

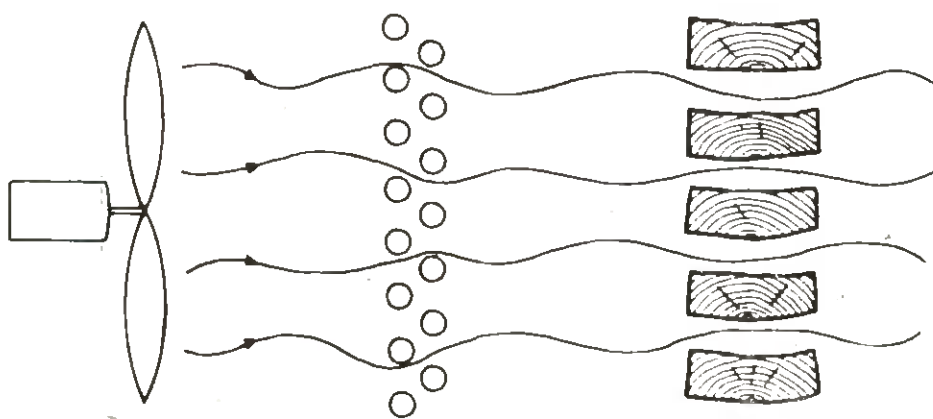
RAPPORT

Björn Esping

Handbok i virkestorkning

Förkortad skolupplaga

TräteknikCentrum, Rapport serie P nr 35



TräteknikCentrum

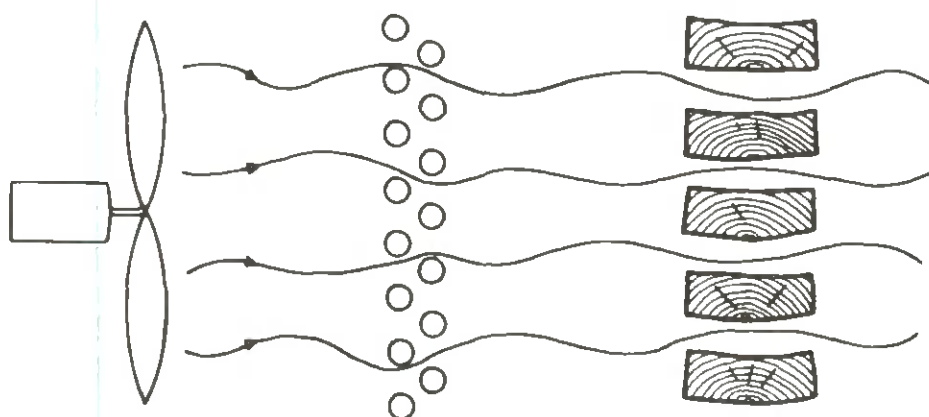
INSTITUTET FÖR TRÄTEKNISK FORSKNING

Björn Esping

Handbok i virkestorkning

Förkortad skolupplaga

TräteknikCentrum, Rapport serie P nr 35



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
FÖRORD	1
0 INLEDNING	
0.1 Historik	3
0.2 Varför torkas virket?	7
0.3 Virkestorkningens förutsättningar	11
1 DET VÄXANDE TRÄDET SETT UR TORKNINGSSYNPUNKT	14
1.1 Träets celluppbyggnad	14
1.1.1 Vår- och höstvedsceller - årsringar	18
1.1.2 Barrvedens celler	19
1.1.3 Lövvedens celler	20
1.1.4 Ringporer	21
1.1.5 Växtvridenhet	22
1.2 Kärna och splint	23
1.2.1 Cellernas förändring	24
1.3 Fuktkvotens variation i stammen	25
1.4 Densitetens variation i stammen. Densitetsdifi- tioner	27
1.5 Hartsens (kådans) variation i stammen	33
2 FUKTIG LUFT	34
2.1 Luftens ånghalt och ångkvot (luftens vatteninnehåll)	34
2.2 Luftens relativa ångkvot	38
2.3 Luftens relativa fuktighet (relativa ångtryck)	38
2.4 Luftfuktighetens förändring med årstiden	40
2.5 Mollierdiagram	42
2.5.1 Entalpitet	43
2.5.2 Relativa luftfuktigheten	44
2.5.3 Daggpunkten	44
2.5.4 Förhållandet di/dx	44
2.5.5 Våta temperaturen	44
2.5.6 Densiteten	46

	<u>Sid</u>
2.5.7 Blandning av två luftflöden	46
2.5.8 Uppvärmning - kylning	46
2.5.9 Fuktning	46
2.5.10 Exempel	47
3 MÄTNING AV LUFTFUKTIGHET	48
3.1 Psykrometern	48
3.2 Härhygrometern	53
4 TRÄETS FUKTKVOT	62
4.1 Jämviktsfuktkvot	62
4.2 Fibermättnadspunkten	64
4.3 Hysteresislingen	66
4.4 Träslagets inverkan på jämviktsfuktkvoten	67
4.5 Bestämning av fuktkvoten i trä genom torrviktsmetoden	68
4.6 Bestämning av fuktkvoten enligt torrviktsmetoden med förhöjd torktemperatur	70
4.7 Fuktkvot - fukthalt - torrhalt	71
4.8 Felkällor vid bestämning av fuktkvoten genom torr- viktsmetoden	75
4.9 Elektrisk fuktkvotsmätning	76
4.9.1 Olika typer av elektriska fuktkvotsmätare	76
4.9.2 Faktorer som påverkar den elektriska fukt- kvotsmätarens noggrannhet	77
4.9.3 Den elektriska fuktkvotsmätarens fördelar	83
4.9.4 Antal mätvärden	84
4.9.5 Den elektriska fuktkvotsmätarens mätområde ...	85
4.10 Bestämning av fuktkvoten för ett virkesparti	85
4.11 Uppskattning av fuktkvotens spridning i ett virkespaket	95
4.12 Fuktkvoten i furuvirke före torkning i virkestork ...	98
4.13 Lämplig fuktkvot i furuvirke efter torkning i virkestork	105
4.13.1 Sågverkstorkning	105
4.13.2 Snickeritorkning	109
4.14 Bestämmelser	110
4.15 Behov av låga fuktkvoter. Leverans av snickeritorrt virke från sågverken	112
5 KRYMPNING OCH SVÄLLNING, ANISOTROPI	117
5.1 Inledning	117
5.2 Krympning i olika huvudriktningar	118
5.3 Längdkrympning i samband med tryckved (tjurved)	121
5.4 Inverkan av virkets densitet på krympningen	121
5.5 Inverkan av vattenlösliga extraktämen på krympningen	122
5.6 Inverkan av kärna och splint	123
5.7 Volymkrympning	124
5.8 Krympningens praktiska betydelse	124
5.9 Krympnings- och svällningstal	126
5.10 Praktiskt räkneexempel	127
5.11 Vid krympningen uppkomna spänningar	128

	<u>Sid</u>
6 VATTNETS RÖRELSE I TRÄET UNDER TORKNINGEN	136
6.1 Drivkrafterna. Torkkraft	136
6.2 Fuktrörelser orsakade av kapillära krafter	137
6.3 Fuktrörelser orsakade av diffusion	138
6.4 Transportleder tillgängliga för fuktens rörelse	138
7 TORKNINGSHASTIGHET - TORKNINGSTID	141
7.1 Torkningsklimatets och lufthastighetens inverkan	141
7.2 Fuktkvotens inverkan	146
7.3 Densitetens inverkan	147
7.4 Virkestjocklekens inverkan	150
7.5 Fiberriktningens inverkan	150
7.6 Kärnans och splintens inverkan	153
7.7 Möglets, blånadens och vattvedens inverkan	154
7.8 Flottningens, vattenlagringens och luftlagringens inverkan	154
7.9 Ett teoretiskt uttryck för torkningstiden	156
8 VIRKETS FÖRBEHANDLING OCH STAPLING	158
8.1 Från skogsavverkning till sågning. Timmerlagring ...	158
8.2 Från sågning till torkning	166
8.3 Virkespaketets uppbyggnad och anpassning till virkestorken	166
8.4 Jämndragna paket - kvastpaket	167
8.5 Virkespaketets ströning	169
8.6 Virkets särning	172
8.7 Dubbelläggning - trippelläggning	172
8.8 Pakethöjd - stapelhöjd	173
9 VIRKESTORKAR OCH TORKNINGSMETODER	175
9.1 Två huvudgrupper, satstorkar - progressiva torkar ...	175
9.2 Satstorkar	176
9.3 Progressiva tvärcirkulationstorkar	186
9.4 Progressiva längdcirkulationstorkar i ett steg	191
9.5 Progressiva längdcirkulationstorkar i flera steg (zoner)	197
9.6 Speciella torkningsmetoder	208
9.6.1 Kondensationstorkning	208
9.6.2 Högfrekvenstorkning	212
9.6.3 Vakuomtorkning	214
9.6.4 Presstorkning	215
9.6.5 Torkning i organiska vätskor	216
9.6.6 Salttorkning	217
9.7 Brädgårdstorkning	218
9.7.1 Val av lagringsplats	222
9.8 Forcerad brädgårdstorkning	224
9.9 Syrfällning	225

	<u>Sid</u>
10 TORKHUSBYGGNADER OCH TORKKOMPONENTER	227
10.1 Torkhusbyggnader	227
10.1.1 Betongkonstruktioner	227
10.1.2 Prefabricerade aluminiumkonstruktioner	232
10.1.3 Torkhusportar	234
10.2 Fläktar och elmotorer	236
10.2.1 Fläktar	236
10.2.2 Elmotorer	248
10.3 Värmebatterier	260
10.4 Värmeledning	271
10.5 Spjäll	271
10.6 Värmeväxlare	273
10.7 Mät- och reglerutrustning	276
10.7.1 Mätutrustning	277
10.7.2 Reglerutrustning - allmänt	284
10.7.3 Grundläggande reglerteori	287
10.7.4 Reglerutrustningar av olika fabrikat	310
10.7.5 Övrig automatik	382
10.8 Manöverrum	382
10.9 Transportanordningar	383
11 ENERGIFÖRBRUKNING	389
11.1 Bark- och oljeeldning	389
11.2 Värmeförbrukning i progressiva längdcirkulations- torkar och satstorkar	401
11.2.1 Bestämning av torkhusets medelvärme, genom- gångskoefficient (k-värdet)	414
11.3 Elförbrukning	415
12 TORKNINGENS UTFÖRANDE	424
12.1 Torkningsprocessen i Mollierdiagrammet	426
12.2 Torkningsscheman och torkningstider	433
12.2.1 Allmänt	433
12.2.2 Torkningsscheman för progressiva längd- cirkulationstorkar	439
12.2.3 Torkningsscheman för satstorkar och progressiva tvärcirkulationstorkar	442
12.2.4 Jämförelse av utländska torkningsscheman ..	459
12.2.5 Torkningstider för furu, björk, bok och ek	468
12.2.6 Torkningsscheman för snickeri/möbelindu- strins satstorkar (scheman för 57 olika träslag)	470
12.3 Basning	482
12.4 Konditionering	483
12.5 Uppföljning av fuktkvoten i torken (torkningsprov)	485
12.6 Paketens insättning	492
12.7 Start av torkanläggning	495

	<u>Sid</u>	
12.8	Torkningsprotokoll, kvalitetsprotokoll, tork- täblåer, satsningstabell	498
12.9	Provning av torkningskvaliteten (sågverkstorkning)	508
12.10	Synpunkter på styrning av satstorken	511
12.11	Synpunkter på luftcirkulationen	513
12.12	De vanligaste mekaniska felen i en virkestork	523
12.13	Felsökning vid felaktig torkningsklimat	527
12.14	Inspektion och underhåll av torken	531
12.15	Torkoperatörens ansvar	539
12.16	Torkoperatörens utrustning	542
12.17	Säkerhetsföreskrifter	545
12.18	Torkningskapacitet	548
	12.18.1 Beräkning av virkesinnehållet per paket v (m ³)	553
	12.18.2 Virkesdimensionens inverkan på torknings- kapaciteten	557
12.19	Takflapsens dimensioner	559
13	FÖRÄNDRINGAR I VIRKET UNDER TORKNINGEN	561
13.1	Slutfuktkvot (utgående fuktkvot)	561
13.2	Torkningssprickor	563
13.3	Formfel	570
13.4	Kvistars förändring under torkning	571
13.5	Kådflytning	572
13.6	Färgfel	573
13.7	Mögel och blånad	575
	13.7.1 Svamparnas uppbyggnad	576
	13.7.2 Svamparnas livsbetingelser	577
	13.7.3 Svamparnas inverkan på träets egenskaper ..	580
	13.7.4 Stockblånad	581
	13.7.5 Brädgårdsblånad	583
	13.7.6 Torkhusblånad (torkhusmögel)	584
	13.7.7 Skeppningsblånad	590
	13.7.8 Inre blånad	591
13.8	Torkningsfelens ekonomiska betydelse	592
14	KÖP AV VIRKESTÖRK	595
14.1	Offertförfrågan	597
14.2	Offerten	599
	14.2.1 Kontroll av torkningskapaciteten	599
	14.2.2 Kontroll av avdunstningskapaciteten	603
	14.2.3 Kontroll av värmeförbrukningen	606
	14.2.4 Kontroll av ventilationskapaciteten	607
	14.2.5 Kontroll av cirkulationsluften	609
	14.2.6 Komponentkontroll	614
	14.2.7 Tekniska garantier	615
14.3	Leveransprov	622
	14.3.1 Avdunstningskapacitet	623
	14.3.2 Torkningskapacitet, funktionsprov	623

	<u>Sid</u>
14.3.3 Torkningskapacitet, kvalitetsprov	624
14.3.4 Värmeförbrukning	625
14.3.5 Elenergiförbrukning	626
14.4 Torkleverantörer	626
Litteraturförteckning	641
Sakregister	650

Teckenförklaringar med enhetsbeteckningar

Storhetsbeteckning	Benämning	Enhetsbeteckning
α (alfa)	= värmeövergångskoefficient	W/(m ² C)
α (alfa)	= svällning	%
β, β (beta)	= krympning	%
β, β (beta)	= intensitetsparameter	-
Δ (delta)	= ett tecken för differens, t ex $i_1 - i_2 = \Delta i$	-
δ (delta)	= halva virkestjockleken	m
φ (fi)	= relativ (luft)fuktighet, relativ ångtryck	(ev. i %)
φ (fi)	= elektrisk fasvinkel	-
ψ (ksi)	= relativ ångkvot	(ev. i %)
ε (epsilon)	= utsignalavvikelse	-
η (äta)	= verkningsgrad	(ev. i %)
μ (my)	= kärnandel	%
ρ, ρ (rå)	= densitet	sek. (även dygn)
τ (tav)	= tid	-
π (pi)	= 3,14	-
A	= area	m ²
a	= fuktdiffusivitet (fuktledningstal)	m ² /s
B	= virkespaketbredd	m
b	= virkesbredd	m och mm
C	= diverse konstanter	-
c	= värmekapacivitet (specifik värme)	J/(kg C)
d	= virkestjocklek	m och mm
d	= diameter	m och mm
F	= ackumulerad fördelningsfunktion	-
f	= fukthalt	(ev. i %)
f	= elektrisk frekvens	Hz
f	= elektrisk förstärkningsfaktor	-
H	= värmevärde	J/m ³ och J/kg
H	= virkespakethöjd	m
I	= elektrisk ström	A
i	= entalpitet (värmeinhåll)	J/kg
L	= längd	m
M	= kraftmoment	Nm och kpm
m	= massa (vikt)	kg
n	= antal (styck)	-
n	= varvfrekvens (varvtal)	1/s (s ⁻¹)
P	= effekt, värmeeffekt	W
P	= sannolikhet	%
p	= produktionsandel	%
p	= tryck	Pa och bar
Q	= värmeenergi	J
q	= volymflöde	m ³ /s
q	= massflöde	kg/s
q	= torkningskapacitet	m ³ /dygn
R	= variationsbredd	-
r	= vattnets ångbildningsentalpitet	J/kg

S	= satsningsintervall	tim.
s	= standardavvikelse ("spridning")	-
t	= temperatur	°C
t	= torrhalt	(ev. i %)
U	= elektrisk spänning	V
u	= fuktkvot	(ev. i %)
V	= volym	m ³
v	= luftens ånghalt	kg/m ³
v	= lufthastighet	m/s
v	= virkesinnehåll per paket	m ³ /pkt
x	= luftens ångkvot (luftens vatteninnehåll)	kg/kg
x ₁	= sammanlagd stapelbredd (i luftriktningen)	m

Prefix och exponenter

Tal- faktor	Prefix		Exempel		
	Benämning	Beteckning			
10 ⁹	giga	G	1 gigawatt	1 GW	1 000 000 000 W
10 ⁶	mega	M	1 megawatt	1 MW	1 000 000 W
10 ³	kilo	k	1 kilometer	1 km	1 000 m
10 ²	hekto	h	1 hektogram	1 hg	100 g
10 ⁻¹	deci	d	1 decimeter	1 dm	0,1 m
10 ⁻²	centi	c	1 centimeter	1 cm	0,01 m
10 ⁻³	milli	m	1 milligram	1 mg	0,001 g
10 ⁻⁶	mikro	μ	1 mikrometer	1 μm	0,000001 m

FÖRORD

Ändamålet med handboken är att ge teoretiska och praktiska kunskaper i trätorkning. Inga förkunskaper i träteknik fordras då boken även behandlar grundläggande begrepp.

SI-måttsystem är helt genomfört i boken. I vissa fall har även det äldre tekniska måttsystemet medtagits.

Träets egenskaper är i hög grad beroende av fuktigheten i träet. En förutsättning för optimalt resultat vid behandling och användning av trä är att träets fukttinnehåll är jämnt fördelat och avpassat efter användningen. Vid torkningen försöker man undvika att det uppstår skador på träet i form av spänningar, sprickor, mögel osv. Samtidigt som torkningskostnaden inte får bli för hög.

För att kunna uppfylla dessa krav vid artificiell torkning av trä fordras att virkestorken är rätt konstruerad och att den fungerar korrekt. Dessutom måste torkoperatören bestämma alla de problem som uppstår i och kring virkestorken, eftersom förutsättningarna vid torkning ständigt varierar.

I denna handbok kommer tonvikten i huvudsak att läggas på sågverkstorkning av gran och furu (torkning från nyavverkat virke till 15-20 % fuktkvot) men även snickeritorkning (torkning från 15-25 % eller nyavverkat till 6-12 %) behandlas.

Torkningsskador vid snickeritorkning är i Sverige av mindre ekonomisk omfattning än torkningsskador vid sågverkstorkning.

Vid sågverkstorkning ligger förlusterna på grund av torkningsskador i genomsnitt i samma storleksordning som själva torkningskostnaden (kapital- och bränslekostnaden), för närvarande ca 17 kronor/m³ torkat trä (1975/1976)! Den totala produktionen i Sverige 1974 var 13,4 milj m³ sågat virke, varav ca 65 % torkades artificiellt.

En av grundorsakerna till dåligt torkningsresultat ligger i bristfälliga kunskaper.

En välutbildad och skicklig torkoperatör kan, vid ett medelstort sågverk, spara in åtskilliga tusenlappar i veckan och samtidigt ge sågverket ett gott anseende då produkten håller en jämn kvalitet.

Viktig text i denna handbok har strukits under. Därvid kan en snabb och relativt god översikt av innehållet erhållas genom att endast läsa rubriker, understrykningar, figur- och tabelltexter.

Mindre viktiga partier eller text av mer indirekt betydelse för virkestorkning, har skrivits med tät stil.

Vissa kapitel innehåller svårare matematiska beräkningar. Läsare som inte har motsvarande matematiska kunskaper kan hoppa över beräkningarna utan att gå miste om det viktigaste i kapitlen.

Till grund för vissa delar i denna handbok ligger arbeten utförda av dr. Lars Malmquist, som även granskat manuskriptet.

Svenska Träforskningsinstitutet
Björn Esping

Träteknologins och träteknikens våldsamma uppsving under de senaste 30-40 åren har även starkt påverkat de vetenskapliga grunderna för träets torkning, anläggningarnas utformning och tillvägagångssättet vid torkningens utförande.

De vetenskapliga grunderna för trätorkningstekniken är knappast äldre än 45 år. Man har hela tiden försökt att matematiskt behandla fuktvandringen under torkningen på så sätt att denna uppdelades i kapillärrörelse och diffusion, var-
efter de olika storheter som inverkar på torkningsresultatet såsom träets densitet och struktur, begynnelse- och slutfuktkvot, torkningsluftens temperatur och relativa fuktighet, träets förbehandling (t ex ångbasning) och lufthastigheten analyserats. Resultatet av dessa forskningar utnyttjades mest till att uppställa empiriska formler (erfarenhetsformler) och inte direkta matematiska/fysikaliska formler som virkestorkarna kunde köras efter. De empiriska formlerna är från fall till fall användbara med större eller mindre framgång.

Hittillsvarande grundprinciper för utprovning av ett torkningsschema är inte optimala.

Att omständigheterna är sådana beror inte på att forskningen inom torkningstekniken är speciellt eftersatt. De oerhört många faktorer som inverkar på torkningsförloppet försvårar däremot i allra högsta grad både utprovningen av ett optimalt torkningsschema och den praktiska körningen efter ett känt torkningsschema. Det praktiska resultatet av de olika faktorernas inverkan kan ofta få underliga effekter, såsom t ex att vid ett och samma sågverk med två olika virkestorkfabrikat dessa ibland måste köras efter olika torkningsscheman trots att det i torken ingående virket är likartat.

Tork - operatören får fortfarande ofta med hjälp av sina

kunskaper och sitt omdöme själv prova fram ett optimalt torkningsschema med ledning av torktillverkarens rekommendationer.

Träteknologins och träteknikens våldsamma uppsving under de senaste 30-40 åren har även starkt påverkat de vetenskapliga grunderna för träets torkning, anläggningarnas utformning och tillvägagångssättet vid torkningens utförande.

De vetenskapliga grunderna för trätorkningstekniken är knappast äldre än 45 år. Man har hela tiden försökt att matematiskt behandla fuktvandringen under torkningen på så sätt att denna uppdelades i kapillärrörelse och diffusion, var- efter de olika storheter som inverkar på torkningsresultatet såsom träets densitet och struktur, begynnelse- och slut- fuktkvot, torkningsluftens temperatur och relativa fuktig- het, träets förbehandling (t ex ångbasning) och lufthastig- heten analyserats. Resultatet av dessa forskningar utnytt- jades mest till att uppställa empiriska formler (erfaren- hetsformler) och inte direkta matematiska/fysikaliska form- ler som virkestorkarna kunde köras efter. De empiriska formlerna är från fall till fall användbara med större eller mindre framgång.

Hittillsvarande grundprinciper för utprovning av ett tork- ningsschema är inte optimala.

Att omständigheterna är sådana beror inte på att forsk- ningen inom torkningstekniken är speciellt eftersatt. De oerhört många faktorer som inverkar på torkningsförloppet försvårar däremot i allra högsta grad både utprovningen av ett optimalt torkningsschema och den praktiska körningen efter ett känt torkningsschema. Det praktiska resultatet av de olika faktorernas inverkan kan ofta få underliga effekter, såsom t ex att vid ett och samma sågverk med två olika virkestorkfabrikat dessa ibland måste köras efter olika torkningsscheman trots att det i torken in- gående virket är likartat.

Tork - operatören får fortfarande ofta med hjälp av sina

kunskaper och sitt omdöme själv prova fram ett optimalt torkningsschema med ledning av torktillverkarens rekommendationer.

0.2 Varför torkas virket?

En modern virkestork, som är rätt konstruerad och effektivt skött, kan under loppet av några dagar eller veckor förvandla rått virke till en torr och stabil vara, som effektivt kan konkurrera på ett flertal marknader. Kraven på att virket skall torkas utan synliga fel blir allt större. Samtidigt sätter man snävare bestämmelser för fuktkvotsvariationer inom och mellan olika enheter av virkespartiet. I och med att kraven på virkets torrhet har växt, har allt fler torkar installerats inom sågverks-, möbel- och snickeriindustrierna. För de flesta träindustrier är i dag torken ett oundgängligt steg i förädlingsprocessen.

En rätt utförd torkning innebär många fördelar för såväl tillverkare som konsument. Bland de många fördelar som uppnås genom att man avlägsnar en stor del av vattnet i det nysågade virket kan följande nämnas:

- 1) Nysågat virke är tungt. Torkningen underlättar hanteringen och håller nere fraktkostnaderna för bil och järnvägstransporter. Detta gäller främst den inhemska virkeskonsumtionen, där biltransporter blir allt vanligare.
- 2) Nysågat virke måste torkas för att minska krympning i den färdiga produkten, där större ekonomiska värden kan äventyras.
- 3) Nysågat virke måste torkas för att minska missfärgningar och mögelskador under lagringen eller i slutprodukten.
- 4) Nysågat virke måste torkas för att effektivt kunna behandlas med skyddsimpregnering mot röta och insekter.
- 5) Nysågat virke måste torkas för att minska riskerna för att en eventuell ytbehandling inte fäster. Målas virke som har en alltför hög fuktkvot, uppstår det lätt blåsor

i färgskiktet under ett senare skede.

- 6) Nysågat virke måste torkas för att förbättra hållfasthetsegenskaperna. Denna förbättring börjar först då virket torkas under fibermättnadspunkten (ca 30 %). Genom att torka virket från fibermättnadspunkten till en fuktkvot av ca 15 % uppnår man en 50-procentig förbättring av virkets drag-, böj- och tryckhållfastheter. Vid torkning av grova dimensioner bör man dock observera att eventuella torkningsfel (t ex sprickor) kan motverka de förbättrade styrkeegenskaperna hos materialet.

Dessutom resulterar en minskad fuktkvot inte i likartade förbättringar av hållfasthetsegenskaperna. Medan böjhållfastheten ökar betydligt, är inte virkets styvhet lika beroende av fuktkvoten. Även slaghållfastheten minskar med minskad fuktkvot.

- 7) Bearbetningen underlättas om virket har en fuktkvot mellan 6 och 12 %. Vid flertalet arbetsmoment påverkas resultatet inte bara av fuktkvoten utan även av maskintypen och det sätt på vilket arbetet utförs. Dessa faktorer har många gånger en större betydelse än virkets fuktkvot.
- 8) Virkets elektriska motståndsförmåga ökar med en minskning av fuktkvoten under fibermättnadspunkten.
- 9) Virkets värmeisolerande förmåga ökar allteftersom fuktkvoten minskar.
- 10) Riskerna för blånad och svampangrepp minskar betydligt då virkets fuktkvot understiger 20-25 %.

Genom att låta virket torka under kontrollerbara förhållanden i en virkestork kan man vinna ytterligare fördelar över den tidigare vanligaste torkningsmetoden, nämligen brädgårdstorkningen.

- 11) Genom att torka virket i ett torkhus kan man således uppnå betydligt lägre fuktkvoter än vad som kan erhållas med brädgårdstorkning.
- 12) En förkortad torkningstid ökar möjligheterna att utnyttja snabba växlingar på marknaden.
- 13) Sortiment som normalt inte sågas kan tillverkas, torkas och levereras inom loppet av någon eller några veckor.
- 14) Genom att ta i anspråk torkhus i stället för brädgårdar reduceras den för torkning och lagring av virke nödvändiga markytan.
- 15) Genom att man snabbt kan skaffa fram torra varor kan lagervolymer hållas nere. Detta återverkar i sin tur positivt på kapitalbehov, riskkostnader och brandförsäkringsavgifter.
- 16) Tack vare torkhusen kan man uppnå en jämnare skeppningsvolym året runt. För vissa sågverk är torkar outhärliga, då man med hjälp av torkarna kan förlänga utlastningssäsongen betydligt.
- 17) I jämförelse med brädgårdstorkning är torkhusen betydligt mindre personalkrävande.
- 18) Dessutom uppnås den fördelen att personalen kan beredas en jämnare sysselsättning året runt. Brädgårdspersonalen behöver inte under vintermånaderna beredas sysselsättning inom andra produktionsenheter, varigenom en eventuell skiftgång undviks.
- 19) Med torkhustorkning kan angenämare och mindre riskfyllda arbetsförhållanden uppnås.
- 20) Förekomsten av vissa torkskador, t ex vädergrånad, kan helt eller delvis motverkas.
- 21) En väl genomförd torkhustorkning bör resultera i en minskad fuktkvotsskillnad mellan yttre och inre delar av virkets tvärsektion samt en mindre spridning av

fuktkvoten mellan olika virkesenheter.

- 22) En minskad fuktkvotsspridning betyder också minskade variationer i tjocklek och bredd mellan olika virkesbitar då dessa i ett senare skede antagit en gemensam fuktkvot.
- 23) Virkets fuktkvot är en kritisk faktor vid tillverkning av starka och varaktiga limfogar. Den optimala fuktkvoten vid limningstillfället varierar med limtypen ifråga. Som regel ligger dock den optimala fuktkvoten mellan 8-18 %. Fuktkvotsskillnaden mellan två virkestycken som skall sammanlimmas bör inte heller överstiga 5 %. I detta sammanhang bör man komma ihåg att en limningsoperation lämpligen bör utföras då virket har en fuktkvot jämförbar med vad produkten normalt kommer att utsättas för.
- 24) Genom torkning i torkhus kan man många gånger uppnå önskvärda färgförändringar hos den torkade varan (lövträ).

Av ovanstående punkter bör det klart framgå att torkningen håller en av nyckelpositionerna vid tillverkning av virke och utnyttjandet av vår skogliga timmerråvara. En gediget genomförd torkning bidrar till att försäkra oss om en fortsatt marknad för våra produkter genom att öka deras användbarhet och på så sätt tillfredsställa våra kunder. Vältorkat virke resulterar dessutom i mindre spill vid den fortsatta bearbetningen samt längre funktionstid. Härigenom konserveras våra skogliga tillgångar samtidigt som produktens användbarhet och omloppstid ökar.

En modern virkestorcks samtliga fördelar kan emellertid endast utnyttjas vid de anläggningar där såväl arbetsledningen som personalen vid torken inser vikten av sambandet mellan en effektiv torkning och virkets kvalitet. Torkpersonalen måste vara väl utbildad och stimulerad till att tillämpa bästa tänkbara torkningsteknik. Kvantitet ska inte erhållas på bekostnad av kvalitet.

0.3. Virkestorkningens förutsättningar

För sågverks- och snickeriindustrin är virkestorkning en fråga som ofta vållar problem, vilka kan ha en väsentlig ekonomisk räckvidd. Anledningen härtill är kanske främst att söka i vedråvarans starkt inhomogena torkningsegenskaper, som i hög grad begränsar såväl möjligheterna att systematiskt utprova de bästa torkningsbetingelserna som möjligheterna att styra dessa på ett ändamålsenligt sätt i en virkestork.

I länder med stor skogsavverkning eller med en betydelsefull träbearbetande industri är torkningen av virke en fråga av väsentlig ekonomisk vikt. Av flera skäl sker torkningen i allt större utsträckning i energiförbrukande anläggningar. Eftersom virkesfukten inte kan bortskaffas mekaniskt i nämnvärd omfattning utan endast genom förångning av vattnet är den energiekonomiska aspekten på torkningen av mycket stor vikt.

Trä och vatten står i en ständig växelverkan med varandra, som i de växande träden är av såväl biologisk som fysikalisk och kemisk natur. Torkningen innebär ett jämförelsevis radikalt ingrepp i det naturliga trämaterialiet. En oförsiktig torkning leder därför lätt till att värdefulla tekniska egenskaper hos virket förstörs. Torkningstekniken måste ta hänsyn till detta förhållande och anpassas till trämaterialiet på ett sådant sätt att den negativa ekonomiska konsekvensen av uppkomna torkningsskador eller fuktkvotsfel inte blir större än vad som kan accepteras. Detta är ett tekniskt svårt krav, som innebär dels att torkluften måste regleras på ett med hänsyn till torkningsskadorna ändamålsenligt sätt, dels att torkanläggningen måste utformas så att torkluftens egenskaper blir homogena i anläggningen.

Man kan skilja mellan två huvudgrupper av torkanläggningar.

Den ena gruppen avser torkning av relativt stora kvantiteter barrträ - huvudsakligen furu och gran - från rått tillstånd till en fuktkvot av ca 15-20 %. Denna torkning sker i sågverk i direkt anslutning till sågningen. Den andra gruppen avser torkning antingen från rått tillstånd eller från brädgårdstorkat tillstånd av ett flertal olika träslag till en fuktkvot mellan 6 och 12 %. Denna torkning sker i träbearbetande industrier för tillverkning av fönster, dörrar, golv, möbler etc. I bägge typerna av industrier - sågverk och träbearbetande industrier - ingår torkanläggningen som ett led i produktionskedjan och dess konstruktiva utformning ska vara sådan att den passar in i processen i varje särskilt fall.

Produktionens storlek i ett sågverk är vid de små verken några få tusental m³ per år och vid de största av storleksordningen en milj m³ per år. Den undre gränsen, för vilken den sk progressiva längdcirkulationstorken är aktuell, ligger vid ca 20-25.000 m³/år. Vid mindre produktion är satstorken det enda alternativet.

Modern produktion karakteriseras i allt högre grad av automatiken i driften. Virkestorkningen har sedan länge ansetts svår att anpassa till denna utveckling, dels för att man anser att ett bra torkningsresultat nödvändiggör mänskliga bedömningar och ingripanden, dels för att råvarans inhomogenitet väsentligt försvårar en mätning av dess tillstånd under torkningen, vilken kan ligga till grund för styrningen av luftens tillstånd. I den mån kravet på automation kan realiseras, kommer dock de ekonomiska förutsättningarna för en rationell träindustri att väsentligt förbättras.

Den industriella torkanläggningen bör vara så utformad att största möjliga hänsyn tas till

- energiekonomin
- torkningskvaliteten
- torkningskapaciteten
- övriga led i industriprocessen
- automationen
- anläggningskostnaden
- livslängden

Träindustrin är en relativt kapitalsvag industri och en nämnvärd ökning av anläggningskostnaden till förmån för tekniska förbättringar är i de flesta fall inte genomförbar. Teknisk förbättring måste därför också innebära ökad förenkling.

- 1 DET VÄXANDE TRÄDET SETT UR TORKNINGSSYNPUNKT
(Vissa delar hämtade ur "Trä, dess byggnad och felaktigheter", Bertil Thunell)

Till olika träslag används olika torkningsscheman, eftersom träslagen påverkas olika av värme och fukt under torkningsprocessen. Även inom ett och samma träslag varierar träets egenskaper. Efter uppsågning av träet i olika virkesdimensioner erhålls en viss systematisk uppdelning av dessa egenskaper (ju klenare virke desto mer splint och desto högre densitet osv).

1.1. Träets celluppbyggnad

Kemiskt sett är veden uppbyggd av cellulosa, träpolyoser, lignin och ev hartser, garvämmen mm (extraktivämmen).

Cellulosan och träpolyosen (med ett gemensamt namn holocellulosa) är vedens skelett som utan att vara inbäddat i lignin enbart kan uppta dragspänningar.

Ligninet binder ihop holocellulosan så att skelettet även kan uppta tryckspänningar.

De i veden ingående ämnenas fördelning visas i figur 1.

Denna uppbyggnad av veden gör att de flesta träslag motstår dubbelt så hög dragbelastning som tryckbelastning längs fibrerna (längs trädstammen).

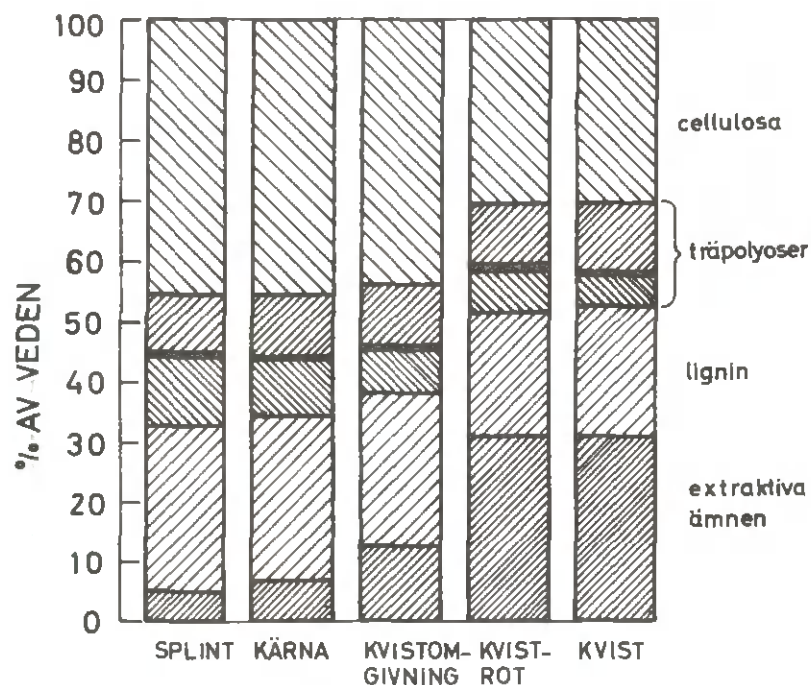


Fig. 1 Sammansättning hos veden av olika delar av furor (enligt Jayme och Blischnok).

Trä är uppbyggt av 0,02-6 mm långa och 0,001 - 0,4 mm tjocka rörformiga celler (E), som i det levande trädet har tre uppgifter; att bära upp trädet, att leda vatten och deltaga i ämnesomsättningen. Cellerna har därför oftast något olika utseende och form. Med fibrer menas långsträckta celler. Cellerna som hålls fast vid varandra av ett klibbskikt (huvudsakligen lignin) är i sin tur uppbyggda av fibriller (C), bestående av ytterst små element, s k miceller (B), se nedan.

Fig. 2 Från cellulosamolekyl till fyraårig furustam

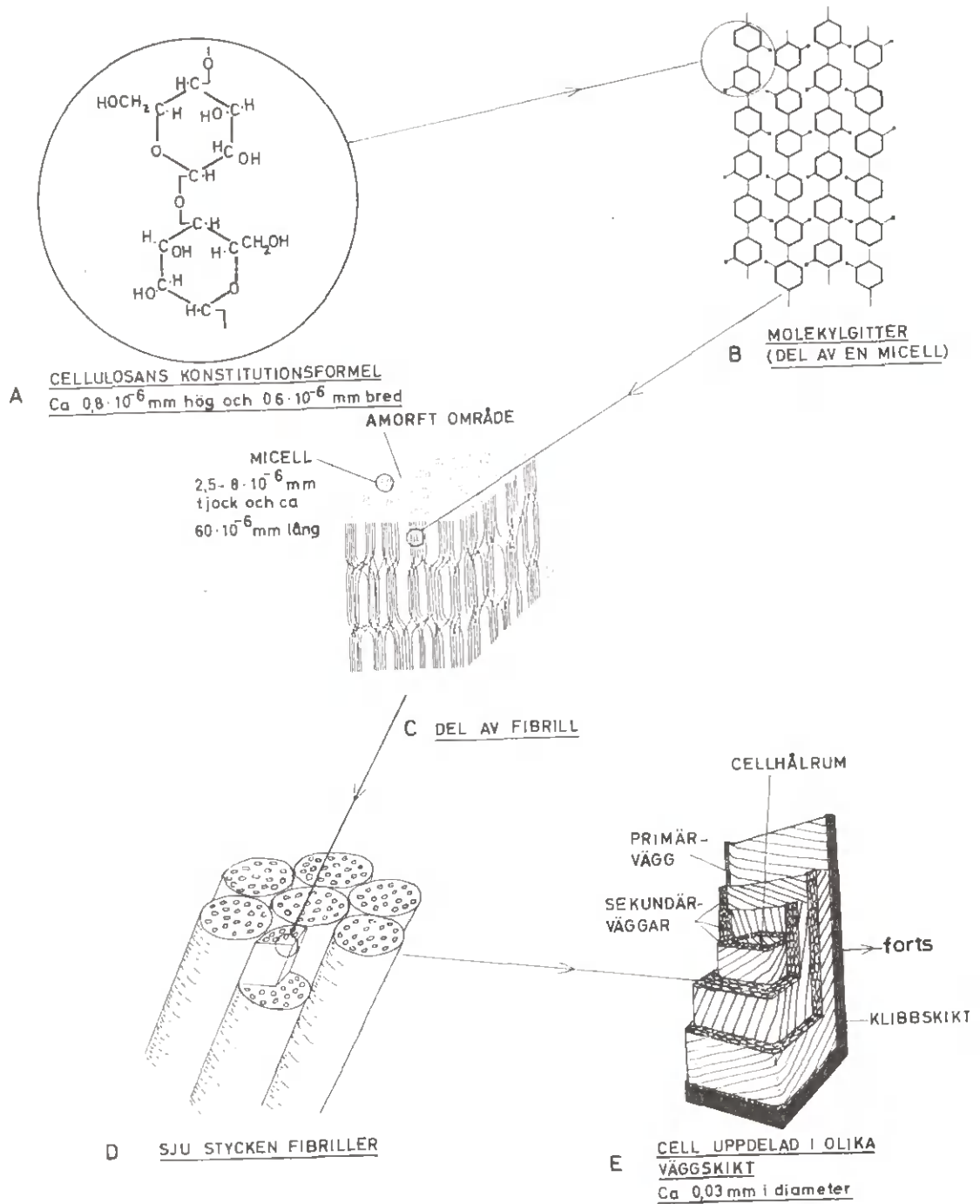
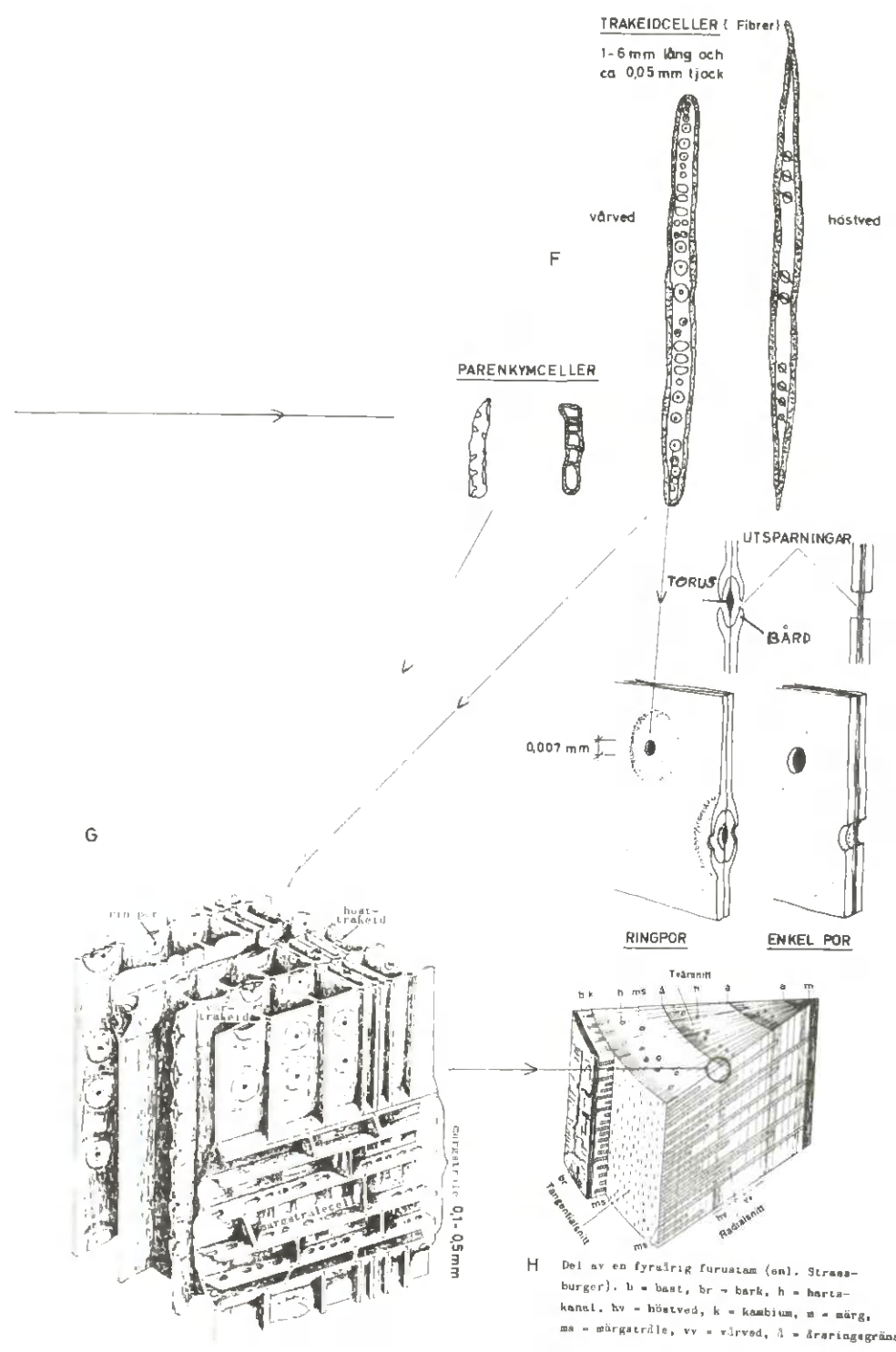


Fig. 2 (forts)



1.1.1 Vår- och höstvedsceller - årsringar

Då man betraktar en trädstams uppbyggnad ser man hur stammen i mitten genomlöps av märgen, som upptill slutar i trädknoppen. Märgen omges av veden som utgör huvuddelen av stammens del. Veden övergår utåt i kambiet - ett tunt lager levande celler - som ombesörjer tjocklekstillväxten (nybildning av vedceller inåt och bastceller utåt). Till kambiet gränsar bastlagret, som i sin tur övergår i barken. På tvärsnittsytor kan man med blotta ögat konstatera att veden består av ringformade, koncentriskt ordnade höljen, s k årsringar. Dessa höljen är trädde på varandra liksom strutar eller hattar och uppstår genom förändringar i trädets klimatiska livsbetingelser under ett år, fig. 3.

Som nämnts nybildas cellerna i kambiet. Efter vintervilan börjar cellbildningen under våren för att åter avstanna mot slutet av sommaren. En hel årsring utgörs - mest framträdande hos barrträden - av ett inre ljusare parti som bildas under våren och försommaren och därför kallas vårved samt av en mörkare del som huvudsakligen bildas under sommaren och som vanligen kallas höstved, ofta också - och riktigare - sommarved.

Vårveden består av tunnväggiga, vida celler och är lätt och porös; höstveden utgörs av tjockväggiga celler med mindre hålrum och är fastare och tyngre. Hos de flesta träd ombesörjer vårvedscellerna den huvudsakliga vätsketransporten i veden, medan höstveden upptar huvudparten av de mekaniska påkänningarna. Årsringarnas tjocklek varierar beroende på träart, klimat, jordmån och andra mera föränderliga faktorer som påverkar trädets växt (vind, ljus, trädkronans form osv).

Sammanbindningen mellan de olika årsringarna är mycket stark. I vissa fall, t ex då undertryckta träd plötsligt

friställs och tillväxten språngvis förändras, blir egenskaperna hos den tättringade och den frodvuxna virkesdelen så skilda att årsringslagren lätt skiljer sig från varandra genom en s k ringspricka.

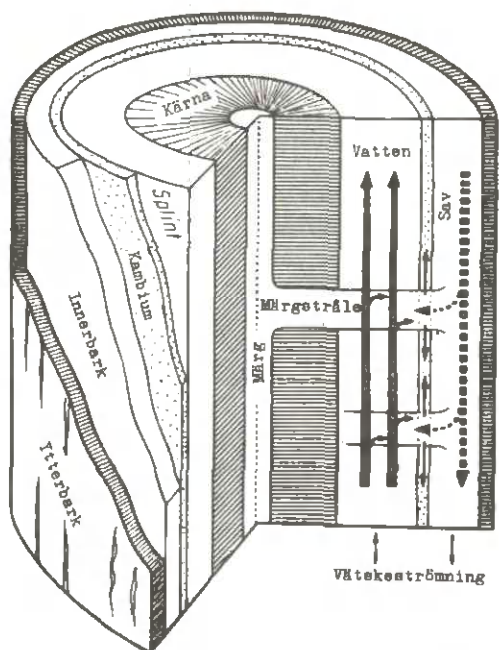


Fig. 3a Längdsnitt genom en trädstam

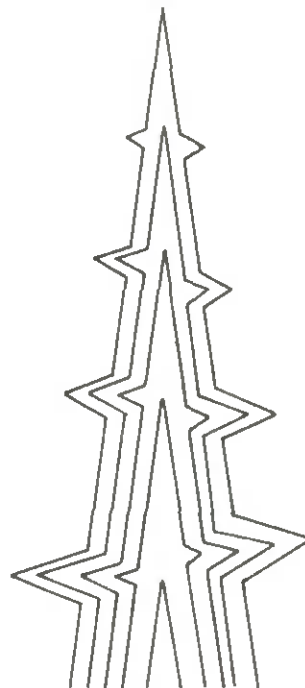


Fig. 3b Schematisk återgivning av stammens och dess grenars uppbyggnad

1.1.2 Barrvedens celler

Barrveden består till övervägande delen (ca 90 %) av långsträckta celler (fibrer), s k trakeider. Dessa är till formen långsmala, förhållandet mellan längd och tvärmått varierar från 25 till 300 och är normalt ungefär 100. Hos värveden är de tunnväggiga och har talrika porer, ca 200, hos höstveden är de tjockväggiga med ungefär 10-50 porer. Dessutom är porerna ofta inte ringformiga utan mer eller mindre spaltformiga. I allmänhet är porerna utbildade på de radiella ytorna och betjänar den tangentiella vätske-transporten, medan den radiella ombesörjes av mägstrålar. Hos vissa barrträd, där mägstrålar inte kan fylla denna funktion, finns emellertid ringporer även på de tangentiell-

la väggarna (se nedan). Cellinnehållet i trakeiderna utgörs, bortsett från eventuella plasmarester, endast av vatten och luft.

Parenkymcellerna är kortare än trakeiderna och har tunna väggar. I trädens levande del uppfylls dessa celler av levande plasma och tjänstgör vid ämnesomsättningen som upplagsplatser för näringsämnen. Parenkymcellerna återfinns framför allt i märgstrålarna, i mindre omfattning även som längsgående cellrader i stammen. I träd med hartsgångar är dessa invändigt klädda med s k epithelceller och ofta omgivna av en del parenkymceller. Även märgen utgörs av parenkymatiska celler. Märgstrålarnas parenkymceller är ordnade i vertikala rader ovanför varandra till långa smala rör. De är rikligt försedda med porer, genom vilka utbytet av växtsafter med de omgivande cellerna kan ske, så att märgstrålarna bildar radiella transportvägar.

Hos vissa barrträd finns kanaler som är fyllda med harts eller kåda, s k hartsgångar. Dessa kanaler är hos granen övervägande horisontella, hos tallen övervägande vertikala. Hartsgångarnas diameter är ca 0,1 mm (ca 3 gånger celldiametern). Kanalerna omges som ovan nämnts av epithelceller och det är dessa som avsöndrar kådan. Medan denna står under tryck i kanalerna, flyter den ut vid sårbildningar och bildar ett skyddsskikt.

1.1.3 Lövvedens celler

Lövträdens ved är i princip uppbyggd på samma sätt som barrträdens. Utmärkande för lövträden är dock ett större antal olika celltyper och en mera skiftande anordning av cellerna samt de långsträckta, rörformade vattenledningsbanorna - de s k kärlden eller trakéerna. Kärlden uppstår genom att cellväggen helt eller delvis upplöses vid kortänden av över varandra ordnade celler och de kan vara så stora att blotta ögat

förmår upptäcka dem, vilket är fallet t ex hos ek. Om det förekommer kärll med stor diameter, mera koncentrerat i vårveden vid årsringsgränsen, kallas träslaget för ringporigt, t ex ek (får ej förväxlas med ringporer enl. 1.1.4 som är en annan strukturdetalj i träet). Är dessa kärll däremot mer jämnt fördelade ("utströdda") över hela årsringstjockleken talar man om ett ströporigt träslag. Till de sistnämnda räknas bl a björk och bok. Fibrerna hos lövträd är betydligt kortare än hos barrträd.

1.1.4 Ringporer

För att de olika funktionerna ska kunna fullgöras fordras dels att vävnadens olika element är fast förenade med varandra, dels att skilda vätskekanaler kommunicerar i erforderlig omfattning. Då cellväggen i sig själv är relativt ogenomtränglig för vatten, har på visst sätt konstruerade öppningar, porer, utbildats i cellväggarna. Därvid är utsparningar (figur 2F) anordnade mitt för varandra i angränsande cellers sekundärväggar (figur 2E). I vedens trakeider finns en typ av porer som kallas ringporer. Den dubbelsidiga ringporen (figur 4) utgörs således av två angränsande trakeider eller kärll. Sekundärväggarna vid dessa porer är uppbrutna och kallas bårder. Primärväggen (figur 2E) förblir hel men är genomtränglig för växtsafterna (= vatten, näringsämnen m m), som på så vis kan passera från cell till cell. En förtjockning, torus, i primärväggen fungerar troligen som någon slags tryckregulator. Växer trycket på ena sidan av väggen pressas nämligen förtjockningen mot cellväggens öppning och cirkulationen förhindras. Utrymmet mellan bård och torus kallas förgård. Vid torkning samt vid kärnbildning sker en förklibbning av torus mot bården (aspiration). Därvid minskar möjligheten eller ibland till och med omöjliggörs vattenupptagning och impregnering. I t ex furu förhindras aspirationen genom värtbildningar som finns mellan bård och torus. Även styvheten i pormembranet

inverkar på aspirationen. Ringporer med förgårdar på båda sidor leder alltid från en trakeid till en annan eller från kärl till kärl. Enkelsidig ringpor (en förgård) leder från parenkymcell till trakeid eller kärl. Enkla porer (figur 2F) som är utan förgårdar, leder mellan två parenkymceller.

Inträder stark förtjockning av cellväggarna, t ex hos höstvedens trakeider, blir porerna små och sammantrycks till spalter eller springor.

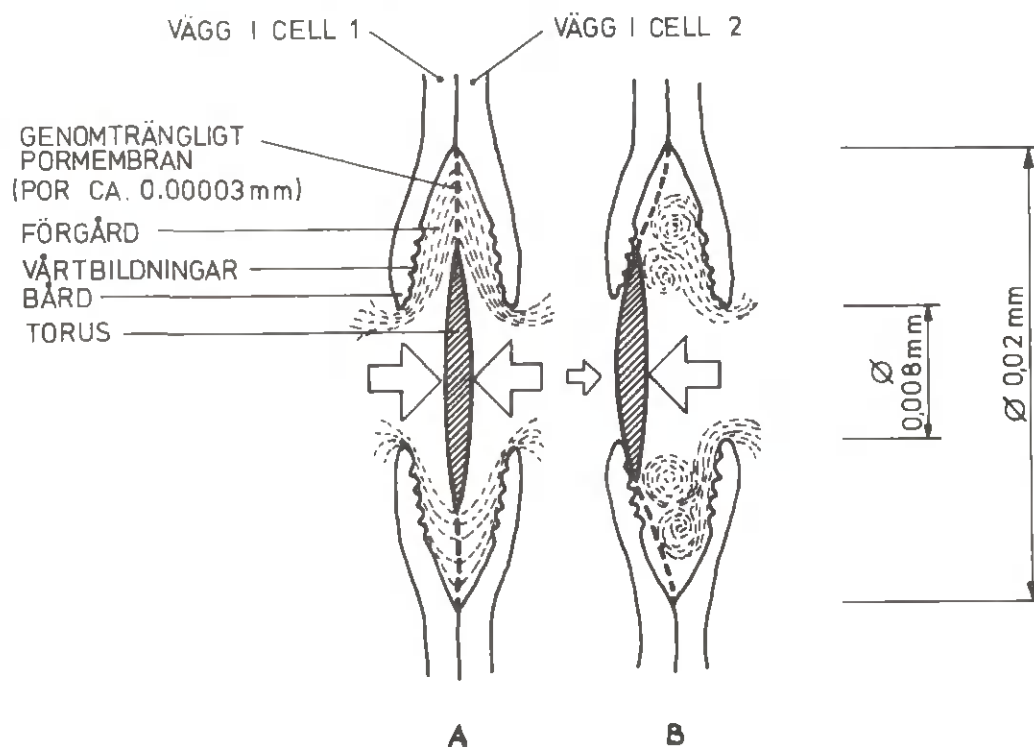


Fig. 4 A) Vattentransport (tunna streckade linjer) i öppen dubbelsidig ringpor (furu/gran)
B) Vattentransport förhindrad i stängd por

1.1.5 Växtvridenhet

Hos alla träd är det övervägande antalet celler orienterade i stammens längdriktning. Vid tillväxten sträcker sig cellerna i sin längdriktning och kilar in sig mellan angränsande celler. Cellspetsarna är något sneda och rörelsen förorsakar därför en sidoförskjutning, varigenom en mindre avvikelse från trädets längdriktning uppstår. En mer utpräglad avvikelse av annan karaktär är den som kallas växtvridenhet - ett specialfall av s k snedfibrighet. Kvistar

och stammen avsmalnande uppåt förorsakar också snedfibrighet. Den ideala stammen är rak och cylindrisk. Alla avvikelser härifrån måste leda till en viss snedfibrighet, som för övrigt lätt resulterar i att det uppsågade virket skevar vid torkningen. Sett mot en brädände så vrider den sig i allmänhet åt höger under torkningsförloppet.

1.2 Kärna och splint

När trädet har nått en bestämd ålder undergår dess inre ofta en förändring. Hos tall, gran och vissa andra träd avstängs cellerna i de inre årsringarna från vattenledningsfunktionen (efter ca 30 års ålder). Cellernas porer täpps till och vissa s k kärnämnen bildas. Denna inre del, som hos tall får en mörkröd färg när den kommer i beröring med luft, kallas kärna, de yttre vedpartierna kallas splintved (ytved). Gran uppvisar ingen färgskillnad mellan kärnved och splintved. Hos både tall och gran innehåller kärnveden betydligt mindre vatten än splintveden.

Kärnveden har i hållfasthetshänseende samma egenskaper som splintveden. Svällningen och krympningen är ungefär densamma som för splintved men i allmänhet upptar och avger kärnveden fuktighet långsammare än splintveden, varför den rör sig mindre vid normala fuktighetsvariationer, t ex på grund av årstidsväxlingarna. Särskilt gäller detta kådrika trädslag.

Utöver den normala kärnbildningen kan s k falsk kärna bildas hos vissa träd, t ex bok, till följd av yttre inflytanden, bl a genom frost.

Granen har i allmänhet större kärna (i medeltal ca 50 % kärna i sågtimmer) än tallen (ca 40 % kärna). Stor kärnvedsandel förekommer även hos lärk och ek. Hos mogna barrträd är kärnan i regel mindre utbildad i stubbhöjd än längre upp i stammen och avtar sedan åter mot toppen. Vissa

träd saknar kärna t ex bok, al, asp, björk och i vissa fall ädelgran.

Man har uppmätt kärnbildningar hos dalatimmer och däröver upprättat kurvorna i figur 5.

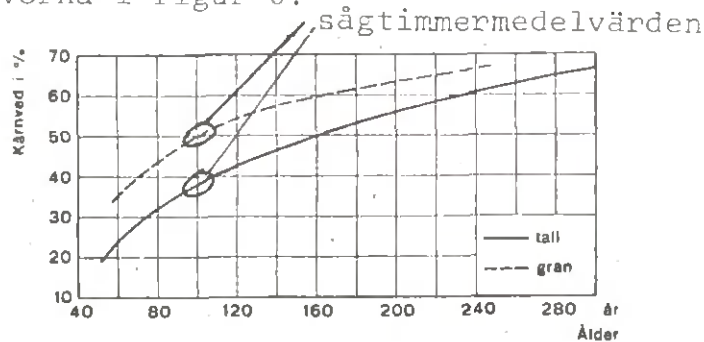


Fig. 5 Kärnbildningen hos dalatimmer enligt mätningar av Eneroth

1.2.1 Cellernas förändring

Med kärnbildningen inträder en anatomisk skillnad i vävnaderna. Hos barrträden pressas mellanväggens förtjockning, torus, mot ringporernas öppningar och härigenom nedbringas cirkulationen. Genom avsöndrade ämnen, hartser o dyl klibbas förtjockningen fast vid cellväggen och för med sig att genomströmningsmotståndet för vatten kan stiga i storleksordningen 100 gånger. Detta förklarar omöjligheten att impregnera kärnved hos många träslag.

Vid kärnbildningen hos ringporiga lövträd (se 1.1.3) fylls kärnen helt eller delvis av s k tyllceller (gäller ej ströporiga lövträd), vilka uppstår genom utväxt av de omgivande parenkymatiska cellerna. Det är primärväggen i parenkymcellerna som träder i funktion och vid ringporernas öppningar växer in i kärnen och fyller dessa. Kärnen sluts härigenom och de tidigare vätskebanorna genom ringporerna (se 1.1.4) förlorar sin funktion. Härutöver sker en mer eller mindre fullständig impregnering med gummiliknande safter och garvännen. Vid kärnbildningen igenproppas även porerna genom bildningen av tyllceller.

1.3 Fuktkvotens variation i stammen

Definition:

Fuktkvoten u anger vattenmängden i förhållande till virkets torra vikt

$$u = \frac{\text{vikt vid fuktkvoten } u - \text{vikt i torrt tillstånd}}{\text{vikt i torrt tillstånd}}$$

Om man vill uttrycka fuktkvoten i procent, multipliceras ovanstående bråk med 100.

Vätskan i veden består dels av bundet vatten, dels av cirkulerande vätska, saft. Saftens sammansättning varierar något med årstiden. Även vätskehalten i splinten förändras periodvis med årstiden, 10-15 fuktkvotsprocent för furu och 15-25 fuktkvotsprocent för björk, se fig 6 a. Detta beror på att splintens vätskeinhåll tjänar som en regulator såväl gentemot trädets egna behov som mot tillgången på fukt i marken. Högst är fuktigheten under vintern för att bli lägre under vegetationsperioden. För barken är förhållandet ofta omvänt. Under svåra torktider kan fuktigheten i de yttre delarna av splinten gå ned så lågt att blåadssvampar kan utvecklas t ex i samband med skador på stammen, där barkens skydd blir ofullständigt.

Under sträng kyla omsätts stärkelse till socker som en skyddsåtgärd, då sönderfrysning härigenom motverkas.

Förutom årstidernas fuktkvotsförändring i splinten, varierar även fuktkvoten successivt i splinten längs stammen, fig. 6 b, och successivt i splintens radiella riktning (max fuktkvot vid bark/splintgränsen, min fuktkvot vid kärn/splintgränsen), fig. 6 c. Kärnans fuktkvot varierar obetydligt under årstiderna, längs stammen och i stammens radiella riktning. Nyavverkade rotstockar av furusågtimmer med toppdiametern 20 cm, har i allmänhet medelfuktkvoten 33 % i kärnan och 120 % i splinten.

Med kännedom av kärnandelen (u_k) i uppsågade rotstockar, kan medelfuktkvoten u i virkets tvärsnitt beräknas enligt

$$u = 33 u_k + 120 (1 - u_k) \quad \text{uttryckt i \%}$$

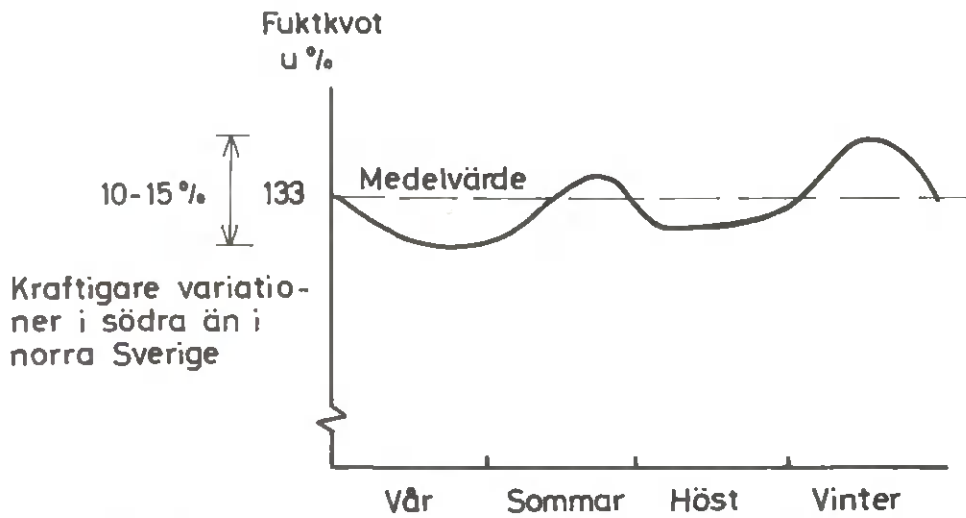


Fig. 6a Medelfuktkvotens variation med årstiden (furusplint)

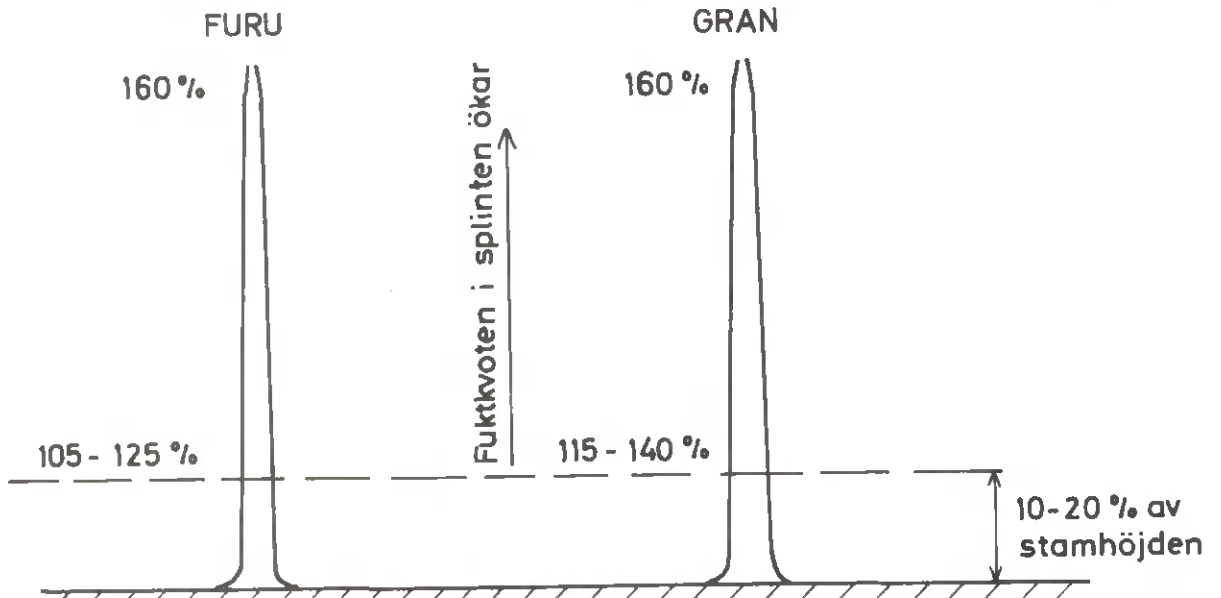


Fig. 6b Ett exempel på hur medelfuktkvoten i splinten varierar med stamhöjden

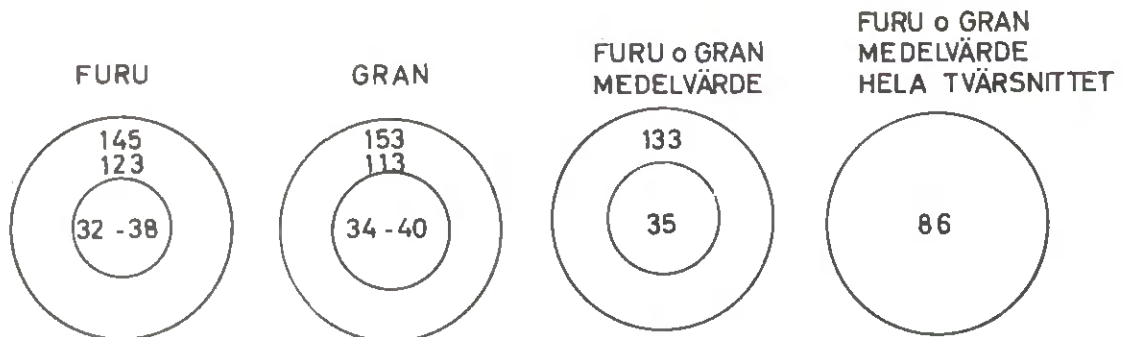


Fig. 6c Fuktkvotens (%) fördelning i stamtvärsnittet. Splinten har en högre fuktkvot intill barken än i närheten av kärnan

De hittills angivna fuktkvoterna härrör från det växande trädet. Vid vattenlagring av timmer, sker en viss ökning av fuktkvoten beroende på tiden, densiteten, koncentrationen av föroreningar, temperatur m.m.

Den teoretiskt maximala fuktkvoten är beroende av träets densitet och kan beräknas enligt:

$$u_{\max} = \frac{1560 - \rho_{\text{orå}}}{1560 \cdot \rho_{\text{orå}}} \times 100 \quad (\%) \quad \text{där}$$

$$\rho_{\text{orå}} = \frac{\text{träets vikt i torrt tillstånd (kg)}}{\text{träets volym i vått tillstånd (m}^3\text{)}}$$

Ur detta samband kan man beräkna maximal fuktkvot vid fullständig vattenmättnad i t ex extremt lätt och tungt trä.

Av mätningar vet man att min- och maxdensiteten (kap. 1.4) för furu vanligtvis ligger mellan 300 kg/m^3 och 650 kg/m^3 .

Max fuktkvot för

$$\text{mycket lätt furuträ är } \frac{1560 - 300}{1,56 \cdot 300} \times 100 = 270 \% \\ \text{=====}$$

$$\text{mycket tungt furuträ är } \frac{1560 - 650}{1,56 \cdot 650} \times 100 = 90 \% \\ \text{=====}$$

1.4 Densitetens variation i stammen. Densitetsdefinitioner.

Träets densitet kan uttryckas på många olika sätt. För att inte sammanblanda dessa brukar man förse densitetens beteckning ρ med olika index. De vanligaste definitionerna på densiteten är

1) kg torrt trä/m ³ torrt trä	(ρ_{oo})	} I äldre litteratur kallades dessa volymvikt och betecknades med r.
2) kg torrt trä/m ³ med fuktkvoten u	(ρ_{ou})	
3) kg trä med fuktkvoten u/m ³ trä med fuktkvoten u	(ρ_{uu})	
4) kg rått trä/m ³ rått trä	($\rho_{rå}$)	
5) kg torrt trä/m ³ rått trä	($\rho_{orå}$)	

$\rho_{orå}$ är det mest förekommande densitetsuttrycket vid torkningsberäkningar. Man har därför i denna torkhandbok valt att beteckna denna utan index dvs ρ .

Med kännedom om densiteten ρ och fuktkvotsändringen kan den avdunstade vattenmängden enkelt beräknas.

I handböcker över olika träslag är densiteten $\rho_{15\ 15}$ vanlig och i samband med sågtimmer talar man ofta om $\rho_{rå}$.

Densiteten ρ bestäms genom att på en ca 20 mm bred provbit

- mäta den råa volymen
- lägga provbiten i ett torkskåp under 1 1/2 - 2 dygn i 103 ± 2 °C
- mäta den torra provbitens vikt

Förvandling till andra densitetsuttryck, enligt ovanstående definitioner med utgångspunkt från ρ , sker på följande sätt:

$$\rho_{oo} = \rho \cdot \frac{100}{100 - \beta_{\max}} \quad (\text{kg/m}^3) \quad \text{x)}$$

$$\rho_{ou} = \rho_{oo} \cdot \frac{100 - \beta_u}{100} \quad (\text{kg/m}^3)$$

x) Ur ekvationen i kap 5.4 kan även sambandet

$$\rho_{oo} = \frac{\rho}{1 - 0,00028} \text{ erhållas.}$$

$$\rho_{uu} = \rho_{oo} \cdot \frac{100+u}{100} \cdot \frac{100-\beta_u}{100} \quad (\text{kg/m}^3) \quad \text{Under fiber- mättnadsgränsen}$$

$$\rho_{urå} = \rho_{oo} \cdot \frac{100+u}{100} \cdot \frac{100-\beta_{\max}}{100} \quad (\text{kg/m}^3) \quad \text{Över fiber- mättnadsgränsen}$$

Exempel:

Beräkna ρ_{oo} och ρ_{o15} för furu med $\rho = 430 \text{ kg/m}^3$

Lösning:

Enligt fig. 7 är krympningstalet β_{\max} för furu 12,4 %

$$1) \rho_{oo} = \rho \cdot \frac{100}{100-\beta_{\max}} = 430 \cdot \frac{100}{100-12,4} = 490 \text{ kg/m}^3$$

2) β_u för fuktkvoten $u = 15 \%$ tas ur fig. 7 där den är $\beta_{15} = 6,0 \%$

$$\rho_{o15} = \rho_{oo} \cdot \frac{100-\beta_u}{100} = 490 \cdot \frac{100-6}{100} = 460 \text{ kg/m}^3$$

De olika densitetsuttryckens medelvärden för furu och gran är i Sverige:

	<u>Furu</u>	<u>Gran</u>	
ρ	430	385	kg/m^3
ρ_{oo}	490	430	"
ρ_{o15}	460	410	"
ρ_{1515}	530	470	"
$\rho_{rå}$ (kärna/splint)	550/980	490/930	"
$\rho_{rå}$	795 ^{a)}	705 ^{b)}	"
ρ_{3030}	560	495	"

a) 40 % kärna, 60 % splint

b) 50 % kärna, 50 % splint

Som framgår av fig. 8 varierar densiteten betydligt längs en furustam. Densiteten är mycket högre i rotstocken än i mitt- eller toppstocken. Mätningar har visat att i ett 3 meter långt centrumutbyte (75 x 150 mm) från en fururotstock är densitetsskillnaden mellan ändarna i medeltal ca 38 kg/m^3 ($\rho = 412$ resp 450 kg/m^3).

Densitetsvariationen längs en granstam är inte lika utpräglad som hos furun.

Skillnaden i ρ_{00} mellan vår- och höstved är i allmänhet mycket stor. Är övergången allt för stor kan sprickor uppstå vid torkning. Vår- och höstvedens densitet ρ_{00} (kg/m^3) för några träslag visas nedan

	Furu	Gran	Silvergran	Lärk	Ask
Vårved	300	340	277	360	569
Höstved	900	650	625	1040	753

Sambandet mellan ρ_{00} och höstvedshalten blir därför rätt starkt, ju högre höstvedshalt desto högre ρ_{00} .

