

ANERKENT

**TREVIRKETS
FYSISKE EGENSKAPER**

Av

FINN STEMSRUD



NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE
INSTITUTT FOR TRETEKNOLOGI
VOLLEBEKK

Birger Eilertsen.
ANDERS O NYRUD

NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE
INSTITUTT FOR TRETEKNOLOGI

TRE VIRKETS FYSISKE EGENSKAPER

Av

F i n n S t e m s r u d

VOLLEBLKK

1965

$$k_0 = \frac{G_0}{V_0}$$

$$R = \frac{G_0}{V_u}$$

$$k_u = \frac{G_u}{V_u}$$

$$\beta_V = \frac{V_u - V_0}{V_u} \cdot 100\%$$

$$d_V = \frac{V_u - V_0}{V_0} \cdot 100\%$$

$$f_H = \frac{G_0}{V} = \underline{1,5}$$

$$U_{max} = U_F + U_K$$

$$U_V = \frac{\frac{V_0 - V}{V_0} \cdot 1}{k_0}$$

$$U_{max} = \frac{\frac{V_u - V}{V_u} \cdot 1}{R}$$

STAMM'S
formel?

$$c' = 1 - R' \cdot \left(\frac{1}{f_H} + \frac{u_u}{g_s} + \frac{u_k}{f} \right) \cdot \frac{1}{100 \text{ cm}^3} \quad R' = \frac{G_0}{V_u} \quad u \approx 50\%$$

$$P_{u < 25} = 1 - \frac{k_0}{1 + k_0 \cdot u} \cdot (0,65 + u)$$

$$P_{u > 25} = 1 - \frac{k_0}{1 + 27 \cdot k_0} \cdot (0,65 + u)$$

prev.
lens
nätt
flerulle

Ved utforming av dette kompendiet er noen av arbeidene, som er nevnt i litteraturlisten, nyttet i ganske stor utstrekning. En vil her fremheve som f.eks. arbeider av KOLLMANN (1951), TRENDELENBURG (1939), TRENDELENBURG/MAYER-WEDELIN (1955) og DURST (1958). Den sistnevnte har også stilt andre, ikke offentliggjorte arbeider til disposisjon. Videre har jeg hatt meget god hjelp av assistent Kai Karlsen til oversetting og disponering av stoffet. Jeg vil hermed få overbringe min beste takk for hjelpen.

Kompendiet er kun til internt bruk for skogbruksstudentene.

Vollebekk i mars 1965.

Finn Stemsrud.

III

<u>Innhold</u>	Side
1. Innledning	1
2. Vekt	1
2.1 Volumvekt	1
2.11 Grunnlag	1
2.12 Definisjon av forskjellige volumvekter	2
2.121 Tørrvolumvekt	2
2.122 Volumvekt, r_u , ved et vanninnhold u	3
2.123 Volumtetthet	3
2.124 Omregning av volumvekten (r_u) ved et vanninnhold u , til ru_2 ved et vanninnhold u_2 , der u_1 og u_2 kan anta forskjellige verdier	4
2.125 Omregning fra tørrvolumvekt (r_o) til volumtetthet (R)	6
2.126 Omregning fra volumtetthet (R) til tørrvolumvekt (r_o)	6
2.13 Bestemmelse av volumvekten	6
2.131 Bestemmelse av volumvekten etter den stereometriske metoden	6
2.132 Bestemmelse av volumvekten etter fortrenningsmetoden	7
2.14 Volumvekten hos noen treslag	9
2.15 Variasjoner i volumvekten	10
2.151 Volumvekten hos vår- og sommerved	10
2.1511 Bartrær	10
2.1512 Lauvtrær	11
2.152 Forholdet mellom tørrvolumvekt og årringbredde .	13
2.1521 Bartrær	13
2.1522 Lauvtrær	14
2.153 Variasjon i volumvekten i stammens tverr- og lengderetning	15
2.154 Forholdet mellom alder og volumvekt	18
2.155 Forholdet mellom volumvekt og voksested	19
2.1551 Bartrær	19
2.1552 Lauvtrær	24
2.16 Anskueliggjørelse av variasjonene i volumvekten	25
2.2 Vedsubstansens spesifikke vekt	26
2.21 Grunnlag	27

	Side
2.22 Bestemmelse av den spesifikke vekten av celledel- stansen	27
2.3 Porevolum	29
2.31 Grunnlag	29
2.32 Bestemmelse av porevolumet i vannfritt og rått tre- virke	29
2.4 Flatevekt og volumvekt av finèr, trefiber-, spon- og møbelplater	32
Sammendrag	33
3. Trevirkets påvirkning av væsker og damp	34
3.1 Trevirkets vanninnhold	34
3.11 Grunnlag	36
3.12 Trevirkets opptak av væske og damp	38
3.121 Bestemmelse av vannopptagelsen	40
3.122 Bestemmelse av vandampopptagelse	41
3.13 Fibermetningspunktet og dets bestemmelse	41
3.14 Bestemmelse av vanninnholdet	43
3.141 Bestemmelse av vanninnholdet ved hjelp av tørring (ovnstørring)	43
3.142 Bestemmelse av vanninnholdet ved hjelp av elektriske målere	45
3.1421 Elektriske motstandsmålere	45
3.1422 Elektriske kapasitetsmålere	48
3.143 Bestemmelse av vanninnholdet ved hjelp av des- tillering (ekstraksjon)	49
3.144 Bestemmelse av vanninnholdet på grunnlag av målinger av luftens fuktighet og temperatur ..	50
3.15 Vannledningsevne og vanngjennomtrengelighet	51
3.16 variasjoner i vanninnholdet innenfor den enkelte tre- stamme	53
3.161 Forskjell i vanninnholdet i stammedelene	53
3.162 Vanninnholdet i relasjon til voksestedet	53
3.163 Vanninnholdet og årstidene	54
3.17 Ønskelig vanninnhold i trevirke til forskjellige formål	55
Sammendrag	55
3.2 Svelling og krymping	57

	Side
3.21 Grunnlag	57
3.22 Bestemmelse av svelling og krymping	58
3.23 Forhold som influerer på krymping og svelling	61
3.24 Forholdsregler for å minske svelling og krymping ...	64
Sammendrag	65
4. Trevirkets forhold overfor gasser	65
5. Trevirkets forhold overfor varme og temperaturvariasjoner ...	66
5.1 Utvidelse på grunn av oppvarming	66
5.2 Varmeledningstall	69
5.3 Spesifikk varme	71
5.4 Temperaturledningstall	73
Sammendrag	74
6. Trevirkets forhold overfor elektrisitet	75
6.1 Isoleringsevne	75
6.11 Elektrisk motstand	75
6.12 Gjennomslagsfasthet	78
6.2 Trevirke som dielektrikum	79
Sammendrag	80
7. Trevirkets forhold overfor ultrafiolette stråler	81
8. Trevirkets forhold overfor lyd	82
8.1 Hvordan lyden oppstår	82
8.2 Lydhastighet	82
8.3 Lydbølgemotstand	84
8.4 Lyddempning	85
8.41 Strålingsdempning	85
8.42 Tapsdempning	85
8.5 Lydabsorpsjon	86
8.6 Lydoppdemming (Lydisolasjon)	86
8.7 Lydoppdemming hos vinduer og dører	87
Sammendrag	87
9. Friksjonsegenskaper	88
9.1 Startfriksjon (statisk friksjon)	88
9.2 Glidefriksjon	88

	Side
9.3 Lagerfriksjon	89
9.4 Vækefriksjon i trerør	89
9.5 Rullefriksjon	90
Sammendrag	90
10. Elastisitet	90
10.1 Grunnlag	91
10.11 Spenning	91
10.12 Formendring på grunn av spenning	91
10.13 Sammenheng mellom spenning og formendring	92
10.131 Proporsjonalitetsgrense	93
10.132 Elastisitetsgrense	94
10.133 Flytegrense	94
10.2 Elastisitetsmodul ved statisk trykk-, strekk- og bøye- påkjenning	95
10.21 Forhold som influerer på elastisitetsmodulens størrelse	95
10.22 Bestemmelsesmetoder	96
10.221 Bestemmelse av elastisitetsmodulen ved statisk trykkbelastning	96
10.222 Bestemmelse av elastisitetsmodulen ved statisk strekkbelastning	99
10.223 Bestemmelse av elastisitetsmodulen ved statisk bøyebelastning	99
Sammendrag	100
11. Styrke eller fasthet	101
11.1 Trykk- og knekkfasthet	102
11.11 Prøve- og beregningsmetoder	103
11.111 Trykkfasthet i fiberretningen	103
11.112 Knekkfasthet eller knekkstyrke	104
11.113 Svilletrykkforsøk	106
11.114 Terningtrykkforsøk	107
11.12 Forhold som har innflytelse på trykkspenningens størrelse	108
11.13 Verdier av trykkfastheten i fiberretningen hos noen treslag	110
Sammendrag	111
11.2 Strekkfasthet	112

VII

	Side
11.21 Strekkfasthet i fiberretningen	113
11.211 Prøvemethoder	113
11.212 Forhold som influerer på strekkfasthetens størrelse	114
11.213 Strekkfasthetsverdier for noen treslag ...	115
11.22 Strekkfasthet på tvers av fiberretningen	115
Sammendrag	115
11.3 Bøyefasthet	116
11.31 Prøvemethoder	117
11.32 Forhold som influerer på størrelsen av bøyefast- heten	119
Sammendrag	123
11.4 Spaltefasthet	124
11.41 Prøvemethoder	124
11.42 Forhold som influerer på spaltefasthetens stør- relse	125
Sammendrag	126
11.5 Skjærfasthet	127
11.51 Prøvemethoder	128
11.52 Forhold som influerer på skjærfasthetens størrelse	129
Sammendrag	131
11.6 Dreiefasthet	132
11.61 Prøvemethoder	132
11.62 Forhold som influerer på dreiefasthetens størrelse	133
11.63 Dreiefasthet og bruddfordreining hos noen treslag	133
Sammendrag	133
11.7 Bruddslagarbeid og slagbøyefasthet	134
11.71 Prøving av bruddslagarbeidet med pendelhammer	134
11.72 Prøving av slagbøyefastheten	135
11.73 Forhold som influerer på størrelsen av bruddslag- arbeidet	135
Sammendrag	138
11.8 Stabil tilstandsfasthet	139
11.81 Prøvemethoder	139
Sammendrag	140
11.9 Stabil svingfasthet	141
11.91 Prøvemethoder	141
Sammendrag	142

VIII

	Side
12. Hardhet	142
12.1 Prøvetoder	142
12.11 Statistiske prøvetoder	143
12.12 Dynamiske prøvetoder	144
12.2 Forhold som influerer på hardhetens størrelse	145
Sammendrag	146
13. Trevirkets motstand mot slitasje	146
13.1 Prøvetoder	146
13.2 Forhold som virker inn på størrelsen av slitasjemot- standen	148
Sammendrag	148
14. Formelsamling	149
14.1 Volumvektbegreper, celleveggenes spesifikke vekt og porevolum	149
14.2 Trevirkets vanninnhold	151
14.3 Krymping og svelling	153
14.4 Trevirkets termiske egenskaper	156
14.5 Elektriske egenskaper	163
14.6 Akustiske egenskaper	163
14.7 Elastisitet	164
14.8 Styrkeegenskaper	165
15. Beregningsoppgaver	169
16. Litteratur	171

1. Innledning.

Vi kjenner til at veden er oppbygd av celler med forskjellig form, størrelse og funksjon. Selv en og samme celletype vil variere i størrelse og kvalitet. Dette influerer i første rekke på vedens volumvekt og vanninnhold. Vi sier at veden er heterogent og anisotropt oppbygd. Dermed er det gitt at en vil finne store variasjoner i vedens fysiske egenskaper. Dette må en ha klart for seg, fordi en som regel opererer med middelveier.

Dette kompendiet er ment å skulle gi en liten oversikt over trevirkets fysiske egenskaper. Fortsatt er det mange forhold som trenger nærmere belysning før en kan trekke noenlunde sikre slutninger. Når en i det følgende skal studere tabeller og figurer må en være klar over dette. Ellers henviser en til oppslagsbøker og håndbøker som spesielt er tilgjengelige fra tysk og engelsk litteratur. Bakerst er det stilt opp en formelsamling, og denne er for visse avsnitt litt mer omfattende enn det som kommer fram under de enkelte avsnitt.

2. Vekt.

2.1 Volumvekt.

Med trevirkets volumvekt mener en vekt delt på volum uttrykt i g/cm^3 .

2.11 Grunnlag.

Trevirkets volumvekt gir en god karakteristikk av nesten alle dets egenskaper, og dermed også av dets anvendelsesmuligheter. Til mange formål er f.eks. en høy volumvekt ikke ønskelig, bl.a. fordi tungt trevirke kan være hardt å bearbeide. Men når det er spørsmål om styrkeegenskaper, vil en ofte foretrekke trevirke med høy volumvekt, f.eks. til jernbanesviller. Fig. 1 er et eksempel på hvordan noen styrkeegenskaper hos trevirket varierer med varierende volumvekt.

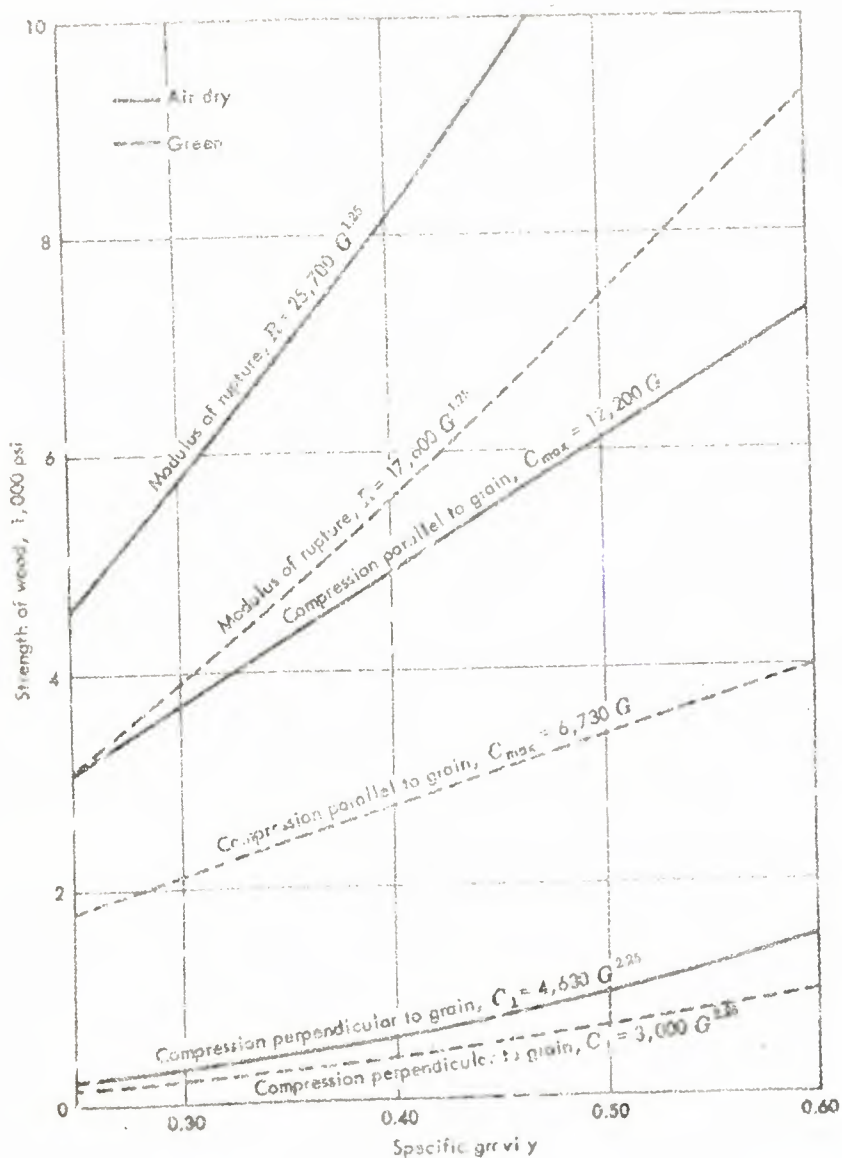


Fig. 1. Forholdet mellom volumvekten og noen styrkeegenskaper hos trevirket (WANGAARD 1950).

2.12 Definisjon av forskjellige volumvekter.

Trevirkets volumvekt står i en viss forbindelse med vanninnholdet og definisjonsmessig skiller en mellom følgende volumvekter:

2.121 Tørrvolumvekt. (50)

Med tørrvolumvekt mener man vekt pr. volumenhet av trevirke som er tørket i tørkeskap ved ca. 103°C til vekten er konstant, dvs. til tre-

$$r_0 = \frac{G_0}{V_0}$$

$$r_{u1} = \frac{G_u}{V_u}$$

DIN-norm - 12% frakt.

$$R = \frac{G_0}{V_u}$$

virket ikke avgir mer vann. Vi betegner vekten med G_0 og volumet med V_0 . Da er tørrvolumvekten, $r_0 = \frac{G_0}{V_0}$ (g/cm^3).

Ved siden av volumtettheten som blir nærmere omtalt i avsnitt 2.123, danner tørrvolumvekten en sikker og vitenskapelig innvendingsfri målestokk for trevirkets volumvekt.

2.122 Volumvekt, r_u , ved et vanninnhold, u .

Volumvekten ved et vanninnhold på 12% av tørrvekten er spesielt av stor interesse. Videre kan nevnes volumvekten av lufttørt, skogstørt og av ferskt trevirke. Med lufttørt trevirke mener man trevirke som har tørket i lengere tid i friluft. Vanninnholdet i trevirke avhenger av luftens temperatur og relative fuktighet, mens tørkingen videre avhenger av dimensjon, opprinnelig vanninnhold og av tørketidens lengde. 12% vanninnhold er en DIN-norm, men en kan ikke regne med at lufttørt virke i alle tilfelle holder 12%, selv om dette kan være tilfelle i praksis. Trevirke som har en volumvekt større enn 1 g/cm^3 , vil synke i vann. Når vanninnholdet er større enn det som tilsvarer fibermetningspunktet, endrer ikke trevirkets volum seg ved videre vannopptagelse.

Med skogstørt virke mener en virke som har tørket i tiden mellom hogst og transport. Som en skjønner kommer volumvekten av skogstørt virke til å variere ganske mye. Den har bl.a. stor betydning for transporten.

Som frisk vekt mener man i praksis volumvekten hos stående og nyhogde trær. Selv i en og samme trestamme, vil vanninnholdet oftest være uregelmessig fordelt, og friskvekten vil derfor variere innenfor nokså vide grenser.

2.123 Volumtetthet.

(R)

Tørr- r_0 -volumvekt.

