtstroom door de houtstapels moet voldoende ruimte tussen het te drogen hout aanwezig zijn. De breedte van deze tussenruimte is afhankelijk van de houtsoort, de afmetingen van het te drogen hout en het bevochtgehalte. Ze kan worden berekend en varieert tussen 3 en 8 cm.
4. In verband met de verticale luchtstroom is de breedte van het te drogen hout beperkt tot 20 á 25 cm.  
Bij breder hout wordt de weg, die het vocht uit het hout in horizontale richting

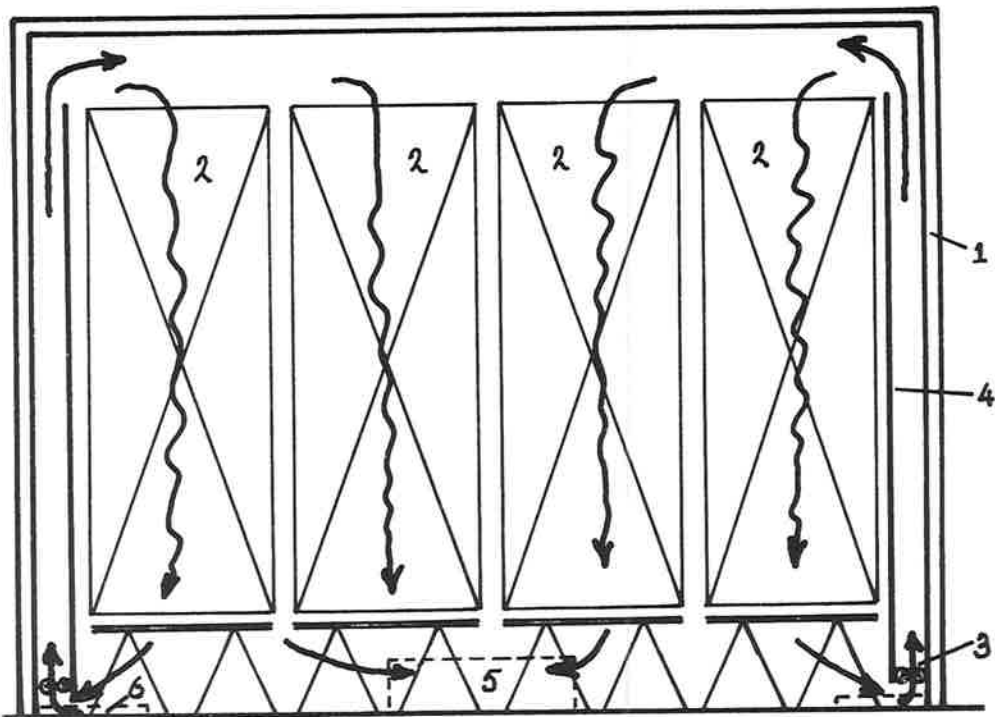


Fig. 54: Principe schets van een geklimatiseerde droogruimte. 1. geïsoleerde dampdichte wand; 2. houtstapels, het hout met ruimte gestapeld; 3. 2 naast elkaar lopende ribbenbuizen; 4. Convectorschot; 5: vochtafvoeropening; 6: luchttoevoeropeningen. De pijlen geven de richting aan van de luchtcirculatie, luchttoe- en -afvoer.

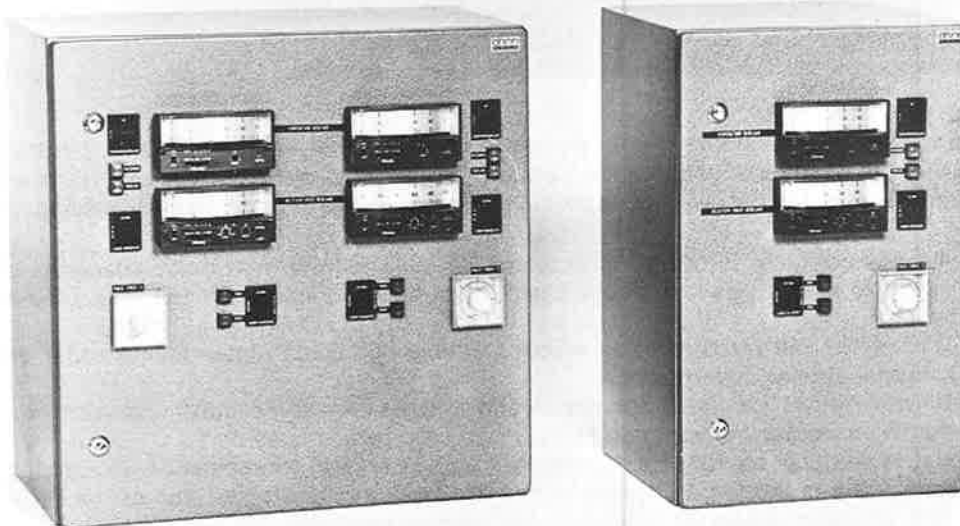


Fig. 55: De apparatuur voor de klimaatregeling is ondergebracht in een gesloten metalen kast. Links een uitvoering voor twee geklimatiseerde droogruimten en rechts de uitvoering voor één ruimte.