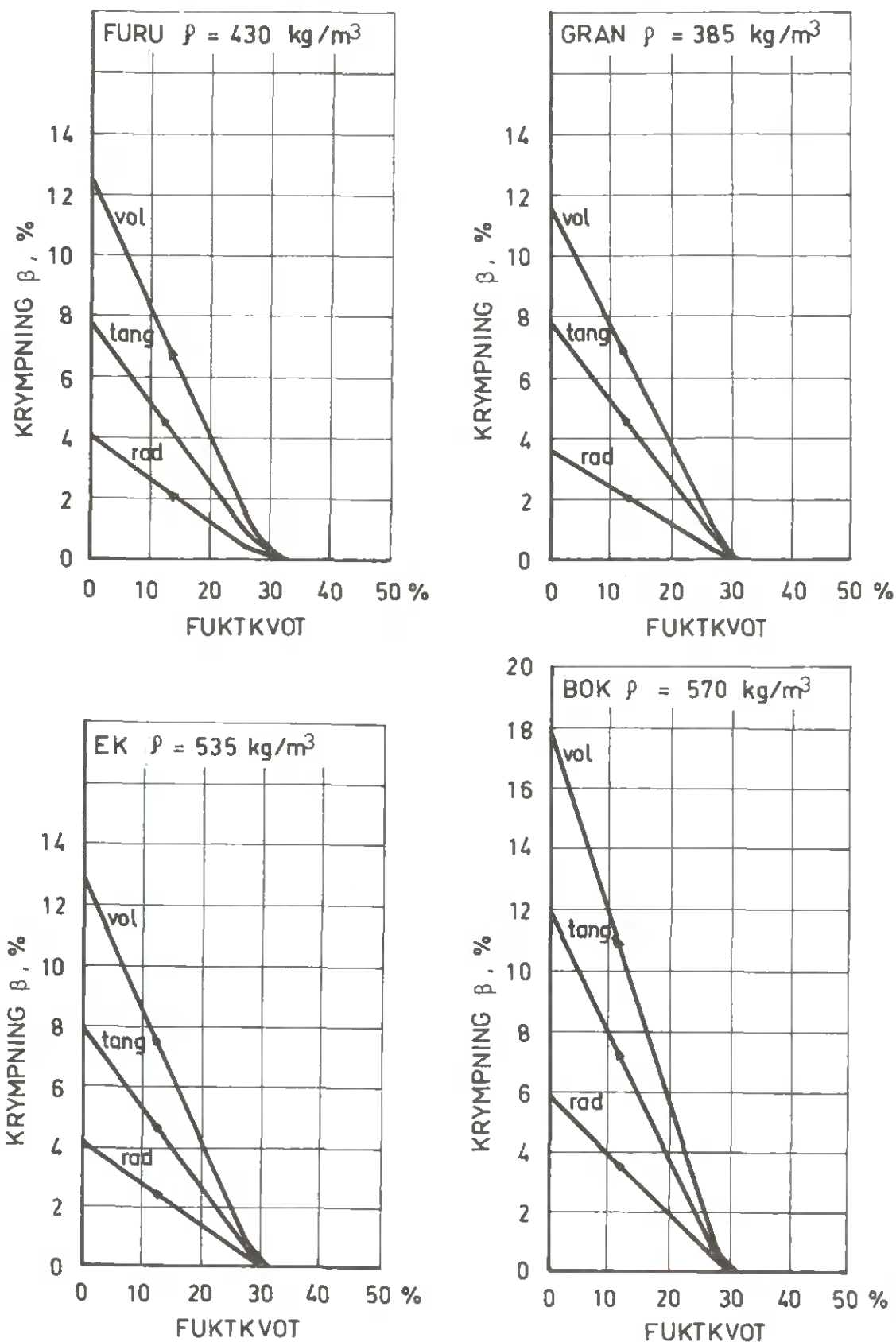


Fig. 7 Krympning från rått tillstånd till absolut torrt tillstånd. Krympningen gäller endast vid relativt spänningsfri krympning dvs krympning med liten fuktkvotgradient, se vidare kap. 5.11.

1.5 Hartsens (kådans) variation i stammen

Barrträdens ved innehåller alltid en viss mängd hartser och (kåda), granen i medeltal 2 %, tallen 7 % (kärna upp till 15 %, splint ca 4 %).

Hartset förekommer dels som en tämligen lättflytande vätska genom uppblandning med eteriska oljor (terpener) i hartskanaler etc i splinten, dels i ett stelnat tillstånd framför allt i kärnan. Hartset är ingen enhetlig produkt utan kan uppdelas i hartssyror, estrar, hartsalkoholer etc. För furukärnvedens motståndskraft mot röta spelar det av Erdtman påvisade pinosylvinet en stor roll. I trädet är hartset i varierande proportioner uppblandat med fetter. Inom varje träd varierar hartshalten väsentligt. Störst är den vid roten och då s k törebildning förekommer, fig. 9.

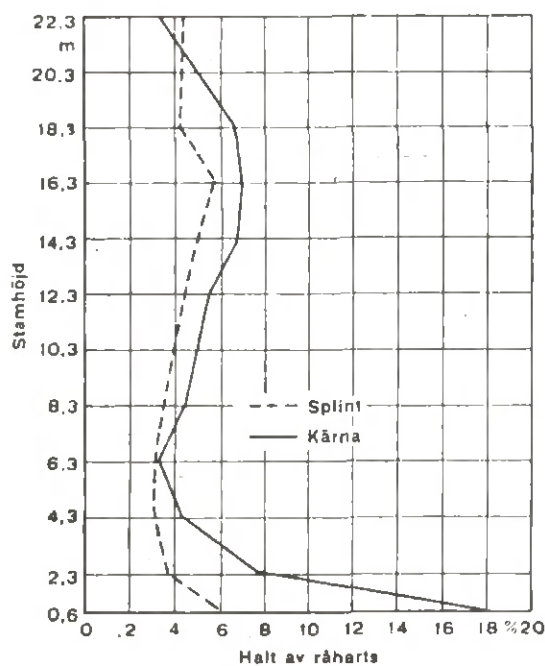


Fig. 9 *Fördelning av råharts i längdriktningen av en furustam (A Ugrenović och Solaja)*

2 FUKTIG LUFT

Luft kan sägas vara en blandning av torr luft och vattenånga. Mängden av vattenånga i luften, dvs luftfuktigheten, är av väsentlig betydelse inom trätekniken. Luftfuktigheten bestämmer nämligen den fuktkvot som träet antager och påverkar den snabbhet varmed uttorkning eller uppfuktning av träet sker.

Den mängd vattenånga luften kan innehålla är starkt beroende av temperaturen. Vid varje temperatur föreligger en maximal mängd vattenånga som luften kan innehålla. Sådan luft sägs vara mättad. Tillförs ytterligare vattenånga till mättad luft, kommer den att falla ut i form av dimma. Den kan således inte existera i ångform.

2.1 Luftens ånghalt och ångkvot (luftens vatteninnehåll)

Man kan uttrycka luftens vatteninnehåll på flera sätt, t ex som ånghalten v , kg vattenånga per m^3 luft eller som ångkvoten x , kg vattenånga per kg torr luft. Vid beräkning av torkningsförlopp är ångkvoten den lämpligaste storheten. Den maximala mängd vatten luften kan innehålla vid en viss temperatur dvs ångkvoten för mättad luft betecknas x_s . Ju högre temperatur desto mer vatten kan luften innehålla, se tabell 1 och fig. 10.

Tabell 1 Ångkvot, ånghalt och mättningsstryck vid olika temperaturer för fuktmättad luft.

Luftens temperatur t °C	Ånghalt v g/m ³	Ångkvot x _s g/kg	Vattenångans mättningsstryck P _s mbar
- 29	0,37	0,26	0,42
- 28	0,41	0,29	0,46
- 27	0,46	0,32	0,51
- 26	0,50	0,35	0,57
- 25	0,55	0,39	0,63
- 24	0,60	0,43	0,70
- 23	0,66	0,48	0,77
- 22	0,73	0,53	0,85
- 21	0,80	0,58	0,94
- 20	0,88	0,64	1,03
- 19	0,96	0,71	1,13
- 18	1,06	0,78	1,25
- 17	1,15	0,85	1,40
- 16	1,27	0,94	1,50
- 15	1,38	1,03	1,65
- 14	1,51	1,13	1,81
- 13	1,65	1,24	1,98
- 12	1,80	1,35	2,17
- 11	1,96	1,48	2,37
- 10	2,14	1,62	2,59
- 9	2,32	1,77	2,83
- 8	2,53	1,93	3,09
- 7	2,75	2,11	3,38
- 6	2,99	2,30	3,68
- 5	3,24	2,50	4,01
- 4	3,52	2,73	4,37
- 3	3,81	2,97	4,75
- 2	4,13	3,23	5,17
- 1	4,47	3,52	5,62
+ 0	4,84	3,82	6,11

Tabell 1 (forts.)

Luftens temperatur t °C	Ånghalt v g/m ³	Ångkvot x _s g/kg	Vattenångans mättningsstryck p _s mbar
1	5,19	4,11	6,57
2	5,56	4,42	7,05
3	5,94	4,75	7,58
4	6,36	5,10	8,13
5	6,79	5,47	8,72
6	7,26	5,87	9,35
7	7,74	6,29	10,01
8	8,26	6,74	10,72
9	8,81	7,22	11,47
10	9,39	7,73	12,27
11	10,00	8,27	13,12
12	10,65	8,84	14,02
13	11,33	9,45	14,97
14	12,06	10,10	15,97
15	12,82	10,78	17,04
16	13,62	11,51	18,17
17	14,46	12,28	19,36
18	15,35	13,10	20,63
19	16,29	13,97	21,96
20	17,27	14,88	23,37
21	18,31	15,85	24,86
22	19,40	16,88	26,42
23	20,55	17,97	28,08
24	21,75	19,12	29,82
25	23,01	20,34	31,66
26	24,34	21,63	33,60
27	25,73	22,99	35,64
28	27,19	24,42	37,79
29	28,72	25,94	40,04
30	30,32	27,55	42,42

Tabell 1 (forts.)

Luftens temperatur t °C	Ånghalt v g/m ³	Ångkvot x _s g/kg	Vattenångans mättningsstryck p _s mbar
31	32,00	29,25	44,91
32	33,76	31,04	47,54
33	35,60	32,94	50,29
34	37,52	34,94	53,18
35	39,53	37,05	56,22
36	41,64	39,28	59,40
37	43,84	41,64	62,74
38	46,13	44,12	66,24
39	48,53	46,75	69,91
40	51,04	49,52	73,75
41	53,65	52,45	77,77
42	56,37	55,55	81,98
43	59,22	58,81	86,39
44	62,18	62,27	91,00
45	65,26	65,91	95,82
46	68,48	69,77	100,86
47	71,83	73,84	106,12
48	75,31	78,14	111,62
49	78,94	82,70	117,36
50	82,72	87,52	123,35
51	86,64	92,61	129,60
52	90,72	98,00	136,12
53	94,96	103,71	142,92
54	99,36	109,77	150,01
55	103,94	116,19	157,40
56	108,70	122,99	165,10
57	113,62	130,21	173,11
58	118,74	137,88	181,46
59	124,06	146,04	190,15
60	129,56	154,71	199,10
61	135,3	163,9	208,6
62	141,2	173,8	218,4
63	147,3	184,3	228,5
64	153,7	195,4	239,1
65	160,3	207,4	250,1

I en del tekniska publikationer uttrycker man vatteninnehållet för mättad luft i mbar, dvs i vattenångans partialtryck (kan beräknas ur gaslagarna). I fjärde kolumnen i tabell 1 återges vattenångans partialtryck vid olika temperaturer.

2.2 Luftens relativa ångkvot

Från tabell 1 kan man se att vid en rumstemperatur av +20°C kan luften innehålla maximalt 14,9 g vatten/kg (0,0149 kg/kg) torr luft. Det är emellertid inte alltid som luften är mättad på vattenånga. Om luften endast innehåller 50 % av den vattenånga som luften maximalt kan innehålla vid en viss temperatur, säger man att luftens relativa ångkvot är 50 %. Uttrycket relativ ångkvot definieras som förhållandet mellan den verkliga mängden vattenånga i luften, x , som luften kan innehålla och maximala vattenmängden x_s , vid den aktuella temperaturen.

Den relativa ångkvoten kan således uttryckas genom formeln

$$\psi = \frac{x}{x_s} \cdot 100 \%$$

där x = ångkvoten för den aktuella luften, kg vattenånga per kg luft

x_s = ångkvoten för mättad luft av samma temperatur, som den aktuella luften, kg vattenånga per kg luft.

2.3 Luftens relativa fuktighet (relativa ångtryck)

Den relativa luftfuktigheten definieras som förhållandet mellan vattenångans partialtryck och vattenångans mättningstryck. (= det tryck vid vilket vattenångan börjar kondenseras) vid samma temperatur, dvs

$$\varphi = \frac{p}{p_s} \cdot 100 \%$$

där p = partialtrycket för vattnet i den aktuella luften,
mbar

p_s = mättningsstrycket för vatten av samma temperatur
som den aktuella luften, mbar.

Vid överslagsberäkningar kan man för torkningsluft under 55°C sätta $\varphi = \psi$, vilket väsentligt underlättar beräkningarna.

Av ovanstående resonemang följer också att en relativ luftfuktighet av 100 % motsvarar mättad luft.

Exempel

Om mättad luft, (100 % relativ luftfuktighet) innehåller 14,9 g/kg (= x_s) vid $+20^\circ\text{C}$, innehåller luften ca hälften ($x = 7,45$ g/kg) av denna vattenmängd vid en relativ luftfuktighet av 50 % och oförändrad temperatur.

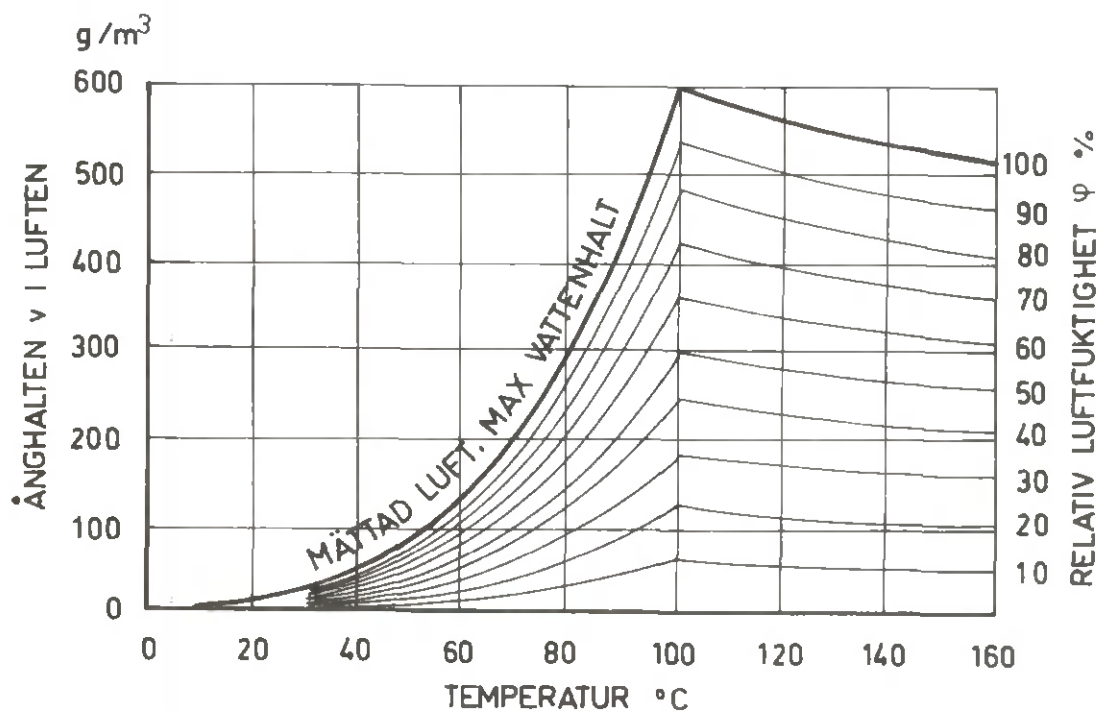


Fig. 10 Ång(vatten)halten i luften vid olika temperaturer och rel. luftfuktigheter (lufttrycket = 1013 mbar). Jämför mättnadslinjen med tabell 1.

2.4 Luftfuktighetens förändring med årstiden

Den relativa luftfuktigheten ρ förändrar sig ständigt. På morgnarna och på nätterna är luften fuktigare än mitt på dagen. Detta gäller generellt för årets alla månader, fig 11 a. Den största dygnsvariationen förekommer under april-juni.

Man är ofta intresserad av dygnets medelluftfuktighet, ρ , t ex när jämviktsfuktkvoten u_{jv} för ett virkesstycke ska bestämmas (kap 4.1). I fig 11 b återges dygnsmedelklimatet (ρ och t) med tillhörande jämviktsfuktkvot u_{jv} .

Av figur 11 b framgår vidare

- 1) att luftens ånghalt dvs vatteninnehåll (gram vatten per m^3 luft) är betydligt högre under den varma årstiden än under den kalla.
- 2) att ånghalten v i stort sätt ändras proportionellt med temperaturen t .
- 3) att relativa luftfuktigheten ρ är lägre under den varma årstiden än under den kalla.
- 4) att jämviktsfuktkvoten u_{jv} i stort sätt ändras proportionellt med relativa luftfuktigheten ρ .
- 5) att medan den relativa luftfuktigheten ρ är högst under vintermånaderna, är ånghalten v som lägst under samma period.

Punkt 5) innebär att mer värme givetvis måste förbrukas för att värma upp en m^3 kall vinterluft än en m^3 varm sommarluft. Men då vinterluften har en lägre vattenhalt än sommarluften, blir den nödvändiga ventilationsluftmängden på vintern betydligt lägre än på sommaren. Med tanke på värmeförbrukningen kompenserar således dessa två faktorer varandra till en viss grad.

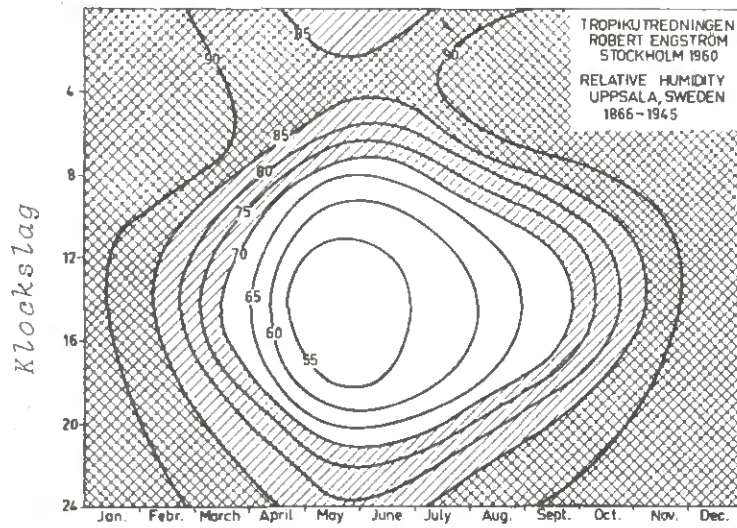


Fig. 11 a Relativa luftfuktighetens (φ) variation under dygnet och året.

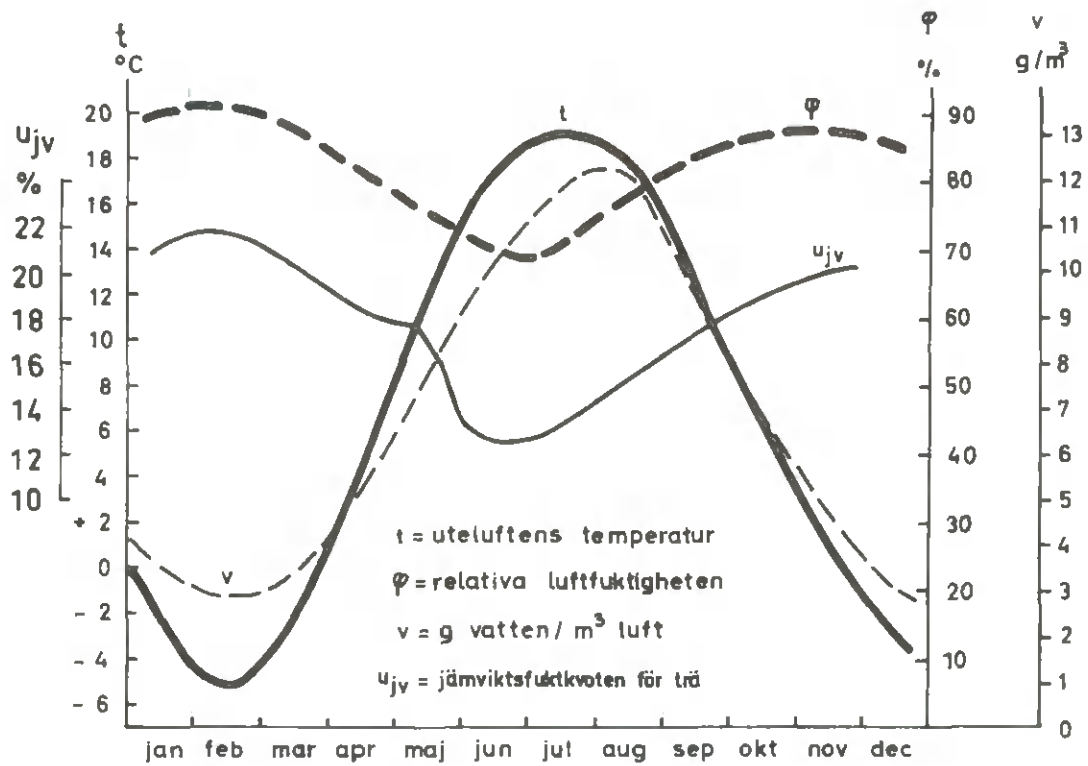


Fig. 11 b Dygnsmedelklimat med tillhörande jämviktsfuktkvot i Stockholm 1969.

2.5 Mollierdiagram

Mollierdiagrammet för fuktig luft är ett av torkningsteknikens viktigaste hjälpmedel. Detta i/x -diagram, där i = entalpiteten (värmeinnehållet) och x = ångkvoten (vatteninnehållet) åskådliggör sambandet mellan olika faktorer vid olika blandning av torr luft och vattenånga till fuktig luft. För fastställande av den fysikaliska formen för en varierande blandning erfordras dock tre givna storheter. Det är således omöjligt att ange en sådan blandnings samtliga data i ett tvådimensionellt diagram. Därför bör en faktor lämnas bort eller ges ett bestämt värde och i diagrammet antagas som konstant. Då lufttrycket vanligtvis varierar rätt litet är Mollierdiagrammet för torkningstekniken uppgjort vid konstant 1013 mbar-tryck.

Till koordinater har valts blandningsförhållandet mellan vattenånga och luft samt denna blandnings entalpitet.

Blandningsförhållandet x anges i kg vattenånga per kg torr luft.

Entalpiteten, i , anges för den mängd blandning som innehåller 1 kg torr luft och således i kJ/kg (kcal/kg).

Entalpiteten omfattar värmen i såväl vattenångan som i luften. Till 0-punkt för luftens entalpitet tas den värmemängd som 1 kg torr luft innehåller vid 0°C temperatur. Motsvarande 0-punkt för vattenånga är den värmemängd som 1 kg vatten innehåller (som vätska) vid 0°C temperatur.

I torkningstekniken behandlas, förutom i det föregående nämnda koordinatenheter, följande karakteristika.

- Torrtemperatur, t
- Våta temperaturmätarens temperatur, t_v
- Daggpunkt, t_d
- Ångans och luftens deltryck, p_a och p_l
- Relativ fuktighet, φ
- Förhållande $\frac{di}{dx}$

Diagrammet har uppgjorts så att det anger alla övriga karakteristika, då två godtyckliga storheter är fastslagna (figur 12).

2.5.1 Entalpitet

Entalpiteten (värmeinnehållet) i luft-vattenångablandningen kan delas upp i följande tre poster:

- 1) Den torra luftens entalpitet
 $i_1 = 1,0 \cdot t \text{ kJ/kg} (= 0,24 \cdot t \text{ kcal/kg})$
- 2) Ångbildningsentalpiteten (avdunstningsvärmets) för ångan vid 0°C
 $i_2 = 2500 \cdot x \text{ kJ/kg} (= 595 \cdot x \text{ kcal/kg})$
- 3) Vattenångans överhettningensvärme vid $t^\circ\text{C}$
 $i_3 = 1,9 \cdot x \cdot t \text{ kJ/kg} (= 0,46 \cdot x \cdot t \text{ kcal/kg})$

Obs! 1 kcal = 4,19 kJ

2.5.2 Relativa luftfuktigheten

Relativa luftfuktigheten är i diagrammet betecknad med φ och är sortlös. Multipliceras φ med 100 erhålls fuktigheten i %. Kurvan för $\varphi = 1,0$ kallas mättnadslinje.

2.5.3 Daggpunkten

Daggpunkten definieras som den temperatur till vilken man måste kyla luft med en given sammansättning för att vattenutfällning (kondensation) ska inträffa. I Mollier-diagrammet blir detta temperatursänkning vid konstant x. Se exempel 1 i figur 12, där daggpunkten är 11°C .

2.5.4 Förhållandet di/dx

Detta förhållande, som anger lutningen i diagrammet vid en tillståndsändring, kan vara av intresse för sådana förlopp, där såväl värme som vatten eller ånga till- och bortförs. Utgångspunkt för lutningen är origo (där $t = 0^{\circ}\text{C}$). di/dx -värdet för en tillståndsändring erhålls genom att parallellförflytta linjen i diagrammet till den di/dx -linje som är parallell med den givna, exempelvis 4000 kJ/kg i figur 12. Om 1 kg ånga med temperaturen t_a tillsätts luften ökar entalpiteten med $2500 + 1,9 \cdot t_a \text{ kJ/kg}$.

2.5.5 Våta temperaturen

Härmed förstås den temperatur som ett vått föremål erhåller då det placeras i en luftström. Den uppmäts lämpligast genom att termometerens kvicksilverrör inlindas i ett vått förband. Tillståndsförändringen vid denna temperatur följer en rät linje, vars lutning är

$$4,19 \cdot t_v = \frac{di}{dx} \text{ kJ/kg} \text{ eller } 1,0 \cdot t_v = \frac{di}{dx} \text{ kcal/kg}$$

Emedan förvättad luft $t_v = t$, löper t_v -kurvan genom skärningspunkten för mättnads- och t -kurvan.

2.5.6 Densiteten

Man skiljer mellan totala vikten av 1 m³ fuktig luft ρ (kg/m³) och vikten torr luft i 1 m³ fuktig luft ρ_t . Sambandet mellan ρ och ρ_t är $\rho = \rho_t (1 + x)$ kg/m³, se nedtill till höger i fig. 12.

2.5.7 Blandning_av_två_luftflöden

Blandningstillståndet C (figur 12) för två luftflöden q_{mA} och q_{mB} (kg/s) med tillståndet A resp B erhålls genom att i Mollierdiagrammet dra en rät linje mellan A och B. C ligger på ett avstånd från A som är

$$AC = \text{avståndet } AB \cdot q_{mB} / (q_{mA} + q_{mB}) \text{ (momentlagen)}$$

2.5.8 Uppvärmning-kylning

Uppvärmning och kylning sker utmed en linje med konstant x (vatteninnehåll i luften), t ex längs linjen i figur 12 betecknad med "kondensation".

Värmeeffekten blir

$$P = q_m \cdot 1,0 (t_2 - t_1) \text{ kJ/s eller kW}$$

$$\left[P = q_m \cdot 0,24(t_2 - t_1) \cdot 3600 \text{ kcal/h} \right]$$

Kylning med efterföljande kondensation måste beräknas med hjälp av entalpi-balansen

$$P = q_m \cdot (i_1 - i_2) \text{ kJ/ks}$$

2.5.9 Fuktning

Fuktning med vatten sker utmed den våta temperaturrens linje (t_v konstant) i Mollierdiagrammet, i figur 12 från t ex D till E. Vid fuktning kyls luften. Om man vill bibehålla

utgångstemperaturen åtgår värmeeffekten

$$P = q_m \cdot 1,0 (i_D - i_{Do}) = q_m \cdot 1,0 (t_D - t_{Do}) \text{ kW}$$

2.5.10 Exempel

Ett rum har temperaturen $t = 32^\circ\text{C}$ och relativa luftfuktigheten $\varphi = 50\%$. Detta tillstånd anges i Mollierdiagrammet med A. En lodrät linje genom A ger $x = 0,015$ kg vatten/kg torr luft och den skär mätnadskurvan vid daggpunkten $20,3^\circ\text{C}$. Dessutom skär den lodräta linjen kurvan för vattenångans partialtryck vid $P_a = 24$ mbar.

Dras en linje genom A parallellt med närmaste t_v -linje fås $t_v = 23,7^\circ\text{C}$.

För torkningsprocessen i Mollierdiagrammet, se kapitel 12.

3 MÄTNING AV LUFTFUKTIGHET

Torkluftens temperatur och relativa luftfuktighet har en avgörande betydelse för verkets torkning. Det är därför av stort värde att kunna mäta dessa storheter under själva torkningsförloppet. De mätinstrument som utvecklats bygger på endera av följande principer:

- 1) Mätning av luftens torra och våta temperaturer
- 2) Mätning av dimensions- eller viktförhållanden för en vattenupptagande mätkropp, t ex ett hår eller en fanérskiva
- 3) Mätning av mängden vattenånga i luften
- 4) Mätning av ångans deltryck (partialtryck)

Mätning av luftens torra och våta temperatur är den vanligaste förekommande metoden och instrumentet som används kallas psykrometer.

3.1 Psykrometern

Principen för mätning av luftens relativa fuktighet med hjälp av psykrometer framgår av figur 13.

En termometer av det slag som visas i figur 13 består av en glasbehållare, i vilken ett kapillärrör med en glaskula

innehållande en vätska är inrymd. Vätskan, t ex kvicksilver eller färgad alkohol, utvidgar sig eller drar ihop sig allt efter temperaturens förändring. Längs med stammen finns en skala. Genom att fixera skalan till vissa fysiska storheter (t ex vattnets fryspunkt = 0°C och vattnets kokpunkt = 100°C) kan man jämföra resultaten från skilda termometrar. När temperaturen i luften kring termometerns glaskula ökar överförs värme till kulan, vätskan expanderar och en högre temperatur avläses.

Genom att förse en termometer med en våt strumpa hindrar man en viss värmemängd att nå fram till glaskulan och termometern visar en lägre temperatur. Värmeenergin används i detta fall till att avdunsta vattnet från den våta strumpan.

Ett likartat fenomen upplever man en varm sommardag då man lämnar vattnet efter en simtur. I stället för att känna sig varm när man går från kallt vatten till varm luft på land, fryser man och känner sig kall. Detta beror på att den värme som söker nå kroppen åtgår till att avdunsta vattnet på kroppen. Först när man blivit torr, når värmen fram till huden och luften känns varm.

Ju snabbare avdunstningen sker från den våta strumpan, desto mindre värme når fram till termometerns glaskula. Då avdunstningen kan ske snabbare i torr luft än i fuktig luft, kan man således få fram ett förhållande mellan luftens relativa luftfuktighet och temperaturskillnaden mellan den torra och den våta termometern. Om luften som når den våta strumpan redan har en relativ fuktighet av 100 %, kan den inte ta upp mera vatten och någon avdunstning från strumpan äger inte rum. Den våta termometern visar i detta fall samma temperatur som den torra termometern och vid 0°C temperaturskillnad är alltså luftens relativa fuktighet 100 %.

Förloppet vid psykrometern liknar förloppet vid virkestork-

ning. I början då virket är mycket vått (vid torkning av nysågat virke) antar det den mot luftfuktigheten svarande våta temperaturen. Mot slutet av torkningen, då virket är torrare, minskar avdunstningshastigheten på grund av att motståndet i träet mot fuktvandringen mot ytan blir alltmer märkbar. Detta ger lägre erforderlig ångbildningsvärme och därmed mindre temperaturskillnad.

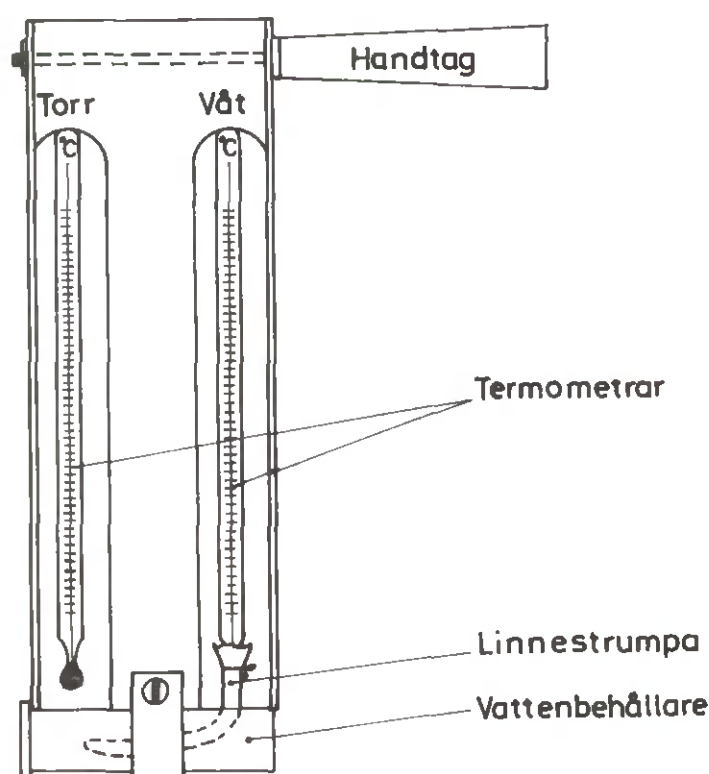


Fig. 13 Slungpsykrometer typ Zeal (Regin AB)

Virkets temperatur stiger över den våta strumpan då ytan på virket börjar bli torrt. När avdunstningen upphört, antar virket den torra temperaturen.

Med hjälp av de med slungpsykrometern uppmätta temperaturerna och kurvorna i figur 14 kan man komma fram till luftens relativa luftfuktighet.

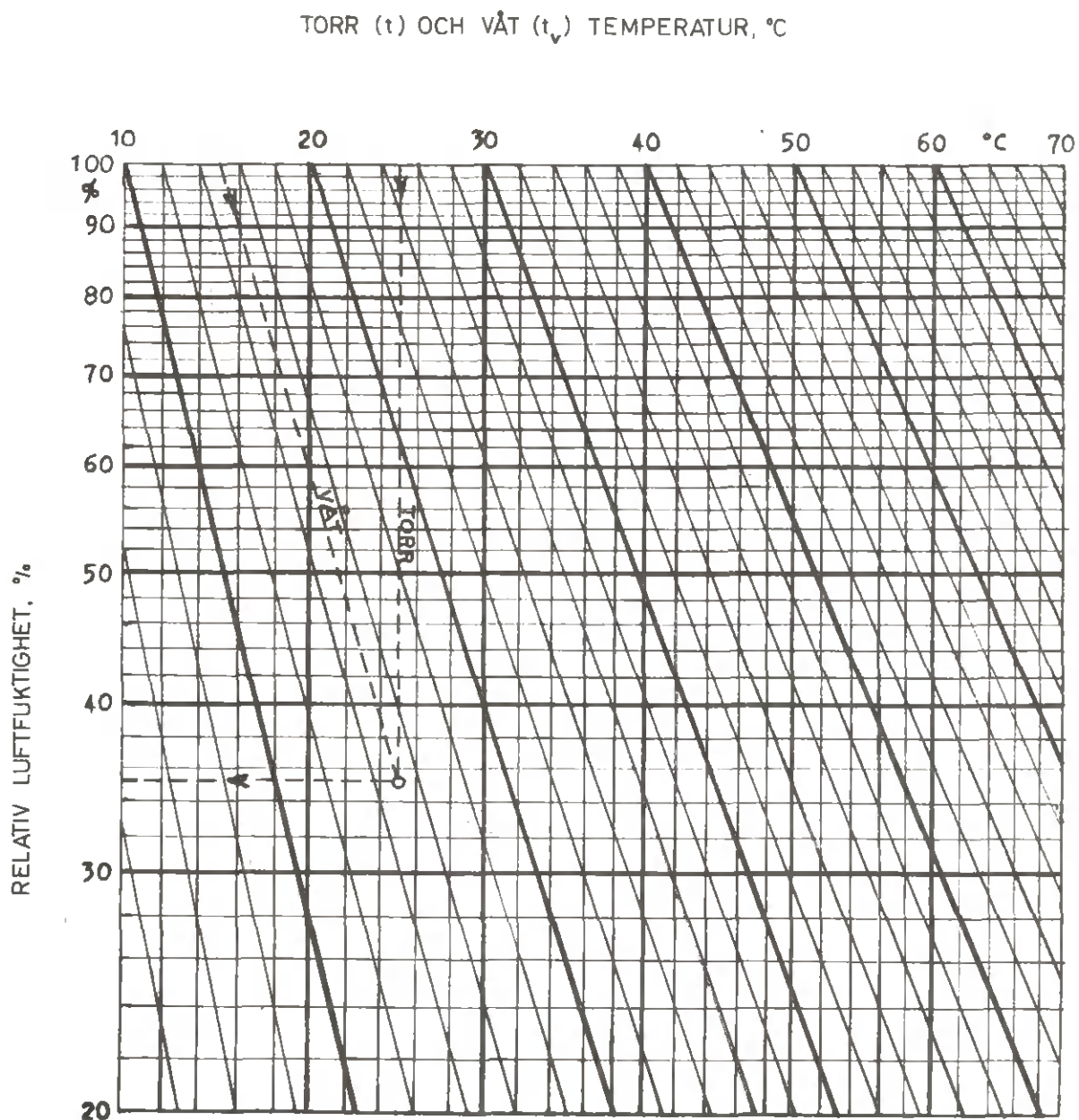


Fig. 14 Beräkning av relativa luftfuktigheten ur torra och våta temperaturerna. Temperaturskalan anger torra temperaturen längs de lodräta linjerna och våta temperaturen längs de sneda linjerna.

Exempel: $t = 25^{\circ}\text{C}$, $t_v = 15^{\circ}\text{C}$, ger i skärningspunkten relativa luftfuktigheten 35 %.

En i praktiken mycket användbar och noggrann psykrometer-tabell återges i tabell 2. I denna tabell anges även den till klimatet hörande jämviktsfuktkvoten för trä (se nästa kapitel).

Psykrometern används som fast givare (känselkropp) i virkestorkar vid reglering och registrering av klimatet.

Vid montage och skötsel av psykrometern är följande förhållanden viktiga:

- 1) Strumpan skall ges tillräcklig vattentillförsel, då eljest torkningsmotståndet i strumpan ger en för hög våttemperatur (t_v).
- 2) Rätt våttemperatur, t_v , inställer sig endast om den för avdunstningen erforderliga värmemängden tas från luften. Ett värmeutbyte mellan psykrometern och omgivningen sker emellertid även genom till- och avledning av värme genom termometern och genom strålningsutbyte med omgivande väggar. Detta extra värmeutbyte måste hållas tillräckligt lågt i förhållande till värmeutbytet med luften för att dess inverkan på mätresultatet ska kunna försummas. Detta sker bl a genom att ha god luftcirkulation vid psykrometern (ca 2 m/s är ett lämpligt minimumvärde) samt att placera den tillräckligt långt ifrån strålande ytor.
- 3) Strumpan bör befuktas med saltfritt och rent vatten, bäst kondensat, då genom den fortlöpande avdunstningen i strumpan salter och smuts snabbt ansamlas och blir kvar i strumpan. Den minskar därvid sin sugförmåga och svårigheten att hålla den tillräckligt våt ökar.
- 4) I torken fast monterad psykrometer måste placeras där luften är väl blandad och representerar luftens medeltemperatur. Luft som passerat värmebatterier är ofta temperaturskiktad upp till 15-20 m efter värmebatteriet.

Psykrometern bör inte placeras i närheten av dörrar, friskluftsspjäll etc. Om psykrometern placeras i fläktrummet på så sätt att luften värms i värmebatteri mellan mätstället och virket bör man genom särskilda mätningar bilda sig en uppfattning om avvikelserna i t och $t - t_v$ vid instrumentet och i virkesrummet. Denna konstruktion är dock mindre vanlig.

- 5) Kontroll av driftinstrument bör ske regelbundet med slungpsykrometer eller aspirationspsykrometer (psykrometer med inbyggd fläkt). I den förra åstadkommes luft rörelsen genom manuell rotation, i den senare genom en urverksdriven fläkt.

Likheten i psykrometers verkningsätt med själva virkestorkningsförloppet gör att psykrometermetoden är särskilt väl lämpad att användas vid reglering av torkningen. Man har därigenom så att säga en "jämförelsetorkning" för inställning av lämplig luftfuktighet. $t - t_v$ är i detta sammanhang ett bättre mått på luftfukten än den relativa luftfuktigheten. Lufttillståndet vid virkestorkning bör därför anges med t och $t - t_v$.

3.2 Hårhygrometern

Hårhygrometern bygger på principen att ett hårstrås längd varierar med den relativa fuktigheten men är tämligen oberoende av temperaturen och vattenhalten i luften. Genom att fästa håret till ett hävarmssystem kan man få en visare att ge avläsbara utslag. Visaren kan också rita en kurva på ett papper som är monterat på en roterande trumma (hårhygrograf). Instrumentet är då självregistrerande, vilket är till stor hjälp vid kontinuerlig kontroll av relativa luftfuktigheten.

Hårhygrometern är känslig för damm och kåda. Dessutom mister håret sin förmåga att ändra längden om den förvaras

i mycket torr luft en längre tid. Detta har gjort att hårhygrografen/-metern framför allt används vid kontroll av luftfuktigheten i industrilokaler, kontorshus och bostadslägenheter, där någon större noggrannhet inte erfordras.

Hårhygrografen kan också utrustas så att den registrerar den torra temperaturen. Ett sådant instrument kallas för termohygrograf. Om termohygrografen ofta kalibreras mot en slumppsykrometer och håren regelbundet rengörs med destillerat vatten, kan den mycket väl användas vid intrimning av virkestorkar. Även om noggrannheten inte är så stor, så visar termohygrografen tydligt

- om en störning/ändring i torkprocessen har skett
- när " " " " " "
- ungefär hur stor störningen/ändringen varit

Tabell 2 Relativ luftfuktighet (φ) och jämviktsfuktkvot (u_{jv}) för varierande tork-
temperatur (t) och psykometerdifferens ($t - t_v$)

t $t-t_v$	φu_{jv}									
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
0,2	93/	94/	94/	95/	95/	95/	95/	96/	96/	96/
0,4	87/20,0	88/20,4	88/20,7	89/21,0	90/21,3	90/21,6	91/	91/	92/	92/
0,6	80/16,4	81/17,2	83/18,0	84/18,5	85/19,0	86/19,4	86/19,7	87/20,0	88/20,3	88/20,6
0,8	74/14,6	75/14,9	77/15,5	78/15,9	79/16,3	81/16,9	82/17,5	82/17,8	84/18,1	84/18,4
1,0	67/12,8	69/13,2	71/13,8	73/14,4	74/14,7	76/15,2	77/15,5	78/15,8	79/16,2	81/16,9
1,2	61/11,6	63/12,0	65/12,4	67/12,8	69/13,2	71/13,8	73/14,5	74/15,0	75/15,2	77/15,4
1,4	54/10,3	57/10,8	60/11,3	62/11,8	64/12,2	66/12,6	68/13,0	70/13,4	71/13,8	73/14,3
1,6	48/ 9,2	51/ 9,7	54/10,3	57/10,8	59/11,3	62/11,8	64/12,2	66/12,6	68/12,9	69/13,2
1,8	41/ 8,2	45/ 8,8	48/ 9,3	52/ 9,8	54/10,3	57/10,8	59/11,3	62/11,8	64/12,2	66/12,6
2,0	35/ 7,3	39/ 7,9	43/ 8,4	46/ 8,9	49/ 9,4	52/ 9,9	55/10,4	57/10,4	60/11,3	62/11,8
2,2	28/ 6,2	33/ 7,0	37/ 7,6	41/ 8,2	45/ 8,8	48/ 9,2	51/ 9,7	53/10,1	56/10,6	58/11,0
2,4	22/ 5,1	27/ 5,9	32/ 6,8	36/ 7,4	40/ 8,0	43/ 8,5	46/ 8,9	49/ 9,4	52/ 9,9	54/10,4
2,6	16/ 3,9	21/ 4,9	26/ 5,8	31/ 6,6	35/ 7,3	39/ 7,9	42/ 8,3	45/ 8,8	48/ 9,2	51/ 9,7
2,8	9/ 2,3	15/ 3,7	20/ 4,7	25/ 5,6	30/ 6,4	34/ 7,1	38/ 7,7	41/ 8,2	44/ 8,6	47/ 8,9
3,0		9/ 2,2	15/ 3,6	20/ 4,7	25/ 7,6	29/ 6,3	33/ 6,9	37/ 7,5	40/ 8,0	43/ 8,5
3,2		10/ 2,5	10/ 2,5	15/ 3,7	20/ 4,7	25/ 5,6	29/ 6,2	33/ 6,9	37/ 7,5	40/ 8,0
3,4			10/ 2,5	10/ 2,5	15/ 3,6	20/ 4,7	25/ 5,5	29/ 6,2	33/ 6,9	36/ 7,6
3,6			5/ 1,3	5/ 1,3	11/ 2,8	16/ 3,9	21/ 4,9	25/ 5,6	29/ 6,2	33/ 6,9
3,8					6/ 1,5	11/ 2,8	17/ 4,1	21/ 4,9	25/ 5,6	29/ 6,2
4,0						7/ 1,8	12/ 3,0	17/ 4,1	22/ 5,0	26/ 5,7
4,5								8/ 2,0	12/ 3,1	17/ 4,2
5,0										8/ 2,0

Tabell 2 (forts)

φ_{ijv}		t																																																																																																																																																																																																					
t	$t-t_v$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20																																																																																																																																																																																							
0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0																																																																																																																																																																		
98/27,7	95/24,9	93/22,7	91/21,2	89/20,1	86/18,9	84/18,1	82/17,1	80/16,3	78/15,5	76/14,9	74/14,2	72/13,6	70/13,3	67/12,5	65/12,0	62/11,6	60/11,1	58/10,7	56/10,5	54/10,3	51/9,6	48/9,0	46/8,7	44/8,5	43/8,2	41/7,9	39/7,6	37/7,1	35/6,8	33/6,5	31/6,2	29/5,9	27/5,6	25/5,3	23/5,0	21/4,7	20/4,5	19/4,4	18/4,2	17/4,0	16/3,8	15/3,6	14/3,5	13/3,2	12/3,0	11/2,9	10/2,7	9/2,5	8/2,2	7/2,0	6/1,8	5/1,6	4/1,5	3/1,4	2/1,3	1/1,2																																																																																																																																															
98/27,7	96/24,9	94/23,2	92/21,6	90/20,7	88/19,5	86/18,7	84/17,7	82/16,9	79/16,1	77/15,3	75/14,6	74/14,2	73/13,8	71/13,5	69/13,0	67/12,5	66/12,3	65/12,1	64/11,9	63/11,8	62/11,4	60/11,0	59/10,8	58/10,7	57/10,3	56/10,2	55/10,1	54/9,9	53/9,6	51/9,4	50/9,2	49/8,9	48/8,8	47/8,7	46/8,6	45/8,4	44/8,2	43/8,0	42/7,9	41/7,8	40/7,6	39/7,5	38/7,3	37/7,1	36/6,9	35/6,8	34/6,7	33/6,5	32/6,2	31/6,2	30/6,2	29/5,9	28/5,9	27/5,6	26/5,4	25/5,3	24/5,1	23/5,1	22/4,8	21/4,7	20/4,7	19/4,4	18/4,2	17/4,2	16/3,9	15/3,6	14/3,5	13/3,2	12/3,0	11/2,9	10/2,7	9/2,5	8/2,2	7/2,0	6/1,8	5/1,6	4/1,5	3/1,4	2/1,3	1/1,2																																																																																																																							
0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0	30,5	31,0	31,5	32,0	32,5	33,0	33,5	34,0	34,5	35,0	35,5	36,0	36,5	37,0	37,5	38,0	38,5	39,0	39,5	40,0	40,5	41,0	41,5	42,0	42,5	43,0	43,5	44,0	44,5	45,0	45,5	46,0	46,5	47,0	47,5	48,0	48,5	49,0	49,5	50,0	50,5	51,0	51,5	52,0	52,5	53,0	53,5	54,0	54,5	55,0	55,5	56,0	56,5	57,0	57,5	58,0	58,5	59,0	59,5	60,0	60,5	61,0	61,5	62,0	62,5	63,0	63,5	64,0	64,5	65,0	65,5	66,0	66,5	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,5	71,0	71,5	72,0	72,5	73,0	73,5	74,0	74,5	75,0	75,5	76,0	76,5	77,0	77,5	78,0	78,5	79,0	79,5	80,0	80,5	81,0	81,5	82,0	82,5	83,0	83,5	84,0	84,5	85,0	85,5	86,0	86,5	87,0	87,5	88,0	88,5	89,0	89,5	90,0	90,5	91,0	91,5	92,0	92,5	93,0	93,5	94,0	94,5	95,0	95,5	96,0	96,5	97,0	97,5	98,0	98,5	99,0	99,5	100,0

Tabell 2 (forts)

t t-t _v	φ/4 _{jv}									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0,5	96/24,5	96/24,5	96/24,4	96/24,4	96/24,4	96/24,4	96/24,3	96/24,3	96/24,3	96/24,3
1,0	91/21,0	92/21,2	92/21,3	92/21,4	92/21,5	92/21,6	92/21,7	93/21,8	93/21,9	93/21,8
1,5	87/19,0	87/19,0	88/19,3	88/19,3	88/19,4	88/19,7	88/19,9	89/19,9	89/19,9	89/19,9
2,0	83/17,2	83/17,4	84/17,6	84/17,6	84/17,7	85/17,9	85/17,9	85/17,9	86/18,0	86/18,0
2,5	79/15,9	80/16,0	80/16,0	80/16,0	81/16,1	81/16,3	81/16,5	82/16,6	82/16,7	83/16,8
3,0	75/14,4	76/14,6	76/14,7	77/14,9	77/14,9	78/15,0	78/15,0	78/15,1	79/15,2	79/15,4
3,5	71/13,3	72/13,4	72/13,5	73/13,7	74/13,9	74/14,0	75/14,1	75/14,1	76/14,2	76/14,3
4,0	67/12,2	68/12,4	69/12,6	69/12,8	70/12,9	71/13,0	71/13,1	72/13,2	72/13,3	73/13,4
4,5	64/11,5	64/11,6	65/11,8	66/11,9	67/12,1	67/12,2	68/12,3	69/12,5	69/12,6	70/12,7
5,0	60/10,8	61/10,9	62/11,0	62/11,1	63/11,2	64/11,4	65/11,5	65/11,6	66/11,7	67/11,8
5,5	56/10,1	57/10,2	58/10,4	59/10,6	60/10,7	61/10,8	62/10,9	62/11,0	63/11,1	64/11,2
6,0	53/9,5	54/9,7	55/9,9	56/10,0	57/10,1	58/10,2	58/10,3	59/10,4	60/10,5	61/10,6
6,5	49/9,0	50/9,1	52/9,3	53/9,5	54/9,6	54/9,7	56/9,8	56/9,9	57/10,0	58/10,1
7,0	46/8,4	47/8,6	48/8,7	49/8,9	50/9,1	51/9,2	52/9,3	53/9,4	54/9,5	55/9,7
7,5	42/7,8	44/8,0	45/8,2	46/8,3	47/8,5	49/8,8	50/8,9	51/9,0	52/9,1	52/9,1
8,0	39/7,3	40/7,5	42/7,7	43/7,9	44/8,1	46/8,3	47/8,4	48/9,6	49/8,7	50/8,8
8,5	36/6,9	37/7,1	39/7,3	40/7,5	41/7,7	43/7,9	44/8,0	45/8,1	46/8,2	47/8,4
9,0	32/6,4	34/6,6	36/6,9	37/7,1	39/7,3	40/7,4	41/7,5	42/7,6	43/7,8	44/7,9
9,5	29/5,9	31/6,2	33/6,4	34/6,6	36/6,8	37/7,0	38/7,2	40/7,4	41/7,5	42/7,6
10,0	26/5,4	28/5,7	30/6,0	31/6,2	33/6,4	34/6,6	36/6,8	37/7,0	38/7,1	39/7,2
10,5	23/5,0	25/5,3	27/5,6	29/5,8	30/6,0	32/6,2	33/6,4	34/6,6	36/6,8	37/6,9
11,0	20/4,5	22/4,8	24/5,1	26/5,4	28/5,6	29/5,8	31/6,0	32/6,2	33/6,4	35/6,6
11,5	17/4,0	19/4,3	21/4,6	23/4,9	25/5,2	26/5,4	28/5,6	29/5,8	31/6,0	32/6,1
12,0	14/3,5	17/3,9	19/4,2	20/4,5	22/4,8	24/5,0	26/5,2	27/5,4	28/5,6	30/5,8
12,5	12/3,0	14/3,4	16/3,7	18/4,0	20/4,3	21/4,6	23/4,9	25/5,1	26/5,3	28/5,5
13,0	9/2,3	11/2,8	13/3,2	15/3,6	17/3,9	19/4,2	21/4,4	22/4,7	24/4,9	25/5,1
13,5	6/1,6	8/2,1	11/2,6	13/3,1	15/3,5	17/3,8	18/4,0	20/4,3	22/4,6	23/4,8
14,0		6/1,6	8/2,1	10/2,5	12/2,9	14/3,3	16/3,7	18/4,0	19/4,2	21/4,4
14,5			6/1,6	8/2,1	10/2,6	12/2,9	14/3,2	16/3,5	17/3,8	19/4,1
15,0				5/1,4	8/2,1	10/2,6	12/2,9	13/3,2	15/3,5	17/3,8
16,0					5/1,4	7/1,9	9/2,3	11/2,7	13/3,0	
17,0							5/1,4	7/1,9	9/2,3	
18,0									5/1,4	

Tabell 2 (forts)

t	$\varphi_{u,jv}$		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	$t-t_v$											
0.5			96/24.3	96/24.3	97/24.2	97/24.2	97/24.2	97/24.2	97/24.2	97/24.2	97/24.2	97/24.2
1.0			93/21.8	93/21.8	93/21.8	93/21.8	94/21.8	94/21.8	94/21.8	94/21.8	94/21.8	94/21.8
1.5			90/20.0	90/20.0	90/19.9	90/19.9	90/19.9	90/19.9	90/19.9	90/19.9	90/19.9	91/19.8
2.0			86/18.0	86/18.0	87/18.1	87/18.1	87/18.1	87/18.1	87/18.2	88/18.2	88/18.2	88/18.2
2.5			83/16.8	83/16.8	83/16.9	84/17.0	84/17.0	84/17.0	84/17.0	84/16.9	85/16.9	85.16.9
3.0			80/15.5	80/15.6	80/15.7	81/15.8	81/15.8	81/15.8	82/15.9	82/15.9	82/15.8	82/15.8
3.5			77/14.4	77/14.5	77/14.5	77/14.6	77/14.7	77/14.8	77/14.8	79/15.0	80/15.0	80/15.1
4.0			73/13.5	74/13.6	74/13.7	75/13.8	75/13.8	75/13.8	76/13.8	76/14.0	77/14.1	77/14.2
4.5			70/12.7	71/12.8	71/12.8	72/12.9	72/12.9	73/13.1	73/13.3	74/13.3	74/13.2	74/13.2
5.0			67/11.9	68/12.0	68/12.0	69/12.0	69/12.1	70/12.0	70/12.3	71/12.4	72/12.5	72/12.6
5.5			64/11.3	65/11.4	65/11.5	66/11.6	67/11.6	67/11.7	68/11.8	68/11.8	69/11.9	69/11.9
6.0			61/10.7	62/10.8	63/10.9	63/10.9	64/11.0	64/11.1	65/11.2	66/11.3	67/11.4	67/11.4
6.5			59/10.2	60/10.3	60/10.4	60/10.5	61/10.6	62/10.7	63/10.8	63/10.8	64/10.8	64/10.8
7.0			56/9.8	57/9.9	57/9.9	58/10.0	59/10.1	59/10.2	60/10.3	61/10.4	62/10.5	62/10.4
7.5			53/9.2	54/9.4	55/9.5	56/9.6	57/9.6	57/9.7	58/9.8	58/9.8	59/9.9	59/9.9
8.0			51/8.9	51/8.9	52/9.0	53/9.1	54/9.2	54/9.3	55/9.4	56/9.5	57/9.5	57/9.5
8.5			48/8.5	49/8.6	50/8.7	51/8.8	51/8.8	52/8.9	53/9.0	54/9.0	54/9.0	54/9.0
9.0			45/8.0	46/8.1	47/8.3	48/8.4	49/8.5	50/8.6	51/8.7	51/8.8	53/8.9	53/8.9
9.5			43/7.7	44/7.9	45/8.0	46/8.1	47/8.2	48/8.3	48/8.4	49/8.5	51/8.6	51/8.6
10.0			40/7.3	41/7.4	42/7.5	43/7.6	44/7.7	45/7.8	46/7.9	47/8.0	48/8.0	48/8.1
10.5			38/7.0	39/7.1	40/7.2	41/7.3	42/7.4	43/7.5	44/7.6	45/7.7	46/7.8	46/7.8
11.0			36/6.7	37/6.8	38/6.9	39/7.1	40/7.2	41/7.3	42/7.3	43/7.4	44/7.5	44/7.5
11.5			33/6.3	35/6.5	36/6.6	37/6.8	38/6.9	39/7.0	40/7.1	41/7.2	42/7.2	42/7.2
12.0			31/6.2	32/6.3	33/6.4	35/6.5	36/6.7	37/6.8	38/6.8	39/6.9	39/7.0	40/7.0
12.5			29/5.7	30/5.8	31/5.9	32/6.1	34/6.3	35/6.4	36/6.5	37/6.6	38/6.7	38/6.7
13.0			27/5.3	28/5.5	29/5.6	30/5.8	32/6.0	33/6.1	34/6.2	35/6.3	36/6.4	36/6.4
13.5			25/5.0	26/5.2	27/5.3	28/5.5	30/5.7	31/5.8	32/5.9	33/6.0	34/6.1	35/6.2
14.0			22/4.5	24/4.7	25/4.9	26/5.1	28/5.3	29/5.5	30/5.6	31/5.7	32/5.8	33/5.9
14.5			20/4.3	22/4.5	23/4.7	24/4.8	26/5.0	27/5.2	28/5.3	29/5.4	30/5.5	31/5.6
15.0			18/4.0	20/4.2	21/4.4	23/4.6	24/4.8	25/4.9	26/5.0	27/5.1	28/5.2	29/5.4
16.0			14/3.3	16/3.6	17/3.8	19/4.0	20/4.2	21/4.3	23/4.5	24/4.7	25/4.8	26/4.9
17.0			11/2.6	12/2.9	14/3.2	15/3.4	17/3.6	18/3.8	19/4.0	20/4.1	22/4.3	23/4.4
18.0			7/1.8	9/2.1	10/2.4	12/2.7	13/2.9	15/3.2	16/3.4	17/3.6	18/3.8	20/4.0
19.0				5/1.3	7/1.7	8/2.0	10/2.3	11/2.6	13/2.8	14/3.0	15/3.2	16/3.4
20.0						5/1.3	7/1.6	8/1.9	10/2.2	11/2.5	12/2.8	14/3.0

Tabell 2 (forts)

$\frac{t}{t-t_v}$	$\Psi_{a,iv}$	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
0.5	97/23.9	97/23.9	97/23.9	97/23.9	97/23.9	97/23.7	97/23.7	97/23.6	97/23.6	98/23.5	97/23.5
1.0	95/21.7	95/21.5	95/21.6	95 21.6	95 21.6	95/21.5	95/21.5	95/21.4	95/21.4	95/21.5	95/21.2
1.5	92/19.6	92/19.3	92/19.8	92/19.8	92/19.8	92/19.6	92/19.6	92/19.5	92/19.5	92/19.3	93/19.8
2.0	90/18.0	90/18.0	90/17.9	90/17.9	90/17.9	90/17.8	90/17.8	90/17.8	90/17.7	90/17.7	91/17.5
2.5	87/16.9	87/16.8	87/16.8	87/16.8	87/16.8	87/16.7	87/16.7	87/16.7	88/16.6	88/16.6	88/16.5
3.0	85/15.7	85/15.7	85/15.7	85/15.6	85/15.6	85/15.6	85/15.6	85/15.6	86/15.5	86/15.5	86/15.5
3.5	82/14.9	82/14.9	82/14.8	82/14.8	82/14.7	82/14.7	83/14.7	83/14.7	83/14.6	83/14.6	84/14.6
4.0	80/14.1	80/14.1	80/14.0	80/14.0	80/14.0	81/13.9	81/13.9	81/13.9	81/13.9	81/13.9	82/13.7
4.5	77/13.4	78/13.4	78/13.4	78/13.3	78/13.3	78/13.3	79/13.2	79/13.2	79/13.2	79/13.1	80/13.1
5.0	75/12.8	76/12.8	76/12.7	76/12.7	76/12.7	76/12.7	77/12.6	77/12.6	77/12.6	77/12.5	78/12.5
5.5	73/12.3	73/12.3	73/12.0	73/12.0	73/12.0	73/12.0	73/12.0	73/12.0	73/12.0	75/12.0	76/12.0
6.0	71/11.8	71/11.8	71/11.8	72/11.8	72/11.8	72/11.6	73/11.6	73/11.7	73/11.7	73/11.7	74/11.7
6.5	69/11.4	69/11.4	69/11.3	70/11.3	70/11.3	70/11.3	71/11.3	71/11.3	71/11.2	71/11.2	72/11.2
7.0	67/10.9	67/10.9	67/10.9	68/10.9	68/10.9	68/10.9	69/10.9	69/10.9	69/10.8	69/10.8	70/10.8
7.5	64/10.4	65/10.4	65/10.4	66/10.4	66/10.4	66/10.4	67/10.4	67/10.4	67/10.4	67/10.4	68/10.3
8.0	62/9.9	63/10.0	63/10.0	64/10.0	64/10.0	64/10.0	65/10.0	65/10.0	65/10.0	65/10.0	66/9.9
8.5	60/9.6	61/9.7	61/9.7	62/9.7	62/9.7	62/9.7	63/9.7	63/9.7	63/9.7	63/9.7	64/9.7
9.0	59/9.4	59/9.4	59/9.4	60/9.4	60/9.4	60/9.4	61/9.4	61/9.4	62/9.4	62/9.4	62/9.3
9.5	57/9.0	57/9.1	57/9.1	58/9.1	58/9.1	58/9.1	59/9.1	59/9.1	60/9.1	60/9.1	60/9.0
10.0	55/8.7	56/8.8	56/8.8	57/8.8	57/8.8	57/8.8	57/8.8	58/8.8	58/8.8	58/8.8	59/8.8
10.5	53/8.3	54/8.3	54/8.3	55/8.3	55/8.3	55/8.3	55/8.3	56/8.3	56/8.3	56/8.3	57/8.3
11.0	51/7.9	52/7.9	52/7.9	53/8.0	53/8.0	53/8.0	54/8.1	54/8.1	55/8.1	55/8.1	56/8.1
11.5	49/7.7	50/7.7	50/7.7	51/7.8	51/7.8	51/7.8	52/7.8	52/7.8	53/7.9	53/7.9	54/7.9
12.0	48/7.5	49/7.5	49/7.5	50/7.6	50/7.6	50/7.6	51/7.6	51/7.6	51/7.7	51/7.7	52/7.7
12.5	46/7.3	47/7.3	47/7.3	48/7.4	48/7.4	48/7.4	49/7.4	49/7.4	49/7.4	49/7.4	50/7.4
13.0	45/7.2	46/7.2	46/7.2	47/7.2	47/7.2	47/7.2	48/7.2	48/7.2	48/7.2	48/7.2	49/7.2
13.5	43/6.9	44/6.9	44/6.9	45/6.9	45/6.9	45/6.9	46/6.9	46/6.9	46/6.9	46/6.9	47/6.9
14.0	41/6.6	42/6.6	42/6.6	43/6.7	43/6.7	43/6.7	44/6.7	44/6.7	45/6.7	45/6.7	46/6.8
14.5	39/6.4	40/6.4	40/6.5	41/6.5	41/6.5	41/6.5	42/6.5	42/6.5	43/6.5	43/6.5	44/6.6
15.0	38/6.2	39/6.2	39/6.3	40/6.3	40/6.3	40/6.3	41/6.3	41/6.3	42/6.4	42/6.4	43/6.4
16.0	35/5.7	36/5.8	36/5.8	37/5.9	37/5.9	38/5.9	39/5.9	39/6.0	40/6.0	40/6.0	41/6.1
17.0	32/5.4	33/5.4	34/5.4	35/5.5	35/5.5	35/5.5	36/5.6	36/5.6	37/5.6	37/5.6	38/5.7
18.0	30/5.1	31/5.1	31/5.1	32/5.2	32/5.2	32/5.2	33/5.3	33/5.3	34/5.3	35/5.3	36/5.4
19.0	27/4.7	28/4.8	28/4.8	29/4.9	29/4.9	30/4.9	31/4.9	31/5.0	32/5.0	32/5.0	33/5.1
20.0	24/4.3	25/4.4	26/4.4	27/4.5	27/4.5	27/4.5	28/4.6	28/4.6	29/4.7	30/4.7	31/4.8
21.0	22/3.9	23/4.0	24/4.1	25/4.1	25/4.1	25/4.2	26/4.2	26/4.3	27/4.4	27/4.4	28/4.4
22.0	20/3.7	21/3.8	22/3.9	23/3.9	23/3.9	23/3.9	24/4.0	24/4.0	25/4.1	25/4.1	26/4.2
23.0	17/3.3	18/3.4	19/3.5	20/3.6	20/3.6	20/3.6	21/3.7	22/3.7	23/3.8	23/3.8	24/3.9
24.0	15/3.0	16/3.1	17/3.2	18/3.3	18/3.3	18/3.3	19/3.4	20/3.5	21/3.5	21/3.6	22/3.7
25.0	13/2.6	14/2.7	15/2.8	16/2.9	16/2.9	16/2.9	17/3.0	18/3.1	19/3.2	19/3.2	20/3.3

4 TRÄETS FUKTKVOT

4.1 Jämviktsfuktkvot

Träets cellväggar är i huvudsak uppbyggda av långa kedjemolekyler, som på en del platser är så glest hopbundna att vattnet kan tränga in mellan dem, ungefär som en svamp suger åt sig vatten. Skillnaden mellan en svamp och trä är dock att de krafter som gör att en svamp suger åt sig vatten är av mekanisk natur, medan de för träets del är av fysikaliskt ursprung. En svamp måste t ex ha kontakt med vatten i vätskeform för att den skall kunna öka sin fuktkvot. En träbit kan däremot avge eller ta emot vatten i ångform.

Att träet kan ta emot vatten från den omgivande luften beror på att hålrummen i cellväggarna är av storleksordningen miljondels mm. Detta innebär att kontakten mellan vattnet och skelettsubstansen blir av betydligt intimare art än i en vanlig svamp.

Varje vattenmolekyl som befinner sig i cellväggens omedelbara närhet påverkas direkt av träsubstansens molekyler. Dessa vill dra till sig vattenmolekylerna på ett sätt som påminner om järnfilspånets attraktion till en magnet. Ju större mängd vattenmolekyler som finns i cellväggens

omgivning, dvs ju högre luftens relativa fuktighet är, desto mer vatten kommer att dras in i cellväggen. Å andra sidan utför träsubstansens molekyler vissa svängningsrörelser som ökar i intensitet vid ökad temperatur. Det finns härmed även en strävan hos träsubstansens molekyler att kasta ifrån sig vattnet. Vid varje temperatur och stadium av tillgång på vattenmolekyler i den omgivande luften kommer därför dessa bägge processer att resultera i ett visst jämviktsvärde på antalet vattenmolekyler i cellväggen (då attraktionsverkan och bortstöttningsverkan just uppväger varandra). Träet strävar att anta en viss jämviktsfuktkvot (u_{jv}), som beror av temperaturen och den omgivande luftens koncentration av vattenånga (luftfuktigheten).

Jämviktsfuktkvoten (u_{jv}) kommer liksom relativa luftfuktigheten att bero på $t - t_v$ och på t . Det allmänna sambandet för jämviktsfuktkvoten anges grafiskt i figur 15, som innehåller kurvor för konstanta värden på t och $t - t_v$. För exempelvis $t = 45^\circ\text{C}$ och $t - t_v = 10^\circ\text{C}$ får man ur diagrammet $u_{jv} = 8,7\%$. I diagrammet kan man avläsa den relativa luftfuktigheten (φ), som svarar mot psykrometeravläsningen. För snabbare och exaktare avläsningar kan tabell 2 användas. I exemplet är sålunda $\varphi = 52\%$. Jämviktsfuktkvoten i överhettad vattenånga (= högtemperaturtorkning) kan erhållas ur tabellen i övre vänstra hörnet av figur 15. För överslagsberäkningar kan sambandet

$$u_{jv} = 25 \left(1 + \frac{t - t_v}{5} \right)$$

användas för t mellan $40 - 75^\circ\text{C}$.

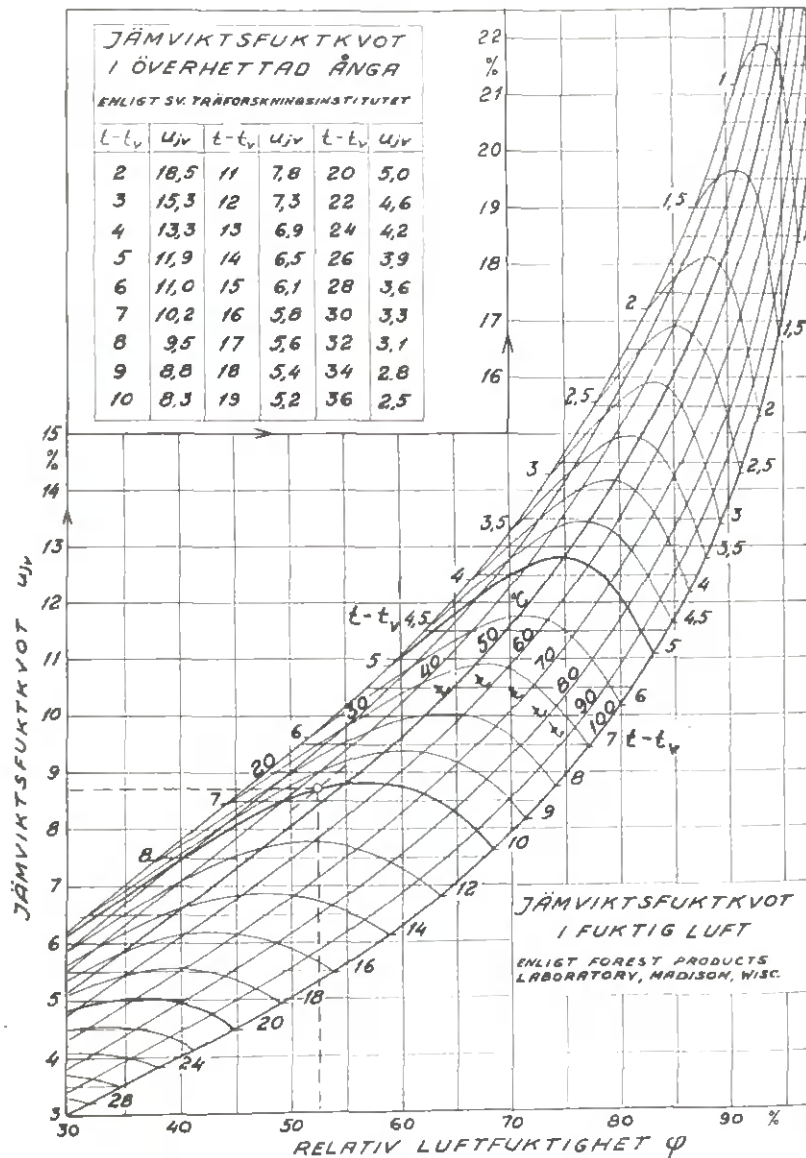


Fig. 15 Det allmänna sambandet för jämviktsfuktkvoten vid konstanta värden för torrtemperatur t och psykrometerskillnad $t-t_v$

4.2 Fibermättnadspunkten

Cellväggen kan uppta vatten endast till en viss övre gräns, varvid träsubstanten blir mättad med vatten. Motsvarande fuktkvot kallas fibermättnadspunkten. Denna fuktkvot är vid rumstemperatur ungefär 30 % och minskar med ungefär 1 fuktkvotsprocent per 10 graders temperaturstegring. Fibermättnadspunkten inställer sig som jämviktsvärde i nästan fukt-

mättad luft ($t \approx t_v$), men inställningstiden blir mycket lång.

Vid fuktkvoter högre än fibermättnadspunkten är cellväggarna mättade med vatten och överskottsvattnet fyller mer eller mindre ut cellhåligheterna (lumina). Detta överskottsvatten brukar kallas fritt vatten, men beteckningen är vilseledande då det i själva verket är ganska hårt bundet av kapillärkrafter (hårrörskrafter). Sålunda erfordras omkring en atmosfärs tryck för att nämnvärda mängder av detta vatten skall kunna pressas ut. För ett fullständigt utpressande av kapillärvattnet skulle erfordras ca 30 atmosfärens tryck!

Lämpliga beteckningar är fibervatten på det i cellväggarna bundna vattnet och kapillärvatten på det i cellhåligheterna bundna vattnet. Huruvida kapillärvattnet även ställer in sig på ett mot luftfuktigheten svarande värde är tills vidare oklart, men om så är fallet, är jämvikten för detta vatten begränsad till relativa luftfuktigheter mellan 99 och 100 %.

Fibervattnet är så hårt bundet att det endast kan avlägsnas med värme, dvs genom att träsubstansen sätts i vibration så att den kan "skaka av" sig vattenmolekylerna. Denna process erfordrar en extra värmemängd utöver det normala ångbildningsvärmets (2418 kJ/kg vatten vid 35°C), nämligen det skvällningsvärmets eller vätningsvärmets. Vid torkning från rått trä till fuktkvoterna 18 %, 10 % och 0 % är detta värme 8, 21 resp 70 kJ per kg träsubstans. Även kapillärvattnet är så hårt bundet att utsikterna till mekanisk avvattning i någon väsentlig omfattning torde vara ganska ringa (centrifugering e dyl). Lösgörandet av det kapillära vattnet erfordrar dock en mycket liten extra värmemängd utöver ångbildningsvärmets.

Fibermättnadsfuktkvoten är något olika för kärna och splint. I furu och gran omkring 26 % i kärnan och omkring 30 % i splinten.

4.3 Hysteresisslingan^{a)}

Jämviktsfuktkvoten, som fysikaliskt sett är ett mycket komplicerat begrepp, är i verkligheten inte enbart bestämd av omgivningens temperatur och psykrometerskillnad. Man får exempelvis inte samma fuktkvot då ett trästycke konditioneras från ett torrare tillstånd till ett fuktigare än från ett fuktigare tillstånd till ett torrare under i övrigt exakt lika konditioneringsförhållande. Skillnaden kan röra sig om ett par tre fuktkvotsprocent. Detta beror på att den inledningsvis nämnda träsubstansen i cellväggen är så tät att dess kedjemolekyler påverkar inte bara vattenmolekylerna utan även varandra inbördes och att en viss rörlighet hos dessa substansmolekyler föreligger. De kan ordna sig på olika sätt, beroende bl a på med vilket torkningsschema virket torkats. Vid torkningen uppträder spänningar i materialet på grund av krympningen och dessa spänningar i sin tur påverkar det mönster efter vilket skelettmolekylerna ordnar sig. Detta fenomen, som kallas hysteres, är ännu relativt outforskat men har sannolikt mycket stor betydelse för träets tekniska egenskaper. Man har på senare tid funnit att torkspänningar i träet påskyndar torkningen något.

En typisk hysteresisslinga för furu vid en temperatur av 10°C visas i figur 16. Det framgår av exemplet att en aldrig tidigare torkad furubit kommer att erhålla en jämviktsfuktkvot av ca 13 % om den förvaras i luft med 60 % relativ luftfuktighet. En annan träbit av samma träslag som tidigare torkats till en fuktkvot av ungefär 2 % kommer att ta upp vattnet när den förvaras i luft med 60 % relativ luftfuktighet. I detta fall kommer jämviktsfuktkvoten att bli ca 11,5 %.

a) Detta kapitel kan överhoppas (om ej fuktupptagning vid höga temperaturer, ca 100°C, är av intresse).

Jämviktsfuktkvoten reduceras vid vatten- fuktupptagningen genom torkning vid högre temperatur, medan jämviktsfuktkvoten vid nedtorkningen endast i ringa utsträckning påverkas av torkningstemperaturer. Vid t ex högtemperaturtorkat virke är jämviktsfuktkvoten vid fuktupptagning ca 9 % (upp-fuktning från ca 2 % fuktkvot) vid relativa luftfuktigheten 60 %.