Når trevirkets vanninnhold kommer under fibermetningspunktet, vil trevirket sprekke ved videre tørking. Dermed oppstår det vanskeligheter når en skal bestemme volumvekten nøyaktig, og derfor har en til praktisk bruk innført volumtettheten (R) som er absolutt tørrvekt (G_0) dividert med volumet i frisk tilstand (V_u). (u) fibermetningspunktet

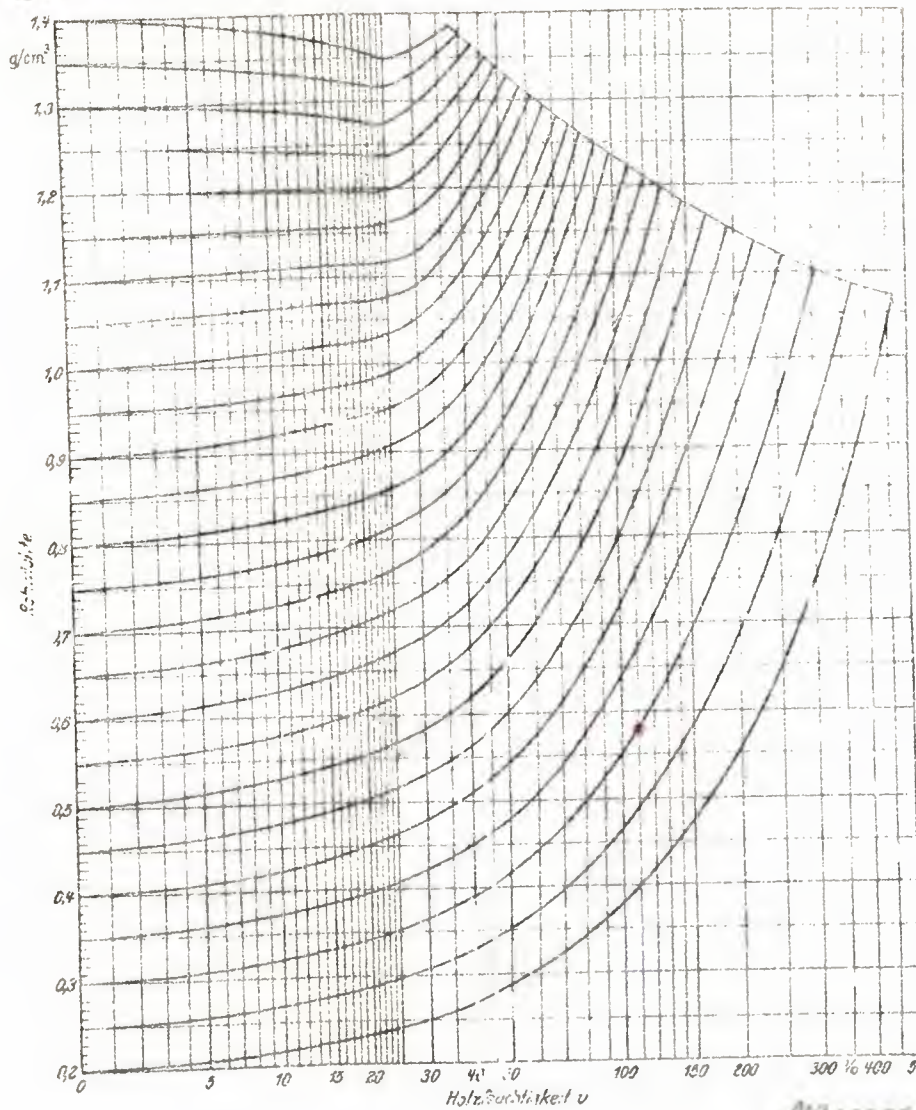
$$R = \frac{G_0}{V_u} (\text{g/cm}^3)$$

Multipliserer en formelverdien med 1000, får en kg/m^3 . Dette uttrykket forteller m.a.o. hvor mye fullstendig tørt trevirke, dvs. tresubstans i kg, som finnes i en m^3 tømmer, og det har bl.a. stor interesse for den kjemiske industri hvor tørrstoffet har størst betydning.

2.124 Omregning av volumvekten (r_u) ved et vanninnhold u_1 til r_{u_2} ved et vanninnhold u_2 , der u_1 og u_2 kan anta forskjellige verdier.

Sammenhengen mellom volumvekten og vanninnholdet er vist i figur 2. Vanninnholdet er avsatt på abscissen i prosent, og volumvekten er avsatt på ordinaten i g/cm^3 . Av figuren kan en lese av volumvekten ved forskjellig vanninnhold. For praktisk bruk er figuren tilstrekkelig nøyaktig, og den er som en skjønner betydelig enklere å bruke enn de vanlige formlene.

Volumvekt
relativ



vanninnhold

Fig. 2. Forholdet mellom volumvekt og vanninnhold hos trevirke (KOLLMANN, 1951).

Eksempel a. Ved et vanninnhold på 25% er volumvekten 0,35 g/cm³. Hvor stor er den ved 110%? Av figuren leser vi av 0,675 g/cm³.

Eksempel b. Ved et vanninnhold på 5% er volumvekten 0,49 g/cm³. Hvor stor er den ved 25%? Vi interpolerer og finner som svar 0,555 g/cm³.

$$r_0 = \frac{G_0}{V_0}$$

$$R = \frac{G_0}{V_u}$$

$$R = r_0 \cdot \frac{V_0}{V_u}$$

$$\beta_v = \frac{V_u - V_0}{V_u} \cdot 100$$

$$\beta_v \cdot V_u = 100 \cdot V_u - 100 V_0$$

$$V_u = V_0 \frac{100}{100 - \beta_v}$$

$$\alpha_v = \frac{V_u - V_0}{V_0} \cdot 100$$

$$\frac{R}{r_0} = \frac{100 - \beta_v}{100}$$

Vektet den samme G₀

2.125 Omregning fra tørrvolumvekt (r₀) til volumtetthet (R).

$$R = r_0 \cdot \frac{100 - \beta_v}{100} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Hvis volumsvellingsprosenten (α_v) er oppgitt i stedet for volumkrympingsprosenten (β_v), får en følgende omregning fra tørrvolumvekt (r₀) til volumtetthet (R) ved hjelp av ligningen:

$$R = r_0 \cdot \frac{100}{100 + \alpha_v} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$\frac{R}{r_0} = \frac{100}{100 + \alpha_v}$$

2.126 Omregning fra volumtetthet (R) til tørrvolumvekt (r₀).

Alt etter som volumkrympingsprosenten (α_v) eller volumsvellingsprosenten (β_v) er oppgitt, får en følgende omregning fra volumtettheten (R) til tørrvolumvekten (r₀):

$$r_0 = R \frac{100}{100 - \beta_v} \text{ eller}$$

$$r_0 = R \frac{100 + \alpha_v}{100}$$

2.13 Bestemmelse av volumvekten.

Når en skal bestemme volumvekten, må en stille bestemte krav til prøvestykkene. De må være rene og fri for sprekker, kvist og andre feil. Prøveklossene må skjæres slik at fibrene løper parallelt med overflaten. To flater som ligger overfor hverandre, skal danne tangent til årringene. Når en oppgir volumvekten, er det ønskelig å angi den midlere årringbredde, og hos f.eks. furu og lerk, også andelen av høstved. Til dette arbeidet kan en bruke skyvemål med bestemt inndeling, målemikroskop eller målelupe.

Det fins tallrike metoder for å bestemme volumvekten. I praksis brukes først og fremst den stereometriske metoden, fortrengningsmetoden og oppdriftsmetoden.

2.131 Bestemmelse av volumvekten etter den stereometriske metoden.

Denne metoden består i at vekten finnes ved veiing og volumet finnes ved beregning på grunnlag av målinger på prøvestykket.

Form og størrelse av treprøven for bestemmelse av volumvekten er vanligvis ikke normert.

Mange ganger gjennomfører en bestemmelse av volumvekten samtidig som en bestemmer radial og tangential krymping.

For å bestemme tørrvolumvekten og volumtettheten, blir prøvene veid i vannfri tilstand, dvs. de er tørket i tørkeskap ved ca. 103°C til vekten er konstant. For å hindre sprekkdannelse hos prøveklossene, er det vanlig å tørke ved forskjellige temperaturintervaller. Først stiller en inn på 40° , så 70° og til slutt ca. 103°C . Tørketiden er vanligvis to døgn. Prøvene blir avkjølt i eksikator (vanligvis over klorkalsium, sjeldnere over forforpentoksyd) for å hindre at trevirket tar opp fuktighet fra lufta. Under veiingen må en bestemme vekten med 0,01 g nøyaktighet.

Volumet blir bestemt på grunnlag av målinger i radial-, tangential- og i lengderetningen. For å bestemme volumtettheten (R) legger en vanligvis prøvene i vann. Der får de ligge til de ytre mål er konstante. Ved å lagre prøvene under vakuum, kan en forkorte lagringstiden. Prøvene blir målt i de tre anatomiske hovedretningene ved hjelp av måleur eller annet utstyr med 0,1 mm nøyaktighet.

For å hindre at prøveklossene tar opp vann fra lufta, må de måles så fort som mulig etter at de er tatt ut av eksikatoren.

Med blyant deler en tverrsnittet inn i fire kvadratiske deler. I linjenes retning foretar en målinger i tangential- og radialretningen. For å få en nøyaktig volumbestemning, må en bruke to til fire målepunkter pr. måleretning og så ta aritmetisk middel. Forstyrrelser på grunn av krymping og tørkesprekker kan resultere i feil, men dette har liten betydning når en skal bestemme volumvekten for praktisk bruk.

2.132 Bestemmelse av volumvekten etter fortreningsmetoden.

Denne metoden kan brukes for legemer av forskjellig størrelse og form. Som væskemedium er det vanlig å bruke kvikksølv. Dette er innesluttet i et bestemt måleapparat som måler med en nøyaktighet på noen få mm^3 . (Se fig. 3).

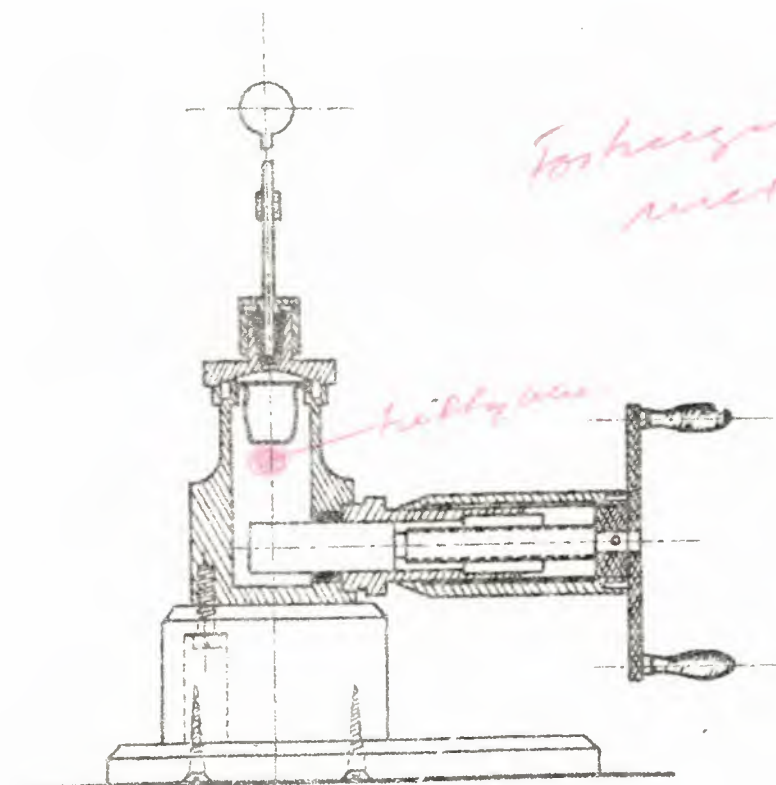


Fig. 3. Kvikksølv-volummåler etter BREUIL.

Kvikksølvvolummåleren består av to stålsylindrer som er forbundet med hverandre. Den ene står vertikalt og den andre horisontalt, og de er fylt med kvikksølv.

Den øvre enden av den vertikale sylinder er forsynt med et lokk med skruengang som er helt tett. I midten er det en åpning med et stigerør av glass. Stigerøret slutter med en ballongaktig utvidelse som hindrer at kvikksølvet renner over når det stiger raskt. Det er også en ventil som gjør at lufta kan unnslippe. I den horisontale sylindren er det en kolbe med mikrometerskrue som gjør at en kan måle kvikksølvstanden i den vertikale sylindren. Først senker en kvikksølvstanden, så skrur en av lokket på den vertikale sylindren og legger ned treprøven. Ved hjelp av en fjærbelastet klamme blir treprøven trykket ned under overflaten hos kvikksølvet. Så skrur en på lokket, og ved å dreie kolben får en kvikksølvet til å stige i røret. Når kvikksølvet når stigerørets justerpunkt, foretar en den første avlesning på sylindrinndelingen og på kolbens mikrometerskrue. Den første avlesningen betegnes med z_1 . Så dreier en kolben tilbake slik

at kvikksølvstanden synker for å hindre at kvikksølvet skal flyte ut når en tar av lokket. Derpå tar en av lokket og tar ut treprøven. Så skrur en på lokket på nytt og dreier kolben til kvikksølvet igjen står ved justerpunktet i stigerøret. På grunnlag av inndelingen av sylindern og av mikrometerskruen, følger nå den andre avlesning som kalles for z_2 . Differansen mellom begge avlesningene blir da volumet av det fortrenkte kvikksølvet og dermed også volumet av treprøven. Hos noen måleapparater må differansen først multipliseres med en faktor som angir antall mm^3 pr. delestrek på skalaen.

Hvis treprøven har tatt opp kvikksølv, må en fjerne dette med papir og fylle det i volummåleren. Det er nødvendig å legge prøven på en skål for å hindre at kvikksølvet skal spre seg utover. Fra skålen kan kvikksølvet lett tas opp med en slags svamp. Kvikksølv damp er giftig, og en bør arbeide under avtrekksluke.

2.14 Volumvekten hos noen treslag.

Begrepene svært lett, temmelig lett, nokså tung osv., sier oss lite. For en utenforstående kan f.eks. et lett treslag bety så vel $0,300 \text{ g/cm}^3$ som $0,600 \text{ g/cm}^3$. Volumvekten bør derfor angis med tall.

Tab. 1. Volumvekten hos noen treslag.

Treslag	r_0	r_{12}
Lønn	0,48-0,59-0,75	0,51-0,61-0,78
Spisslønn	0,52-0,62-0,77	0,55-0,65-0,80
Balsa	0,05-0,12-0,41	0,06-0,13-0,43
<u>Bjerk</u>	0,46-0,61-0,80	0,49-0,64-0,82
Bøk	0,49-0,68-0,88	0,53-0,71-0,88
Hvitbøk	0,50-0,79-0,82	0,53-0,82-0,86
Eik	0,39-0,65-0,93	0,42-0,68-0,96
Svartor	0,45-0,51-0,60	0,48-0,54-0,63
Ask	0,44-0,68-0,91	0,47-0,71-0,93
<u>Gran</u>	0,30-0,43-0,64	0,33-0,46-0,67
<u>Furu</u>	0,30-0,49-0,86	0,32-0,51-0,88
Veimouthfuru	0,31-0,37-0,46	0,33-0,39-0,49
Lerk	0,40-0,55-0,82	0,43-0,58-0,84
Lind	0,32-0,49-0,56	0,34-0,52-0,59
Svartpoppel	0,37-0,41-0,52	0,38-0,44-0,55
Robinie	0,54-0,73-0,87	0,57-0,76-0,89
Edelgran	0,32-0,41-0,71	0,34-0,44-0,72
Alm	0,44-0,64-0,82	0,47-0,67-0,85

SIN
Importert vilt

g/cm³

tonn/m³

Faint, illegible text at the top of the page, possibly bleed-through from the reverse side.

Second block of faint, illegible text.

Third block of faint, illegible text.

Vallebona miadre
i l'esperance eun i
splintu.

25

Se forøvrig omtalen av de enkelte slekter (fra 2.1551 og utover) der volumvektene er angitt under forskjellige forhold.

2.15 Variasjoner i volumvekten.

2.151 Volumvekten hos vår- og sommerved.

2.1511 Bartrær.

Variasjonene i volumvekten med sommervedinnholdet beror på at sommerveden er mye tyngre enn vårveden. Vårvedcellene har tynne cellevegger og stor cellelumen i motsetning til de tykkveggede sommervedcellene. Nedenstående tabell viser at kvotienten mellom tørrvolumvekten hos sommerved og vårved varierer lite mellom treslagene. Når det likevel er til dels store variasjoner i volumvekten mellom treslagene, så skyldes det forskjellen i prosentisk sammensetning av vår- og sommerved.

Tabell 2. Middel tørrvolumvekt av vår- og sommerved hos noen bartrær og vektkontrasten. (KOLLMANN 1951).

Treart	r_0 Tørrvolumvekt g/cm ³		Vektkontrast=	2,5
	Vårved	Sommerved	$\frac{r_0 \text{ sommerved}}{r_0 \text{ vårved}}$	
<u>Pinus silvestris</u>				
Splint	0,36	0,90	2,5	
Kjerne	0,34	0,81	2,4	VINTILA
Sammenlagt	0,34	0,83	2,4	
<u>Picea abies</u>				
Lett ved	0,29	0,82	2,8	
Tung ved	0,33	0,91	2,4	TRENDELENBURG
Tennarved	0,41	0,67	1,6	
Abies alba	0,28	0,63	2,3	WAHLBERG
<u>Larix europea</u>				
Splint	0,35	0,88	2,8	
Kjerne	0,44	0,91	2,1	TRENDELENBURG
Sammenlagt	0,36	1,04	2,9	VINTILA

Fig. 4 viser at tørrvolumvekten øker tilnærmet lineært med økende sommervedprosent.

Bartrær

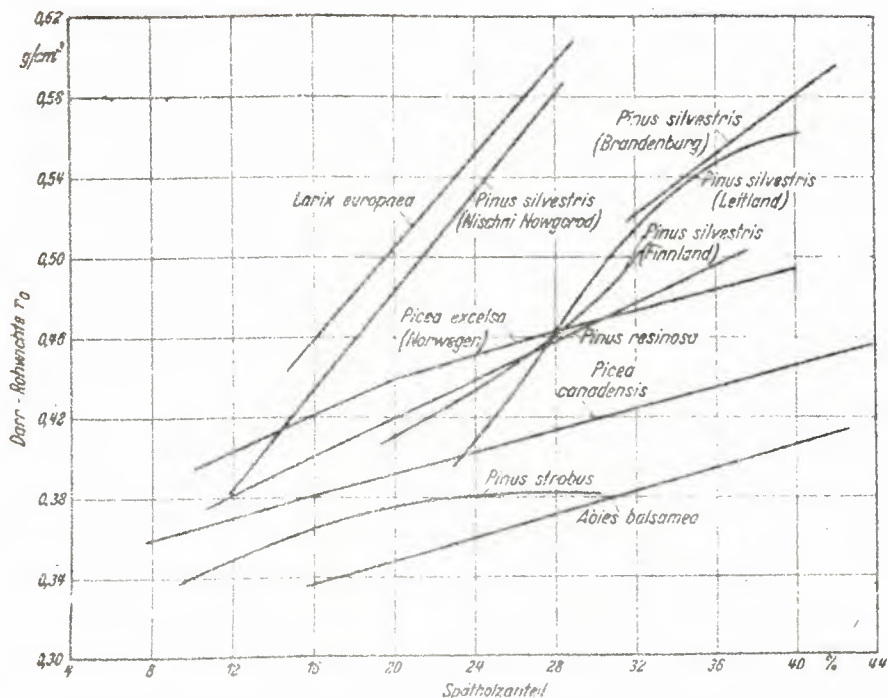


Fig. 4. Forholdet mellom sommervedprosent og tørrvolumvekt hos forskjellige bartrær. Etter JALAVA, KLEM, ROCHESTER, SAVKOV og TRENDELENBURG (KOLLMANN 1951).

2.1512 Lauvtrær.

Hos mange ringporete treslag, f.eks. eik, er det også forskjell på vårved og sommerved. Når det gjelder spredtporete treslag, er denne forskjellen ofte svært liten. Hos f.eks. poppel og selje spiller den praktisk talt ingen rolle. Forholdet går fram av nedenstående tabell som viser at kvotienten mellom tørrvolumvekten i sommerved og vårved varierer mellom 1,50 og 1,85 for 3 spredtporete treslag.

Økende tørrvekt med økende vårved

Tabell 3. Tørrvolumvekt av vår- og sommerved hos lauvtrær. Etter W.R. MULLER-STOLL (KOLLMANN, 1951).

Treslag	Tørrvolumvekt (middel)		Vektkontrast=
	Vårved	Sommerved	$\frac{r_0 \text{ sommerved}}{r_0 \text{ vårved}}$
Spredtporete			
Lønn	0,502	0,750	1,50
Bøk	0,502	0,935	1,85
Lind	0,361	0,566	1,57
Ringporete			
Eik	0,330	0,925	2,81
Ask	0,370	0,814	2,21

Handwritten note:
Klassen
ca. 2,5

Cellotypen har også innflytelse på volumvekten. Tørrvolumvekten øker med økende andel av libriformceller og trakeider i relasjon til kar, men spredningen er stor (TRENDELENBURG 1939).

Av nedenstående figur går det fram at tørrvolumvekten øker raskt med økende sommervedprosent i begynnelsen. Når sommervedprosenten er over 60, endres tørrvolumvekten lite.

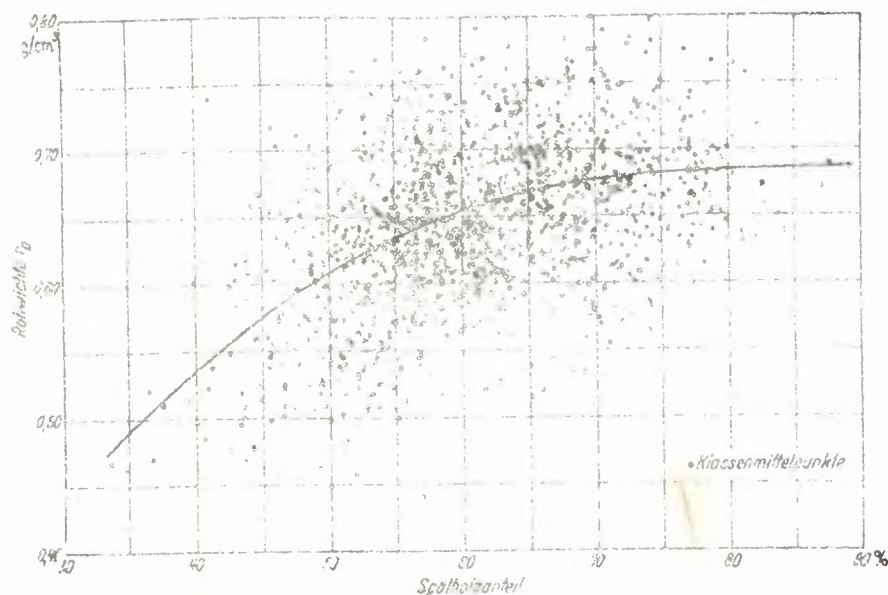


Fig. 5. Forholdet mellom sommervedprosent og tørrvolumvekt hos ask (*Fraxinus excelsior*). (KOLLMANN 1951).

[Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page]

Amgen

Ser vi på fig. 6 finner vi at tørrvolumvekten har et maksimalpunkt mellom 1 og 2 mm årringbredde hos furu og lerk. I fig. 7 finner vi slike maksimalpunkter for douglas og edelgran ved en årringbredde på noe under 1 mm.

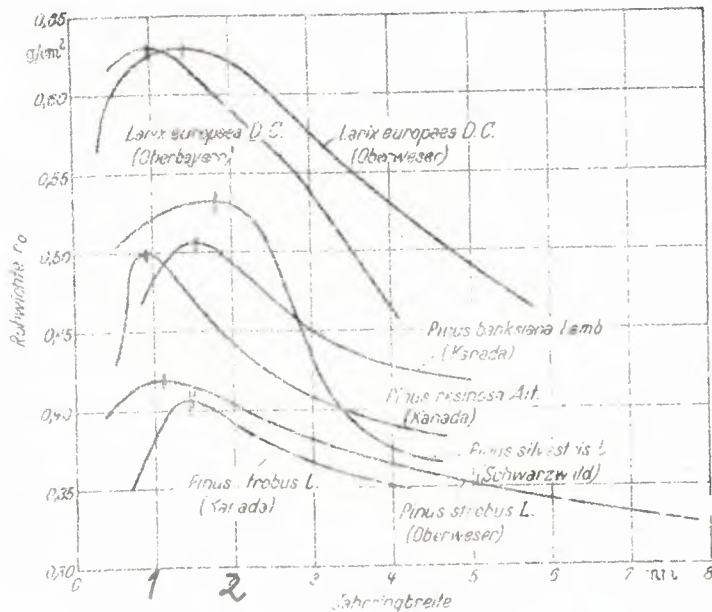


Fig. 6. Forholdet mellom årringbredde og tørrvolumvekt hos furu og lerk. Etter ROCHESTER og TRENDLENBURG. (KOLLMANN 1951).

2.152 Forholdet mellom tørrvolumvekt og årringbredde.

I praksis gjelder vanligvis hovedregelen at nåletrær med smale årringer er tunge og at lauvtrær med smale årringer er lette. Denne regel har innskrenket gyldighet. Hos nåletrær avtar volumvekten med økende årringbredde når denne er mer enn 1-2 mm. Er derimot årringene mindre enn 1-2 mm forholder de ulike treslagene seg forskjellig. Hos lauvtrær er det fastslått forskjell mellom ring- og spredtporete treslag. Bare hos de ringporete stiger vanligvis volumvekten med årringbredden, men det er også her mange avvikelser.

2.1521 Bartrær.

Av fig. 7 går det bl.a. fram at tørrvolumvekten avtar med økende årringbredde hos gran, dvs. kurveforløpet viser ingen topp.

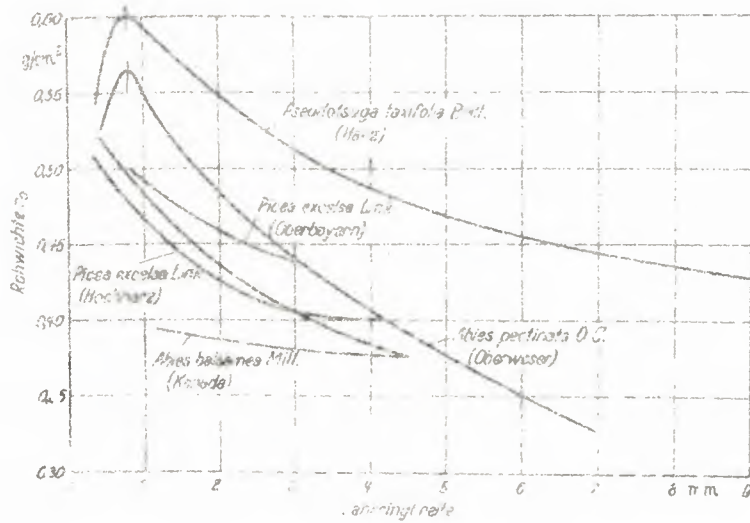


Fig. 7. Forholdet mellom årringbredde og tørrvolumvekt hos douglas, gran og edelgran. Etter ROCHESTER og TRENDELENBURG (KOLLMANN 195

2.1522 Lauvtrær.

Fig. 8 viser at volumtettheten øker med økende årringbredde hos ringporete treslag.

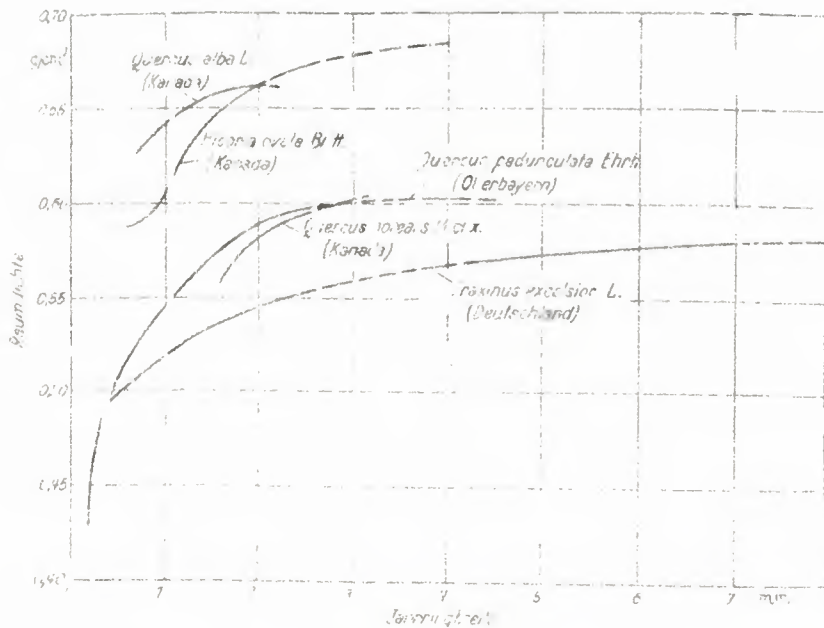


Fig. 8. Forholdet mellom årringbredde og volumtetthet hos eik, ask og hickory. Etter KOLLMANN, ROCHESTER og TRENDELENBURG (KOLLMANN, 195

Dette gælder no (forvolum uelike).
Når det gælder friskvædet ^(no) er forholdet
omvendt, splinter er tyngre end
kjernen, f. g. a. et meget større
volumenhold.

Hos spredtporete treslag er det ingen tydelig sammenheng mellom årringbrede og volumtetthet (se fig. 9). Det er forøvrig få oppgaver over sammenhengen mellom årringbrede og volumvekt hos spredtporete treslag.

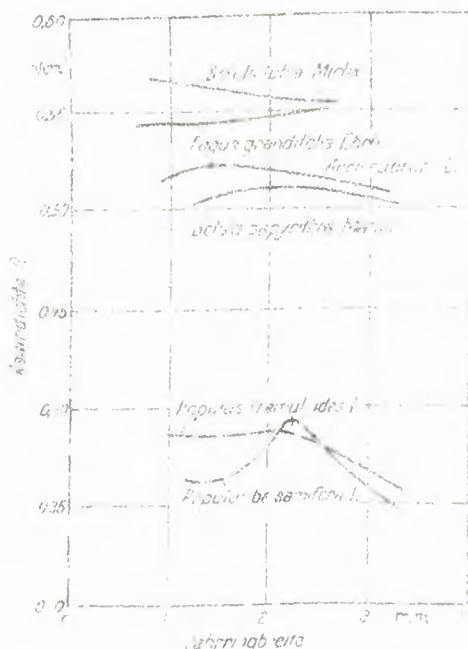


Fig. 9. Forholdet mellom årringbrede og volumtetthet hos bjørk, bøk og poppel. Etter ROCHESTER (KOLLMANN 1951)

2.153 Variasjon i volumvekten i stammens tverr- og lengderetning.

Innenfor stammen er det variasjon i volumvekten så vel i tverrsnittet som i lengderetningen. Volumvekten varierer fra marg til bark og fra røt til topp. Som regel er variasjonene i volumvekten mer utpreget i tverrretningen enn i lengderetningen. *Ells. Kjerneved - splint.*

Mange faktorer influerer på volumvekten, og en støter på vanskeligheter når en skal forsøke å spesifisere dem. Velger en f.eks. et punkt mellom margen og barken, så vil volumvekten i dette punktet avhenge av om det ligger i splinten, i kjernen, i vårveden eller i sommerveden.

Splinten er vanligvis lettere enn kjernen. Dette henger trolig bl.a. sammen med innleiringen av kjernestoffer i celleveggene eller av forskyvning av kjernestoffer til cellehulrommene.

Av nedenstående tabell går det fram at volumvekten hos douglas er en funksjon av både årringbrede og alder. Sammenligner en volumvekten av to like breie årringer fra forskjellige avstander fra margen, viser det seg at den årringen som ligger nærmest margen har lavest volumvekt.

Tabell 4. Volumvektvariasjoner hos like breie årringer av Douglasgran tatt i forskjellige avstander fra margen.
(RENDELE og PHILIPS 1958).

Årringbred- den i mm	Årringnr. fra margen	Volumtetthet	Årringnr. fra margen	Volumtetthet
3,8	9 - 14	0,39	26 - 28	0,50
4,3	10 - 14	0,41	27 - 32	0,49
5,1	3 - 5	0,37	34 - 38	0,46
5,7	3 - 7	0,40	28 - 33	0,46
7,6	3 - 6	0,36	22 - 25	0,49

Det er også påvist lignende relasjoner hos andre bartrær.

Fig. 10 viser volumvektvariasjonen i stammens lengderetning hos en del treslag. Kurvene danner gjennomsnittet av mange stammeanalyser, og skal være ganske typiske for hvert enkelt treslag.

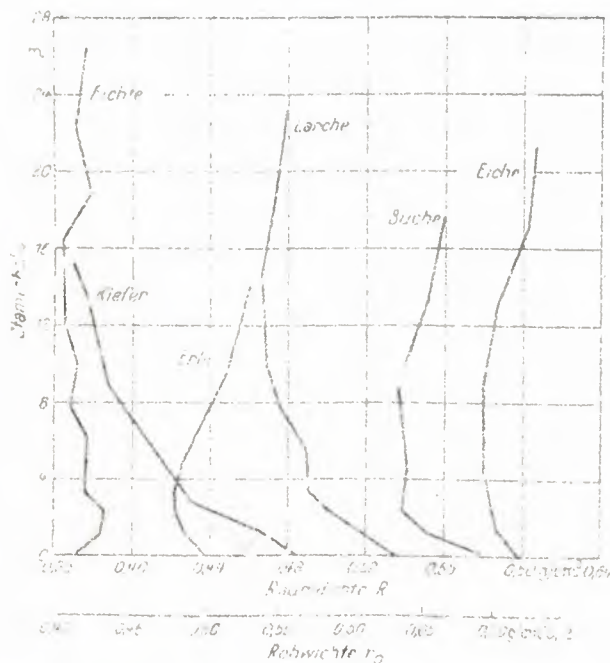


Fig. 10. Volumvektvariasjoner i stammens lengderetning hos gran, furu, or, lerk, bøk og eik. Etter TRENDLENBURG, GROSSLER, HARTIG og RAUNECKER. (KOLLMANN, 1951).

Av figuren går det bl.a. fram at volumtettheten er temmelig konstant i granas lengderetning, hvilket også ble funnet av BURGER (1953) i en undersøkelse av høyfjellsgran. Hos norsk fjellgran kom imidlertid KLEM (1934) fram til at tørrvolumvekten økte fra stubbeavskjæret mot toppen. For fjellskog på Østlandet (750 m.ø.h.) viser tabell 5 tørrvolumvekten i forskjellige stammehøyder.

Tabell 5. Forholdet mellom tørrvolumvekt, relativ stammehøyde og bonitet. (KLEM 1934).

GRAN,

Høyde i stammen	0,5 m	3,0 m	6,0 m	9,0 m	
Høy bonitet	0,371	0,379	0,413	0,429	$r_0, \text{ g/cm}^3$
Middels " <i>Øker ↓</i>	0,390	0,403	0,421	0,441	"
Lav " <i>Øker ↓</i>	0,399	0,423	0,446	0,482	"

NYLINDER (1953) har påvist at tørrvolumvekten hos gran stiger noe til ca. 10% av trehøyden, så avtar den svakt et stykke, hvorpå den stiger mot toppen. Hos furu avtar volumvekten sterkt fra rotavskjær og opp til ca. 10 m høyde, deretter noe svakere og ved 17 m høyde har furu omtrent samme volumvekt som gran.

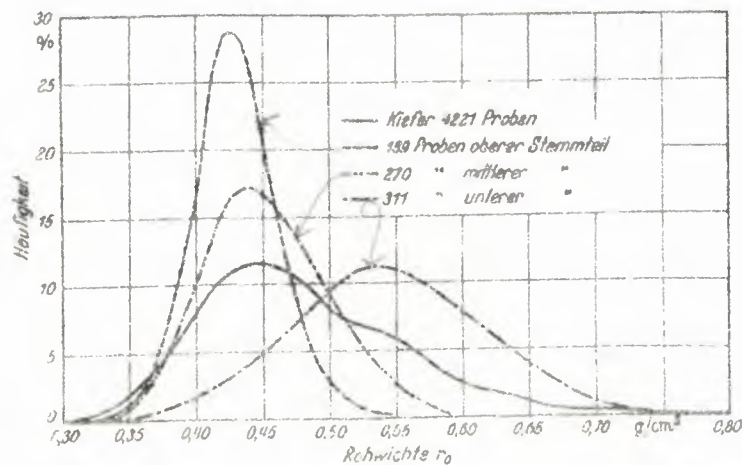


Fig. 11. Frekvensfordeling for tørrvolumvekten hos furu - totalt og i forskjellige stammehøyder (TRENDELENBURG 1939).

Fig. 11 viser at spredningen i tørrvolumvekten er størst i de nedre stam-
medeler, hvor også den gjennomsnittlige volumvekten er høyest.

Går vi tilbake til fig. 10 så finner vi at lerk gjennomgående er tyngre enn furu. Volumtettheten er minst på midten av stammen hos lerk, og den øker sterkt mot rota. Samme figur viser også at eik og or er tyngst i toppen av stammen, spesielt or. Hos bøk avtar volumtettheten fra stubbeavskjær mot midten for så å øke mot toppen. Lignende forhold er funnet hos ask.

MAYER-WEDELIN (1949) nevner at tørrvolumvekten hos osp øker jevnt fra rota mot toppen.

Når det gjelder bjørk er resultatene motstridende.

2.154 Forholdet mellom alder og volumvekt.

Fig. 12 viser at volumtettheten hos gran øker med treets alder inntil ca. 110 år for senere å avta. Middelvolumvektens variasjon må være et aldersfenomen fordi volumvekten varierer lite i stammens lengderetning hos gran.

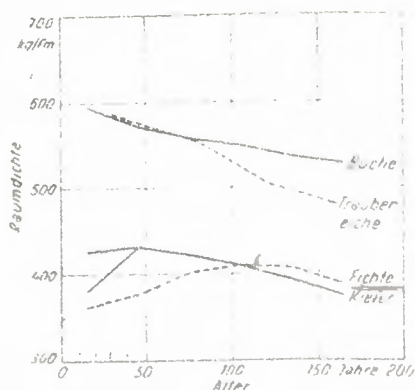


Fig. 12. Endring i middelvolumtetthet (R) hos gran, furu, bøk og eik. (TRENDELENBURG og MAYER-WEGELIN 1955)

Furua danner lett virke til omlag 30 års alderen. Så inntrer det kjerneveddannende prosesser med innleiring av harpiks m.m. og det oppstår en sekundær vektøkning, slik at den midlere volumvekten øker til en viss avstand fra margen. Ved høyere alder avtar gjennomsnittsvolumvekten på grunn av dannelse av lett ved i den øvre stammedelen.

Vi ser videre av fig. 12 at volumtettheten avtar med stigende alder hos bøk og eik. Når det gjelder andre treslag, er disse forholdene mindre undersøkt. Fig. 13 viser at volumvekten øker med stigende alder og avtar med stigende diameter hos svartgran.

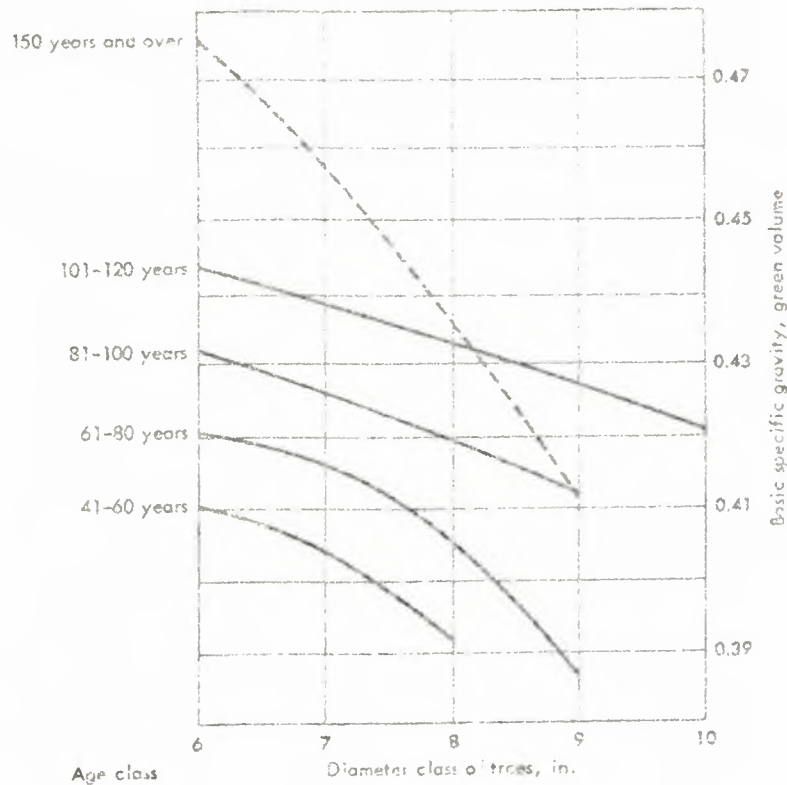


Fig. 13. Forholdet mellom volumvekt, alder og diameter hos svartgran (WANGAARD 1950).

2.155 Forholdet mellom volumvekt og voksested.

Variasjonen i volumvekt innenfor ett og samme treslag avhenger mye av voksestedet. Faktorer som jordbunn, hellingsgrad og klima m.fl., innvirker på mengden, beskaffenheten og anordningen av cellene. Således er det andre betingelser i høyereliggende strøk enn i lavereliggende, og likeledes er det forskjellige betingelser i nordlige og i sydlige strøk.

Miljø, fysiologiske og mekaniske innvirkninger kan variere i løpet av treets veksttid. Det er således et visst avhengighetsforhold mellom volumvekten hos ett og samme treslag og voksestedet. Likeså kommer genetiske variasjoner inn i bildet.

2.1551 Bartrær.

Granslekten. (Picea)

Vanlig gran (*P. abies*) reagerer merkbart på klimaendringene som følger

med varierende h.o.h.