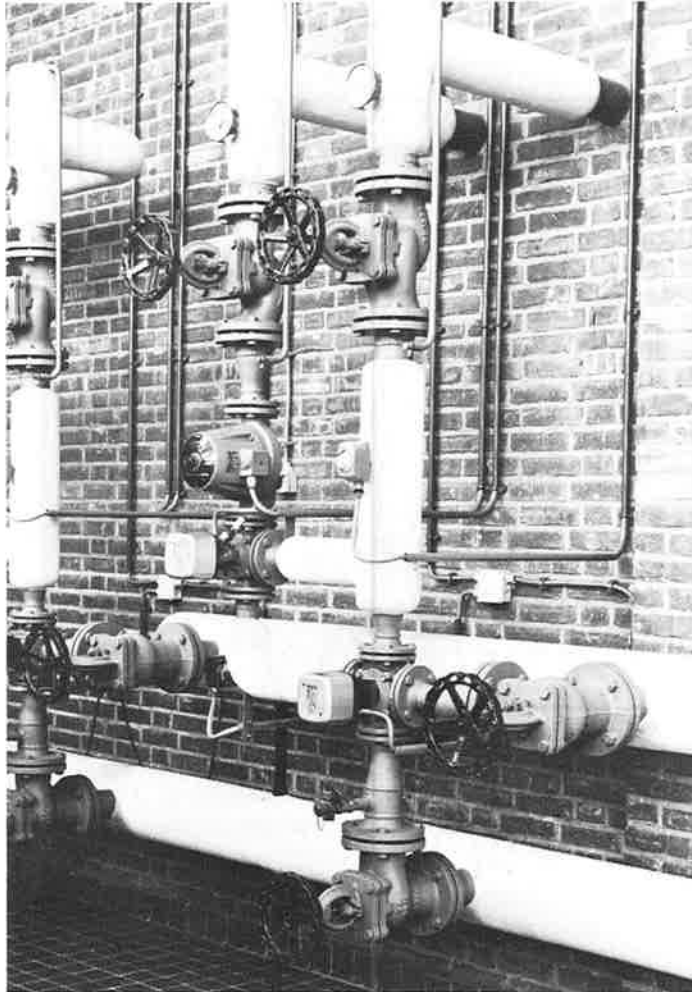


Fig. 56:  
Warmwater regelsysteem met in de leiding van de ketel komend de 4-weg mengklep. In de daarboven gesitueerde heenleiding de 3-weg mengklep en de circulatiepomp. Rechts van de 3-weg mengklep de verbindingsleiding met de retourleiding.

via dampdiffusie tot de aangrenzende verticale luchtstroom moet afleggen, te lang. De droging gaat hierdoor steeds trager lopen naarmate het hout breder is.

5. De toevoer van verse lucht en afvoer van vochtige lucht vinden plaats onder de houtstapels vlak boven de vloer.  
De afmetingen van deze openingen zijn afhankelijk van de maximale vochtproductie en worden hiervoor berekend.
6. Het is mogelijk om diverse houtsoorten en ook hout in verschillende diktematen gelijktijdig te drogen. Vanzelfsprekend droogt dun hout vlugger dan dik en vergt een langzaam drogende houtsoort een langere droogtijd dan een snel drogende soort.

7. In principe kan een ruimte op 2 manieren worden gevuld:
  - a. de houtstapels worden in de gehele ruimte op een onderlinge afstand van 10 - 15 cm naast elkaar geplaatst. Voor controle van het hout en het vochtgehalte blijft een looppad in de ruimte vrij. De houtstapels staan op losse bokken, die bij het vullen van de ruimte onder de stapels worden geplaatst en bij het leeghalen opzij worden gezet om zodoende met een heftruck alle stapels weer te kunnen weghalen.
  - b. De houtstapels worden geplaatst op een vaste onderbouw die links en rechts van een rijbaan is opgesteld.  
De rijbanen zelf worden vrij gehouden of deze ruimten worden nog ten dele benut door er enkele houtstapels op een kar in te rijden.

Methode a wordt meer toegepast bij het drogen van het hout in kleinere afmetingen (voor de meubelindustrie).

Methode b wordt toegepast bij het drogen van hout in zwaardere afmetingen en grote lengten in grote droogruimten (voor de timmerindustrie). Dit hout wordt in het algemeen met behulp van een zijlader in de ruimte gebracht. Het aanhouden van de kleinst mogelijke afmetingen voor de deuropeningen en een hoge transportsnelheid van het hout spelen bij deze methode een belangrijke rol.

8. Ook voor het drogen zelf kunnen 2 werkwijzen worden gevolgd:

- a. In de ruimte wordt een optimaal gekozen klimaat constant aangehouden. Meestal ligt dat bij 40°C en 60% R.V. In dit klimaat moet het natte hout zonder bezwaar kunnen worden bijgeplaatst. Als een partij hout droog is wordt ze uit de ruimte gehaald en vervangen door nat hout. Men past deze werkwijze toe wanneer de diversiteit van houtsoorten groot is en er vele kleine partijen moeten worden gedroogd.
- b. Bij grotere uniformiteit van het te drogen hout wordt de gehele partij in één charge gedroogd. Het klimaat in de ruimte verscherpt met het dalen van het vochtgehalte van het hout op identieke wijze als in drogers gebeurt: de RV gaat omlaag en de temperatuur wordt opgevoerd. Droogschema's zijn voor de vele houtsoorten opgesteld.

Het drogen volgens de onder a omschreven werkwijze verloopt trager dan die onder b. Het verscherpen van het droogklimaat met het dalen van het vochtgehalte houdt een iets hoger dampdiffusiesnelheid in het hout in stand.

In een constant klimaat wordt met het vorderen van het droogproces het verschil tussen het werkelijk- en het evenwichts-vochtgehalte steeds kleiner, waardoor het droogproces steeds langzamer verloopt. Bij de werkwijze a kan het klimaat niet worden verscherpt daar in dat geval geen nat hout meer kan worden bijgeplaatst zonder gevaar voor beschadiging. Het klimaat is reeds optimaal gekozen. Met werkwijze b kan men tot lagere houtvochtgehalten komen dan met werkwijze a.

9. Het droogproces vindt plaats bij lagere temperaturen, meestal tussen 35 en 45°C, maximaal 50°C.

Het is algemeen gesproken een veilig temperatuurgebied, waarbij de kans op beschadiging van het hout gering is. Door de lagere temperatuur is de droogsnelheid ook laag.

10. De klimaatbewaking geschiedt met behulp van een thermostaat en een hygrostaat waarvan de voelers in het midden van de ruimte boven de houtstapels aan het plafond zijn bevestigd. De klimaatbewaking bestaat uit een temperatuurbegrenzing naar hogere temperaturen en een R.V. begrenzing naar lagere R.V. waarden. Beide begrenzingswaarden zijn instelbaar. De bewaking van de R.V. geschiedt via de verwarming met dien verstande dat indien de R.V. de in-



Fig. 57: Een kleine geklimatiseerde droogruimte, ondergebracht in een gedeelte van een bestaande houtloods van een kleinere meubelfabriek.