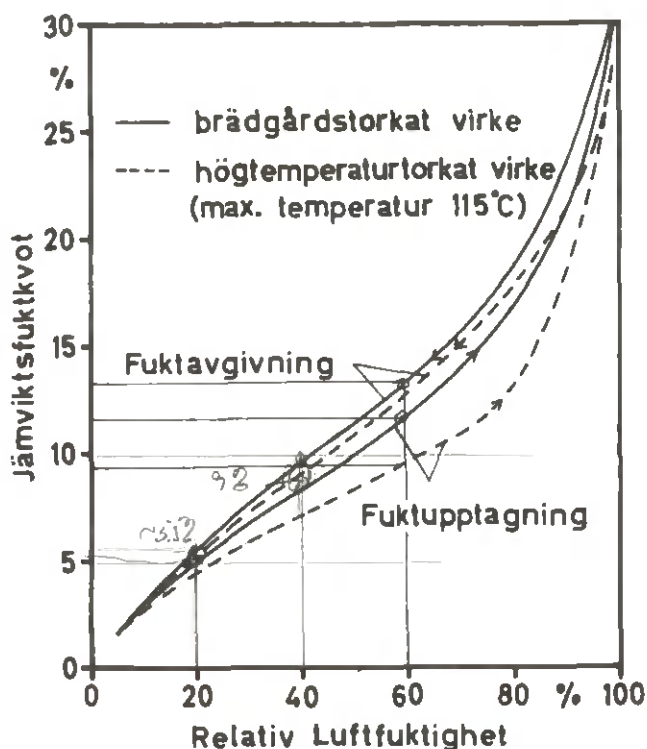


Fig. 16 Sambandet mellan relativ luftfuktighet och träets jämviktsfuktkvot för furusplint för brädgårdstorkat virke, ca 10°C, och högttemperaturtorkat virke, ca 115°C. (Efter K Egner)

4.4 Träslagets inverkan på jämviktsfuktkvoten

Jämviktsfuktkvoten och fibermättnadspunkten är något olika för olika träslag och även mellan splint- och kärnved av

samma träslag. Skillnaderna är dock inte större än att man för praktiskt bruk kan använda i figur 15 angivna värden för alla träslag.

Som allmän regel kan man säga att lövträd har en något högre jämviktsfuktkvot än barrträd. Virke (både löv- och barrträd) som har en hög halt av extraktiva ämnen (harts, kåda m m) har en lägre jämviktsfuktkvot än virke fattigt på sådana ämnen.

4.5 Bestämning av fuktkvoten i trä genom torrviktsmetoden

Fuktkvoten hos ett trästycke definieras som den viktminskning ett trästycke undergår vid torkning till konstant vikt i ett torkskåp vid $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatur, dividerat med den vikt trästycket får efter denna torkning. Torkningen ska ske tillräckligt länge för att vid upprepade vägningar med en timmes mellanrum uppvisa en maximal viktskillnad av 0,1 %. Viktminskningen består huvudsakligen av vattenbortgång ur träet vid torkningen men även andra beståndsdelar i mindre omfattning bortgår, såsom flyktiga ämnen i kåda etc. Det är därför av största vikt att torkskåpets temperaturinställning är rätt kalibrerad.

För vägning av provstycken erfordras en våg med noggrannheten 0,1 g för ett 100 g provstycke och 0,01 g för ett 10 g provstycke. I allmänhet erfordras en våg med noggrannheten 0,01 g då ett fuktkvotsprov av en 25 x 100 mm bräda väger i torrt tillstånd ca 20 g. Användning av tillräckligt noggrann våg (s k snabbvåg) underlättar massbestämningar av fuktkvot.

Provstyckena, som ska utgöras av tvärsektioner av virkestycket, bör ha en tjocklek av ca 25 mm. De utsågas med väl slipad såg och befrias noga från sågspån och "skägg". Slö sågklinga förorsakar högre värme med vattenavdunstning som följd. Proverna vägs snarast möjligt efter sågningen.

Om vägning inte kan ske omedelbart, förvaras proverna så fukttätt som möjligt, varvid förvaringskärlet (burk, plastpåse etc) inte får utsättas för kyla, då fukt kan vandra ut från träet och kondensera på kärlet.

Provstyckena bör utsågas på ett representativt ställe i den bräda e dyl, vars fuktkvot skall bestämmas, och inte i sådana delar där fuktkvoten kan misstänkas avvika väsentligt från den genomsnittliga fuktkvoten. Provstycket bör exempelvis inte utsågas närmare änden på ett virkesstycke än ett avstånd lika med 7,5 gånger virkets tjocklek för undvikande av ändtorkningens inverkan.

Erforderlig torkningstid i torkskåpet varierar med provets storlek, fuktkvot och volymvikt samt mängden prover som samtidigt befinner sig i torkskåpet. För råa provstycken kan som riktvärde användas 1 1/2 - 2 dygn och för provstycken torkade i virkestork ca 1 dygn. Spånformiga prov fordrar kortare torkningstid. Tills tillräcklig erfarenhet vunnits och alltid då stor noggrannhet erfordras bör proverna uttas ur torkskåpet med jämna tidsmellanrum och vägas. Torkningen är färdig, då provstyckena inte längre minskar mer än 0,1 % av sin totala vikt.

Med beteckningarna

m_u = trästyckets vikt före behandling i torkskåp (våta vikten)

m_o = trästyckets vikt efter behandling i torkskåp (torra vikten)

blir fuktkvoten

$$u = \frac{m_u - m_o}{m_o} = \frac{m_u}{m_o} - 1$$

Vill man uttrycka fuktkvoten i % ($= \frac{1}{100}$) multipliceras ovanstående uttryck med 100

$$u = \left(\frac{m_u}{m_o} - 1 \right) \times 100 \%$$

Detta senare uttryck är det praktiskt mest användbara.

Exempel: $m_u = 108,5 \text{ g}$

$m_o = 66,2 \text{ g}$

$$u = \left(\frac{108,5}{66,2} - 1 \right) \cdot 100 = (1,639 - 1) \cdot 100 = 63,9 \%$$

En noggrann bestämning av fuktkvoten i trä är möjlig endast med det till ovanstående definition knutna förfarandet.

4.6 Bestämning av fuktkvoten enligt torrviktsmetoden med förhöjd torktemperatur

Denna provningsmetod är en modifierad torrviktsmetod för virke. Med förhöjd temperatur vid torkning kan provningstiden nedbringas från något dygn till några timmar. Men metoden fordrar en mycket noggrann passning av torkningstiden. Metoden ger också en något större felprocent.

Utrustning

Torrskåp med invändig volym 100-150 l och som kan hålla $160 \pm 2^\circ\text{C}$ samt är utrustat med fläkt för cirkulation av luften.

Våg som medger vägning upp till 1000 g med ett största fel av 0,1 g.

Provkropp

Provkroppen sågas ut ca 150 mm (ca 300 mm för ojusterat virke) från ändytan hos aktuellt virkesstycke. Provkroppens tjocklek (utsträckning i fiberriktningen) ska vara ca 20 mm och dess bredd och längd enligt virkesstyckets tvärsnittsmått.

Provning

Provkroppen vägs på 0,1 g när senast 1/2 h efter utsågningen från virkesstycket.

Provkroppen torkas i torkskåp vid $160 \pm 2^\circ\text{C}$. Torktiden väljs med hänsyn till antagen fuktkvot hos virket enligt följande.

Fuktkvot	10 ± 2 %	16 ± 3 %	25 ± 5 %
Torktid	2 ± 1/2 h	2 1/2 h ± 1/2 h	4 ± 1/2 h

Medelfelet vid bestämning av fuktkvoten vid detta förfarande kan för ett enskilt prov uppskattas till ± 0,5 fuktkvotsprocent. Vid bestämning av ett partis genomsnittliga fuktkvot blir medelfelet något större, beroende på framför allt ofullständigheter vid provtagningen, varför ovan angivna medelfel ökar till ± 1 fuktkvotsprocent.

4.7 Fuktkvot - fukthalt - torrhalt

Inom byggnadsbranschen, livsmedelsbranschen, förbrännings- tekniken (t ex barkeldning) och i vissa fall även inom trä- tekniken uttrycks träets fuktighet i fukthalt (vattenhalt) och torrhalt i stället för fuktkvot. Definitionen för dessa fuktighetsuttryck är

$$\text{fukthalt } f = \frac{\text{vattenvikten i virket}}{\text{träets fuktiga vikt}} = \frac{m_f - m_0}{m_f}$$

$$\text{torrhalt } t = \frac{\text{träets absolut torra vikt}}{\text{träets fuktiga vikt}} = \frac{m_0}{m_f}$$

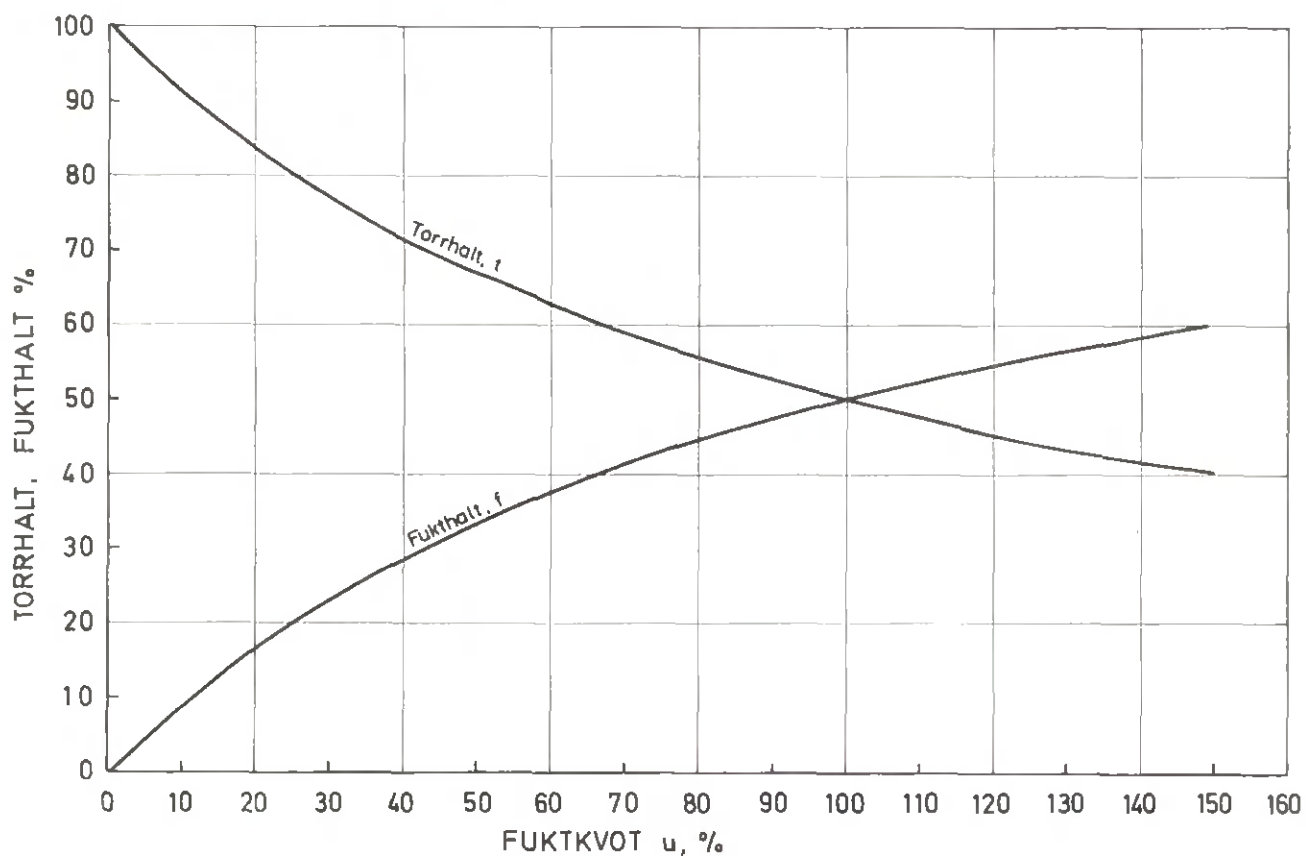
Vill man uttrycka dessa i procent, multipliceras ovanstående uttryck med 100. Det matematiska sambandet mellan de olika fuktighetsuttrycken blir

$$\text{fuktkvot} - \text{fukthalt} \quad u = \frac{f}{1 - f}$$

$$\text{fuktkvot} - \text{torrhalt} \quad u = \frac{1 - t}{t}$$

$$\text{fukthalt} - \text{torrhalt} \quad f = 1 - t$$

I nedanstående figur visas det grafiska sambandet



$$\text{fuktkvot } u = \frac{\text{vattenvikten i virket}}{\text{träets absolut torra vikt}} \times 100 = \frac{m_u - m_0}{m_0} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{fukthalt } f = \frac{\text{vattenvikten i virket}}{\text{träets fuktiga vikt}} \times 100 = \frac{m_f - m_0}{m_f} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{torrhalt } t = \frac{\text{träets absolut torra vikt}}{\text{träets fuktiga vikt}} \times 100 = \frac{m_0}{m_t} \times 100 \quad (\%)$$

Fig. 17 Sambandet mellan fuktkvot, fukthalt och torrhalt

Fuktkvoten (u), fukthalten (f) och torrhalten (t) är ett mått på hur mycket vatten (fukt) som ett ämne innehåller. Så t ex motsvarar en fördubbling av fuktkvoten alltid en fördubbling av ett trästyckes vattenmängd. Däremot ger inte en fördubbling av fukthalten en fördubbling av vattenmängden eller en fördubbling av torrhalten en minskning av vattenmängden med hälften. Sambandet vattenmängd - fukthalt samt vattenmängd - torrhalt är inte proportionellt och ger därför en mer svårtolkad bild av träets vatteninnehåll.

Fuktkvoten är således det för torkningen lämpligaste uttryckssättet. Men även fuktkvoten kan vara missvisande när det gäller att ange vattenmängden i träet. Då två virkestyckena har olika densiteter, motsvarar inte en fördubbling av fuktkvoten hos dessa en lika stor vattenökning. Sambandet följer ekvationen

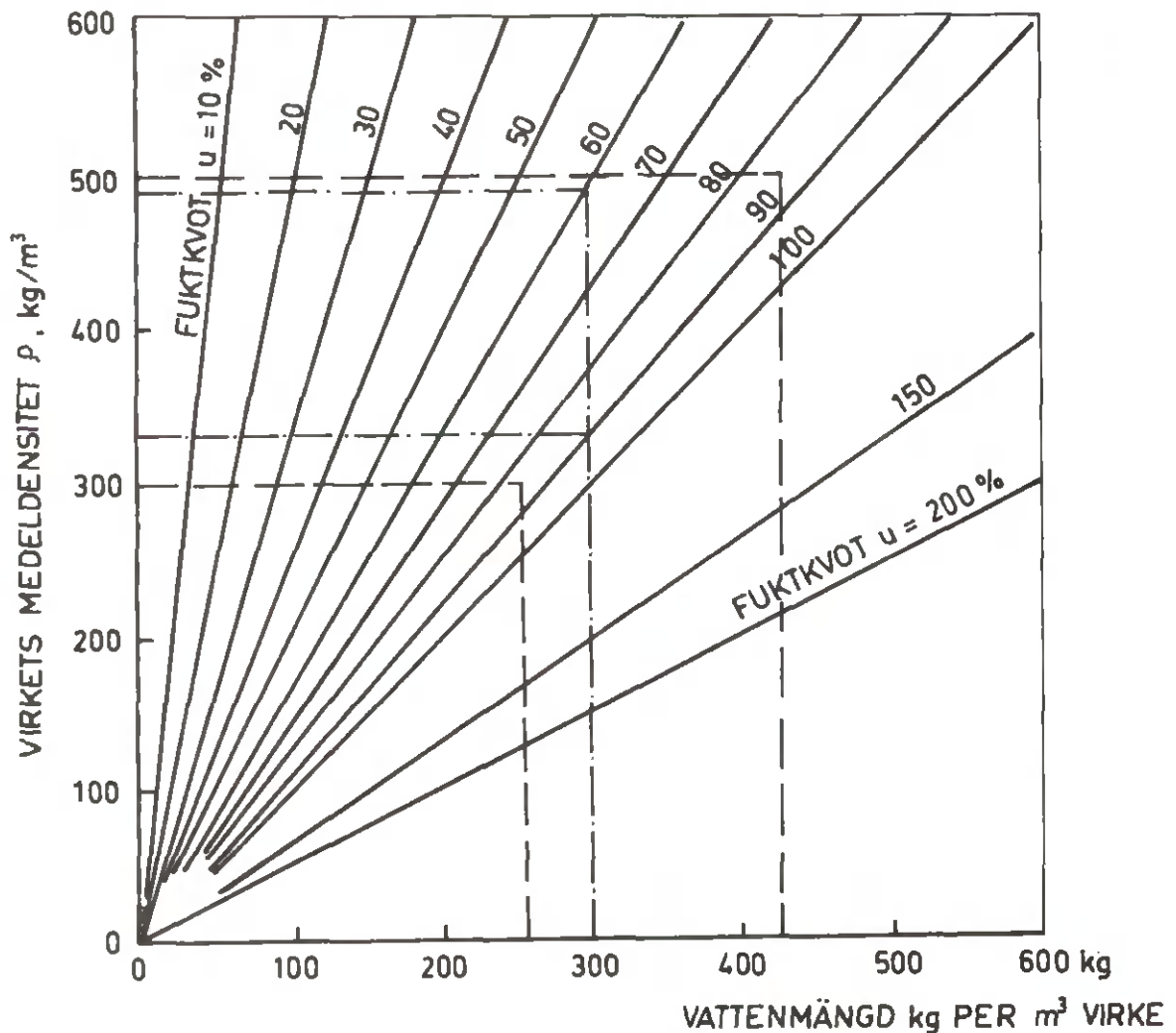
$$m = u \cdot \rho \cdot V \quad \text{kg vatten}$$

där V är volymen trä i m^3 i vått tillstånd. Ju tyngre trä, desto mer vatten i träet vid en och samma fuktkvot.

Hur densiteten kan inverka på fuktkvoten visas här i två exempel.

Exempel 1): Två lika stora virkespartier, som båda har medelfuktkvoten $u = 85\%$, har olika densiteter 300 kg/m^3 respektive 500 kg/m^3 . Hur mycket vatten innehåller virkespartierna?

Lösning: Följ de streckade linjerna i figuren nedan. Man får att det lättaste virket innehåller minst vatten, 255 kg/m^3 (255 liter/m^3 virke) och det tyngsta virket innehåller mest vatten, 425 kg/m^3 (425 liter/m^3). Nästan en fördubbling av vattenmängden trots samma fuktkvot!



Exempel 2): Två lika stora virkespartier innehåller båda 300 liter vatten per m^3 . Hur kommer det sig att de har olika medelfuktkvoter, 60 % respektive 90 %?

Lösning: Virkespartiet med den lägsta fuktkvoten har hög densitet, 495 kg/m^3 och partiet med den högsta fuktkvoten har låg densitet, 330 kg/m^3 .

Man har ofta behov av att kunna beräkna torrvikten m_0 (gram) ur totalvikten m_u (gram) efter det man uppmätt fuktkvoten u (%). Detta kan göras genom ekvationen:

$$m_0 = \frac{m_u}{100+u} \cdot 100 \quad \text{gram}$$

Vill man sedan beräkna vatteninnehållet m (gram) erhålls:

$$m = m_u - m_0 \quad \text{gram}$$

4.8 Felkällor vid bestämning av fuktkvoten genom torr- viktsmetoden

Vid bestämning av fuktkvoten måste man beakta följande felkällor:

- 1) Fuktkvotsproverna sågas ofta med hjälp av en motordriven såg. Friktionen under sågningen kan orsaka att provet förlorar fuktighet. Detta gäller speciellt om provet är tunt och träsektionen stor.
- 2) Provkroppen kan förlora vatten mellan sågningstillfället och vägningen.
- 3) Vågens noggrannhet kan vara låg.
- 4) Torkskåpets temperatur kan vara fel, vilket resulterar i oriktig torrsvikt.
- 5) Stora temperaturskillnader kan föreligga i torkskåpet på grund av överbelastning.
- 6) Torkningstiden kan vara fel. För långa torkningstider = höga fuktkvoter. För korta torkningstider = låga fuktkvoter.
- 7) Virket kan absorbera vatten vid transporten mellan torkskåpet och vägningstationen.
- 8) Skägg och sågspån kan ha fallit av efter första vägningen och orsakat höga fuktkvotsvärden.
- 9) Beräkningsfel kan lätt göras vid uträkningen av fuktkvoten.

4.9 Elektrisk fuktkvotsmätning

De hittills mest kända metoderna att mäta fuktkvoten är:

- 1) Torrviktsmetoden
- 2) Resistansmätning, likström
- 3) Resistansmätning, växelström
- 4) Kapacitansmätning
- 5) Mikrovågsmetoden
- 6) IR-mätning
- 7) Gammastrålningsmetoden
- 8) Neutronstrålningsmetoden
- 9) NMR-metoden (Nuclear Magnetic Resonance)
- 10) Ängbalansmätning
- 11) Destillationsmetoden

Metoderna 1 - 4 är de vanligaste. Mest noggrann av dessa är metod 1 och minst noggrann är 4. Metod 4 skadar dock inte virket (jfr snickerier).

4.9.1 Olika typer av elektriska fuktkvotsmätare

På marknaden föreligger tre typer av elektriska fuktkvotsmätare:

- Typ 1 - Detta instrument baseras på sambandet mellan virkets fuktkvot och dess likströmsresistans.
- Typ 2 - Instrumentet baseras på sambandet mellan virkets fuktkvot och dess växelströmsresistans.
- Typ 3 - Instrumentet baseras på sambandet mellan virkets fuktkvot och dess kapacitans.

Inom sågverksindustrin är instrumenten av typ 1 och 2 de vanligast förekommande. Ett sådant instrument visas i figur 18. Vid användandet av detta instrument slås minst två stift (elektroder) in i virket. Den resistans som en elektrisk likström eller växelström mäter när den passerar mellan de två stiftarna är ett mått på virkets fuktkvot. Ledningsmotståndet vid fuktkvoter över fibermättnadspunkten är relativt konstant medan de vid fuktkvoter under fibermättnadspunkten varierar betydligt. Sålunda är motståndet vid $u = 0\%$ ca 80 000 ggr större än vid $u = 25\%$.

4.9.2 Faktorer som påverkar mätnoggrannheten på elektriska fuktkvotsmätare av motståndstyp

Bestämning av virkets fuktkvot genom uppmätning av det elektriska ledningsmotståndet torde vara möjligt med varierande säkerhet. Fuktkvoter över fibermättnadspunkten ger sådana mätfel att det normalt inte lönar sig att mäta. Mättekniska svårigheter gör även intervallet 0 - 5% mycket osäkert. Det intervall inom vilket metoden syns vara lämplig är sålunda 5 - 25%, se även 4.9.5.

Om man nöjer sig med en ungefärlig uppskattning av fuktkvoten på ca ± 3 fuktkvotsprocent är elektriska fuktkvotsmätare fullt godtagbara men ställer kravet på mer exakt bestämning bör torrviktsmetoden användas. Är fuktkvotsmätaren av god tillverkning, väl kalibrerad mot torrviktsprover för ifrågavarande träslag och är handhavandet riktigt kan noggrannheten bli betydligt bättre, ca ± 1 fuktkvotsprocent.

Vid val av fuktkvotsmätare måste hänsyn tas till följande faktorer:

- mätnoggrannhet inom aktuellt mätområde
- strömförsörjning (ackumulator, batteri)
- elektrodutformning (längd, isolering m m)

- sättet för hantering av instrumentet
- klimat- och stöttålighet
- temperaturkompensering (ingen alls, manuell, automatisk).
- priset (varierar väsentligt på marknaden)

Vid användning av elektriska fuktkvotsmätare måste nedanstående faktorer beaktas.

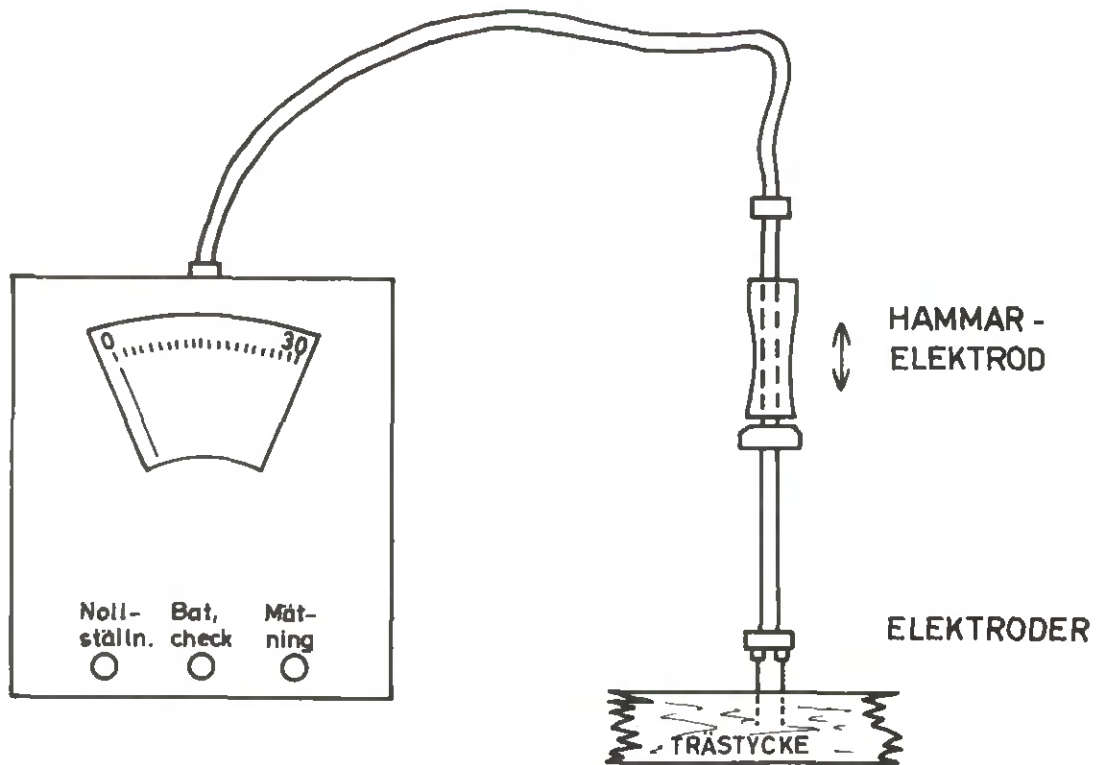


Fig. 18 Elektrisk fuktkvotsmätare av motståndstyp

A. Virkets densitet

Höga densiteter ger något för höga fuktkvotsvärden, medan låga densiteter ger något för låga fuktkvotsvärden. Detta sammanhänger med att virkets resistans är beroende av fuktkoncentrationen per kubikmeter virke och att denna fuktkoncentration varierar direkt med virkets densitet om fuktkvoten är konstant.

B. Virkets temperatur

Vanligtvis är den elektriska fuktkvotsmätaren kalibrerad för att visa rätt värde då virket har en temperatur av 20°C. Vid högre temperaturer ger instrumenten för höga värden och vid lägre temperaturer för låga värden. En del instrument är utrustade med korrigeringstabeller, se figur 19. Andra instrument är utrustade med en justerrätt, så att man efter utförd temperaturjustering direkt kan avläsa det rätta värdet på instrumentet.

C. Inverkan av träslag

Det är inte enbart vattenmängden i virket som påverkar resistansen i virket. Även de i vattnet lösliga salterna har stor betydelse. Träslag rika på elektrolyter (= vattenlösliga salter) ger höga värden, medan träslag fattiga på elektrolyter ger låga värden. Instrumenten är bland annat därför försedda med ett flertal skalor på vilka de vanligaste träslagen är angivna.

Andra instrument har enbart en skala men är försedda med en korrigeringstabell för olika träslag.

D. Virkets fuktkvotsgradient

Normalt är virket som kommer ut ur torken fuktigare i mitten än på ytan och virket har därvid en viss fuktkvotsgradient.

Om elektroderna, dvs stiften som slås in, är oisolerade utmed sin längd, kommer de att ha elektrisk kontakt med virket längs hela inslagningslängden. Den del av stiften som är belägen i det fuktigaste virket har en avgörande betydelse på det avlästa värdet, fig 20 B. Om spetsarna på stiften slås in till den fuktigaste delen av tvär-

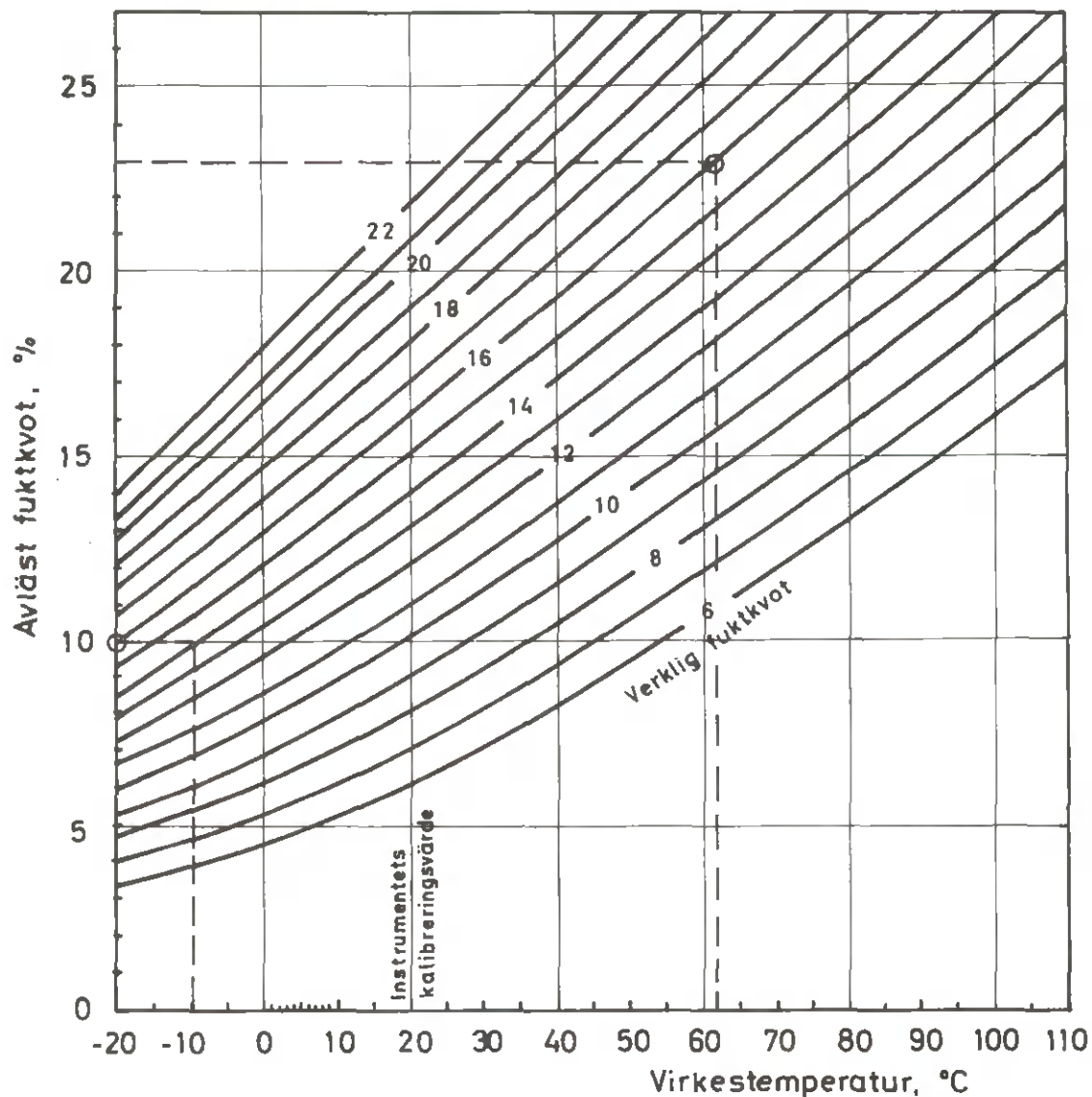


Fig. 19 Korrektionsdiagram för temperaturens inverkan på elektriska fuktkvotsmätare av motståndstyp.

Exempel 1) på en fuktkvotsmätare avläses 10 % vid mätning på virke som stått ute i -10°C kyla.

Den verkliga fuktkvoten är 14 %, dvs 4 % högre.

Exempel 2) På en fuktkvotsmätare avläses 23 % vid mätning på virke som just uttagits från torken. Temperaturen i torken är 63°C .

Den verkliga fuktkvoten är i detta fall 16 %, dvs 7 % lägre.

snittet, blir det alltså detta värde som avläses. Ibland är träytan blötare än det inre virket och i så fall är ytans fuktkvot som avläses. För att säkert kunna fastställa läget för det avlästa fuktkvotsvärdet, har man numera börjat använda isolerade elektroder. Hela stiftlängden, utom själva spetsen, är på dessa elektroder behandlad med ett elektriskt isolerande material. Detta innebär att det på instrumentet avlästa värdet korreponderar med elektrodspetsarnas djup i tvärsnittet. Genom att slå in stiften allt djupare och samtidigt läsa av instrumentet kan man således följa en eventuell fuktkvotsförändring från ytan till mitten på virket.

Den genomsnittliga fuktkvoten för tvärsektionen ifråga (= den fuktkvot som torrviktsmetoden ger) uppnås om elektrodspetsarnas inträngningsdjup är ca 1/5 av virkets tjocklek. Detta under förutsättning att en normal fuktkvotsgradient orsakad av torkning föreligger. Torkhusoperatörens bedömning av medelfuktkvoten för virkestvärsnittet av olika virkesdimensioner under eller strax efter torkhustorkningen är svår att göra. Erfarna torkhusoperatörer brukar emellertid klara detta mycket bra.

E. Elektrodernas kontakt med virket.

För att en elektrisk ström skall kunna flöda från den ena elektroden till den andra fordras givetvis att kontakt föreligger mellan virket och stiften. Dålig kontakt ger låga värden. Kontaktytan måste sålunda vara tillräckligt stor, så att den inte utgör en flaskhals i den elektriska strömkretsen. Instrument med fyra elektroder ger något bättre kontakt än instrument med enbart två elektroder.

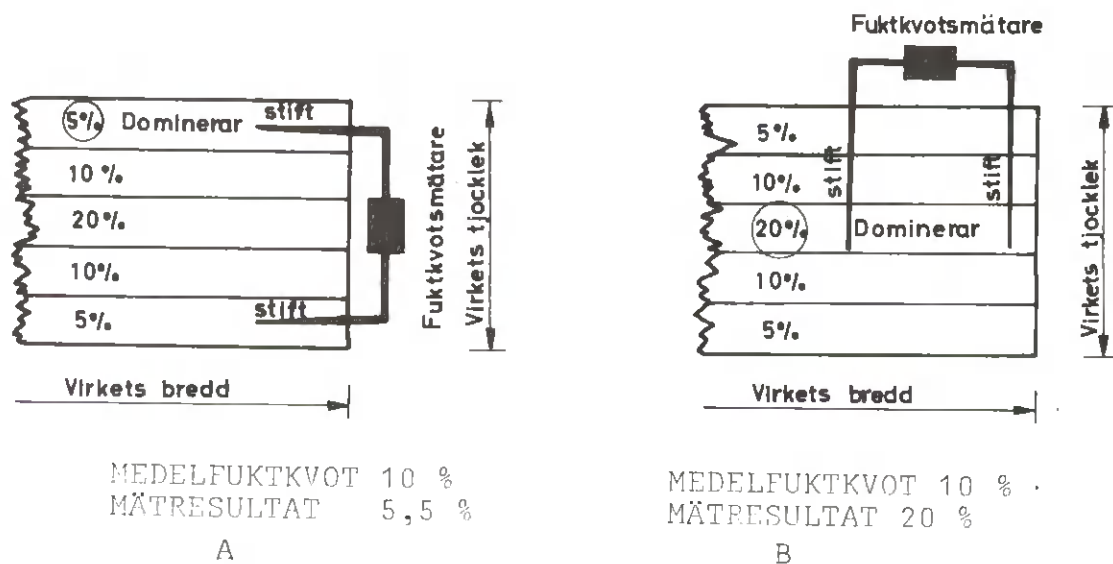


Fig. 20 A) Inverkan på mätresultatet av stiftens placering. Stiftens insätts på plankans kant med strömriktningen vinkelrätt mot fibrerna.

B) Stiftens insätts på plankans flatsida med strömriktningen parallell med fibrerna.

F. Stiftens placering

Den elektriska fuktkvotsmätaren används normalt med stiften indrivna i virket på så sätt att strömmen går i fiberriktningen, dvs i plankans längdled. Insätts stiften vinkelrätt mot fiberriktningen, antingen på flatsidan eller kanten, erhålls något för låga värden för björk och ek. För furu och gran blir felen obetydliga. Man ska för övrigt om möjligt inte mäta virkets fuktkvot i kanten, då kanterna som regel är torrare än virket i övrigt (fig 20 A)

Stiften bör även slås in i virket på ett representativt ställe och man bör därvid undvika

- virkesändar
- kvistar
- kådrika områden
- bark

blånad
 röta
 sprickor
 snedfibrighet
 vresved

G. Impregnerat virke

Virke som på ett eller annat sätt är behandlat med salter, t ex mot blånad och röta, ger för höga värden då den elektriska fuktkvotsmätaren används. Det är svårt att ange en korrektionsfaktor. Man bör från fall till fall jämföra med torrviktsmetoden. Som riktvärde kan anges att vid impregnering med 12 - 16 kg/m³ (Celcure, Tanalith, Boliden K33 och Basilit UAS) visade en fuktkvotsmätare 2 - 3 fuktkvotsprocent för mycket. Oljeliknande impregneringsmedel, t ex kreosotolja, har en mycket liten inverkan på mätvärdena. I en del fall har man dock noterat något för låga värden.

4.9.3 Den elektriska fuktkvotsmätarens fördelar.

Den elektriska fuktkvotsmätaren

1. är enkel att använda
2. ger många värden inom en kort tidsrymd
3. ger snabbt en bild av fuktkvotsgradienten och fuktkvotsspridningen hos ett parti virke än vad som praktiskt kan erhållas genom torrviktsmetoden.
4. orsakar inte att virke går förlorat
5. minskar det manuella arbetet
6. är liten och kan med lätthet bäras omkring inom fabriksområdet
7. är lämplig för snabbkontroller under löpande produktion.

4.9.4 Antal mätvärden

Ett litet antal prov enligt torrviktsmetoden ger en mycket noggrann bild av fuktkvoten hos de provtagna virkesbitarna. Medelvärde från ett större antal fuktkvotsmätningar resulterar i en bättre bild av fuktkvoten hos det aktuella virkespartiet som en helhet. (kap 4.10)

Spridningen av mätvärdena visar också vilken fuktkvotsvariation, som finns i partiet.

Vid noggranna mätningar, t ex vid reklamationer, bör man mäta 10 % av partiet ifråga, men gör aldrig mindre än 15 prov. Provbitarna väljs ut slumpmässigt och endast ett prov tas ut per planka. Mätaren måste vara väl kalibrerad för ifrågavarande träslag (kalibrering mot torrviktsprover).

Vid fuktkvotsmätning på en planka, bör minst 3 värden tas för att man ska erhålla ett genomsnittsvärde. Man bör komma ihåg att varje fuktkvotsvärde, som erhålls med hjälp av en elektrisk fuktkvotsmätare, endast gäller för virket i omedelbar närhet av elektroderna.

4.9.5 Den elektriska fuktkvotsmätarens mätområde

I sitt normala utförande är den elektriska fuktkvotsmätarens nedre mätgräns omkring 5 fuktkvotprocent. Vid lägre fuktkvoter måste en så hög spänning användas att instrumentet bör vara nätanslutet. Den övre mätgränsen bestäms av att verkets elektriska motståndsförmåga minskar obetydligt med ökad fuktkvot över fibermättnadsgränsen. Den övre praktiska gränsen är således fibermättnadspunkten, även om en del instrument är kalibrerade och försedda med skalor för högre fuktkvotsvärden (stora mätfel), se även 4.9.2

4.10 Bestämning av fuktkvoten för ett virkesparti

Fuktkvoten i ett virkespaket är i allmänhet starkt inhomogen, vilket gör en mätning av medelfuktkvoten svår att utföra med större noggrannhet. En lokal fuktkvot kan bestämmas noggrant genom torrviktsmetoden (kap 4.5). Ju fler provbitar som kommer till användning, desto noggrannare värde kan man få på medelfuktkvoten och desto bättre kan man också få en uppfattning om på vilket sätt den lokala fuktkvoten sprider omkring medelvärdet.

Om man antar att de lokala fuktkvoternas spridning är av rent tillfällig natur, blir fuktkvoterna "normalfördelade" och man kan ange relativt enkla statistiska regler för hur mätvärdena ska tolkas. Vi antar att n st provbitar kommit till användning för bestämning av medelfuktkvoten i ett virkespaket och att provbitarnas fuktkvoter bestämts till värdena u_i , där $i = 1 \dots n$. Medelfuktkvoten u_m definierar man då som det aritmetiska mediet av fuktkvoterna u_i , dvs

$$u_m = \frac{u_1 + u_2 + \dots + u_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i$$

Som mått på spridningen av de olika värdena u_i från medelvärdet u_m används den sk standardavvikelsen s

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - u_m)^2} \quad \text{eller} \quad s = \sqrt{\frac{\sum (u_i - u_m)^2}{n-1}}$$

Detta spridningsmått innebär att ca 68 % av de uppmätta fuktkvoterna u_i ligger inom fuktkvotsintervallet $u_m \pm s$ och att ca 95 % ligger inom intervallet $u_m \pm 2s$.

I en del räknedosor (pris ca 350:- kr 1976) är ovanstående ekvation inprogrammerad. Detta gör att så gott som ven som helst kan beräkna standardavvikelsen s .

Standardavvikelsen kan användas för att kontrollera hur många fuktkvotsprover som erfordras för att den beräknade medelfuktkvoten u_m med 95 % statistisk säkerhet ska ligga inom ett visst "konfidensintervall" ^{a)} $u_m \pm \Delta u_m$. Beräkningen kan utföras med hjälp av tabell 3. Om exempelvis antalet provbitar är $n = 10$ och medelfuktkvoten för dessa bestämts till $u_m = 20,0$ % med standardavvikelsen $s = 2$ %, blir enligt tabellen $\Delta u_m = 0,72 \cdot 2 = 1,44$ %. Medelfuktkvoten är då med 95 % säkerhet $u_m = 20,0 \pm 1,4$ %. På bas av mätningarna vet man således att medelfuktkvoten ligger mellan 18,6 och 21,4 %. Ett exaktare värde på medelfuktkvoten kan inte anges på bas av dessa mätningar.

Tabell 3 Konfidensintervallet för 95 % statistisk säkerhet i medelfuktkvoten

n	$\Delta u_m/s$	n	$\Delta u_m/s$
3	2,5	20	0,47
4	1,6	30	0,37
5	1,24	50	0,28
6	1,05	100	0,20
8	0,84	200	0,14
10	0,72		

a) Intervall inom vilket det sanna värdet ligger med en viss statistisk säkerhet, t ex 95 %.

Med hjälp av tabell 3 kan man beräkna hur många provbitar n som erfordras vid olika standardavvikelser s för att konfidensintervallet ska vara t ex 2 % ($u_m = \pm 1$ %), se figur 21. Av figuren ser man att erforderligt antal prov-

bitar n växer starkt med ökad standardavvikelse s . Vid torkning av exportvirke är det inte ovanligt att standardavvikelsen blir omkring 3 %. Enligt figur 21 (nedre skalan) erfordras då 35-40 provbitar för att man ska kunna bestämma medelfuktkvoten med noggrannheten ± 1 %. Vid torkning till lägre fuktkvoter blir standardavvikelsen mindre och det erforderliga antalet provbitar blir då också mindre.

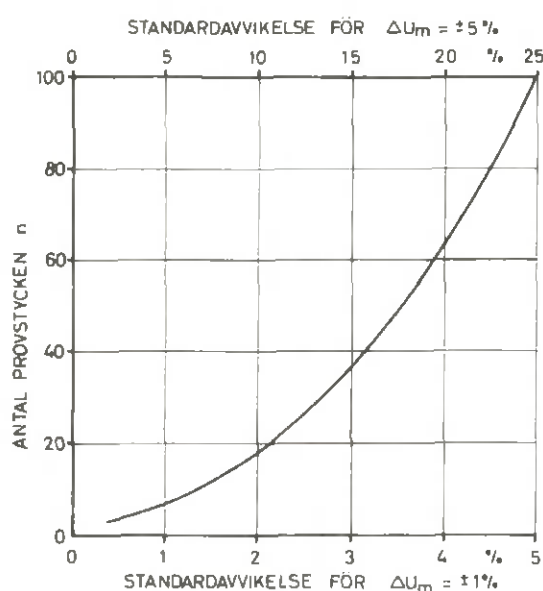


Fig. 21 Erforderligt antal provbitar vid fuktkvotkontroll vid olika standardavvikelser s för att konfidensintervallet för medelfuktkvoten skall bli $\Delta u = \pm 1$ % (undre skalan) och $\Delta u_m = \pm 5$ % (övre skalan)

En bestämning av medelfuktkvoten före torkningen bör, om det överhuvudtaget ska vara meningsfullt att bestämma den, ge noggrannheten \pm ex ± 5 . Man kan då alltså ange inom vilket 10 %-intervall medelfuktkvoten ligger. Figur 21 (övre skalan) visar antalet provbitar som erfordras för att denna noggrannhet ska uppnås vid olika värden på standardavvikelsen s . Denna uppgår ofta för nysågat virke av furu och gran till ca $s = 20$ %, vilket således enligt figur 21 ger antalet erforderliga provbitar $n = 63$ för att den verkliga medel-

fuktkvoten säkert ska ligga inom ett på bas av mätningarna beräknat 10 %-intervall.

Om man vid satstorkning (kap 9.2 och 12.5) följer torkningen med exempelvis 5 st provbräder, blir vid torkningens början konfidensintervallet $\Delta u_m = 1,24 \cdot 20 = 25 \%$ om $s = 20 \%$. Om medelfuktkvoten beräknas till omkring 70 % vet man, om provbräderna utvalts slumpvis, endast att medelfuktkvoten i verkligheten ligger mellan 45 % och 95 %.

Av exemplen framgår att det i praktiken är mycket svårt att bestämma den ingående medelfuktkvoten. Ett fåtal lokala fuktkvotsbestämningar kan ge helt vilseledande resultat.

Om man bestämmer de lokala fuktkvoterna på indirekt väg, exempelvis med en elektrisk fuktkvotsmätare av motståndstyp, sker bestämningarna snabbt och enkelt och man kan utan större svårigheter mäta ett stort antal lokala fuktkvoter. Ett relativt snävt konfidensintervall kan då erhållas, men sådana mätare ger fel i de lokala fuktkvoterna av såväl tillfällig som systematisk natur och dessa fel kan vara betydande och svåra att kontrollera.

Vid fuktkvotskontroll i praktisk drift föredrar man vanligen elektriska fuktkvotsmätare på grund av metodens enkelhet och snabbhet. Ett någorlunda tillförlitligt resultat förutsätter då, att man gör ett stort antal fuktkvotsbestämningar och att fuktkvotsmätaren kontrolleras under rådande driftsförhållanden med fuktkvotsbestämningar enligt torrviktsmetoden.

Som illustration till noggrannheten i en bestämning av medelfuktkvoten före torkning enligt torrviktsmetoden visas i figur 22.

4.13 Lämplig fuktkvot i furuvirke efter torkning i virkestork

4.13.1 Sågverkstorkning

Förr talade man om att virket skulle vara "skeppningstorrt" innan det fick lämna virkestorken. Skeppningstorrt var ett relativt svävande begrepp som innebar att virket kunde skeppas utan att mögel och blånad kunde uppstå. Skeppningstorrt innebar att man ansåg att virkets medelfuktkvot skulle vara 20-25 %.

Idag är kravet ca 18 % medelfuktkvot eller lägre.

Uttrycket skeppningstorrt finns fortfarande kvar, men man vet att det inte enbart är medelfuktkvoten som är av betydelse vid uppkomsten av mögel och blånad, utan även spridningen av fuktkvoten är av lika stor betydelse.

Storleken av den fuktkvotsspridning man normalt får i ett virkespaket efter artificiell torkning, minskar ju längre ned virket torkas. Som ett extremfall kan man tänka sig ett virkespaket med en ingående medelfuktkvot på 85 % och en spridning (standardavvikelse) på 20 %. Om detta virkespaket torkas ned till 0 % medelfuktkvot, blir naturligtvis även standardavvikelsen 0 %. Medelfuktkvoten sjunker således från 85 % till 0 % samtidigt som standardavvikelsen sjunker från 20 % till 0 % dvs standardavvikelsen är en funktion av medelfuktkvoten.

För att förhindra mögel och blånad mellan virkesbitarna i ett klosslagt virkespaket (vid transport av virket), får inte medelfuktkvoten eller fuktkvotsspridningen vara för hög. Är t ex medelfuktkvoten 20 % och standardavvikelsen 3 %, så finns det statistiskt sett ett flertal virkesbitar (ca 5 %) med fuktkvoten $20 + (2 \cdot 3) = 26$ % eller mer. Erfarenhetsmässigt vet man att standardavvikelsen inte bör överstiga 2 %, fig 29.

STANDARDVIVIKELSE (s)
FÖR DEN UTGÅENDE
FUKTKVOTEN, %

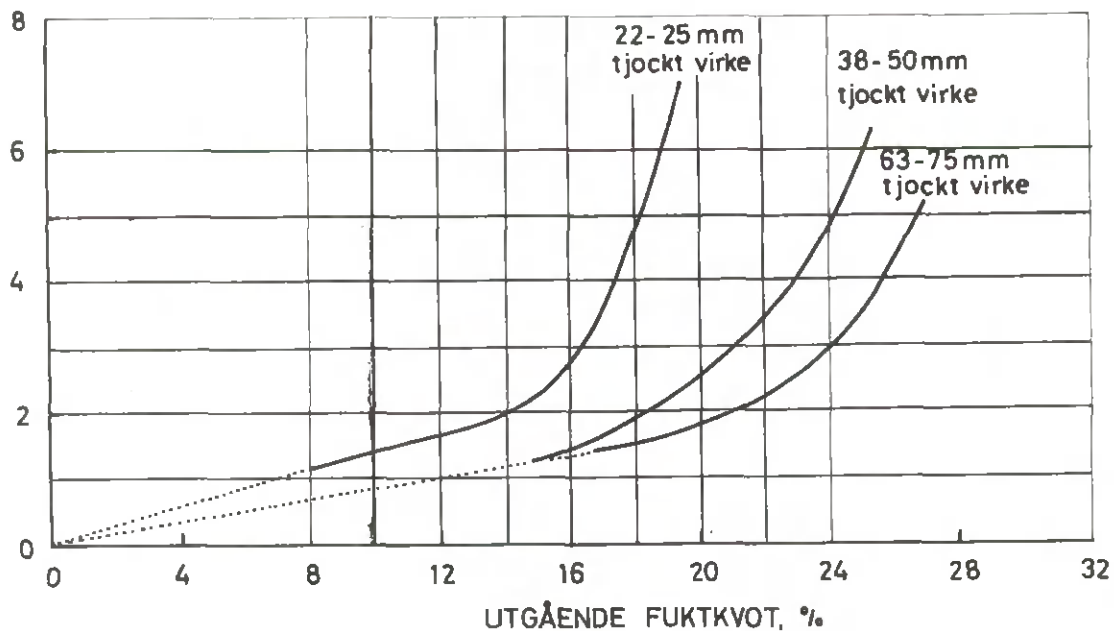


Fig. 29 Sambandet mellan utgående medelfuktkvot och standardavvikelse i virkespaket från ett 20-tal olika sågverk.

Kurvorna i figur 29 kan variera något beroende på typ av virkestork, torkningsschema, virkets förbehandling m m.

Sammanfattningsvis bör inte det utgående virkets fuktkvot vid artificiell torkning överstiga värdena i tabell 7.

Tabell 7

Virkes- tjocklek mm	Utgående fuktkvot %	Standard- avvikelse %
19 - 25	15	2
38	17	2
50	18	2
63 - 75	20	2

Att vid sågverken torka virket till lägre fuktkvoter än 15 % är slöseri med energi eftersom den relativa luftfuktigheten utomhus återför virket ganska fort till en jämviktsfuktkvot på 15 - 20 %. Efter torkningen avströas virket i allmänhet och klossläggs. I samband med klossläggningen sker nu för tiden ofta en emballering med papper eller plast.

Om inte virket genast försäljs, förvaras det i ett virkesmagasin eller ute på brädgården. Tiden efter torkningen och tills virket nått köparen beror på konjunkturen och kan uppgå till över ett år. Genomsnittligt i Sverige 1973 omsattes virkeslagret var 3:e månad (inkluderat sågverkets lagerhållning av köparens virke). Under denna tid måste virket skyddas mot uppfuktning (fuktigt klimat, kondensvatten, regnvatten m m) för att inte mögel och blånad ska uppstå. Många sågverk har tvingats prova sig fram i brist på allmän information.

Vid STFI har under 1975 en stor undersökning genomförts med titeln "Emballering av sågat och hyvlat virke". Där framgår bl a att

- i allmänhet är det ekonomiskt lönande att toppemballera
- i allmänhet är det ännu mer lönande att heleemballera (5-sidig emballering).

- kostnaden för helemballering är ca 2 % av virkets värde (ca 20:- för 1 x 1 x 4 m-paket, 1975)
- om endast 3 furuplank eller en furubräda i ett virkespaket måste klassas ned från o/s på grund av fuktskador på virket, blir värdeförlusten lika stor som materialkostnaden för toppemballering.
- någon form av kantlist är lämplig för att förhindra att emballeringen går sönder och förhindra inträngning av spännbanden.
- vid 6 månaders lagring (dec - maj) av toppemballerade plankpaket (papperet över översta virkeslagret) ökade paketens medelfuktkvot vid

sågverk A) från 20,3 till 20,6

sågverk B) från 18,7 till 19,7

Medelfuktkvotsökningen blev större ju mindre virkets dimensioner var och kunde uppgå till $24,0 - 18,9 = 5,1$ %.

- kvalitetsförskjutningar på grund av emballageskador kan bli betydande och kan värdemässigt uppgå till 10 - 20 gånger kostnaderna för emballeringen, vilket visar att det är god ekonomi att emballera bättre. (Emballerings-skador uppstår på dåligt iordningsställda paket, vid stark vind, koncentrerad avrinning från paketen, dåligt papper/plast, förskjutningar av virket vid transport, felaktig uppställning m m).
- hög medelfuktkvot ger kondensrisk i paketen.
- plastemballerat paket bör ha torkats till 16 % medelfuktkvot och standardavvikelsen max 2 %. För att förhindra eventuellt "takdropp" kan ett papper läggas mellan översta lagret och plasten.
- vid toppemballering hade fabriken Rasco B och Timwrap genomsnittligt bästa resultaten.

- det är av stor vikt att emballagepapperets styrkeegenskaper är goda och att emballageplasten motstår intensiv solbestrålning.

Kravet från olika håll att sågverken ska leverera virke med lägre fuktkvoter börjar öka. Emballeringen, som ovan visats, är ett av problemen i detta avseende, se vidare kap 4.15.

4.13.2 Snickeritorkning

Vid snickerier torkas virket i satstorkar (kap 9.2) eller eventuellt i progressiva tvärcirkulationstorkar (kap 9.3). Den utgående fuktkvoten måste anpassas efter den färdiga produkten, tabell 8. Vanligtvis motsvarar den ingående fuktkvoten den utgående fuktkvoten vid sågverkstorkningen.

Tabell 8a Lämpliga fuktkvoter för färdiga produkter

Möbler, kryssfanér o d i hus med centralvärme	5-7	%
Innerdörrar, inredningar, parkett o d i hus med centralvärme	6-8	%
Möbler, kryssfanér o d i hus med kakelugnsuppvärmning och öppen spis	9-12	%
Innerdörrar, inredningar, parkett o d i hus med kakelugnsuppvärmning och öppen spis	10-13	%
Fönster, ytterdörrar, byggnadsvirke och föremål som endast delvis används utomhus	12-15	%
Virke och föremål av trä som ständigt förvaras utomhus men skyddade för nederbörd	14-18	%

Tabell 8b Benämningar för olika fuktkvotsnivåer

Ugnstorr, möbelstorr	6-10 %
Rumstorr, snickeristorr	10-15 %
Limningstorr (karbamid- och fenolharts- limningar)	14 %
Hyvlingstorr	15-19 %
Luftstorr	15-23 %
Fuktigt, skogstorr	25-30 %
Våtfuktkvot	> 30 %
Råfuktkvot, grön fuktkvot, färskt trä	30-300 %
	(fuktkvoten i det växande trädet)

4.14 Bestämmelser

I SIS-normerna (SIS 23 27 11) finns det inga bestämmelser för det sågade virkets fuktkvot. Det anges endast att de gällande nominella virkesmått ska gälla för en fuktkvot av 20 %, samt att

- 1) för högst 10 % av ett levererat antal virkesstycken får måtten underskridas med 1 mm för mått t o m 99 mm och 2 mm för mått fr o m 100 mm
- 2) för resten av leveranspartiet får måtten inte underskridas.

För hyvlat virke finns bestämmelser i SIS 23 27 12.

"Virkets fuktkvot ska vid leveransen vara 17 ± 2 %. Minst 95 % av det levererade partiet ska uppfylla detta krav".

17 ± 2 % fuktkvot motsvarar alltså en medelfuktkvot på 17 % och en standardavvikelse (kap 4.10 och 4.11) på ca 1 %. En standardavvikelse på 1 % för t ex grovt hyvlat virke fordrar en mycket noggrann torkning med efterföljande konditionering. Bestämmelser och rekommendationer som för närvarande föreligger visas i tabell 9.

5. KRYMPNING OCH SVÄLLNING. ANISOTROPI

5.1 Inledning

Med träets krympning menas den volymminskning som under torkningen sker, då cellväggarna sammandras vid det s k fibervattnets (kap 4.2) bortgång (från ca 30 % fuktkvot och nedåt).

Uppmätta krympningsvärden blir emellertid aldrig exakt lika på grund av olikartade spänningsförhållanden som uppträder vid krympningen. De olika spänningsförhållandena beror i sin tur på skilda torkningsbetingelser, trästyckets form osv. Under vissa omständigheter, och särskilt för vissa träslag, kan nämligen ett cellsvinn inträda. Den mest utpräglade formen av cellsvinn kallas kollaps. Sådan volymminskning som sålunda inte rubriceras som krympning i egentlig mening, är vanligtvis förknippad med vattnets bortgång redan över fibermättnadsfuktkvoten. För svenska träslag har cellsvinnet ringa betydelse. Lokalt svinn kan dock förekomma, exempelvis vid högtemperaturtorkning av lövträ från hög utgångsfuktkvot, för ek även vid lägre torkningstemperatur. I stort sett ökar volymkrympningstalet (β_v) och volymsvällningstalet (α_v) med ökad densitet.

Hur mycket träet krymper beror i första hand på hur långt ned det torkas, dvs på dess fuktkvot. Krympningen är i

stort sett proportionell mot den borttorkade mängden fiber-
vatten. Man får därför ett ungefär linjärt samband mellan
krympning och fuktkvot, figur 30. Se även fig 7, kap 1.4.

I relativt snabbt torkande virke, t ex i en virkestork,
igångsätts krympningen i ytskiktet trots att virkets medel-
fuktkvot är långt över fibermättnadsgränsen. Vid sågverks-
torkning av rått 75 mm tjockt furuvirke, börjar krympningen
redan under första dygnet, se även fig 33.

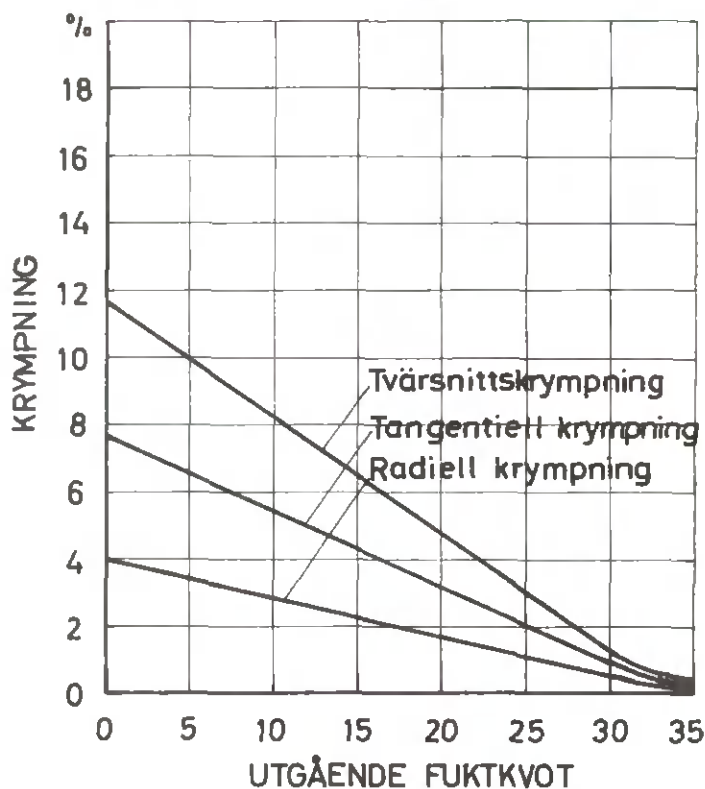


Fig. 30 Krympning av nysågat furuvirke vid
mycket långsam torkning (torkning
med minimal fuktkvotsgradient)

5.2 Krympning i olika huvudriktningar

På grund av träets uppbyggnad är krympningen inte densamma
i virkets tre huvudriktningar (tangentiell, radiell och
axiell riktning). I axiell riktning (fiberriktningen, dvs
i träets längdriktning) är krympningen obetydlig, 0,1-0,35 %
och kan i allmänhet försummas.

Den största krympningen sker tangentiellt (längs årsringarna) och är i allmänhet 1,5 à 2 gånger större än i radiell riktning (vinkelrätt mot årsringarna). Med detta tal brukar man således ange förhållandet mellan träslagets tangentiella och radiella krympning. Detta förhållande brukar kallas för krympningsanisotropin. Ur torkningssynpunkt är låg krympningsanisotropi att föredra (lägre krympningsspänningar).

Rätt stora skillnader i såväl krympning som krympningsanisotropi föreligger mellan olika träslag. I tabell 10 anges tangentiell och radiell krympning samt krympningsanisotropin för några vanliga träslag från rätt tillstånd till 0 % fuktkvot, varvid krympningen räknas som måttminskning i % av måttet i rätt tillstånd. Krympningsanisotropin är låg hos populära snickeriträslag såsom furu, mahogny, teak m fl.

Tabell 10 Krympningstal β för olika träslag

Träslag	Krympning till 0 % fuktkvot				Densitet
	Tangentiellt β_t %	Radiellt β_r %	Anisotropi $\frac{\beta_t}{\beta_r}$ %	Volym β_v %	$\rho_{15,15}$ kg/m ³
Al	7,3	4,4	1,7	12,6	530
Alm	8,3	4,6	1,8	13,8	680
Ask	8,0	5,0	1,6	13,6	720
Asp	6,9	3,3	2,1	13,5	490
Björk	7,8	5,3	1,5	14,2	650
Bok	11,8	5,8	2,0	17,6	730
Ek	7,8	4,0	2,0	13,6	660
Furu	7,7	4,0	1,9	12,4	530
Gabon	6,6	4,1	1,6		
Gran	7,8	3,6	2,2	11,4	470
Hickory	11,0	7,8	1,4	20,4	810
Kastanje	6,4	4,3	1,5		
Lind	9,1	5,5	1,7		
Lärk	7,8	3,3	2,4	11,8	590
Lönn	8,2	3,1	2,6		
Mahogny	5,1	3,2	1,6	8,9	500
Pil	6,8	3,9	1,7		
Pockenholz	9,3	5,6	1,7	15,0	1230
Poppel	8,3	5,2	1,6		
Teak	5,8	3,0	1,9	9,7	690
Valnöt	7,5	5,4	1,4	13,9	680

Orsaken eller orsakerna till den olikartade krympningen i tangentiell och radiell riktning är ännu inte klarlagda. Ett flertal antaganden har gjorts men svårigheten att klarlägga och separera inflytandet av en orsak från andra möjliga orsaker har gjort att någon enkel förklaring inte kan ges till krympningsanisotropin. Av de teorier som framförts är följande värda att återges.

- 1) Märgstrålarna som går vinkelrätt mot årsringarna har en återhållande inverkan på dimensionsförändringar i den radiella riktningen.
- 2) Årsringen är uppdelad i två zoner, ljus och lätt vårved samt mörk och tung sommarved. Sommarveden tenderar att svälla och krympa mer än vårveden på grund av sommarvedens högre densitet. Vårveden som ligger mellan två sommarvedszoner tvingas därför att i den tangentiella riktningen svälla respektive krympa lika mycket som den omgivande sommarveden. När detta sker uppstår givetvis vissa torkningsspänningar (krympningsspänningar) mellan de olika vedzonerna.

I den radiella riktningen ligger de olika zonerna i serie med varandra och inverkar således inte på varandras krympnings- och svällningsrörelser.

Teorin bygger alltså på att svällning i den tangentiella riktningen kontrolleras av sommarvedens densitet medan den radiella krympningen avgörs av den genomsnittliga densiteten av sommar- och vårvedsbanden, dvs verkets genomsnittliga densitet.

- 3) Det har också antagits att fördelningen av cellmaterialet mellan de olika väggarna är sådan, att den tangentiella krympningen är större än den radiella.
- 4) En annan teori bygger på att skillnaden i krympningen

beror på olikheter i struktur och den kemiska sammansättningen av radiella och tangentiella väggar.

För närvarande finns det alltså många teorier för att förklara virkets krympningsanisotropi. Alla förklaringar är troligen till en viss mån riktiga, men deras betydelse varierar förmodligen från träslag till träslag.

5.3 Längdkrympning i samband med tryckved (tjurved)

Det har tidigare påpekats att virkets längdkrympning är minimal och i allmänhet kan försummas. Tjurveden hos barrträden utgör ett av undantagen från denna regel. Detta beror på att tjurvedscellerna har en strukturell uppbyggnad som orsakar en ökad längdkrympning som kan uppgå till flera procent. Samtidigt minskar den tangentiella och den radiella krympningen något. Då tjurveden som regel inte förekommer jämnt fördelad över hela plankan, utan endast finns längs ena sidan, uppstår allvarliga deformationsfel då plankan torkas. De ojämna krympningsförhållandena gör att sådana fel som skevhet, kantkrokighet och flatböjdhet lätt kan uppkomma. Sådana fel bedöms inte som torkningsfel vid driftstekniska mätningar på torkar.

5.4 Inverkan av virkets densitet på krympningen

Förutom av redan nämnda orsaker, beror krympningen även på andra faktorer. Exempelvis krymper i regel tyngre trä mera än lättare. De i tabell 10 angivna krympningsvärdena gäller därför endast som medelvärden och betydande avvikelser kan inträffa i enstaka fall. Figur 31 visar t ex förhållandet mellan volymetrisk krympning och varierande fuktkvot för 22 mm tjocka furubräder (*Pinus taeda*) med fyra olika densiteter.

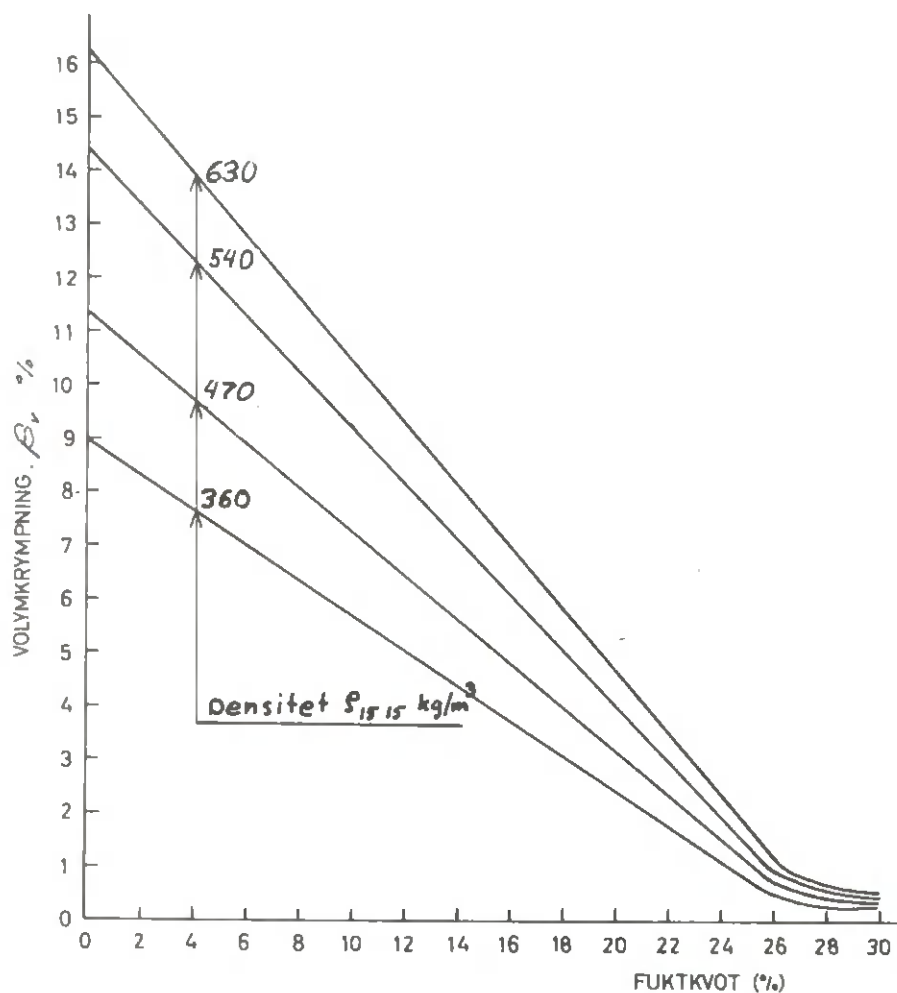


Fig. 31 Förhållandet mellan fuktkvot och volymkrympning för 22 mm furubräder (*Pinus taeda*) av varierande densitet.

Av figuren framgår t ex att vid fuktkvoten 10 % kan volymkrympningen variera mellan 5,6 och 10,5 % beroende på virkets densitet.

Mellan krympningstalet β_{vmax} och densiteten ρ (kap 1.4) råder genomsnittligt för svensk furu och gran det enkla sambandet $\beta_{vmax} \approx 0,028 \rho$, uttryckt i procent.

5.5 Inverkan av vattenlösliga extraktivämnena på krympningen

Träslag med hög andel vattenlösliga extraktivämnena krymper alltid mindre än träslag med låg andel vattenlösliga ekstrak-

tivämnen. Detta beror på att ämnena i viss mån "blockerar" krympningen. När vattnet avdunstar under torkningen, lämnas de vattenlösliga extraktivämnena kvar inuti cellväggarna. Detta gör att cellväggarna till en viss mån bibehåller den svällda volymen även i torrt tillstånd. Dessa träslag har som regel även en låg fibermättnadspunkt, ner till 20 fuktkvotsprocent mot normalt 27-30 fuktkvotsprocent. Om man extraherar (urlakning i varmt vatten) de vattenlösliga extraktivämnena, uppvisar dessa virkessorter normala värden för fibermättnadspunkten och krympningen.

5.6 Inverkan av kärna och splint

Vid t ex furu och gran är fuktkvoten i splinten vid nysågat virke väsentligt högre än i kärnan. I ett planktvärsnitt enligt figur 32 är fuktkvoten i splinten före torkningen t ex 100 %, medan kärnans fuktkvot obetydligt överskrider fibermättnadsfuktkvoten. Sedan torkningen fortskridit en tid, får man i princip de förhållanden som anges i figur 32, nedre bilden. Splintens fuktkvot är fortfarande över fibermättnad, medan kärnans fuktkvot kommit under densamma. Kärnan har därför börjat krympa medan splinten ännu har oförändrad volym. I gränsområdet mellan kärna och splint uppstår då en viss spänning (skjuvspänning), som kan ge upphov till en viss permanent försvagning av materialet, se även kap 1.2 och 7.6.

Förhållandet maximala volymkrympningen β_{vmax} och densiteten ρ enligt kap 5.4 är i medeltal för

$$\text{kärnan } \beta_{vmax} \approx 0,022 \rho (\%)$$

$$\text{splinten } \beta_{vmax} \approx (0,031 \pm 0,005) \cdot \rho (\%)$$

dvs kärnan krymper betydligt mindre än splinten.

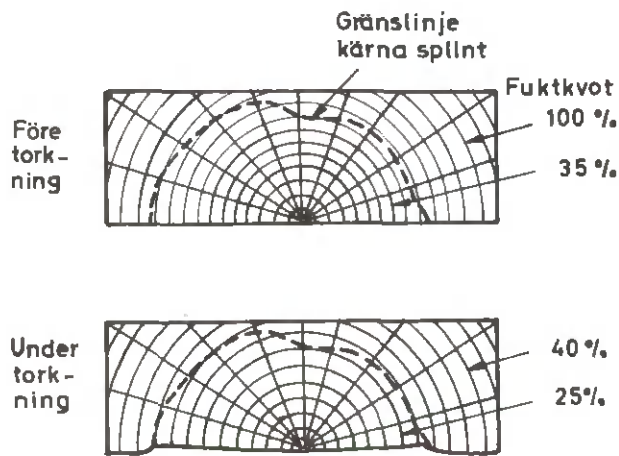


Fig. 32 Krympningsförhållanden i gränsområdet mellan kärna och splint i en 75 mm furuplanka.

5.7 Volymkrympning

Den procentuella volymkrympningen är lika med summan av krympningen i de tre huvudriktningarna (tabell 10). Ytkrympningen av ett tvärsnitt vinkelrätt mot fibrerna är ungefär lika med summan av krympningen i tangentiell och radiell riktning. Då krympningen längs fibrerna är obetydlig såsom ovan nämnts är således den procentuella volymkrympningsförlust som inträder vid torkningen i stort sett lika med den procentuella tvärsnittskrympningen.

Exempel: Torkning av furu till 0 % fuktkvot

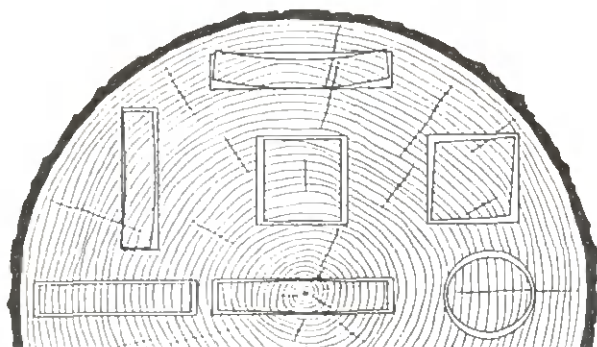
Tangentiell krympning	7,7 %
Radiell krympning	4,0 %
Tvärsnittskrympning	11,7 %
Volymkrympning, β_v	ca 11,7 %

5.8 Krympningens praktiska betydelse

Man måste i ett flertal sammanhang ta hänsyn till träets krympning (resp svällning vid fuktupptagning). De viktigaste

exemplen på detta är:

- 1) På grund av att träet strävar att anta en jämviktsfuktkvot som svarar mot den omgivande atmosfären, måste virket torkas till den fuktkvot som svarar mot lufttillståndet vid användningen. I annat fall inträder krympnings- eller svällningsrörelser som kan äventyra träkonstruktionens funktion eller utseende,,se fig. nedan.
- 2) Fuktkvoten, som efter torkning är lägre i virkets yt-skikt än i dess inre, måste utjämnas (konditioneras), eftersom bearbetning eller lagring av virket annars åtföljs av icke önskvärda deformationer (fig 33), kap 12.4.
- 3) Om sågning sker i rått tillstånd måste ett mot krympningen svarande (och även av sågningsnoggrannheten beroende) måttillägg ges, så att det torkade virket får avsett mått. Som framgår av figur 30 är krympningens storlek beroende av den utgående fuktkvoten. Det är därför självklart att frågan om virket håller måttet eller ej måste ses mot bakgrunden av virkets utgående fuktkvot. Det bör observeras att krympningsanisotropin medför att det sågade virkets tjockleks- och breddkrympning beror på hur virket sågats ur stocken (liggande resp stående eller sneda årsringar). Tvärsnittskrympningen och volymkrympningen är dock relativt oberoende härav.
- 4) Vid virkets torkning är de med krympningen förknippade spännings- och deformationstillstånden i virket orsaken till uppkomsten av torkningsskador av olika slag.