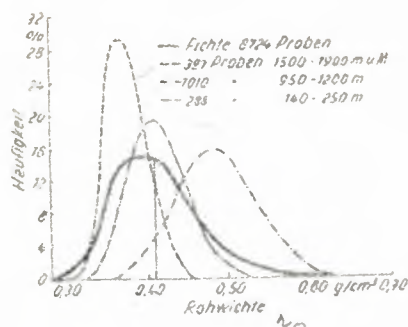


Fig. 14. Frekvenskurver for tørrvolumvekten (r_0) hos gran fra forskjellige høydeler. (TRENDELENBURG og MAYER-WEGELIN 1955)

Fig. 14 viser at den midlere tørrvolumvekten avtar med økende høyde over havet, mens spredningen blir mindre. Breddegraden virker omtrent på samme måten som høydeforskjellen. Ved samme høyde over havet, vil f.eks. granvirket være lettere i Norden enn i Syd-Europa. (det virker spredning)

Under forutsetning av samme bonitet, kan en vente at volumvekten vil avta fra klimaoptimum mot kaldere og varmere strøk. BURGER (1952 og 1953) fant at sveitsisk gran har en tørrvolumvekt på $0,46 \text{ g/cm}^3$ i høydeleret 900 - 1200 m.o.h. Under 900 m var tørrvolumvekten $0,43 \text{ g/cm}^3$, fra 1200 - 1500 m $0,42 \text{ g/cm}^3$ og i høydeleret over 1500 m var den $0,39 \text{ g/cm}^3$.

JANKA (1909) sier at når vekstforholdene ellers er like, vil en finne det tyngste virket på fuktig mark.

KLEM (1934) har undersøkt bonitetens innvirkning på granvirkets tørrvolumvekt (se tab. 6).

Tabell 6. Forholdet mellom granvirkets tørrvolumvekt (r_0) og bonitet. (KLEM 1934)

Bonitet	r_0 -spredning	r_0 -middel
Høy	309 - 535	404
Middels	401 - 554	447
Lav	388 - 556	443

Det går fram av tabellen at tørrvolumvekten er noe lavere på høy bonitet enn på middels og lav.

Vi kjenner jo til at grana vokser godt på god mark. Det dannes da relativt mye vårved som gjør at volumvekten blir lav.

Både fra lavlandsskog og fjellskog med samme årringbredde er det funnet store variasjoner i tørrvolumvekten. Ved mikroskopiske undersøkelser er det funnet at variasjonene hovedsakelig skyldes forskjellig trakeidestørrelse, forskjellig tykkelse av trakeideveggene og varierende sommervedprosent.

18 KLEM (1947) har satt den ^{r₀} midlere tørrvolumvekt hos vår gran til ca. 0,430 g/cm³.

Generelt kan en si at jo mindre utbredelsesområde et treslag har, desto mindre spredning vil en finne i tørrvolumvekten.

Edelgranslekten (Abies)

Edelgranslekten har relativt liten naturlig utbredelse og viser mindre spredning i volumvekten enn granslekten. TRENDELENBURG og MAYER-WEDELIN (1955) oppgir at edelgrana gjennomsnittlig er 3 - 10% lettere enn gran på samme voksested. Vanlig edelgran (*A. alba*) veier i gjennomsnitt 0,41 g/cm³. Nordmannsgran (*A. nordmanniana*), gresk edelgran (*A. cephalonica*), sibirisk edelgran (*A. sibirica*) og kjempeedelgran (*A. grandis*) har tilnærmet samme volumvekt som vanlig edelgran.

A. sachalinensis har relativt lett ved. YAZAWA (1936) oppgir volumvekten til 0,36 g/cm³.

Furuslekten (Pinus)

Tyngden synes å avta fra syd mot nord og med økende høyde over havet (se tab. 7).

Tabell 7. Volumvektvariasjoner hos furu, *Pinus silvestris*, fra forskjellige voksesteder. (TRENDELENBURG og MAYER-WEDELIN, 1955)

Voksested	Volumvekt: r_0 og R
Det nordlige utbredelsesområdet, i Sibir og i fjellskog i Mellom- og Sør-Europa	r_0 0,40 - 0,43 g/cm ³ R 360 - 380 kg/m ³
Middels høytliggende trakter i Finnland og Sverige - Mellom- og Syd-Europa	r_0 0,44 - 0,46 g/cm ³ R 390 - 410 kg/m ³
Områder med kontinentalt klima i Russland og Mellom- og Sør-Europa	r_0 0,47 - 0,49 g/cm ³ R 410 - 430 kg/m ³
Sørlige del av Finnland og Sverige samt enkelte trakter i Tyskland	r_0 0,49 - 0,51 g/cm ³ R 430 - 450 kg/m ³

I Sør-Europa finner en furuarter som har tungt og harpiksrikt virke, f.eks.:

P. nigra $r_0 = 0,57$ g/cm³
P. leucodermus $r_0 = 0,65$ g/cm³

Weymouthfuru (*P. strobus*) har lav tørrvolumvekt, 0,36 - 0,37 g/cm³, uansett om den vokser i Europa eller i N. Amerika (VOLKERT 1941, BROWN, PANGHIN og FORSAITH 1949).

Finske undersøkelser viser at det dannes mindre vedsubstans pr. volumenhet på god bonitet enn på lav (se tab. 8).

Tabell 8. Sambandet mellom bonitet og volumvekt hos furu, *Pinus silvestris*. (1 LASSILA 1930, 2 JALAVA 1934 og 3 SIIMES 1938).

Vegetasjonstype	Tørrvolumvekt, r_0 (g/cm ³), etter		
	LASSILA	JALAVA	SIIMES
Oxalis-Myrtillus	0,431	0,476	0,465
Myrtillus	0,444	0,487	0,477
Calluna	0,464	0,512	0,489

18) KLEM (1947) oppgir tørrvolumvekten hos vår furu til gjennomsnittlig $0,49 \text{ g/cm}^3$ ($0,31 - 0,62$). Furua vokser omtrent over hele landet på all slags jord. Den oppnår sin kvalitativt beste vekst på elvemoer o.l. hvor det er frisk fuktighet.

Douglasgranslekten (Pseudotsuga).

Douglas vokser i de vestlige deler av N. Amerika og er plantet i de fleste land i Europa. Vedens tyngde varierer som følge av sterkt varierende voksebetingelser. Den tyngste veden dannes der klimaet er varmt og fuktig. Hurtigvokst Douglasvirke er lettere enn furuvirke, mens sentvoksende Douglasvirke er tyngre enn vanlig furuvirke.

Nord-Amerika

Kyststrøk	R = 414 - 474 kg/m^3
Regnbelte mot fjellene	" = 390 - 430 "
Innlandsstrøk	" = 392 - 418 "

Tusen
Norge: 430 kg/m^3

Lerkeslekten (Larix)

Volumvekten er størst ved en årringbredde på ca. 2 mm. Hvis forholdene er gode, danner lerk brede årringer med relativt mye vårved og dermed løst virke. Lerk har rask ungdomsvekst som senere avtar ganske mye, slik at volumvekten øker med alderen. Unge bestand bør derfor holdes tette hvis en ønsker å få ensartet virke. I fjellskog er visstnok årringbredden nokså lik hos ung og gammel skog (BURGER 1945).

Europeisk lerk (L. decidua).

Høydslag 1500 - 1900 m : $r_0 = 0,49 \text{ g/cm}^3$

Lavere strøk av Alpene

og fjelltraktene i

Mellom-Europa: $r_0 = 0,60 \text{ g/cm}^3$

Japansk lerk (L. leptolepis)

Vokser fort i Europa og danner lett virke. I hjemlandet blir den omlag like tung som europeisk lerk.

Amerikanske lerkearter, L. occidentalis og L. laricina, og sibirisk lerk, L. sibirica, viser alle omtrent samme volumvekt som europeisk lerk, $0,55 \text{ g/cm}^3$.

2.1552 Lauvtrær.

Bjørkeslekten (Betula)

Sammenligner en virke med tilnærmet samme årringbredde, er det ikke funnet noen særlig forskjell i volumvekten mellom artene.

Nedenstående tabell tyder på at det kan være en tendens til avtagende volumvekt med økende breddegrad.

Tabell 9. Tørrvolumvekt hos lavlandsbjørk, *Betula verrucosa*, i forskjellige deler av Europa.

Sted	$r_o = \text{g/cm}^3$	Forfatter
Østerrike	0,67	LIEPINS (1933)
Tyskland	0,65	JANKA (1915)
Sør-Finnland	0,60	Etter SIIMES (TRENDELENBURG/ MAYER-WEDELIN 1955)

18 I Norge regner en med en gjennomsnittlig tørrvolumvekt på 0,61 g/cm³ både for *B. verrucosa* og *B. odorata* (KLEM 1947 og STEMSRUD 1964).

Oreslekten (Alnus)

Svartor (*A. glutinosa*) har en midlere tørrvolumvekt på 0,50 g/cm³ (0,38 - 0,58) (KLEM, 1947) og gråor (*A. incana*) 0,42 g/cm³ (0,35 - 0,55) (STEMSRUD, 1964).

For svartor på frisk og fuktig mark er det funnet at volumtettheten varierte fra 390 til 400 kg/m³. På tørr mark varierte derimot volumtettheten fra 450 til 500 kg/m³ (RAUNECKER, 1940).

Eikeslekten (Quercus)

Resultatene i tabell 10 tyder på at vintereik (*Q. sessiliflora*) er noe tyngre enn sommereik (*Q. robur*) ved samme årringbredde, spesielt når årringbredden er >1,2 mm.

Tabell 10, Volumvekt hos sommereik (*Quercus robur*) og vintereik (*Quercus sessiliflora*) ved samme årringbredde (JANKA 1925).

Årringbredde i mm	Tørrvolumvekt (g/cm^3)		Volumtetthet (kg/m^3)	
	Sommereik	Vintereik	Sommereik	Vintereik
0,8	0,590	0,590	510	510
<u>1,2</u>	0,644	0,670	550	570
1,6	0,670	0,712	575	612
2,0	0,680	0,742	593	638

Den midlere volumvekt behøver derimot ikke å være større hos vintereik enn hos sommereik. Vi ser også av tabell 10 at volumvekten øker med økende årringbredde. KLEM (1947) oppgir en midlere tørrvolumvekt for begge artene på 0,65 g/cm^3 (0,45 - 0,93).

I Sør-Europa er det en del eikearter med høy volumvekt, f.eks.:

Q. suber $r_0 = 0,91 \text{ g}/\text{cm}^3$

Q. pubescens $r_0 = 0,93 \text{ "}$

Q. ilex $r_0 = 0,97 \text{ "}$

Av nordamerikanske eikearter kan nevnes Q. borealis, Q. nigra, Q. palustris og Q. rubra. Volumvekten varierer mye mellom disse artene fordi de vokser under svært ulike forhold.

Poppelslekten (Populus)

I Norge finner vi osp (*P. tremula*), men ellers omfatter slekten ca. 30 arter.

Ospa danner tyngst virke innen poppelslekten, men i relasjon til annet lauvtrevirke er ospevirket lett. KLEM (1947) oppgir gjennomsnittlig tørrvolumvekt til 0,43 g/cm^3 . GØHRE (1960) oppgir en gjennomsnittlig tørrvolumvekt på 0,45 g/cm^3 (0,36 - 0,68).

Ellers kan nevnes at balsampoppel har lavest tørrvolumvekt innen poppelslekten (min. 0,21 g/cm^3).

Det er få undersøkelser over volumvektvariasjoner i relasjon til voksestedet hos poppelslekten.

2.16 Anskueliggjørelse av variasjonene i volumvekten.

Resultatene av fysiske målinger uttrykkes ved tall og diagrammer, og

det er mange måter å gjøre dette på. Ofte nøyer en seg med å beregne det aritmetiske middel og middelavviket. Ellers kan en også i praksis klare seg med middelverdien og laveste og høyeste enkeltverdi. (min-optimum)

For å anskueliggjøre måleresultatene ved hjelp av diagrammer, er det ofte vanlig å bruke frekvenskurver. Vi skal ikke gå nærmere inn på disse her, men bare kort nevne litt om klassebredden. Denne bør helst ikke velges vilkårlig. Har en f.eks. n prøver, så får en i klasser ved å sette:

$$i = 2 \cdot \sqrt[3]{n} \text{ (empirisk formel)}$$

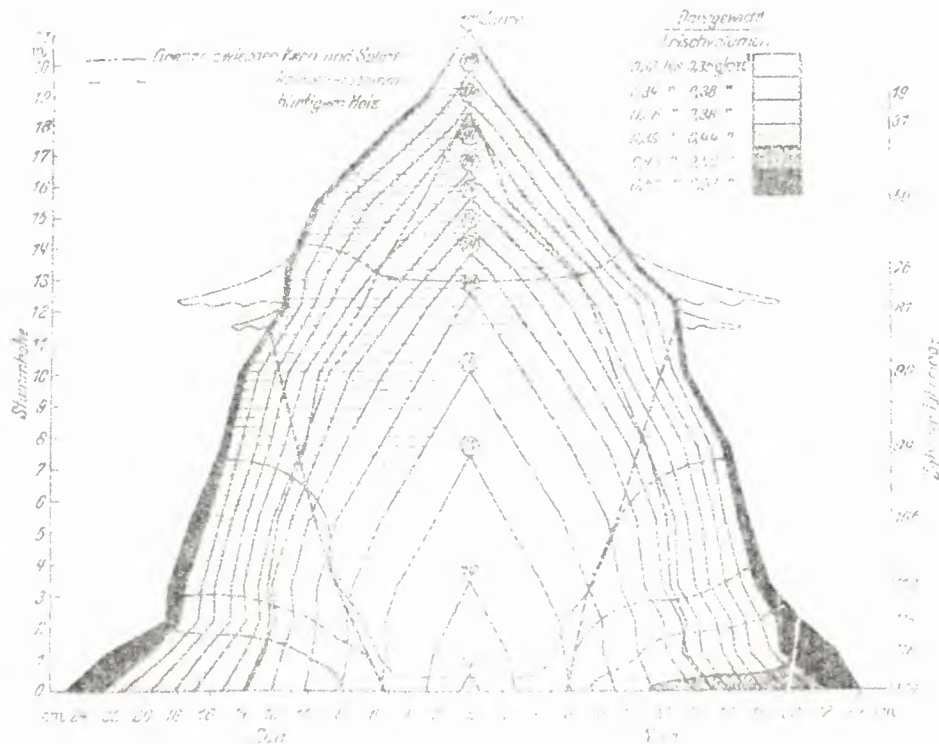


Fig. 15. Volumtettheten hos furu i forskjellige posisjoner i stammeplanet (TRENDELENBURG 1939).

I et kordinatsystem kan en tegne inn kurver for volumvektens variasjon innenfor trestammen (se fig. 15). En tenker seg først et plan gjennom trestammen. På ordinataksen avsetter en høyden, og abszisseaksen deles inn i cm til høyre og venstre ut fra et nullpunkt som representerer marginen. Derpå tegner en inn kurvene for volumtettheten som kommer til å ligge som koter i stammeplanet.

2.2 Vedsubstansens spesifikke vekt.

Celleveggssubstansens spesifikke vekt er lik:

$$\gamma_H = \frac{G}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Celleveggsubstansens spesifikke vekt:

G er vekten av volumet V. Cellehulrom og deres innhold er da ikke regnet med i volumet.

2.21 Grunnlag.

Celleveggsubstansens spesifikke vekt er større enn den spesifikke vekt av vann. Variasjonen i celleveggsubstansens spesifikke vekt er liten mellom treslagene. Og når vektene oppgis forskjellig av forskjellige forfattere, kan det også bl.a. skyldes måten som den spesifikke vekten er bestemt på. Vekter for en del treslag (WANIN, 1949):

Osp	1,560
Bjørk	1,560
Gran	1,555
Furu (kjerne)	1,535
Furu (splint)	1,550
Lerk (kjerne)	1,540
Lerk (splint)	1,550

1,5

I praksis er det oftest tilstrekkelig om en setter den spesifikke vekten av vedsubstansen til 1,5 g/cm³.

2.22 Bestemmelse av den spesifikke vekten av cellesubstansen.

Celleveggsubstansens spesifikke vekt (γ_H) kan bestemmes ved hjelp av den beskrevne formelen, eller ved å dyppe vedprøven i løsninger med forskjellig konsentrasjon og dermed også forskjellig vekt. Ved å bruke den første metoden, bestemmer en V ved hjelp av den fortrengte væskemengde. Når en dypper vedprøven i løsninger av forskjellig vekt og konsentrasjon, uttrykker cellesubstansens spesifikke vekt vekten av løsningen når treprøven svever i løsningen.

Når en bruker ovennevnte formel, bestemmer en volumet ved hjelp av pyknometer. En fyller f.eks. bensin av en bestemt vekt i pyknometeret opp til en bestemt delestrek, og veier. Vekten kaller vi for G_1 . Så fjerner en litt bensin fra pyknometeret og fører inn litt tremel med vekt G_2 . Vi ryster pyknometeret og da trenger bensinen inn i tremelet. Så fyller en på bensin til den tidligere nevnte delestreken og veier pyknometeret med tremelet og bensinen. Vekten kaller vi G_3 . Vekten av bensinen som er fortrenget av tremelet beregner vi ved hjelp av følgende ligning:

Dylens bensin G1

Tremet G2

Dylens bensin + tremet G3

$$G_b = G_1 + G_2 \div G_3$$

Volumet av den fortrenkte bensin er da:

$G = G_1 \div (G_3 \div G_2)$ = vekt for bensin

$$V_b = \frac{V_b}{G_b}$$

V_b er volumet av den fortrenkte bensin og $G_b = G_1 + G_2 \div G_3$ er vekten.

Volumet av det undersøkte tremet (V) uttrykker volumet av den fortrenkte bensin (V_b). Nå kjenner vi begge størrelsene for å bestemme celleveggs- substansens spesifikke vekt og setter inn:

$$\gamma_H = \frac{G}{H} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

V = H

Den andre metoden går ut på at en skjærer tynne snitt med mikrotom og legger snittene i løsninger av forskjellig konsentrasjon, f.eks. i saltpetersur kalk. Når de lufttomme tresnittene svever, er vekten av den undersøkte treprøven lik vekten av løsningen (HARTIG 1882).

En skal merke seg at den saltoppløsningen som trenger inn i de små hulrommene har større konsentrasjon enn resten av oppløsningen, slik at en får for høye tall. Dette gjelder også for vann, fordi vannet får høyere tetthet på grunn av kohesjonskrefter i hulrommene.

Bensin viser liten affinitet overfor cellulose. Den vil ikke trenge inn i de små hulrommene og en får for lave tall.

Helium med sin lave molekylvekt trenger lett inn i veden, og ved hjelp av helium kan en bestemme celleveggssubstansens spesifikke vekt temmelig nøyaktig. Det viser seg at når en bruker helium som fortrenkningsmiddel, får en tall som ligger mellom den spesifikke vekt bestemt med henholdsvis vann og bensin som fortrenkningsmidler.

18/

Nedenstående tabell viser at cellulose og lignin har forskjellig spesifikk vekt, og cellulosen er tyngst av de to komponentene.

$$\frac{(V_0 - V)}{V_0} \cdot 100\% = P_{\text{rel}} \quad V = \frac{G_0}{\gamma_H} = \frac{m_0 \cdot V_0}{\gamma_H}$$

$$P_{\text{rel}} = \frac{V_0 - \frac{m_0 \cdot V_0}{\gamma_H}}{V_0} = \left(1 - \frac{m_0}{\gamma_H}\right) \cdot 100\%$$

$$P_{\text{rel}} = \left(1 - \frac{m_0}{\gamma_H}\right) 100\%$$

$$V_0 = \frac{G_0}{\gamma_0}$$

$$\gamma_H = \frac{G_0}{V}$$

szilárdanyag szubsztanszus
specifikus velet.

Tabell 11. Vedsubstansens spesifikke vekt (STAMM og HANSEN 1937).

	i g/cm ³ bestemt ved fortrenkning av:		
	Helium	Vann	Bensin
Sagspon av gran	1,4603	1,5332	1,444
Bomull	1,585	1,6028	1,571
Gran - sulfitmasse, ikke malt	1,570	1,590	1,555
Gran - sulfitmasse, malt	1,593	1,616	1,578
Gran - lignin fremstilt ved H ₂ SO ₄ ...	1,377	1,399	1,366
Lønn - lignin fremstilt ved H ₂ SO ₄ ...	1,406	1,422	1,388

Treslag med høyt lignininnhold har lavere volumvekt enn treslag med lite lignin.

2.3 Porevolum.

2.31 Grunnlag.

I den tropiske del av Amerika finner en balsatre (Ochroma lagopus) som er det letteste handelstre i verden, med en tørrvolumvekt som varierer fra 0,05 - 0,41 g/cm³. Porevolumet kan utgjøre over 90%. Guaiacum officinale kan ha en tørrvolumvekt på over 1,40 g/cm³ og dermed et porevolum mindre enn 7%. Celleveggsubstansens spesifikke vekt ligger hos alle treslag praktisk talt ved 1,5 g/cm³. De forskjellige verdier av råvolumvekten må føres tilbake til treslagenes porevolum. Med porevolum forstår en summen av alle cellehulrom, unntatt spalter og hull mellom micellene i celleveggen. Kjennskapet til porevolumandelen er av stor betydning, f.eks. når en skal finne den maksimale andelen av fritt vann, opptak av forskjellige væsker, vanninnholdets betydning for flyteevnen osv.