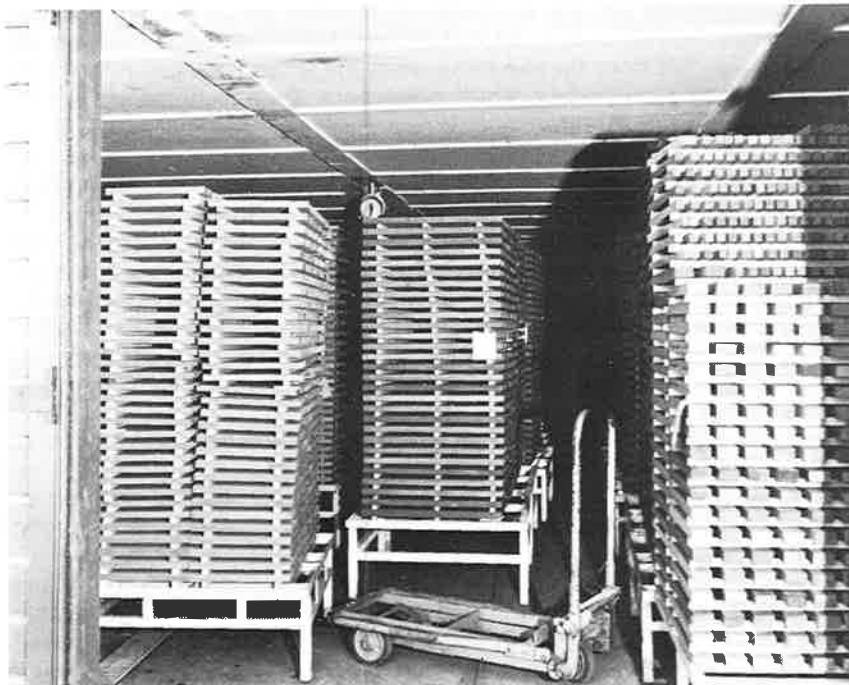


Fig. 58: Een blik door de geopende deur in dezelfde droogruimte van Fig. 57.

gestelde grenswaarde onderschrijft, de verwarming wordt teruggeregeld, ook indien de temperatuur de maximaal ingestelde waarde nog niet heeft bereikt. Door de hierop volgende temperatuurdaling loopt de R.V. in de ruimte weer wat op.

De R.V. regeling is primair, de temperatuurregeling secundair. De gehele regelapparatuur is in een kast ondergebracht en zeer eenvoudig te bedienen. (Fig. 55)

11. De verwarming geschiedt met warm water dat door de ribbenbuis in zijn heen-en-retourgang in de geklimatiseerde droogruimte wordt rondgepompt. Voor de klimaatbewaking is een 3-weg mengklep in dit circuit opgenomen. In een voorregeling wordt via een 4-weg mengklep het van de ketel komende water op een gewenste temperatuur gebracht. (Fig. 56)
12. Voor de vochtonttrekking aan het hout is warmte nodig. Uitgaande van een gasgestookte warmwaterketel, kan men per m<sup>3</sup> aardgas gemiddeld ongeveer 7 liter water verdampen. Het elektriciteitsverbruik van de warmwater circulatiepomp bedraagt ongeveer 0,005 kWh per m<sup>3</sup> hout.  
Voor een berekening van de benodigde energie moet hier nog worden bijgeteld de warmteverliezen van de droogruimte tijdens het gehele droogproces. Evenals bij de drogers hangen deze af van de toegepaste isolatie voor wanden, plafond en deuren, de vloerconstructie, mogelijke warmtebruggen en lekverliezen.

In de gegeven vorm is de ontwikkeling van de geklimatiseerde droogruimte vrijwel tot een einde gekomen. Zoals ieder systeem van drogen heeft ook dit naast een aantal zeer aantrekkelijke voordelen ook enige nadelen. Eén daarvan is de droogtijd, die vrij lang is. Gaarne zou men kortere droogtijden willen zien. Het is echter de vraag of dit mogelijk is en zo ja wat hiervan de consequenties zullen zijn.

In de praktijk gebeurt het nogal eens dat de droogtijden extra lang worden. Dat kan een gevolg zijn van het te ver dalen van de R.V. door het open laten staan van de vochtafvoeropening (zie ook onder punt 10). Hierdoor daalt ook de temperatuur in de droogruimte waardoor het hele droogproces wordt vertraagd.

Dit is te voorkomen door de schuif van de vochtafvoeropening van handbediening om te bouwen op een automatische bediening. Automatisch bediende schuiven zijn in enige gevallen reeds toegepast en werken goed.

Bij de bespreking van de invloed van de temperatuur op het droogproces is reeds duidelijk naar voren gekomen dat met een temperatuurverhoging een droogtijd verkorting gepaard gaat (zie blz. 13 e.v.). Men kan dus trachten om bij een zo hoog mogelijke temperatuur te drogen. Maar deze hogere temperatuur kan eerst worden ingesteld als het vochtgehalte voldoende laag is geworden, opdat de kans op schade aan het hout wordt vermeden. In het algemeen moet het vochtgehalte hiertoe beneden het vezel-verzadigingspunt zijn gekomen, dat wil zeggen beneden 30 à 25%. De maximaal in te stellen temperatuur is 50°C.

Zoals reeds is aangegeven wordt het droogproces wel versneld door een hogere temperatuur en/of een lagere RV te kiezen. Hoe scherper het klimaat vooral in de beginfase wordt gekozen, hoe vlugger de droging verloopt doch ook hoe groter de in het hout optredende droogspanning wordt tot deze overgaat in scheurvorming bij een te scherp droogklimaat. Daar droogspanning de oorzaak kan zijn van krom of scheluw trekken bij het verwerken van het hout, moet het optreden van grotere droogspanningen in het hout worden vermeden. In drogers kan een droogspanning door een eenvoudige stoombehandeling weer worden weggewerkt. In geklimatiseerde droogruimten is deze mogelijkheid niet voorhanden. Het toepassen van een



Fig. 59: Twee grote geklimatiseerde droogruimten naast elkaar onder één dak geplaatst.