Krympningen är större i tangentiell led än i radiell led. När ett virkesstycke torkar, uppstår deformationer som är olika beroende på årsringarnas orientering i virkets tvärsnitt.

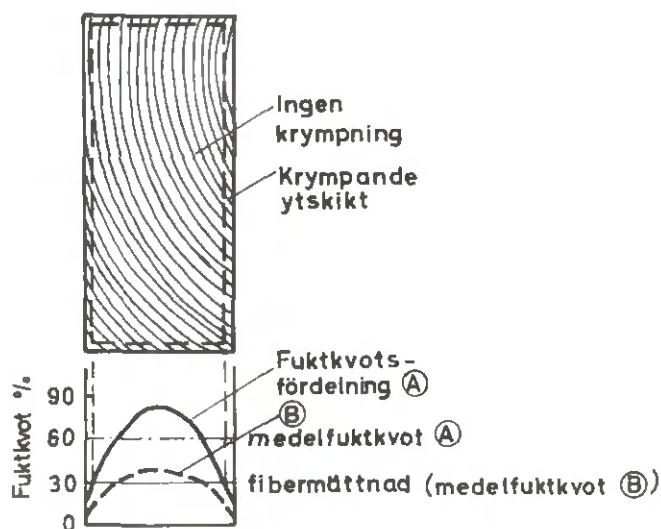


Fig. 33 Fuktkvotsfördelning och krympning till följd av torkningsmotståndet i ett virkestvärnsnitt. Fuktfördelningen A i början och B i slutet av torkningsprocessen.

5.9 Krympnings- och svällningstalet

I tabell 10 har krympningen B angetts i procent av det råa virkets längd resp volym för olika träslag. Dessa procent-siffror kallas vanligen krympningstal (ibland även felaktigt krympningskoefficienter). Det volymetriska krympningstalet för furu är således ca 11,7 % (7,7 % + 4,0 %). Dessa krympningstal kan endast tillämpas på det otorkade måttet, som således måste utgöra basen för alla beräkningar. Man kan emellertid även använda sig av svällningstalen som baserar sig på virkets mått vid 0 % fuktkvot. Det föreligger ett fast entydigt samband mellan virkets krympnings- och svällningstal.

Man kan emellertid även lösa samtliga svällningsproblem med de värden som finns i tabell 10. Praktiska exempel återfinns nedan.

5.10 Praktiska räkneexempel

Konstanter för efterföljande räkneexempel

	Furu	Gran
Fibermättnadspunkt	30,0 %	30,0 %
Tangentiellt maximalt krympningstal	7,7 %	7,8 %
Radiellt maximalt krympningstal	4,0 %	3,6 %

Exempel 1

En nysågad furubräda är 100 mm bred och årsringarna ligger parallellt med flatsidorna. Vilken bredd kommer brädan att ha

A) vid 20 % fuktkvot, B) vid 10 % fuktkvot?

A) Nysågad bredd = 100 mm

$$\text{Krympning} = 100 \cdot \frac{30 - 20}{30} \cdot \frac{7,7}{100} = 2,6 \text{ mm}$$

$$\text{Bredd vid 20 \% fuktkvot} = 100 - 2,6 = 97,4$$

B) Nysågad bredd = 100 mm

$$\text{Krympning} = 100 \cdot \frac{30 - 10}{30} \cdot \frac{7,7}{100} = 5,1 \text{ mm}$$

$$\text{Bredd vid 10 \% fuktkvot} = 100 - 5,1 = 94,9 \text{ mm}$$

Exempel 2

En granbräda med årsringarna parallella med flatsidorna är 80 mm bred och har en fuktkvot av 18 %. Den byggs in i ett hus där luftens jämviktsfuktkvot är 9 %.

A) Vilken bredd hade brädan vid fibermättnadspunkten och

B) hur bred är den då den uppnått jämviktsfuktkvoten 9 %?

A) Bredd vid 18 % = 80 mm

Bredd vid 30 % = x mm

Beräkning av x

$$x = \frac{80}{1 - \frac{30 - 18}{30} \cdot \frac{7,8}{100}} = \frac{80}{1 - 0,0312}$$

$$x = 82,6 \text{ mm}$$

B) Bredd vid 30 % = 82,6

$$\text{Krympning} = 82,6 \cdot \frac{30 - 9}{30} \cdot \frac{7,8}{100} = 5,5 \text{ mm}$$

$$\text{Bredd vid 9 \% fuktkvot} = 82,6 - 5,5 = 77,1 \text{ mm}$$

Exempel 3

En furuplanka är 47 mm tjock vid 6 % fuktkvot. Hur mycket sväller plankan om den tar upp fukt så att fibermättnadspunkten uppnås?

Årsringarna går parallellt med plankans flatsidor.

Tjocklek vid 6 % fuktkvot = 47 mm

Tjocklek vid 30 % fuktkvot = x mm

Beräkning av x

$$x = \frac{47}{1 - \frac{30 - 6}{30} \cdot \frac{4}{100}} = 48,6 \text{ mm}$$

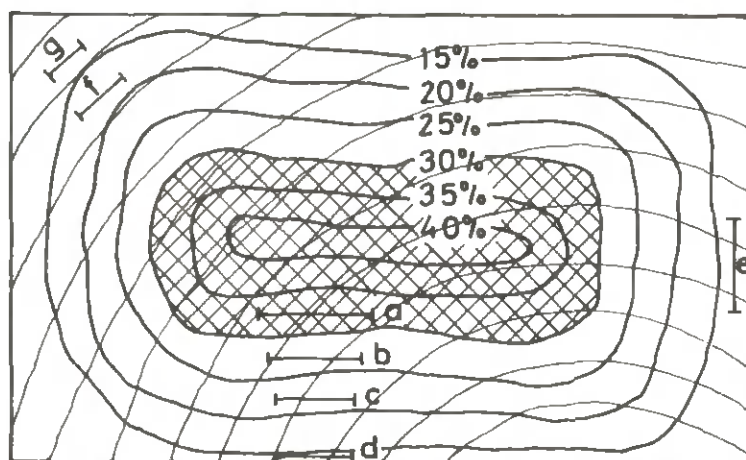
5.11 Vid krympningen uppkomna spänningar

Storleken av torkningsmotståndet i virke beror på träets diffusivitet (fuktledningskoefficient), som är en fysikalisk materialstorhet.

I ett tunt skikt, t ex 1 mm tjockt, närmast ytan av ett torkande trästycke innebär torkningen dels att fukt (vatten-

ånga) lämnar skiktet genom den yttre begränsningsytan, dels att ny fukt strömmar till genom skiktets inre begränsningsyta. Om träets motstånd mot fuktvandringen är stort, sker avdunstningen från ytterytan väsentligt snabbare än tillrinningen genom den inre ytan. Skiktet kommer då att torka ut (minska i fuktkvot) snabbare än innanför liggande delar. Man får en inifrån och mot ytan minskande fuktkvot i virket. Om motståndet däremot är mycket litet, kan tillrinningen ske i takt med avdunstningen och fuktkvoten blir nära konstant inifrån och utåt. Hur brant fuktighetsfall man får mot ytan beror på torkningshastighetens (psykrometerskillnadens, lufthastighetens) storlek i förhållande till ifrågasvarande träslags motstånd mot fuktrörelsen.

Man får en fuktkvotsfördelning under torkningen som principiellt framgår av figurerna 33 och 34, med en största fuktkvot i virkets centrum och en lägsta fuktkvot i ytan.



Vid "a" ingen krympning	Vid "e" krympning ca 3,5 %
Vid "b" krympning ca 0,5 %	Vid "f" krympning ca 3,5 %
Vid "c" krympning ca 1,0 %	Vid "g" krympning ca 4,5 %
Vid "d" krympning ca 3,5 %	

Fig. 34 Fuktringar och krympning i ett virkestvärnsnitt under torkningsprocessen. Medelfuktkvoten i virkesstycket är 26 %.

Ytfuktkvoten minskar således snabbare än i träets inre, tills den kommer i närheten av den mot torkatmosfären svarande jämviktsfuktkvoten, som utgör fuktkvotens undre gräns vid torkningen. En långsammare torkning inträder därefter under det att fuktkvoten utjämnas och slutligen når jämviktsfuktkvoten i hela virkesstycket (om torkningen ej avbryts tidigare).

Denna fuktkvotsfördelning har den konsekvensen, att även krympningen till en början ökar snabbt i ytskiktet, eftersom ju krympningen är starkt fuktkvotsberoende. I den del av virket där fuktkvoten kommit under fibermättnad (ca 30 %) krymper träet, så att man får ett i figur 33 antytt krympande "skal", som omger de inre delarna. I ytskiktet måste då uppstå dragspänningar, i det inre tryckspänningar. Man får en tendens till brottanvisningar i ytskiktet eller mera utpräglade ytsprickor. För vissa träslag och torkningstemperaturer kan hopklämningen av virkets inre ge upphov till cellsvinn (jfr kap 5.1). Om brottanvisningar uppstått i ytan kan de ovan nämnda ytsprickorna utbildas till följd av krympningsanisotropin, se även kap 13.2.

Om fuktkvotsfallet per längdenhet vinkelrätt mot virkesytan ("fuktkvotsgradienten") är litet (hög diffusivitet i träet, långsam torkning med liten psykrometerskillnad) blir den relativa krympningsändringen mellan närliggande skikt ganska ofarlig och de spänningar som uppkommer försvinner åter under fuktutjämningsperioden. Vid större fuktkvotsgradient blir spänningsförhållandena mer komplicerade samtidigt som dragspänningarna i sig själv ökar träets diffusivitet.

Ett huvudproblem inom träforskningen är att avväga värmeöverföringen från torkatmosfären till virkesytan på ett sådant sätt att man får en snabb torkning utan virkesskador. Vid långsam torkning uppstår lätt mögel och vid snabb torkning uppstår lätt sprickor, se vidare kap 13.2 och 13.7.

Det av torkningsmotståndet beroende spänningstillståndet vid träets krympning blir vid lättorkade träslag (låg diffusivitet) och försiktig torkning (liten psykometerskillnad) relativt ofarlig. Vid svårtorkade träslag och vid större fuktkvotsgradienter i virket under torkningen inträder emellertid komplikationer.

Figur 35 återger ett resultat av mätningar av spänningsförloppet vid torkning av 2 " ek (red oak). Efter olika avsnitt av torkningen (5 dagar, 10 dagar etc) sågades skivor ur virket vinkelrätt mot fibrerna. Skivornas dimensioner mättes noggrant, varefter lameller utsågades såsom markeras av de streckade linjerna på skivan till höger i figur 35. Till följd av torkningsspänningarna ändrades lamellernas längd vid uppskärningen. En lamell som under torkningen utsatts för dragspänning blev kortare och en som utsatts för tryckspänning längre efter uppskärningen. De på så sätt bestämda spänningarna återfinns för de olika torkningsavsnitten som stapeldiagram i figur 35, spänningarna överst och därunder motsvarande lamells fuktkvot.

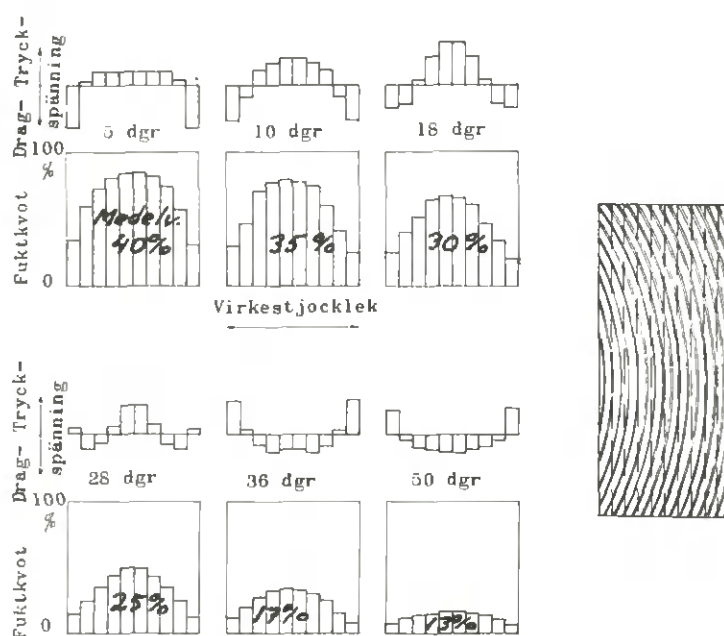


Fig. 35 Torkningsspänningar och fuktkvoter vid olika tidsmoment

Dragspänningar betecknas med nedåtgående staplar och tryckspänningar med uppåtgående.

I första skedet av torkningen får man dragspänningar i yt-skiktet och tryckspänningar i virkets inre. Vid fortskridande torkning minskar dragspänningen i styrka men fortplantar sig djupare in i virket i och med att krympningen påbörjas allt längre in, samtidigt som tryckspänningarna i det inre växer. Efter 28 dagar har dragspänningen i ytskiktet övergått i tryckspänning. Detta tyder på att ytskiktet under dragspänningsperioden sträckts så starkt att det genom inre deformationer fått en permanent förlängning (krympningen har motverkats av virkets inre delar). Allteftersom fuktkvoten i de inre delarna sjunker under fibermättnad och börjar krympa, minskar tryckspänningarna i de inre och ökar i de yttre skikten. I de inre skikten uppstår slutligen dragspänningar då de krympt tillräckligt mycket i förhållande till de permanent förlängda ytskikten (risk för inre sprickor). Efter torkningen får man ett kvarstående spänningstillstånd, som t ex förorsakar en krökning av virket om det sågas upp till tunnare dimension. Detta tillstånd brukar man kalla "ythårdhet" som är en längre framskriden s k "yttorrhet".

Ovan beskrivna spänningar uppstår även mer eller mindre vid torkning av andra träslag.

Klassificeringen av olika slag av spännings- och deformationstillstånd som inträder i träet vid torkningen till följd av anisotrop och inhomogen krympning, visar att en sådan mångfald av påfrestningar på träet inträder under torkningen att den i **praktiken** relativt starka förekomsten av torkningsskador knappast är förvånande. De beskrivna spänningstillstånden är vid normal sågverkstorkning omöjliga att undvika och det säger sig självt att om många olika slag av spänningar råkar adderas, blir materialet "överansträngt".

Inbyggda spänningar i virket ger upphov till okontrollerade deformationer, som förstör eller försvagar träkonstruktioner. I snickeri- och möbelindustrin är det ett absolut krav att virket i stort sätt är spänningsfritt, i annat fall fördyras konstruktionerna.

De spänningar som uppstår under torkningen kan utjämnas antingen genom yttre formändringar (till vilka sprickbildningen kan räknas) eller inre formändringar (omgruppering av den molekylära strukturen = "flytning", "krypning"). Yttre formändringar medför kvalitetsförsämring av virket med undantag för de fall som innebär elastiska deformationer till följd av torkningsmotståndet. Den senare arten av formändring (elastisk töjning) återgår nämligen vid fuktutjämnning efter torkningens slut. En god virkestorkning förutsätter därför spänningsutjämnning genom inre formändringar.

Inre formändringar kräver en viss tid, som minskar med ökad temperatur. Dessa formändringar sker också snabbare vid hög än vid låg fuktkvot.

Förloppet vid spänningsutjämnning genom inre formändringar sätter därför en gräns för den hastighet med vilken man kan torka virket utan att det försvagas genom synlig eller osynlig sprickbildning. Man kan inte forcera torkningen utan att samtidigt höja virkestemperaturen.

Vid förhöjd temperatur blir således träet alltmer plastiskt och uppkomna spänningar utjämnas därför alltmer ju högre temperaturen är. Det är naturligt att anta att utjämnningen sker i samma proportion som hysteresen i träets jämviktsfuktkvot försvinner med ökad temperatur (enligt kap 4.3).

Figur 36 ger en ungefärlig uppfattning om temperaturinflytandet på spänningsutjämnningen. Kurvan anger den temperatur till vilken virke med viss fuktkvot måste värmas för att

korttidskonditioneras, dvs bli relativt spänningsfritt efter några timmars behandling. Kurvan gäller som medelvärde för lövträ. Barrträ har en något högre kurva.

Att man i praktiken i regel inte använder högre torknings-temperaturer beror delvis på att skador av annat slag då lätt uppstår (missfärgningar, kådflytning etc), kap 13.

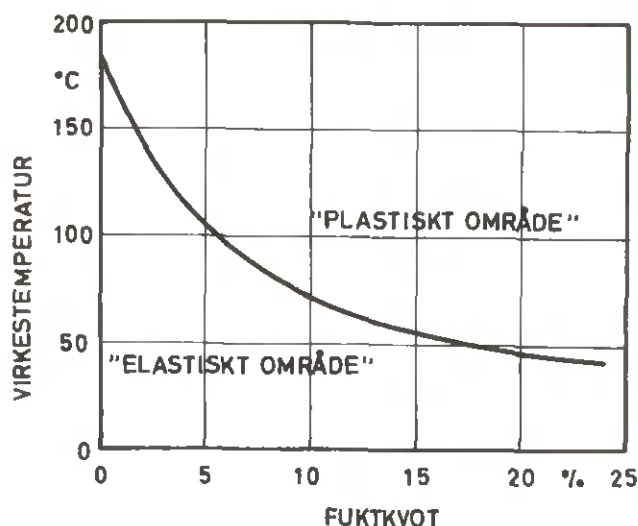


Fig. 36 *Plastiskt och elastiskt område. Kurvan framtagen för minimitemperaturen vid vilken vågighet i faner utjämnas genom pressning (lövträ), Keylwerth, Kübler*

Till de ovan behandlade spänningstillstånden, som hänför sig till träets krympning, kan adderas spänningar av annat slag särskilt vid torkning över fibermättnadsfuktkvoten, då cellerna utgör små vattenbehållare med "ventiler" i form av porer. För att spänningstillstånd vid tömningen av dessa behållare inte ska uppstå, erfordras att balans upprätthålls mellan avgående vattenmängd och inkommande luft. Alltefter torkningsförhållanden och träslag (cellkonstruktioner), kan under- eller övertryck utbildas i cellerna. Undertryck kan i extremfall ge upphov till kollaps av cellerna; övertryck kan förvärra spänningen på grund av krympning och öka sprickbildningen, särskilt vid fuktkvoter nära fibermättnad.

Det bör påpekas att ojämna torkningsförhållanden (ojämn lufthastighet och psykrometerskillnad) förvärrar inhomogeniteten i krympningen och därigenom ger upphov till extra spänningar. Det är sålunda av vikt för erhållande av god virkeskvalitet vid torkningen dels att torkningen inte sker för fort, dels att torkningsförhållandena är jämna och väldefinierade (tillförlitliga mätinstrument, god stapling och ändamålsenlig torkkonstruktion). Det kan tänkas att det i framtiden kan bli möjligt att förbättra virkeskvaliteten genom särskilda hjälpmedel för spänningsutjämnningen (ev vibrering med lämplig frekvens, t ex genom ultraljud, högfrekvent ström etc).

På senare tid har man upptäckt att fruset, rått virke krymper mindre i tangentiell riktning under artificiell torkning, än icke fruset virke. Man antar därför, att grovt centrumutbyte får lägre anisotropi och därmed minskad risk för sprickbildning, se även kap 13.2.

6 VATTNETS RÖRELSE I TRÄET UNDER TÖRKNINGEN

6.1 Drivkrafterna bakom fuktens transport

Drivkrafterna bakom de interna fukttransporterna varierar. Flertalet av dessa krafter arbetar samtidigt och är beroende av varandra.

- 1) Kapillära krafter som förmår det fria vattnet att röra sig mot ytan genom cellhålrummen och genom förbindelsekanalerna (porerna) i cellväggarna.
- 2) Skillnader i ångtryck (relativ luftfuktighet) vid ytan och virkets inre delar förmår vattenångan att röra sig till ytan genom cellhålrummen och porerna. Detta är en utjämningsprocess av ångtrycket.
- 3) Skillnader i fuktkvot förmår det bundna vattnet i cellväggarna att röra sig mot ytan. Detta är en utjämningsprocess av fuktkvoten.

I en del träslag såsom björk och asp kan fritt vatten "strömma" på grund av sin egen tyngd (vätskenivåutjämning). Även i furusplinten kan ett vattentryck utjämnas på detta sätt. Strömning kan inte ske i gran eller i furuträets kärna. Det tekniska namnet för utjämningsprocessen i 2) och 3) är diffusion och är av utomordentligt stor betydelse vid torkning av virke. Diffusion är namnet på ett mycket

allmänt förekommande fenomen som innebär en spontan förflyttning av ett ämne genom ett annat ämne. Denna förflyttning sker från områden där det transporterade ämnet förekommer i hög koncentration till områden där dess koncentration är låg. Ett mått på diffusionen är fuktdiffusiviteten (tidigare fuktledningskoefficient) och mäts i m^2/s .

6.2 Fuktrörelser orsakade av kapillära krafter

När nysågat virke utsätts för torkning sker en avdunstning av det fria vattnet i virkesytan. Denna avdunstning förorsakar att de kapillära krafterna träder i funktion och nytt fritt vatten suges upp till ytan från den närmast underliggande veden. Detta kan jämföras med den vattentransport som sker när en våt strumpa används för att mäta luftens relativa luftfuktighet. Vattenavdunstningen i strumpans överdel kring temperaturgivaren förorsakar ett kapillärflöde av fritt vatten från det underliggande vattenkaret till strumpans överdel.

En mycket stor del av det fria vattnet förflyttas med hjälp av dessa kapillärkrafter. Inflytandet av kapillärkrafterna upphör dock gradvis allteftersom gränsen för fibermättnadspunkten tränger allt djupare in i virket. Vid en fuktkvot lägre än fibermättnadspunkten kan nämligen de kapillära krafterna inte längre fungera.

På grund av kapillärkraften strävar vattnet att stanna kvar längst i de små cellhåligheterna dvs hos barrträden i höstvedcellerna. En obruten vattentransport kan därför förekomma från vedens inre mot ytan även om vårvedcellerna, som vid torkning först verkar avge sin fuktighet, saknar fritt vatten.

6.3 Fuktrörelser orsakade av diffusion

Fuktrörelser genom utjämning orsakas av olikheter i relativ luftfuktighet och fuktkvot mellan virkets yttre och inre delar. I jämförelse med de kapillära fuktrörelserna är detta en betydligt mer reducerad transport.

Utjämningstransporten sker betydligt snabbare i fiberriktningen än tvärs fibrerna.

Den relativt snabba utjämningstransporten i fiberriktningen kan emellertid endast utnyttjas vid torkning av mycket korta virkesbitar. För praktiskt bruk är det utjämningstransporten ut till virkets kanter och sidor som avgör torkningshastigheten (kap 7.5).

Den snabba fukttransporten i fiberriktningen har emellertid en negativ effekt i och med att virkets ändar snabbt torkar ut och ger upphov till ändsprickor, kap 13.2.

Det mesta av vattnet är sålunda avlägsnat från virket genom kant- och sidoytorna. Hastigheten av denna fukttransport beror förutom av yttre betingelser av cellväggarnas genomsläpplighet och tjocklek.

Virke med mycket genomsläppliga cellväggar torkar således fortare än virke med ogenomträngliga väggar, om samma yttre betingelser föreligger. Som regel avtar rörelsehastigheten betydligt med ökad densitet av virket.

6.4 Transportleder tillgängliga för fuktens rörelse

Av ett större antal tänkbara transportleder för det kapillära vattnet, föreligger endast ett fall av praktisk betydelse. Detta är det fortlöpande kommunikationssystem som utgörs av cellhålrummen och förbindelsehålen (porerna) mellan närliggande celler (i rundvirke huvudsakligen genom mägstrålarna).

Så fort denna kedja av celler och porer bryts eller igenpluggas upphör det kapillära transportsystemet att verka.

Fuktledningssystemet för den fukt som rör sig på grund av diffusion är mer komplicerat och har åskådliggjorts i figur 37.

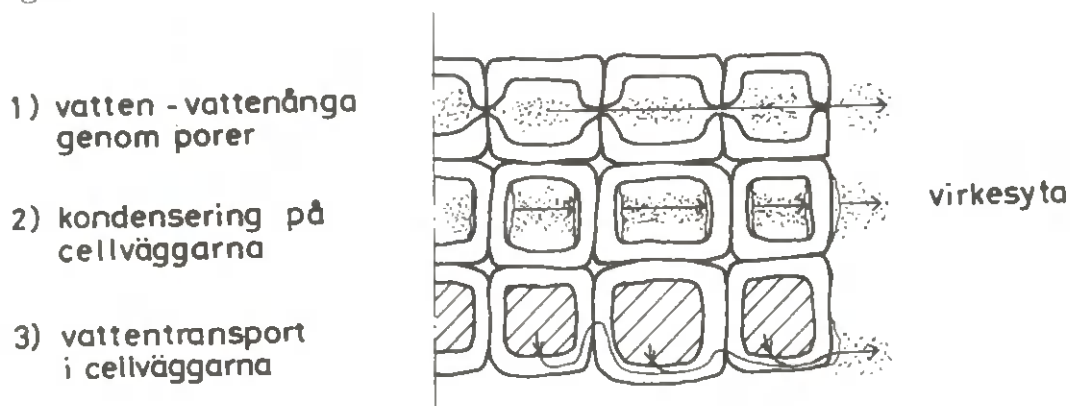


Fig. 37 De tre olika fuktvägarna vid diffusion. Största delen av vattenmängden transporteras till virkesytan enligt fuktledningsväg 2.

För den första fuktledningsvägen gäller att efter vattnets avdunstning rör sig vattenångan genom cellhålrummen och i de mellan cellerna befintliga förbindelsekanalerna, porerna, tills dess ångan når ytan och bortförs av luftströmmen. Den andra fuktledningsvägen är betydligt mer komplicerad. I detta fall avdunstar vattnet vid gränsen mellan fritt och bundet vatten. Därefter rör sig vattnet i ångform genom ett cellhålrum för att därefter kondensera ut på framförvarande cellvägg. Genom cellväggen rör sig vattnet i form av bundet, dvs absorberat vatten för att vid nästa cellhålrum återigen avdunsta. Vattnet som når virkesytan via denna transportled gör så genom upprepat avdunstnings- och kondensationsförlopp. Den tredje fuktledningsvägen kännetecknas av att vattnet inte avdunstar förrän det når virkets yta. Här sker en fortlöpande transport i cellväggarna av absorberat vatten från området med fritt vatten till virkets yta.

Med en ökning av virkets densitet minskar cellhålrummets storlek samtidigt som cellväggarna blir tjockare och porerna smalare. Det är därför naturligt att en procentuell större andel av vattnet kommer att följa fuktledningsvägarna 2 och 3 när densiteten ökar. Av intresse är även att temperaturen inte tycks ha någon betydelse på fuktens fördelning mellan de olika fuktledningsvägarna. Detta gäller även för vattentemperaturer över vattnets kokpunkt.

Om man sätter $\ln \frac{u_{in}}{u_{ut}} = \Delta u$, kan man beräkna torkningstiden för olika delar av ett torkningsförlopp
dvs

$$\tau_1 = \tau_2 \cdot \frac{\Delta u_1}{\Delta u_2} \quad (\text{timmar})$$

Exempel

Om jag vid ett tillfälle torkar ett parti virke från $u_{in} = 80\%$ till $u_{ut} = 18\%$ på 120 timmar (τ_2). Hur lång blir torkningstiden (τ_1) från $u_{in} = 50\%$ till $u_{ut} = 18\%$ för samma virke (eller virke av samma träslag, dimension, densitet som torkas med samma klimat)?

Lösning

$$\Delta u_1 = \ln \frac{50}{18} = 1,022$$

$$\Delta u_2 = \ln \frac{80}{18} = 1,492$$

$$\tau_2 = 120 \text{ timmar}$$

$$\tau_1 = 120 \cdot \frac{1,022}{1,492} = \underline{\underline{82 \text{ timmar}}}$$

Vid torkningen blir som tidigare förklarats virket givetvis torrare på ytan än inuti. Om denna ojämna fuktfördelning (yttorrhet) hålls inom måttliga gränser, har den ringa inverkan på torkningstiden. Vid mycket hård torkning inträder däremot särskilt vid tjockare dimensioner ythårdhet. Ytskiktens fuktkvot understiger då redan på ett tidigt stadium 10 % och vattnet blir "instängt". Ythårt virke släpper igenom fukten mycket långsamt.

7.3 Densitetens inverkan

Densiteten har en stark inverkan på torkningstiden. Tungt trä torkar betydligt långsammare än lätt trä. Att ange något generellt värde på sambandet vid snickeri- och sågverkstorkning är omöjligt eftersom många faktorer inverkar såsom: virkestjocklek, torkningsschema, torkkonstruktion, fuktkvotsgradient m m.

Laboratoriemätningar på små furuvirkesbitar från vått tillstånd till 20 % fuktkvot under konstant klimat visar att torkningstiden är direkt proportionell mot densiteten,

$$\tau = \tau_1 \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^1 = \tau_1 \cdot \frac{\rho}{\rho_1}$$

Vid torkning i samma klimat men från 20 % till 15 % fuktkvot, ökar torkningstiden kraftigare med ökad densitet,

$$\tau = \tau_1 \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^2$$

Innehåller virkesytan mycket fritt vatten har densiteten ingen inverkan alls,

$$\tau \approx \tau_1 \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^0 \approx \tau_1$$

Av ovanstående förstår man att densitetens inflytande på torkningstiden vid sågverkstorkning och snickeritorkning följer sambandet

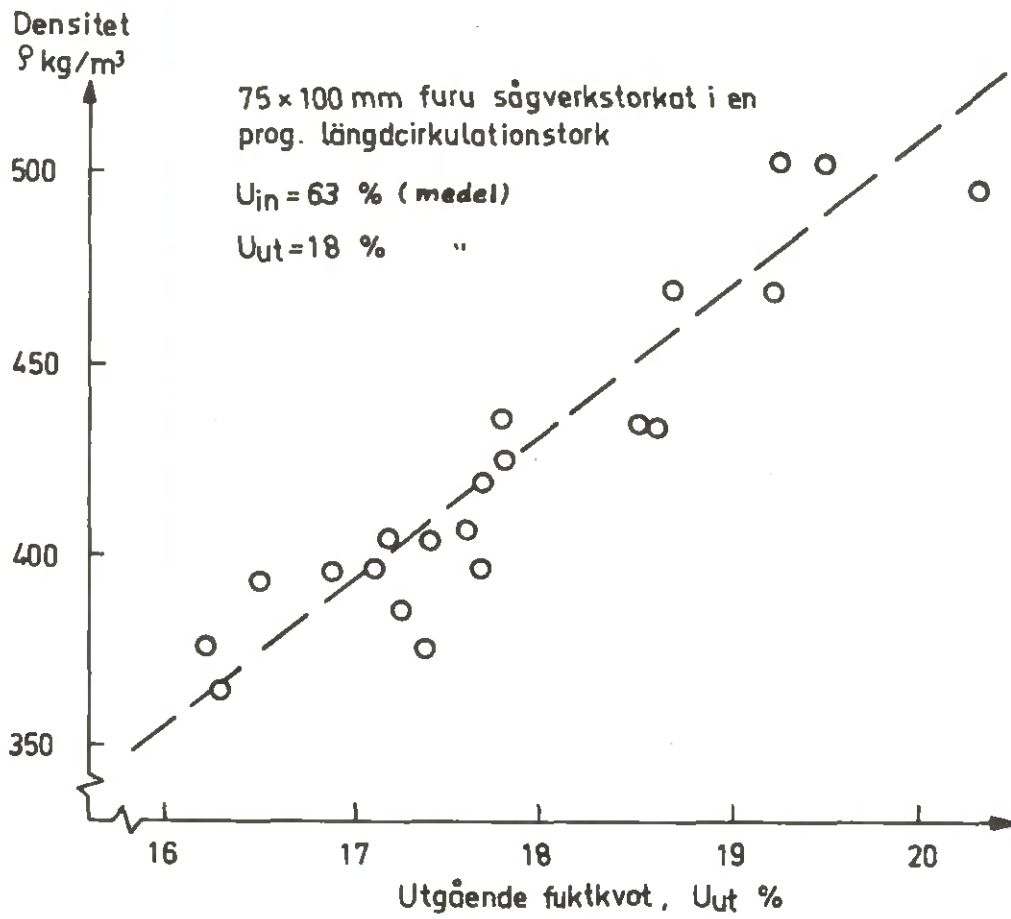
$$\tau = \tau_1 \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^n \quad \text{timmar där } n \approx 1,0-1,5 \text{ (sågverkstorkning)}$$

$$n \approx 1,5-2,5 \text{ (snickeritorkning)}$$

Densitetens variation i ett torkpaket är alltid stor. För furu varierar den vanligtvis mellan 300 och 600 kg/m³.

Om torkningsprocessen avslutas utan en efterföljande lång konditioneringsperiod (t ex vid sågverkstorkning) kommer naturligtvis slutfuktkvoten att variera på grund av ovan angivna samband.

Är torkningsförhållandena i en virkestork utan temperatur- och lufthastighetsgradienter, blir sambandet mellan densitet och utgående fuktkvot mycket klart. Så är dock sällan fallet. Man får p g a gradienterna en stor spridning, se nedan.



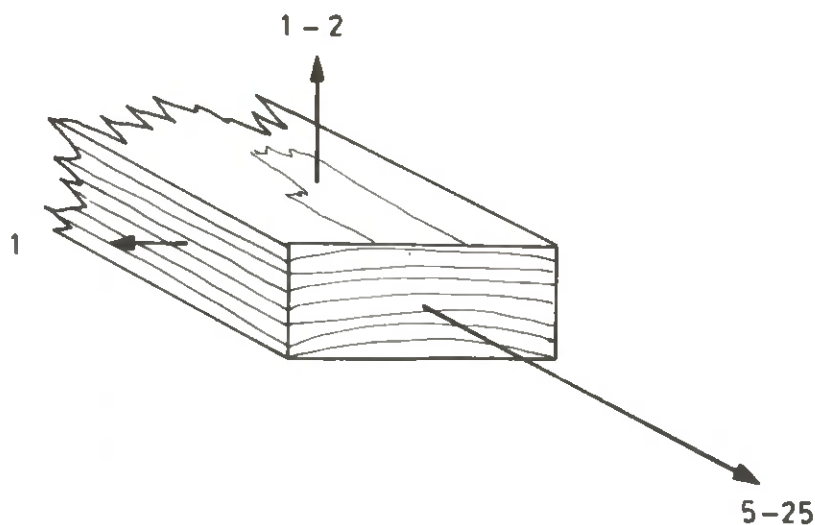
7.4 Virkestjocklekens inverkan

Virke av 25 mm tjocklek torkar vid sågverkstorkning ungefär dubbelt så fort som 50 mm virke vid samma betingelser. I praktiken brukar dock råfukten, densiteten och torkningsförhållandena för de olika dimensionerna avvika från varandra, varför så stora skillnader mera sällan framkommer i torkningstiden (jämför t ex fuktkvoten för olika virkestjocklekar i tabell 6, kap 4.12, med värdena i tabell 11). I sämsta fall kan bräder till och med fordra längre torkningstid än plankor. I praktiken inverkar virkestjockleken (d) på torkningstiden (τ) vid sågverkstorkning enligt tabell 11 ($\tau = \tau_1 \cdot \left(\frac{d}{d_1}\right)^{0,55}$ timmar).

När virkesytan innehåller fritt vatten avdunstar vattnet lika fort som vid en öppen vattenyta och oberoende av virkestjockleken. Detta inträffar dock endast i början av torkningen (torkning av färskt virke). Torkning då virkesytan nått under fibermättnadsgränsen går betydligt långsammare och utbildar olika fuktkvotsgradienter beroende på virkestjockleken, torkningsschema, torkkonstruktion, fuktkvotsgradient m m. Virkestjocklekens inverkan på torkningstiden varierar således från fall till fall och kan matematiskt anges som $\tau = \tau_1 \cdot \left(\frac{d}{d_1}\right)^n$ timmar där $n = 0,5-2,0$.

7.5 Fiberriktningens inverkan

Fuktens rörelsehastighet i olika riktningar varierar betydligt. Under fibermättnadsgränsen kan fukten röra sig 1-2 gånger snabbare i virkets radiella led (i riktning från märm till bark) än i dess tangentiella led (längs årsringarna) och 5-25 gånger snabbare i axiella led (virkets längdriktning) än i virkets radiella led.



(Som tidigare nämnts, kap. 5.2, är virkets krympningsförhållande det omvända: minsta krympning i axiell led och största i tangentiell led).

Den stora variationen i axiell led (5-25) beror på att axial/tangentialförhållandet är olika för olika träslag, samt att temperaturen och fuktkvoten inverkar starkt (ju lägre fuktkvot och högre temperatur desto större förhållande).

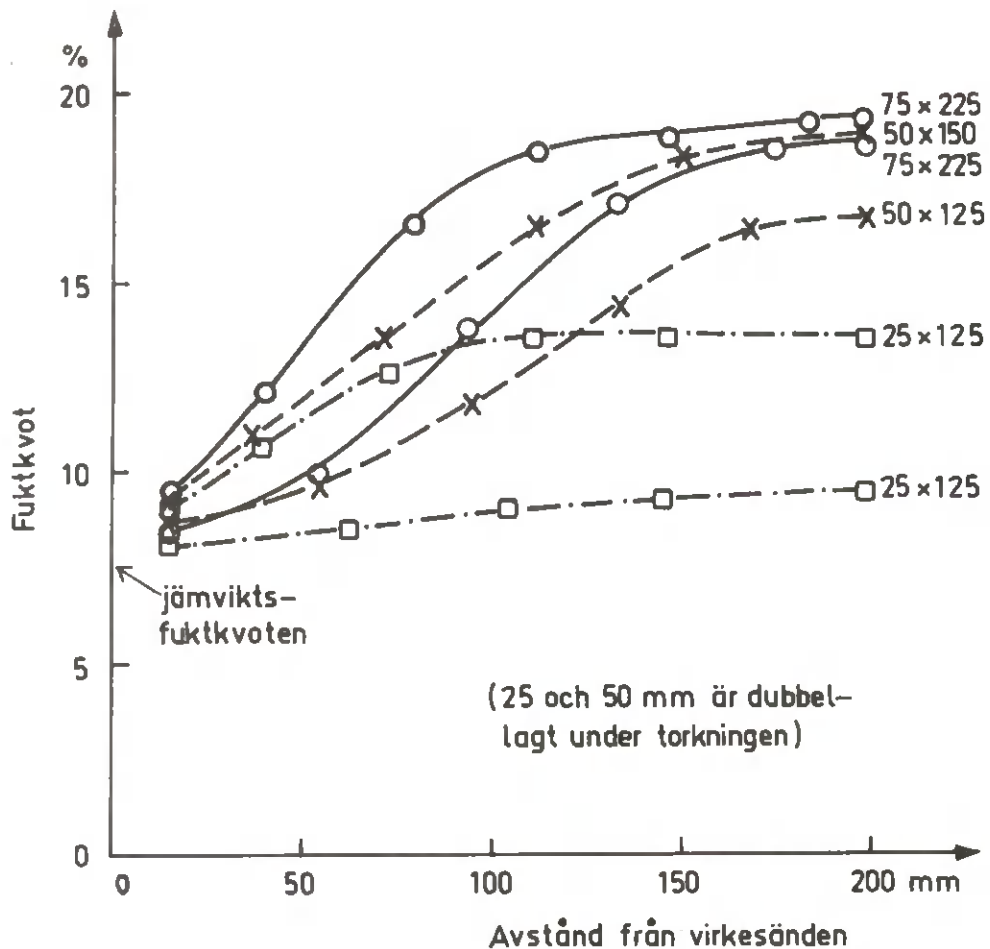
Så länge virkesytan innehåller fritt vatten (ca 30 % fuktkvot eller mer) är fuktavgången lika stor i alla tre riktningarna och totalt sett betydligt högre än under fibermättnadsgränsen, kap 7.2.

Man räknar genomsnittligt med följande radial/tangentialförhållande på diffusiviteten vid torkning från rått till sågverks- eller snickeritorrt virke:

furu, gran	1,1:1
björk	1,2:1
bok, ek	1,5:1

Den praktiska konsekvensen av den snabbare fukttransporten i axiell led blir en kraftig fuktkvotsgradient i det torkande virkets ändar. Fuktkvotsgradienten brukar förorsaka ändsprickor.

Vid normal sågverkstorkning blir fuktkvotsgradienten efter torkningens avslutande 10-20 cm djup, räknat från virkets ändytor. I nedanstående figur visas ett exempel på ändtorkningen. Torkningen har skett med ett tvåstegs-torkningsschema (kap. 9.5, figur 50), som i slutet av torkningen haft $t_v = 42^\circ\text{C}$ och $t = 55^\circ\text{C}$. Detta klimat motsvarar en jämviktsfuktkvot av 7,2 %.



Kvistigt trä torkar fortare än kvistrent (dock mindre sprickbildningsrisk i kvistigt virke jfr armering). Själva kvisten och träet intill kvisten torkar givetvis fort på grund av den ändrade fiberriktningen.

Tjur är betydligt tyngre och kådrikare än annat trä och torkar därför långsammare trots att fibrerna i uppsågat virke har en för torkningshastigheten gynnsammare riktning.

7.6 Kärnans och splintens inverkan

I furu och gran sker fuktvandringen under fibermättnadsgränsen i kärna och splint ungefär lika fort över fibermättnadsgränsen går dock fuktvandringen 20-100 % snabbare i splinten. Detta är troligen orsakat av att de extraktiva ämnena, som är rikligt förekommande i kärnveden, täpper igen de svårframkomliga förbindelsekanalerna mellan närliggande celler. De kapillära krafterna som utnyttjar dessa förbindelser är sålunda praktiskt taget satta ur spel och fukttransporten i kärnveden sker endast i form av ånga och bundet vatten. Detta är en av orsakerna till att centrumutbytet från stocken torkar betydligt långsammare än sido-bräderna, som dock har en högre fuktkvot. En annan orsak är att centruutbytet som regel sågas tjockare och att den grövre dimensionen förlänger torkningstiden.

I t ex 75x150 mm rått furuvirke utgör kärnan ca 75 % av tvärsnittet. När splinten börjar torra (från fuktkvoten ca 130 %) utgör kärnan (fuktkvoten ca 35 %) ett visst hinder för det fria vattnet i splinten att passera. Det fria vattnet avdunstar således huvudsakligen från en flatsida och två kantsidor.



I vissa träslag har även kärnan fritt vatten i rått tillstånd och skillnaden i fuktvandring mellan kärna och splint blir mer påtaglig.

Hos barrträd stängs trakeidernas ringporöppningar (kap 1.1.4) genom att torus trycks mot ena poröppningen. Av ännu okänd anledning blir torus kraftigare fixerad i detta läge i kärnan än i splinten, som utsätts för torkning.

7.7 Möglets, blånadens och vattvedens inverkan

Mögel, blånad och vattved förlänger torkningstiden på grund av förändringar i vedens uppbyggnad och kemiska sammansättning, orsakerna till att mögel- och blånadsangripet virke torkar sämre är inte utrett, se vidare kap, 7.8.

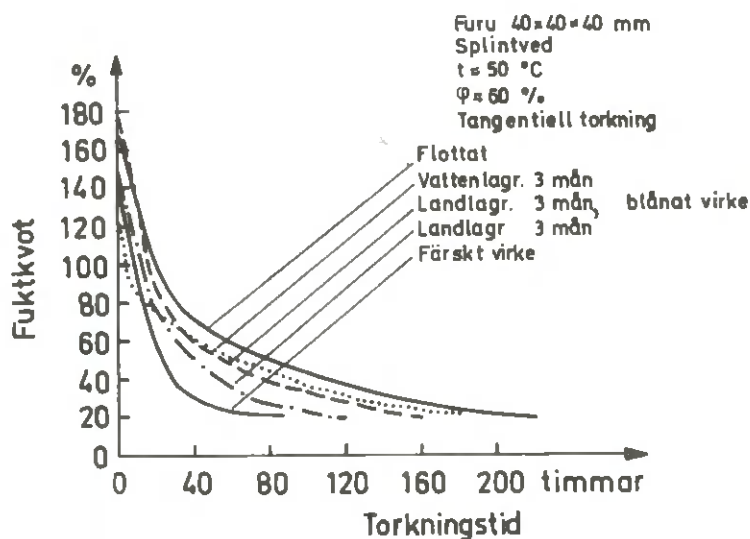
Hos gran och speciellt hos furu kan kärnan innehålla vattved som är helt vattenmättad (orsakad av bakterier). Denna vattved torkar mycket långsamt och ger upphov till höga utgående fuktkvoter. Normalt förekommer sådant virke så sällan att det inte är ekonomiskt märkbart.

7.8 Flottningens, vattenlagringens och luftlagringens inverkan

Alla för närvarande använda sätt av landlagring, vattenlagring, vattenbesprutning av timmer förlänger mer eller mindre torkningstiden. Ju längre lagringen är desto längre torkningstid. Dock förekommer undantag från regeln.

Orsakerna till lagringseffekterna är ännu inte helt utforskade (1976). Man vet dock att hartsen blockerar i viss mån fuktens transportvägar och att bakterier (vattenbesprutning och vattenlagring) angriper ringporerna, mägstrålarna och ytveden. Situationen kompliceras ytterligare av att torkningsspänningarna på grund av bakterieangrepp troligtvis minskar, vilket i sin tur förlänger torkningstiden.

Tuomola har gjort några laborieförsök på virke som lagrats på olika sätt enligt nedan.



Orienterande försök vid Svenska Träforskningsinstitutet (1976) visar att 6 veckor vattenlagrat, barkat, sågverks-torkat 75x150 mm furu, torkar ca 9 % långsammare än färskt virke. Samtidigt ökade fuktkvotsspridningen väsentligt, se vidare kap. 8.1.

Bakterieaktiviteten är särskilt stor i stillastående, näringsrikt vatten med relativt hög medeltemperatur. Sänkning av PH-värdet (ökad surhet) i vattnet vid vattenlagring har visat sig minska bakterieaktiviteten (tillsättning av svavelsyra). Timmer som vattenbesprutas eller vattenlagras i strömmande vatten angrips betydligt mindre av bakterier.

Under vattenlagringstiden bildar kåda och vissa organismer en "hinna" i stockändarna, varför virkets ändar (som även innehåller mera vatten) torkar långsammare än för icke vattenlagrat trä.

De mycket varierande inre och sekundära yttre faktorerna som påverkar torkningstiden medför att varje enskilt trästycke torkar på sitt eget sätt till slutfuktkvot, som växlar allt efter storleken av faktorers variationer. Vid virkets gruppering måste man känna till olika faktorers in-

verkan och handla därefter. I annat fall blir slutfuktkvoten ojämn. Vid ojämn slutfukt tvingas man till en förlängning av torkningstiden och därvid blir medelfuktkvoten onödigt låg (dvs minskad torkningskapacitet, ökad sprickbildning och energikonsumtion).

7.9 Ett teoretiskt uttryck för torkningstiden

Det finns ett flertal olika ekvationer för beräkning av torkningstiden. Nedan angivna ekvation är en av den moder-naste men dock inte helt fulländad

$$\tau = \frac{1}{1 + \frac{\delta_1}{\delta_2}} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{\delta_1^2}{a' \cdot \beta^2} \cdot \ln \frac{u_{in}}{u_{ut}} \quad (\text{timmar})$$

där δ_1 = halva virkestjockleken m

δ_2 = halva virkesbredden m

a' = fuktdiffusiviteten (m^2/s) som vid torkning från rått till 18 % är:

$t_v = 30^\circ\text{C}$	$t_v = 40^\circ\text{C}$	
	$7,3 \cdot 10^{-10}$	för 25x100 mm furu
$8,6 \cdot 10^{-10}$	$11,0 \cdot 10^{-10}$	" 50x150 mm "
	$13,1 \cdot 10^{-10}$	" 75x175 mm "
	$3,3 \cdot 10^{-10}$	" 50x150 mm ek

β = intensitetsparameter ^{a)} som är

1,34	vid torkning rått-18 % av furu,	\leq 50 mm tjocklek
1,25	" " " " " "	63-75 mm "
1,28	" " " " " "	ek
1,17	" " 25 % - 8 %"	furu
1,02	" " " " " "	ek

a) β beskrivs närmare i kap. 12.2.

β beror på förhållandet av det rådande klimatets jämviktsfuktkvot och virkets medelfuktkvot (vid oändligt långsam torkning är $\beta = 0$).

u_{in} = ingående fuktkvot

u_{ut} = utgående fuktkvot

Ovanstående formel ger något kortare torkningstider än vad som för närvarande i praktiken normalt används vid sågverks-torkning (gardering för dålig reglerutrustning, ojämna luft- och temperaturförhållanden i torken m m), se tabell 11 i kap. 7.1. Beräkning av torkningstiden beskrivs mer utförligt i kap. 12.2.

9 VIRKESTORKAR OCH TORKNINGSMETODER

9.1 Två huvudgrupper, satstorkar - progressiva torkar

Virkestorkarna indelas i två huvudgrupper, satstorkar (även kallade kammartorkar) och progressiva torkar (även kallade kontinuerliga torkar, vandrings-torkar, motströmstorkar, medströmstorkar m m). I satstorken påverkas en under hela torkningen stillastående virkessats av torkluft, vars torkande egenskaper varierar i tiden efter ett visst torkningsschema. I den progressiva torken matas virkesstaplar successivt in i torkens ena ände och ut ur den andra änden med vissa tidsintervall (satsningsintervall), medan de torkande egenskaperna hos luften i huvudsak inte ändras i torken men varierar utefter torkens längd. Även i den progressiva torken kommer varje virkesstapel därvid att torkas med luft med successivt ändrade torkande egenskaper enligt ett visst torkningsschema.

Beroende på torkningstemperaturen särskiljer man på torkning med varmluft, vars temperatur understiger 100°C , lågtemperaturtorkning, samt torkning med en blandning av luft och ånga eller enbart överhettad ånga överstigande 100°C , högtemperaturtorkning. Högtemperaturtorkning förekommer i mycket ringa omfattning i Sverige och i förekommande fall endast vid snickeritorkning i satstorkar.

Vid sågverkstorkning i Sverige överstiger den torra temperaturen (t) sällan 60°C . Den våta temperaturen (t_v) brukar då vara $33-43^{\circ}\text{C}$. Vid dessa temperaturer bevaras virkets ljushet. Kådflytning, kvistkrypning och kvisturfall blir ringa. En viss risk för mögel- och blånadsbildning föreligger dock.

Rent allmänt kan sägas att en progressiv tork är lämplig då det gäller stor produktion av likartat virke. Den medför då en lägre torkningskostnad än satstorken och en för massproduktion tillrättalagd transportlinje, som enkelt kan automatiseras. Satstorken är mer lämpad för mindre produktioner eller svårtorkade träslag. De progressiva torkarna kan ytterligare indelas:

- progressiv längdcirkulationstork i ett eller flera steg
- progressiv tvärcirkulationstork med flera zoner.

9.2 Satstorkar

Satstorken (kammartorken) är den ursprungliga torktypen. Man har där fullt fria händer att variera torkluftens temperatur, fuktighet och strömningshastighet under torkningen och man kan direkt i anslutning till torkningen genomföra en eventuellt erforderlig spänningutjämning i virket genom t ex basning. Satstorken är därför särskilt lämpad för svårtorkade träslag och även outhärlig för mindre produktion och mer differentierad produktion.

En typisk satstork av mindre storlek visas i figur 39, en större typ av satstork i figur 40. Se även kap. 14.4.

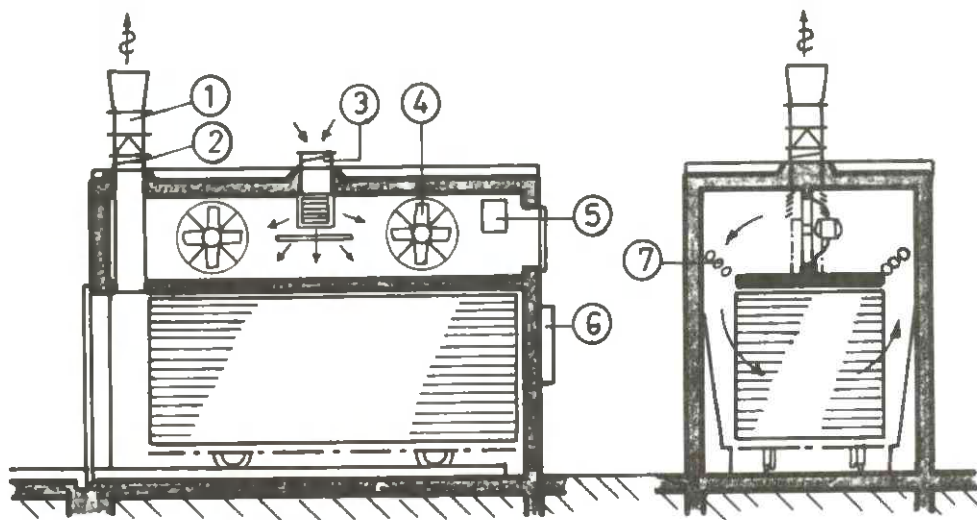


Fig. 39 Satstork. 1. Frånluftskanal 2. Frånluftsspjäll 3. Tilluftsspjäll 4. Cirkulationsfläkt 5. Psykrometergivare 6. Reglerutrustning 7. Värmebatterier.

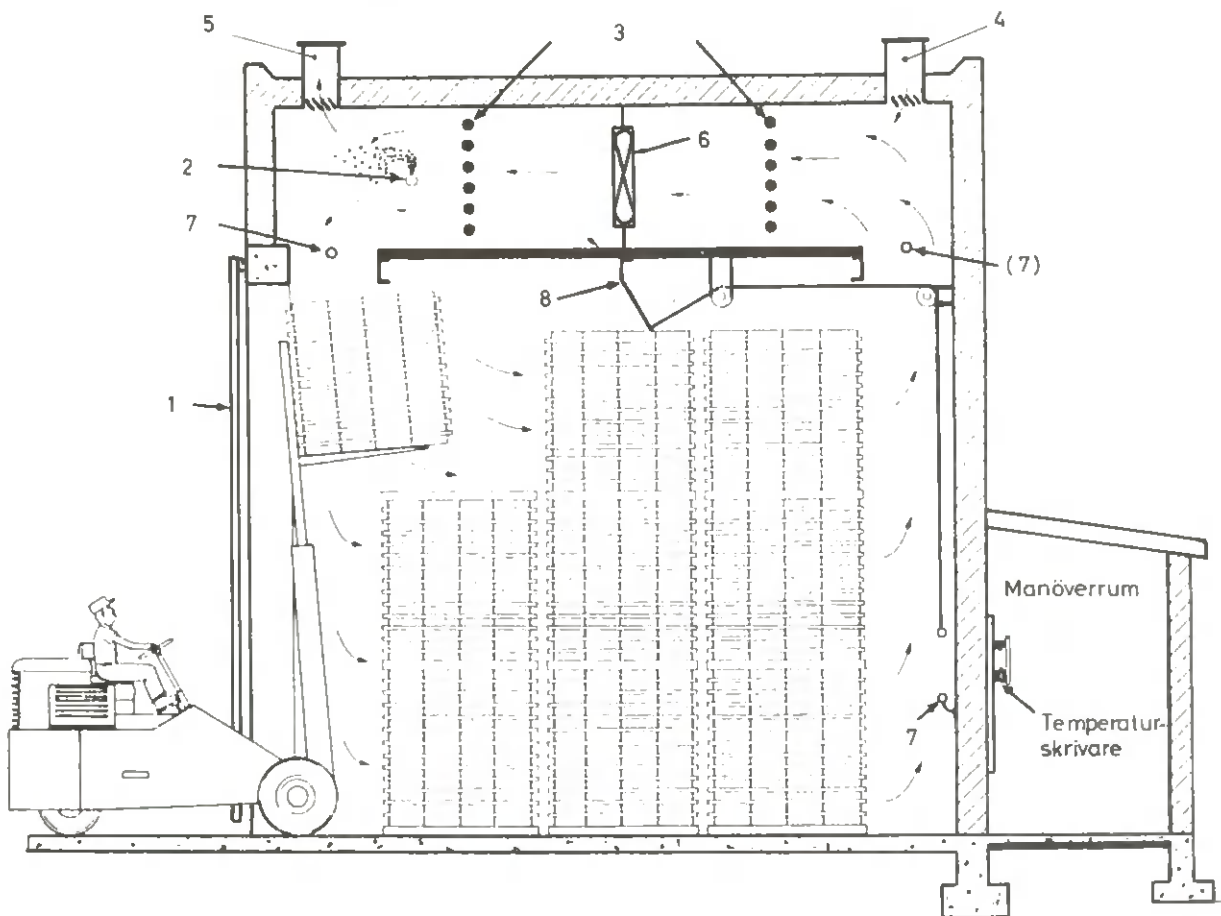


Fig. 40 Satstork. 1. Port 2. Basningsrör 3. Värmebatterier 4. Tilluftskanal 5. Frånluftskanal 6. Cirkulationsfläkt 7. Psykrometer 8. Tätningsflaps

Denna typ av satstork brukar kallas för "trucklastad tork" eller "drive in tork".

Cirkulationsluften strömmar vanligtvis tvärs virkespaketens längdriktning. Cirkulationsfläkten/-arna är ofta reversibla axialfläktar. I figurerna 39 och 40 arbetar psykrometern, markerad med sju i parentes, som regler-/mätgivare. Vid reversering växlas även temperaturgivarna. Avsikten med cirkulationsluftens växling är att en utjämning av torkningen i virkespaketens breddriktning uppnås. Läckageluft förhindras med tätningsflaps (8) runt virkespaketen. Utan eller med dåliga tätningsflaps strömmar ofta över 50 % av den cirkulerande luftmängden förbi virkespaketen med följd att lufthastigheten i virkespaketen blir låg och ojämn. I till- och frånluftskanalerna (4) resp (5) är termostatstyrda spjäll monterade. Dessa styrs av våtgivaren (psykrometerns (7) våta givare eller hygrostat) via en reglermotor. Beroende på cirkulationsluftriktningen verkar till- och frånluftkanalerna växelvis som till- och frånluftkanaler. För uppvärmning av torkningsluften finns ång- eller varmvattenuppvärmda batterier (3) som styrs av den torra givaren (psykrometerns (7) torra givare) via en motordriven shunt.

Små anläggningar kan styras manuellt genom att torkhusoperatören med jämna mellanrum avläser den torra temperaturen (t) och vid behov ökar/minskar inställningen på shunten till ett värmebatteri. Även den våta temperaturen (t_v) avläses och vid behov handregleras till- och frånluftspjällen. Styrningen sker efter ett förutbestämt torkningsschema enligt figurerna 41 och 42.

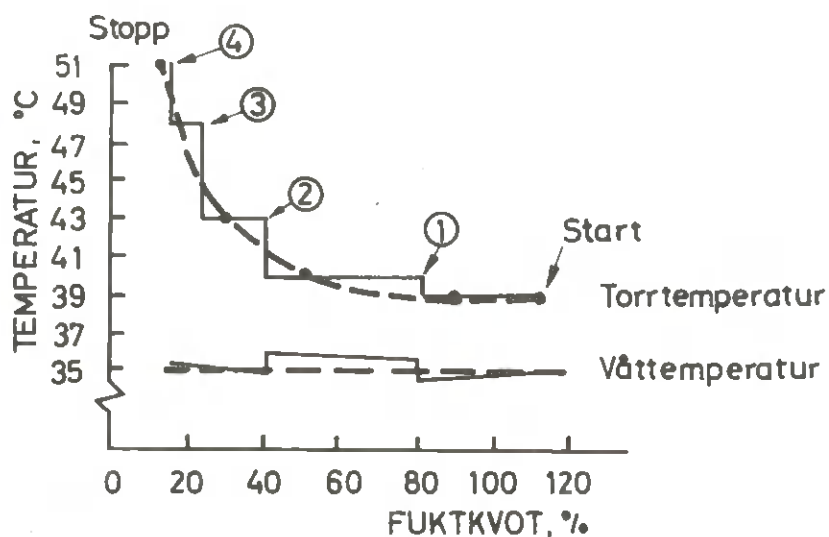


Fig. 41 Torkningsschema för 50 mm tjockt furu-
virke (streckade kurvor). De heldragna
kurvorna motsvarar den temperatur som
erhålls i en satstork då shunt och
spjäll handreglerats efter fuktkvoten
vid fyra tillfällen under torknings-
processen.

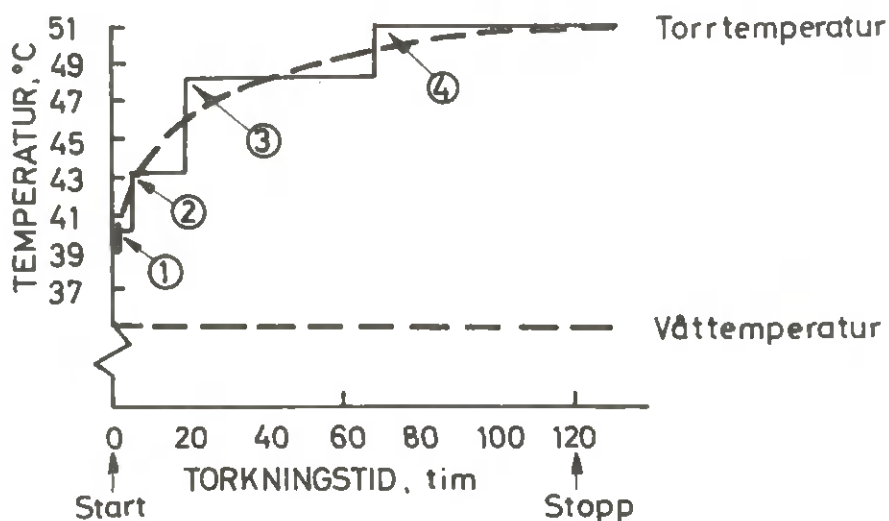


Fig. 42 Torkningsschema enligt figur 41 men
i praktiken lämpligare uppbyggt med
tanke på reglering av torken.

I torkningslitteraturen anges vanligtvis virkets torkningstemperatur som funktion av fuktkvoten, t ex såsom den streckade kurvan i figur 41. Detta innebär att man under torkningen måste mäta medelfuktkvoten på virket, vilket praktiskt är mycket besvärligt. (Det fordras ett stort antal fuktkvotsprov enligt kap 4.10.) Men har man en gång mätt tiden, kan man vid efterkommande torkningar av likartat virke (virke av samma tjocklek, ingående fuktkvot, densitet, träslag m m) styra torken efter ett enklare torkningsschema enligt figur 42. Vid sågverkstorkning är denna typ av temperatur - tidstorkningsschema den mest förekommande.

Större satstorkar stys automatiskt efter torkningsscheman enligt figur 42. De torra och våta temperaturerna regleras då vanligtvis med hjälp av tillklippta kamskivor, som roterar på en klockmotor och via en potentiometer ger impulser till motorshunten resp. spjällmotorn.

I dagens läge är det möjligt att programmera en dator med ett lämpligt torkningsschema och därefter styra torkningsförloppet efter datorn. Någon lämplig metod att på ett riktigt sätt automatiskt registrera virkets fuktkvot finns dock för närvarande inte.

Ett sätt att indirekt mäta virkets fuktkvot har utarbetats på senare år i Sverige (UTEK AB). Denna metod går i princip ut på att vid intermitterent evakuering av torken mäta tiden mellan evakueringsperioderna samt att mäta evakuerings-tiderna. Dessa tidsperioder behandlas i en dator som är programmerad med vissa erfarenhetsdata (torkningshastighet, temperaturnivåer/-gränser, relativa luftfuktighetsnivåer/-gränser). Nackdelen med denna styrning är att några helt tillförlitliga värden för programmering ännu inte finns (1975/1976).

Satstorkar tillverkas i storlekar med ett virkespaket per kammare upp till kammare med 4 paket i bredd och 8 i längd.

Den sammanlagda paketbredden i strömningsriktningen i en tork med reversibla fläktar och en medellufthastighet på 3 m/s bör inte överstiga 4.5 m för bräder och 6 m för centrumvirke. I annat fall måste luften på virkets inströmningssida vara mycket torr (sprickbildningsrisk) för att inte luften på virkets utströmningssida ska bli mättad (mögelrisk). Eftersträvas mycket jämn torkning, bör inte den sammanlagda paketbredden överstiga 1.5 m.

I satstorkar kan cirkulationsfläktarna placeras på olika sätt, figur 43. Det har hittills dock visat sig att det är lämpligast att placera cirkulationsfläktarna och värmebatterierna så långt från virket som möjligt, dvs under virkespaketen eller det billigare alternativet över virkespaketen. I annat fall blir lufthastigheten och temperaturen lätt ojämn.

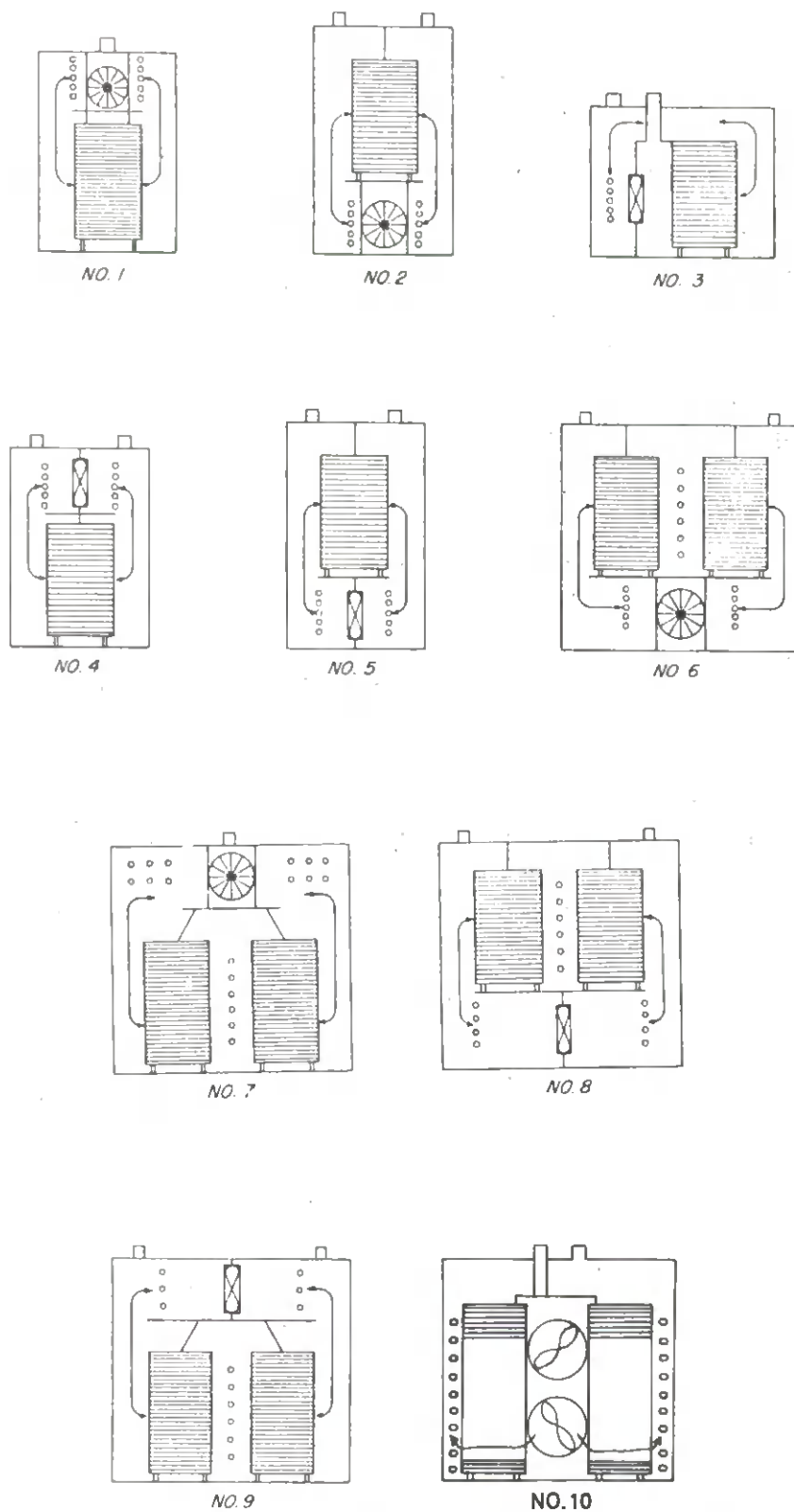


Fig. 43a Värmebatteriernas och fläktarnas orientering i olika typer av satstorkar. Nr 1, 2, 6 och 7 har ett fläktarrangemang som visas uppifrån i figur 43b, nr 11. (Ur "Dry kiln Operator Manual")

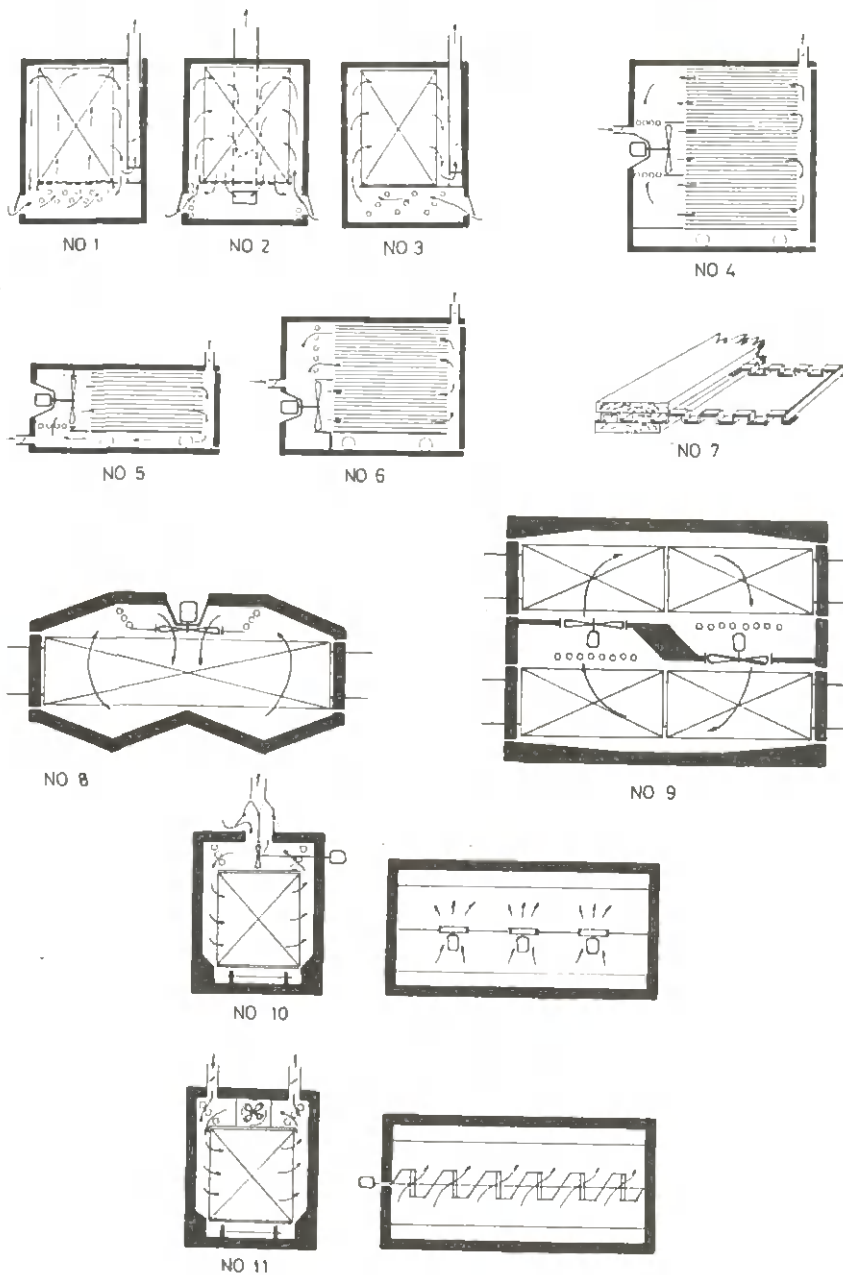


Fig. 43b Olika satstorkar. Nr 7 visar utformningen av strön för satstorkar med luftcirkulation längs med virkespaketen (Nr 4, 5, 6)

Högtemperaturtorkar, figur 44, blir alltmer sällsynta i Sverige. Torkningen sker i allmänhet vid $t = 120-150^{\circ}\text{C}$ och $t_v = 100^{\circ}\text{C}$ eller lägre. Den avgående fukten evakueras. Dessutom kondenseras ofta en del av fukten mot golvytan, varifrån den leds bort.

Fuktkvoten vid torkningens början är i allmänhet $u_{in} = 15-25\%$ och vid slutet $u_{ut} = 6-10\%$ (snickeritorkning).

Högtemperaturtorkat virke används t ex till kärnämnen vid block boardstillverkning och till förpackningsbräder.

För torkning av exportvirke lämpar den sig inte, eftersom kvistar lätt blir svarta och faller ur, kådan smälter och virket får en brungul färg.

Energiförbrukningen är något lägre vid högtemperaturtorkning än vid lågtemperaturtorkning. Torkning av 25 mm tjockt furuvirke från $u = 20\%$ till $u = 8\%$ fordrar en värmemängd av ca 5 MJ/kg (1200 kcal/kg) avdunstad vattenmängd.

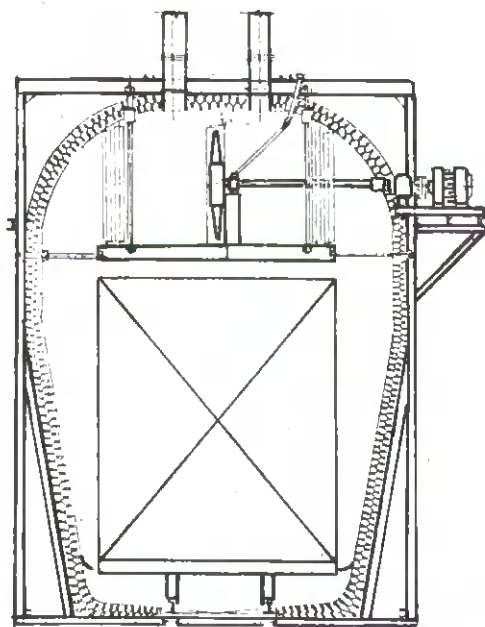


Fig. 44 Högtemperaturtork

Satstorkarnas fördelar.

- 1) Vid ökad eller minskad produktion kan antalet i bruk varande kammare lätt ändras utan driftsstörningar.
- 2) Torkningsschemat kan lätt anpassas till det aktuella virkets ingående och utgående fuktkvot.
- 3) Små driftsstörningar i samband med arbetsuppehåll.
- 4) Virket kan på ett enkelt sätt utsättas för basning för att avhjälpa ythårdhet m m.
- 5) Porten är stängd under hela torkningsperioden; alltså minskade störningar av torkförloppet.
- 6) I trucklastade satstorkar har man inget besvär med torkhusvagnar eller andra speciella anordningar för transporter inne i torken.
Inga bekymmer (speciellt vintertid) med spår för torkhusvagnar.
- 7) Virket kan lämnas kvar i satstorken efter torkningens slut utan alltför stora olägenheter. Detta kan bli nödvändigt vid driftsstopp etc.

Satstorkarnas nackdelar

De enskilda enheterna drar som regel högre byggnadskostnad per m^3 av byggnadsvolymen. Även byggnadskostnaderna i förhållande till torkningskapaciteten är hög för satstorkar.

Varje satstork i en anläggning kräver i allmänhet fler fläktar, värmebatterier, reglerinstrument och skrivare per torkad m^3 . För att utnyttja fördelarna fordras otvivelaktigt stor yrkesskicklighet och gott omdöme hos torkhusoperatören.