2.32 Bestemmelse av porevolumet i vannfritt og rått trevirke.

Andelen av masse (m) av tørt trevirke bestemmes i %.

$$m = \frac{r_o}{\gamma_H} \cdot 100 (\%)$$

Porevolumet hos vannfri ved (u = 0) får en av følgende ligning:

$$P_{u=0} = (1 \div m) \cdot 100 = (1 \div \frac{r_o}{\gamma_H}) 100 (\%)$$

$$\text{Velikost nov
vazny} = u \cdot G_0 = \text{vazny}$$

$$P_{u=0} = \left(1 - \frac{R \cdot u}{R_H}\right) \cdot 100\%$$

$$= \underline{\underline{(1 - 0,662 \cdot 0,2) \cdot 100\%}}$$

$$P_{u \leq 21} = \frac{V_u - V - u \cdot G_0}{V_u}$$

$$= \frac{\frac{G_0}{R} - \frac{G_0}{R_H} - u \cdot G_0}{\frac{G_0}{R}}$$

$$= \underline{\underline{1 - \frac{R}{R_H} - u \cdot R}}$$

Når en antar at $\gamma_H = 1,5$ for alle treslag og setter dette uttrykket inn i ovennevnte formel, får en:

$$P_u = 0 = \left(1 \div \frac{r_0}{1,5}\right) 100 = (1 \div 0,667 \cdot r_0) \cdot 100 (\%)$$

Vi ser at porerommet avtar når tørrvolumvekten øker og omvendt. Hvis det er nødvendig, kan en bestemme celleveggsubstansens spesifikke vekt (γ_H) for hvert enkelt treslag.

Porerommet hos rått trevirke får en av differansen mellom totalvolumet og cellevegg + vannvolum.

Er vanninnholdet (u) mindre enn 25%, får en følgende ligning:

$$P_{u < 25} = 1 - \frac{r_0}{1 + r_0 \cdot u} \cdot (0,65 + u)$$

For trevirke med et vanninnhold større enn 25% får en:

$$P_{u > 25} = 1 - \frac{r_0}{1 + 27 \cdot r_0} \cdot (0,65 + u)$$

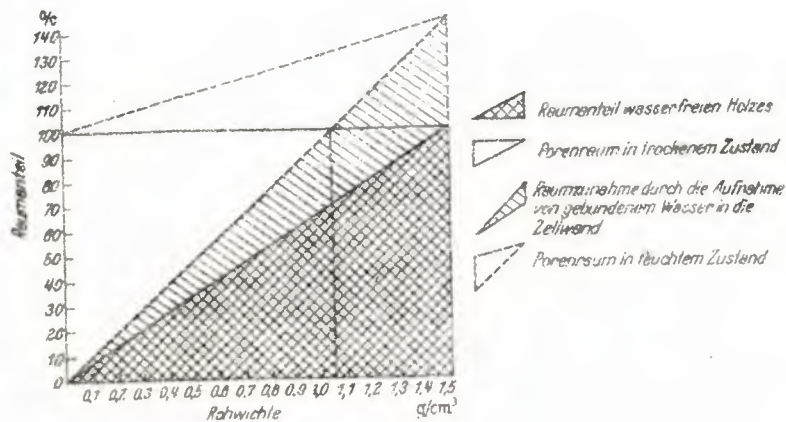


Fig. 16. Forholdet mellom porevolum i tørr og rå tilstand, volumandel av vannfritt trevirke og volumvekten (TRENDELENBURG 1939).

Figur 16 gir ikke et helt korrekt bilde av volumendringen. Den forutsetter at porevolumet er uforandret ved fuktighetsvariasjoner under fibermetningspunktet, men når vanninnholdet øker fra 0 til fibermetningspunktet, oppstår det en indre svelling av vedsubstansen, slik at porevolumet avtar.

I følge STAMM (1938) kan en beregne porevolumet hos rått trevirke ved hjelp av følgende formel:

Stammes formel:

$$\frac{d}{dx} = \frac{d}{du} \cdot \frac{du}{dx}$$

Porovolumen - hier mit $\frac{du}{dx}$

*delvis med cellulosefibrillenes oppsugningsevne
 delvis av hygroskopisk vann delvis med spes. vekt & vol.
 - 31 -
 vol. av vannet, fibervegg.*

STAMM'S
formel:

$$C' = 1 - R' \left(\frac{1}{\gamma_H} + \frac{u_h}{\rho_s} + \frac{u_k}{\rho} \right) \text{ i hundredels cm}^3$$

$$R' = \frac{G_0}{V_u}, \quad u \begin{cases} \geq 33\% \\ < 33\% \end{cases}$$

vol. av frie vannet.

- u_h = hygroskopisk vann i g over tørrvekt
- u_k = kapillært vann i g over tørrvekt
- ρ_s = midlere spesifikke vekt av hygroskopisk vann
- ρ = vannets spesifikke vekt ved måletemperaturen

Bundet vann har større spesifikke vekt enn fritt vann på grunn av adhesjonskreftene som virker mellom vannet og veden.

Ved en temperatur på 25°C fant STAMM (1938) følgende verdier for den spesifikke vekt av hygroskopisk bundet vann.

u_h	0,00	0,10	0,20	0,30	0,35
ρ_s	1,30	1,20	1,144	1,112	1,101

Fiberveggens plet. har også betydning for oppgitt bet.

Fig. 17 viser hvordan porevolumet endres med vanninnholdet og volumvekten.

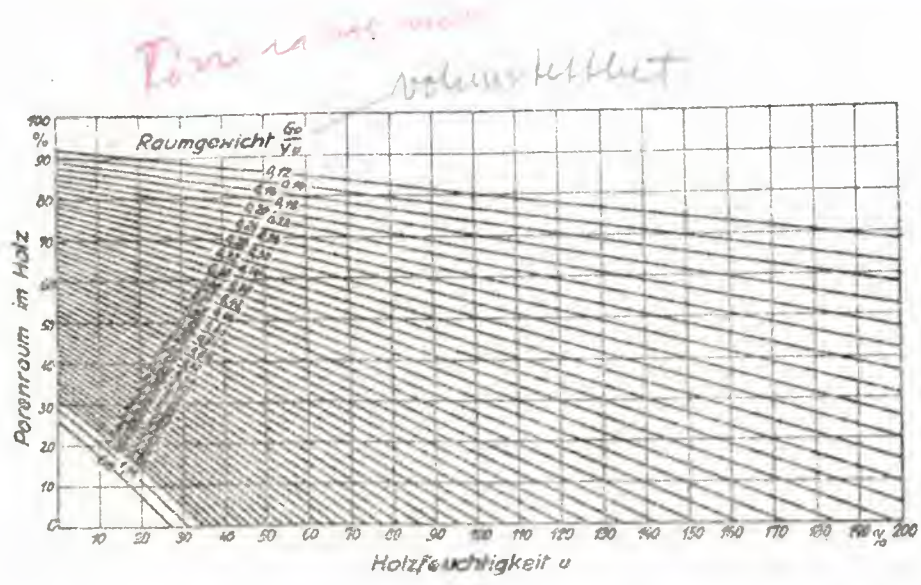


Fig. 17. Forholdet mellom porevolum, volumvekt og vanninnhold. Etter MACLEAN (VORREITER 1949).

Vårved har naturlig nok større porevolumprosent enn sommerved. Av tabell 12 går det fram at porevolumet er nesten dobbelt så stort hos vårveden som hos sommerveden.

Tabell 12. Porevolum og cellesubstans hos vår- og sommerved av friskt virke (VINTILA 1939).

Treslag	Vårved		Sommerved	
	Cellesubstans %	Porevolum %	Cellesubstans %	Porevolum %
Douglasgran	26,0	74,0	62,4	37,6
Furu	30,8	69,2	63,8	36,2
Lerk	36,1	63,9	77,8	22,2
Edelgran	25,6	74,4	50,6	49,4

2.4 Flatevekt og volumvekt av finér, trefiber-, spon- og møbelplater.

Som flatevekt betegner en vekten pr. flateenhet, til forskjell fra vekten pr. volumenhet som kalles volumvekt. En betegner flatevekten med G_f , vekten av platen definert under bestemte klimaforhold for G_n ,

flaten av platen under samme klimaforhold for F_n ,

volumvekten med r_n

og volumet av platen under samme klimaforhold med V_n .

Da får en følgende betegnelser:

$$G_f = \frac{G_n}{F_n} \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad \text{og} \quad r_n = \frac{G_n}{V_n} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

For prøving av flatevekt og volumvekt gjelder bestemte normer. Trefiberplater bestemmes v.h.a. kvadratiske prøver med sidelengde 150 mm, og sponplater bestemmes i ferdigstørrelse, eller v.h.a. kvadratiske prøver med 100 mm sidelengde. Prøvene veies med 0,1 grams nøyaktighet, og sidelengdene bestemmes med 0,1 mm nøyaktighet. Når det gjelder sponplater i ferdigstørrelse, klarer det seg med å bestemme sidelengdene med en nøyaktighet av 1 mm. Tykkelsen blir fastsatt på fem forskjellige steder for hver prøve, - ett sted midt på platen, og fire steder med en avstand av 25 mm fra endene. For å bestemme volumet av platen under bestemte klimaforhold, bruker en middelverdien for tykkelsen av de fem målingene. Tykkelsen av sponplater og porøse fiberplater bestemmes med 0,1 mm nøyaktighet, mens andre fiberplater bestemmes med 0,01 mm nøyaktighet. Bestemmelsen av flatevekten og volumvekten for finér og møbelplater kan skje på samme måten som for spon- og trefiberplater. Prøverapporten må inneholde:

For finér: Treslag, antall, tykkelse, limart, lagerbetingelser, prøveresultater av minst tre forsøk og vanninnholdet.

For møbelplater: Midtlagenes art, tykkelsen av midtlagene og sperrefinéren,

limart, lagerbetingelser, prøveresultater fra minst tre forsøk og vanninnholdet.

Sammendrag.

Trevirkets volumvekt er vekten pr. volumenhet som også innbefatter hulrom med deres innhold. (I praksis er vekt og tetthet det samme, derimot ikke i fysikken, hvor begge begrepene dessuten blir atskilt gjennom måleenhetene. Volumvekten uttrykkes i teknisk målesystem i pond/cm^3 , tettheten i CGS-system i g/cm^3 .)

Trevirkets volumvekt er et godt kjennetegn for nesten alle dets egenskaper. Alt etter vanninnholdet, skiller en mellom flere arter av volumvekt. Av disse er tørrvolumvekten og volumtettheten de sikreste og mest innvendingsfrie målestokker for volumvekten av trevirke. Tørrvolumvekten er vekten pr. volumenhet av trevirke som er tørket i tørkeskap ved 103°C til vekten er konstant, dvs. vanninnholdet er 0. (Volumtettheten sier oss bl.a. hvor mange kg fullstendig tørr tresubstans det er i en m^3 tømmer.) De enkelte arter av volumvekter kan omregnes på forskjellige måter. Størrelse og form av treprøven for bestemmelse av volumvekten er ikke normert. Når en oppgir volumvekten, er det ønskelig å oppgi det midlere antall årringer, hos furu og lerk også høstvedinnholdet. Etter DIN 52 182 skal volumvekten bestemmes både i fullstendig tørr tilstand og ved et vanninnhold på 12%. I praksis blir volumvekten vanligvis bestemt enten etter den stereometriske metoden, fortrengingsmetoden eller oppdriftsmetoden. Ved den stereometriske metoden bestemmer en vekten ved veiing og volumet ved beregning, mens en ved fortrengingsmetoden bestemmer volumet ved hjelp av en fortrengt væskemengde, vanligvis kvikksølv.

Volumvekten varierer så vel innenfor treslaget som innenfor stammen. I stammens tverr-retning varierer volumvekten etter som målepunktet refererer seg til splint eller kjerne, til vårved eller somerved osv. Årringbredden danner ingen sikker målestokk for å bestemme volumvekten. Volumvekten varierer i stammens lengderetning. Den gjennomsnittlige volumvekt for ett og samme treslag avhenger også mye av miljøet på voksestedet.

Resultatene fra fysiske målinger fremstilles med tall og diagrammer. Til praktisk bruk klarer det seg om en beregner middelveiden og angir høyeste og laveste verdi, eventuelt også middelavviket. Vil en framstille resultatene i diagrammer, er det mest vanlig å bruke frekvenskurver.

Betegnelsene lett, middels tung osv. som ofte blir brukt, er ikke til-

strekkelige uttrykk for volumvekten av trevirke. En må angi volumvekten med tall.

Til forskjell fra volumvekten, har en celleveggs substansens spesifikke vekt som er vekt pr. volumenhet av tre fritt for hulrom og deres innhold. For praktisk bruk klarer det seg om en setter den til 1,5 g/cm³.

Volumet av celleveggs substansen (tremel eller mikrotomsnitt) kan bestemmes enten ved hjelp av en fortrenget vaskemengde eller ved å legge prøven (mikrotomsnitt) i løsninger med forskjellig vekt.

De forskjellige verdier av volumvekten mellom treslagene henger sammen med den forskjellige andelen av cellevegger og porerom. Kjennskapet til porerommet har stor betydning for å løse forskjellige problemer i teknologien.

Ved finér, trefiber-, spon- og møbelplater, snakker en om flatevekt ved siden av volumvekt,

3. Trevirkets påvirkning av væsker og damp.

I dette avsnitt skal en behandle trevirkets vanninnhold og variasjoner i vanninnholdet som bevirker endringer i trevirket, f.eks. krymping og svelling m.m.

3.1 Trevirkets vanninnhold.

Trevirkets vanninnhold uttrykkes i % av tørrvekten.

Betegner vi vekten av treprøven i fuktig tilstand med G_u , og vekten av treprøven i tørr tilstand med G_o , så er vanninnholdet:

$$\frac{G_u - G_o}{G_o} \cdot 100 (\%) = u$$

Veier f.eks. treprøven 50 gram i fuktig tilstand og 40 gram i tørr tilstand, så er vanninnholdet:

$$\left(\frac{50 - 40}{40} \right) \cdot 100\% = 25\%$$

Bruker en vekten i fuktig tilstand så blir vanninnholdet:

$$x = \frac{G_u - G_o}{G_u} 100 (\%)$$

Omregning til u:

$$u = \frac{x}{100 - x} \cdot 100 (\%)$$

I vårt talleksempel får vi da følgende verdier:

$$x = \frac{50 \div 40}{50} \cdot 100 = 20\% \text{ og for omregning til u:}$$

$$\frac{20 \cdot 100}{100 - 20} = 25\%.$$

Trevirkets vanninnhold har imflytelse på:

Trevirkets fysikalske egenskaper,
bearbeiding med verktøy,
den effektive varmeverdi,
cellulosekvalitet,
motstandsevne mot soppangrep,
tørkingen,
vannopptagelsen,
fargingen,
transportkostnadene m.m.

Vi skal i det følgende se mer på trevirkets vanninnhold i relasjon til bestemte fysikalske egenskaper.

Miceller: De molekylforb. som udgjør
byggestenene i en række vigtige
strukturer i organismen.
(Eks. muskelfibre, nervefjæder, celle-
vægge i planter, kloroplaster og stivelseskom.)

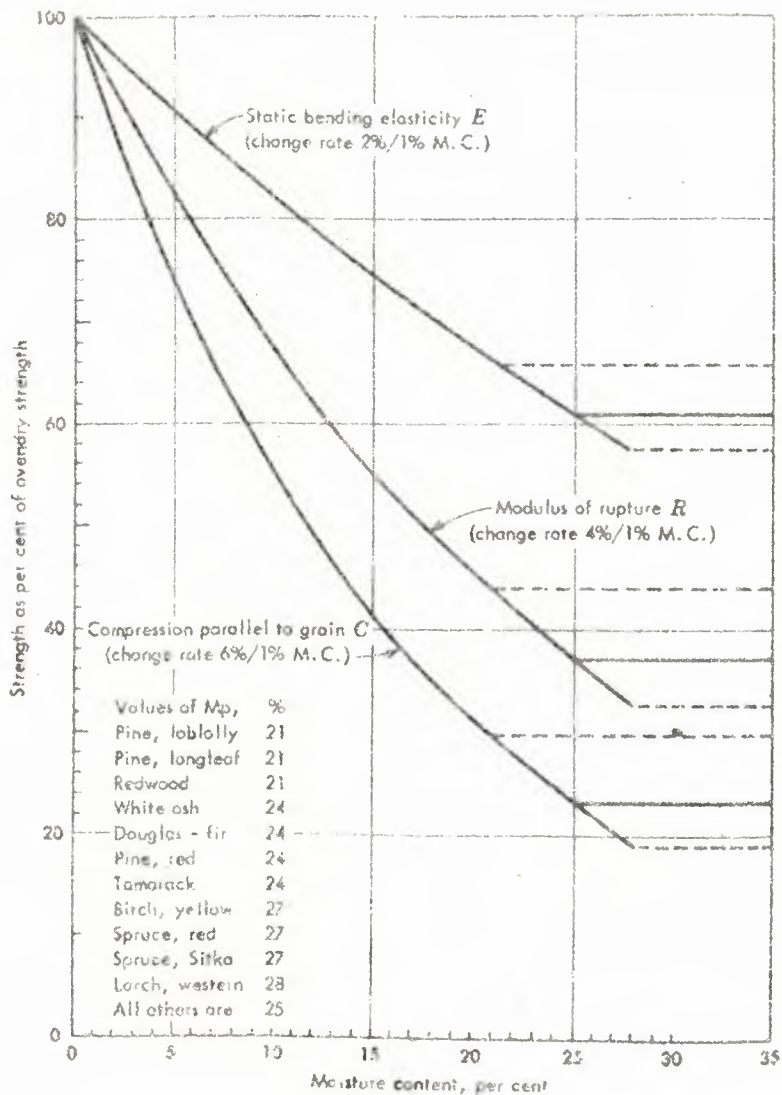


Fig. 18. Forholdet mellom trevirkets vanninnhold og en del styrkeegenskaper (WANGAARD 1950).

Egenskapenes variasjon med økende og avtagende vanninnhold er svært komplisert, og i det følgende vil de bare bli behandlet generelt.

3.11 Grunnlag.

Trevirke som er tørket ved 103°C er ikke som vanlig antatt i praksis fullstendig tørt, men inneholder omkring 0,5 - 1% vann.

Trevirke tar lett opp vann som lagrer seg mellom micellene. Micellene er små deler av celleveggen som en ikke kan se med vanlig mikroskop.

pektin:

Finner i mittblauden.
(Stivstoff) binder cellene sammen.
Gledemåte
Kullhydrat (ten. bygning med
kjeder galakturonsyre.

Hygroskopisk bundet / kolloidalt væske

$0\% < u < 6\%$: Kemosorption / absorption

$6\% < u < 15\%$: Absorptionskraft

$u > 15\%$: Kapillarkraft

Indlingsvæske

Vannet som er lagret mellom micellene, er bundet i kolloid form og benevnes som hygroskopisk bundet eller kolloidalt vann. Denne type av binding i celleveggene beror på den høye affiniteten mellom vann og cellulose, pektin og lignende stoffer som celleveggen er dannet av. Vi skal se litt mer på det bundne vannet.

Når vanninnholdet er mellom 0 - 6%, er vannet bundet i micellene ved hjelp av kjemiske reaksjoner mellom vannmolekylene og vedsubstansen. Reaksjonen kalles kjemisorpsjon eller absorpsjon (KOLLMANN 1951).

Når vanninnholdet ligger mellom 6 og 15%, er vannet bundet på micelleoverflaten ved hjelp av absorpsjonskrefter. En antar at overflaten er dekket med en tett vannkappe og at absorpsjonen oppheves når vanninnholdet nærmer seg 15%. Vannet inntar fra nå av plass i de små kapillarhulrommene og holdes fast ved hjelp av kapillarkrefter.

Vannmolekylene fordeles på en mer eller mindre bestemt måte mellom micellene, og molekularkreftene spiller en stor rolle ved absorpsjon. Det absorberte vannet får høyere spesifikk vekt enn det frie vannet, fordi det er ordnet mer regelmessig og dermed opptar mindre plass.

Micelleoverflaten består av cellulosemolekyler som har en del frie negative OH-grupper. Vannmolekylet derimot har dipolkarakter med positive H-atomer og negativt O-atom, omtrent som en liten magnetstav med positiv og negativ pol. Vannmolekylene ordner seg omkring micellenes negative OH-grupper, og det frigis energi i form av varme, såkalt svellingsvarme som alltid forekommer når tørt trevirke tar opp vann.