Fig. 60: Het drogen van 75 mm d donkerrode meranti in een geklimatiseerde droogruimte. Rijpad de ruimte voor het houttransport met zijladers. Op de achtergrond het convectorschot.

scherper droogklimaat dient dan ook te worden begeleid door een goede controle op de opgetreden droogspanning.

#### **b. Verstoring van het systeem door zeer vers hout**

Wanneer zeer vers hout met een hoog beginvochtgehalte moet worden gedroogd bij een lage temperatuur vanwege collapsgevaar, hetgeen o.a. het geval is bij vers eiken, wordt de R.V. in de ruimte vaak zeer hoog.

Toch mag het vocht niet al te snel worden afgevoerd om scheuren van het hout te voorkomen. Een dergelijke situatie kan leiden tot het stagneren van de luchtcirculatie. Verder kan het voorkomen dat in grote geklimatiseerde droogruimten, waarin de totale stapelhoogte 4 m bedraagt, bij hout met een zeer hoog beginvochtgehalte een droogvertraging optreedt bij het hout in de onderste 1 à 2 meter van de houtstapel. Dit is een gevolg van de zeer grote vochtproduktie. Het hout onder in de stapel zal eerst beginnen te drogen wanneer de vochtproduktie van de bovengelaatste pakketten hout begint af te nemen.

Beide omstandigheden leiden al spoedig tot de gedachte om de luchtstroom door de houtstapels met behulp van ventilatoren te versterken. De ventilatoren worden daarbij boven de verwarmingsbuizen achter het convectorschot aangebracht.

In genoemde gevallen kan het droogproces in de beginfase op deze wijze zeker worden beïnvloed. Die invloed wordt echter door 2 factoren weer beperkt en wel ten eerste doordat de luchtsnelheid in de orde van grootte van de natuurlijke luchtstroom in de stapel moet blijven. Ze kan iets hoger liggen maar wordt ze te hoog gekozen, dan vormen de houtstapels een weerstand en stroomt de lucht voornamelijk langs de houtstapels. Ook neemt in dat geval de kans toe op een ongelijkmatige droging van de hele partij hout. De tweede factor is dat de luchtsnelheid geen invloed meer heeft, zodra de diffusieweerstand in het hout de vochtafgifte en daarmee het droogproces gaat beheersen. En bij de toch nog zeer lage luchtsnelheden die kunnen worden toegepast, zal deze toestand vrij spoedig worden bereikt. Door het toepassen van ventilatoren kan men dus de oorzaak van het optreden van de vertraging grotendeels of ten dele opheffen, het droogproces zelf zal er nauwelijks door worden versneld.

#### **c. Het nadrogen van vuren timmerhout tijdens opslag.**

Eind 1973 werd het verzoek ontvangen om een oplossing te vinden om een grote hoeveelheid vuren timmerhout tijdens de opslag in een gesloten loods na te drogen tot het in de KVT 1970\*) voorgeschreven vochtgehalte.

Uiteindelijk ging het in dit project om het nadrogen van maximaal rond 4000 m<sup>3</sup> vuren timmerhout tot een dikte van 100 mm, dat zou worden opgeslagen in een gesloten loods met de volgende afmetingen: lengte 56 m, breedte 40 m, hoogte inwendig 12 m.

Besloten werd om voor het nadrogen uit te gaan van het principe van de geklimatiseerde droogruimte. Aangezien in de opslagruimte normaal moet worden gewerkt, mocht de temperatuur niet hoger worden dan maximaal 25°C boven in de ruimte in verband met de bezetting door mensen van 2 brugkranen voor het houttransport. De stapelhoogte zou, inclusief de strijkhouten tussen de pakketten, 6,50 m worden.

Voor het nadrogen moest het principe van convectie via verwarmingsbuizen worden vervangen door een aantal luchtbehandelingskasten waarin verwarmingselementen voor warm water en ventilatoren zijn ondergebracht. Deze luchtbehande-

---

\*) KVT 1970: Kwaliteit van timmerwerk. Voorschriften voor de fabricage. Uitg. Stichting KOMO 1970.



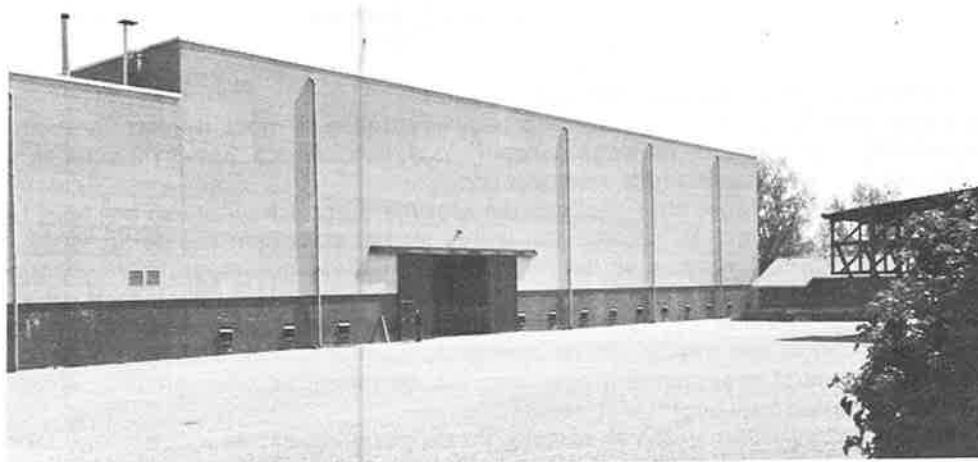


Fig. 61: Gesloten loods van 40 x 56 m en 12 m hoog voor de opslag en het gelijktijdig nadrogen van Noord Europees vuren timmerhout met een vochtgehalte van 22 á 25% tot een gemiddeld vochtgehalte van 15%. De openingen onder in de gevel dienen voor de toevoer van verse lucht en de afvoer van vochtige lucht.