I praktisk drift har det visat sig att satstorkarna är mindre driftsäkra än progressiva längdcirkulationstorkar.

En satstorks värmeförbrukning under en torkningsperiod är mycket ojämn, ungefär dubbelt så hög värmeförbrukning i början än i slutet av torkningsförloppet. Värmepannan måste dimensioneras efter det tänkbara fallet att samtliga sats-torkar i anläggningen samtidigt ska täcka sitt maxbehov av ånga. Men ju fler kammare, desto mer utjämnad blir värmeförbrukningen (kap. 11.2).

Värmeförbrukningen per kg avdunstat vatten blir som regel större än för de progressiva torkarna. Dessa uppgifter bygger på erfarenheter från mindre satstorkar, vilkas värmeförluster blir kraftiga på grund av transmissions- och uppvärmningsförluster. Vid stora anläggningar, där ett flertal satstorkar byggs vägg i vägg, blir emellertid transmissionsförlusterna betydligt mindre. Större anläggningar fordrar att kammaren används kontinuerligt. Först då försvinner värmeförluster på grund av upprepade uppvärmningar av byggnadskroppen.

Satstorkens arbetssätt gör att det inte är lämpligt att förse den med värmeåtervinning. Endast i de fall då torkanläggningen utgörs av en större mängd kammare kan värmeåtervinning vara lönande.

9.3 Progressiva tvärcirkulationstorkar

Den första progressiva torken kan sägas vara ett antal sats-torkar som byggts ihop efter varandra i virkespaketens längdriktning. Varje zon i denna sammansatta tork regleras separat och virket förflyttas successivt stegvis längs torken. Torktypen brukar kallas för en "progressiv tork med tvärcirkulation" eller kortare "tvärcirkulationstork". Eftersom zonerna inte är avgränsade från varandra med mellanväggar i virkesvåningen, influerar klimaten i två närliggande

zoner på varandra och torkningsschemat blir därigenom inte lika varierbart som i en satstork.

Denna torktyp används ursprungligen inom sågverksindustrin för torkning av barrträ till ca 20 % fuktkvot. Den erbjuder i jämförelse med satstorken en bättre anpassad virkestransport och därjämte en lägre värmeförbrukning. Inom sågverksindustrin har denna torktyp numera trängts ut av den "progressiva längdcirkulationstorken" men är alltjämt ett mycket fördelaktigt alternativ till satstorken vid större träbearbetande industrier, där virket ska torkas ned till mellan 6 och 12 % fuktkvot.

Torken förekommer med 1-6 virkespaket i bredd och 6-15 virkespaket i längd. I en del konstruktioner utgörs varje zon av 2-3 paket. Torktypen är mycket svårskött när mer än 2 virkespaket ligger i bredd och fordrar då en mycket skicklig tork - operatör.

Många av de i Sverige befintliga progressiva tvärcirkulationstorkarna är felkonstruerade eller ombyggda. Kravet på en skicklig konstruktör/tillverkare är stort på denna relativt komplicerade tork.

Arbetssätt: tilluften leds (i figur 45 vita pilar) eventuellt via en värmeväxlare (1) medelst fläkt genom en tilluftkanal (2) till en fördelningslåda (5). Via fördelnings-spjäll (5) regleras luften till respektive zon. Frånluften (svarta pilar) strömmar längs zonerna från den torra änden (uttagsänden) mot den våta änden (intagsänden) och erhåller en skruvformig rörelseriktning (figur 46). Frånluften evakueras via värmeväxlaren medelst fläkt ut till ytterluften.

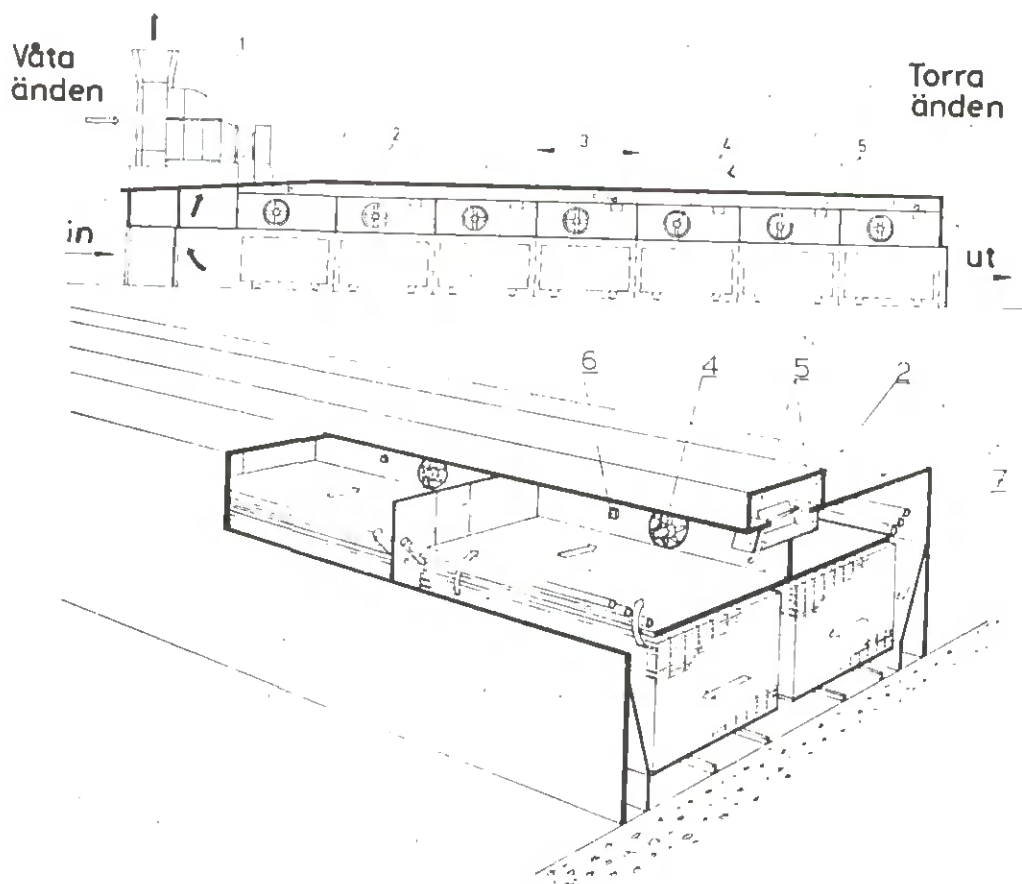


Fig. 45 Progressiv tvärcirkulationstork med 2 virkespaket i bredd och 7 i längd, 7 zoner (av Svenska Fläktfabrikens fabrikat). 1. Värmeåtervinningsaggregat 2. Tilluftskanal 3. Torkzon 4. Propellerfläkt 5. Fördelningslåda för friskluft jämte fördelnings-spjäll 6. Torr- och våtgivare 7. Värmebatteri

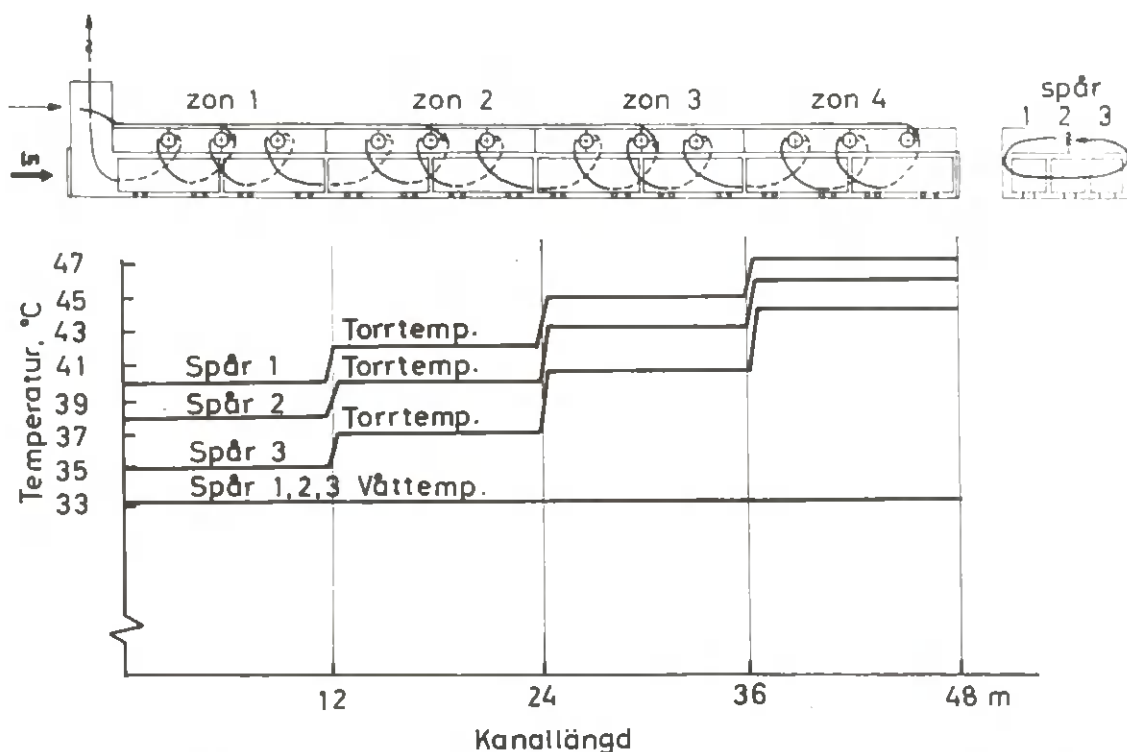


Fig. 46 Progressiv tvärcirkulationstork med 3 virkespaket i bredd och 8 virkespaket i längd, 4 zoner. Kurvorna under figuren visar schematiskt temperaturen längs torken.

Reglering av till- och frånluften i de olika zonerna sker automatiskt via våttemperaturgivarna (t_v). Värmen till värmebatterierna regleras via torrtemperaturgivarna i resp zon. För att förbättra torkens värmeekonomi används värmeåtervinningsaggregat som placeras på kanaltaket. Kanalens ändar stängs under torkningsförloppet av portar. Portarna öppnas vanligtvis i sidled med hjälp av en travers med hävanordning.

Övervakningen av torkningsförloppet är koncentrerad till manöverrummet, där reglerings- och kontrollanordningar är placerade.

I torkens bägge ändar finns vanligtvis buffertbanor under tak, vilka är nödvändiga för att anläggningen ska arbeta smidigt.

Transportanordningarna för virkespaketen utgör en betydande del av torkens maskineri och kostnad. Virket transporteras vanligtvis på tvåaxliga vagnar, som löper på räls. Andra transportanordningar finns, som t ex matning av virkespaketen på tvärgående rullbalkar, dragna av kedjor eller med hjälp av en hydrauliskt driven dragstång. Vid handmatade system lutar rullbanorna ca 10 mm/m mot uttagsänden. Matningsanordningen i torkar är mekaniskt ofta en mycket känslig del i anläggningen.

Det färdiga strölagda paketet placeras med gaffeltruck på torkhusvagnarna eller rullbalkarna. Ofta placeras två till tre paket på varandra. Vissa större anläggningar är utförda med en, framför torkkanalerna, tvärgående traversvagn. På traversvagnen transporteras torkhusvagnarna till den torkkanal som för tillfället används för ifrågavarande virkestjocklek. I torkens "torra ände" uttas virket på motsvarande sätt. De tomma vagnarna returneras (självrullning) längs ett återföringsspår tillbaks till ströläggningssmaskinen för ny lastning. Produktionen för ett sågverk med denna torkanläggning bör helst överstiga 60 m³/dygn (ca 20.000 m³/år). Ju fler zoner kanalen har, desto jämnare torkningsschema kan köras.

Cirkulationsfläktarna i dessa torkar bör vara reversibla, speciellt om flera virkespaket torkas i bredd. Om olika virkestjocklekar körs i samma kanal med icke reversibla fläktar, ska det klenaste virket placeras på det spår som först träffas av luftströmmen och det grövre virket på andra spåret (utblåsningssidan). På detta sätt utsätts det långsamtorkande tjocka virket för ett mildare klimat, medan det mer snabbtorkande tunna virket får ett hårdare (torrare) klimat (figur 46).

En betydande principiell olägenhet innebär vid satstorken - och den progressiva tvärcirkulationstorken - det förhål-

landet att cirkulationsluften får ett avsevärt temperaturfall vid strömningen genom virkesstaplarna, speciellt under det första skedet vid torkning av nysågat virke. Det är i allmänhet av bl a fläktenergiekonomiska skäl nödvändigt att cirkulationsluften får passera flera virkespaket i bredd. Det kan då hända att cirkulationsluften blir mättad innan den strömmar ut ur paketen, med risk för mögelbildning samtidigt som luften på tillströmningssidan kan vara så torr att sprickbildning uppstår. Mögelrisken finns så länge furuvirke torkas med de relativt låga temperaturer som krävs för exportvirke.

I bästa fall innebär temperaturfallet i torken att endast torkningstiden blir förlängd.

Det finns två metoder att mildra temperaturfallets ev. skadeverkningar. Om fläktarna regelbundet reverseras minskar det genomsnittliga temperaturfallet i torken.

Det andra sättet är att anordna värmebatterier för uppvärmning av torkluften mellan virkespaketen i strömningsriktningen. För att detta arrangemang ska bli tillfredsställande erfordras mycket jämn batteritemperatur. Batterierna måste även placeras så långt från virket, att detta inte utsätts för direkt strålning.

9.4 Progressiva längdcirkulationstorkar i ett steg

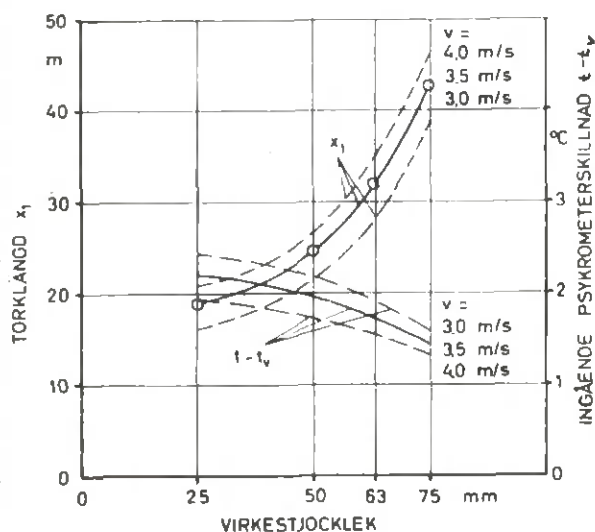
I den progressiva längdcirkulationstorken, figur 47, förflyttas virkesstaplarna längs torken i vinkelrätt läge mot transportriktningen och cirkulationsluften genomströmmar ett stort antal virkespaket utan att värme tillförs densamma. Om torken matas med endast en virkesstapel åt gången, blir luftens torkningstillstånd relativt homogent i det kritiska begynnelsekedet av torkningen. Homogeniteten är lika stor som i en satstork med endast en virkesstapel i bredd.

I längdcirkulationstorken utnyttjas cirkulationsluftens torkkraft till nära mättning kontinuerligt under torkningen. Detta innebär bättre ekonomi med såväl fläktenergi som värmeenergi. Härtill kommer att torkens byggnadsvolymer blir mindre och reglerutrustningen billigare. Torkningskostnaden i en längdcirkulationstork blir därför ca 15-20 % lägre än i en satstork av jämförbar teknisk kvalitet.

I längdcirkulationstorken kan man inte välja torknings-schemat fritt, utan variationen i torkningskraft utmed torkens längd blir bestämd av avdunstningen längs torken (figur 47). Genom avdunstningen kyls cirkulationsluften vid nästan konstant våt temperatur mot torkens intagsände, då den strömmar i motsatt riktning mot matningsriktningen. Man får vid rätt avvägning av cirkulationsluftmängd, matningshastighet och torklängd en mindre och skonsammare psykrometerskillnad i torkningens första skede än vad man vanligen brukar ha vid satstorkning.

Längdcirkulationstorken byggs normalt med cirkulationsluftfläktarna (3) och värmebatterierna (5) i en våning ovanför virkesvåningen, fläktvåningen, där även till- och frånluften till- resp bortförs. I de fall då värmväxlare (2) finns, blandas förvärmad uteluft (tilluft) till den cirkulerande luften i torken via en tilluftsflykt och ett motordrivet reglerspjäll (8) (vanligtvis på cirkulationsfläktens sugsida). Spjället styrs av våtgivare (7) i kanalens intagsände eller, vilket är vanligare, i dess uttagsände. Alternativt kan spjället styras av en hygrostat, som avkänner luftens relativa luftfuktighet. Frånluften leds ut genom evakueringskanalen och värmväxlaren i torkens våtände, via ett frånluftsspjäll (9) och en frånluftsflykt. Även detta spjäll brukar styras av våtgivaren (7). Värmen till värmebatteriet regleras av en shunt, som i sin tur styrs av en torrtemperaturgivare vid (7).

Den sammanlagda paketbredden i en längdcirkulationstork (x_1) är i allmänhet 20-25 m (sågverkstorkning), vilket motsvarar 13-17 stycken 1,5 breda staplar. För bästa torkningsresultat bör x_1 i längdcirkulationstorkar för enbart 25 mm tjockt furuvirke teoretiskt vara 15-20 m och för enbart 75 mm tjockt furuvirke 30-40 m. I praktiken görs torkarna dock lika långa av byggnadstekniska skäl. I allmänhet görs kanaler för grovt virke för korta.



För bästa torkningsresultat vid torkning från rått virke till 18 % fuktkvot, bör torklängden anpassas efter virkestjockleken enligt ovanstående figur.

Figuren visar även den psykrometerskillnad, $t - t_v$, som bör råda i resp torks insättningsände. Psykrometerskillnaden för 75 mm tjockt virke är något under 2°C och för 25 mm tjockt virke något över 2°C . I en konventionell kanal med fix längd får man emellertid liten psykrometerskillnad vid tunt virke och stor vid grovt virke.

Den stora skillnaden i erforderlig kanallängd kan endast i ringa grad kompenseras genom ändring av cirkulationsluftmängden (t ex lufthastighetsändring $v = 3,5 \pm 0,5$ m/s, streckad i ovanstående figur). Lufthastigheten kan nämligen med hänsyn till temperaturjämnheten i kanalen och den

erforderliga fläkteffekten inte lämpligen väljas lägre än ca 3 m/s resp högre än ca 4-5 m/s.

Virket transporteras normalt på rullbanor. Se föregående kapitel om progressiva tvärcirkulationstorkens transportanordningar.

Man övergår mer och mer till helautomatiska satsningssystem. Staplarna på buffertbanan framför torken matas automatiskt in i torken med förprogrammerade satsningsintervaller på 5-9 timmar. Vid fel i den automatiska virkestransporten kan torkhusoperatören larmas via t ex en liten bärbar radiomottagare.

Torkningskapaciteten per kanal är beroende av vilka virkesdimensioner som torkas. Vid normalpostning vid ett sågverk bör virket delas upp i minst två kanaler, en "brädkanal" och en "plankkanal". Stapelhöjden är normalt inte lägre än 3 m (2 virkespaket). Vid ovan beskrivna premisser blir torkningskapaciteten minimum ca 60 m³/dygn (ca 20.000 m³/år), vilket således kan sättas som gräns mellan valet av sats-tork och progressiv tork.

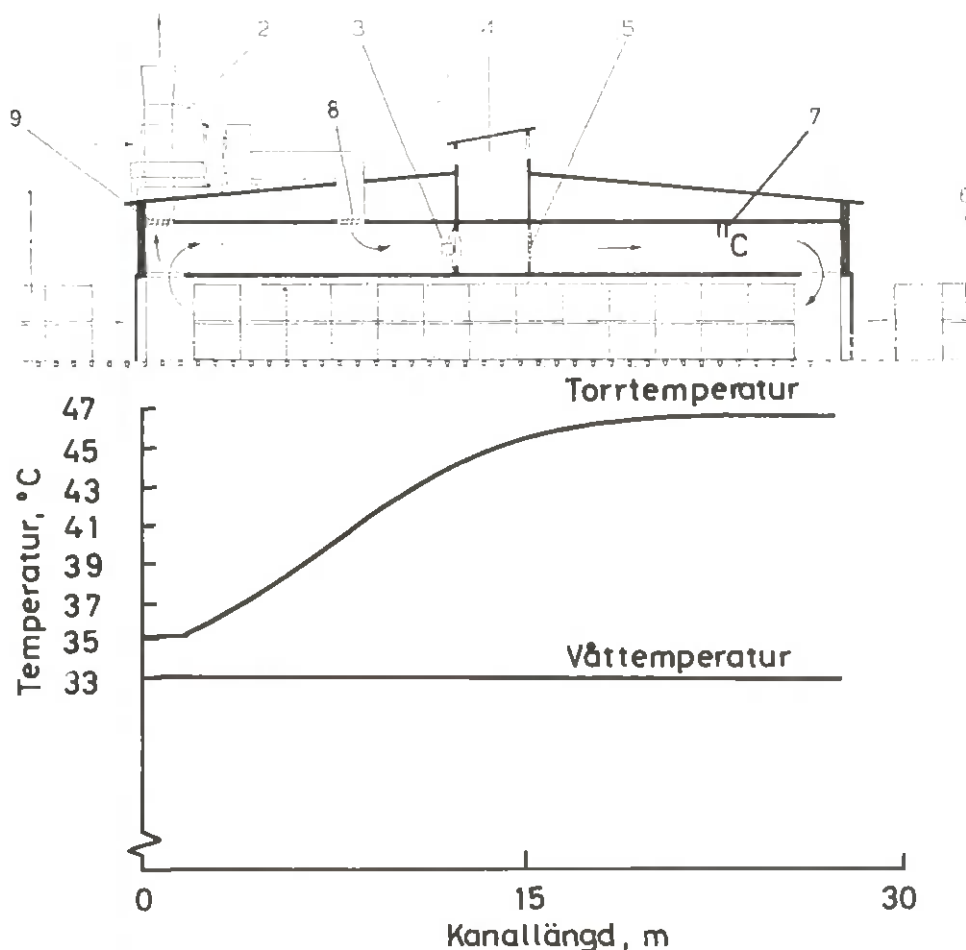
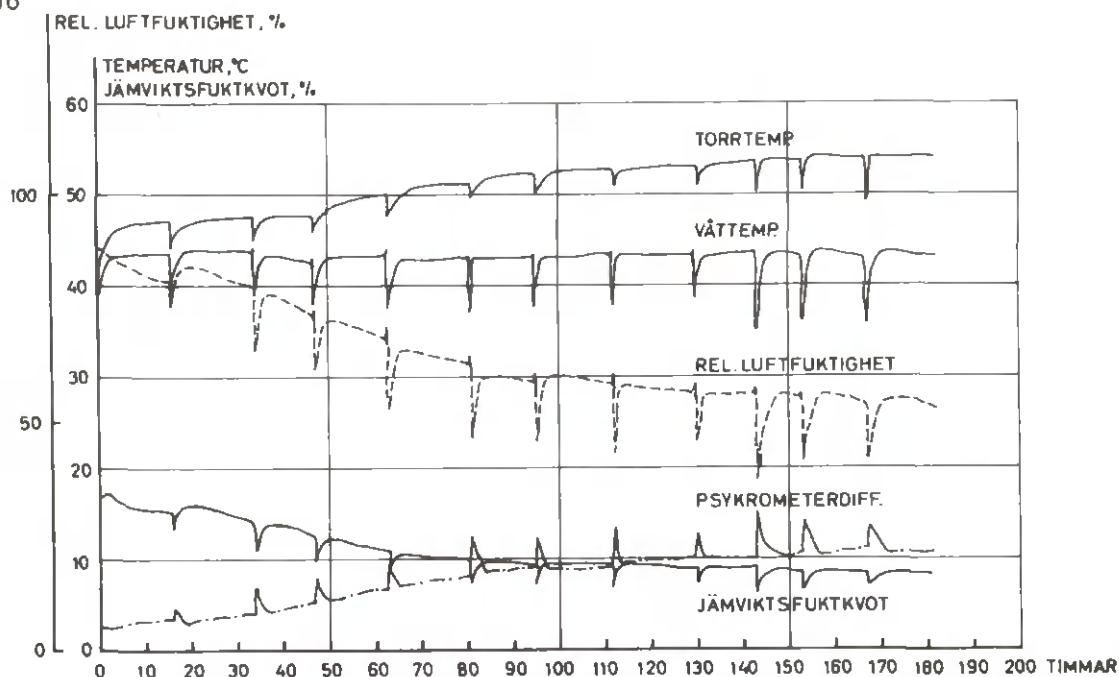


Fig. 47 Progressiv längdcirkulationstork med schematiserat temperaturfall längs kanalen.
 1. Virkespaket 2. Värmeåtervinningsaggregat
 3. Cirkulationsfläktar 4. Manöverrum 5. Värmebatteri 6. Rullbana 7. Psykrometer 8. Tilluftsspjäll 9. Frånluftsspjäll

De fem viktigaste fördelarna med progressiva längdcirkulationstorkar jämfört med satstorkar är:

- 1) Byggnadskostnaderna i förhållande till torkningskapaciteten är lägre.
- 2) Maskin- och kontrollutrustning är billigare per torkad m^3 virke.
- 3) Torken är enklare att sköta och fordrar mindre av torkoperatören. Torkningskvaliteten är därför i allmänhet bättre.
- 4) Torken ger en jämnare ström av torkat virke.
- 5) Anläggningen har en lägre och jämnare värmeförbrukning.



Lufttillstånd och jämviktsfuktkvot som funktion av torkningstiden i en progressiv längdcirkulationstork. Kurvorna är registrerade och beräknade via en, i ett plankpaket (75x150 mm) inmonterad, termohygrograf

Progressiva en-stegstorkarnas nackdelar

Bästa möjliga torkningsresultat betingas av att kanalen kontinuerligt förses med ett träslag, en virkestjocklek och en ingående medelfuktkvot. Virke från flottat timmer bör skiljas från virke ur bilburet timmer. Ska redan halvtorkat plank - virke torkas ned till 18-20 %, bör det om möjligt torkas i en satstork eftersom denna kan anpassa sitt torkningsschema till den aktuella fuktkvoten. Om man är tvungen att torka detta virke i en längdcirkulationstork måste det blandas med nysågat virke, man satsar t ex var 4:e - 5:e stapel med halvtorr virke. Torkkanalerna är många gånger konstruerade och utrustade (evakuering, värmebatterier m m) för att ta hand om en sorts virke (bräder eller plank). De kan inte utan olägenheter användas för andra dimensioner.

Nackdelarna yppar sig främst i att dessa kontinuerliga torkar inte är lämpliga för småsågar. Torkkanalen måste vara så lång att en riktig fördelning av temperatur och relativ fuktighet uppstår längs torkkanalen. (Rätt torkningsschema för resp virkesdimension). Detta innebär att virke som avger mycket fukt (bräder) bör torkas i en kortare längdcirkulationstork än virke med relativt liten fukt (plank).

De kontinuerliga torkarna går dygnet runt och fordrar en ständig värmetillförsel. Denna måste garanteras på något sätt. Pannanläggningar och då särskilt barkpannor måste fungera klanderfritt, i annat fall kan stora torknings-skador, t ex mögelbildning inträffa (gäller samtliga torktyper). Lagg också märke till att man omöjligen kan basa yttorkat virke, då lämpliga basanordningar inte finns.

Vid satsningarna går värme förlorad på grund av de ständiga in- och utlastningarna. Dessutom störs regleringen vid varje satsning.

Virket i kanalen måste flyttas fram med jämna mellanrum om inte torkningsskador ska uppstå. Detta betyder att en viss typ av virke alltid måste finnas på lager för att fylla kanalen. Om virket i kanalen framflyttas utan att kanalen fylls, så erhålls som regel virke med låg utgående fuktkvot och avsevärd sprickbildning.

I denna genomgång har ingen skillnad gjorts mellan tvär- och längdcirkulationstorkar. I stort sett har de samma för- och nackdelar, i varje fall om man jämför dem med satstorkarna. Längdcirkulationstorkarna är enkelt utförda och har låga driftskostnader. Tvärcirkulationstorkarna är däremot mer komplicerade och mycket dyrare, men ger större möjlighet att variera torkningsschemat efter det aktuella virket (halvtorrt virke, dimensionsändringar m m).

9.5 Progressiva längdcirkulationstorkar i flera steg (zoner)

Mer eller mindre lyckade moderniseringar av den vanliga längdcirkulationstorken har i konkurrenssyfte ständigt hållit torkleverantörerna i sysselsättning. Relativt tidigt började man konstruera virkestorkar med en uppvärmningszon där man till en början tog bort torkhusporten på intagsändan och ledde ut den mättade frånluften genom de nysatsade staplarna, figur 48.

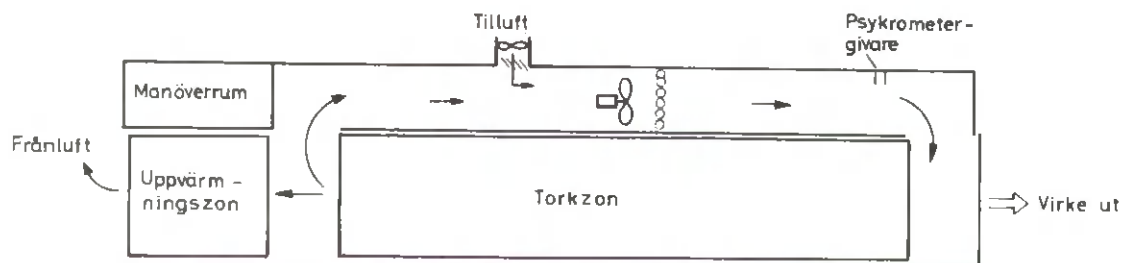


Fig. 48 Längdcirkulationstork med uppvärmningszon.

Rätt dimensionerad fungerar konstruktionen för det mesta bra. Konstruktionen blir dock dyrare eftersom torkzonen måste göras lika lång som den konventionella längdcirkulationstorken. Det har dessutom hittills inte visat sig skonsammare (mindre torkningsskador) för virket att förvärmas. I de fall då virket är fruset när det kommer in i torken, är det troligtvis lämpligt att förvärma virket för undvikande av torkningssprickor. Vid många anläggningar med uppvärmningszoner kan det däremot lätt uppstå mögel då den fukt-mättade frånluften ventileras genom virkespaketen. Detta gäller speciellt vattenlagrat, längre tid landlagrat och stormfällt virke. I dessa fall har man varit tvungen att gå förbi uppvärmningszonen vid satsningen. Med en uppvärmningszon uppnår man en viss värmeåtervinning, i medeltal 170 kJ/kg avdunstad vattenmängd vid $+5^{\circ}\text{C}$. En del av frånluftens värme återgår till torken. Denna återvinning är mer effektiv ju lägre temperatur det ingående virket har. En effektivare värmeåtervinning uppnås i en konventionell värmeväxlare (i medeltal 840 kJ/kg avdunstad vattenmängd vid $+5^{\circ}\text{C}$). Priset på värmeväxlare är nästan dubbelt så högt som för en förvärmningszon men blir i längden mer ekonomisk.

I marknaden finns även torkar med avsvalningszoner, figur 49.

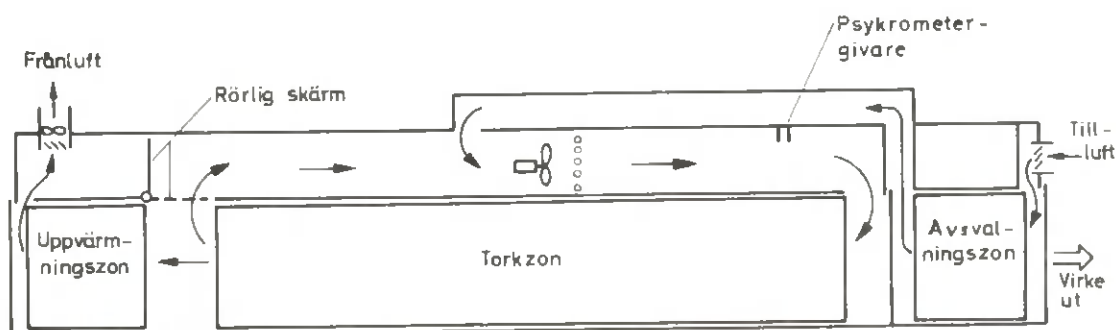


Fig. 49 Längdcirkulationstork med uppvärmningszon och avsvalningszon.

Det har inte heller här kunnat påvisas någon förbättring av virkeskvaliteten på grund av långsam avsvalning.

Torken i figur 49 finns även i en annan utformning, där torkningen uppdelats i två steg, med separata cirkulationsfläktar och värmebatterier. Stegen är där avdelade med en port.

En förbättrad konstruktion av uppvärmningszonen är den, där zonen försetts med en rörlig skärm, figur 49 (på t ex Wallman och Stargrens nya torkar). Skärmen kan fällas ned om mögelrisk föreligger (ökad lufthastighet och psykrometer-skillnad i uppvärmningszonen).

På senare år har det tagits fram längdcirkulationstorkar, som är uppdelade i två steg. Stegen är inte avgränsade utan den cirkulerande luften blandas i ett nedblåsningsschakt, figur 50.

Det har tidigare konstaterats att torkens längd bör göras betydligt större om risken för torkningsskador i det grövre virket ska kunna minskas väsentligt. En ökad kanallängd innebär emellertid en rätt kraftigt ökad effektförbrukning och ökar dessutom svårigheterna vid stor avdunstning, dvs vid torkning av sidobräder. Detta pekar på att torkkanalen

bör delas upp i två cirkulationssteg.

I en 2-stegstork måste strömningen i det första steget anordnas i motström till matningsriktningen så som vid den enkla torken. Det visar sig vara förenat med ett stort antal viktiga fördelar att anordna cirkulationen i medström till matningsriktningen i det andra steget, av vilka de viktigaste är följande (jfr figur 50):

- Man får en mycket homogen cirkulationsluft som strömmar bakåt i steg 1 och framåt i steg 2.
- Man får ett balanserat statiskt tryck i torkkanalen, varigenom dess båda portar kan bringas att täta väl, om man sörjer för att man får ett måttligt undertryck vid portarna.
- Man behöver ingen hissbar avgränsning mellan stegen.
- Man behöver reglera torkluftens tillstånd i kanalen endast i en punkt.
- Man behöver ventilera torkkanalen endast i en punkt.
- Varje virkespaket kommer att genomströmmas i bägge riktningarna, varigenom den utgående fuktkvoten blir jämnare.
- Den i det andra steget avtagande psykrometerskillnaden innebär en ökad jämviktsfuktkvot mot slutet av torkningen, vilket också bidrar till en jämnare slutfuktkvot.
- Man får en snabbare stegring av psykrometerskillnaden under första delen av torkningen, vilket ger mer utjämnad fuktkvotsgradient i det kritiska torkningsskedet.
- Man får ingen diskontinuitet i torkningsbetingelserna.
- Reglering vid C_1 (figur 50) möjliggörs och denna ger god stabilisering av torkningsschemat (se figur 50).

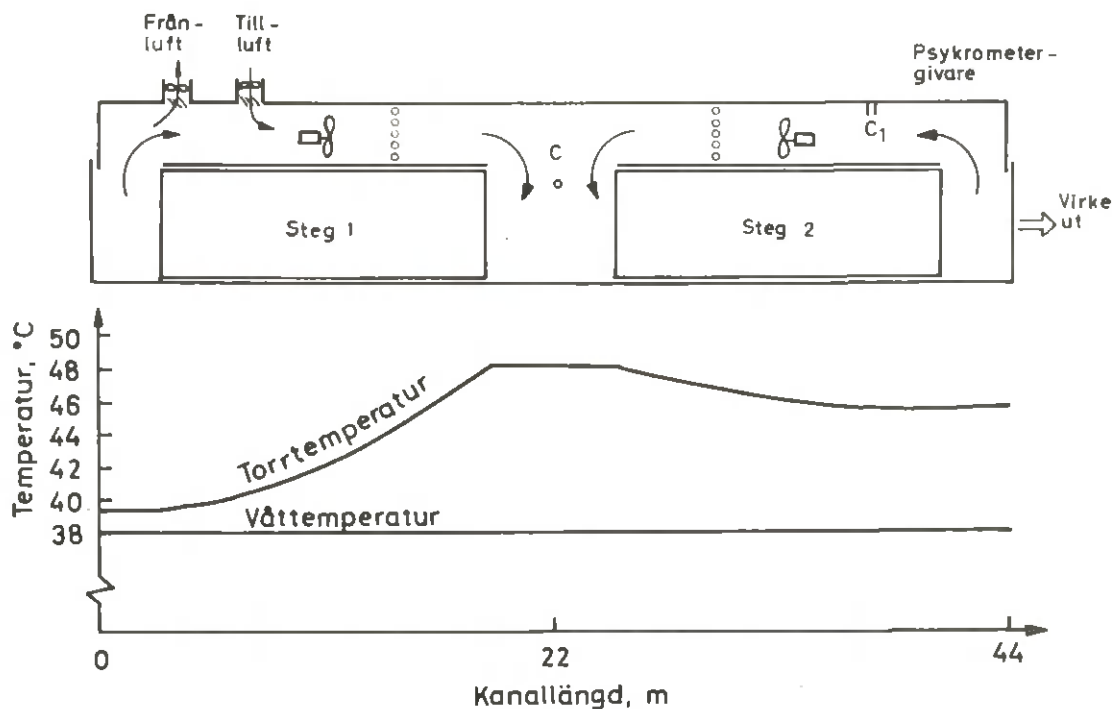


Fig. 50 Progressiv längdcirkulationstork i två steg samt schematiserat temperaturfall längs kanalen.

I denna typ är det meningen att i första steget torka ned virket till dess fibermättnadspunkt och därefter torka virket till $u = 15-20\%$ i andra steget.

Styrning av torra och våta temperaturen bör ske i utblåsningssändan i steg 2. Den torra givaren reglerar värmen till värmebatterierna i de båda stegen och den våta temperaturen reglerar till- och frånluftsspjällen.

Placering av givaren vid C_1 har visat sig ge en mycket stabil styrning av klimatet längs torken med gott torkningsresultat som följd.

En något sämre styrning av klimatet längs torken erhålls i de torkar som reglerar klimatet var för sig med givare i resp stegs torra eller våta ände (t ex C i figur 50). Dessutom måste torken förses med ytterligare ett tilluftintag. Spjället till detta tilluftintag skulle då styras av en

våttemperaturgivare i steg 2.

Varför blir klimatet stabilare om torren styrs vid C_1 ? För att förstå detta måste man först se vad som händer vid inmatning av virket i en vanlig enstegs längdcirkulationstork när matningshastigheten varierar (vilket i praktisk drift aldrig kan undvikas). Effekten av matningshastighetens ändring blir densamma som om den ingående medelfuktkvoten ändras. Ändring av den ingående medelfuktkvoten sker t ex vid ändring av de satsade virkets tjocklek, blandning av landlagrat och sjölagrat virke, virke med olika lång lagringstid m m. I figur 51 visas effekten av ändring i matningshastighet i en enstegs längdcirkulationstork som styrs i uttagsänden (i punkt C i figur 47).

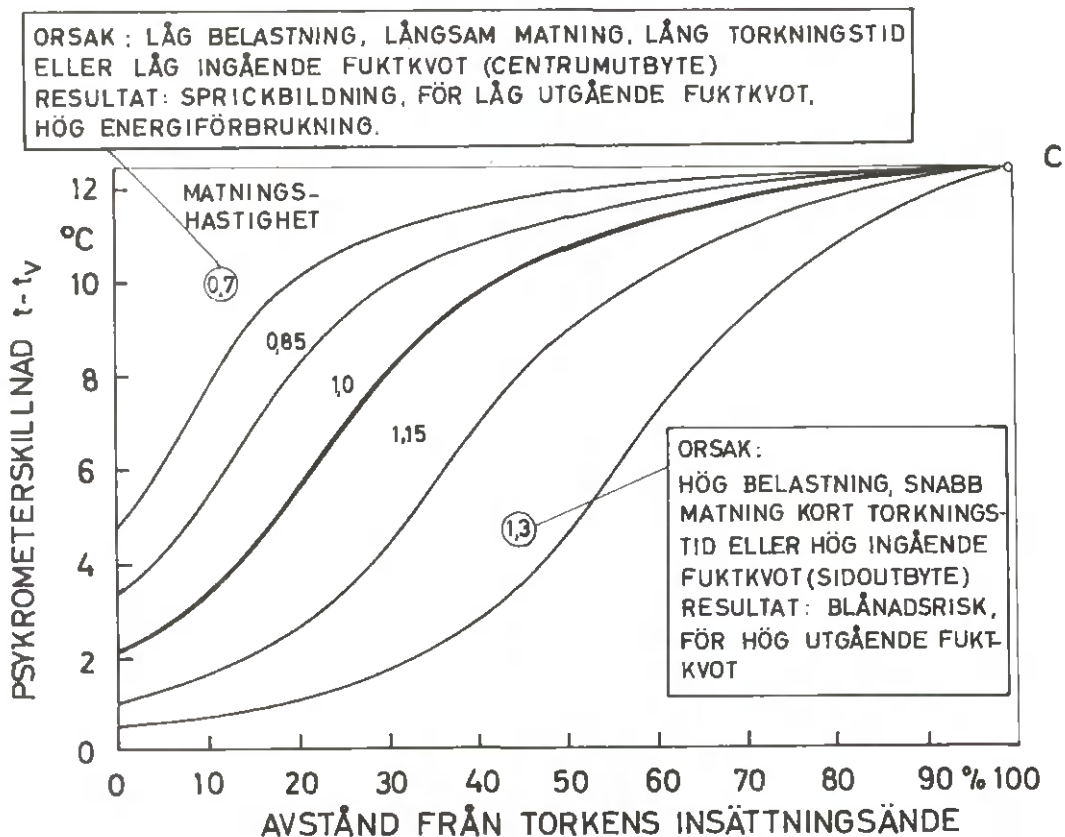


Fig. 51 Beräknat torkningsschema för 50 mm tjockt furuvirke i en enstegs längdcirkulationstork vid olika matningshastigheter (+ 30 % över- resp undermatning). Den sammanlagda paketbredden x_1 är 25 m. Torkningstiden τ är 120 timmar för tjocka kurvan. Luft-hastigheten $v = 3,5$ m/s.

Kompenserande åtgärder måste vidtagas, som stabiliserar torkningsschemat. Man mäter vanligtvis luftens temperatur i insättningsändan och med ledning därav försöker man ändra matningshastigheten eller alternativt cirkulationsmängden i sådan omfattning att den mätta temperaturen inte ändras för för mycket. Detta förfarande är i det hänseendet otillförlitligt, att avsevärda mätfel lätt inträffar. Cirkulationsluften är i insättningsändan av torken vanligen skiktad i kalla och varma luftströmmar, särskilt om tätningen i kanalen är bristfällig. En riktig medeltemperaturmätning är då mycket svår att utföra.

På grund av torkningsschemats instabilitet måste torkningen planeras och övervakas mycket omsorgsfullt så att man i möjligaste mån undviker att kontinuiteten i torkningen bryts. Härigenom utöver torken ett hämmande inflytande på produktionsplaneringen i övrigt vid ett sågverk.

Såsom nedan ska visas är det emellertid möjligt att stabilisera längdcirkulationstorkens torkningsschema, vilket i mycket hög grad förenklar driften.

Längdcirkulationstorken i ett steg har ytterligare en negativ egenskap av stor praktisk betydelse för torkningsresultatet. I en kanal med fixerad längd blir torkningsschemat sådant vid torkning av olika virkestjocklekar att tjockt virke ger en form på schemat som är likartad med kurvan för låg belastning enligt figur 51, medan tunt virke ger en form som liknar kurvan för hög belastning. Detta är närmast omvänt mot vad som vore önskvärt med hänsyn till torknings-skador på virket. Normalt vill man ha liten psykrometer-skillnad (ca $1,5^{\circ}\text{C}$) i intagsändan vid tjockt virke och relativt stor psykrometerskillnad ($3-4^{\circ}\text{C}$) vid tunt virke. En optimal dimensionering av en längdcirkulationstork ger därför olika längd på kanalen för olika virkestjocklekar.

I en 2-stegstork med mot-medström enligt figur 51 kan cirkulationsluftens torra och våta temperatur regleras antingen på konventionellt sätt före luftens inströmning i virkespaketen, dvs i punkten C, eller efter luftens genomströmning av det andra steget, dvs i punkten C_1 .

Om regleringen sker i punkten C blir torkningsschemat låst i denna punkt enligt figur 52. Såsom framgår av en jämförelse med figur 51 uppnår man att förskjutningen av schemat längs kanalen blir mindre vid ändrad belastning om schemat låses vid mitten av torken.

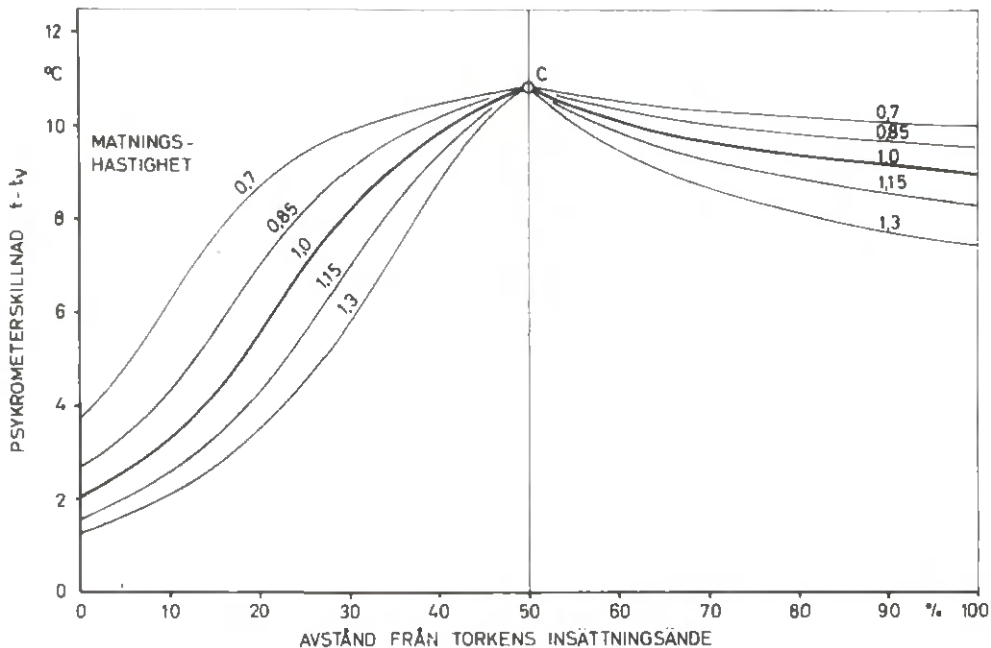


Fig. 52 Beräknat torkningsschema vid olika matningshastigheter i en tvåstegs längdcirkulations-tork med luftcirkulationen i motström-medström och cirkulationsluftens tillstånd reglerat i mellanrummet mellan stegen. Den sammanlagda paketbredden x_1 är 25 m.

Om regleringen sker i punkten C_1 uppnår man den remarkabla effekten att torkningsschemat förutom i punkten C_1 automatiskt låses även i punkten C_2 (figur 53) utan att några reglerdon anbringas i denna punkt. Härigenom uppnås enkelt en betydande ytterligare effekt i stabiliserande syfte.

Denna s k FB-reglering (Feed Back) är således mycket effektivt stabiliserande.

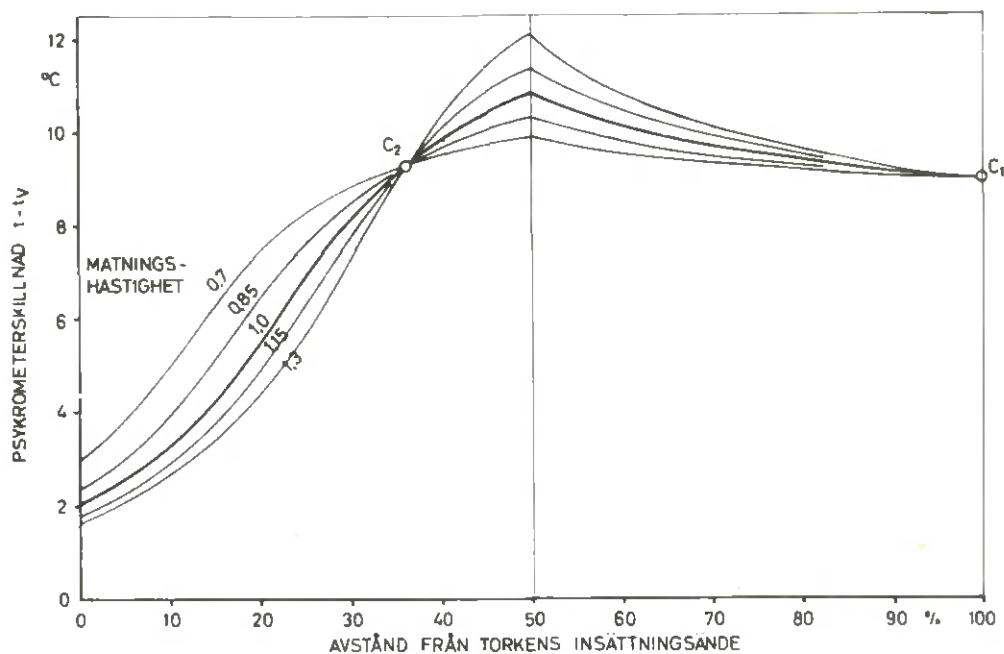


Fig. 53 Beräknat torkningsschema vid olika matningshastigheter i en tvåstegs längdcirkulations-tork, typ FB. Den sammanlagda paketbredden x_1 är 25 m.

För att få ett kvantitativt mått på stabiliseringseffekten har den utgående medelfuktkvoten beräknats i alla de behandlade fallen, figur 54. Kurvan A anger den utgående medelfuktkvoten vid ändrad matningshastighet för enstegstorken enligt figur 51. Fuktkvoten stiger från 18 % till ca 25 % vid matningshastigheten 1,3. För tvåstegstorken med reglering vid torkens mitt blir motsvarande fuktkvot ca 22,5 % (kurva B) medan ökningen i FB-torken (kurva C) begränsas till 2 %, dvs fuktkvoten blir 20 %. Vid en ideellt antagen 100-procentig stabilisering av torkningsschemat ökas den utgående fuktkvoten till ca 19 % vid samma ökning av matningen (kurva D).

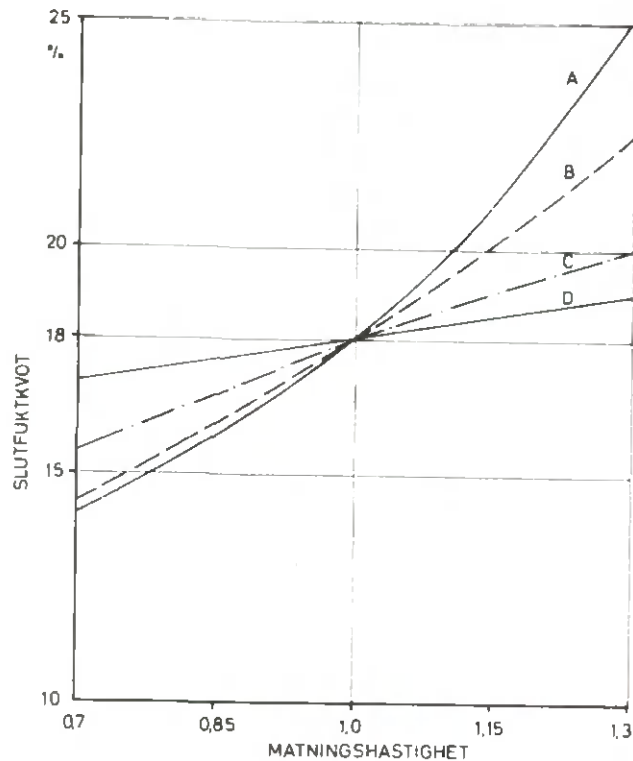


Fig. 54 Förändring av den utgående medelfuktkvoten vid olika matningshastigheter i olika typer av cirkulationstorkar
 A = ettstegs längdcirkulationstork
 B = tvåstegs tork, reglerad vid mitten
 C = tvåstegstork, reglerad i uttagsänden
 D = ideellt stabiliserad tork

Såsom framgår av figur 53 förändras FB-torkens torkningsschema obetydligt vid överbelastning av torken, medan underbelastning ger en något större ändring i torkningsschemat. Överbelastning förekommer ofta i praktiken och dess skadliga konsekvens, som för enstegstorken är betydande, begränsas i FB-torken till en måttligt ökad utgående fuktkvot, förutsatt att värmeeffekten räcker till. Det har i praktiken också visat sig möjligt att "överbelasta" torken kontinuerligt, dvs torkningstiden för det grövre virket har kunnat avkortas med ca 25 %.

Denna "överbelastning" möjliggör att samtorka alla virkestjocklekar som förekommer vid ett sågverk.

Denna metod förutsätter att man dubbellägger allt centrumvirke med tjockleken upp t o m 38 eller 50 mm, medan sidovirket dubbel- eller eventuellt trippelläggs. Man får då ett gemensamt torkningsschema för alla virkestjocklekar. Genom dubbelläggningen, som i praktiken visat sig ge goda torkningsresultat, uppnår man att de utgående medelfuktkvoterna inte avviker från varandra mer än vad som kan tillåtas för de olika virkestjocklekarna.

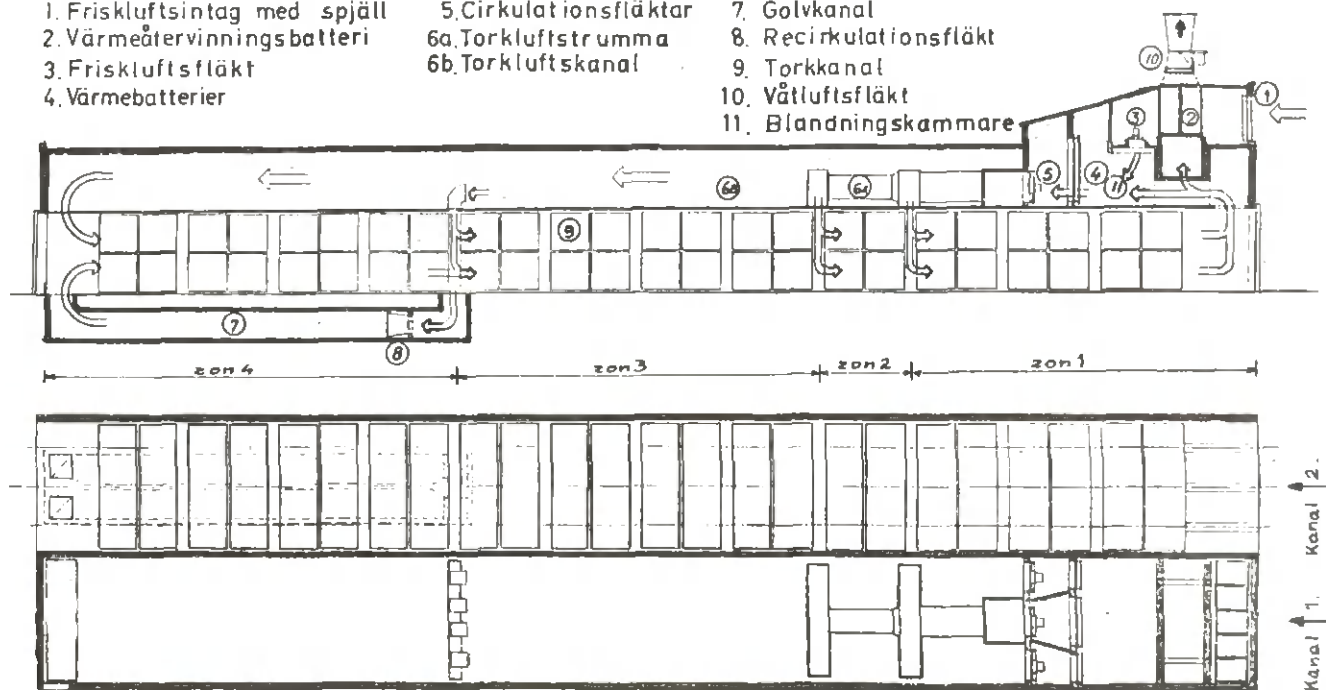
Figur 55 visar torkningsschemat för en så dimensionerad tork vid torkningstiden 5,5 dygn. Torken delas något före kanalens mitt (streckad kurva) och då blir psykrometerskillnaden i kanalens insättningsände ca $1,5^{\circ}\text{C}$. Vid samtorkning blir värdena på den utgående medelfuktkvoten ca 17 % för 75 mm virket, ca 18 % för dubbellagt 50 mm virket och ca 15 % för 25 mm virket. Man får med detta arrangemang en maximal enkelhet i driften, eftersom man inte behöver styra olika virkesdimensioner till speciella kanaler.

En annan men äldre längdcirkulationstork (system Ventilator-Mörch) som är ca 60 m lång och uppdelad i flera zoner visas nedan.

1. Friskluftsintag med spjäll
2. Värmeåtervinningsbatteri
3. Friskluftsfläkt
4. Värmebatterier

5. Cirkulationsfläktar
- 6a. Torkluftstrumma
- 6b. Torkluftskanal

7. Golvkanal
8. Recirkulationsfläkt
9. Torkkanal
10. Våtluftsfläkt
11. Blandningskammare



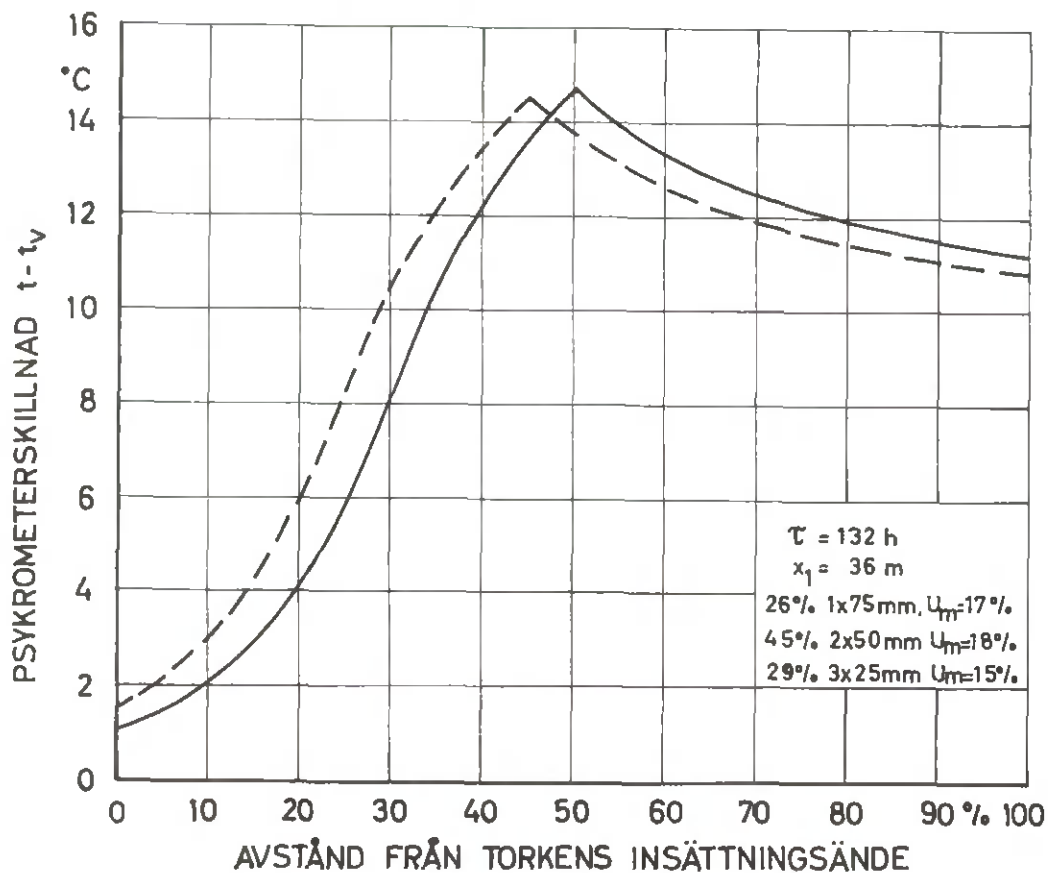


Fig. 55 Beräknat torkningsschema i en tvåstegs längdcirkulationstork vid samtorkning av virke med olika tjocklekar.
 Heldragen kurva: torken delad på mitten.
 Streckad kurva: torken delad före mitten.

9.6 Speciella torkningsmetoder

9.6.1 Kondensationstorkning

Som anförts i kap 2.5 kan relativa luftfuktigheten sänkas vid nedkylning till daggpunkten, varvid vatten fälls ut (kondenserar). Denna princip utnyttjas i den s k kondensationstorken, figurerna 56 och 57.

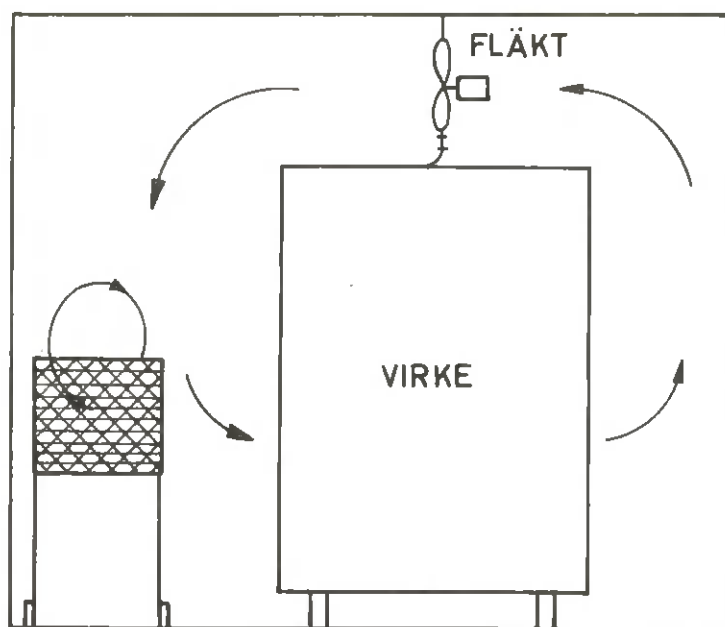


Fig. 56 Kondensationstork med flyttbart avfuktningsaggregat

Torken fungerar på samma sätt som en vanlig satstork mer med den skillnaden att luften i torken torkas med hjälp av kondensering i stället för att utbytas mot torrare uteluft genom till- och frånluftskanalerna. Torken körs efter samma torkningsschema som används för vanliga satstorkar. Torkkammaren är således helt sluten förutom ett avlopp för kondensationsvatten. En viktig skillnad är dock att man med en del kondensationsaggregat har möjlighet att torka virket vid låg temperatur. Vid snickeritorkning på vanligt sätt, måste man gå upp i relativt stora psykrometer-skillnader, vilket innebär att torra temperaturen i slutet av torkningen blir 40-70°C om våttemperaturen är 22-50°C.

Försäljare av kondensationsaggregat är:

Hans Schröder AB	-	West Air (Engl)
Hildebrand Maskin AB	-	Hildebrand (Ty)
Sigfrid Stenberg AB	-	Ceaf (Ital)
Wallman & Stargren AB		

(Se även kap 14.4)

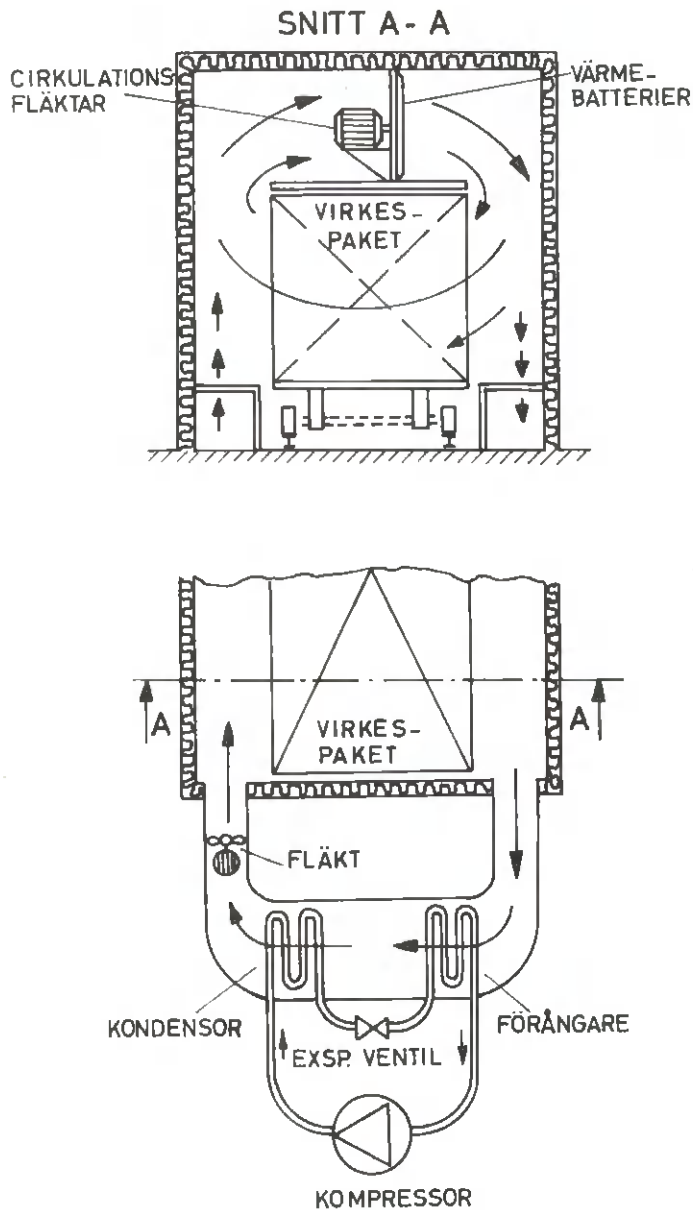


Fig. 57 Kondensationstork med stationärt aggregat.

Verkningsättet i avfuktningssystemet är följande (figur 57): Kompressorn (värmepumpen) suger ånga (Freon 12) från förångaren, komprimerar ångan och pumpar in den i kondensatorn. Här kondenserar freonet till vätska och kondensationsvärmets avges till torkluften, som strömmar på utsidan av kondensatorn. Freonet passerar därefter en expansionsventil,

så att trycket blir reducerat innan det går in i förångaren, där det återigen förångas. Förångningsvärme åtgår vid förångningen av freonet, vilket tas från torkluften, som i sin tur avkyls.

Temperaturen vid förångaren är omkring 10°C samtidigt som kondensorn är ca 60°C . Torkluftens temperatur varierar efter gängse torkningsschemor ($t = 35-50^{\circ}\text{C}$). Den del av torkluften som leds genom aggregatets värmeväxlare, passerar först anläggningens förångare, där den blir avfuktad (luften avger värme för förångningen av freonet). Därefter strömmar luften genom kondensorn, där den blir uppvärmd av freonets kondenseringsvärme. Denna värmemängd är lika stor som den värmemängd freonet upptog i förångaren plus kompressorns nettoarbete (elektrisk ineffekt gånger verkningsgraden). Luften har således en högre temperatur ut ur aggregatet än in i det.

Torkprocessen styrs av en termostat och en hygrostat. Dessa är placerade i aggregatets ventilationskanal. Termostaten reglerar elektriska värmebatterier, som är monterade inne i kammaren. Hygrostaten reglerar kompressorns från- och tillslag.

Denna torktyp lämpar sig för närvarande endast för torkning av små mängder virke.

Torkanläggningen kan göras ganska billig, då befintliga utrymmen kan användas. Aggregatet i figur 56 kan lämpligen även användas för konditionering av virke i lagerutrymmen.

Värmeförbrukningen är relativt låg, 3,5-4 MJ/kg avdunstad vattenmängd. Driften av anläggningen blir dock ganska dyr, eftersom kompressorn måste drivas med elström. Drift med elström är för närvarande (1975) i Sverige tre gånger så dyr som drift med olja. Jämfört med en vanlig satstork blir torkningskostnaderna ungefär lika stora. Körs torkanlägg-

ningen i figur 57 utan extra värmebatterier (värme endast från värmepumpen och fläktarna), ökar torkningstiden och torkningskostnaderna väsentligt.

Utveckling av större avfuktningssystem pågår för närvarande i exempelvis England och Sverige.

9.6.2 Högfrekvenstorkar

Vid denna torkningsmetod tillförs den för avdunstningen erforderliga värmemängden såsom "dielektriska förluster" direkt till det i virket befintliga vattnet och behöver inte ledas från ytan såsom är fallet vid den vanliga torkningen, där den erforderliga värmemängden tas från torkluften. Härigenom erhålls en liten fuktkvotsskillnad mellan virkets inre delar och dess ytskikt (figur 58), vilket innebär mindre krympningsskillnad mellan nämnda delar av virket med följd att sprickbildningsrisken minskar.

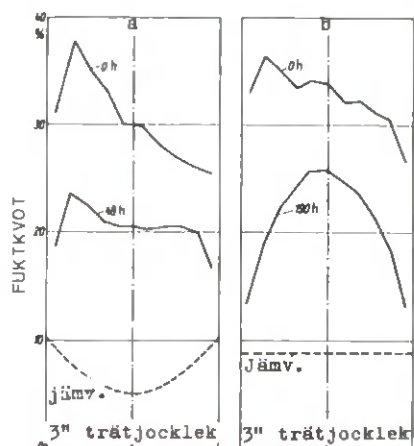


Fig. 58 Fuktkvotfördelning över virkestjockleken före torkning, under torkning och i beräknat jämviktstillstånd (furu)

- a) högfrekvenstorkning med 60°C temperatur i träets mitt
- b) konvektionstorkning med 60°C torrtemperatur

När vattnet i träet uppvärms, utvecklas ånga i det inre av träet. Ångan måste ha möjlighet att kunna avgå med lagom diffusionshastighet, annars uppstår inre sprickor. Vid hög fuktkvot, grova dimensioner och vid kärnvirke (furu, gran) måste därför torkning med högfrekvens ske mycket försiktigt.

Lövarter som bok (utan rödkärna), björk, ljus ask, lind, poppel, abachi med flera kan torkas med högfrekvens. Vattenångan som utvecklas i träets inre kan lätt diffundera ur träet och den torkade produkten kommer normalt att bli sprickfri. Träarter som ek (kärna), bok med rödkärna, storkärnad ask med flera lämpar sig dåligt för denna torkningsmetod, speciellt vid torkning från grönt tillstånd.

Barrträ kan torkas med högfrekvens men kådflytning, lossnande kvistar och i viss mån mörkfärgning kan uppstå vid för höga temperaturer. För svenskt exportvirke (furu och gran) anses torkning med högre temperaturer än 50-60°C inte möjlig med hänsyn till marknadskravet på virkets utseende. Vid högfrekvenstorkning bör således detta virke avkylas med fuktig luft, så att en del av den alstrade dielektriska förlustenergin överförs till torkatmosfären, som i detta fall därvid upptar värme från virket i motsats till konventionell torkning.

Sammanfattningsvis ger högfrekvenstorkning följande fördelar:

- låg fuktighetsgradient
- låg sprickbildning
- torkningstiden är - inom rimliga gränser - oavhängig av trätjockleken för samma träslag
- kostnaden för in- och utlastning och ströläggning blir ringa.

Nackdelen med högfrekvenstorkningen är att energikostnaden blir hög. Energiförbrukningen vid torkning av 75 mm tjock furu från $u = 60\%$ till $u = 20\%$ blir t ex 9,0-10,0 MJ/kg

avdunstad vattenmängd. Då anläggningen endast kan drivas med elström (energimässigt ca 3 gånger så dyr som olja) blir energikostnaden ca sex gånger så hög som för konventionell torkning. Torkanläggningen kan göras kontinuerlig i större skala, figur 59, eller i mindre skala, figur 60.

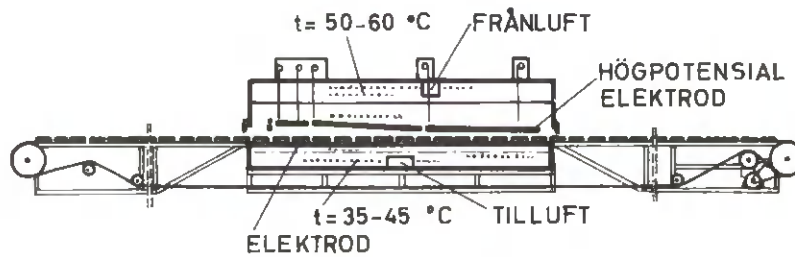


Fig. 59 Snitt genom en kontinuerlig högfrekvenstork för torkning av skoläster av bok

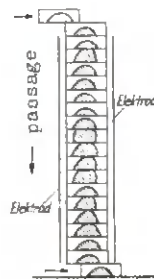


Fig. 60 Schematisk framställning av anordning för virkets passage mellan elektrodena

9.6.3 Vakuamtorkning

Denna torkningsmetod är först och främst baserad på det välkända förhållandet att vattnets kokpunkt avtar med sjunkande lufttryck (ökande vakuum).

Undertryck eller vakuum %	Vattnets kokpunkt °C
0	100
50	85
75	65
90	45

Träet placerad i en behållare som pumpas delvis lufttom. Därvid ökar förångningen utan att virket utsätts för förhöjd temperatur.

Det har emellertid visat sig att vattenrörelsen inte ökar i takt med förångningshastigheten vid en sådan fortsatt vakuumbehandling. Risk för ytsprickor och ojämn fuktfördelning ökar. Metoden är modifierad (diskontinuerlig vakuumtorkning) på ett sådant sätt att träet först uppvärms på sedvanligt sätt, varefter det utsätts för vakuum, varvid träets yta snabbt torkar. Torkningen fortsätter med växelvis uppvärmning och efterföljande vakuum, tills den önskade träfuktigheten uppnåtts.

Vakuumtorkning är relativt sällsynt och förekommer aldrig vid sågverkstorkning. Metoden är dyr både i anläggning och drift. Träarter, som torkar snabbt vid vakuumtorkning, torkar normalt också snabbt i satstorkar.

9.6.4 Presstorkning

Metoden används huvudsakligen vid torkning av bokparkettstavar (patent Junckers Savverk A/S i Köge, Danmark). Torkningen sker från grönt tillstånd ned till ca 2 % fuktkvot på följande sätt:

- stavarna läggs på stora plåtar
- plåtarna förs automatiskt in i en etagepress
- stavarna utsätts för en temperatur av 165°C och ett tryck på 1,2 MPa (12 kp/cm²)

- torkningen pågår till fuktkvoten 1,5 - 2 %
- nedkylning i konditioneringsrum under en veckas tid
- uppfuktning till 7-7,5 % fuktkvot i vakuum-trycktork i 4 timmar vid 100°C och mättad ånga
- 8 dagars lagring innan bearbetning av stavarna

Under pressningen behåller stavarna sin fulla bredd men krymper i tjockleksriktningen. Stavarna blir plana, eftersom de inte har någon möjlighet att vrida sig.

9.6.5 Torkning i organiska vätskor

Genom att sänka ned vått trä i ett oljebad, där temperaturen ligger över kokpunkten, är det möjligt att uppnå en snabb torkning av träet. Metoden togs fram i samband med impregnering av trä. Man har emellertid haft problem på grund av kraftig sprickbildning. Metoden är endast användbar för träslag som lätt avger vatten. Förloppet vid torkningen påminner om högtemperaturtorkning. I träets närmaste omgivning ligger ett ångskikt, som har samma temperatur som oljebadet. Med reglering av oljebadets temperatur kan lämplig jämviktsfuktkvot erhållas. Så länge träet innehåller fritt vatten, kommer dess temperatur att vara 100°C. När fibermättnadspunkten uppnåtts, börjar träets temperatur att närma sig oljebadets temperatur.

En annan variant av metoden (Boulton-processen) som innebär användning av vakuum, varvid vattnets kokpunkt sänks, har fått en viss utbredning i USA som förbehandling (torkning) av grönt trä före impregnering.

Vid användning av Boulton-processen kan en betydande minskning av sprickbildningen uppnås vid torkning av runda gröna pålar. Detta har dock endast utprovats på Eukalyptusträ.