Intermicellarrommene har en diameter på ca. 10 \AA , mens et vannmolekyl måler ca. $2,5 \text{ \AA}$. Det er således ikke plass til mange vannmolekyler mellom micellene, men når nye vannmolekyler tilføres, sprenges micellene fra hverandre.

Micellene danner et sammenhengende system. Som følge av forskyvningen av micellene vil til slutt hele celleveggen utvides.

Vi skjønner at forutsetningen for at absorpsjonen skal komme i gang, må være at det finnes reaksjonsdyktige hydroksylgrupper. I micellekjernen er cellulosemolekylenes OH-grupper gjensidig mettet. På micelleoverflaten kan OH-gruppene delvis være bundet til micellekjernen og delvis til andre miceller når disse ligger tett inntil hverandre. Det er få frie OH-grupper som øyeblikkelig kan reagere med vannmolekylene, men etter hvert som absorb-

Vormingsmethode alle groep. met vammopptale
til d begrine med.

Fibermetningspunktet.

- bevirket mettet med
bundet vane.

Soopjow/soopjowd an bandings.

Hysterise.

sjonen skrider fram, vil avstanden mellom micellene øke og en del gjen-
sidig mettede OH-grupper frigis. Nye vannmolekyler kan dermed hekte seg
fast på de ledige valensene og cellene sveller.

Cellulosemolekylkjedene er ordnet mer eller mindre uregelmessig i micelle-
endene, og der finnes det mer frie OH-grupper enn på selve micelleover-
flaten. Der er også avstanden mellom molekylkjedene forholdsvis stor,
slik at absorpsjonen kan foregå uten at forløpet influerer på svellingen.
78 | Sammen med vannets volumkontraksjon virker dette slik at volumsvellingen
ikke er proporsjonal med vannopptagelsen i begynnelsen.

Er celleveggen tilnærmet mettet med vann, begynner cellehulrommene å fyl-
les. Det dannes da fritt eller kapillært vann. Når trevirket er met-
tet med bundet vann, sier en at en har nådd fibermetningspunktet. Vannet
i cellehulrommene er i virkeligheten ikke fullstendig fritt, fordi det er
bundet til celleveggene ved hjelp av kapillærkrefter. Når celleveggene er
mettet med bundet vann, og alle cellehulrommene er fylt med fritt vann,
har trevirket oppnådd sitt maksimale vanninnhold. Alt etter som trevirket
opptar eller avgir vanddamp til lufta, snakker en om sorpsjon og desorb-
sjon. *opptak* *avgiv*

3.12 Trevirkets opptak av væske og damp.

Innenfor det hygroskopiske området, dvs. under fibermetningspunktet, opp-
tar trevirket vanddamp fra lufta inntil det oppstår likevekt mellom vann-
innholdet i trevirket på den ene siden og den relative luftfuktigheten
og temperaturen på den andre siden. Ved desorpsjon ligger fuktighets-
likevekten (ved ellers like betingelser) noe høyere enn ved sorpsjon.
Denne forskjellen kalles for hysterese.

Trevirkets vanninnhold stiger med økende relativ luftfuktighet, henholds-
vis med avtagende lufttemperatur. Hygroskopisiteten hos trevirke beror
på kjemosorpsjon, absorpsjon og kapillær kondensasjon. Ved kjemosorpsjon
er vanddampmolekylene bundet til trevirket i de ytre sjikt eller i hele
virket ved hjelp av molekyllære tiltrekningskrefter. Ved absorpsjon blir
dampen i den indre treoverflaten fortettet uten at det inntrer en kjemisk
reaksjon. En snakker om kapillær kondensasjon når dampen i cellehulrom-
mene fortettes.

En bestemt verdi av den relative luftfuktigheten og lufttemperaturen ut-
trykker, etter de hygroskopiske likevekts- eller fuktighetslikevektsset-
ningene, en bestemt verdi av trefuktigheten, og i litteraturen er tallrike

The following text is extremely faint and illegible due to low contrast and blurring. It appears to be a list or series of notes, possibly related to a scientific or technical study.

Vann og tappe

- krevst langt
- mest krevst

tabeller satt opp for disse forholdene (se fig. 19).

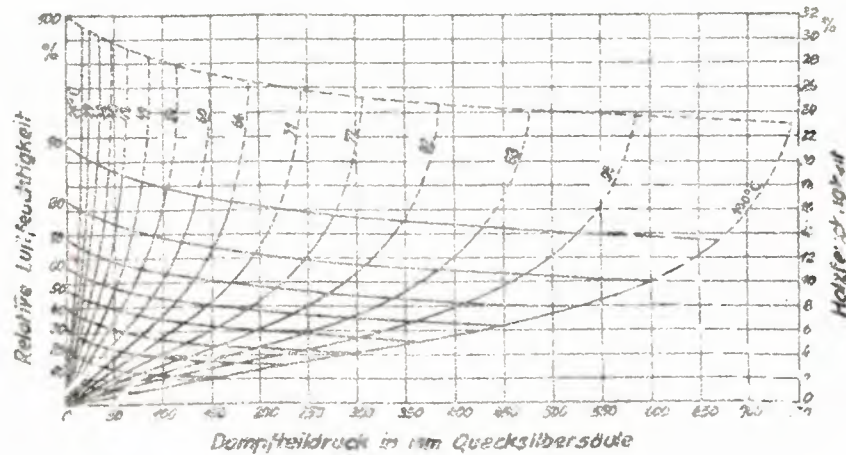


Fig. 19. Fuktighetslikevektskurver for gran. Etter LOUGHBOROUGH (VORREITER 1949).

Således er vanninnholdet i trevirke i et rom med temperatur 20°C og 65% relativ luftfuktighet 12%.

I innelukkede rom med sentraloppvarming innstiller vanninnholdet hos trevirke seg på 8 - 10%, ved vanlig ovnsvarme 10 - 13%. Dette betyr at møbelvirke som skal brukes i sentralfyrte rom må bearbeides ved et lavere vanninnhold enn trevirke som skal brukes i rom med ovnsfyring. Ellers kan det oppstå krympingsforstyrrelser som kan være svært uheldige.

Trevirke opptar ikke bare vanndamp, men også damper av andre væsker. Opp-taket kan variere med forskjellige ytre betingelser. Således opptar tre-mel xyloldamp (ved ellers like betingelser) i mindre mengder enn vanndamp.

Ved opptak av fuktighet fra den omgivende lufta, trenger vannet først inn i de ytre sjiktene. Dermed oppstår et fuktighetsfall fra de ytre til de indre sjikt av trevirket. Hastigheten av vannopptagelsen avhenger på den ene siden av trevirket selv, og på den andre siden av visse egenskaper hos vannet. Manglende vannavstøtende stoffer i cellevevet, større tverrsnitt og liten volumvekt fremskynder vannopptagelsen, likeså høyt vanntrykk.

Vannopptagelsen går hurtigst i fiberretningen og senest i tangentialretningen. Fuktighetsfallet utjevner seg når trevirket nærmer seg det maksimale vanninnholdet. Den nødvendige tiden for å nå dette punktet, avhenger av forhold som tverrsnittsflaten i relasjon til lengdeflatten osv. Det

$$R_{vu} = \frac{G_{00}}{V_u}$$

$$R = \frac{G_0}{V_u}$$

$$R_{00} = \frac{G_0}{V_0}$$

$$R_H = \frac{G_0}{V}$$

$$V = \frac{G_0}{R_H} = \frac{G_0 V_0}{R_H}$$

$$u_k = \frac{V_0 - V}{V_0} \cdot \frac{1}{R_{00}}$$

~~$$u_k = \frac{V_0 - V}{V_0} \cdot \frac{1}{R_{00}}$$~~

$$= \frac{1 - \frac{V}{V_0}}{R_{00}}$$

$$= \frac{1 - \frac{R_H V_0}{R_{00} V_0}}{R_{00}}$$

$$= \frac{1 - \frac{R_H}{R_{00}}}{R_{00}}$$

$$R_{00} = \frac{G_0}{V_0}$$

u_k - koeficient uštev. z roves tovarnit

$$u_k = \frac{(V_0 - V) \text{ m}^3 \cdot 1 \text{ g/m}^3}{G_0 \text{ g}} = \frac{V_0 - V}{R_{00} \cdot V_0} = \frac{1 - \frac{V}{V_0}}{R_{00}}$$

høyest mulige vanninnhold (u_{max}) beror på mengden av bundet vann i celleveggene (fibermetningsvanninnholdet, u_F) og innholdet av fritt vann:

$$u_{max} = u_F + u_k$$

I praksis bruker en ofte å sette $u_F = 0,28$ (relativt tall) uavhengig av treslaget, mens u_k beregnes av følgende formel:

$$u_k = \frac{1,50 \div r_o}{1,50 \cdot r_o}$$

Ved å sette inn verdier for henholdsvis u_F og u_k , får en følgende ligning:

$$u_{max} = 0,28 + \frac{1,50 \div r_o}{1,50 \cdot r_o}$$

Det høyeste vanninnhold (u_{max}) hos furu blir etter denne formel 165% når en regner med at $r_o = 0,49$ (g/cm^3). For balsa får en tilsvarende 794% når $r_o = 0,12$ (g/cm^3). r_o kan også beregnes på en enklere måte. Når en erstatter r_o med R, får en:

$$u_{max} = \frac{1,50 \div R}{1,50 \cdot R}$$

R = volumtettheten.

Cellens substansens vol.

$$\frac{1 \div \frac{r_o}{1,5}}{r_o} = \frac{1,5 - r_o}{1,5 \cdot r_o}$$

1 m³ luftvike

deler på r_o for å få %

del på 1,5

3.121 Bestemmelse av vannopptagelsen.

Vi kan ta for oss vannopptagelsen hos trefiberplater. Prøvestørrelsen er 150 mm · 150 mm, og prøvene blir liggende 24 timer i destillert vann ved en temperatur på 20°C ± 1°. Vekten før platen legges i vann kalles for G_n , og vekten etter for G_v . Det absolutte vannopptaket, $G_v - G_n$, bestemmes enten ved hjelp av vekten (G_n) eller ved hjelp av volumet (V_n) før vannleggingen. I det første tilfellet snakker en om vektsmessig (V_g), i det andre tilfellet om volumetrisk relativt vannopptak (V_v).

$$V_g = \frac{G_v - G_n}{G_n} \cdot 100\%$$

og

$$V_v = \frac{G_v - G_n}{V_n} \cdot 100(\%)$$

Lagringen går slik for seg at den øvre kanten av den loddrett lagrede platen kommer 25 mm ± 1 mm under vannspeilet. Prøvene blir lagt på en glassrist uten kanbeskyttelse og blir belastet for å hindre oppdrift. Prøvene blir hengende i 10 min. for at vannet kan renne av, og en tørker

Arbeidsgiv av fibermetrisprøvetest:

- Mechaniske egenskaper
- elektriske
- Termiske

1) Treverket lagres i luft av 100% fuktighet (eller noe under)

kantene med filterpapir. Hvis det er nødvendig, kan målingene bli foretatt etter 2, 3, 5, 10 og 28 dager.

For prøverapporten er det tilstrekkelig å beregne middelveiden av tre prøver, og dessuten angi minste og største verdi.

Mellom størrelsen av vannopptagelsen i plater som er fri for bindemidler og slike som har bindemidler, er det ingen vesentlig forskjell. Bindemidler og vannavstøtende impregneringsstoffer har bare en utsettende virkning på vannopptagelsen.

3.122 Bestemmelse av vandampopptagelse.

Bestemmelsen av vandampopptagelsen skiller seg fra bestemmelsen av vannopptagelsen ved at platene holdes i en avstand av $50 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ fra vannflaten i et lufttett rom med $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$. Platene ligger med flatsiden mot vannet, og vekten måles umiddelbart etter at en tar ut prøvene.

3.13 Fibermetningspunktet og dets bestemmelse.

I praksis spiller fibermetningspunktet en stor rolle. Mens trevirkets egenskaper over fibermetningspunktet praktisk talt er konstante, forårsaker endring i vanninnholdet under fibermetningspunktet at trevirket krymper og sveller. De mekaniske egenskapene så vel som de elektriske og termiske ledningsegenskaper hos trevirket, forandres når vanninnholdet endres under fibermetningspunktet. Setter en av forholdet mellom svelling og vanninnhold i en kurve (se fig. 24), så viser den ikke noen skarp overgang, men en jevn senking. På kurven kan en ikke angi det nøyaktige punkt for fibermetningspunktet, men et visst variasjonsområde, og en sier at fibermetningspunktet er middelveiden av den øvre og nedre grense.

Fibermetningspunktet uttrykker det høyeste innholdet av bundet vann i trevirke. Denne tilstanden kan også oppnås når trevirket lagres i luft med 100% fuktighet. En liten temperaturendring er nok til å endre luftens relative fuktighet, og det er vanlig å utføre slike forsøk ved en fuktighet som ligger noe under full metning, hvorpå fibermetningspunktet bestemmes ved ekstrapolering. En beregner altså funksjonsverdier som en regner med vil gjelde også utenfor deres egentlige eksistensområde. Det viser seg at det er nesten umulig å bestemme fibermetningspunktet helt nøyaktig på denne måten.

Foruten den ovennevnte metoden til å bestemme fibermetningspunktet, kan

2) Krympingsmetoden

$$\beta_v = \frac{V_u - V_0}{V_u}$$

$$u_s = \frac{G_u - G_0}{G_0}$$

$$R = \frac{G_0}{V_u}$$

$$\beta_v = \frac{G_u - G_0}{G_0} \cdot \frac{G_0}{V_u} = \frac{1}{13\text{km}^2}$$

3) Trykstyrkemethoden

4) Den elektriske ledningsevne.

en nevne: Krympingsmetoden, trykkstyrkemethoden og den elektriske ledningsevnemetoden.

Alle disse metodene har fordeler og ulemper, og ingen gir en fullstendig feilfri verdi.

Når en bestemmer fibermetningspunktet ved krympingsmetoden, går en ut fra en bestemt sammenheng mellom krympingen (β_v), fibermetningspunktet (u_F) og volumtettheten (R). Mellom disse tre størrelsene er det følgende sammenheng:

$$\beta_v = u_F \cdot R.$$

Kjenner en β_v og R, kan en beregne u_F . β_v og R bestemmes eksperimentelt og settes inn i ligningen

$$u_F = \frac{\beta_v}{R}.$$

For treslag med lettflyktige stoffer kan en ikke anbefale denne metoden.

Trykkstyrkemethoden beror på at trykkstyrken endres omvendt proporsjonalt med vanninnholdet under fibermetningspunktet. Ovenfor fibermetningspunktet er verdiene praktisk talt konstante.

Sammenhengen mellom trykkstyrke og vanninnhold blir bestemt og fremstilt i et diagram. Under fibermetningspunktet får en en krum kurve og over fibermetningspunktet en rett linje. Fibermetningspunktet ligger da ved skjæringspunktet for disse to kurvene. For å bestemme dette punkt må en ha et meget stort antall prøver. Enkelte forskere har funnet at fibermetningspunktet bestemt etter denne metoden ikke stemmer overens med den forannevnte metoden.

Den siste metoden baserer seg på en sammenheng mellom den elektriske ledningsevne og vanninnholdet i trevirket. Innenfor det hygroskopiske området danner logaritmen til den elektriske ledningsevnen avhengighet av vanninnholdet en rett linje som går over til en krum linje ovenfor fibermetningspunktet. Overgangen mellom rett og krum linje er ikke skarp, og fibermetningspunktet ligger derfor i et visst område. Det er bevist at fibermetningspunktet kan bestemmes med $\pm 1\%$ nøyaktighet ved hjelp av denne metoden.

- 1) constant water
- 2) Electric field effects water,
resistance-water
Capacitance —
- 3) Distilling (electrolysis)
- 4) Insulation of temp.

Tab. 13. Fibermetningspunkt hos noen treslag.
(WANIN 1949).

Treslag	u_F
Furu	29,0
V.m. furu	25,0
Gran	29,0
Lerk	30,0
Douglasgran	30,5
Rødbøk	30,0
Ask	23,0
Lind	29,0

Til slutt skal en merke seg at fibermetningspunktet bestemt etter den ene eller andre metoden ikke helt vil stemme overens med de tallene en finner her.

3.14 Bestemmelse av vanninnholdet.

Til bestemmelse av vanninnholdet er det vanligvis to metoder som blir brukt. Den ene skjer ved hjelp av såkalt ovnstørt virke, og den andre ved bruk av elektriske fuktighetsmålere. Ved den siste metoden blir vanninnholdet bestemt enten ved hjelp av den elektriske motstand, eller ved hjelp av dielektrisitetskonstanten hos tre. En snakker derfor om henholdsvis motstands- og kapasitetsmålere. Bestemmelse av vanninnholdet ved hjelp av destillering (ekstraksjon), eller ved hjelp av målinger av luftfuktighet og lufttemperatur, kommer sjelden på tale.

3.141 Bestemmelse av vanninnholdet ved hjelp av tørking (ovnstørking).

En veier treprøven i fuktig tilstand og tørker prøven til vanninnholdet er null. Så avkjøler en treprøven i eksikator og veier den i tørr tilstand.

En får:
$$u = \frac{G_u - G_o}{G_o} 100 (\%)$$

Vanligvis bruker en små prøver, f.eks. slike som brukes ved trykkforsøk i fiberretningen. Disse kan være av en størrelse på 20 mm · 20 mm · 30 mm. En kan også bruke prøver fra andre forsøk, f.eks. bøye- eller skjæreforsøk, uttatte prøver eller borkjerner. Bruker en store prøver til bestemmelse av vanninnholdet, så skal tykkelsen være ca. 20 mm. De må ikke være ut-

1kg - 1 g ^{saleswings} loyaltighet

Flyktige Hopper

tatt av tverrender eller nær bruddsteder.

Vil en ha tak i det gjennomsnittlige vanninnholdet hos bord, må en ta ut prøvene mer enn 150 mm fra endeflatene. Ved serieundersøkelser er det tilstrekkelig om en måler vanninnholdet i 10% av samtlige prøver. Etter lengere tids samlet lagring vil nemlig vanninnholdet være omtrent ensartet i slikt virke.

Hvis det er vanskelig å skjære ut prøvene med sag, kan en bruke tilvekstbor. Denne oppvarmer virket relativt lite, og fuktighetstapet av denne grunn er av mindre betydning. Når det gjelder bjelker, borer en fra ett eller to endehjørner og inn til kjernen. Hos planker borer en i radial retning. Når en skal skjære ut prøvene, er det nødvendig å ha skarp sag. Da blir vanntapet lite under oppvarming som følge av sagingen. Fra de uttatte prøver må en fjerne støv og sagflis, og så kan en bestemme vekten. Hvis ikke dette kan gjøres ganske snart, må en oppbevare prøvene i eksikator.

For prøver som veier omlag 10 gram, må avlesningsnøyaktigheten være omlag 0,01 gram. Veier prøvene omkring 100 gram, kan en nøye seg med 0,1 grams avlesningsnøyaktighet. For større serieundersøkelser, kan en anbefale hurtigvekter. Når en tørker prøvene i tørkeovn ved 103°C , så må tørkingen vare inntil differansen mellom to målinger etter tørkingen praktisk talt er null. Så avkjøler en prøvene i eksikator over klorkalsium eller fosforpentoksyd for å hindre at virket tar opp fuktighet fra lufta, og først etter avkjølingen bestemmer en tørrvekten.

Bestemmelse av vanninnholdet ved hjelp av tørking fører til svært nøyaktige resultater under forutsetning av at flyktige stoffer ikke er forsvunnet fra trevirket sammen med vannet. I så fall vil en få for stor vektdifferanse mellom fuktig og tørr tilstand, og det fører til for høyt vanninnhold.

En ulempe ved denne metoden er også at det ikke alltid er så lett å få det nødvendige prøveantall. Videre kan det kreve lang tid å tørke trevirket ned til omlag 0% vanninnhold. Tørketiden avhenger av vanninnholdet i begynnelsen av tørkingen, og av prøvetykkelsen.

De viktigste apparater til å bestemme vanninnholdet ved tørking, ovn og vekt, kan også kombineres. Således finnes det tørkevekter. Hos disse kan en følge tørkingens forløp gjennom hele tørkeprosessen. På en skala kan en lese av vannmengden som fordamper helt til treprøven får en konstant

vekt, dvs. til viseren på skalaen ikke lenger slår ut. Derpå kan en umiddelbart lese av vanninnholdet i prosent. Omregning fra tørrvekt kan skje ved hjelp av følgende formel:

$$u = \frac{x}{100 - x} \cdot 100 (\%)$$

der x betegner skalaavlesningen. Det er konstruert mange forskjellige typer av såkalte tørkevekter. Det finnes også tørkevekter med infrarøde stråler og innbygd vekt som kan måle fra 0 - 100% fuktighet.