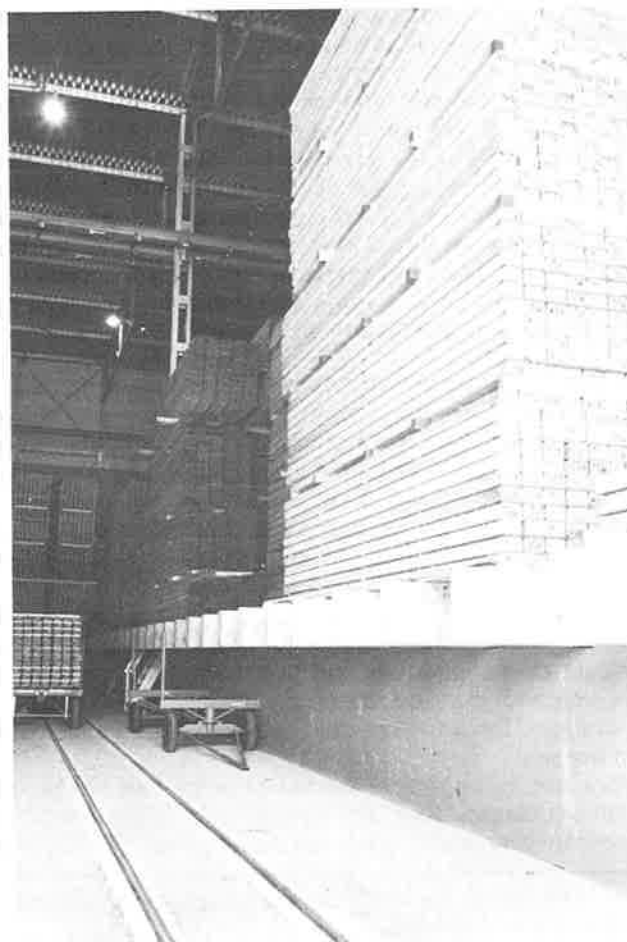


Fig. 62: Het hout wordt met ruimte tussen de delen gestapeld. De naar de transportgang toe afgesloten ruimte onder het hout is nodig voor recirculatie van de verticaal door de stapels stromende lucht.

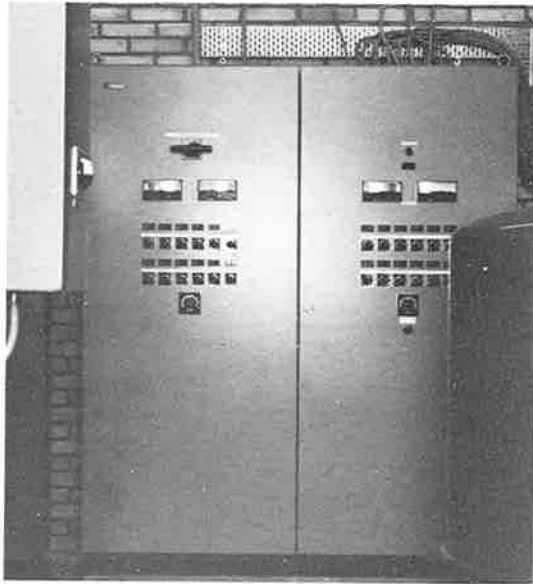


Fig. 63: Regelapparatuur en schakelaars in dubbele uitvoering voor de bewaking van de RV in de gesloten opslagruimte voor het nadrogen van Noord Europees vuren.

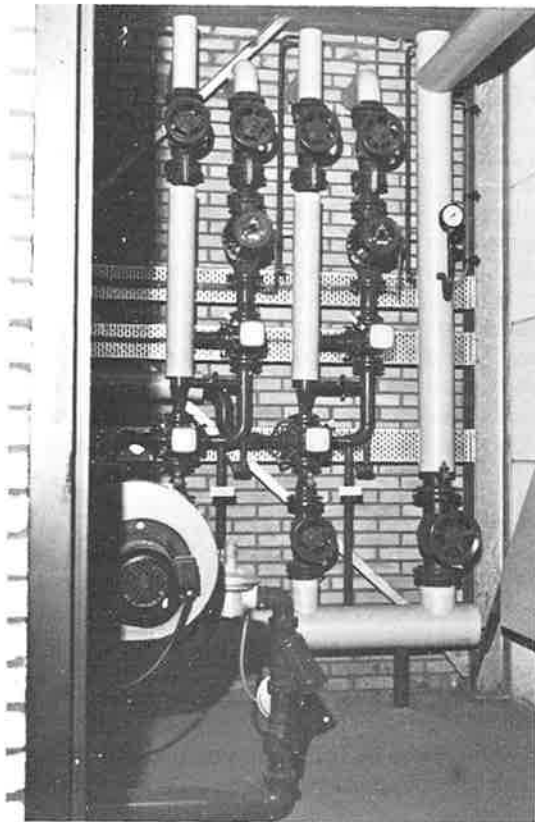


Fig. 64: Warmwaterregelsysteem met 3- en 4- wegmengkleppen in dubbele uitvoering.



Fig. 65: Overzichtsfoto in de loods van Fig. 61.

lingskasten zijn op gelijke afstand van elkaar tegen de vier wanden van de ruimte opgesteld en door een hoog convectorschot van de opslag gescheiden. Voor de berekening van de luchtcapaciteit is uitgegaan van de luchtsnelheid die onder normale omstandigheden heerst in de houtstapels in een geklimatiseerde droogruimte. De automatisch geregelde afvoer van vochtige lucht en toevoer van verse lucht vindt weer plaats onder de houtstapels. Vanwege de grote afmetingen is de ruimte met betrekking tot het warmwater circuit en de klimaatregeling, diagonaal in tweeën verdeeld. Het warmwater circuit en de klimaatregeling zijn dus dubbel uitgevoerd. Het zal duidelijk zijn dat voor deze afwijkende omstandigheden enige aanpassing van de normale opzet voor een geklimatiseerde droogruimte noodzakelijk was, doch het grondprincipe van de geklimatiseerde droogruimte is gehandhaafd.