Impregneringsindustrin har utvecklat ytterligare en snabb

torkningsmetod (vapour drying). Träet i impregneringscylindern torkas med hjälp av ånga från ett organiskt lösningsmedel, t ex aceton eller zylen. Den varma ångan från lösningsmedlet leds in i cylindern, varvid träet uppvärms. Blandningen av vattenånga och ånga från lösningsmedlet leds till en anläggning, där vattnet skiljs från lösningsmedlet, som sedan kan återanvändas.

Vid metoden upplöses i barrträ en del harts, som kan utnyttjas i den kemiska industrin.

Torkning i organiska vätskor sker i praktiken i begränsad omfattning.

9.6.6 Salttorkning

Om grönt trä läggs i en lösning av ett hygroskopiskt salt, t ex vanligt koksalt (NaCl) med hög koncentration, kommer saltet att diffundera in i träet och vattnet ut i saltlösningen.

Saltbehandlingen, som är förhållandevis kortvarig (ca 1 dygn per 25 mm virkestjocklek), kommer att ändra träets jämviktsfuktkvot. Jämviktsfuktkvoten vid en given relativ luftfuktighet kommer att bli högre än för obehandlat trä. T ex saltbehandlad (NaCl) alm får vid en relativ luftfuktighet på 50 % en jämviktsfuktkvot på ca 18 %. Obehandlad alm får vid motsvarande luftfuktighet en jämviktsfuktkvot på 9 %. Metoden används för särskilt värdefullt trä i kombination med vanlig varmlufttorkning om tjockt tungt trä ska torkas utan ytsprickor. Saltet ser till att virkesytan hålls våtare än normalt.

Behandlingen kan ge korrosionsproblem för järndelar, t ex skruvar och spikar.

Saltbehandling utförs ofta genom att stapla grönt virke tätt tillsammans med saltet mellan virket.

Vid torkning av trätrissor är det lämpligt att saltbehandla dessa före torkningen för att i viss mån eliminera radialsprickor (hög jämviktsfuktkvot - liten krympning).

Polyetylenglykol (PEG) är en vaxliknande vattenblandad lösning, som vid impregnering i rått trä i stort sätt förhindrar krympning och sprickbildning under efterkommande torkning. Polyetylenglykol ersätter fibervattnet i träet men inträngningen i träet är sämre än för salter. PEG-behandling är lämpligt före torkning av stockar och trätrissor.

Andra ämnen som används i samband med torkning eller vid höjning av jämviktsfuktkvoten är: dimetylol, dietylenglykol och amoniumsulfat.

9.7 Brädgårdstorkning (friluftstorkning)

Fram till år 1920, då de första sågverkstorkarna började byggas, hade allt virke torkats i brädgård. Sedan dess har utvecklingen gått raskt framåt. De senaste åren har den volymmässiga fördelningen mellan brädgårdstorkat och sågverkstorkat virke varit följande:

	Brädgårds- torkat	Torkhus- torkat	Ingen uppgift (levererats rått)
1965	38 %	58 %	4 %
1973	65 %	30 %	5 %
1976 (uppskattning)	70 %	25 %	5 %

Den faktor som starkast påverkar torkningshastigheten är luftens relativa fuktighet (psykrometerskillnaden). Vid en relativ luftfuktighet av 95-100 % avstannar torkningen praktiskt taget helt även för nysågat virke. Så länge det råder plusgrader, tycks inte temperaturen nämnvärt påverka torkningshastigheten. Är t ex temperaturen över 0°C och

relativa luftfuktigheten under 80 %, har man alltid torkning så länge virket inte överskrider 20 % fuktkvot. Höga vindstyrkor leder ovillkorligen till god torkning.

I en brädgård är inte torkningen kontinuerlig utan perioder med torkning kan avlösas av fuktupptagning i virket. Torkförloppet är givetvis starkt årsbetingat, vilket klarast framgår av följande figurer.

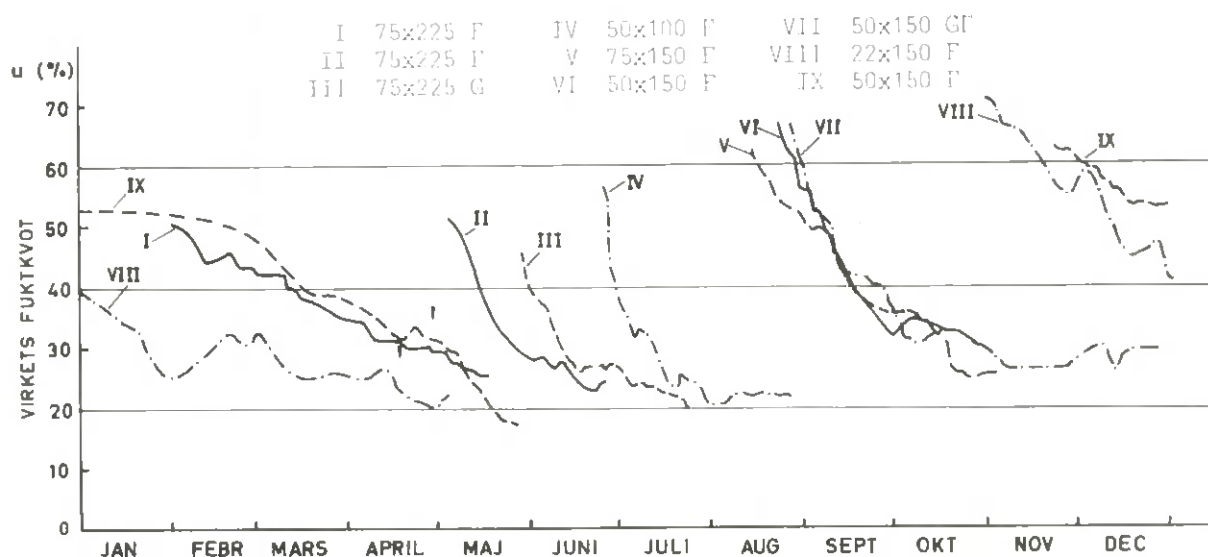


Fig. 61a Torkningsförloppen som funktion av årstiderna på o/s-virke i Sundsvallsområdet (1963-1965). F = furu, G = gran. Observera att kurvorna IX och VIII är vardera uppdelade i två kurvor i början och slutet på x-axeln.

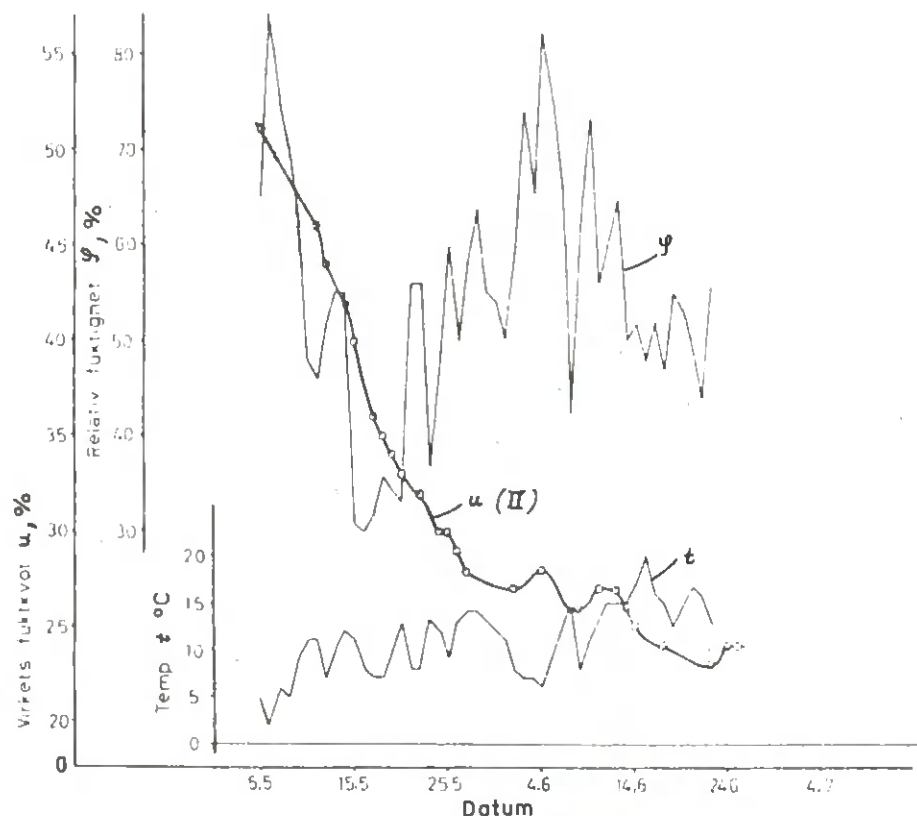


Fig. 61b Virkets fuktkvot som funktion av torkningstiden samt klimatet under torkningsperioden 75x225 furuvirke (motsvarar kurva II i figur 61a).

Den del av torkningstiden då uttorkning av det bundna vattnet sker, sträcker sig över den längsta tiden.

I modern tid får man nog anse att brädgårdstorkningen för större produktionsenheter av gran och furu är synnerligen orationell. Den långa torkningstiden gör produktionen osmidig och svår att anpassa efter växlande produktionsbehov. Torkningen är på grund av väderleksförhållanden chansartad med risk för relativt hög mängd kvalitetsförsämrat virke. Genom bl a snickeriteknikens utveckling samt högre krav på jämn och låg slutfuktkvot, har den fuktkvot som är möjlig att uppnå vid brädgårdstorkning blivit otillräcklig.

Stora ränteförluster görs på det kapital som virket utgör.

Exempel 1

5000 m³ virke i en brädgård har i marknaden ett värde av ca 3,5 miljoner kronor. Med en ränta på 10 % blir förlusterna 350.000 kronor per år.

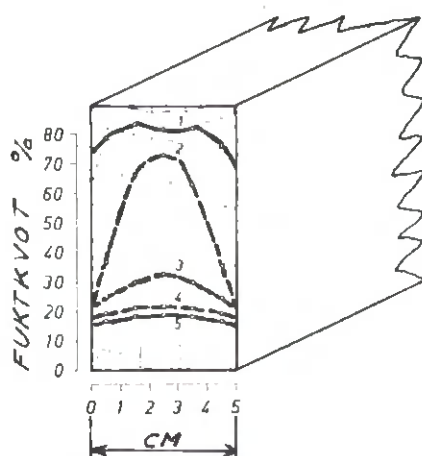
Exempel 2

25.000 m³ virke i en brädgård har i marknaden ett värde av ca 17,5 miljoner kronor. Om man antar att ett buffertlager på 5.000 m³ är nödvändigt, utgörs torkningskostnaderna bl a av ränteförlusterna på 20.000 m³ virke, dvs 1,4 miljoner kronor. En virkestork som torkar 20-25.000 m³ virke per år kostar ca 1 miljon kronor.

Den sämsta månaden att påbörja torkning av virke är augusti. Först efter 10 månader når virket 20 % fuktkvot. Under denna långa lagringstid kan lätt skador på virket uppstå, såsom blånad och sprickor. Blånad uppstår vanligtvis under röt-månaden, speciellt om luftströmningen genom virket är dålig. Lämpligast är att ställa virket på en upphöjning (kulle, sluttning) men absolut inte i en svacka eller dal.

Sprickor uppstår lätt på våren då virket nått ner till fiber-mättnadspunkten och solen lyser direkt på virket. I maj månad mellan klockan 12⁰⁰ och 18⁰⁰ är luften i mellansverige som torrast, ca 55 % relativ luftfuktighet.

Liksom vid torkhustorkning uppstår fuktkvotsgradienter under torkningsförloppet. Ju större gradient, desto större sprickbildningsrisk. Nedan visas olika fuktkvotsgradienter som uppkommer i 50x150 mm bokträ vid olika lagringstider.



1. Fuktkvotsgradient efter 6 veckors lagring
2. " " " 6 månaders "
3. " " " 9 " "
4. " " " 12 " "
5. " " " 18 " "

Vid svenska möbel- och snickeriindustrier brädgårdstorkas i allmänhet björk, bok och ek ned till 23-30 % fuktkvot, för att därefter torkhustorkas till 12-6 %.

9.7.1 Val av lagringsplats

Det är viktigt att välja en plats där marken är torr, fri från växtlighet och ligger fritt, således att virket får en stadig genomströmning av luft.

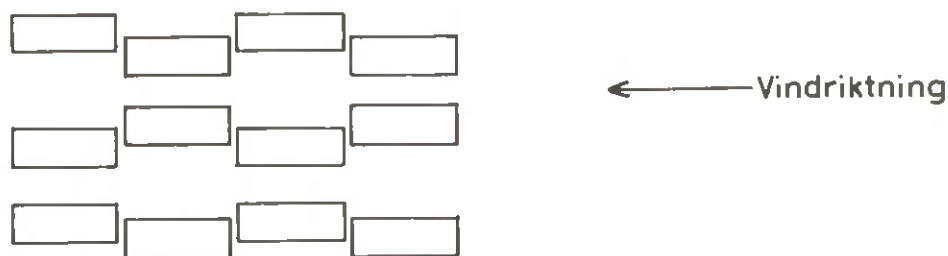
Ligger platsen lågt eller är den innesluten av byggnader och liknande får man en stillastående fuktig luft omkring träet som nedsätter torkningshastigheten och ökar möjligheten för svampangrepp.

Stapling

- Staplarna bör göras höga och smala.
- Staplarna ska inte stå tätt tillsammans utan så luftigt som möjligt.
- Ändströna placeras så långt ut som möjligt för att minska

uppkomst av ändsprickor.

- Inget sågspån på virket, då detta underlättar svampangrepp. Virket ska vara särat för att underlätta luftströmning i höjddled.
- Staplarna ska övertäckas för att skyddas mot regn och sol. Taket bör inte läggas direkt på stapeln (truckströn mellan tak och stapel) då annars den uppåtgående luftströmmen hindras.
- Staplarna bör ställas på 30-40 cm höga betongplintar eller tryckimpregnerat träunderlag för att få en luftig lagring och förhindra svampangrepp.
- Om ingen sluttning eller kulle finns tillgänglig har det visat sig lämpligast att placera staplarna längs med vindriktningen och samtidigt ha olika bredd på gången mellan staplarna enligt nedan. På detta sätt erhålls en tryckskillnad på vardera sidan av stapeln med luftströmning som följd.



Placeras staplarna tvärs vindriktningen går luften bara igenom de första staplarna och de övriga ligger i lä.

Skador vid brädgårdstorkning:

Skada	Orsak/åtgärd
Ströblånad	Gamla smutsiga och angripna strön. /Byt strön.
Kraftiga ändsprickor (små ändstprickor före- kommer nästan alltid)	Direktstrålning sol på ändytorna. /Skydda ändytorna mot sol. Gäller det dyra träslag kan ändytorna täc- kas med paraffin eller asfalttjära.
Mögelangrepp	Dålig luftcirkulation, hög luft- fuktighet speciellt vid hög tem- peratur. /Ställ virket på en luf- tigare och friare plats. Om detta inte hjälper, doppa virket i pen- taklorfenol eller en bifluoridlös- ning. Ofta är det kondens som förorsakar mögel. Basat bokträ, lång tid och dåligt lagrat timmer möglar lätt.
Inre blånad	Uppstår om timret är kraftigt in- fekterat av sporer i samband med att virket doppas i något blånads- skyddsmedel. /Infekterat virke måste torkhustorkas i ett relativt hårt klimat.

9.8 Forcerad brädgårdstorkning

Liksom vanlig brädgårdstorkning förekommer forcerad brädgårdstorkning av furu och gran i mycket ringa omfattning. Endast vid mycket små sågverk, vid vissa snickerier och ibland där lövträ torkas, används brädgårdstorkning i kombination med forcerad brädgårdstorkning.

Med hjälp av forcerad brädgårdstorkning kan antalet effektiva torkningsdagar ökas betydligt. Forcerad brädgårdstorkning betyder att man under dagar med hög luftfuktighet blåser luft genom virkesstapeln med hjälp av fläktar samtidigt som man värmer luften ett par grader, vilket vid de temperaturer det här rör sig om motsvarar en sänkning av den relativa luftfuktigheten med ca 10 %. Vid temperaturer understigande 0°C torde det inte vara ekonomiskt att hålla fläktar och värmebatterier i gång utan det bästa resultatet erhålls när luftfuktigheten är hög och när det råder plusgrader. Figur 62 visar exempel på hur forcerad brädgårdstorkning kan tillämpas i praktiken.

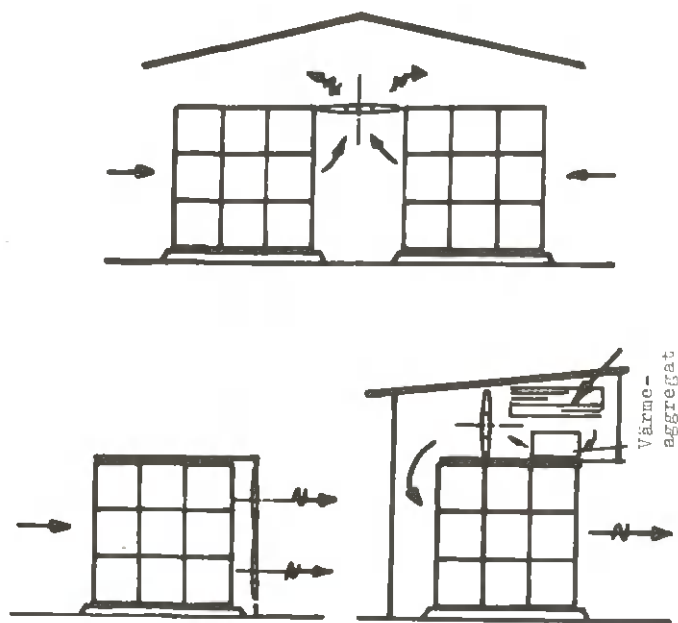


Fig. 62 Alternativa principlösningar på hur forcerad brädgårdstorkning kan åstadkommas.

9.9 Syrfällning

Syrfällning är en gammal torkningsmetod som används för hela lövträstammar. I juni-augusti fälls träden och får ligga avkvistade tills löven börjar vissna. Under tiden har trädet till en viss grad torkat ut genom den levande kronan.

I Finland används syrfällning av björk (hög rådensitet) för att denna ska kunna flottas utan att sjunka.

Förr användes även syrfällning vid torkning av brännved. Syrfälld bok har visat sig ha en mindre tendens till mörkfärgning under efterkommande torkhustorkningen.

Efter syrfällningen har toppen en något högre fuktkvot än roten.

Bok torkas i allmänhet från 85 % till 60 % och björk från 80 % till 45-50 % fuktkvot. Under torkningsförloppet är risken stor för svamp- och insektsangrepp. Timret bör därför så snabbt som möjligt efter syrfällningen torkhustorkas.

En annan form av stamtorkning är när ett träd torkar på rot. Trädet kan ha självdött av ålder (jfr "torrfura") eller att man har sågat in i splinten så djupt att trädet endast står på kärnan.

"Torrfura" är en torr och död fura som finns i nordligaste Skandinavien och Ryssland. Furan har växt i 700-800 år, sedan dött och torkat i ett par hundra år. Kärnan i dessa träd får en karakteristisk grå färg och anses som mycket väderbeständig (anv. bl a till timmerstugor).

12 TORKNINGENS UTFÖRANDE

En värmeövergång till trä förutsätter temperaturskillnad. Om man önskar värma en kropp med luft, måste luften ha högre temperatur än kroppen i fråga. Uppvärmningsförloppet kallas konvektion. Andra sätt för värmeövergång utgör strålning och ledning, vilka dock saknar betydelse vid varmlufttorkning.

Den överförda värmeeffekten per virkesytanhet dvs intensiteten är

$$P = \alpha (t - t_0) \quad (\text{W/m}^2)$$

där t = luftens temperatur, °C

t_0 = virkesytans temperatur, °C

α = värmeövergångskoefficient, $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

(överförd effekt per virkesytanhet och 1°C temperaturskillnad mellan luft och virke).

Om man vill öka den överförda värmeeffekten till virket måste man antingen öka värmeövergångskoefficienten eller göra skillnaden mellan lufttemperaturen och yttemperaturen större (enligt ovanstående ekvation). En ökning av värmeövergångskoefficienten vid torkning är endast möjlig genom att luftens hastighet utefter virkesytorna ökas.

Sambandet mellan värmeövergångskoefficienten och lufthastig-

heten är

$$\alpha = 8 \cdot v^{0,67} \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

där v = lufthastigheten, m/s

En liten lufthastighetsökning kräver emellertid en stor fläkteffektökning.

Sambandet mellan lufthastighetsökning från v_1 till v_2 och fläkteffektökning från P_1 till P_2 är

$$P_2 = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^3 \cdot P_1 \quad (\text{W})$$

Ekvationen innebär att

om lufthastigheten skall ökas från

1	till	2	m/s	ökar	fläkteffekten	8,0	gånger
2	"	3	"	"	"	3,4	"
3	"	4	"	"	"	2,4	"
4	"	5	"	"	"	2,0	"
5	"	6	"	"	"	1,7	"
2	"	5	"	"	"	15,0	"

(se vidare kap 10.2.1)

Genom att psykrometerskillnaden längs med en luftgenomströmad virkesmängd, t ex en längdcirkulationstork, ändrar sig olinjärt vid ändrad lufthastighet samt fläkteffektens ojämna ändring med lufthastigheten är lufthastighetsändring olämplig för att ändra värmeövergångskoefficienten.

Värmeöverföringen till virket vid virkestorkning bör därför regleras till önskat värde, genom att skillnaden mellan luftens torra temperatur och virkets yttemperatur varieras. I praktiken är det svårt att veta vilken temperatur virket har.

Så länge virkesytans fuktkvot är större än fibermättnadsfuktkvoten är emellertid virkesytans temperatur t_o lika med luftens våta temperatur t_v . Men efter en kort tid har virkesytan börjat torka och yttemperaturen på virket börjar stiga, (virket kyls i mindre omfattning av det avdunstande vattnet)

för att vid slutet av torkningen ligga strax under den torra temperaturen t .

Vattnet inuti virket går trögt ut ur virket på grund av en viss nivå på fuktledningsmotståndet som bestäms av fuktdiffusiviteten a (m^2/s).

Fuktdiffusiviteten ökar vid

- ökad temperatur
- ökad densitet
- ökade torkningsspänningar.

(Se vidare beräkningsformler kap 12.2.3).

12.1 Torkningsprocessen i Mollierdiagrammet

Denna genomgång av torkningsförloppet enligt Molliers i/x -diagram begränsas till progressiva tvär- och längdcirkulationstorkar och bygger på innehållet i kap 2.5 (Mollierdiagrammets uppbyggnad).

Tvärcirkulationstorkens torkningsprincip är densamma som för satstorken men med den skillnaden att torkningsbetingelserna inte ändras med tiden utan zonvis längs torkkanalen.

Torkningsförloppet i den progressiva längdcirkulationstorken är nära på stationärt. En viss variation uppstår genom att virket i torken sätts in i intervaller. Men görs mätningar på torken efter det att nysatsat virke uppnått den våta temperaturen (ca 4 timmar), kan en god approximation av ett ideellt stationärt förlopp göras.

Mitt på diagrammet i figur 90 befinner sig en triangel ABE som representerar sågverkstorkning av 50 mm tjockt furuvirke i en progressiv längdcirkulationstork med torkningskapaciteten $63 \text{ m}^3/24 \text{ h}$ (räknat på virkets råmått och ojusterade längd). I figur 91 visas lufttillståndet i en progressiv längdcirkulationstork som styrs i uttagsänden enligt figur 90. Lufttillståndet A motsvarar det av tork - operatören

inställda värdet $t = 45^{\circ}\text{C}$ och $t_v = 32^{\circ}\text{C}$ ($\varphi = 40\%$) och regleras av givarna i uttagsänden. Ändras torra och våta temperaturen så påverkas ventilen till värmebatteriet resp till ventilationsspjällen.

Cirkulationsluften strömmar genom alla tvärställda paket. Detta sker vid konstant våttemperatur, dvs från A till B (i praktiken en liten sänkning av våttemperaturen) medan den torra temperaturen sjunker från 45°C till $32,4^{\circ}\text{C}$. Temperaturfallet $45 - 32,2 = 12,8^{\circ}\text{C}$ beror på att värme tas från virket för att avdunsta vattnet. Vid luftens utblåsning ur virket (lufttillståndet B) blir psykrometerskillnaden $t - t_v = 32,4 - 32,0 = 0,4^{\circ}\text{C}$, dvs luften nära fuktmätad ($\varphi = 97\%$). En del av denna fuktiga luft utbyts mot utomhusluft med temperaturen $t = 5^{\circ}\text{C}$ och $t_v = +3^{\circ}\text{C}$ ($\varphi = 70\%$) dvs med lufttillståndet C. Denna luft uppvärms i värmeväxlaren. Vatteninnehållet i luften är konstant vid uppvärmningen ($0,0037\text{ kg/kg}$ torr luft) och luften får tillståndet D, som motsvarar $t = 25^{\circ}\text{C}$ och $t_v = 12,5^{\circ}\text{C}$ ($\varphi = 20\%$). Om värmeväxlaren läcker befinner sig inte punkterna C och D på samma lodräta linje.

Lufttillståndet E bestäms i diagrammet av blandningen mellan tilluften (med tillståndet D) och cirkulationsluften (med tillståndet B) enligt momentlagen (kap 2.5.7) och blir i detta fall $t = 31^{\circ}\text{C}$ och $t_v = 29^{\circ}\text{C}$ ($\varphi = 86\%$). När cirkulationsluften passerar värmebatteriet uppvärms den återigen till $t = 45^{\circ}\text{C}$ och $t_v = 32^{\circ}\text{C}$. Ju längre tid det är mellan satsningarna desto mer förskjuts B mot A (figur 90).

Till höger i diagrammet befinner sig en liten triangel GHI som representerar torkning av 75 mm tjock furu på samma sätt som ovan angetts. I det här fallet har man valt en högre våttemperatur, $t_v = 36^{\circ}\text{C}$. Den torra temperaturen i G har valts till 45°C , dvs psykrometerskillnaden vid inblåsningänden är $t - t_v = 45 - 36 = 9^{\circ}\text{C}$ ($\varphi = 65\%$). Cirkulationsluften

avkyls inte i lika hög grad som i föregående fall då den genomströmmar virket (långsammare vattenavgång från grovt virke) och lufttillståndet i utblåsningsänden H, blir $t = 37^{\circ}\text{C}$ och $t_v = 36^{\circ}\text{C}$ ($\varphi = 94\%$).

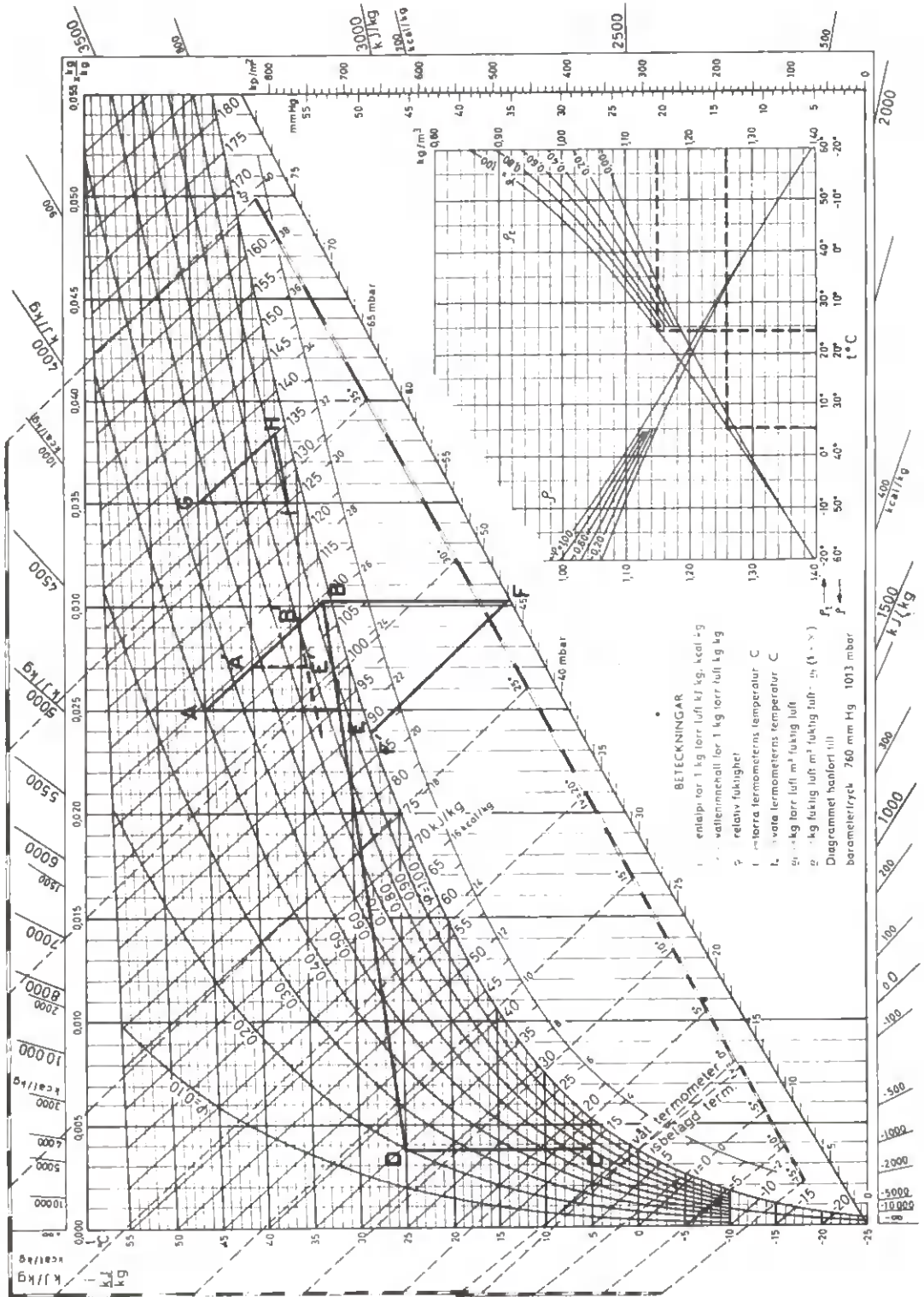


Fig. 90 Torkningsförloppet i Mollierdiagrammet. Trianglarna ABE och FGH representerar torkning av 50 mm resp 75 mm tjock furu. Triangeln A'B'E' representerar torkning i en av en tvärcirkulationstorks zoner.

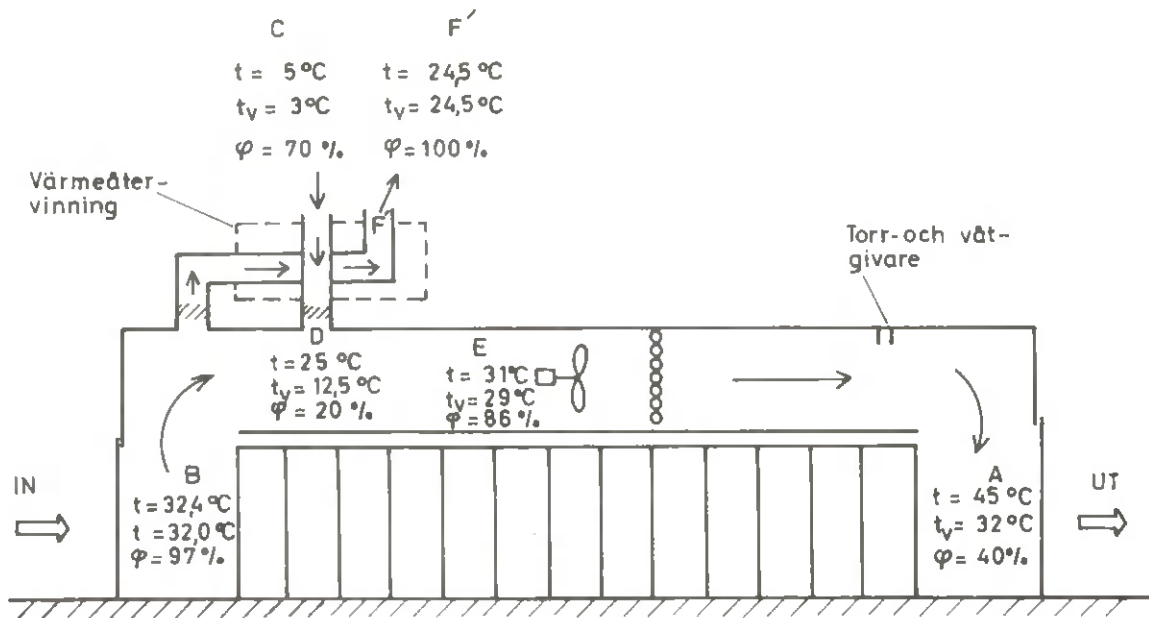


Fig. 91 Klimatet i en progressiv längdcirkulationstork enligt torkningsförloppet i figur 90

I Mollierdiagrammet kan man även utläsa frånluftens tillstånd efter det att den passerat värmeväxlaren. Sträckan DC (tillluften) kan parallellförflyttas till BF. Sträckan FF' kan man sedan rita parallellt med den våta temperaturen till mättnadslinjen eftersom kondensering av vatten sker i värmeväxlaren vid konstant t_v . Den avgående luftens tillstånd F' är $t = t_v = 27,9^\circ\text{C}$ ($\varphi = 100\%$). Även den kondenserade vattenmängden kan utläsas till $0,0302 - 0,0237 = 0,0065$ kg vatten per kg torr luft. Denna vattenmängd kan omräknas till kg vatten per kg torr luft. I figur 90 nedre högra hörn finns ett diagram som bl a anger hur många kg torrluft 1 m^3 fuktig luft innehåller (ρ_t) vid en viss luftfuktighet. Om man antar att frånluftsmängden $q_{\text{våt luft}}$ i ovan angivna fall är uppmätt till $7\text{ m}^3/\text{s}$ ($25200\text{ m}^3/\text{h}$) blir den avgående vattenmängden genom kondensation $q_{\text{vatten}} = \rho_t \cdot x_{\text{kond}} \cdot q_{\text{våt luft}}$

$$= 1,15 \cdot 0,0065 \cdot 7 = 0,0523\text{ kg/s} \text{ (188 kg/h)}$$

Den i luften avgående vattenmängden bestäms av lufttillståndet F' dvs

$$1,15 \cdot 0,0237 \cdot 7 = 0,1907\text{ kg/s} \text{ (687 kg/h)}$$

Av intresse är att veta hur fort verkets vatten avgår. Därvid måste man

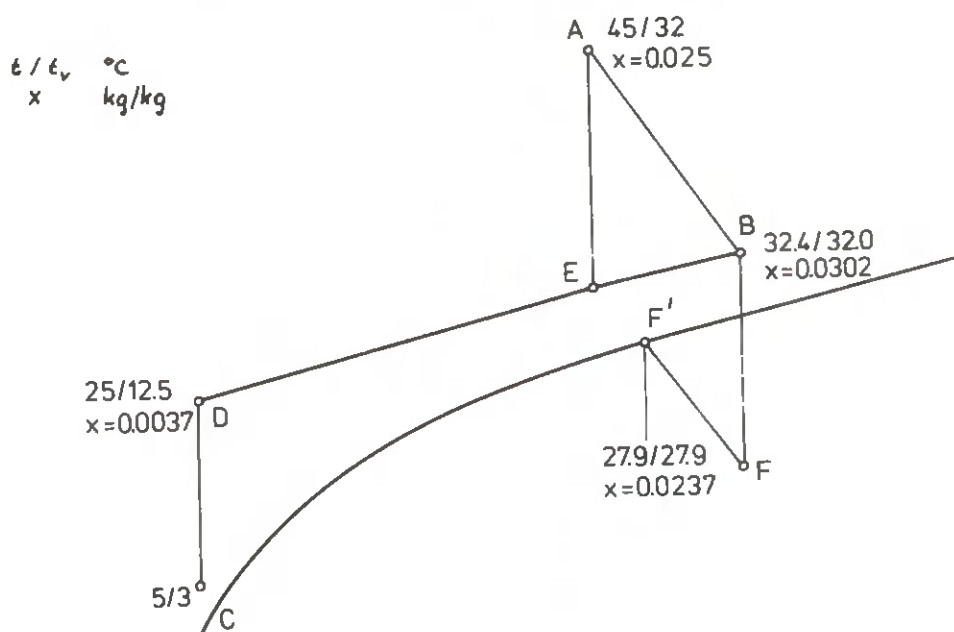
minska det avgående vattnet med det via tilluften C inkommande vattnet, som utgörs av $1,15 \cdot 0,0037 \cdot 7 = 0,0297$ kg/s (107 kg/h). Det från virket avdunstade vattnet avgår således med en hastighet av $0,0523 + 0,1907 - 0,0297 = 0,2130$ kg/s (768 kg/h). Torkningskapaciteten var enligt tidigare $63 \text{ m}^3/24 \text{ h}$ (ojusterat och med råmått). Den ingående fuktkvoten för 50 mm tjockt furuvirke är normalt 85 % vid en densitet på $430 \text{ kg torrsvikt/m}^3$ rått trä. Ur dessa värden kan den utgående fuktkvoten u_{ut} beräknas med följande ekvation:

$$\frac{63}{24} \cdot (0,85 - u_{ut}) \cdot 430 = 768$$

där u_{ut} blir 0,172 eller 17,2 %.

Vill man enbart ta reda på den avdunstade vattenmängden, kan man enklare beräkna denna genom att betrakta den luft som går in/ut genom till/frånluftsspjällen utan inblandning av värmeväxlaren, dvs vattenmängd med "B-luft" ut minus vattenmängd med "D-luft" in. Beräkning av den avdunstade vattenmängden utförs på följande sätt:

Givet: Frånluftmängden $q_{\text{våtluft}} = 7 \text{ m}^3/\text{s}$ samt punkterna A-F i Mollierdiagrammet enligt nedan



Lösning: Mängd torr luft som motsvaras av mängden fuktig luft beräknas till

$$q_{\text{ torr luft}} = q_{\text{ våt luft}} \cdot \rho_t = 7 \cdot 1,15 = 8,05 \text{ kg/s}$$

Avdunstningen blir då

$$\begin{aligned} q_{\text{ torr luft}} \cdot (x_B - x_D) &= 8,05 (0,0302 - 0,0037) = \\ &= 0,2133 \text{ kg/s eller } 768 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Ska den i värmeväxlaren kondenserade vattenmängden beräknas är det enklast att även här ta vattenmängden med "B-luft" minus vattenmängden med "F'-luft" dvs

$$\begin{aligned} q_{\text{ vatten}} &= q_{\text{ torr luft}} (x_B - x_{F'}) = 8,05 (0,032 - 0,0237) = \\ &= 0,0523 \text{ kg/s eller } 188 \text{ kg/h.} \end{aligned}$$

Av ovan gjorda beräkningar kan man förstå att torkningskapaciteten inte kan höjas för denna längdcirkulationstork om man vill behålla den utgående medelfuktkvoten utan att höja temperaturnivån. (Höjd temperaturnivå ger försämrad virkeskvalitet.)

Vid tvärcirkulationstorkning är torkningsförloppet något annorlunda. Om man återigen tänker sig begynnelse- och sluttillstånden A och B så följer hela torkningsförloppet inte hela stora triangeln ABE utan förloppet består av lika många små trianglar som torkkanalen har zoner. Det in- och utströmmande lufttillståndet A' resp B' för en av zonerna, en bit in i kanalen, är inritad i diagrammet (figur 90). Vid tillståndet B' tillförs friskluft varvid man kommer till tillståndet E' och efter förnyad uppvärmning till tillståndet A'. Under hela torkningsförloppet har den våta temperaturen varit konstant. Vid tvärcirkulationstorkning sker i allmänhet torkningen vid konstant våttemperatur i samtliga zoner, figur 46. Torkningsförloppet längs kanalen utgörs i figur 90 därför av ett antal mindre trianglar. Den första zonen i torken har ett klimat som motsvaras av en liten triangel vid B (fuktig luft) och den sista zonen har i allmänhet ett klimat som motsvaras av en mycket liten triangel vid A (torr luft).

12.2 Torkningsscheman och torkningstider

12.2.1 Allmänt

Torkningsschema är en torkningsvägledning framställd i tabellform eller i kurvform, där man kan avläsa vilket klimat virket ska utsättas för vid olika stadier av trätorckningen.

I utländska torkningsscheman anges det sällan någon torkningstid. Dessa torkningsscheman är uppbyggda på ett sådant sätt att de anger det klimat virket ska utsättas för vid en viss virkesfuktkvot och är gjorda för satstorkar. Klimatet kan anges med:

- 1) torrtemperatur - våttemperatur
- 2) torrtemperatur - psykrometerskillnad
- 3) våttemperatur - psykrometerskillnad
- 4) torrtemperatur - relativ luftfuktighet
- 5) våttemperatur - relativa luftfuktighet

Torkningsscheman för satstorkar och progressiva tvärcirkulationstorkar kan vara uppbyggda på två olika sätt:

- 1) klimat - fuktkvotschema
- 2) klimat - tidsschema

Som hjälpschema för beräkning av fuktkvoten vid en viss tidpunkt kan man använda 3) tids-fuktkvotschema.

Schema 1) är i litteraturen det vanligaste och schema 2) är i praktiken lättast att använda men samtidigt svårare att exakt bestämma.

Schema 1) används på sådant sätt att man reglerar klimatet efter uppmätta fuktkvotsmedelvärden. De uppmätta fuktkvotsmedelvärdena erhålls från provbräder i torcken (kap 12.5).

För styrning efter schema 2 fordras endast ett tidur.

Hjälpsschema 3) är en kombination av schema 1) och 2) och används ibland parallellt med dessa.

I ovan angivna scheman ingår i vissa fall anvisningar för basning (kap 12.2.4).

Torkningsscheman för längdcirkulationstorkar är vanligtvis uppbyggda som konstant klimat - tidsschema. Det konstanta klimatet hänför sig då till klimatet i en viss punkt i torken t ex inblåsningssändan eller utblåsningssändan (vanligast).

Till skillnad mot satstorkar går det inte att komma in längs torkkanalen och mäta fuktkvoten (ta ut provbitar) och även om detta vore möjligt skulle det vara mycket komplicerat att styra torken efter dessa uppmätta fuktkvoter (fuktkvoten varierar ju längs torkkanalen).

De konstanta klimat - tidsschemana är uppbyggda efter erfarenhetsvärden. Dessa scheman varierar beroende på torkkanalens dimensionering (lång, kort torkkanal, givareplacering osv) dvs man har vanligtvis olika torkningsscheman för olika torkfabrikat.

Torktillverkarna anger stundom bristfälliga eller helt felaktiga torkningsscheman till sina torkar och det blir ofta tork - operatörens mycket svåra uppgift att utprova lämpliga scheman.

Förutsättningarna vid utprovningen är att virket ska torkas på möjligast kortaste tid utan att torkningsskador uppstår på virket.

Det är självklart att det finns otaliga torkningsscheman då så många faktorer inverkar på torkningsförloppet, kap 7.

Olika träslag torkar på olika sätt och även samma träslag kan, beroende på växtplats, fordra annat torkningsschema (annan densitet, kärnandel m m). Torkens konstruktion inverkar också väsentligt på torkningsschemat. Om torkkonstruktörerna konstruerade torkarna på bästa lämpliga sätt, skulle de flesta torkar av samma typ kunna köras efter i stort sett samma torkningsscheman. Så är emellertid ännu inte fallet. De vanligaste felen är: felaktigt placerade givare, för liten cirkulerande luftmängd (låg lufthastighet genom virkespaketet), kortslutning vid till/frånluftskanalerna, felaktigt placerade till/frånluftskanaler, för korta/långa torkkanaler, luftläckage, felaktigt dimensionerad ventilering och värmetillförsel, felaktigt uppdelade zoner och steg osv.

Vid sågverkstorkning av gran och furu gäller generellt att begynnelsestemperaturen inte får vara för hög om man önskar bevara virkets ljushet och förhindra kådflytning. En våttemperatur på 32-42°C är i detta fall lämplig.

Psykrometerskillnaden i början av torkningen ska vara så låg som möjlig 0,5-1°C, men för att förhindra mögelbildning brukar psykrometerskillnaden ofta vara 2-4°C. Vid slutet av torkningen (ca 18 % fuktkvot) brukar den våta temperaturen vara densamma som i början av torkningen dvs konstant, medan psykrometerskillnaden har ökats successivt till 14-18°C efter 2,5 dygns torkning (klena bräder) och 8-10°C efter ca 7 dygns torkning (grova plank).

Vissa torkfabrikanter utför sina torkningsscheman med konstant torrtemperatur och under torkningsprocessen fallande våttemperatur. Denna typ av torkningsschema orsakar lätt kådflytning och kvistkrypning eftersom man måste börja torkningen med hög temperaturnivå. Vid sågverkstorkning av t ex bräder måste starttemperaturen sättas så högt som ca $t = 50^{\circ}\text{C}$ och $t_v = 48^{\circ}\text{C}$ om sluttemperaturen inte ska bli för låg, dvs $t = 50^{\circ}\text{C}$ och $t_v = 32^{\circ}\text{C}$.

Trä som används inom snickeriindustrin, torkas ofta vid högre temperaturer än trä vid sågverksindustrin. Om träet torkas till en fuktkvot betydligt under 10 %, kan den torra temperaturen höjas ända upp till 70°C, medan den våta temperaturen är 42°C (relativa luftfuktigheten 20 %).

De nedan angivna schemana tjänar endast som vägledning och hjälp då tork - operatören ska ändra sitt befintliga torkningsschema eller då ny träsort ska torkas. Efter hand som tork - operatören får erfarenhet kan torkningsschemat varieras eller ändras enligt nedan.

Ändring av temperaturnivån

Det är inte av någon större betydelse om temperaturnivån i torken ändras någon grad, bara inte samtidigt psykrometer-skillnaden ändras. Om man t ex under torkning av 50 mm tjock furu i en satstork har en torrtemperatur på 41°C (figur 92) och denna temperatur av misstag minskas till 38°C vid en bibehållen psykrometerdifferens på 6°C (t_v -sänkning från 35 till 32°C), minskar jämviktsfuktkvoten bara 0,2 fuktkvotprocent, dvs denna effekt är försumbar (figur 92). Man får emellertid vanligtvis försämrad torkningskvalitet vid förhöjd temperaturnivå (missfärgning, kollaps osv). Vid större temperaturnivåändringar påverkas fuktdiffusiviteten märkbart. Hög temperaturnivå ger: hög fuktdiffusivitet, kort torkningstid, liten fuktkvotsgradient, lägre värmeförbrukning, mindre sprickbildning och mindre risk för mögel.

Önskar man ljust trä eller vill förebygga kådflytning måste de i torkningsschemana angivna temperaturerna vanligtvis sänkas, speciellt i den del av torkningsprocessen där luftfuktigheten är hög.

Att vid snickeritorkning använda temperaturer över 60-70°C vid torkning av trä som ska tåla höga påfrestningar (sportredskap och liknande) är direkt olämpligt eftersom högre temperaturer nedsätter hållfastheten något.

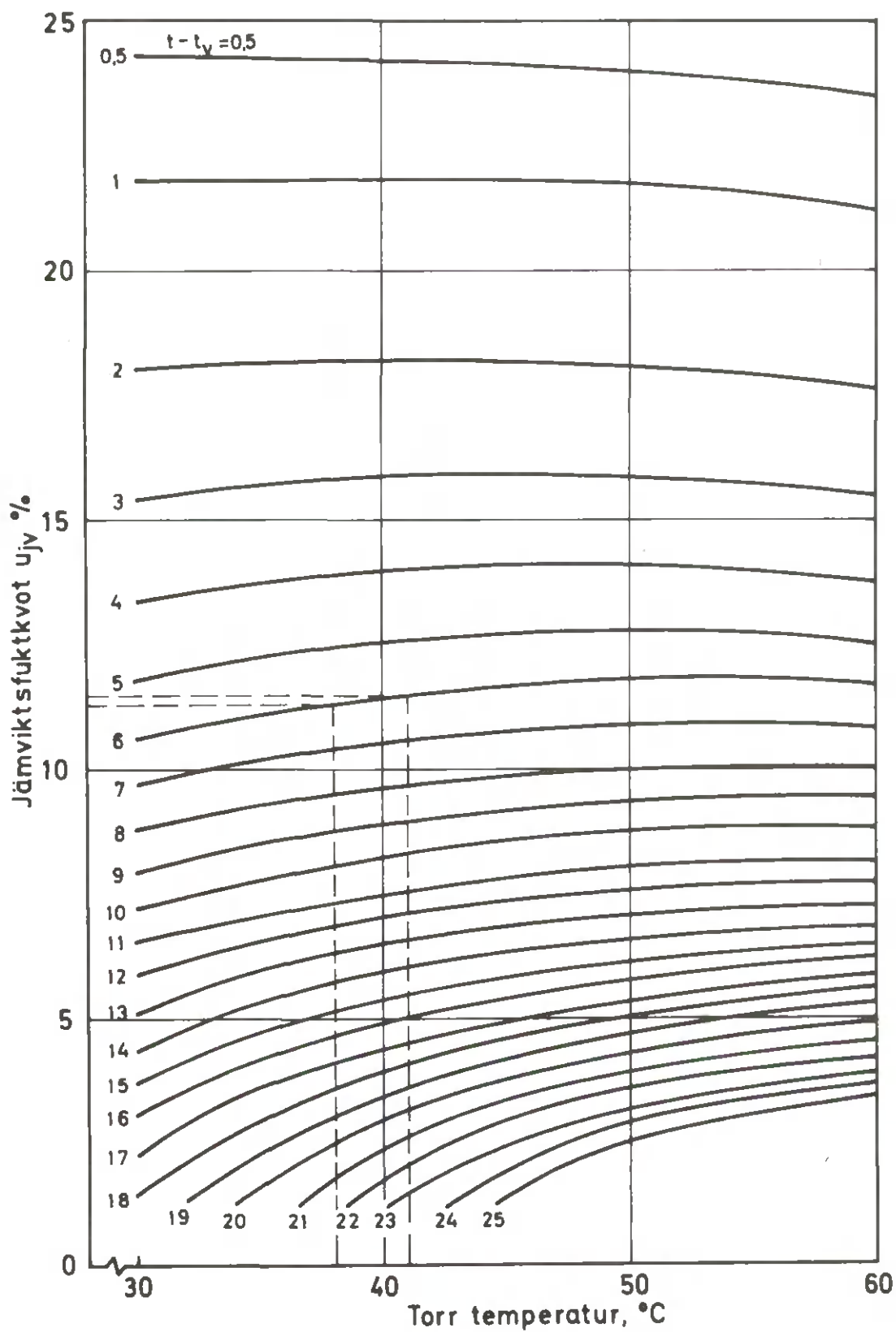


Fig. 92 Jämviktsfuktkvot vid konstant $t - t_v$ och varierande torr temperatur t

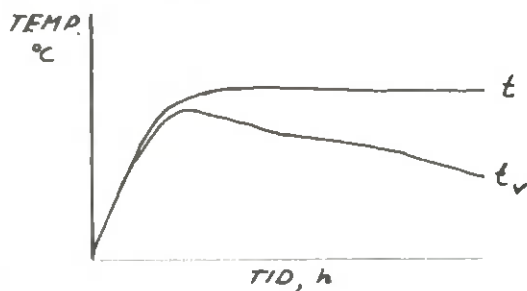
Ändring av psykrometerskillnaden

En ökning av psykrometerskillnaden ger hårdare torkning och en minskning ger en mildare torkning. Genom att ändra på tilluftsspjället (eller eventuellt tillsätta vatten/ånga till torkluften) har man möjlighet att öka eller minska psykrometerskillnaden om virket verkar torka för långsamt eller för fort (t ex vid mögelbildning, begynnande sprickbildning m m). I mindre snickeritorkar där tidskravet inte alltid är så stort och speciellt om torkningsschemat är osäkert, kan man förfara enligt nedan. En förutsättning är dock att torkkonstruktionen är tät, välisolerad (gäller även golvet, i annat fall kondensrisk) samt att virket torkas från grönt tillstånd:

- 1) Värm upp virket successivt till lämplig våttemperatur, t_v , med stängda spjäll under 2-8 tim. beroende på virkestjocklek, virkestemperatur och mögelrisk.
- 2) Efter uppvärmningen, ställ in termostaten för önskad torrtemperatur, t .
- 3) Öppna spjällen så mycket att psykrometerskillnaden $t-t_v$ blir $0,5-2^{\circ}\text{C}$ ($0,5$ för långsamt torkande virke, 2°C för snabbt torkande virke), se figur nedan.

Därefter kan torkningen ske utan ytterligare åtgärder. Psykrometerskillnaden kommer att öka successivt då träet självt reglerar luftens fuktighet genom sin vattenavgivning. Fuktgivningen kommer efterhand att avta när fuktkvoten minskar.

En tät satstork har, bortsett från den automatiska värme-regleringen, en viss möjlighet att passa sig själv. Detta förhållande ska man vara klar över då man ska torka ett ovanligt träslag efter något torkningsschema. Efter hand kan man prova ut andra värden på psykrometerskillnaden.



Torkningshårdhet, torkningsstyrka, torkningsintensitet, torkkraft

Man talar ibland om torkning med en viss "hårdhet" eller "kraft". Detta uttryck har i litteraturen olika definitioner, t ex som:

- 1) psykrometerskillnaden $t-t_v$
- 2) intensitetsparametern β
- 3) torkningskvoten (förhållandet mellan träets medelfuktkvot och jämviktsfuktkvoten) även kallad torkningsfaktor eller torkningsmodul.

De två första hårdhetsdefinitionerna har behandlats tidigare. Som exempel på hård torkning enligt 3) kan man t ex tänka sig ett trästycke med medelfuktkvoten $u_m = 25 \%$ som torkas i luft med torrtemperaturen $t = 55^\circ\text{C}$ och relativa luftfuktigheten $\varphi = 35 \%$. Torkningsklimatet motsvarar jämviktsfuktkvoten $u_{jv} = 5,5 \%$ (se tabell 2). Torkningskvoten är här

$$\frac{u_m}{u_{jv}} = \frac{25}{5,5} = 4,5$$

Torkningskvoten vid normal torkning av t ex 50x150 mm furu-
virke är i början av torkningen ($u_m = 85 \%$) 5,7 och när
fuktkvoten gått ner till ca 40 % är den konstant 3,1 ned
till fuktkvoten 11-12 %.

12.2.2 Torkningsscheman för progressiva längdcirkulations- torkar

Längdcirkulationstorken används uteslutande som sågverks-
tork dvs torkningen från nysågat virke (rått virke) till en
slutfuktkvot på 20-14 %.

I Sverige torkas endast furu, gran och i några fall björk
på detta sätt.

Saltimpregnerat virke (furu, gran) kan torkas efter det van-
liga torkningsschemat. Torkningstiden blir dock något läng-
re.

Såsom tidigare nämnts tillverkas längdcirkulationstorkarna på så olika sätt (kap 9.4 - 9.5) att nedan angivna torkningsscheman (tabell 13) tjänstgör endast som riktvärden. De i torkningsschemat angivna fuktkvoterna motsvarar fuktkvoten för nyfällt och relativt nysågat virke med normalpostning, dvs centrumutbytet utgörs av plank (mycket kärna) och sidoutbytet av bräder (mycket splint). Psykrometerskillnaden i utblåsningssändnen är här inte angiven eftersom den är beroende av torklängden (ju längre tork desto mindre psykrometerskillnad i utblåsningssändnen) och lufthastigheten.

Om olika virkestjocklekar torkas i torken ska normalt torkningsschemat för det grövsta virket användas.

Blir psykrometerskillnaden i intagsändnen (utblåsningssändnen)

- för låg (mögelbildningsrisk) ska satsningsintervallet ökas.
- för hög (sprickbildningsrisk) ska satsningsintervallet minskas.

I allmänhet är psykrometerskillnaden i intagsändnen 0,5-1,5°C för bräder och 2-3°C för plank. För bästa torkningsresultat skulle det dock vara önskvärt om psykrometerskillnaden var 2-3°C för bräder och 0,5-1,5°C för plank, dvs omvänt förhållande. Detta går endast att uppnå om torkarna görs olika långa. Torkningstiderna τ måste vid praktisk drift omräknas till satsningsintervaller. Detta sker enligt följande formel:

$$S = \frac{\tau}{n} - X \quad (\text{h})$$

där S = satsningsintervall i timmar

τ = totala torkningstiden

X = den sammanlagda tid i timmar som fläktarna måste stoppas vid framflyttning av virket i kanalen under hela torkningsprocessen.

n = antal virkesstaplar i kanalen.

Tabell 13 Torkningsschema för längdcirkulationstorkar.
Furu

Virkes- tjocklek	Ingående medel- fuktkvot	Utgående medel- fuktkvot	Psykrometer- skillnad i inblås- ningsänden	Torkningstid	
				h	dygn
mm	%	%	°C		
16-19 enkellagt	130	15 eller lägre	15-18	60-80	2,3-3,5
16-19 dubbellagt	130	15 " "	14-16	108-120	4,5-5,0
22-25 enkellagt	110	15 " "	14-16	72-96	3,0-4,0
22-25 dubbellagt	110	15 " "	13-15	120-132	5,0-5,5
32 enkellagt	90	16 " "	13-15	96	4
38 enkellagt	85	17 " "	12-14	108	4,5
44 enkellagt	80	18 " "	12-14	113	4,7
50 enkellagt	80	18 " "	11-13	120	5
63 enkellagt	70	18 " "	9-11	156	6,5
75 enkellagt	63	18 " "	8-10	168	7

Anm. 1 Schemat gäller för våttemperaturen $t_v = 32^\circ\text{C}$
Torkningstiden vid torkning med andra våttemperaturer mellan 30°C
och 40°C kan korrigeras med $t_1 = t \cdot \frac{32}{t_v}$ h

Anm. 2 Schemat gäller för furu. Vid torkning av gran minskas torknings-
tiderna med 10-15 %.

Väl utprovat torkningsschema, som kan tjänstgöra som rikt-
linje för flerstegs längdcirkulationstorkars inställning,
finns endast framtaget för torkar med FB-reglering (se
kap 9.5). I sådana torkar torkas alla sågfallande dimen-
sioner blandat. Dimensioner upp till 50 mm dubbelläggs ofta
och alla dimensioner torkas således med samma torkningstid.
Är torken riktigt dimensionerad utgörs torkningsschemat en-
dast av våttemperaturen t_v och psykrometerskillnaden $t-t_v$
för andra stegets utblåsningssände vid en viss torkningstid,
i allmänhet:

$$t_v = 38 - 42^\circ\text{C} \text{ och}$$

$t-t_v = 10^\circ\text{C}$ eller 11°C vid en
torkningstid = 132 h (5,5 dygn) för furu och
10-15 % kortare tid för gran.

Vid dessa värden är psykrometerskillnaden i utrymmet mellan stegen ca 15°C då torkningen stabiliserats. Psykrometer-skillnaden i första skedets utblåsningsände (intagsändan) är då $1,5-2^{\circ}\text{C}$.

12.2.3 Torkningsscheman för satstorkar och progressiva tvärcirkulationstorkar

Till skillnad mot torkningsscheman för längdcirkulations-torkar finns det för satstorkning numera beräkningsformler, som kan ge ett utgångstorkningsschema för vilket träslag som helst. För dessa scheman måste man beräkna en s k intensitetsparameter β , som anger hur hårt virket ska torkas samt välja en för träslaget lämplig vättemperatur t_v . Olika träslag har mycket olika torkningsegenskaper. I utländsk litteratur ges förslag till torkningsscheman för olika träslag. Dessa scheman är ibland ofullständiga och diffusa. I scheman saknas ofta uppgifter om virkesdensitet, kärnandel, lufthastighet och virkestjocklek/bredd, vilka har stort inflytande på torkningsförloppet (kap 7). Schemana anger vanligtvis "medeltillståndet" för ett träslag. Om träslaget avviker från detta "medeltillstånd" sker torkningen under felaktigt klimat eller under för kort eller för lång torkningstid. Exempel på sådana avvikelser är

tätvuxet/frodvuxet trä (hög/låg densitet)
stor/liten kärnandel i träet
hög/låg lufthastighet i torken

Man måste vidare vara helt klar över att de i litteraturen angivna torkningsscheman ofta är långt ifrån optimala.

De utländska rekommendationerna ger en liten möjlighet att schematiskt utprova det lämpligaste torkningsschemat för ett visst träslag.

Vid beräkning av torkningsscheman enligt nedan måste man

först uppskatta ett värde på övergångsfuktkvoten, u_{m1} . Övergångsfuktkvoten är den medelfuktkvot för ett virkesstyckes tvärsnitt vid vilken virkesytan just uppnått fibermättnadsfuktkvoten (ca 25 %). Med hjälp av övergångsfuktkvoten kan man sedan beräkna hårdheten på torkningen, dvs intensitetsparametern β . Beräkningsgången har förenklats på så sätt att svårare matematiska uttryck (logaritmer, trigonometriska uttryck, e-funktioner) visas grafiskt. Den matematiska bakgrund som behövs för att beräkna ett torkningsschema enligt nedan är enbart de fyra vanliga räknesätten (addition, subtraktion, multiplikation och division).

Beräkningsformler

A) Övergångsfuktkvot u_{m1}

Övergångsfuktkvoten u_{m1} antas till ca 0,9 gånger den normala begynnelsefuktkvoten u_{m0} (för färskt virke från relativt nyfällt timmer innebär det således att man kan tillåta att virkesytan passerar fibermättnad något innan fuktkvotsgradienten hunnit utbildas ända in till mitten av virket). Vid torkning av virke som tidigare har förtorkats (sågverks- eller brädgårdstorkats) beräknas övergångsfuktkvoten till ca 25 fuktkvotsprocent lägre än för övergångsfuktkvoten vid torkning av färskt virke. Exempel på u_{m0} och u_{m1} för några vanliga träslag:

	u_{m0} (50 mm tjockt virke)	u_{m1} Vid torkning av färskt virke	u_{m1} Vid torkning av tidigare torkat virke
Furu	0,85	0,75	0,50
Björk	0,80	0,75	0,50
Bok	0,80	0,70	0,45
Ek	0,70	0,65	0,40

B) Intensitetsparametern β

Parametern β beräknas ur formeln

$$\frac{\text{tg}\beta}{\beta} = 4 \cdot u_{m1}$$

Istället för att beräkna β ur denna formel kan man på ett enklare sätt ta fram β ur figur 93 eftersom man känner produkten $4 \cdot u_{m1}$.

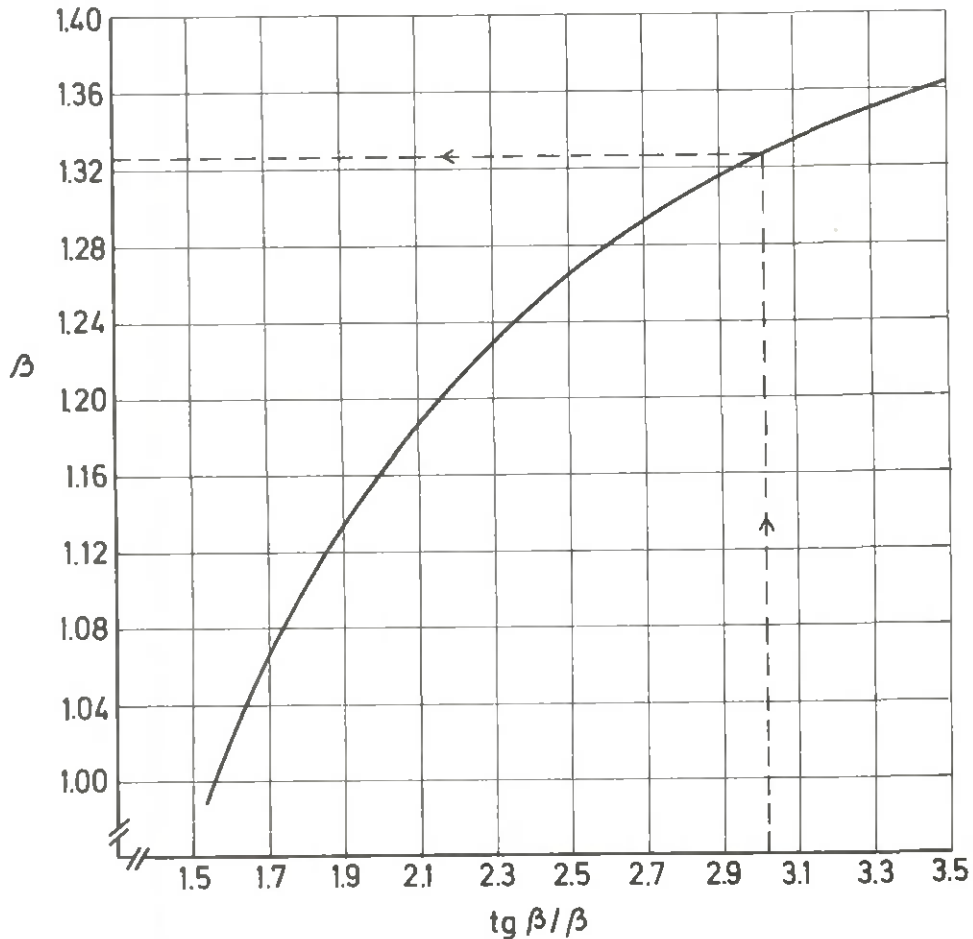


Fig. 93 Hjälpkurva för beräkning av intensitetsparametern β vid ett känt värde på $\text{tg } \beta / \beta$

C) Fuktledningskoefficient a' (Fuktdiffusivitet)

$$a' = a_1 \cdot e^z \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad e^z \text{ får man ur figur 94 genom att}$$

sätta in värdet på z .

$$z = a_2 \left(1 - \frac{\rho}{1000}\right)^2 + \frac{t_{\text{om}}}{33,4} - 1 + \beta \cdot F(\delta_1) \cdot F(t_{\text{om}})$$

$F(\delta_1)$ beräknas ur figur 96 genom att sätta in virkestjockleken $2 \delta_1$.

$F(t_{om})$ beräknas ur figur 96 genom att sätta in ytmedeltemperaturen t_{om} .

$$a_1 = 0,26 \cdot 10^{-10} \quad a_2 = 8,5 \quad \text{för splintved}$$

$$a_1 = 0,24 \cdot 10^{-10} \quad a_2 = 7,3 \quad \text{för kärnved}$$

Om virket innehåller t ex 50 % kärna (och 50 % splint) blir

$$a_1 = 0,25 \cdot 10^{-10} \quad \text{och} \quad a_2 = 7,9 \quad (\text{kap 1.3})$$

ρ = virkets densitet (torrvikt/rå volym), kg/m^3 (kap 1.4)

t_{om} = virkets ytmedeltemperatur =

$$= t_v + 5 \left(\frac{\frac{u_{m1}}{u_{mut}}}{\ln u_{m1}/u_{mut}} - 1 \right) \quad (^\circ\text{C})$$

u_{mut} = torkningens slutfuktkvot

$\ln u_{m1}/u_{mut}$ beräknas ur figur 95 genom att sätta in u_{m1}/u_{mut}

Ett riktvärde för den våta temperaturen kan beräknas enligt nedanstående formel. Vid sågverkstorkning av furu och gran (ljusst trä utan kådflytning) bör dock t_v inte överstiga 42°C vid höga lufthastigheter och 32°C vid låga lufthastigheter.

$$t_v = 33,4 \left[1 + k \left(1 - \frac{\rho}{1000} \right)^2 \right] \quad (^\circ\text{C})$$

där $k = 1,5$ för lövträ och $2,3$ för barrträ.

En högre våttemperatur ger en större fuktledningskoefficient a' och därmed en kortare torkningstid, men ger samtidigt ofta sämre kvalitetsegenskaper hos det torkade virket. I allmänhet kan man tillåta ett större t_v vid lägre densitet hos virket och ett större t_v för barrträ än för lövträ i enlighet med ovanstående formel för t_v . Virke som är känsligt för yttre sprickor bör torkas med ett större t_v .

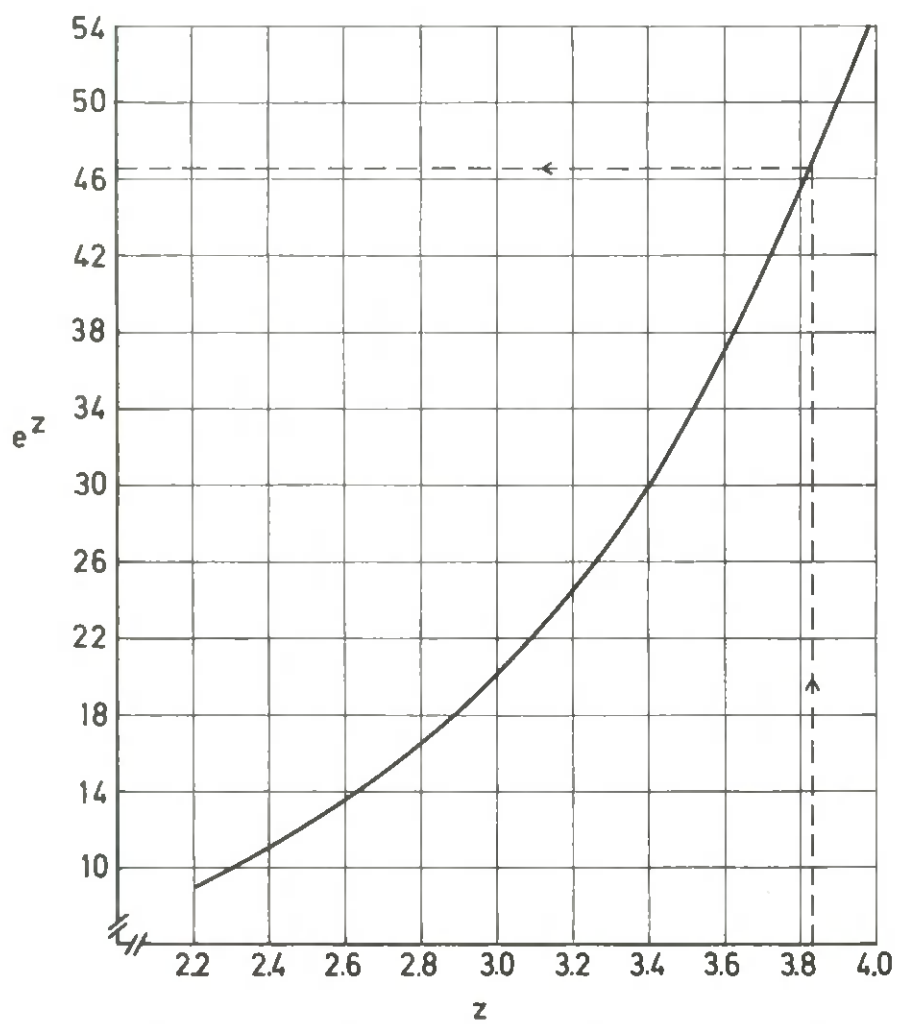


Fig. 94 Hjälpkurva för beräkning av e^z vid känt värde på z .

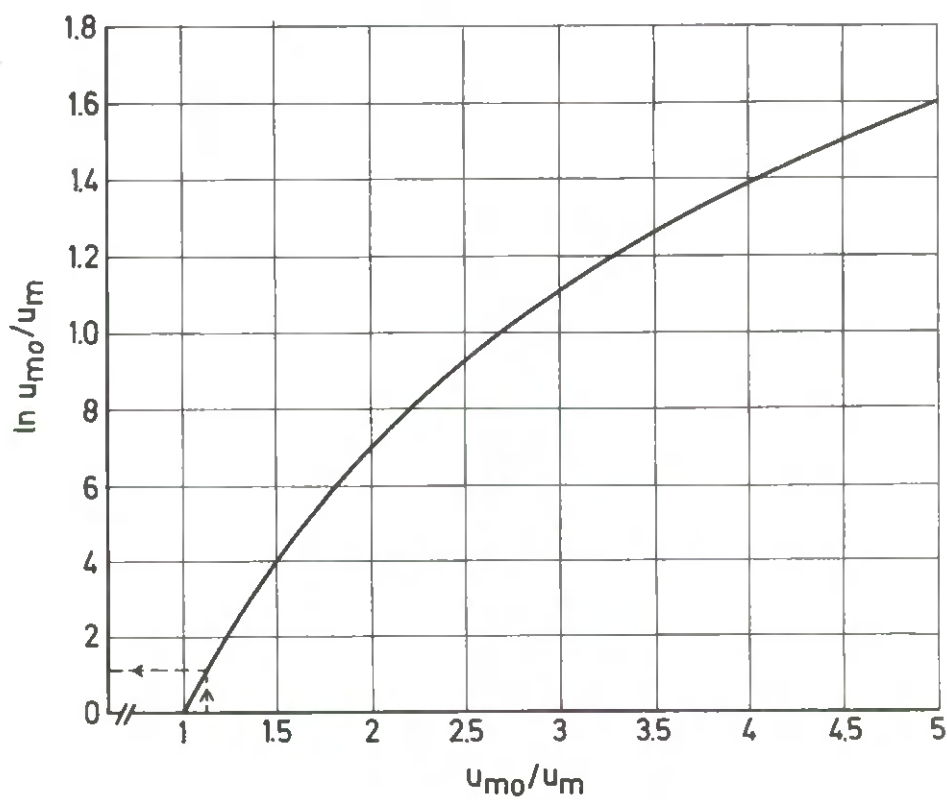
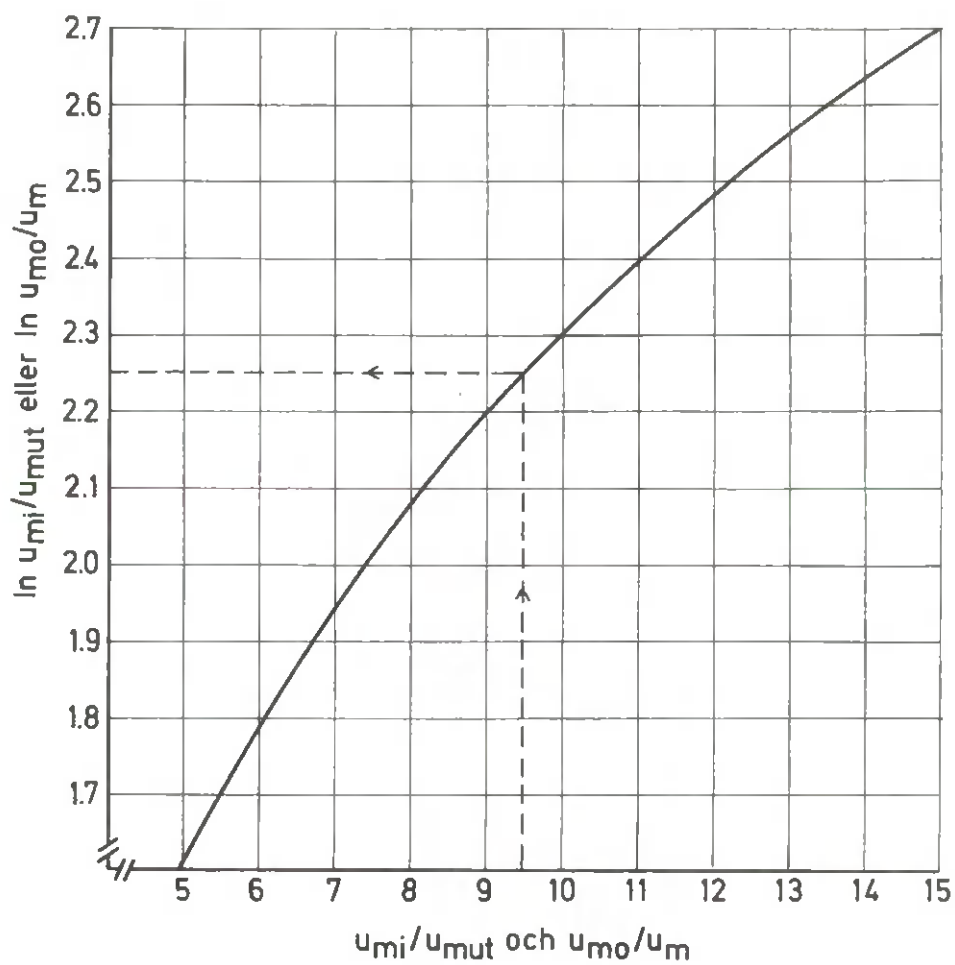


Fig. 95 Hjälpkurvor för beräkning av $\ln u_{m1}/u_{mut}$ och $\ln u_{m0}/u_m$ vid känt värde på u_{m1}/u_{mut} resp u_{m0}/u_m .