3.142 Bestemmelse av vanninnholdet ved hjelp av elektriske målere. ²⁾

De elektriske målerne kan inndeles i motstands- og kapasitetsmålere.

3.1421 Elektriske motstandsmålere. ^{a)}

Det er utformet en rekke typer av slike fuktighetsmålere. Vi skal se litt på arbeidsprinsippet. Trevirke inneholder bl.a. vannløselige salter som spaltes i joner når trevirket tar opp vann eller når trevirket inneholder vann. Ved å lede elektrisk strøm gjennom trevirket får en såkalt elektrolytisk joneledning (se fig. 20). Hvis trevirket er tørt, kan ikke saltenes molekyler spaltes i joner og det kan heller ikke foregå noen elektrisk strømledning. Veden virker da som isolator.

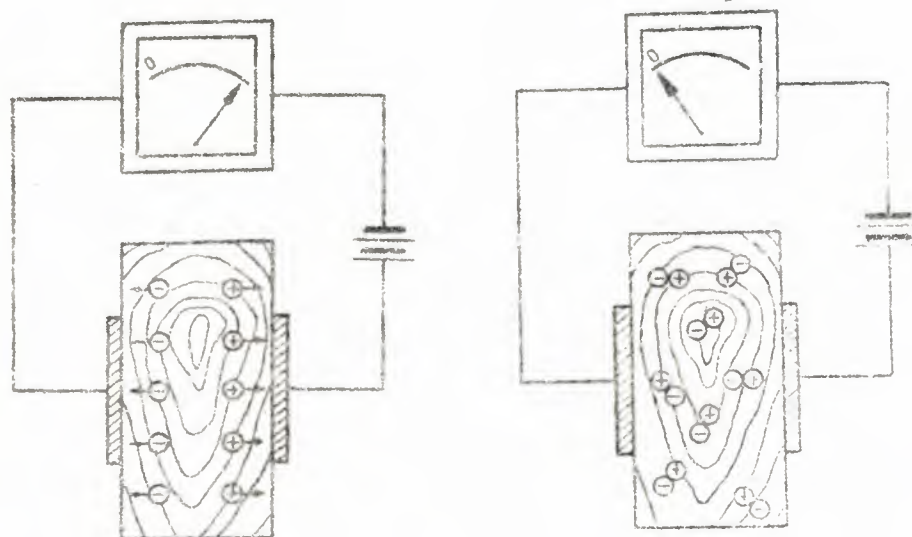


Fig. 20. Trevirkets forhold overfor elektrisk strøm. Til venstre: Salt- holdig vann og jonedannelse. Til høyre: Destillert vann og ingen joner (etter Die elektrische Holzfeuchtemessung nach dem Widerstandsverfahren, Wernerwerk der Siemens & Halske AG, Karlsruhe).

Jo høyere vanninnholdet er i trevirket, desto flere molekyler kan spaltes i joner og desto bedre blir den elektriske ledningsevnen. Den elektriske motstand blir derimot mindre fordi motstanden er den inverse verdien av ledningsevnen.

Logaritmen til den elektriske motstanden forholder seg til vanninnholdet i området 3 - 25% som 1 : 1 000 000. Ovenfor fibermetningspunktet i beste fall som 1 : 5. Under ca. 25% vanninnhold avtar logaritmen temmelig sterkt.

Verdiene for vanninnholdet målt med elektriske motstandsapparater avhenger først og fremst av fiberretningen, vannfordelingen i trevirket og av temperaturen i trevirket. Lovmessige forhold mellom volumvekt og motstand er ikke kjent.

Den elektriske motstand i trevirke er halvparten så stor i fiberretningen som perpendikulært på denne. Forskjellen i radial- og tangentialretning har ingen praktisk betydning for avlesning av vanninnholdet med elektriske motstandsmålere.

Ved hjelp av tørking får en bestemt middelveidien av vanninnholdet for hele treprøven, mens vanninnholdet målt med elektriske motstandsmålere bl.a. avhenger av tresjiktet. Vannfordelingen i trevirket kan ha stor betydning for resultatet når en bruker elektriske målere. Også temperaturen virker inn på den elektriske ledningsevnen og dermed også på avlesningen av vanninnholdet på måleskalaen.

Vi skal se litt på Universal-hurtigelektrofuktighetsmåler som kan brukes for vekselstrøm fra 125 eller 220 volt. Den tilfeldige variasjon i nettspenningen (inntil $\pm 10\%$) blir opphevet gjennom en innbygd stabiliseringsinnretning. Likeså er det en innretning som garanterer en automatisk korrektur av temperaturens innflytelse. Ved hjelp av denne måleren kan en bestemme vanninnholdet i et område fra ca. 5 - 32%. Måleren har utskiftbare avlesningsskalaer for forskjellige treslag.

Etter praktiske opplysninger måler apparatet med en nøyaktighet på $\pm 0,5\%$. Minste størrelse på prøvene skal være 10 x 10 cm. En skal merke seg at elektrodene må plasseres i midten, eller minst 5 cm fra kanten av prøvestykket.

Fuktighetsmåling i trevirke med større tykkelse enn 12 mm, skjer ved hjelp av en såkalt stikkelektrode. For trevirke som er tynnere enn 12 mm, f.eks.

Spiltelektrode boudes på freidde
som skal limes.

finér, bruker en en såkalt tvingeelektrode. Når en bruker stikkelektrode må en måle i fiberretningen mens fiberretningen ikke har noen betydning når en bruker tvingeelektrode.

Med stikkelektroden måler en vanninnholdet i den mest fuktige delen av trestykket som er gjennomtrengt av måleren. Tvingeelektroden derimot måler vanninnholdet i umiddelbar nærhet av elektrodene. Den bør derfor helst brukes for trevirke som har homogene fuktighetsforhold. En skal også merke seg at de fleste farger eller bestemte beiser som brukes til overflatebehandling av trevirke kan innvirke på måleresultatene. For impregnert trevirke må en bruke korreksjonsverdier. Måler en vanninnholdet med tvingeelektrode f.eks. i en finérplate, så innvirker ikke det tynne limsjiktet noe særlig på resultatet, fordi limet er fortynnet med vann. Til fuktighetsbestemmelse av trevirke som skal limes, bruker en stikkelektrode. Tvingeelektroden egner seg ikke til dette formål, fordi den bare angir vanninnholdet på overflaten av trevirket. Når en skal lime trevirke er det imidlertid viktig å ha kjennskap til vanninnholdet i de indre delene, fordi dette vil trenge opp mot overflaten etter limingen.

Det finnes også små batteridrevne fuktighetsmålere som kan brukes til trevirke og lignende stoffer. Det blir hevdet at de tillater en fuktighetsbestemmelse på inntil 60%. Temperaturen innflytelse på måleresultatet blir automatisk korrigert ved innstillingen.

En såkalt stampelektrode angir bare overflatefuktigheten. Skal en f.eks. bestemme vanninnholdet i finér med et slikt apparat, så må finéren enten legges på en tørr benk eller isoleres med gummi før en foretar målingen. Dypelektroder kommer først på tale når en skal måle tykkere trevirke. Trevirke kan da måles i forskjellig dybde, hvorved en i første rekke finner vanninnholdet i nærheten av elektrodene.

Det er forskjellige avlesningsskalaer til forskjellige formål.

Det finnes også en fuktighetsmåler hvor en kan anvende et 4,5 volts lommetlyktbatteri som strømkilde. Den kan brukes fra 3 - 25% vanninnhold og fra 25 - 100% vanninnhold. I området fra 3 - 13% vanninnhold er målenøyaktigheten omlag $\pm 1\%$ og fra 13 - 25% omlag $\pm 2\%$. Ovenfor 25% avtar målenøyaktigheten stadig fordi kurven for sammenhengen mellom elektrisk motstand og vanninnhold stadig blir flatere. For mer nøyaktig måling av trevirke med temperatur under ca. + 10°C og over ca. + 35°C, må de avleste verdiene for vanninnholdet korrigeres ved hjelp av en tabell som følger

med. Denne fuktighetsmåleren leveres med følgende elektroder: Stempel-
elektrode for å måle overflatefuktigheten i et område til 3 - 25% fuktig-
het. En slagelektrode for tykkere trevirke som kan brukes i området fra
3 - 25% og fra 25 - 100% vanninnhold (elektroden skal slås inn loddrett).
En elektrode til å bestemme vanninnholdet i tverrsnittet av trevirket i
et måleområde fra 3 - 25% vanninnhold. En elektrode med doppsko for å
måle trevirke med noenlunde likt vanninnhold. Den kan brukes i et område
fra 3 - 25% vanninnhold. Til slutt skal nevnes begerelektroden og ball-
elektroden. Begge brukes til å måle vanninnholdet i små mengder av f.eks.
sagflis, høvel- og frespon m.m. i området fra 3 - 25% vanninnhold. Neden-
stående fig. viser eksempler på noen elektrodetyper.

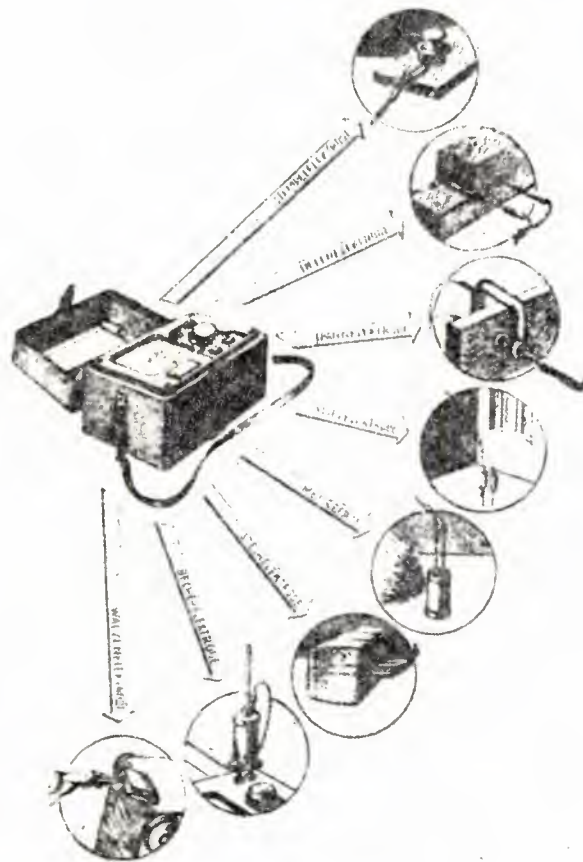


Fig. 21. Eksempler på elektrodetyper.

Det er også en rekke andre fuktighetsmålere som er batteridrevne.

3.1422 Elektriske kapasitetsmålere.

Kondensatorens kapasitet med trevirke som dielektrikum betegner vi med C,

Hevillä riitti puolesta.

og kondensatorens kapasitet fylt med luft mellom platene kaller vi for C_0 . Forholdet mellom disse størrelsene

$$\epsilon = \frac{C}{C_0}$$

*Kapasitet fra spon dielektrikum.
— — — — — luft*

kalles den relative dielektrisitetskonstanten. Forkortet kalles den også for Dk. Dk for luft utgjør 1, for tørt trevirke fra 2,5 - 6,8 og for vann 81,6. Trevirke med høyt vanninnhold vil altså ha en adskillig større Dk enn trevirke med lavt vanninnhold. I fiberretningen er Dk større enn i radial- og tangentialretningen. I de to sistnevnte retningene er Dk praktisk talt lik. Vi skal se mer på trevirkets dielektriske egenskaper under avsnittet om trevirkets forhold overfor elektrisitet. Forandringen av Dk med varierende vanninnhold er årsaken til at vi kan bruke elektriske fuktighetsmålere til å bestemme vanninnholdet i trevirket. Et slikt apparat er f.eks. Hydromat-H som kan brukes ved 220 volts vekselstrøm eller ved hjelp av et 2,4 jern-nikkelbatteri. Ved hjelp av dette apparatet kan en måle vanninnholdet i trevirke i området fra 5 - 100%. Vanninnholdet kan leses av direkte i prosent på en skala. Prøver som har en tykkelse mindre enn 18 mm, må legges oppå hverandre før en kan legge på måleholdet for å bestemme vanninnholdet.

3.143 Bestemmelse av vanninnholdet ved hjelp av destillering (ekstraksjon).

Denne metoden består i at en legger trevirke som spon i et ekstraksjonsapparat sammen med f.eks. tetrakloretan, xylol, tolyol eller lignende stoffer som ikke er blandbare med vann. Stoffene har høyere kokepunkt enn vann, og en varmer opp til en når kokepunktet. Dampen stiger opp i en kjøler, kondenseres og samler seg i et målerør. Når en bruker tetrakloretan danner vannet det øvre sjikt, og ved destillering med xylol eller tolyol danner vannet det undre sjikt. Hvis vannsøylen står uforandret i målerøret i noen min., er ekstraksjonen ferdig. Når en skal avlese vannvolumet i målerøret, brukes en hensiktsmessig lupe. En kan da korrigere for meniskdannelsen i røret.

Betegner vi vekten av sponen i fuktig tilstand med G_u , volumet av det kondenserte vannet i målerøret med V_v , vekten av det kondenserte vannet i målerøret med G_v og vekten av den vannfrie sponen med G_0 ,

får en vanninnholdet:

1870

Received of the Treasurer of the State of New York
the sum of \$1000.00 for the year 1870

Trunkets delivered fully set.

Witness my hand and seal this 1st day of January 1870

John W. ...

...

...

$$u = \frac{G_u - G_o}{G_o} 100 (\%)$$

$$G_o = G_u \div G_v \quad \text{og} \quad G_v = V_v \cdot 1.$$

(1 uttrykket tilnærmet vannets tetthet.)

En skal merke seg at dette er den mest nøyaktige metoden til å bestemme vanninnholdet hos trevirke som er rikt på kvae, eteriske oljer og lignende stoffer.

3.144 Bestemmelse av vanninnholdet på grunnlag av målinger av luftas fuktighet og temperatur.

Ved denne metoden kommer loven om trevirkets likevektsfuktighet direkte til anvendelse. Luftfuktigheten bestemmes enten ved hjelp av hårhygrometer eller ved hjelp av kjemiske indikatorer. Loven om trevirkets likevektsfuktighet gjelder i området under fibermetningspunktet. Apparater som arbeider etter dette prinsippet kan derfor kun brukes når trevirkets vanninnhold ligger under fibermetningspunktet. Det finnes tallrike typer av slike apparater.

Vi skal se litt på en metode som baserer seg på et såkalt stikkhygrometer. Først blir det boret et hull i trevirket, og i dette fører en inn hygrometeret. Hvis romtemperaturen ikke er konstant, må en finne temperaturforskjellen mellom trevirke og luft. Temperaturen i trevirket kan da måles med et termometer som stikkes inn i det samme hullet. På en skala kan en direkte lese av trevirkets vanninnhold. Det finnes ved skjæringspunktet for hygrometerviseren og en tilsvarende temperaturkurve. Avlesingen skjer når viseren står stille. For bartrevirke og en del lauvtrearter kan avlesningen skje noen få min. etter at en har ført inn hygrometeret. For hardere lauvtreslag må en vente lenger. En skal merke seg at når en borer inn i trevirke, vil det forekomme en vannansamling i nærheten av borehullet. Det er derfor gunstig å vente noen min. før en fører inn hygrometeret. Med dette apparatet kan en også måle vanninnholdet i tykkere bjelker, fordi hygrometerskaftet er omlag 70 mm. Apparatet leverer de nøyaktigste verdier i området fra ca. 3 - 25%.

Skal en måle vanninnholdet hos tynnere bord, finér og lignende, benytter en et hygrometer som kan legges oppå trevirket. Måleelementet befinner seg i en liten kasse som er åpen under.

Et annet måleapparat er en såkalt Diakun fuktighetsmåler. Her bestemmes

1883

1883

1883

1883

1883

1883

Vannledningerne

Fruity little fall

Fruity little bedding fall

Faint, illegible text covering the lower half of the page.

den relative luftfuktigheten ved hjelp av kjemiske indikatorer. I prøvestykket borer en et ca. 100 mm dypt hull. Etter ca. 10 min. fører en inn et lite rør i borehullet. I dette røret er det et lite holderør med et fuktighetsømfintlig papir. Lufta fjernes fra borehullet ved hjelp av en liten kolbepumpe, og etter ca. 10 min kan en finne vanninnholdet i trevirket ved å sammenligne papiret med en medfølgende fargeskala.

For å bestemme vanninnholdet hos tynne bord, finér, treull, sagspon og lignende, bruker en et spesialapparat. Dette kan bare anvendes ved en temperatur fra 15 - 25°C og for et vanninnhold på 6 - 23%. Avlesningsnøyaktigheten er ca. 2,5 - 3%. Måletiden er 25 - 30 min. Det er mange faktorer som influerer på måleresultatene, f.eks. belysningsvariasjoner og subjektive synsfeil.

3.15 Vannledningsevne og vanngjennomtrengelighet.

Med vannledningsevne mener en trevirkets evne til å lede vann fra et fuktigere til et tørrere sted.

113 Fuktighetsfallet i % pr. cm mellom to forskjellige fuktige steder i trevirket må ikke overstige en bestemt verdi hvis en skal unngå sprekkdannelse ved tørking under fibermetningspunktet.

Vaskemengden som trenger igjennom et bestemt tverrsnitt i løpet av en bestemt tid avhenger ikke bare av fuktighetsfallet, men også av fuktighetsledningstallet. Det betegnes med k og uttrykkes i gram pr. cm pr. time. Fuktighetsledningstallet angir vannmengden i gram som trenger gjennom et tverrsnitt på 1 cm² i løpet av 1 time med en fuktighetsforskjell $u = 1\%$ på en strekning av 1 cm. k avhenger spesielt av:

temperaturen,

vanninnholdet i trevirket,

retningen av fuktighetsstrømmen i trevirket (i radial-, tangential- eller lengderetning),

lufthastigheten på trevirkets overflate

og videre av trevirkets vekt.

Generelt gjelder det at verdien av fuktighetsledningstallet stiger med økende temperatur, med økende vanninnhold, med luftbevegelsen på overflaten av trevirket og med vekten av trevirket. Fuktighetsledningstallet oppnår sin største verdi i fiberretningen, den minste i tangentialretningen.

Vanngjennomkjenninglighet

- strik i høyderetning
- minst 1 fangstled i retning

Blir fuktighetsfallet ($\frac{du}{dx}$) multiplisert med fuktighetsledningstallet (k), så får en væskemengden i gram pr. cm^2 til enhver tid.

$$g_v = k \cdot \frac{du}{dx} \text{ (g/cm}^2 \cdot \text{h)}$$

Fuktighetsledningsevnen spiller en stor rolle ved tretøking.

Med vanngjennomtrengelighet mener en trevirkets evne til å slippe gjennom vann under trykk. Den spiller en stor rolle både i levende og i avvirket trevirke. Hos levende trær foregår transporten av vann med oppløste næringsalter fra jorda via rota til stamme og krone. Vannbevegelsen i trær skjer under innflytelse av rottrykket, og under kraften fra den transpirerende krone. Vanngjennomtrengeligheten i trevirket er av stor betydning, bl.a. når det skal anvendes som skillevegg mellom væsker og andre medier, f.eks. til tønner, ved impregnering etter bestemte metoder og ikke minst ved tøking i bestemte løsninger. Trevirkets evne til å lede vann er uønsket ved forskjellige anvendelser av trevirke som f.eks. til tønner og ledningsrør, mens denne egenskapen er nødvendig når det gjelder impregnering og tøking under bestemte forhold. På grunn av trevirkets evne til å lede vann, kan en f.eks. impregnere etter diffusjonsmetoden som beror på inntrenging av vannløselige midler i fuktig trevirke. Den kapillære gjennomtrengelighet er mindre god hos treslag med kjerneved. I kjerneved foregår det ingen vesentlig kapillær ledning av vannet i fibrenes tverretning. Tøking av trevirke i løsninger går for seg på den måten at en dypper trevirket i bestemte løsninger, f.eks. koksalt, derved vil en del av vannet i trevirket avgis til løsningen.

Vanngjennomtrengeligheten er forskjellig hos de forskjellige treslag, og innenfor disse avhenger den først og fremst av begynnelsesfuktigheten i trevirket, av prøvestykkets beliggenhet i stammen, f.eks. i splint eller i kjerne, og av prøvens orientering i stammen, dvs. retningen av fiberforløpet. Hos nåletrær er vanngjennomtrengeligheten fra trakeide til trakeide bestemt av beliggenheten av tori (flertall av torus). Når torus legger seg inntil porus, blir vanngjennomtrengeligheten hindret. Forskjellen i vanngjennomtrengelighet mellom splint og kjerne beror på kjerneveddannelsen. I fibrenes lengderetning er vanngjennomtrengeligheten størst, og i tangentialretningen minst. Jo lavere begynnelsesfuktigheten er i trevirke, desto mer begjærlig opptar det vann.