Wat de droogtijd betreft werd ons alle vrijheid gegeven. Voor de berekening is een nadroogtijd van 6 weken aangenomen, rekening houdende met de veel lagere droogtemperaturen. Na de eerste drogingen bleek deze tijd vrij goed te zijn gekozen. Uitgaande van een beginvochtgehalte van ongeveer 23% werd bij een ingestelde RV van 60% (evenwichts vochtgehalte bij dit klimaat voor vuren 13 à 14%) na 6 tot 8 weken een vochtgehalte bereikt van ongeveer 15% in de buitenzijde van het hout en in de kern van het 75 en 100 mm dikke vuren van respectievelijk ongeveer 16 en 18%.

Dunner hout vertoonde vrijwel geen verschil meer in vochtgehalte tussen rand en kern; het vochtgehalte lag rond 15%. Over de gehele stapelhoogte was het vochtgehalte in de genoemde tijd vrijwel gelijk geworden.

Als bijkomend resultaat van deze zeer langzame methode van nadrogen moet de zeer goede kwaliteit van het gedroogde hout worden vermeld. Zo kwamen in het 75 mm dikke vuren praktisch geen scheuren, ook geen kleine, voor. In 100 mm dik vuren, kwamen hier en daar kleine scheuren voor, doch deze waren onbetekenend. In 1976 is een tweede opslagruimte, waarin vuren wordt nagedroogd, in ons land in gebruik genomen. Deze ruimte heeft een capaciteit van maximaal 6000 m<sup>3</sup>.

Het hier toegepaste systeem van een geforceerde luchtcirculatie in verticale richting door de houtstapels leent zich natuurlijk ook voor het drogen in geklimatiseerde droogruimten bij temperaturen van 40 à 45°C. De afvoer van vochtige lucht en de toevoer van verse lucht moet daarbij op identieke wijze worden geregeld.



## OPSLAG VAN GEDROOGD HOUT

Met behulp van een versneld droogproces wordt een vochtgehalte van het hout verkregen, dat altijd lager is dan op dat moment door drogen in de buitenlucht is te bereiken. Komt dat gedroogde hout in de buitenlucht te staan, dan zal het dus altijd vocht opnemen om in evenwicht te komen met het buitenklimaat. Daardoor wordt een stukje van het droogwerk weer teniet gedaan, hetgeen moet worden voorkomen. Het gebeurt echter nogal eens dat het gedroogde hout uit de drooginstallatie moet omdat men nieuwe partijen moet gaan drogen, maar nog niet naar de plaats van bestemming kan worden getransporteerd. Of dit nu het eigen of een ander bedrijf is, het probleem van tijdelijke opslag blijft gelijk.

Een vaak toegepaste zeer provisorische methode is om het hout goed in plastic folie verpakt in een open loods op te slaan. Bij geringere hoeveelheden hout en een korte opslagperiode van één à twee weken is tegen deze werkwijze geen enkel bezwaar aan te voeren. Het hout wordt zonder stapellatten, koud tegen elkaar en zo nauw sluitend als mogelijk is en vrij van naden en kieren in zwaar plastic folie ingepakt. Het plaatsen van het ingepakte hout in de open lucht in weer en wind moet ten eerste worden ontraden, niet vanwege de regen doch vanwege de zonbestraling. Beschijnt de zon gedurende een aantal uren het ingepakte hout eenzijdig, dan wordt zowel de lucht in het pak als het hout aan die zijde warm. Aan de andere zijde van het pak heerst een veel lagere temperatuur. Door dit duidelijke klimaatverschil komt een vochtstroom op gang van de beschonen naar de koele zijde in het pak. Het proces is waar te nemen door het optreden van condensatie tegen de binnenzijde van het plastic aan de koude zijde. Vooral enige tijd na zonsopgang, wanneer het hout door de nachtelijke afkoeling nog koud is, kan het verschijnsel bij eenzijdige zonbestraling sterk optreden. Het condensatiewater druppelt op het hout en bovendien staat het goed gedroogde hout periodiek in een klimaat met een RV van 90 à 100%. Aan de beschonen zijde wordt het hout wat droger, maar aan de koude zijde wordt het hout plaatselijk nat. Bij langer durende opslag op deze wijze kan aan de koele zijde zelfs schimmelgroei optreden (meestal eerst niet houtaantastende schimmelsoorten, die donkere vlekjes op het oppervlak veroorzaken).

Komt het tijdelijk opslaan van gedroogd hout in grotere hoeveelheden regelmatig voor, dan kan het doelmatiger zijn om een gesloten opslagruimte hiervoor te bestemmen. Aangezien slechts droog hout wordt opgeslagen, behoeft alleen de R.V. in de ruimte te worden bewaakt. De R.V. moet zodanig zijn, dat het vochtgehalte van het opgeslagen hout niet verandert; hoogstens kan enige egalisatie in de vochtgehalten plaatsvinden zowel in het hout zelf als tussen de delen onderling.

Een gunstige RV kan worden gevonden via de hysteresis figuren\*) van de opgeslagen houtsoorten. Uitgaande van het vochtgehalte van het gedroogde hout zoekt men de kruising op met de lijn voor vocht opneming, de adsorptielijn, en leest de daarbij behorende R.V. af. Daarvoor timmerhout dikker dan 52 mm een hoogst toelaatbaar vochtgehalte voor zowel de kern als voor de rand is voorgeschreven (zie tabel 3 blz. 42) wordt voor dit hout de R.V., behorende bij het randvochtgehalte teruggezocht. Voor hout dunner dan 52 mm wordt uitgegaan van het gemiddeld vochtgehalte. (zie tabel 2 blz. 41). Op deze wijze zal men voor verschillende houtsoorten in verschillende diktematen ook verschillende RV-waarden vinden, waaruit dan een gunstige RV wordt gekozen.

Voor de opslag van hout voor timmerwerk zal een gunstige RV 70 à 75% bedragen

\*) Zie: HOUTSOORTEN, Informatie voor de praktijk, Houtinstituut TNO 1977.

voor houtsoorten als vuren, donkerrode meranti, oregon pine en merbau. Hout voor de meubelindustrie wordt tot een belangrijk lager vochtgehalte gedroogd dan voor de timmerindustrie. In het algemeen moet dit vochtgehalte ongeveer 10% bedragen en daarvoor moet de RV bij opslag beneden circa 50% blijven (voor diverse meubelhoutsoorten variërende tussen 45 en 60%).