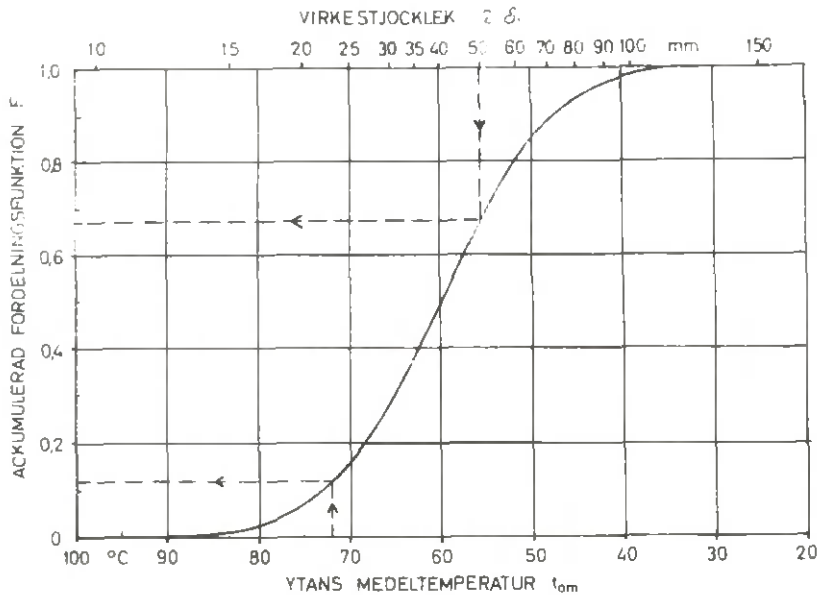


Fig. 96 Fördelningsfunktion för beräkning av virkestjockleken och temperaturens inverkan på fuktledningskoefficienten. Exempel: För 50 mm virkestjocklek blir $F(\delta_1) = 0,67$.

D) Klimat - fuktkvotsschema

Genom att sätta in olika värden på medelfuktkvoten u_m på nedanstående två formler får man olika värden för $t-t_v$ och ett klimat-fuktkvotsschema kan uppritas.

$$t-t_v = 5 \cdot \left(\frac{u_{m1}}{u_m} - 1 \right) + \frac{a \cdot p_r \cdot \beta^2}{\alpha \cdot \delta_1} \cdot u_m \quad (^\circ\text{C}) \text{ för } u_m$$

mindre än u_{m1}

$$t-t_v = \frac{a \cdot p_r \cdot \beta^2}{\alpha \cdot \delta_1} \cdot u_m \quad (^\circ\text{C}) \text{ för } u_m \text{ större än } u_{m1}$$

u_m = fuktkvoten under torkningsförloppet

δ_1 = halva virkestjockleken

r = vattnets ångbildningsentalpitet $(2500 - 2,33 t_v) \cdot 10^3$
J/kg

α = värmeövergångskoefficienten. Denna beror på lufthastigheten v (m/s) (som går genom virkespaketet) enligt formeln $\alpha = 8 \cdot v^{0,67}$ (W/m², °C) Exempel:

v (m/s)	α (W/m ² , °C)
1	8
2	13
3	17
4	20
5	23
6	26

E) Tids - fuktkvotsschema (hjälpsschema)

Genom att sätta in olika värden på medelfuktkvoten u_m får man olika värden för torkningstiden τ och ett tids-fuktkvotsschema kan uppritas.

$$\tau = \frac{1}{1 + \delta_1/\delta_2} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{\delta_1^2}{a \cdot \beta^2} \cdot \ln u_{mo}/u_m \quad (h)$$

där δ_2 = virkets halva bredd, m
och $\ln u_{mo}/u_m$ beräknas ur figur 94

Anm. Något högre torkningskvalitet erhålls (men längre torkningstid) om första faktorn i ovanstående ekvation

skrivs som $\frac{1}{1 + (\delta_1/\delta_2) \cdot 0,5}$ Detta gäller även övriga nedan angivna formler med denna faktor.

F) Klimat - tidstorkningsschema

Genom att sätta in olika värden på torkningstiden τ får man olika värden för psykrometerskillnaden $t-t_v$ och ett klimat-tidsschema kan uppritas. Denna typ av schema är den mest praktiskt användbara.

$$t-t_v = 5 \left(\frac{u_{m1}}{u_{mo}} \cdot e^{\tau/b} - 1 \right) + \frac{a \cdot \beta_r \cdot \beta^2}{\alpha \cdot \delta_1} \cdot u_{mo} \cdot e^{-\tau/b} \quad (^\circ\text{C})$$

$$\text{där } b = \frac{1}{1 + \frac{\delta_1}{\delta_2}} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{\delta_1^2}{a \cdot \beta^2}$$

$e^{\tau/b}$ och $e^{-\tau/b}$ beräknas ur figur 97 genom att sätta in kvoten τ/b .

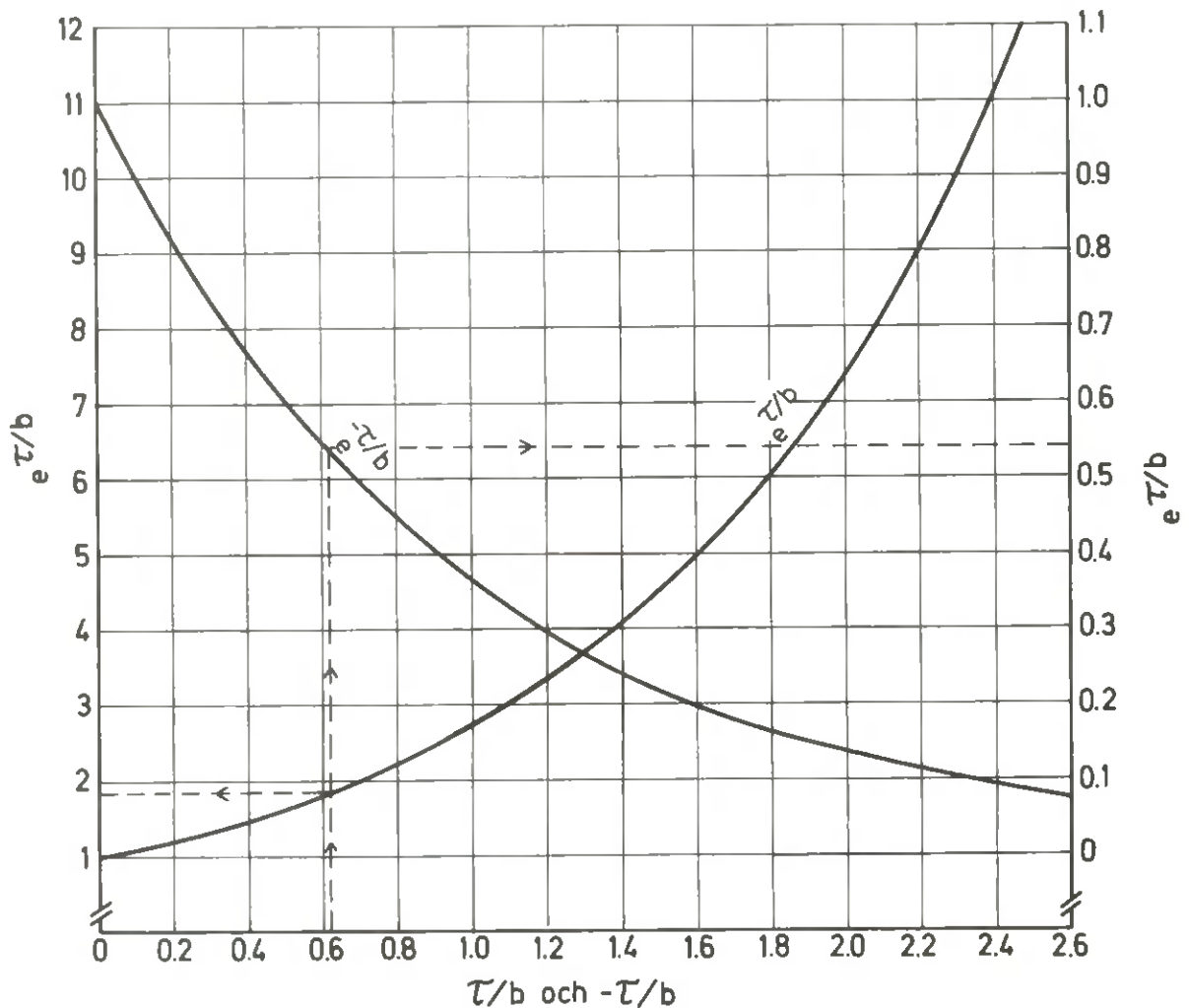


Fig. 97 Hjälpkurvor för beräkning av $e^{\tau/b}$ eller $e^{-\tau/b}$ vid känt värde på τ/b resp $-\tau/b$.

Beräkningsexempel

Torkning av 50x150 mm furuvirke med kärnvedsandelen 50 % från fuktkvoten 85 % (u_{mo}) till fuktkvoten 8 % (u_{mut}). Luft hastigheten $v = 3$ m/s. Densiteten $\rho = 430$ kg/m³.

A) Övergångsfuktkvot u_{m1}

$$u_{m1} = 0,9 \cdot u_{m0} = 0,9 \cdot 0,85 = 0,76.$$

B) Intensitetsparametern β

$$\frac{\text{tg } \beta}{\beta} = 4 \cdot u_{m1} = 4 \cdot 0,76 = 3,04$$

Enligt figur 93 blir $\beta = 1,325$

C) Fuktledningskoefficienten a'

Först beräknas $\ln u_{m1}/u_{mut}$

$$\text{Man vet att } u_{m1}/u_{mut} = 0,76/0,08 = 9,5$$

Av figur 95 får man att $\ln u_{m1}/u_{mut} = 2,25$

$$t_v = 33,4 \left[1 + k \left(1 - \frac{\rho}{1000} \right)^2 \right] = 33,4 \left[1 + 2,3 \left(1 - \frac{430}{1000} \right)^2 \right] = 58^\circ\text{C}$$

$$t_{om} = t_v + 5 \left(\frac{\frac{u_{m1}}{u_{mut}} - 1}{\ln u_{m1}/u_{mut}} - 1 \right) = 58 + 5 \left(\frac{9,5 - 1}{2,25} - 1 \right) = 72^\circ\text{C}$$

Vid insättning av $t_{om} = 72$ i figur 96 erhålls $F(t_{om}) = 0,12$

I samma figur insätts $2\delta_1 = 50$ och $F(\delta_1)$ blir 0,68

Eftersom virket innehåller 50 % kärna blir

$$a_1 = 0,25 \cdot 10^{-10} \text{ och } a_2 = 7,9$$

$$z = a_2 \left(1 - \frac{\rho}{1000} \right)^2 + \frac{t_{om}}{33,4} - 1 + \beta \cdot F(\delta_1) \cdot F(t_{om}) =$$

$$= 7,9 \left(1 - \frac{430}{1000}\right)^2 + \frac{72}{33,4} - 1 + 1,325 \cdot 0,68 \cdot 0,12 = 3,83$$

Vid insättning av z i figur 94 blir $e^z = 46,5$

$$a' = a_1 \cdot e^z = 0,25 \cdot 10^{-10} \cdot 46,5 = 11,6 \cdot 10^{-10} \quad \text{m}^2/\text{s}$$

D) Klimat - fuktkvotsschema

Först beräknas vattnets ångbildningsentalpitet r vid $t_v = 58^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} r &= (2500 - 2,33 \cdot t_v) \cdot 10^3 = (2500 - 2,33 \cdot 58) \cdot 10^3 = \\ &= 2360 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

Med en lufthastighet genom virkespaketen på 3 m/s blir

$$\alpha = v^{0,67} = 3^{0,67} = 17 \text{ W/m}^2, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Psykrometerskillnaden för fuktkvoten (u_m) mindre än u_{m1} blir

$$t - t_v = 5 \left(\frac{u_{m1}}{u_m} - 1 \right) + \frac{a' \rho r \beta^2}{\alpha \beta_1} \cdot u_m$$

$$t - t_v = 5 \left(\frac{0,76}{u_m} - 1 \right) + \frac{11,6 \cdot 10^{-10} \cdot 430 \cdot 2360 \cdot 10^3 \cdot 1,325^2}{17 \cdot 0,025} \cdot u_m$$

$$t - t_v = 5 \left(\frac{0,76}{u_m} - 1 \right) + 4,86 \cdot u_m \quad ^\circ\text{C}$$

Psykrometerskillnaden för fuktkvoter (u_m) större än u_{m1} , blir

$$t - t_v = \frac{a' \rho \cdot r \cdot \beta^2}{\alpha \cdot \delta_1} \cdot u_m$$

Uttrycket har beräknats i föregående formels sista del.

$$t - t_v = 4,86 \cdot u_m$$

°C

Ur de två sista "inrutade" ekvationerna kan man sätta in olika värden på fuktkvoten (u_m) och erhålla korresponderande psykrometerskillnader, som virket skall utsättas för. Man kan t ex sätta in sex olika värden mellan fuktkvoterna 75 % och 8 % för att rita upp en kurva över torkningsförloppet enligt figur 98. Lämpliga fuktkvotsvärden att sätta in är t ex : u_{m0} , u_{m1} , 45 %, 30 %, 18 % och 11 %.

Fuktkvot u_{m1} (x-axel) %	Psykrometerskillnad ($t - t_v$) (y-axel) °C
85	4,1
76	3,7
45	5,6
30	9,1
18	17,0
11	30,0

När kurvan ritas upp, kan lämpligen psykrometerdifferensen ritas konstant över fuktkvoten u_{m1} (punktstreckade delen). Dessutom kan torkningen avslutas godtyckligt någonstans mellan 25°C och 30°C psykrometerskillnad (streckade delen).

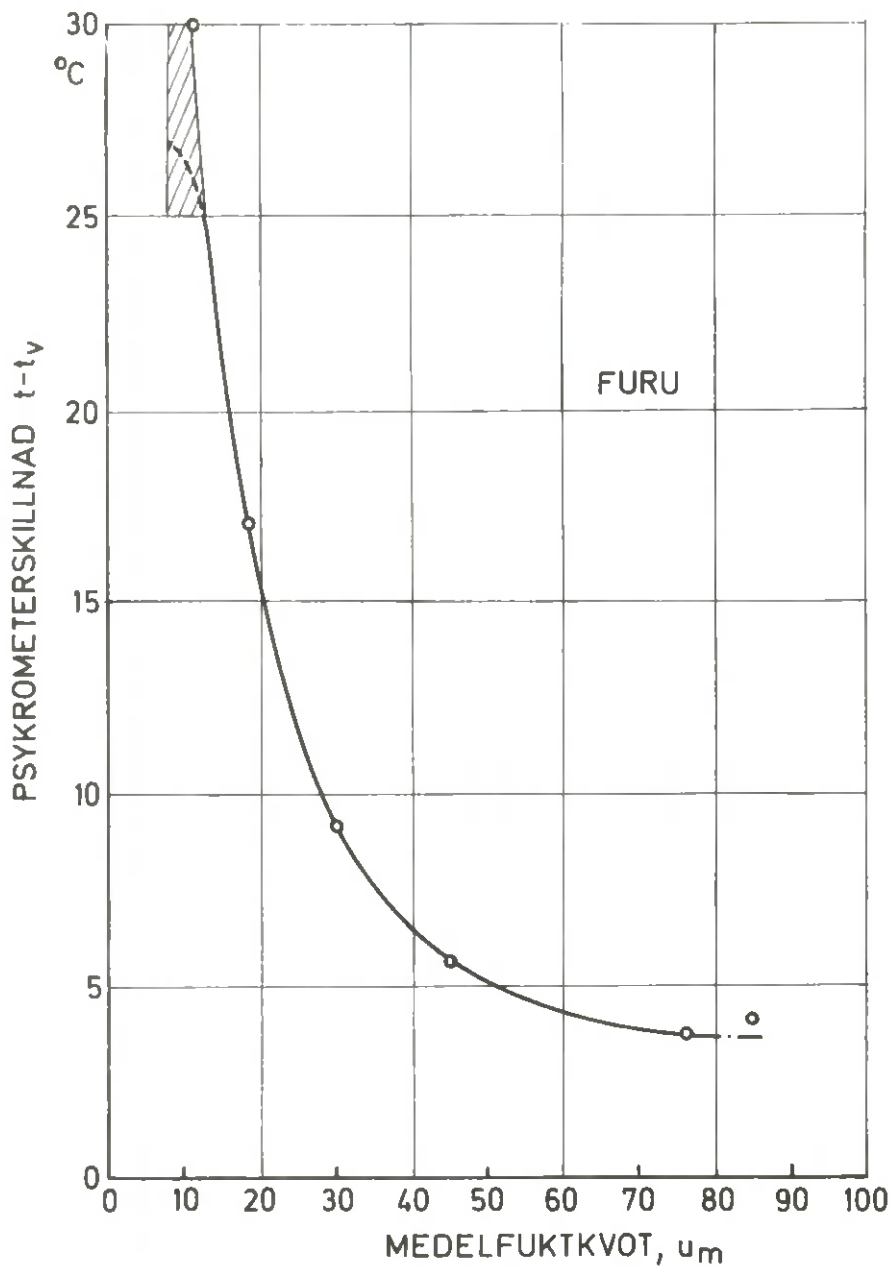


Fig. 98 Beräknat klimat - fuktkvotsschema för torkning mellan 85 % och av 50 x 150 mm furuvirke med kärnvedsandelen 50 %. Lufthastigheten 3 m/s, densiteten 430 kg/m³ och den våta temperaturen $t_v = 58^\circ\text{C}$.

E) Tids - fuktkvotsschema (hjälpsschema)

Även här är det lämpligt att dela upp beräkningarna i formeln

$$\tau = \frac{1}{1 + \delta_1/\delta_2} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{\delta_1^2}{a \cdot \beta^2} \cdot \ln u_{mo}/u_m$$

Först beräknas

$$\frac{1}{1 + \delta_1/\delta_2} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{\delta_1^2}{a \cdot \beta^2} = \frac{1}{1 + 0,025/0,075} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{0,025^2}{11,6 \cdot 10^{-10} \cdot 1,325^2} = 63,9$$

Formeln blir nu

$$\tau = 63,9 \ln u_{mo}/u_m$$

Nu kan man sätta in olika värden på fuktkvoten u_m och få fram värden på torkningstiden τ . Lämpliga fuktkvotsvärden att sätta in är t ex : u_{mo} , u_{m1} , 45 %, 30 %, 18 % och 8 %. $\ln u_{mo}/u_m$ beräknas enligt figur 95.

Fuktkvoten	u_{mo}/u_m	$\ln u_{mo}/u_m$	Torkningstiden
u_m			τ
%			h
85	1,00	0	0
76	1,12	0,11	7
45	1,89	0,64	41
30	2,83	1,04	66,5
18	4,72	1,55	99
8	10,63	2,36	151

Tabellvärdena sätts in i ett koordinatsystem enligt figur 99.

Anm. Som tidigare nämnts är det i allmänhet lämpligare att där faktorn $\frac{1}{1+\delta_1/\delta_2}$ förekommer, i stället skriva $\frac{1}{1+(\delta_1/\delta_2) \cdot 0,5}$

Det bör ytterligare påpekas att detta hjälpschema inte ska användas för styrning av torkningsprocessen, utan schemat är lämpat för olika bedömningar under torkningen t ex om man ska avgöra om det tidsmässigt är värt att avsluta torkningen vid en högre fuktkvot.

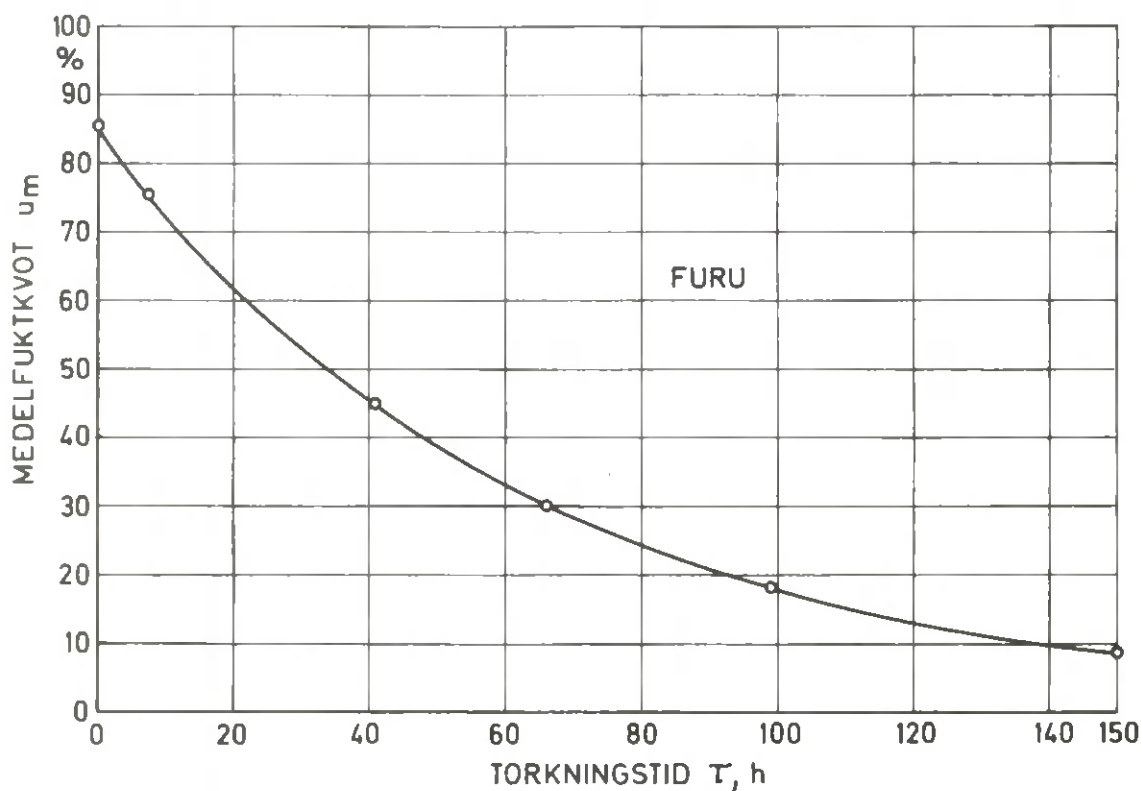


Fig. 99 Beräknat tids - fuktkvotsschema.

F) Klimat - tidstorkningsschema.

Detta torkningsschema fås ur formeln

$$t - t_v = 5 \left(\frac{u_{m1}}{u_{m0}} \cdot e^{\tau/b} - 1 \right) + \frac{a' \rho r \beta^2}{\alpha \delta_1} \cdot u_{m0} \cdot e^{-\tau/b}$$

där

$$b = \frac{1}{1 + \delta_1 / \delta_2} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{\delta^2}{a' \beta^2} \quad (\text{se anm. under E})$$

b har beräknats under moment E) och är = 63,9.

Uttrycket $\frac{a' \rho r \beta^2}{a \delta_1}$ har beräknats under D) och är = 4,86.

u_{m0} är = 0,85 (givet) och

$$u_{m1}/u_{m0} \text{ blir då } \frac{0,76}{0,85} = 0,89.$$

Torkningsschemat kan nu skrivas som

$$t - t_v = 5 (0,89 \cdot e^{\tau/63,9} - 1) + 4,86 \cdot 0,85 \cdot e^{-\tau/63,9}$$

eller

$$t - t_v = 4,45 e^{\tau/63,9} + 4,13 e^{-\tau/63,9} - 5$$

I denna formel kan man nu sätta in olika värden på τ mellan 0 och 150 timmar, t ex 0, 40, 70, 100, 130 och få fram ett torkningsschema enligt figur 100. Uttrycken $e^{\tau/63,9}$ och $e^{-\tau/63,9}$ beräknas genom att sätta in de olika värdena på τ/b och $-\tau/b$ i figur 97.

Torkningstid					Psykrometer- skillnad $t-t_v$
τ	τ/b		$e^{\tau/b}$	$e^{-\tau/b}$	$^{\circ}\text{C}$
h					
0	0	0	0	0	3,6
40	0,62	-0,62	1,87	0,54	5,6
70	1,10	-1,10	3,00	0,33	9,7
100	1,56	-1,56	4,78	0,21	17,1
130	2,03	-2,03	7,65	0,13	29,6

När kurvan ritas upp, kan lämpligen psykrometerkurvan avslutas godtyckligt någonstans mellan psykrometerskillnaderna 25°C och 30°C (streckade delen). I figuren kan även fuktkvoten överföras från figur 99 och prickas in på kurvan.

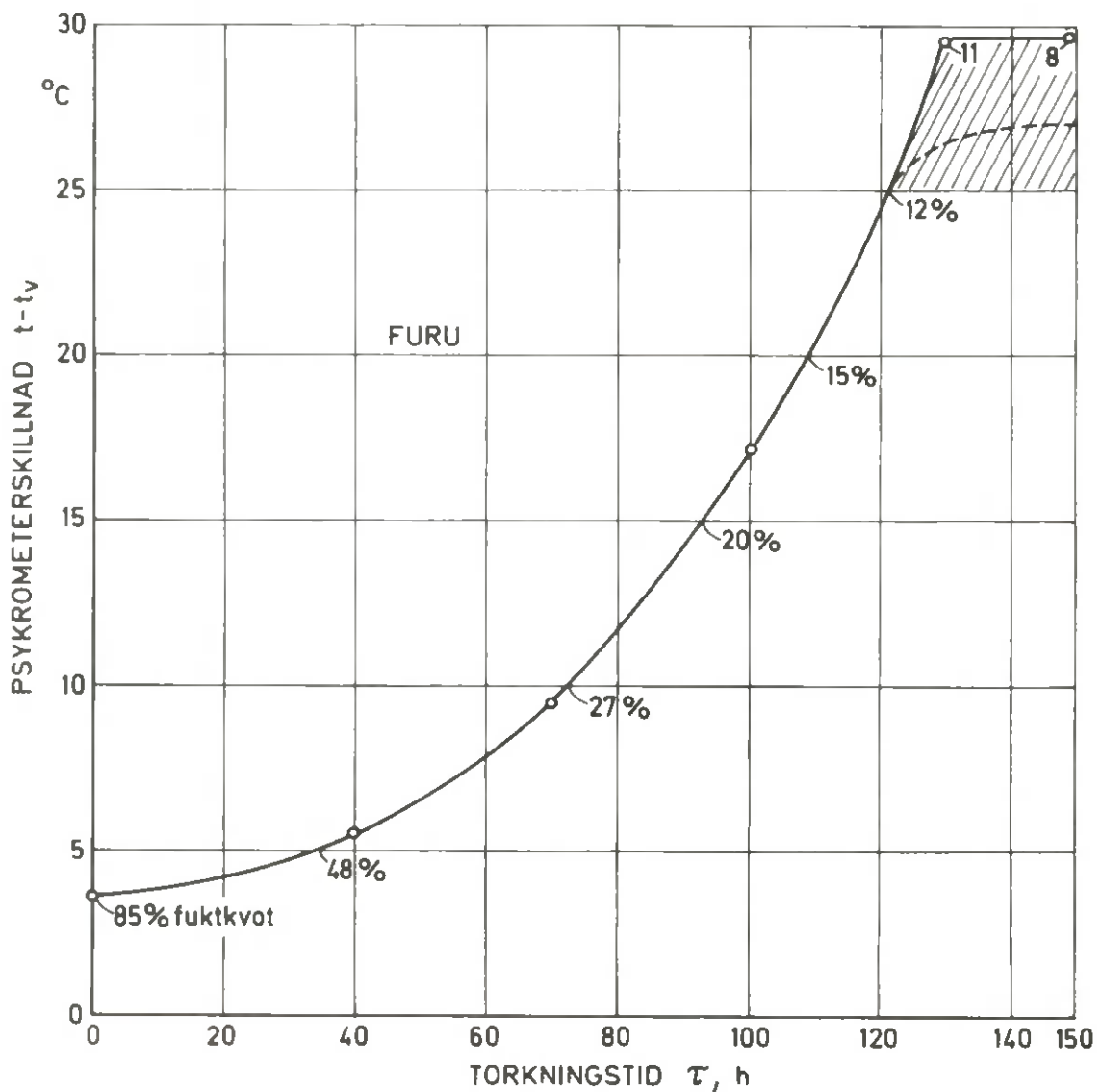


Fig. 100 Beräknat klimat - tidstorkningsschema.

12.2.4 Jämförelse av utländska torkningsscheman med svenska

Torkningsscheman rekommenderade från olika träforskningsinstitut i världen, skiljer sig väsentligt för ett och samma torkningsobjekt.

I figurerna 101 - 104 har klimat - fuktkvotsschemat inritats för virke av träslagen furu, ek, bok och björk med tjockleken 50 mm i enlighet med de rekommendationer som ges av träforskningsinstituten i

Sovjetunionen	(CCCP)
Västtyskland	(WG)
Storbritannien	(GB)
USA	(USA)
Sverige	(SV)

Av figurerna framgår att spridningen i rekommenderade värden är ganska stor. Schemana skiljer sig från varandra huvudsakligen därigenom att en hårdare torkning i början kompenseras med en mildare torkning i slutet och tvärtom.

I figurerna har kurvan (SV) inritats enligt D) i föregående kapitel angivna formeln för klimat - fuktkvotsscheman. Denna kurva ger ett ungefärligt medelvärde för de fyra ländernas rekommendationer. Det tycks knappast föreligga någon anledning till att något av de utländska rekommenderade schemana skulle vara bättre än de svenska teoretiskt beräknade. Av figurerna framgår även att furu och björk torkas efter nästan samma schema. Detta gäller endast klimat - fuktkvotsschemat! Träslag med hög densitet torkas i allmänhet med lägre psykrometerskillnad än träslag med låg densitet vid samma fuktkvot. Så t ex torkas 50 x 150 mm furu, björk och ek vid fuktkvoten 70 % med psykrometerskillnaden 3,7°C, 3,2°C, 1,8°C resp. 1,2°C

och vid fuktkvoten 20 % med psykrometerskillnaden $15,0^{\circ}\text{C}$, $16,0^{\circ}\text{C}$, $13,0^{\circ}\text{C}$ resp. 11°C .

Man kan således gruppera olika träslag efter likartat klimat - fuktkvotsschema. Grupp 1 i nedanstående tabell innehåller relativt lättorkat virke (högt β) och grupp 4 innehåller svårtorkat virke (lågt β).

Grupp 1

Furu
Gran
Ädelgran
Al
Abachi
Balsa
(Lind)
(Pil)

Grupp 3

Bok
Ask
Teak
(Asp)
(Palisander)
(Poppel)
(Valnöt)
(Gaboon)
(Kastanje)

Grupp 2

Björk
Lärk
Lönn
Alm
(Lind)
(Pil)

Grupp 4

Ek
Hickory
Eucalyptus
Ceder
Panga panga
(Asp)
(Palisander)
(Poppel)
(Valnöt)
(Gaboon)
(Kastanje)

Träslag inom parentes förekommer i två grupper beroende på ursprung (t ex tätvuxen - högre grupp). Vid osäkerhet

torkas virket i den högsta gruppen. Träslagen i grupperna 3 med värdena inom parentes och 4 spricker och kollapsar lätt (kap. 13). Våta temperaturen för palisander bör inte överstiga 35°C.

I figurerna 105 - 108 har den till figurerna 101 - 103 motsvarande rekommenderade våttemperaturen t_v inritats. Våttemperaturen är konstant ned till fuktkvoten 0,4 och varierar därefter både uppåt och nedåt utan någon bestämd tendens. Det finns därför troligen inget skäl att frångå det enkla villkoret att våta temperaturen skall vara konstant under hela torkningsförloppet.

Klimat - tidstorkningsscheman för torkningsförloppen i figur 101 har angivits i föregående kapitel (figur 100). Klimat - tidstorkningsschemana för figurerna 102 - 104 visas i figur 109 - 111.

Litteratur som behandlar torkningsscheman för andra träslag kan nämnas:

- Kiln Operators Handbook av
W.C. Stevens och G.H. Pratt (Eng.)
- Dry Kiln/Operator's manual av
Edmund F. Rasmussen, University of Wisconsin (USA)
- Handbuch der Holz Trocknung av
W. Janik, Fachbuchverlag, Leipzig (Ty)
- Die Schnittholztrocknung av
Robert Hildebrand, 744 Nürtingen (Ty)
- Traetørring av
Chr. Boye och C.L. Baumbach
Teknologisk Instituts Forlag, Köpenhamn (Danm)
- Timber drying manual (1974) av G H Pratt (Eng.)

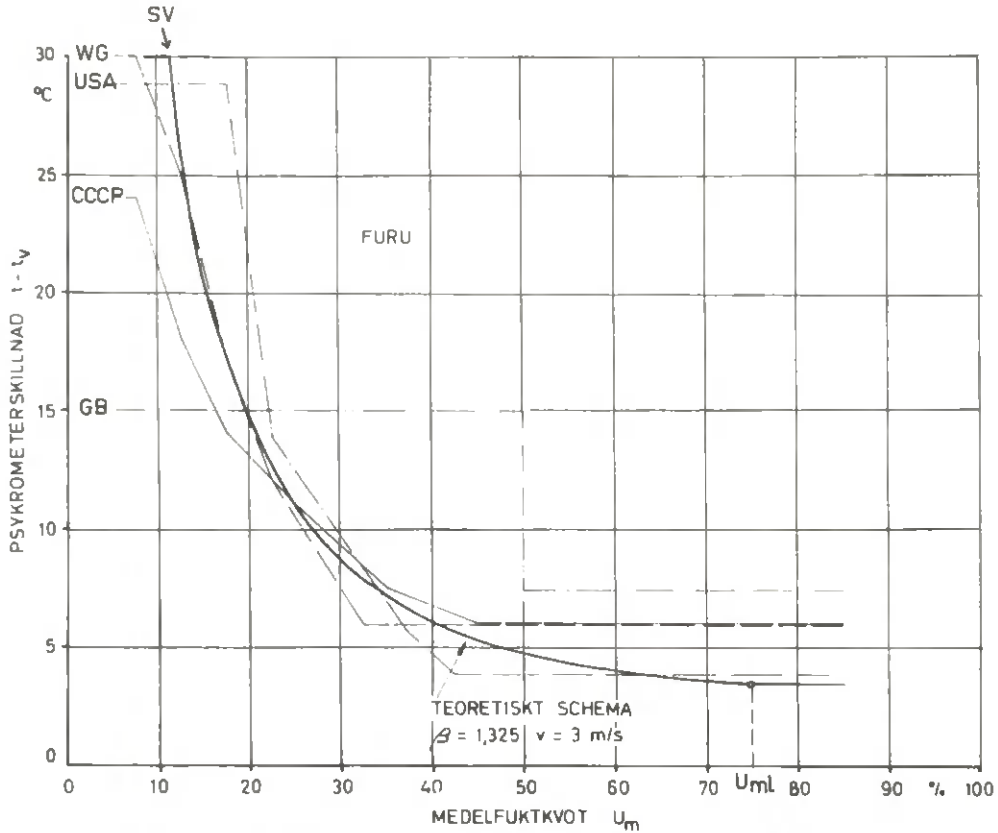


Fig. 101 Rekommenderade torkningsscheman och teoretiskt beräknat schema för 50x150 mm furu vid torkning från 85 % till 8 % fuktkvot med t_v från 30°C till 60°C.

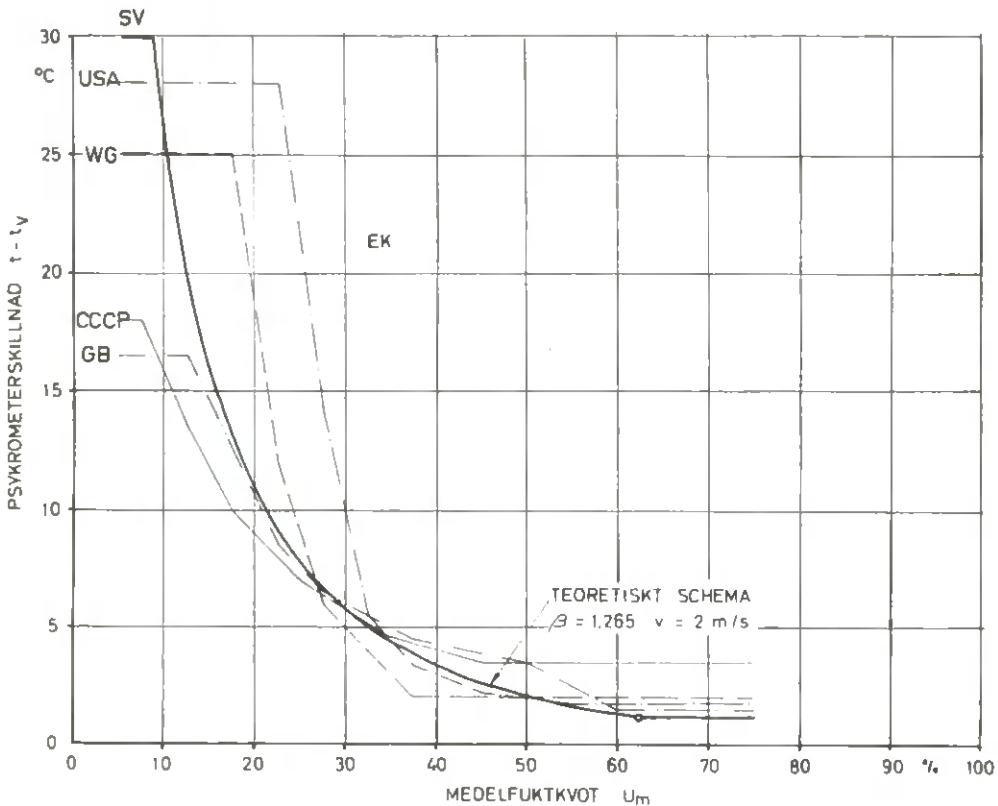


Fig. 102 Rekommenderade torkningsscheman och teoretiskt beräknat schema för 50x150 mm ek vid torkning från 75 % till 8 % fuktkvot med $t_v = 40^\circ\text{C}$.

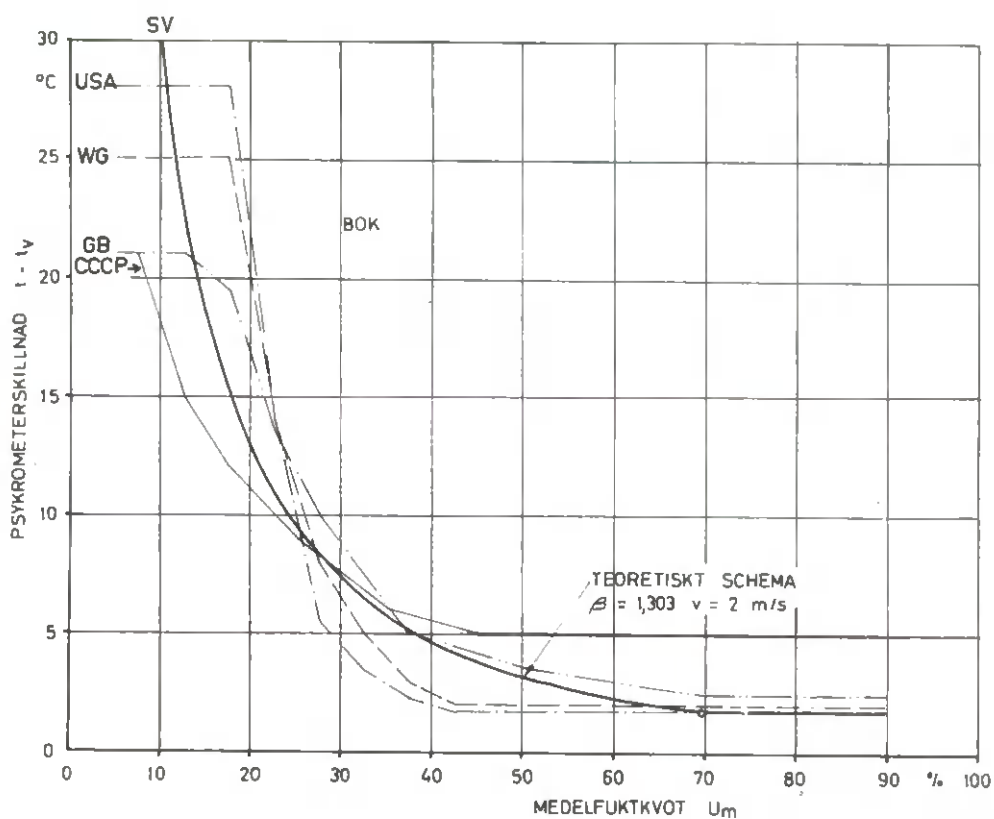


Fig. 103 Rekommenderade torkningsscheman och teoretiskt beräknat schema för 50x150 mm bok.

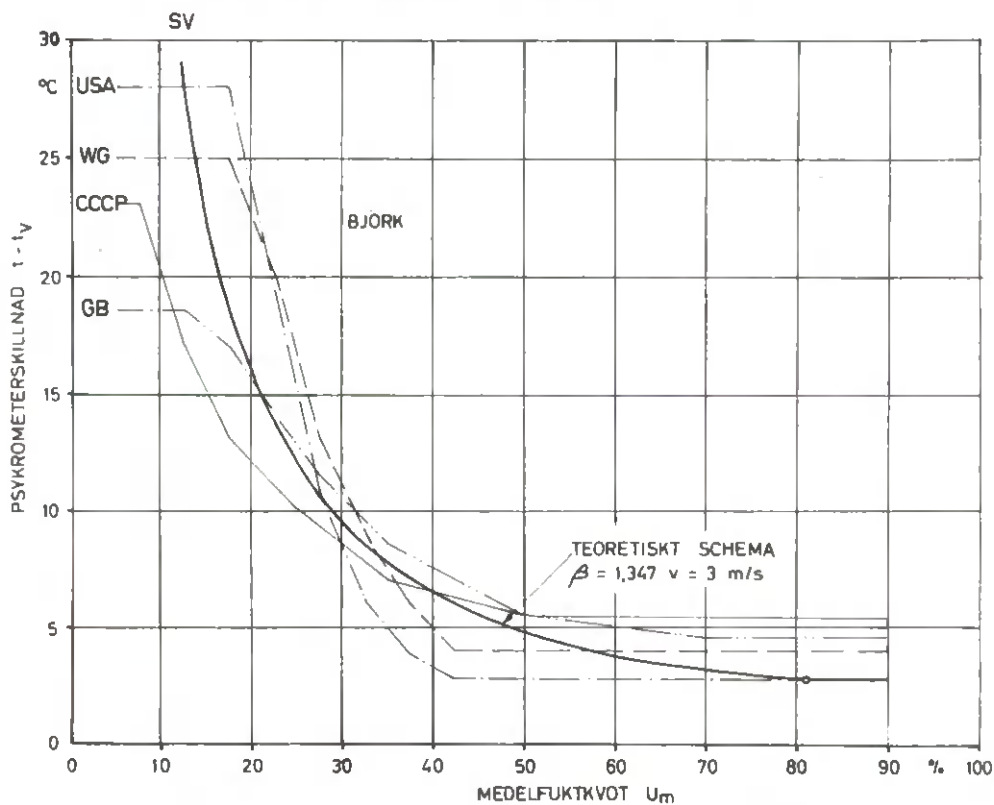


Fig. 104 Rekommenderade torkningsscheman och teoretiskt beräknat schema för 50x150 mm björk.

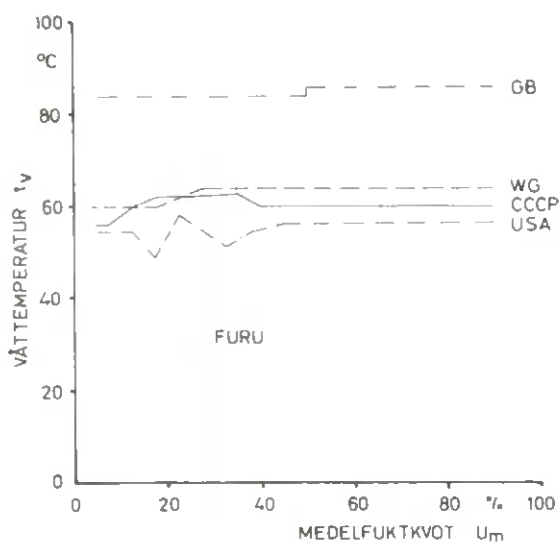


Fig. 105 Rekommenderade våttemperaturer för furu. I Sverige konstant $t_v = 58 - 32^\circ\text{C}$ beröende på kvalitetskravet.

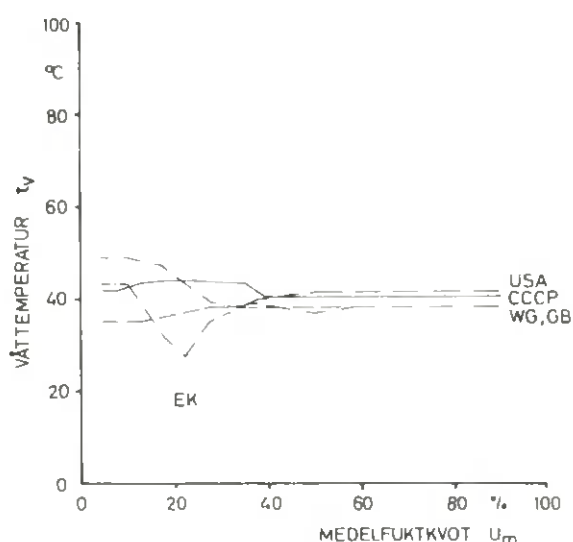


Fig. 106 Rekommenderade våttemperaturer för ek. I Sverige konstant $t_v = 35 - 40^\circ\text{C}$.

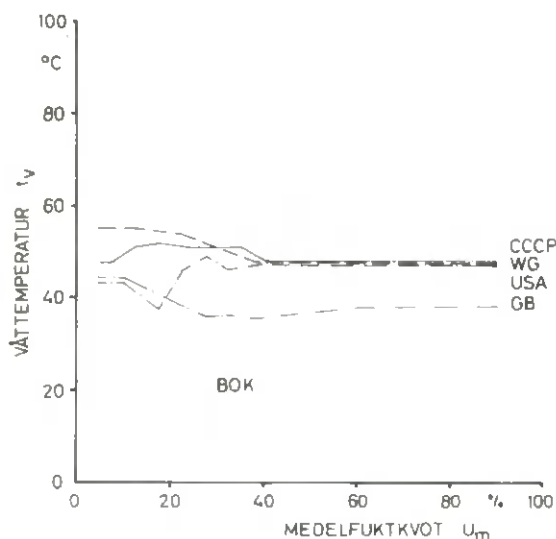


Fig. 107 Rekommenderade våttemperaturer för bok. I Sverige konstant $t_v = 35 - 50^\circ\text{C}$.

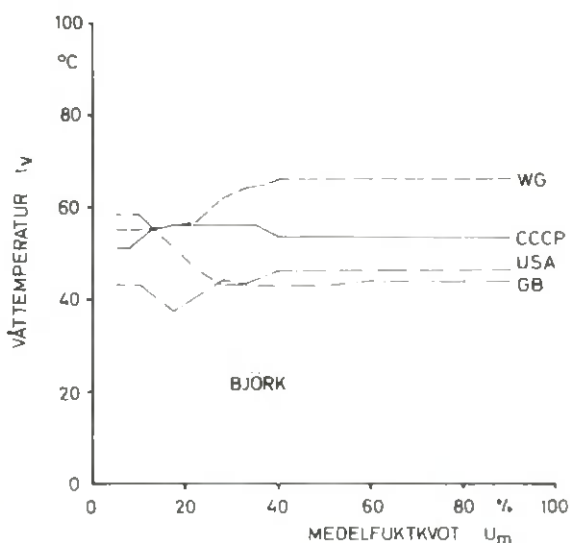


Fig. 108 Rekommenderade våttemperaturer för björk. I Sverige konstant $t_v = 35 - 50^\circ\text{C}$.

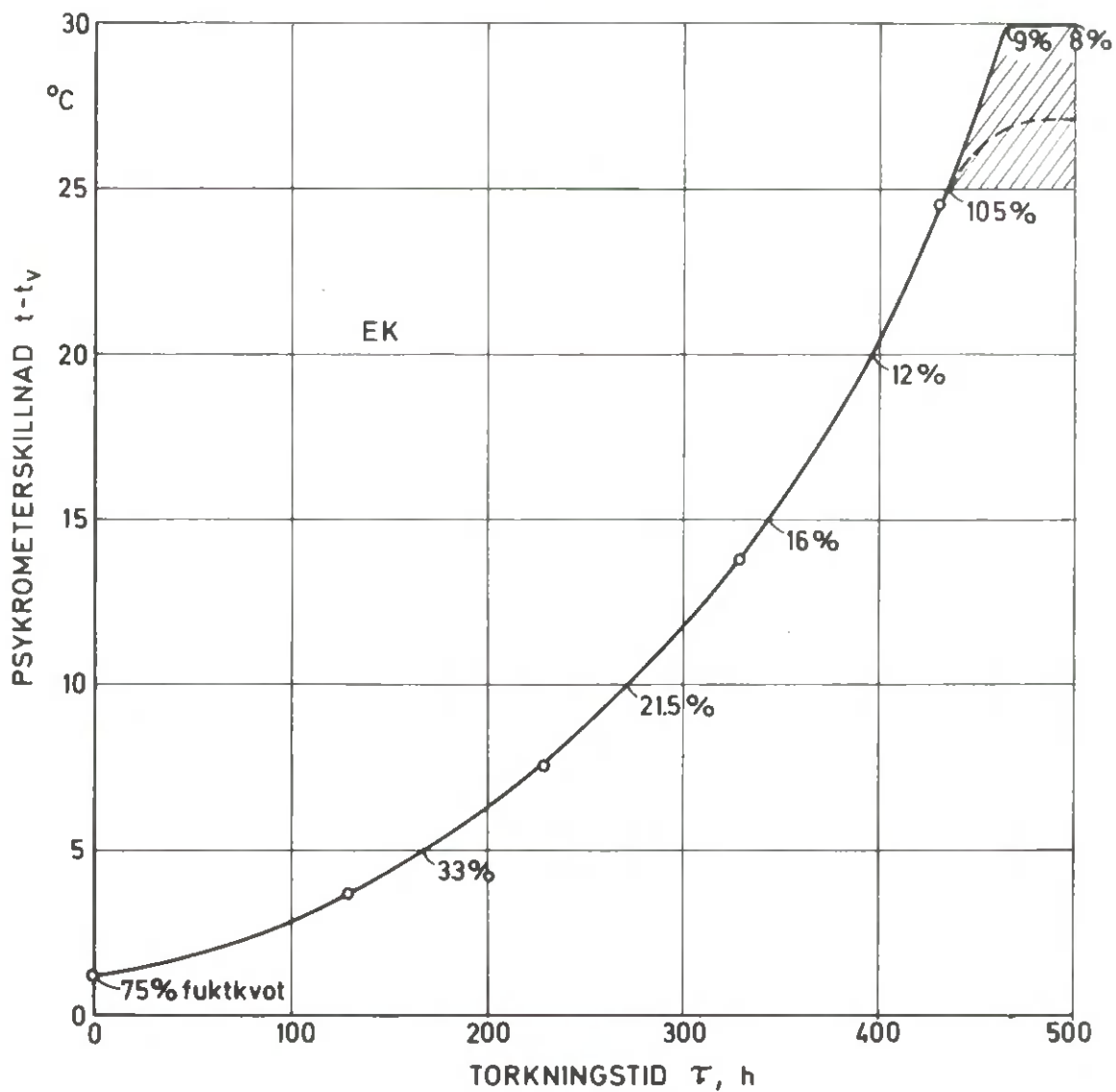


Fig. 109 Samma torkningsförlopp som i figur 102 men torkningsschemat är presenterat som klimat - tids - schema. Kurvan gäller för $t_v = 40^\circ\text{C}$.

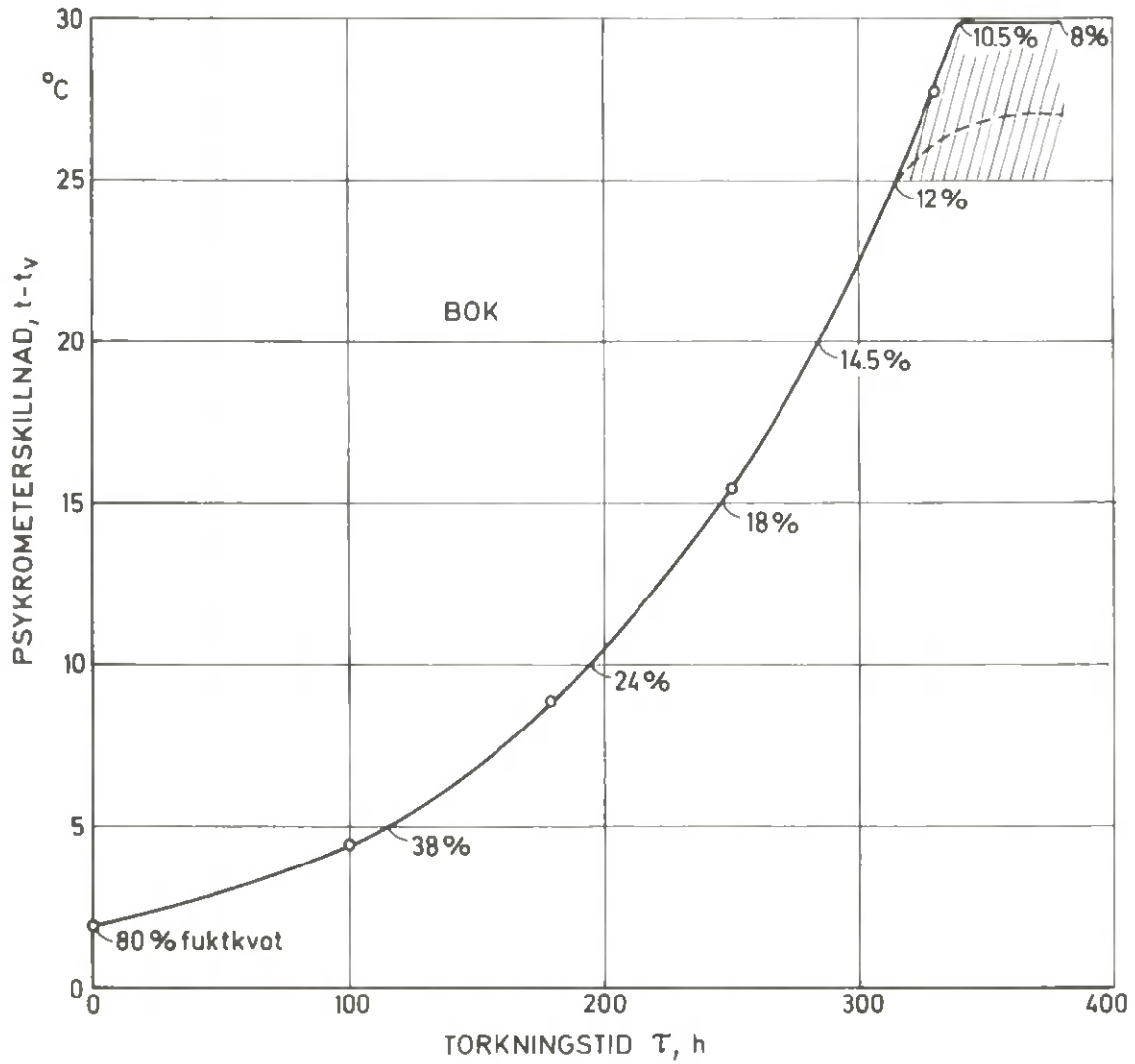


Fig. 110 Samma torkningsförlopp som i figur 103 men torkningsschemat är presenterat som klimat - tidschema. Kurvan gäller för $t_v = 50^{\circ}\text{C}$.

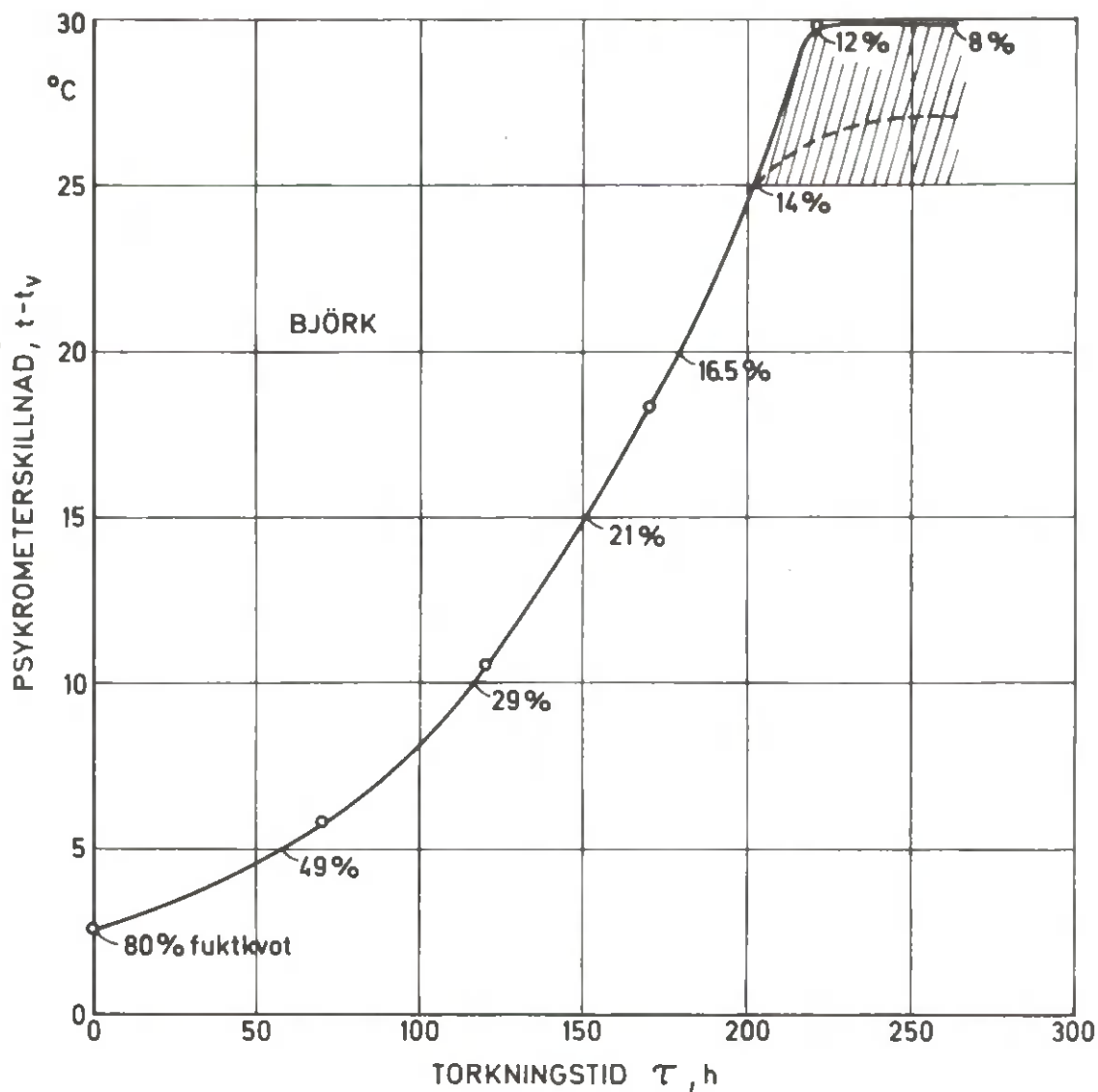


Fig. 111 Samma torkningsförlopp som i figur 104 men torkningsschemat är presenterat som klimat - tids - schema. Kurvan gäller för $t_v = 50^{\circ}\text{C}$.

12.2.5 Torkningstider för furu, björk, bok och ek

Den i kapitel 12.2.3 (punkt E) beskrivna ekvationen för torkningstiden har i tabell 14 använts för beräkning av torkningstiden för furu, björk, bok och ek. Används faktorn $\frac{1}{1+(\delta_1/\delta_2)\cdot 0,5}$ i ekvationen i stället för $\frac{1}{1+\delta_1/\delta_2}$ blir torkningstiderna något längre än de som anges i tabellen, men torkningskvaliteten blir i allmänhet något högre.

I tabellen ingår även beräkningar av torkningstiden vid olika kärnandelar, virkestjocklekar, våttemperaturer och fuktkvoter.

Tabell 14 Torkningstider för furu, björk, bok och ek med densiteterna 430, 520, 560 resp 570 kg/m³. Luft-hastigheten över virkesytan är 3 m/s för furu och björk samt 2 m/s för bok och ek

Virkes- dimension	Kärn- andel	Fuktkvots- ändring	Våttempe- ratur	Torkningstid	
mm	%	$u_{mo} - u_{mut}$ %	t_v °C	h	τ dygn
FURU					
75x175	75	60-18	40	143	6,0
"	"	60-8	"	237	9,9
"	"	25-8	"	224	9,3
50x150	50	85-18	"	106	4,4
"	"	85-8	"	150	6,3
"	"	25-8	"	106	4,4
"	"	85-18	60	104	4,3
"	"	85-8	"	150	6,3
"	"	25-8	"	100	4,2
"	"	85-18	30	134	5,6
"	"	85-8	"	168	7,0
"	"	25-8	-	-	-
25x100	0	115-18	40	50	2,1
"	"	115-8	"	60	2,5
"	"	25-8	"	38	1,6

Tabell 14, forts.

Virkes- dimension	Kärn- andel	Fuktkvots- ändring	Våttempe- ratur	Torkningstid	
				h	τ dygn
mm	%	$u_{mo} - u_{mut}$ %	t_v °C		
BJÖRK					
50x150	0	80-18	50	164	6,8
"	"	80-8	"	262	10,9
"	"	25-8	"	165	6,9
BOK					
50x150	0	80-18	50	238	9,9
"	"	80-8	"	384	16,0
"	"	25-8	"	280	11,7
"	50	80-18	"	279	11,6
"	"	80-8	"	448	18,7
"	"	25-8	"	324	13,5
"	100	80-18	"	327	13,6
"	"	80-8	"	524	21,8
"	"	25-8	"	379	15,8
EK					
50x150	75	75-18	40	351	14,6
"	"	75-8	"	507	21,1
"	"	25-8	"	500	20,8
"	100	75-18	"	387	16,1
"	"	75-8	"	558	23,3
"	"	25-8	"	541	22,5
x) EUKALYPTUS (Marginata)					
25x100	50	50-15	38	566	23,5

x) $\rho = 735 \text{ kg/m}^3$.

12.2.6 Torkningsscheman för möbel/snickeriindustrins sats-torkar

(Ur Timber drying manual, G H Pratt, 1974)

Följande torkningsscheman är framtagna vid Princes Risborough Laboratory i England (Englands motsvarighet till vårt träforskningsinstitut).

Tabell A innehåller de i svenska möbel/snickeriindustrin mest förekommande träslagen.

Tabellen upptar:

- det för resp träslag vanligaste engelska/svenska handelsnamnet och botaniska namnet
- torkningsscheman med beteckningar från A till M (tabell B)
- ungefärlig krympning från grönt tillstånd till 12 % fuktkvot
- torkningstidklass från 1 till 9 (1 = snabbtorkande 9 = mycket långsamt torkande, se tabell C)
- torkningsegenskaper för resp träslag

För beräkning av ungefärlig torkningstid, se slutet av detta kapitel

Tabell A

(ej i bokstavsordning)

Handelsnamn svenskt och/ el. engelskt	Botaniskt namn	Tork- nings- schema	Kryp- ning <u>Tang.</u> Rad.	Tork- nings- klass G	Torknings- egenskaper
1 Afaral Limba	Terminalia stipulosa	J	-	4	Torkar med lite/ inga sprickor. Lätt deformation.
2 Arformosia	Pericopsis elata	J	$\frac{2,5}{1,5}$	5	Liten nedklass- ning, Ibland små ytsprickor. En tendens till fukt- fickor.

3	Agba	Gossweileroden- dron balsami- ferum	J	$\frac{6,5}{4,0}$	4	Liten nedklassning men ofta en stor gummiav-söndring.
4	Klibbal Alder	Alnus flutinosa	J	$\frac{6,5}{4,0}$		Lättorkad.
⑤	Ask Ash	Fraxinus spp	D	$\frac{7,0}{4,5}$	6	Lite sprickor men änd-sprickor. Låg temp. annars vridning. Skevt virke förbättras vid konditionering.
6	Balsa	Ochroma pyramidale	H	$\frac{3,5}{2,0}$	2	Mycket varierande tork-ningssegenskaper bero-ende på variation i densitet.
⑦	Bok (Rödbok) Beech	Fagus sylvatica	D	$\frac{9,5}{4,5}$	5	Alltid en tendens att yt- och ändspricka samt deformera sig. Stor krympning.
⑧	Björk (Vårt-, Glasbjörk)	Betula pubesceus/ verrucosa	F	$\frac{8,0}{5,0}$	3	Torkar bra men en ten-dens till deformation.
9	Buxbom Box	Buxus sempervireus	B	-	-	Torkar mycket långsamt. Tendens till yt-sprickor.
⑩	Sötkörbär fågelbär Cherry	Prunus avium	A	$\frac{6,5}{3,5}$	5	Tendens till defor-mering. Torkar annars lätt.
⑪	Kastanje Chestnut	Castanea sativa	D	$\frac{5,5}{3,0}$	-	Torkar långsamt. Kol-lapsrisk. Hartsfickor. Svårkonditionerad.
12	Ebenholtz (Afrikansk) Ebony	Diospyros spp	E	$\frac{6,5}{5,5}$	-	Små virkesbitar torkar fort utan skador.
13	Ebenholtz (Ostindisk) Ebony	Diospyros spp	C	-	-	De svarta delarna av timret är mycket svårt att torka. Långa fina djupa sprickor (spec. grova dimensioner).
14	Bougossi Ekki	Lophira elafa	B	$\frac{5,5}{4,5}$	9	Svårtorkat. Sprickor, deformation. Måste staplas väl.
⑮	Alm Elm	Ulmus procera Ulmus hollandica	A	$\frac{6,5}{4,5}$	5	Torkar lätt men en liten tendens till de-formering, sprickbild-ning och kollaps. Måste staplas väl med belast-ning på stapeln. Bör konditioneras.

Anm. Inringad siffra anger i Sverige växande träslag.

16	Alm, Vresalm White Elm	Ulmus americana	F	-	-	Torkar lätt, liten krympning.
17	Alm, Skogsalm Wych Elm	Ulmus glabra	A	-	5	Torkar bättre än vresalmen.
18	Douglasgran Douglas fir	Pseudotsuga menziesii	K	$\frac{4,0}{2,5}$	1	Torkar fort, nästan utan skador men en del kvisturfall.
19	Gaboon Okoumé	Aucoumea Klaineana	E	-	-	Torkar relativt lätt med lite skador.
20	Tiama Kalunai Gedu nohor	Entandrophragma angolense	A	$\frac{5,0}{2,5}$	-	Torkar fort med en tendens till deformation.
21	Demerara/grön- hjärta (greenhart)	Ocotea rodiaei	B	$\frac{4,5}{3,0}$	9	Torkar långsamt med rel. stora skador. Tjocklekar över 25 mm bör inte torkhustorkas.
22	Yang Gurjun (Slamese)	Dipterocarpus alatus koxb.	D	$\frac{11,5-7,5}{5,5-2,5}$	7	Svårtorkad även vid höga temperaturer. Vid hög temp. flyter gummi-harts ut. Ibland lätt kollaps, deformation.
23	Bok, Avenbok (Vitbok) Hornbeam	Carpinus betulus	E	$\frac{7,0}{5,0}$	5	Lättorkad.
24	Iroko	Chlorophora excelsa	E	$\frac{2,0}{1,5}$	4	Ganska lättorkad, lätt tendens till deformation och sprickbildning. Ibland strömärken.
25	Lärk Larch	Larix decidua	H	$\frac{4,0}{3,0}$	4	Torkar fort. Tendens till deformation, kvisturfall.
26	Pockenholts Gudsträd Lignum vitae	Guaiacum	B	-	-	Torkar mycket långsamt.
27	Lind Lime	Tilia vulgaris	H	$\frac{7,5}{5,0}$	-	Lättorkad men en viss tendens till deformation.
28	Mahogny (Afrikansk) Mahogny	Khaya spp	F	$\frac{4,5}{2,5}$	4	Låg nedklassning. Deformation om träet innehåller dragved.
29	Mahogny (Afrikansk)	Khaya grandifoliola	A	$\frac{4,5}{2,5}$	6	Lättorkad med schema A.
30	Mahogny (Amerikansk)	Swietenia macrophylla	F	$\frac{3,0}{2,0}$	-	Lättorkad. Snabbtorkad.
31	Makoré	Tieghemella heckelii	H	$\frac{4,5}{3,0}$	6	Liten nedklassning. Bör staplas väl med tyngd på stapeln.

32	Paduk (Afrikansk) Muninga	<i>Pterocarpus angolensis</i>	J	$\frac{1,5}{1,0}$	7	Torkar med ganska låg nedklassning men rel. lång torkningstid.
33	Niangon	<i>Terrietia utilis</i>	E	$\frac{4,5}{2,5}$	6	Ganska lättorkad. Tendens till änd/ytsprickor och deformation.
34	Ek (Europeisk)	<i>Quercus robur Q. petraea</i>	C	$\frac{7,5}{4,0}$	9	Stor risk för sprickor, spec. i början av torkningen. Risk för inre sprickor vid forcerad torkning. Deformeringsrisk. Mottaglig för gulmögel.
35	Ek (Japansk)	<i>Quercus spp</i>	C	-	8	Något lättare att torka än den europeiska.
36	Abachi Obeche	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	L	$\frac{3,0}{2,0}$	1	Lättorkad. Mycket låg nedklassning.
37	Panga-panga	<i>Millettia stuhlmannii</i>	E	-	-	Torkar mycket långsamt med liten nedklassning.
38	Wenge	<i>Millettia laurentii</i>	E	-	-	Torkar mycket långsamt med liten nedklassning.
39	Contortatall Lodgepole pine Shore pine	<i>Pinus contorta</i>	L	$\frac{4,0}{2,5}$	-	Lättorkad. Snabbtorkad. Kådflytning.
40	Paranatall Parana pine Braxilian pine	<i>Araucaria angustifolia</i>	D	-	2	För att vara ett barrträd är den ganska svårtorkad. Mörka partier får lätt sprickor, torkas långsamt och deformation. Fordrar konditionering. Innehåller ofta stora spänningsskillnader.
41	Furu (Svensk) Scots pine	<i>Pinus Sylvestris</i>	M	$\frac{4,5}{3,0}$	1	Lättorkad. Spricker i kvistar. Torrkvistar ramlar lätt ur. Angrips lätt av mögel. Bör sågas direkt efter sågningen. Önskas ljust trä, ska schema F användas.
42	Päronträd Pear	<i>Pyrus communis</i>	A	$\frac{9,0}{4,5}$	-	Torkar långsamt. Deformerar sig lätt.
43	Poppel (Ontariopoppel) Poplar black	<i>Populus canadensis</i>	E	$\frac{5,5}{2,0}$	6	Lättorkad men fukt-fickor uppstår lätt.

44	Pterygota	Pterygota kameruneudis	H	$\frac{5,0}{2,0}$	-	Snabbtorkad. Liten risk för ytsprickor och deformation. Risk för strömögel.
45	Amaranftra Pupleheart	Peltogyne spp	E	$\frac{4,5}{2,0}$	6	Låg nedklassning. Hög fuktkvotsgradient vid torkning av tjocka dimensioner.
46	Ramin	Gonystylus bancanus	C+10 % rel. fuktigheten vid dim, tjockare än 38 mm.	$\frac{5,0}{2,5}$	4	Änd- och ytsprickor uppstår lätt, spec. dim. tjockare än 38 mm.
47	Palisander (Indisk)	Dalbergia latifolia	E	-	6	Ganska lätttorkad. Färgen förbättras under torkningen.
48	Sapelimahogny Sapele	Entandrophragma cylindricum	A	$\frac{4,5}{2,5}$	5	Ganska lätttorkad men deformeras lätt.
④9	Gran (Svensk) Spruce (European)	Picea Abier	K	$\frac{4,0}{2,0}$	1	Lätttorkad. Sprickor i kvistar. Kvistar ram- lar lätt ur. Angrips lätt av mögel.
50	Teak (Bangkok-) (Java-) (Siam-) Burma teak	Tectona grandis	H	$\frac{2,5}{1,5}$	4	Rel. lätttorkad men sär- skilt noggrannhet vid bestämning av fuktkvot- en eftersom denna varierar kraftigt. Färgen ändras under torkningen.
51	Utile Sipo	Entandrophragma utile	A	$\frac{3,5}{3,0}$	5	Torkar utan sprickbildning. Vrider sig lätt.
52	Valnöt (Europeisk)	Juglans regia	E	$\frac{5,5}{3,0}$	5	Rel. lätttorkad men risk för inre sprickor.
⑤3	Sälg, Pil Willow	Salix spp	H el. D	-	3	Lätttorkad men lokala fuktfickor kan uppstå.
⑤4	Asp (Europeisk) Aspen	Populus tremula	E	-	-	Torkar ganska snabbt.
55	Hickory	Carya glabra	E	-	-	-
⑤6	Skogslönn Maple (Norway)	Acer platanooides	E	-	-	-
⑤7	Jättepoppel Poplar (Canadian)	Populus balsamifera	E	-	-	Torkar ganska snabbt.

Schema A

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t	våt t _v	
Rått	35	30,5	70
60	35	28,5	60
40	40	31	50
30	45	32,5	40
20	50	35	35
15	60	40,5	30

Schema B

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t	våt t _v	
Rått	40	37,5	85
40	40	36,5	80
30	45	40,5	75
25	50	44	70
20	55	46	60
15	60	47,5	50

Schema C

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t	våt t _v	
Rått	40	37,5	85
60	40	36,5	80
40	45	40,5	75
35	45	39,5	70
30	45	38,5	65
25	50	42	60
20	60	47,5	50
15	65	48,5	40

Schema D

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t	våt t _v	
Rått	40	37,5	85
60	40	36,5	80
40	40	35	70
35	45	37,5	60
30	45	35	50
25	50	36,5	40
20	60	40,5	30
15	65	44	30

Schema E

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t	vår t _v	
Rått	50	47	85
60	50	46	80
40	50	45	75
30	55	47,5	65
25	60	49	55
20	70	54,5	45
15	75	57,5	40

Schema F

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t	våt t _v	
Rått	50	45	75
60	50	44	70
40	50	42	60
30	55	43,5	50
25	60	46	45
20	70	52,5	40
15	75	57,5	40

Anm. 1 Lufthastigheten

Är lufthastigheten över 2-3 m/s, ska φ höjas med 5 % (5 fuktighetsprocent för varje steg).

Är lufthastigheten lägre än ca 0,6 m/s, ska φ sänkas 5-10 %.

Anm. 2 Virkestjockleken

Är virkestjockleken mer än 75 mm, ska φ höjas ca 10 %.

" " " 38-75 mm, " " " " 5 %.

" " " mindre än 25 mm, " " sänkas " 5-10 % (undantag: ek)

Anm. 3 Lufttorkat virke

Är virkets ingående fuktkvot lägre än vid rått tillstånd, ska torkningsschemat påbörjas minst två steg högre (Ex. virkets medelfuktkvot 25 %. Används schema E, ska schemat påbörjas vid fuktkvot 40 % eller 60 %).