De RV in de opslagruimte kan worden beheerst met behulp van een ontvochtigingsapparaat of via een geringe verwarming van de ruimte. In beide gevallen moet een goede hygrostaat, met de voeler op ooghoogte bijvoorbeeld tegen een paal in de ruimte geplaatst, het klimaat bewaken.

Werkt men met een ontvochtigingsapparaat, dan wordt dit vrij uitblazend in de ruimte geplaatst en wel zo, dat geen hout in de warme droge luchtstroom van het apparaat staat. Het kan gunstig zijn om hiervoor een verrijdbaar apparaat te nemen, daar een dergelijke opslagruimte meestal geen vast stapelpatroon heeft.

Wil men de ruimte met behulp van een geringe verwarming op de gewenste R.V. houden, dan kan dit met gewone centrale verwarmingsradiatoren langs de wanden gebeuren of zoals in een geklimatiseerde droogruimte, maar nu met één ribbenbuis langs de wanden. Aannemende dat geen vocht uit het droge hout meer verdampst, behoeft de temperatuur in de opslagruimte ten hoogste 6 à 8°C boven de buitentemperatuur te stijgen om onder de ongunstigste buitenomstandigheden de genoemde RV-waarden te bereiken. Is er in de winter kans op strenge vorst, dan moet zoveel warmte berekend worden, dat de ruimte vorstvrij kan worden gehouden. Als warmtebron kan een apart klein keteltje fungeren of men kan bij aanwezigheid van een warmwater- of stoom-leidingsysteem daarop aansluiten. Evenals bij de geklimatiseerde droogruimte vindt de regeling plaats via een 3- of 4-weg mengklep die door de hygrostaat wordt bestuurd.

Zijn de wanden van de ruimte als 1-steens- of spouwmuur uitgevoerd, dan zijn hiervoor geen extra voorzieningen nodig. Wel is het wenselijk om een plafond of een schuine kap te isoleren, om een grotere temperatuur gradiënt in verticale richting tegen te gaan en om minder warmte te verliezen. Een vlak plafond is voor de opslagruimte te preferen boven een puntdak. De ruimte tussen plafond en dak kan dan voldoende met buitenlucht worden geventileerd om eventueel nog uit het hout komend vocht, dat door het plafond naar buiten trekt, af te voeren. Het plafond wordt afgedekt met glaswoldeken.

Een goede opslagruimte voor het gedroogde hout als omschreven, is dikwijls een grote uitkomst voor het bedrijf.

## LITERATUUR

### GERAADPLEEGDE ALGEMENE LITERATUUR.

1. Holzwirtschaftliches Jahrbuch nr. 15 1965.  
Holztrocknung DRW-Verlag Stuttgart
2. Kollmann F. 1955: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe I und II.  
Springer Verlag.
3. Kollmann F.F.P. and Côté W.A. 1968: Principles of Wood Science and  
Technology I. Solid Wood. Springer Verlag.
4. Kühne H. 1974: Spezial verfahren der Holztrocknung.  
Schweiz. Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung Referat.
5. Lempelius J. 1969: Die Schnittholz-Trocknung. Uitg. Robert Hildebrand.  
Oberboihingen.
6. Moll.Fr. 1930: Künstliche Holztrocknung. Springer Verlag blz. 73: Das  
Dämpfen.
7. Stamm A. J. 1964: Wood and Cellulose science. Ronald Press.
- 7a. Stevens W. C. and Pratt G. H. 1961; Kiln operators handbook. London Her Maj.  
stat.off.
- 7b. Pratt G. H. 1974: Timber drying manual. London Her Maj. stat.off.
8. Tiemann H.D. 1919: The kiln drying of lumber. Lippincott Comp. Steaming  
214/215.
9. Tuomola T. 1943: Über die Holztrocknung. Iulkaisu 1 Helsinki.
10. Villière A. 1953: Séchage des bois. Dunand Paris.
11. Informatie bladen 1975 van L. Bollmann, K. G. te Singen, R. Brunner GmbH te  
Gehrden/Hannover, Gann GmbH te Stuttgart, R. Hildebrand GmbH te Ober-  
boihingen, Lignomat GmbH te Felbach-Oeffingen.

### GERAADPLEEGDE PUBLICATIES:

12. Anderson A.B. 1963: Holztrockenanlage- eine chemische Fabrik. Holzforschung  
u. Verwertung (15) 4 77/79.
13. Anderson A.B. 1966: Solvent drying pays dividend with ponderosa pine. For.  
Prod. J. 15.12 31/35.
14. Beall F.C. and Spoerke G.R. 1973: Degrade of Oak lumber as influenced by  
drying For. Prod. J. N°-11 25/30.
15. Cech M.Y. and Huffmann D.R. 1974: High temperature drying of mixed spruce,  
Jack pine and balsam fir. Canadian For. Serv. Publ. No. 1337.
16. Cobouw, Rubriek Techniek 1974: Conditioneringshal voor hout met capaciteit  
voor 5000 m<sup>3</sup>. Dec.
17. Cooper G.A., Erickson R. and Haygreen J. 1970: The drying behaviour of  
prefrozen black walnut. For. Prod. J. 290 N°-130/35.
18. Cooper G.A. and Barham, S.H. 1972: Prefreezing Effects on three hardwoods.  
For. Prod. J. 22 N°2 Febr. 24/25.
19. Cooper G.A., Barham S.H. 1975: Effect of soaking in Extractives and Prefree-  
zing on the Drying behaviour of Eastern Cottonwood. Wood sci. 7 N° 4  
267/269.
20. Côté W.A. jr. 1964: Cellular ultrastructure of woody plants. Syracuse  
University Press. 371-418.
21. Czepek E. 1965: Aus der Praxis der Hochfrequenzholztrocknung Beil. Holzen-  
tralblatt 63 3/3 65 337/39.



22. Erickson R. Haygreen J., Hossfeld R. 1966: Drying prefozen redwood with limited data on other species. For. Prod. J. 16 N° 8 57/65.
23. Erickson R. Damaree L., Johnston P. and Morton E. 1971: Prefreezing alone and combined with presteaming in the drying of Redwood dimension. For. prod. J. 21 N° 7, july 54/59.
24. Forest Products Research Laboratory 1968: Report of a seminar on dehumidifiers for timber drying.
25. Galezewski J. A. and Eckelman C.A. 1971: Azeotropic distillation drying of wood with Polar and non-Polar solvents. Holzforschung 25.6.177/183.
26. Gefahrt J. 1972: Holztrocknung mit Hochfrequenz. I, II, III. Holz u. Kunststoffverarb. 4 60/63, 518/19, 5 82/88.
27. Gonet B. 1970: Einfluss des Dämpfens auf die Relaxation der Spannungen in Rotbuchenholz. Holztechn. 11/2 120/124.
28. Gonet B. 1973: Der Einfluss des Dämpfens auf die Eigenschaften von Rotbuchenholz. Holztechn. 14/2, 70/72.
29. Hering C. und Eppinger R. 1976: Die Schnittholz kondensationstrocknung. Holz-Zentralblatt nr. 5 12/1, 25/26.
30. Hittmeier M.E., Comstock G.L. and Hann R.A. 1967: Pressdrying nine species of wood. For Prod. J. 18/9 91-96.
31. Houtinstituut TNO: Laming P. B., Rijdsdijk J. F., Verwijs J. C. 1977: Houtsoorten, Informatie voor de praktijk.
32. Huffmann D. R., Pfaff F. and Shah S. M. 1972: Azeotropic drying of Yellow birch and hard maple lumber. For. Prod. J. 22.8 53/56.
33. Kleemans P.A.M. 1967: Onderzoek naar het drogen van bevroren redwood. Houtinstituut TNO Intern H-67-XXIV.
34. Kleemans P.A.M. 1967: Onderzoek naar de relatie vochtgehalte en vorstbeschadiging bij redwood. Houtinstituut TNO intern H-67-XXV.
35. Kozlik C.J. 1967: High-temperature drying of Douglas fir Dimension lumber. Circ. 22 For. Res. Lab. Oregon State University.
36. Kozlik C.J. 1968: Effect of kiln temperatures on Strength of Douglas fir and Western Hemlock Dimension lumber. D-11 For. Res. Lab. Oregon State Univ.
37. Kubinsky E. 1971: Der Einfluss des Dämpfens auf die Holzeigenschaften. Holzforsch. und Verw. 23.1. 1.
38. Kubinsky E and Ifju G. 1974: Influence of steaming on the properties of red Oak II. Changes in shrinkage and related properties. Wood Sci. 7.2 103/110.
39. MacLean J.D. 1953: Effect of steaming on the strength of Wood. AWPA.
40. Malmquist L. und Noack D. 1960: Untersuchungen über die Trocknung empfindlicher Laubhölzer in reinem Heisdampf (ungesättigter Wasserdampf) bei Unterdruck. Holz als Roh. und Werkst. 5 171/180.
41. Noack D. 1965: Kontinuierliche Vakuumtrocknung. Holztrocknung. Holzwirtschaftliches Jahrbuch N° 15. 173/83 DRW-Verlag.
42. Queméré Y. 1976: La régulation des séchoirs à bois par pompe de chaleur. Publ. Centre Technique du Bois. Parijs.
43. Queméré Y. 1976: Caracteristiques des séchoirs à bois par pompe de chaleur, distribués sur le marche Francais Publ. Centre Technique du Bois.
44. Queméré Y. et Aleon D. 1976: Séchage du bois par chambres chaudes. Publ. Centre Technique du Bois.
45. Rijdsdijk J.F. en Prochaska E. 1956: Drogen van 7 mm dik fineer van populieren bij 60°C. Intern rapport.
46. Rijdsdijk J. F. 1957: Drogen van 28 mm dik populieren bij temperaturen van omstreeks 60°C. Intern rapport 14-57-VII.

47. Rijsdijk J.F. 1957: Drogen van beuken, 20-26 mm. Intern rapport H-57-X en XI.
48. Rijsdijk J.F. en Hirs G. H.1964: Het drogen van 42-45 mm dik afzelia. Rapport H-64-123 H.I. TNO.
49. Schmidt J. 1967: Press drying of beech wood. For Prod. J. 17/9 107-113.
50. Schneider A. 1973: Zur konvektionstrocknung von Schnittholz bei extrem hohen Temperaturen. Holz als Roh und Werkst. 30: 382 - 394, 31: 198 - 206.
51. Seth K.K., Anderson A.B. and Wilke C.R. 1965: Solvent drying of California Redwood. For. Prod. J. 7. 297/301.
52. Simpson W.T. 1975: Effect of steaming on the drying rate of several species of wood. Wood Sci. 7.3 247/255.
53. Steinhagen H. P. 1974: Effect of kiln air velocity at various moisture content levels on drying rate of 4/4 yellow poplar sapwood For. Prod. J. 24.4 45/47.
54. Terazawa S. and Hayashi K. 1974, 1977; Studies on cellcollapse of water saturated balsa wood. Journ. Jap. Wood. Res. Soc. 20, 5, 205/209; 23, 1, 25/29.
55. du Toit A. J. 1966: The case for chemical pre-seasoning of S.A. pine. Timber Techn. aug. blz. 9 e.v.
56. Ullevalseter O. 1966: Lumber drying by the dehumidification technique. Norsk Skogindustri.
57. Ullevalseter O. 1966: Lumber drying by condensation with the use of refrigerated dew point. Inst. of Wood Technology 1432 As-NLH.
58. Vaget H. 1961: Kontinuierliches Holzrocknen im Hochfrequenzfeld. Sonderdr. Holz-Zentralblatt 51, 28/4.
59. Villière A. 1973: L'emploi des appareils frigorifiques pour le séchage des bois. Rapport IUFRO V congres.
60. Villière A. 1973: Le dessevage des bois IUFRO V congres.
61. Villière A. 1974: L'emploi des appareils frigorifiques pour le séchage des bois. Bois et For. Trop. N° 155 61/74.
62. West-air: timber drying by dehumidification.
63. Wijnhuizen D. P. 1975: De Concurrent nam enorme conditioneringshal in gebruik. De Timmerfabrikant 2.40/41.