Schema G

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t _t	våt t _v	
Rått	50	47	85
60	50	46	80
40	55	51	80
30	60	54,5	75
25	70	62,5	70
20	75	62,5	55
15	80	61	40

Schema H

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t _t	våt t _v	
Rått	60	55,5	80
50	60	54,5	75
40	60	52	65
30	65	53,5	55
20	75	57,5	40

Schema J

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t _t	våt t _v	
Rått	60	53	70
50	60	50,5	60
40	60	47,5	50
30	65	48,5	40
20	75	52	30

Schema K

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t _t	våt t _v	
Rått	70	65	80
50	75	67	70
30	80	68,5	60
20	90	69	40

Schema L

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t _t	våt t _v	
Rått	80	72	70
40	90	69	40

Schema M

Fuktkvot u, %	Temperatur, °C		Luftfuk- tighet φ , %
	torr t _t	våt t _v	
Rått	90	81	70
50	95	78	50

Beräkning av torkningstiden

I möbel/snickeriindustrin lägger man ofta mycket stor vikt vid en spänningsfri och sprickfri vara, även om det blir på bekostnad av torkningstiden/torkningskapaciteten (dvs en större torkanläggning).

Torkningstiden beror på många svårbedömda faktorer. Både torkanläggning och virke varierar som bekant mycket från fall till fall. Nedanstående beräkningsmetod är inte fulländad, men ger en bra uppskattning av torkningstiden.

Beräkningarna är uppdelade i två delar:

1. en bastidsberäkning och
2. en torkningsfaktor.

Den verkliga torkningstiden erhålls genom multiplicering av bastiden med torkningsfaktorn.

1. Bastidsberäkningen tar hänsyn till

- torkningstemperaturen för resp träslag enligt schemana A-M (Tabell A)
- en laboratoriemässigt framtagen torkningshastighetsfaktor C för resp träslags torkningsklass. Klass 1 torkar mycket snabbt, klass 9 torkar mycket långsamt. (Faktor C framtagen med hjälp av torkningsschemana A-M). Tabell B.
- önskad fuktkvotsminskning Δu , %. Tabell C.
- virkestjocklek d, m m. Tabell D.

Är virkestvärnsnittet kvadratisk i stället för normalt rektangulärt ska bastiden halveras.

Exempel 1: 50x150 mm almvirke ska torkas från 45 % till 15 %. Hur lång blir bastiden?

I tabell A står att alm (nr 15) är i torkningsklass 5 och tabell B visar att denna klass har torkningshastighetsfaktor 1,0.

Fuktkvotsminskningen är 30 % och tabell C visar att det fordras 12,1 dygnsenheter för denna minskning. Slutligen visar tabell D tjockleksfaktorn 1,4 för 50 mm tjockt virke. Bastiden blir

$$1,0 \cdot 12,1 \cdot 1,4 = \underline{\underline{16,9 \text{ dygn}}}$$

Tabell B

Torkningsklass (se tabell A)	Torkningshastig- hetsfaktor
G	C
1	0,3
2	0,4
3	0,55
4	0,75
5	1,0
6	1,3
7	1,6
8	1,95
9	2,35

Tabell C

Fuktkvots- minskning (%)	Torkningstid (dygnsenheter)
Δu	D
15	7,6
20	9,2
25	10,7
30	12,1
35	13,4
40	14,6
45	15,8
50	17,0
55	18,1
60	19,2
65	20,3
70	21,3
75	22,3
80	23,3

Tabell D

Virkes- tjocklek (mm)	Tjockleks- faktor
d	T
25	0,6
32	0,8
38	1,0
44	1,2
50	1,4
57	1,65
63	1,9
70	2,15
75	2,3

2. Torkningsfaktorn K tar hänsyn till

- lufthastigheten 1) över 1,5 m/s, 2) 0,9-1,5 m/s, 3) under 0,9 m/s. (Lufthastighetens inverkan är större: på vått virke än på halvtorrt, på snabbt torkande virke än på långsamt torkande).
- automatisk eller manuell reglering av torkningsklimat och fläktreversering (noggrann resp mindre noggrann reglering).
- virkets kvalitet före torkningen 1) hög, 2) medel, 3) låg. (Virke med ytsprickor, sneda fibrer, mycket kvistar, yttorrhet måste torkas långsammare).
- krav på torkningskvaliteten 1) hög, 2) normal, 3) låg. (Beroende på virkets användningsområde kan olika krav på kvaliteten ställas. Onödigt långa torkningstider höjer torkningskostnaderna).

Den för olika torkanläggningar lämpliga torkningsfaktorn kan beräknas ur tabell E.

Tabell E. Torkningsfaktor K

		Lufthastighet mer än 1,5 m/s		Lufthastighet 0,9 - 1,5 m/s		Lufthastighet mindre än 0,9 m/s	
Torkningskvalitet	Virkeskvalitet före torkningen	Reglering		Reglering		Reglering	
		Automatisk	Manuell	Automatisk	Manuell	Automatisk	Manuell
Låg	Hög	0,50	0,55	0,60	0,65	0,80	0,85
	Medel	0,55	0,60	0,75	0,80	0,90	0,95
	Låg	0,60	0,65	0,80	0,85	1,00	1,05
Normal	Hög	0,70	0,75	0,90	0,95	1,05	1,10
	Medel	0,80	0,85	1,00	1,05	1,15	1,20
	Låg	0,90	0,95	1,10	1,15	1,25	1,30
Hög	Hög	0,90	0,95	1,10	1,15	1,25	1,30
	Medel	1,00	1,05	1,20	1,25	1,35	1,40
	Låg	1,10	1,15	1,30	1,35	1,45	1,50

Exempel 2: Det i exempel 1, 50 mm tjocka almvirket ska torkas i en snickeritork med manuell reglering och en lufthastighet av 1,2 m/s. Hur stor blir torkningsfaktorn K och ungefär hur lång blir torkningstiden om virket före torkningen är av medelkvalitet och hög torkningskvalitet önskas?

Ur tabell E erhålls torkningsfaktorn $K = 1,25$. Enligt tidigare beräkningar blev bastiden 16,9 dygn. Den ungefärliga torkningstiden blir då

$$1,25 \cdot 16,9 = \underline{\underline{21,1 \text{ dygn}}}$$

Exempel 3: 75x175 mm svensk o/s-furu ska torkas från 60 % till 20 % fuktkvot. Torkanläggningen är modern med hög lufthastighet (2-3 m/s).

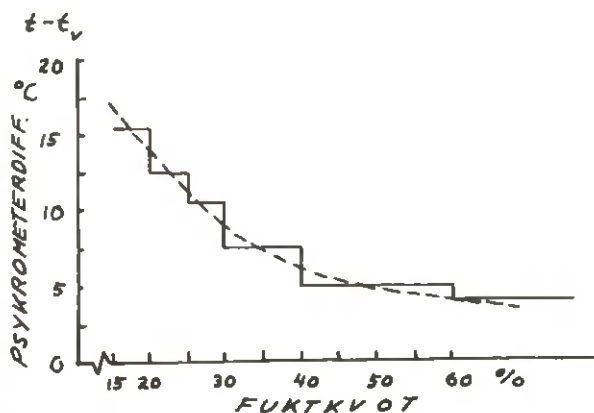
- Hur lång tid tar det att torka virket om
- torkningskvaliteten ska vara hög och virket ljust?
- torkningskvaliteten ska vara låg och virket ljust?

a) Tabell A anger att furu (nr 41) ska torkas efter schema F och enl. anmärkning 2 (sid 472) ökas \mathcal{P} med 5 %.

<u>Start</u>	$t = 50^{\circ}\text{C}$	$t_v = 46^{\circ}\text{C}$	$t - t_v = 4^{\circ}\text{C}$	$\mathcal{P} = 80 \%$	$u = \text{rått}$
	= 50	= 45	= 5	= 75	= 60 %
	= 50	= 42,5	= 7,5	= 65	= 40
	= 55	= 44,5	= 10,5	= 55	= 30
<u>Stopp</u>	= 60	= 47,5	= 12,5	= 50	= 25
	= 70	= 54,5	= 15,5	= 45	= 20
	= 75	= 58,5	= 16,5	= 45	= 15

Som tidigare nämnts är det av största vikt att psykrometerdifferensen hålls, temperaturnivån är inte lika kritisk.

Uppritat i kordinatsystem ser torkningsschemat ut på följande sätt (streckad kurva visar ett ungefärligt medelvärde).



$$b) \text{ Bastid} = C \cdot D \cdot T = 0,3 \cdot 14,6 \cdot 2,3 = 10,1$$

$$\text{Torkningsfaktor } K = 0,9$$

$$\text{Torkningstid} = 0,9 \cdot 10,1 = \underline{\underline{9,1}}$$

$$c) \text{ Bastid} = 10,1$$

$$\text{Torkningsfaktor } K = 0,5$$

$$\text{Torkningstid} = 0,5 \cdot 10,1 = \underline{\underline{5,1 \text{ dygn}}}$$

12.3 Basning

Med basning i virkestorkar menas att man tillsätter ånga eller vatten till den cirkulerande luften. Det är endast i satstorkar och eventuellt i progressiva tvärcirkulations-torkar som basning är lämplig. I längdcirkulationstorkar skulle vid basning allt virke påverkas av basningen, vilket naturligtvis är olämpligt.

När man ska torka brädgårdstorrt virke eller mycket tjocka virkesstycken, kan det vid torkningens början (vid uppvärmningen) vara svårt att få luften i torken tillräckligt fuktig, trots att spjällen är helt stängda. I sådana fall inleds ofta torkningen med några timmars basning. Basning med ånga förkortar också uppvärmningstiden då värmeövergångstalet ånga/trä är större än luft/trä. Vid torkning av nyfällt och nysågat trä, tunnare än 75 mm, är basning onödig, förutsatt att torken är tät och att vatten inte kondenserar på torkhusväggarna.

I delvis fyllda satstorkar kan det vara nödvändigt att tillsätta ånga till torkluften under torkningsprocessen för att en tillräckligt liten psykrometerskillnad ska kunna upprätthållas.

Basningen blir effektivare med ånga än med vatten, eftersom ångan blandar sig bättre med luften. Det är viktigt att man inte använder ånga med för högt tryck (överhettad ånga) då denna kan höja temperaturen i torken. Därvid skulle effekten bli motsatt, dvs den uppvärmda luften tar upp fukt och träet torkar.

Basning med ånga medför en temperaturstegring i torken. Sker basningen för länge eller för nära virke, kan virket bli mörkfärgat. En sådan mörkfärgning kan i en del träslag, bl.a. ek och palisander, ske omedelbart. Vissa träslag mörkfärgas vid basning redan vid en våttemperatur på 35°C, se kap 13.6.

Normalt behöver man inte basa under torkningsförloppet. Men skulle det visa sig att psykrometerskillnaden ökar trots att alla spjäll är stängda (vid t ex luftläckage, feldimensionerat regleringssystem m m) är basning nödvändig.

För vissa lövträsorter rekommenderas dock förbasning av speciella orsaker. Bokvirke blir mörkare och erhåller en (av många ansedd) vacker lyster genom basningen. Bokvirke har nämligen benägenhet att rödfärgas. Detta är ytterst beroende på saven i virket, varför fällning bör ske, då trädet har minst sav. Det bör därefter omedelbart uppsågas samt basas.

Vid björk anses basningen ta bort vissa smakämnen, vars närvaro gör träet mindre lämpligt till husgeråd. Vid snickeritorkning använder man sig ibland av basning för att försöka minska torkningsspänningarna vid yttorrhet, se kap 13.2.

12.4 Konditionering

För att vid snickeritorkning uppnå en jämn slutfuktkvot och få bort eller minska torkningsspänningarna, bör virket torkas ner till en något lägre fuktkvot än vad man slutgiltigt önskar och därefter fuktas upp. Vid konditionering av virket efter torkningen fuktas därför luften i torken så mycket att den motsvarar den slutgiltiga jämviktsfuktkvoten (jfr. kap. 4.1).

Effektivast blir konditioneringen i allmänhet om den våta temperaturen höjs (med hjälp av ångbasning) under det att den torra temperaturen hålls konstant. (Risk för kådflytning och missfärgning är mindre vid låg fuktkvot än vid hög fuktkvot).

Konditioneringstiden varierar mycket beroende på träets beskaffenhet. Vid t ex snickeritorkning av 25 mm tjockt barrträvirke bör konditionering ske under 2 - 6 timmar

medan för 75 - 100 mm tjockt lövträvirke bör konditioneringen ske under upp till 48 timmar.

Vid sågverkstorkning förekommer sällan någon egentlig konditioneringsperiod i samband med torkningen i virkestorken. Virket bör dock i vissa fall lagras i brädgården eller i virkesmagasinet under ca en månad för undvikande av för stor fuktkvotsgradient i virkets tvärsnitt innan det t ex ska klyvas. Virkesytan kan dock hyvlas omedelbart, eftersom ytan normalt är hyvlingstorr vid en medelfuktkvot på 18 - 20 %. Men man får då räkna med en okontrollerbar krympning när virkets fuktkvot utjämnats.

13 FÖRÄNDRINGAR I VIRKET UNDER TORKNINGSPROCESSEN

I samband med torkningen uppstår ofta förändringar som orsakar nedklassning av virket. I detta kapitel behandlas huvudsakligen sådana förändringar och deras orsaker.

De vanligaste torkningsfelen är:

- för hög/låg/ojämn slutfuktkvot
- sprickor
- spänningar
- formfel
- kollaps
- kvisturfall
- kådflytning
- färgfel
- mögel, blånad

13.1 Slutfuktkvot (utgående fuktkvot)

Slutfuktkvoten ska vara så jämn som möjligt: i virkets tvärsnitt, i virkespaketens tvärsnitt och från dag till dag för en och samma dimension. Slutmedelfuktkvoten vid sågverkstorkning ska vara ca 18 % för centrumutbytet och ca 15 %

för bräder vid en standardavvikelse av högst 2 fuktkvotsprocent, se även kap. 4 och 12.9.

Låg slutmedelfuktkvot

Alltför låg slutmedelfuktkvot ger vid sågverkstorkning i längdcirkulationstorkar upphov till skador på virket såsom: risk för ökad yttorrhet och ythårdhet, större formfel, fler och större sprickor, fler kvistfel, undermål på virkestjocklek/bredd, ökade kostnader (värme-, elkraft-, arbets- och kapitalkostnader) samt en tilltagande obalans i lufttillståndet (eftersom $t-t_v$ stiger). Satstorkar och progressiva tvärcirkulationstorkar är så konstruerade att de kan torka virket till vilken önskad slutfuktkvot som helst utan att skada virket.

Hög slutmedelfuktkvot

För hög slutmedelfuktkvot medför mögelrisk i torken, ojämn slutfuktkvot, blånadsrisk i magasin, olämplighet för vidarebearbetning, ev. omtorkning i tork eller brädgård (ökade kostnader och arbete) samt allvarliga reklamationer från kunderna.

Ojämn slutfuktkvot

Ojämn slutfuktkvot beror vanligtvis på att virket har för hög slutmedelfuktkvot, se kap 4.13.1. Har den ojämna slutfuktkvoten orsakats av ojämn temperatur, ojämn lufthastighet eller av ojämn råvara, måste virket torkas till en slutmedelfuktkvot som är lägre än normalt och man får samma besvärligheter som vid för låg slutmedelfuktkvot enl. ovan.

13.2 Torkningssprickor

Torkningssprickor i virke uppstår på grund av att:

- A) krympningen är olika i radiell och tangentiell led (anisotropi)
- B) fuktfördelningen i träet är ojämn (en viss fuktkvotsgradient)

Spänningarna i virket blir olika höga och deformationerna blir olika stora beroende på årsringarnas orientering i virkets tvärsnitt. På grund av anisotropin (enl A) blir spänningarna lägst när årsringarna är raka. Ju mer årsringarna kröker (ju mer slutna årsringarna är) desto högre blir spänningarna, deformationerna och sprickbildningsrisken, fig 119. Se även kap 5.1, 5.2, 5.4 - 5.9.

Under ett torkningsförlopp torkar virkesytan snabbare än de inre delarna av virket dvs en fuktkvotsgradient bildas (enl B). Därvid börjar den yttre veden krympa betydligt tidigare än den inre och dragspänningar uppstår såsom tidigare beskrivits i kap 5.11.

Inverkan av A) och B) varierar starkt. Man vet t ex att fuktkvotsgradienten under torkningsförloppet är större i bräder än i plank. Eftersom torkningssprickor förekommer mer i plank än i bräder, får man anta att årsringarnas orientering i virkets tvärsnitt i detta fall är av avgörande betydelse.

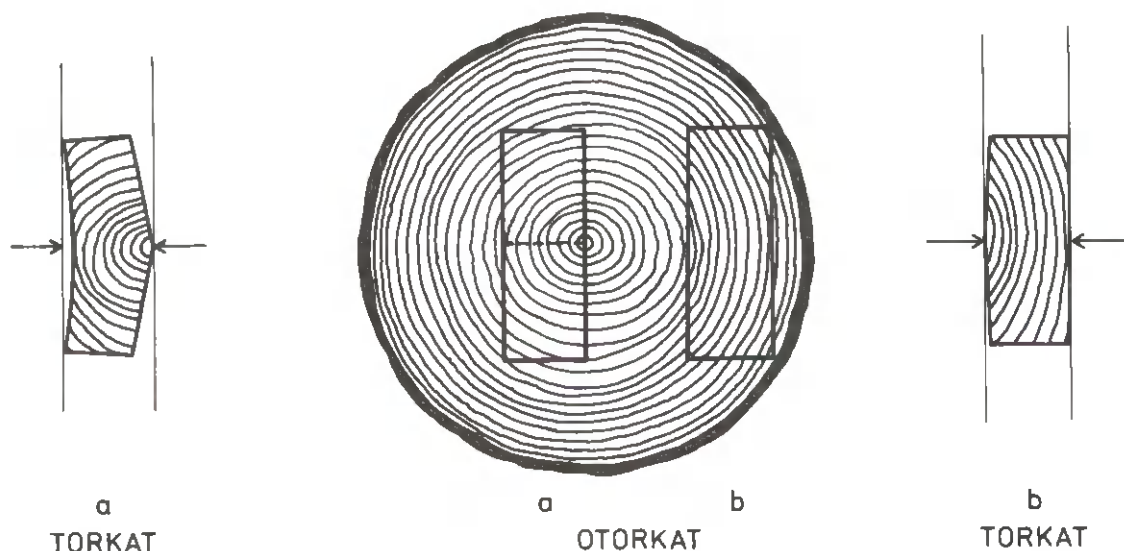


Fig. 119 Postningens inverkan på krympningen. Pilarna representerar virkespaketens belastningsriktning.

Märagsprickor uppstår mycket ofta om mörgen ligger i mitten eller nästan i mitten av en plank (slutna årsringar i virkets tvärsnitt). Dessa sprickor orsakas av anisotropin enligt A). Man undviker märagsprickor genom att klyva timret precis i mörgen, figur 119.

Sammanfattningsvis bör man för undvikande av torkningsspänningar/sprickor ur torkningssynpunkt

- såga planken som sidoutbyte
- såga virket i så klana dimensioner som möjligt
- såga bräderna som centrumutbyte
- orientera mörgen till ett virkeshörn (dvs ett sågsnitt efter den streckade linje i fig 119).

De karakteristiska torkningssprickorna som brukar uppstå på flatsidan mitt emot möragsidan (grovt virke), beror i allmänhet på sprickbildning enligt A) i kombination med B). En spänningskoncentration uppstår på flatsidan mitt emot

märigen. Nivån på spänningskoncentrationen kan minskas i hög grad i tjockt virke om fuktkvotsgradienten hålls låg (långsam torkning). Om gradienten är stor (snabb torkning) kan spänningarna mildras genom att torka med en högre temperaturnivå (kap 5.11, fig 36).

Torkningsprocessen startas alltid med ett visst utgångsklimat och därefter ändras i allmänhet klimatet alltifrån långsamt till snabbt. Klimatet kan t ex snabbt göras torrare i början av torkningsförloppet, för att i mitten av förloppet endast långsamt göras torrare (eller t o m långsamt/snabbt fuktas upp). Olika hastigheter på och riktningar av klimatändringen, ger för ett och samma virkesstycke, både olika fuktkvotsgradientnivåer och fuktkvotsgradienter med olika utbredningar (olika kurvformer på gradienten om denna t ex ritas som i figur 33, kap 5.8).

Eftersom torkningsspänningarna/sprickbildningsrisken bl a beror på fuktkvotsgradienten, kan man av ovan sagda och ur sprickbildningssynpunkt, få mer eller mindre väl utformade torkningsscheman. Vid en jämförelse av fuktkvotsgradienten i en planka torkad med ett vanligt torkningsschema (1) för längdcirkulationstorkar med ett vanligt torkningsschema (2) för satstorkar, finner man att schema (1) ger en flackare gradientkurva än schema (2) vid en och samma medelfuktkvot. Under torkningsförloppet innebär detta att vid schema (1) blir torkningsspänningarna något lägre än vid schema (2). Endast i mycket små satstorkar kan schema (1) efterliknas.

Uppkomsten av sprickor enbart enligt A) visas enklast med ett exempel.

Exempel: En tunn trissa ur en furutimmerstock med densiteten $\rho = 430 \text{ kg/m}^3$ och med diametern 100 mm torkas långsamt från fuktkvoten $u_{in} = 40 \%$ till fuktkvoten $u_{ut} = 0 \%$. Fuktkvoten ändras lika mycket över hela tvärsnittet (huvudsakliga torkningen sker längs med fibrerna).

- 1) Hur stor blir omkretsens krympning räknat efter enbart radiell krympning?
- 2) Hur stor blir omkretskrympningen om man räknar efter enbart tangentiell krympning?
- 3) Hur stor blir ungefär den uppkomna sprickan?

Lösning:

- 1) Furuträets krympning är 4 % i radiell riktning (ned till 0 %) enl. kapitel 5.2, tabell 10.

Omkretsen före krympning: $\pi \cdot d = 3,14 \cdot 100 = 314 \text{ mm}$

Diametern efter krympning: $100 - \frac{4 \cdot 100}{100} = 100 - 4 = 96 \text{ mm}$

Omkretsen efter krympning: $\pi \cdot d = 3,14 \cdot 96 = 301 \text{ mm}$

Omkretskrympningen baserad på den radiella krympningen blir därvid $314 - 301 = 13 \text{ mm}$.
=====

- 2) Furuträets krympning är 7,7 % i tangentiell riktning. Omkretsen före krympningen är 314 mm enl. 1).

Krympningen längs yttersta årsringen (dvs i den tangentiella riktningen):

$$314 - \frac{7,7 \cdot 314}{100} = 290 \text{ mm (vilket motsvarar } d = 92 \text{ cm)}$$

Omkretskrympningen baserad på den tangentiella krympningen blir därvid $314 - 290 = 24 \text{ mm}$.
=====

- 3) Den tangentiella krympningen är större (24 mm) än den radiella (13 mm). Om inte årsringarna töjer sig kommer dessa att spricka upp. Vidden på en sådan spricka blir då ca $24 - 13 = 11 \text{ mm}$.
=====

Anm: 1) Träet har en viss elasticitet som ökar med ökande temperatur och fuktkvot. Har årsringarna töjt sig och erhållit en kvarvarande töjning, blir naturligtvis sprickvidden i exemplet mindre än 11 mm.

2) Torkning med minimal sprickbildning av trätrissor (lägsta möjliga densitet) kan göras i en ugn. Trissorna lindas mycket noggrant och lätt in i flera lager aluminiumfolie. När ugnen uppvärmts till 100°C, sätts ett kärl med ca 100-gradigt vatten in tillsammans med de paketerade trissorna. Vattenmängden i kärlet bör avpassas så, att det har dunstat bort efter ca 1 dygn. Torkningen får pågå under 5-12 dygn beroende på tätheten av ugn och aluminiumförpackningen (se även kap 9.6.6).

Lagringens inverkan

Det är av största vikt att det avverkade timret sågas och sätts in i torken eller vattenbegjuts så fort som möjligt för undvikande av sprickbildning enligt A) och B) under lagringen. Speciellt processoravverkat timmer, som vanligtvis har mycket stora barkskador, måste förhindras att börja torka i mantelytan. Har redan sprickor uppkommit på timret, går dessa delvis eller helt igen vid vattenbegjutningen. I virkestorken kommer dock dessa sprickor att öppnas eller fördjupas.

Vid landlagring av timmerstockar uppstår mycket lätt upp till 15 cm djupa ändsprickor beroende på krympning enligt A). Om en längdcirkulationstork har dålig flapstätning eller om torkningen i en satstork forceras, uppstår lätt ändsprickor. Men under normala förhållanden i torken uppstår ändsprickor i ringa omfattning. De ändsprickor som man normalt brukar se har till stor del uppstått redan före torkhustorkningen.

Yttorrhet, ythårdhet

Vid torkningen får ytveden mindre fuktkvot än de inre delarna, och sedan ytveden uppnått fibermättnadspunkten börjar virket krympa. Därvid uppkommer dragspänningar i ytveden på grund av den av de inre delarna förhindrade krympningen. Virke av denna typ med s k yttorrhet uppför sig enligt figur 120 A. Blir torkningen ännu hastigare kan spänningarna utlösa sprickor i ytveden, men det kan även hända att ytveden erhåller en viss uttänjning och så att säga "stelnar" med denna.

Normalt
tillstånd
i slutet
av tork-
ningen

Ythårdhet
har upp-
stått.
Hård tork-
ning

Ythårt virke
som basats
under lång
tid och där-
efter åter-
torkats

Ythårt virke
som basats
under kort
tid och där-
efter åter-
torkats

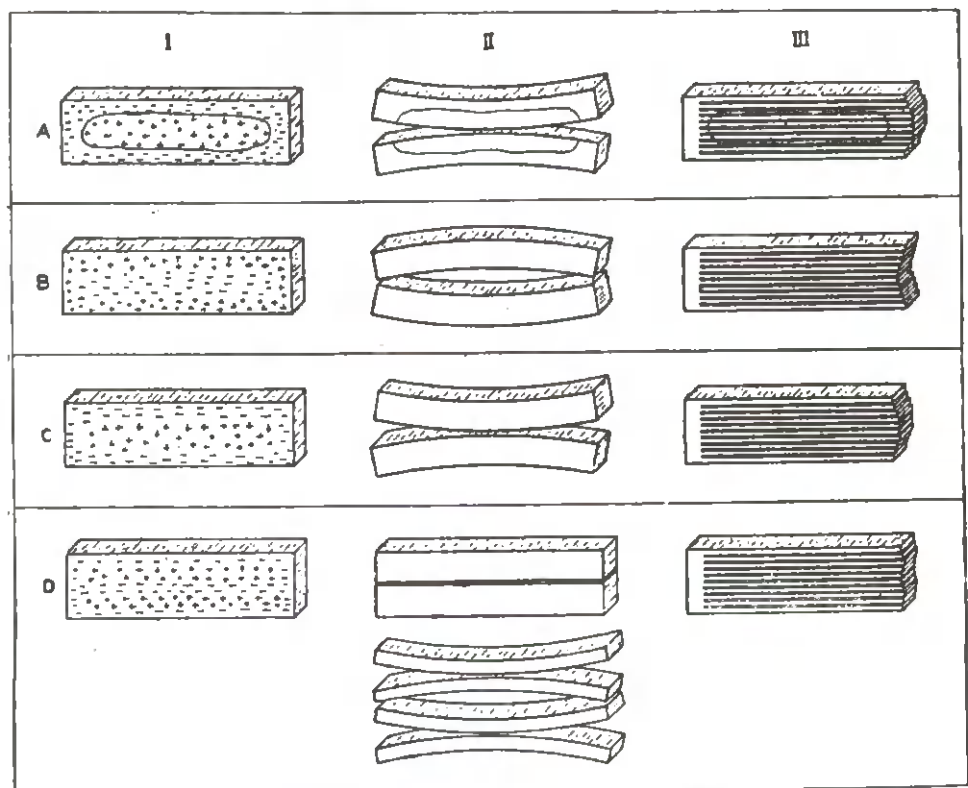


Fig. 120 Olika tillstånd hos sektioner, som uttagits ur torkat virke. (Dragspänningar = minustecken, Tryckspänningar = plustecken), Bertil Thunell, 1952

Kolumn I visar trästycket och de däri uppträdande spänningarna, varvid - betecknar dragspänning och + tryckspänning. Vid uppsågning i delar enligt kolumn II deformeras delarna, och vid uppsågning enligt kolumn III, i s k kamform, sker även en deformation, vars art beror på spänningstillståndet, se även kap 5.11.

Då har ythårdhet uppstått och virket uppträder enligt figur 120 B. (Virkescentrat vill krympa men förhindras av ytskiktet.) Ythårdheten kan vara mer eller mindre kraftig (djup) dvs ett tunt eller tjockt ytskikt med tryckspänningar i virket.

Vid kraftig ythårdhet uppstår inre sprickor. Ythårdheten kan i viss mån hävas genom basning, se fig 120, C och D.

Detta fordrar dock stor skicklighet, eftersom basningstiden är beroende av ythårdhetens djup och därför förekommer sådan basning numera mycket sällan (jfr kap. 12.3).

Uppfuktas normalt snickeritorkat virke vid torkningens slut t ex vid konditioneringen erhålls även tillståndet enligt 120 B.

Trästyckena i kolumn II kan även utgöras av s k gaffelprov. Dessa utsågas på samma sätt som trästyckena i kolumn III men med den skillnaden att lamellerna görs tjockare (ca 1 cm) och att varannan lamell borttages.

Som tidigare nämnts går sprickor i viss mån ihop efter sågverkstorkningen (under avsvälningen, konditioneringen eller efterföljande lagring) då centrumfukten i virket går ut mot ytan. Snickeritorkas detta virke, öppnar dessa sprickor sig naturligtvis igen. Lagras sprucket virke utomhus några veckor innan det justeras och kvalitetssorteras, hinner en hel del sprickor tillfälligtvis gå ihop. Detta beror på

att uteluften fuktar upp virkesytan (speciellt fuktiga årstider med dagg). Har dessutom en viss ythårdhet uppstått går sprickorna tillfälligtvis ihop ännu mer.

Vid sortering av virke finner man att virke med hög densitet och virke med ett litet antal kvistar (o/s kvalitet) har lättare för att spricka. Man har emellertid inte funnit något samband mellan nedklassning och utgående medelfuktkvot för ett och samma virkespaket, dvs det torrare virket i ett virkesparti har inte mer sprickor än det fuktigare virket.

Om man i möjligaste mån enbart vill undvika torkningssprickor, måste detta ske på bekostnad av ökad torkningstid dvs på ökad energiförbrukning och minskad torkningskapacitet. Sprickbildningsrisken minskar då först påtagligt om torkningstiden ökas 3-4 gånger den normala (torkning med mycket mildt klimat).

13.3 Formfel

I de fall då sprickor inte uppkommer, leder de inre spänningarna till en deformation av virket. Denna deformation kan därvid ta form av skevhet, kantböjdhet, flatböjdhet eller kupning.

I snedfibrigt och växtvridet trä, vid kvistar och topp, i tjur, vattved och annars ojämnt växt trä, orsakar krympning och torkspänningar åtskilliga mått- och formfel. Så krymper t ex inte kvistar och kvistomgivning, tjur och vattved på samma sätt som annat trä. Snedfibrighet, växtvridenhet, tjur, kvist- och toppstörningar etc. orsakar böjningar och skevhet på grund av variationer i krympning i längdriktningen. Om t ex en sida av trästycket har betydligt mer höstved eller tjur än den andra, böjer sig träet åt höst/tjurvedssidan (höstved och tjur krymper mer i längdriktningen än annat virke).

Formfel har till större delen sitt ursprung i träets egna egenskaper och felaktigheter men också torkspänningarna kan påverka dem ganska betydligt. Dålig ströläggning kan även orsaka omfattande skador. Det går dock inte att helt undvika alla formfel men man måste minska deras omfattning och undvika alla onödiga fel. Detta sker genom att slutfuktkvoten noggrant hålls inom angivna gränser, torkspänningar undviks i möjligaste mån och ströläggningen utförs förstklassigt.

Kollaps (cellsammantryckning) uppträder huvudsakligen hos lövträ såsom ek, poppel, kastanje, bok, alm och speciellt australiska eucalyptusarter. Kollapsrisken kan minskas om virket torkas vid så låg temperatur som möjligt så länge fuktkvoten är mer än 25 %. Kollaps inträder i allmänhet vid fuktkvoter över fibermättnadsgränsen.

13.4 Kvistars förändring under torkning

Friska kvistar

Kvistveden skiljer sig mycket från stamveden. Det är mörkare, tyngre och sprödare, har smalare årsringar och mera höstved och harts samt innehåller tjur. Krympningen är ganska stor även i fiberriktningen. Kvistens krympning i fiberriktningen är dock i regel mindre än träets radiella krympning, varför större kvistar ofta buktar ut något från ytan av torrt virke. Orsaken till kvistsprickor beror på anisotropin i längs/radiell riktning eller längs/tangentiell riktning som finns i kvistveden. Anisotropin är dock mycket lägre i kvistveden än i stamveden om man enbart räknar med tangentiell/radiell led. Uppmätta krympningsvärden för gran- och furukvistar visas nedan (%) för torkning från rått till nästan helt torrt tillstånd.

	FURU		GRAN	
	tryckveden	dragveden	tryckveden	dragveden
β_{tang}	2,9	3,3	3,7	8,8
β_{rad}	2,3	2,8	3,6	7,8
$\beta_{\text{längd}}$	4,6	1,7	6,1	0,5

Tryckveden utgörs av den ved som vanligtvis ligger på kvistvedens undersida.

Torra kvistar

Särskilt i bräder sitter de torra kvistarna ofta fast med enbart kåda. Smälter denna lossnar eller kryper kvistarna lätt. Dessa s k kvisturkok beror på faktorer som skildras nedan i avsnittet om kåda. De torra kvistarna, som sitter ordentligt fast, kommer ofta efter torkningen att sticka ut från träytan ända upp till 1 à 2 mm. Grundorsaken är givetvis som ovan att kvistens krympning i längdriktningen har varit mindre än stamvedens radiella krympning. Om kådan smälter eller om man torkar träet till onödig låg slutfukt blir felen större.

13.5 Kådflytning

Kåda

Kådans smältning kan särskilt hos furuvirke orsaka kvalitetsförsämring. Att kådan rinner ur de öppna kådlåporna har ringa betydelse, men när detta händer kring de torra kvistarna följer lätt s k kvisturkok enl. ovan. Smältande kåda kan också mörkfärnga de friska kvistarna. Smältpunkten för kådan är hos gran omkring 35° och furu omkring 38° . Smältpunkten höjs med minskad mängd flyktiga ämnen i kådan. Vid torkningen är det t_v som närmast motsvarar virkets temperatur och alltså bestämmer kådans smältning.

Ju färskare träet är och ju längre torkningstiden i den våta zonen är, desto lättare flyter kådan ut.

I både vattenlagrat och landlagrat virke har kådan en mindre benägenhet att flyta ut. Detta beror på att halten flyktiga ämnen i kådan har minskat. Intensivare eruptiv kådflytning uppstår först vid temperaturer över ca 50°C , då avgången av terpenener blir tillräckligt stor för att förorsaka utpressning av kåda.

Färsk kåda påverkas av vatten så att kådan kristalliseras till en mjölkgrå färg.

Ju högre torkningstemperaturen är desto mörkbrunare blir kådan (oxidation).

För att helt undvika att kådan flyter ut måste man använda ganska låga temperaturer, t_v under 30° . Vid normala t_v -värden (= $33 - 38^{\circ}$) kan det bara förekomma några sporadiska fel om torkningstiden inte är onödigt lång. Om t_v ytterligare höjs, ökar emellertid förekomsten av kådflytning och kvisturkok alltmer.

13.6 Färgfel

Vid de temperaturer, som används i våra sågverkstorkar, förekommer det mer sällan några allvarligare missfärgningar. Gulfärgning och utfällning av kåda har ingen väsentlig betydelse för kvaliteten numera. Däremot kan barkfärg orsaka nedklassning. Ligger obarkad gran och furu länge i vatten tränger färg- och garvämmen från barken ganska djupt in i träet. Färgen syns redan i nysågat virke men blir starkare när virket torkar.

Ju längre vattenlagringen eller bevattningen varat, desto starkare blir färgningen. Gammalt sjunktimmer får t ex

ofta en mycket brokig färgning allt från mörkbrunt - brunrosa - gråbrunt till gulbrunt - gult.

Den s k gulytan uppträder endast på ytveden. Gulytan beror på ett i veden befintligt vattenlösligt färgämne, som vid torkningen vandrar med växtsaften mot virkets yta. Då växtsaften sedan avdunstar, blir färgämnet sedan kvar på ytan, som därigenom gulfärgas. Man har konstaterat att gulfärgningen blir kraftigare då timret har vattenlagrats/bevattnats en tid. Gulfärgning brukar inte inträffa där ströna ligger mot virket under torkningen.

En längre tids vattenlagrat timmer får efter uppsågningen/torkhustorkningen en gråaktig färgton i jämförelse med färskt virke.

Sågspån, rost eller smuts i droppvatten (kondensationsvatten) på virket förfular dess utseende. Det är därför nödvändigt att blåsa bort sågspån samt rostskyddslackera alla järndelar i torken.

Vid snickeritorkning används ofta höga torkningstemperaturer, men eftersom missfärgning lättast uppstår vid hög temperatur i samband med hög luftfuktighet eller fuktkvot, bör torkningen ske med låg temperatur i början av torkningen. Basning i början av torkningen kan därför lätt förorsaka missfärgning om ångan är för het.

Allt för snabb torkning av ekträets ytskikt ger missfärgning i form av mörka partier på en i övrigt ljus yta, om virkets inre fortfarande ligger över fibermättnadspunkten. För att förebygga denna missfärgning använder man långsammare torkning, så länge virkets inre befinner sig över fibermättnadspunkten.

Blåyta är en missfärgning orsakad av blånadssvampar, se vidare kap 13.7.

I tabell 16 har en översikt gjorts av färgförändringar och åtgärder vid torkning från rått trä till 20 % fuktkvot.

Tabell 16 Färgförändringar vid torkning av olika träslag
(Chr Boye og CL Baumbach)

Träslag	Färgändring	Förslag till åtgärd, t_v ej över
Bok, En	det ljusa träet blir rödbrunt	30 - 35°C
Björk	det ljusa träet blir grått	30 - 35°C
Al	träet blir brunt	30 - 25°C
Valnöt	träet blir mörkbrunt	40°C
Palisander	gråfärgning i ytan	30 - 35°C
Ek	mörkfärgning i ytan	ca 40°C
Barrträ	mörkfärgning	40 - 45°C

Om bokträet är mycket ljust från början och man vill bevara denna ljushet, får träet inte utsättas för en högre temperatur än 20°C tills fuktkvoten nått 25 %.

13.7 Mögel och blånad

Av svampar framkallade missfärgningar i form av vita, gråbruna, blågrå, grönaktiga eller nästan svarta fläckar på sågat virke eller stockar kallas blånad. Blånadssvamparna är kända i ca 100 arter. Till blånadssvamparna brukar man också räkna en del mögelsvampar. Biologiskt skiljer sig mögelsvamparna knappast från de äkta blånadssvamparna. Mögelsvamparna uppträder mer på virkesytan medan blånadssvamparna utbreder sig även på djupet.

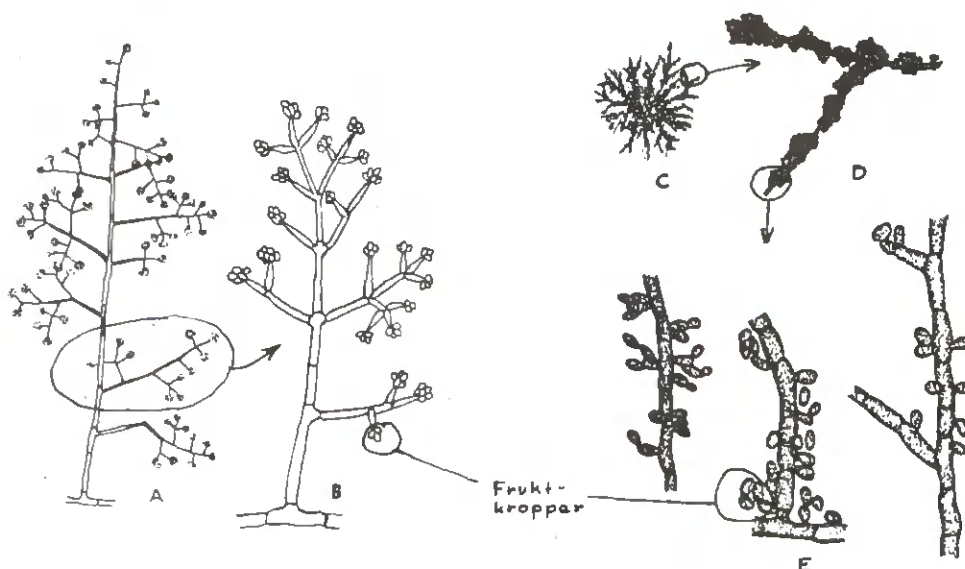
Skillnaden mellan blånadssvamp och rötsvamp är att röt-svampar angriper cellväggarna, vilket inte blånadssvampen gör i någon väsentlig omfattning.

Man kan i praktiken skilja på följande kategorier av blånad:

- | | | |
|---------------------------|---|--------------|
| 1) Skogsblånad | } | Stockblånad |
| 2) Transportblånad | | |
| 3) Brädgårdsblånad | | |
| 4) Torkhusblånad | } | Virkesblånad |
| 5) Skeppningsblånad | | |
| 6) Dold eller inre blånad | | |

13.7.1 Svamparnas uppbyggnad

Svamparnas uppbyggnad skiljer sig från art till art. De ca 100 arterna har mycket skiftande utseende. Ett exempel på den vanligaste (trä-) mögelsvampen och en relativt vanlig blånadssvamp visas i figur 121.



Trichoderma lignorum
(grönmögelsvamp)

Pullularia pullulans
(blånadssvamp)

Fig. 121 Sporbildande organ hos *Trichoderma* (A-B) och *Pullularia* (C-E) [H L Barnett, 1960]

Svamparnas celltrådar (svamptrådar, hyfer, mycel) är endast någon tusendels millimeter tjocka och växer därför lätt in i träcellerna och genom dess ringporer. Ringporerna blir då mer genomsläppliga för vatten och träets vattenupptagande förmåga (hygroskopicitet) ökar. Efter någon timme eller upp till några dagars mogningstid (beroende på klimat, näringsämnen m m bildas av celltrådarna svarta ofta kul- eller flaskformiga fruktkroppar, som är fyllda med sporer dvs frön till nya svampar. Sedan de mycket små sporererna frigjort sig från fruktkropparna, sprids de med hjälp av vatten, luft eller insekter. Om sporererna hamnar på ett ämne, som innehåller näring och temperaturen och fuktigheten är lämplig, växer sporererna ut till celltrådar. Celltrådarna är till en början färglösa, men efter någon tid antar de en för svamparten karakteristisk färg: gråbruna, gråblå osv.

13.7.2 Svamparnas livsbetingelser

Svamparna förekommer praktiskt taget endast på splintved. Kärnveden har inte tillräckligt med vatten och saknar de för svamparna nödvändiga näringsämnena och har dessutom hos vissa träslag små mängder av giftiga skyddsämnen. Syretillgången i träet, träets vattenhalt, luftens temperatur och relativa fuktighet är avgörande faktorer för svamparnas liv. Syretillgången påverkas av vattenhalten (ju högre vattenhalt, desto mindre syrehalt). Vattenhalten som sådan har betydelse för svamparnas tillväxt. Den för tillväxten mest gynnsamma fuktkvoten i trä är 30 - 70 %. Vid artificiell torkning får träytan mycket snabbt en fuktkvot lägre än fibermättnadsfuktkvoten (jmf u_{m1} i kap. 12.2.3 och figur 33 kap. 5.8) och risk för mögel eller blånad är mycket liten. Men finns det gott om celltrådar eller en hög koncentration av sporer på virket ("infekterat" virke) uppstår mycket lätt mögel.

Under fibermättnadsfuktkvoten, då allt fritt vatten bortgått ur cellerna, kan svampar endast med svårighet uppstå.

En fuktkvot som ligger under ca 20 % omöjliggör svamparnas utveckling. Vid en fuktkvot av ca 95 % och däröver upphör de flesta blånadssvampars tillväxt.

Svamparnas tillväxt avbryts när träet helt sänks ned under vatten. Ligger träet delvis i eller över vatten är svamparnas tillväxtbetingelser mycket stora.

Den relativa luftfuktighet som omger mycelet måste för svampens vidare utveckling vara 90 - 95 %. Ett fuktmättat trästycke har under torkning normalt en mycket hög luftfuktighet intill träytan. Påblåses virkesytan av torkluft med en tillräckligt hög lufthastighet, sjunker ytluftfuktigheten och betingelserna för svamputveckling minskar.

Både för hög och för låg temperatur sätter ned svamparnas biologiska verksamhet.

I figur 122 visas längdtillväxt på några av de 100 blånadssvamparter som är kända. Svamparna har här odlats på ett näringsämne (maltager) vid olika temperaturer. Vissa svampar tål höga temperaturer, upp till 60°C. Svamparna återvinner emellertid full funktion så snart temperaturen sänks. Om temperaturen i virket är över 60°C under flera dygn, dör i regel svamparna. Sterilisering fordrar dock ca 110°C. Den lägsta temperaturen för tillväxt är ca -3°C. Man bör här komma ihåg att virkestemperaturen vid uppvärmningen och i början av den artificiella torkningen är ungefär lika med den våta temperaturen (normalt 30-40°C).

Klimatet och fuktkvoten vid sågverkstorkning är således mycket gynnsamt för svamputveckling.

För att undvika att träet blir infekterat måste man redan direkt efter avverkningen utföra förebyggande åtgärder av samma slag som för undvikande av stockblånad.

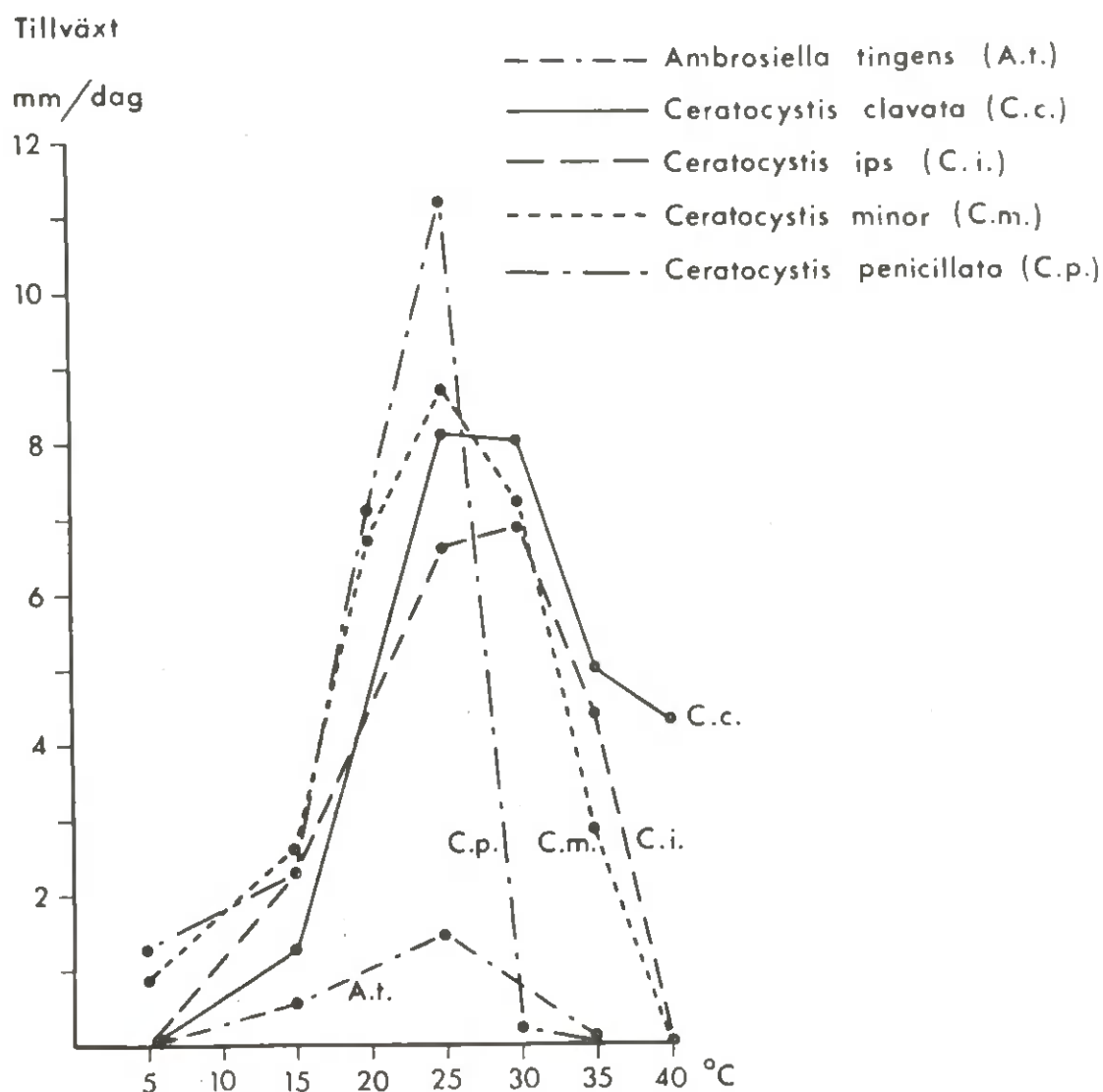


Fig. 122 Längdtillväxt på maltager vid olika temperaturer (B Henningsson och H Lundström, Skogshögskolan)

Några på senare år mycket vanliga mögelsvampar är de termotoleranta ($t_v = 40-45^\circ\text{C}$) Rhizopus arrhizus, Aspergillus fumigatus, Paecilomy variotii och i viss mån Penicillium sp. Rhizopusa har sporbildande organ (fruktkroppar) som innehåller en oerhört stor mängd sporer. Svamparna förekommer mer på furu (splinten) än på gran (splinten). Det har visat sig att det i en virkestork kan finnas svampar av

ovanstående typ utan att virket angrips. Orsaken är dock inte känd. Svamparna kan snabbt blomma upp, om för svamparna gynnsamma betingelser uppstår. Forskning inom området pågår (1977).

13.7.3 Svamparnas inverkan på träets egenskaper

Träets hållfasthet blir inte nämnvärt nedsatt genom blånadsangrepp. Svamparna angriper ju endast cellinnehållets näringsämnen och inte själva cellväggen. Blånad är ett allvarligare skönhetsfel hos virke än de missfärgningar (vanligtvis i ytskiktet) som under torkningsprocessen kan uppstå t ex av kondensationsvatten, kådflytning osv. All ytlig missfärgning - blånad, mögel m m - kan avhjälpas genom hyvling, men en blånad av mera djupgående natur kan endast i mindre utsträckning tas bort genom att använda blekningsmedel. Träindustrin begränsar användningen av sådant virke på grund av svårigheter ifråga om ytbehandlingen. Den värdeförlust som förorsakas av denna skadegörelse kan uppgå till 14 - 50 % av virkets normalpris.

Ytterligare en olägenhet med blånat virke är att det torkar långsammare än felfritt.

Den grönmögel som ibland brukar uppstå i torkar går vanligtvis att ta bort med borstning. Risken är dock stor att mögelbildningen fortsätter om virket utsätts för väta.

För konstruktionsvirke och övrigt virke inom byggnadsfacket medför blånad inga olägenheter, såvida virket är tillräckligt torrt och skyddat mot förnyad befuktning. Undersökningar har visat att blånad inte ökar virkets mottaglighet för röta. En mildare bedömning inom byggnadsbranschen torde därför i vissa fall vara påkallad för blånadsvirket.

Blånad är en mycket utbredd förekomst. Den förekommer särskilt ofta på furu (splintved), något mindre på gran och vissa lövträd, t ex bok. Undersökningar har påvisat riktigheten i uppfattningen att gran är mindre mottaglig för blånad än furu. Felaktigt är dock att påstå att gran över huvudtaget inte angrips av blånad.

13.7.4 Stockblånad

Risk för stockblånad uppstår:

- vid lagring i skogen
- när trädet dött på rot
- vid barkavslag på timret (spec. vid processoravverkning)
- under transport till sågverket
- vid otillräcklig vattenbesprutning
- vid sågverkets landlagring
- vid felaktig vattenlagring (jfr timmervältor)

(Se även kap 8.1).

Stockblånaden bildas antingen genom direkt överföring av sporer via insekter eller sporöverföring via luften. Sågade ändytter, sprickor, avhuggna kvistställen, barkavslag och andra sår i barkmanteln utgör ingångsportar för sporer. Processoravverkat virke har vanligtvis mycket stora skador i barkmanteln (barkavslag, dubbhål) och infekteras därför mycket lätt. Till en början är blånadsangreppen ytliga, men redan efter ca 3 veckor går blånaden på djupet. Blånaden i stockändarna är ofta gömd bakom ett torrare ytskikt och syns först vid uppsågningen.

Bekämpning

Som allmän regel ska stockarna förvaras så blött som möjligt dvs det gäller att genom hög vattenhalt i träet (=syrebrist) skapa ogynnsamma utvecklingsbetingelser för

svamparna. Hos grövre rundvirke ger en oskadad mantelyta av bark ett naturligt och bra skydd mot snabb torkning och sprickbildning. Barkens skyddande roll är emellertid begränsad, varför tiden mellan avverkning och sågning bör vara den kortast möjliga. För den "våta" metoden har vintern visat sig vara den lämpliga avverkningstiden.

Ifråga om mycket klen timmer och massaved bör man tillämpa motsatt princip, dvs söka åstadkomma en snabb torkning, så att vattentillgången blir för liten för svamparnas utveckling. Detta sker genom helbarkning och lagring på underlag med möjlighet till fri lufttillförsel.

Barkat timmer bör absolut inte landlagras någon längre tid eller vattenlagras i vältor om temperaturen överstiger 0°C. Så fort som sprickor bildas i stockarna ökar risken i mycket hög grad för infektion och blånad. Vid större sågverk måste ofta uppsågning av tekniska skäl uppskjutas. Timret bör då placeras i vatten eller också vattenbesprutas, kap 8.1.

Vattenlagringen måste ske i så rent och rörligt vatten som möjligt. Ligger timret i mindre dammar med stillastående vatten, infekteras timret i den delen som ligger över vattenytan.

Timmer som ligger under vattenytan i smutsigt vatten angrips av bakterier som förändrar träets hygroskopiska egenskaper.

Sjunktimmer, som ofta tas upp efter mycket lång lagringstid, blir för t infekterat och risk för blånads- och mögelutveckling är mycket stor. På sådant virke uppstår lätt torkhusblånad.

Under lagringen torkar det vinteravverkade timret sakta utan stora sprickor, men det sommaravverkade torkar hastigt

och ytligt, så att sprickor lätt uppstår, genom vilka svampangreppet kan tränga in på djupet. Den farligaste tiden är röt månaden, och då är det virke som huggits eller på annat sätt bearbetats på vintern redan delvis torrt, under det att virke som huggits, sågats etc på sommaren just då har en för svampen gynnsam fuktkvot. Sommaravverkning bör därför ur torkningssynpunkt inte tillgripas annat än som en nödfallsutväg. I södra Sverige bör avverkningen inte börja förrän i november - december, i norr kan den igångsättas tidigare då temperaturen sjunkit tillräckligt.

13.7.5 Brädgårdsblånad

Torkning i brädgård medför ofta stora risker och under o-gynnsamma förhållanden uppkommer missfärgningar på virket, s.k. brädgårdsblånad. Den vanligaste formen är ytblånad, varvid svamparna bildar mörka prickar eller fläckar på virkets yta. I ett mera utvecklat stadium uppträder ytlig blånad i form av strimmor som kan utbreda sig över splintvedens hela yta. Ytblånaden kan även utbreda sig till de inre skikten av sågat virke, vilket sker genom att svamparnas celltrådar tränger ned längs märkestrålarna. Denna blånadsform får ofta ett strålformigt eller strimmigt utseende. Den blånad som uppkommer i samband med ströläggning av sågat virke kallas ströblånad, se kap 13.7.6.

Ströblånaden drabbar kontaktytorna, medan de fria ytorna förblir oskadade.

Om stapling emellertid företas av virke, som har en för hög fuktkvot för svamparnas utveckling kan detta skyddande tillstånd i en del fall bibehållas i kontaktytorna mellan strö och sågvirke (på grund av hindrad avdunstning), medan blånad i stället uppkommer på de fria ytorna, som torkat ut något.

Bekämpning

Brädgårdsblånad ska bekämpas med måttet "torrt virke for-
tast möjligt". Detta innebär att svamparnas utveckling ska motverkas genom den vattenbrist som framkallas vid snabb lufttorkning under årets gynnsamma torkningstid (från våren fram till juli), då hög temperatur och låg luftfuktighet råder eller genom forserad brädgårdstorkning, se kap 9.8.

En på rätt sätt anlagd brädgård är en grundförutsättning för positivt resultat. Val av lagringsplats och skada/åtgärd vid brädgårdstorkning har behandlats i kap. 9.7.1.

13.7.6 Torkhusblånad (Torkhusmögel)

Torkhusblånad uppträder på virket medan det ligger i torken och förorsakas huvudsakligen av mögelsvampar. En mycket vanlig mögelsvamp (förutom de som nämnts i kap 13.7.2) är den som bär det latinska namnet *Trichoderma lignorum* (figur 121), och som framkallar s k mögelblånad. I motsats till de "äkta" blånadssvamparna, vilkas celltrådar i utvecklade stadium är mörkfärgade, är mögelsvamparnas celltrådar alltid färglösa. Missfärgningen framkallas av de grönfärgade förökningskropparna som bildas på träets yta. Innan dessa är helt utvecklade kan man knappast upptäcka att virket är angripet av mögelsvampar. Det kan sålunda inträffa att de osynliga celltrådarna finns i virket redan före torkningen. Biologiskt skiljer sig mögelsvamparna knappast från de "äkta" blånadssvamparna förutom att fuktighetsminimum för deras existens ligger något lägre.

Torkhusblånaden uppträder lättast vid låg lufthastighet och långsamt torkningsförlopp. Medan luftfuktigheten ännu är tillräckligt hög hinner svamparna utveckla sig, om det samtidigt råder gynnsamma temperatur- och fuktighetsförhållanden i virket. Genom osakkunnig hantering av virket kan torkhusblånad uppträda både före och efter artificiell

torkning. Om virket är infekterat kan blånad infinna sig inom 1 à 2 dagar i virke som staplats på vagnar utanför torkhuset i väntan på torkning. Stor risk för blånad föreligger om torkat virke klossläggs i varmt tillstånd och avkyls av ytterluften. Vattenångan kondenseras härvid i den kalla omgivningen och luftfuktigheten stannar kvar mellan virket, vilket bidrar till god "jordmån" för sporer från tidigare infektioner.

I torken kan man ofta redan på ett tidigt stadium ana mögelbildning. Man känner då en karakteristisk sur lukt (samma som för sjunktimmer).

Mögelutvecklingen i torken börjar vanligtvis på virkets "läsida" och, om virkespaketen är jämndragna, på paketets mitt, figur 123. Detta senare beror på att luften som passerar genom paketet får en högre fuktighet där virkesmängden är som störst.

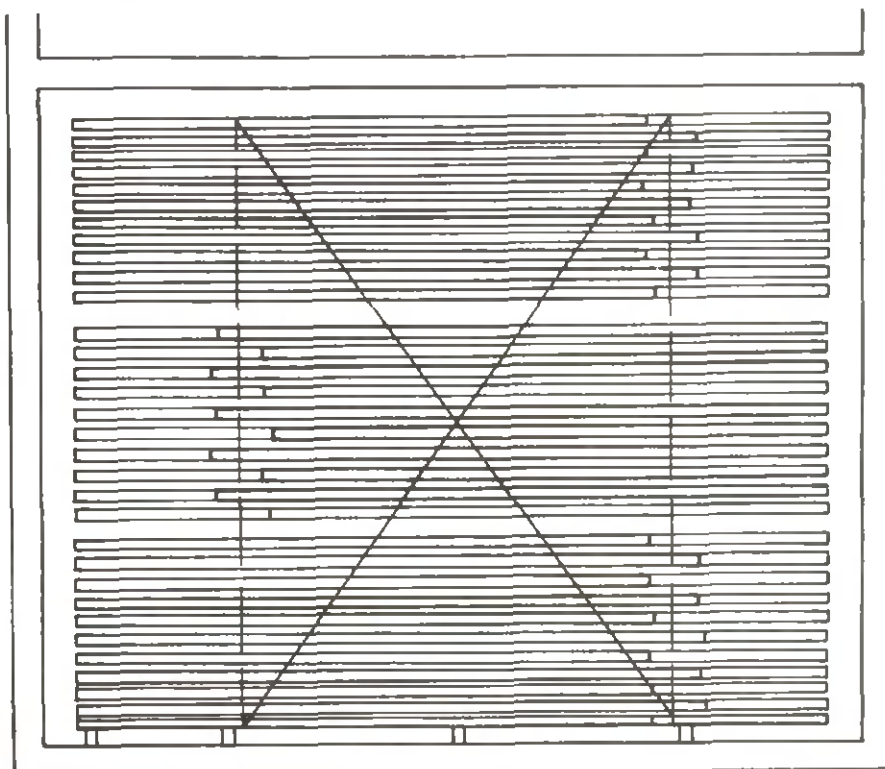


Fig. 123 Område på en virkesstapel där mögelrisken är som störst (överkryssat område)

Ströblånad förekommer även som torkhusblånad.

I vissa fall har ströna varit så infekterade (sporer och fruktkroppar) att de via kondensvatten (t ex det sist insatta paketet i en längdcirkulationstork) färgat virket blått runt omkring ströna, figur 124. Denna missfärgning är således ingen "växande" svamp, men risken är stor att den kan börja växa vid uppfuktning.

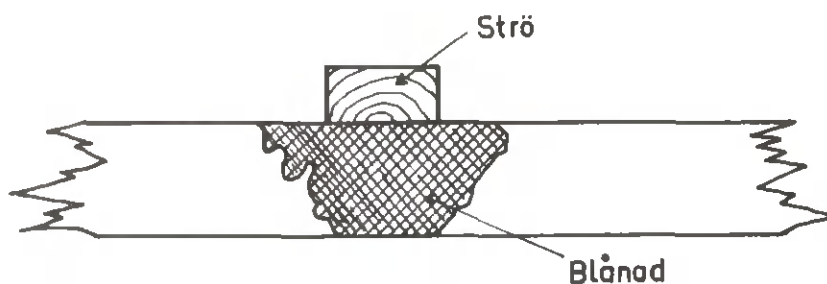


Fig. 124 Missfärgning orsakad av infekterade strön.

Mögelbildningsrisken är störst i första skedet av torkningen då virkesytan håller en lagom fuktkvot och luften är tillräckligt fuktig för svamptillväxt. I längdcirkulationstorkar börjar vanligtvis svamptillväxten på den andra till tredje stapeln, sett från intagsänden. Men det finns även svampar som kan utvecklas vid närvaro av fritt vatten i virkesytan. Sådana svampar har man tidigare funnit i kyltorn.

Bekämpning

Beträffande bekämpningen av torkhusblånad bör nämnas, att flottat virke - speciellt sådant som fått ligga länge efter avverkningen - är mera mottagligt för blånad än nyavverkat och landtransporterat virke. I vilken omfattning gammalt

virke från sjunktimmer smittar nyavverkat virke är inte utrett, men vid t ex en av Svenska Träforskningsens undersökningar har det visat sig att man vid samtorkning av virke från gammalt sjunktimmer och färskt virke, endast fick mögelbildning på det gamla virket.

God luftcirkulation (lufthastigheten får inte i någon punkt understiga 2 m/sek) måste alltid råda i torkanläggningarna. Vidare skall torkningsförloppet övervakas och styras noggrant, så att fuktkvoten och temperaturen på träets ytor fortast möjligt kommer att ligga utanför de gränsvärden inom vilka svamparna kan utveckla sig. Vad gäller temperaturen så är det träets och inte torkluftens temperatur som är avgörande.

Att undvika blånad på mycket kraftigt infekterat virke genom att sträva efter ett torrare klimat i början av torkningsskedet är inte möjligt utan att öka sprickbildningen. Men man föredrar ofta denna utväg. Man bör emellertid först prova med att höja temperaturnivån i torken t ex till max våttemperatur 44°C vid oförändrad psykrometerskillnad (enl torkningsschemat).

Vid vissa sågverk kan man finna att uppkomsten av mögel redan sker vid råsorteringen. Detta beror på att man numera ofta bygger in sorteringsanläggningen i väl uppvärmda hus. Följden blir att inuti vissa sorteringsfack, som relativt sällan blir tömda, blir klimatet idealiskt för utveckling av mögel. När sedan virket sätts in i torken ökar mögeltillväxten hastigt. Ur torkningssynpunkt bör sorteringsfacken alltså

- tömmas så fort som möjligt
- ha utomhustemperatur
- om möjligt genomluftas

Som tidigare nämnts får infekterat virke inte sättas in i en virkestorks förvärmningszon. Satsningen ska ske direkt i torkningszonen. Man bör vidare om möjligt bara satsa en stapel åt gången. På så sätt uppnår man snabbare ett skyddande torrt ytskikt på virket.

Undersökningar med halvtorkat virke (fuktkvot 24-26 %) har visat att risk för blånad föreligger, även om virket strö-lagts i brädgård. Heltorkat virke, som har en fuktkvot på ca 18 % och lagrats i virkesmagasin, är bra skyddat mot den i blånadshänseende farliga sekundära befuktningen.

För att minska risken för blånad är en effektiv torkhus-hygien påtvingad (luftning, desinfektion av anläggningen osv). Om tiden mellan sågning och torkning blir lång kan kemisk skyddsbehandling av virket användas med gott resultat.

Ytlig mögel kan vanligtvis hyvlas eller borstas bort med t ex stålborste. Arbetskostnaden blir givetvis avsevärd och mögel betyder alltid en stor ekonomisk förlust. Förlusten blir dock ännu större om rensning inte sker.

Vid sekundär befuktning går mögeltillväxten mycket lätt på djupet i träet.

Sammanfattning

För undvikande av torkhusblånad är förbehandlingen av tim-ret och virket av största betydelse, se även kap. 8.

Risken för torkhusblånad ökar när virket kommer från timmer som är

- stormfällt
- insektsangripet
- gammalt sjunktimmer

- otillräckligt vattenbesprutat vid lagringen
- processoravverkat
- från den övre delen av vattenlagrade timmerbuntar
- vattenlagrat i förorenat vatten
- barkat och därefter landlagrat

Risk för torkhusblånad ökar om virket

- får ligga länge i sorteringsfacket före ströläggningen (spec. i uppvärmt utrymme)
- torkas med för liten psykrometerdifferens
- torkas med för kort torkningstid (forcerad torkning)
- står för länge ströat i varmt och fuktigt klimat
- ströas med infekterade strön
- är spånbemängt
- är felaktigt staplat med dålig luftgenomströmning som följd (för låga eller för korta staplar, dålig utförd ströläggning)
- uppvärms i torkens uppvärmningszon

Risk för torkhusblånad ökar om virkestorken

- har dålig flapstättning runt staplarna
- har liten cirkulationsluftmängd (låg fukthastighet genom virket)
- felkalibrerade givare
- får ojämn värmetillförsel (pannanläggningen i dåligt trim, spec. vanligt vid barkeldning)
- har för klen dimensionerad ventilering
- invändigt är nedskräpad med spån och/eller träavfall (spec. i intagsänden)
- är för lång (längdcirkulationstork)

Risken för torkhusblånad är större för

- bräder än för plank
- o/s-kvalitet än för kvinta och utskott

- furu än för gran
- splint än för kärna

Om torkhusblånad uppstår kan en eller flera av följande åtgärder motverka vidare svamputveckling:

- satsa virket så snabbt som möjligt efter sågningen
- öka temperaturnivån
- öka psykrometerdifferensen
- doppa virket i blånadsskyddsmedel före satsning
- minska antalet staplar i torkkanalen (progressiva längdcirkulationstorkar)
- täta utrymmena mellan virkespaketen i staplarna
- satsa om möjligt endast enkellagt virke
- förbättra timmerlagringen
- se över torkanläggningen

13.7.7 Skeppningsblånad

Vid förekomst av blånad kan man också tala om skeppningsblånad. Den uppstår på virke i lastrum under sjötransport. De svampar som förorsakar denna blånadstyp skiljer sig inte från dem som tidigare behandlats. En orsak till skeppningsblånad kan ofta vara att det transporterade virket inte har torkat tillräckligt före inskeppningen. Det kan i detta sammanhang också hända att en hel last blir nedvärderad endast på grund av att en mindre del otillräckligt torkat virke - och därför blånadsskadat - har lastats tillsammans med skeppningstorr virke. En sekundär befuktning genom nederbörd vid inskeppningen eller t ex genom dåligt skydd mot sjögång, tropiska regn under själva transporten, kondens eller dagg kan också leda till blånad. Om lastrummet har otillfredsställande luftcirkulation, skapas mycket goda livsbetingelser för svamparna. Obehagliga överraskningar i form av reklamationer kan bli följden av sådana leveranser.

Bekämpning

Virke som ska transporteras på båt bör vara skeppnings-
torrt (ca 18 % fuktkvot). Det skall skyddas mot regn och
snö, och särskild noggrannhet skall iakttas om det gäller
långa sjötransporter under varma och fuktiga väderleksför-
hållanden. En direkt inskeppning av artificiellt torkat
och därefter magasinerat virke har visat sig innebära stora
fördelar.

13.7.8 Inre blånad

De hittills berörda blånadstyperna förekommer mer eller
mindre i virkets ytskikt. Som en särtyp kan därför nämnas
s.k. dold eller inre blånad. Denna form kan uppträda så-
väl i samband med brädgårdsblånad som torkhus- och skepp-
ningsblånad. Det rör sig då i allmänhet om infekterat vir-
ke, där svamparnas celltrådar endast haft möjlighet att ut-
veckla sig i de inre fuktigare delarna av virket medan yt-
skiktet förblivit torrt och intakt. Vid styrd torkning
föreligger risk för inre blånad om torkningen från början
är för hård. Den inre blånaden kan också uppträda i sågat
virke som impregnerats mot blånad men efter behandlingen
lagrats under dåliga luftcirkulationsförhållanden. Impreg-
neringen resulterar i ett oskadat ytskikt, medan blånaden
utbreder sig inuti virket.

Bekämpning

Bekämpning av inre blånad sker i allmänhet efter samma
riktlinjer som för övriga blånadstyper.

Problemet med blånad gör, att man aldrig kan tillräckligt
poängtera vikten av en noggrann virkesvård med löpande kon-
troll även vid användning av förebyggande bekämpningsmedel.
Många otrevliga överraskningar kan härmed undvikas.

13.8 Torkningsfelens ekonomiska betydelse

Torkningsfelen innebär ett försämrat kvalitetsutfall, som vid sågverket medför ett intäktsbortfall och vid snickeri-industrin en ökad råvarukostnad. Härtill kommer eventuella reklamationskostnader för fuktkvotsfel (lagerblånad, undermått). För att få en uppfattning om torkningsfelens ekonomiska betydelse kan man utgå från resultatet av provsorteringar som utförts av STFI. Under tidsperioden 1958-74 uppmättes vid ett stort antal industriundersökningar följande medelvärden för den procentuella andelen virke som måste klassas ned från o/s till sämre sort på grund av torkningsfel:

Virkestjocklek	Träslag	Nedklassning
mm		%
63-75	furu	27
63-75	gran	28
50	furu	13,5
50	gran	25
16-25	furu	12
16-25	gran	23

Om man antar en prisskillnad mellan o/s och kvinta av 175 kr för furu och 100 kr för gran (ungefärliga värden för 1975) och andelen o/s-virke före torkningen 35 % för furu och 55 % för gran samt vidare en tjockleksfördelning av 25 % 63-75 mm, 47 % 50 mm och 28 % 16-25 mm virke, kan nedklassningsvärdena enligt tabellen omräknas till intäktsbortfall per torkad m³ virke (prisskillnaden mellan o/s och kvinta andra halvåret 1976 kommer att vara ca 250 kr för furu och 100 kr för gran).

$$\text{Furu } (0,25 \cdot 0,27 + 0,47 \cdot 0,135 + 0,28 \cdot 0,12) \cdot 0,35 \cdot 175 = \underline{\underline{10 \text{ kr/m}^3}}$$

$$\text{Gran } (0,25 \cdot 0,28 + 0,47 \cdot 0,25 + 0,28 \cdot 0,23) \cdot 0,55 \cdot 100 = \underline{\underline{14 \text{ kr/m}^3}}$$

Antar man att furu- och granproduktionen är lika blir

alltså det beräknade intäktsbortfallet ca 12 kr/m^3 . Härtill kommer ett genom torksprickor i centrumutbytet förorsakat extra avkap, som kan antas till ca 1 % eller 5 kr/m^3 . Man får således totalt ca 17 kr/m^3 exklusive eventuella reklamationskostnader.

För att bedöma storleken av denna kostnad kan man sätta den i relation till t.ex. kapitalkostnaden för torken, som är ca 10 kr/m^3 (avskrivning och räntor) eller den totala torkningskostnaden, som är ca 25 kr/m^3 (avskrivning, räntor och bränslekostnader). Man ser då att det är mycket välmotiverat att genom en bra torkanläggning och välskött torkning söka begränsa torkningsfelen i möjligaste mån.

De i tabellen ovan angivna nedklassningsvärdena är högre än vad som genomsnittligt är möjligt att uppnå i goda torkanläggningar. Det är mycket vanskligt att ange "normalvärden" för en bra torkanläggning med hänsyn till virkesråvarans stora inhomogenitet med avseende på inträdande torkningsfel. Stora och svårförklarliga svängningar i skadefrekvensen förekommer. Följande nedklassningsvärden kan dock med viss reservation bedömas vara genomsnittligt uppnåbara i en bra tork vid goda lagringsförhållanden för timret:

63-75 mm virke	14 %
50 " "	8 %
16-25 " "	3 %

Dessa värden motsvarar enligt en beräkning som ovan ca 4.70 kr/m^3 , som ökat med 0,5 % extra avkap ger totalt ca 7 kr/m^3 . Genomsnittligt förefaller således en förbättring med ca $17-7 = 10 \text{ kr/m}^3$ vara möjlig att uppnå (=kapitalkostnaden för torken).

En bristfällig tork kan få katastrofala följder. Vid ett

tillfälle uppmättes följande värden vid torkning av 75 mm furuvirke:

Antal sorterade plank	408
Antal o/s-plank före torkning	114
Antal o/s-plank efter torkning	42

Denna torkning medförde ett intäktsbortfall enligt följande:

$$\begin{aligned} \text{Nedklassning} & \frac{114 - 42}{408} \cdot 175 = 31 \text{ kr/m}^3 \\ \text{Avkap} & 0,02 \cdot 600 = \underline{12 \text{ kr/m}^3} \\ \text{Summa} & = 43 \text{ kr/m}^3 \end{aligned}$$

Torkkammaren rymde 340 m^3 . För en torkningssats erhöles alltså ett intäktsbortfall av $340 \cdot 43 = 15.000 \text{ kr}$.

För den i Sverige totalt försågade virkesvolymen, ca 12 miljoner $\text{m}^3/\text{år}$, motsvaras

$$\begin{aligned} 17 \text{ kr/m}^3 & \text{ av ca } 200 \text{ miljoner kr/år} \\ 7 \text{ kr/m}^3 & \text{ av ca } 80 \quad " \quad " \end{aligned}$$

Detta digitala dokument
skapades med anslag från

**Stiftelsen Nils och Dorthi
Troëdssons forskningsfond**

TräteknikCentrum

INSTITUTET FÖR TRÄTEKNISK FORSKNING

Box 5609, 114 86 STOCKHOLM
Besöksadress: Drottning Kristinas väg 67
Telefon: 08-14 53 00
Telex: 144 45 tratek s
Huvudenhet med kansli

Åsenvägen 9, 552 58 JÖNKÖPING
Telefon: 036-12 60 41

Box 354, 931 24 SKELLEFTEÅ
Besöksadress: Bockholmsvägen 18
Telefon: 0910-881 40
Telex: 650 31 expolar s