Vanntrengeligheten angis som den vannmengde (cm^3) som i en viss tid trenger gjennom et areal på 1 cm^2 . Med et følgende beskrevne apparat kan en

Year	Month	Day	Temperature	Humidity	Wind	Clouds	Notes
1912	Jan	1	65	75	SE 10	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	2	68	78	SE 12	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	3	70	80	SE 15	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	4	72	82	SE 18	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	5	75	85	SE 20	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	6	78	88	SE 22	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	7	80	90	SE 25	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	8	82	92	SE 28	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	9	85	95	SE 30	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	10	88	98	SE 32	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	11	90	100	SE 35	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	12	92	102	SE 38	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	13	95	105	SE 40	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	14	98	108	SE 42	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	15	100	110	SE 45	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	16	102	112	SE 48	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	17	105	115	SE 50	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	18	108	118	SE 52	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	19	110	120	SE 55	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	20	112	122	SE 58	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	21	115	125	SE 60	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	22	118	128	SE 62	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	23	120	130	SE 65	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	24	122	132	SE 68	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	25	125	135	SE 70	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	26	128	138	SE 72	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	27	130	140	SE 75	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	28	132	142	SE 78	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	29	135	145	SE 80	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	30	138	148	SE 82	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.
1912	Jan	31	140	150	SE 85	Partly Cloudy	Clear morning, light rain in evening.

bestemme vanngjennomtrengeligheten hos trevirke på en enkel måte.

I bunnen av en glassbeholder med bred hals er det et måleglass med trakt. I glassbeholderen setter en inn en kautsjukpropp. Den undre delen av proppen skal slutte til traktens øvre kant. I kautsjukproppen er det et hull, og der fører en inn en sylindrisk treprøve. Sidene må slutte godt til proppen. En fyller på vann i et glassrør med måleskala. Vannet som trenger gjennom treprøven samles opp i måleglasset i bunnen på glassbeholderen. Vanngjennomtrengeligheten bestemmes i lengde-, radial- og tangentialretning.

3.16 Variasjoner i vanninnholdet innenfor den enkelte trestamme.

3.161 Forskjell i vanninnholdet i stammedelene.

Innenfor stammen kan en konstatere forskjell i vanninnholdet både i tverretning og i lengderetning. Fordelingen i tverrsnittet hos rundvirke er vanligvis forskjellig hos bartre- og lauvtrevirke. Hos nåletrær er det et fall fra splint til kjerne.

Hos lauvtrær er fallet i vanninnholdet i tverrsnittet vanligvis mindre enn hos bartrærne. Hos bjørk er det således ingen tydelig fuktighetsforskjell i tverrsnittet. I visse tilfelle kan riktignok den indre delen ha høyere vanninnhold enn den ytre. Hos andre lauvtrær, f.eks. bøk, lønn og lind er vannforskjellen svært liten. Lauvtrær med kjerneved, f.eks. alm, inntar en spesiell stilling. Hos disse finner en ofte en tørr sone mellom splint og kjerne. Hos gran og furu har splinten vanligvis atskillig høyere vanninnhold enn kjernen.

Når det gjelder vannfordelingen i treets lengderetning, kan en ikke sette opp noen generell regel for alle treslag. Vanninnholdet kan tilta fra rota og oppover, det kan først øke og så avta, eller det behøver ikke være noen spesiell fuktighetsforskjell i de forskjellige relative høydene av stammen.

3.162 Vanninnholdet i relasjon til voksestedet.

Treslagene og selv deres proveniensener, viser en mer eller mindre karakteristisk middelverdi når det gjelder vanninnholdet. Det er kjent at f.eks. edelgran viser et høyere gjennomsnittlig vanninnhold enn gran. Mellom geografiske områder og mellom de forskjellige boniteter vil en også

finne variasjoner i det gjennomsnittlige vanninnholdet hos de enkelte treslagene og deres provenienser. Forskjellen i vanninnhold blir mer og mer merkbar jo større miljøforskjellen er. Som eks. kan nevnes forholdet mellom kyst- og innland. Et godt eksempel for å anskueliggjøre voksestedets innflytelse på det gjennomsnittlige vanninnholdet, er variasjonen i vanninnholdet hos eik. Eik som vokser i fuktige områder langs vassdrag og lignende, har et annet gjennomsnittlig vanninnhold enn eik som vokser i saltholdig jord eller i sydhellinger.

3.163 Vanninnholdet og årstidene.

Vi skal se på en tabell som viser vanninnholdet hos furu, gran, bjørk og osp i de forskjellige mnd. i året.

Tabell 14. Variasjoner i vanninnholdet hos noen treslag fra januar til desember (NIKITIN 1955). (*Leningrad*)

Treslag	Stamme- del	Jan.	Feb.	Mars	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.
Gran	Splint	145	147	142	115	106	112	110	103	112	114	117	144
	Kjerne	42	45	43	38	35	42	38	39	43	36	36	42
Furu	Splint	122	116	113	115	102	110	109	100	96	119	123	123
	Kjerne	33	33	35	33	33	32	31	31	33	34	32	34
Bjørk	Ytre del	80	77	75	72	91	66	51	53	60	74	81	73
	Indre del	86	91	91	84	95	-	60	61	69	85	91	90
Osp	Splint	123	114	111	105	98	70	64	59	66	95	92	108
	Kjerne	110	94	95	92	88	79	90	83	92	90	90	91

Av tabellen går det tydelig fram at furu og gran viser en stor forskjell i vanninnholdet mellom splint og kjerne. Hos bjørk og osp derimot er det liten forskjell på vanninnholdet i den ytre delen og den indre delen.

Dette lar seg forklare ved at i treslag med kjerneved foregår vanntransporten i splinten og ikke i de tilstoppede cellene i kjernen. Hos bjørk kan en dessuten merke seg at den indre delen kan ha høyere vanninnhold enn den ytre. Videre går det fram av tabellen at man ikke kan sette opp noen almenngyldige lovmessigheter for samtlige treslag når det gjelder vanninnholdet i relasjon til årstiden. Vi ser f.eks. at bjørka har det høyeste vanninnholdet om vinteren, furua derimot om høsten. Variasjoner fra stamme til stamme og fra voksested til voksested vil influere på resul-

tatene, men vanligvis er det en viss tendens til at vanninnholdet minsker i de varmeste månedene. Det beror dels på høyere transpirasjon og dels på mindre vanninnhold i jorda nettopp i disse månedene. Dette er særlig merkbart i tropiske strøk hvor trærne har et atskillig høyere vanninnhold i regntiden enn i de mellomliggende perioder.

Ikke bare innenfor de fire årstidene, men selv innenfor døgnet, er det variasjoner i vanninnholdet i levende trær. Ved en undersøkelse ble det funnet at vanninnholdet i gransplint var 186% om morgenen, 132% ved middagstid og 150% om aftenen.

3.17 Ønskelig vanninnhold i trevirke til forskjellige formål.

Når trevirkets vanninnhold er under fibermetningspunktet, vil trevirket krympe ved videre vannavgivelse og svelle ved vannopptagelse. Det er derfor nødvendig å stille visse krav til vanninnholdet, avhengig av hva trematerialene skal brukes til. Bruker en f.eks. trevirke med et vanninnhold fra 6 - 8% til takkonstruksjoner, så er sterke svellingsfenomener uunngåelige, og omvendt, bruker en trevirke med 18% vanninnhold til forskjellige møbler, så vil disse krympe. Dette skyldes at det innstiller seg en likevekt mellom trevirkets vanninnhold og luftens temperatur og relative fuktighet. Variasjoner i vanninnholdet er derfor forbundet med svelling og krymping. Vi skal i det følgende se på fuktighetskravet til trevirke som skal anvendes til noen bestemte formål. (Etter THUNELL 1952 m.fl.)

Møbler, kryssfinér o.l. i hus med sentralfyring ...	5 - 7%
Innerdører, innredninger, parkett o.l. med sentralfyring	6 - 8"
Møbler o.l. i hus med ovnsfyring	9 -12"
Innerdører o.l. i hus med ovnsfyring	10 -13"
Vinduer, ytterdører o.l.	12 -15"
Parkettstav	10 -12"
Tretønner	maks.18"
Takkonstruksjoner	" 18"

Sammendrag.

Trevirkets vanninnhold uttrykkes i prosent av tørrvekten. Det influerer både på fysikalske og andre egenskaper hos trevirke. Ovsntørt trevirke inneholder alltid omkring 0,5 - 1% fuktighet. Under fibermetningspunktet

(103°C)

кjemisubojon
adsorpcjon
kapillar kondensacjon.

Under fibermetningspunktet.

snakker en om hygroskopisk bundet vann, til forskjell fra fritt eller kapillært vann ovenfor fibermetningspunktet. I det førstnevnte tilfelle opptar trevirket vann til det når den såkalte likevektsfuktighet. Ved desorpsjon ligger likevektsfuktigheten ved ellers like betingelser noe høyere enn ved sorpsjon. Denne forskjellen kalles hysterese. Trevirkets hygroskopisitet beror på kjemosorpsjon, adsorpsjon og kapillær kondensasjon. Det maksimale vanninnholdet i trevirket er sammensatt av det bundne og det frie vannet.

I praksis bestemmer en fibermetningspunktet ved hjelp av krympingsmetoden, ved trykkstyrkemethoden eller ved hjelp av den elektriske ledningsevnen. Ingen av disse metodene fører til absolutt feilfrie verdier. En rekke av trevirkets egenskaper er avhengig av vanninnholdet under fibermetningspunktet.

De vanligste metodene til å bestemme vanninnholdet er enten ved hjelp av tørking eller ved hjelp av elektriske måleapparater. Sjeldnere anvender en destillering eller måling av luftfuktigheten til å bestemme trevirkets fuktighet. Ved tørkemethoden veier en først prøven i fuktig tilstand og tørker prøven til vanninnholdet er 0%. Så avkjøler en prøven i eksikator og veier den i tørr tilstand. Verdiene settes inn i en enkel formel og en finner vanninnholdet.

De elektriske målemethodene for å bestemme trevirkets vanninnhold, kan deles i motstands- og kapasitetsmålere. Den elektriske motstandsmålingen beror på at logaritmen til motstanden avtar når vanninnholdet i trevirket øker.

Dielektrisitetkonstanten hos trevirke endres når vanninnholdet varierer, og derfor kan en også bestemme vanninnholdet ved hjelp av elektriske kapasitetsmålere.

For impregnert trevirke og for trevirke som er rikt på kvae, eteriske oljer o.l. stoffer, er destillering den beste methoden til å bestemme vanninnholdet på. Når en skal bestemme vanninnholdet ved å måle luftens temperatur og fuktighet, kommer loven om likevektsfuktighet direkte til anvendelse.

Vanngjennomtrengeligheten spiller en stor rolle så vel i levende som i avvirket trevirke. Vanngjennomtrengeligheten avhenger av en rekke faktorer, og den er forskjellig for de forskjellige treslag. Innenfor den

Svele kærlykhet

Svellings varme

enkelte stamme kan det være forskjell i vanninnholdet både i tverr- og i lengderetning. En skal merke seg at bar- og lauvtrær er forskjellige i så måte.

For de enkelte treslag og deres provenienser vil en også finne variasjoner i det gjennomsnittlige vanninnholdet både mellom geografiske områder og mellom de forskjellige boniteter. Når det gjelder vanninnholdets variasjon med årstidene, kan en ikke sette opp noen almenlydige regler som gjelder for alle treslag.

3.2 Swelling og krymping.

Med swelling og krymping forstås en volumendringer som skyldes variasjoner i vanninnholdet hos trevirket. *(under fibermetningspunktet)*

3.21 Grunnlag.

Nyhogd virke har et relativt høyt vanninnhold til alle årstider. I perioden før virket transporteres ut av skogen vil en del vann fordampe. Det er i første rekke fritt vann som forsvinner på denne måten. Så lenge trevirket bare avgir fritt vann vil en ikke få noen endringer i volumet, men når vanninnholdet kommer under fibermetningspunktet, begynner det bundne vannet i celleveggene å fordampe og dermed oppstår det krymping. Det bundne vannet er ikke lagret i micellene men mellom disse. Når det bundne vannet avgis, vil micellene nærme seg hverandre og volumet minskes. Fibermetningspunktet nås først i de ytre sjikt hos trevirket og dermed oppstår det indre spenninger. Når spenningene oppstår på tvers av fibre, vil disse revne. Hvis trevirket tar opp fuktighet på nytt, vil vannet trenge inn mellom micellene, disse skyves fra hverandre og cellevolumet øker, dvs. trevirket sveller. Når trevirket har et vanninnhold som tilsvarer fibermetningspunktet eller høyere enn det, opphører svellingen. Svellingshastigheten, dvs. svelling pr. tidsenhet, er størst i begynnelsen og siden avtar den mot fibermetningspunktet. Jo mindre volumvekt virket har, desto høyere er svellingshastigheten. Lite kvæinnhold fører også til større svellehastighet.

Vi skal se litt på svellingsvarme, svellingstrykk og volumkontraksjon.

Med svellingsvarme forstås en den frigitte varmemengde når trevirket tar opp fuktighet. Svellingsvarmen står i forbindelse med tiltreknings- og bindekreftene mellom trevirke og vann. Svellingsvarmen hos trevirket mel-

Spillingsfylke

Volumkontraksjonen

$$V_u < V_o + V_v$$

Hypotese

lom 0% vanninnhold og fibermetningspunktet utgjør 14,6 - 19,6 kcal pr. kg vannopptak. Ved tørking foregår et omvendt forløp. Foruten den normale fordampningsvarmen, brukes det varme til å bryte bindekraftene mellom trevirke og vann.

Med svellingstrykk mener en det trykket som oppstår når trevirket tar opp vann. Dette har stor praktisk betydning og resulterer ofte i deformeringer av trekonstruksjoner.

Svellingstrykket som utøves i trevirket, er mindre jo høyere begynnelsesfuktigheten er. Det er visstnok ingen almengyldige lovmessigheter for alle treslag.

Som det tredje fenomen ved svellingen skal vi nevne volumkontraksjonen.

Vi betegner volumet over fibermetningspunktet med V_u , volumet av den opptatte væskemengde med V_v og volumet av det tørre trevirke med V_o . Da er $V_u < V_v + V_o$.

Da svelling og krymping er motsatte fenomener, ledes man lett til å tro at de også må oppgis med de samme størrelser. I virkeligheten faller ikke kurvene for krymping og svelling helt sammen. Dette beror på at likevektsfuktigheten hos en treprøve ligger høyere ved krymping enn ved svelling. For bedre å forstå dette problemet skal vi se på et eksempel. Et trestykke krymper og når en likevektsfuktighet ved f.eks. 12%. Bli denne prøven tørket og så lagt under de samme betingelser som før med hensyn til den omgivende luft, når den en ny likevektsfuktighet ved 9,5%. Volumet er altså mindre enn ved 12% fuktighet.

3.22 Bestemmelse av svelling og krymping.

Vi sier at trevirket arbeider, og kaller det for svelling og krymping. På grunn av trevirkets anisotropi, er krympingen og svellingen forskjellig i de tre anatomiske hovedretningene (lengde-, tangential- og radialretning). For å bestemme svelling og krymping i lengderetningen, bruker en kvadratiske prøver som skal være minst 100 mm lange, og for å bestemme krymping og svelling i tangential- og radialretning, bruker en rettvinklede prismer med en grunnflate på 30 mm x 30 mm og en tykkelse på 15 mm. Prøvene må være feilfrie og naboflatene må stå loddrett på hverandre. Videre må en merke seg at sideflatene må stå tilnærmet loddrett på årringene og de to andre sidene må være parallelle med årringene. Videre er det også påkrevd

at fiberforløpet er likt. Sideflatene må være glatthøvlete og tverrendene må slipes med sandpapir. Ofte bruker en det samme materiale til krympings- og svellingsforsøk som til trykk- og bøyestyrkeforsøk.

Det er hensiktsmessig å trekke opp diagonalene på samtlige flater og merke av skjæringspunktene med blyant, fordi målingene må foretas på samme sted i tørr tilstand og etter vannlagring. For hurtig måling, er det greitt å bruke et måleur som måler med en nøyaktighet på 0,01 mm. Med mikrometerskrue kan en arbeide like nøyaktig, men ikke fullt så hurtig. Etter DIN-normen kreves det en målenøyaktighet på 0,1 mm, derfor kan en også bruke en klave med nonius. Det finnes også selvskrivende måleapparater som tegner opp variasjonene i de ytre mål på en dreibar trommel. Disse gir opplysninger både om måleverdiene og om krympingens og svellingens forløp til enhver tid. Tørking av prøvene til vanninnholdet er lik 0 skjer i tørkeskap.

Når en skal bestemme svellingen, må en bruke følgende rekkefølge:

En tørker prøvene til vanninnholdet er lik 0,

måler prøvene i tørr tilstand,

lagrer prøvene i vann til en når fibermetningspunktet,

Måler prøvene i denne tilstand og setter verdiene inn i tilhørende ligninger for å beregne svellingen.

Temperaturen i tørkeskapet skal varieres trinnvis i løpet av de 48 timene. Først 40°, s, 70° og til slutt 100 - 103°C ± 2°C. For å finne fibermetningspunktet, legger en prøvene med det ene tverrsnittet i vann. Så snart det andre tverrsnittet er fuktig og de ytre mål ikke lenger endrer seg, er fibermetningspunktet nådd.

For å bestemme krympingen legger en prøvene først i vann og måler dem ved fibermetningspunktet, så tørkes de i tørkeskap til vekten er konstant og måles på nytt. Verdiene settes inn i bestemte formler.

Vi betegner:

De ytre mål målt ovenfor fibermetningspunktet i lengderetningen m_{lu} ,

tørr treprøve i lengderetningen m_{l0} ,

over fibermetningspunktet i tangentialretning m_{tu} ,

tørr treprøve i tangentialretningen m_{t0} ,

over fibermetningspunktet i radialretning m_{ru} ,
tørr treprøve i radialretning m_{ro} .

Vi får da følgende formler:

Svelling i lengderetningen, $\alpha_l = \frac{m_{lu} - m_{lo}}{m_{lo}} \cdot 100 (\%)$

Svelling i tangentialretningen, $\alpha_t = \frac{m_{tu} - m_{to}}{m_{to}} \cdot 100 (\%)$

Svelling i radialretningen, $\alpha_r = \frac{m_{ru} - m_{ro}}{m_{ro}} \cdot 100 (\%)$

Volumsvelling, $\alpha_v = \frac{(100 + \alpha_l)(100 + \alpha_t)(100 + \alpha_r)}{10^4} \div 100 (\%)$

Krymping i lengderetningen, $\beta_l = \frac{m_{lu} \div m_{lo}}{m_{lu}} \cdot 100 (\%)$

Krymping i tangentialretning, $\beta_t = \frac{m_{tu} \div m_{to}}{m_{tu}} \cdot 100 (\%)$

Krymping i radialretningen, $\beta_r = \frac{m_{ru} \div m_{ro}}{m_{ru}} \cdot 100 (\%)$

Volumkrymping, $\beta_v = \frac{\cancel{(100 + \alpha_l)(100 + \alpha_t)(100 + \alpha_r)} + 100 (\%)}{10^4}$

$\beta_r = 100 \div \frac{(100 - \beta_l)(100 - \beta_t)(100 - \beta_r)}{10^4}$

I praksis blir volumsvellingen (α_v) og volumkrympingen (β_v) ofte bestemt ved hjelp av følgende enkle formler:

$\alpha_v = \alpha_l + \alpha_t + \alpha_r$ og
 $\beta_v = \beta_l + \beta_t + \beta_r$

Til de fleste formål er disse formlene tilstrekkelige.

I prøverapporter er middelverdiene og enkeltverdiene av svellings- og krympingsmassen angitt med 0,1% nøyaktighet.

Omregning fra svelling til krymping og omvendt foregår ved hjelp av formlene:

$\alpha = \frac{\beta}{100 - \beta} \cdot 100 (\%)$ h.h.v.
 $\beta = \frac{\alpha}{100 + \alpha} \cdot 100 (\%)$

Når det gjelder krymping og svelling hos trefiber- og sponplater, er det

Tunge klesap mer enklekke.

Tyngre kjemmed mer en lett yte.
(kjemmed)

Sommerved mer varved.

angitt bestemte størrelser for prøvestykkene og bestemte regler for hvordan målingen skal foregå.

3.23 Forhold som influerer på krymping og svelling.

Hvert treslag har en karakteristisk middelvei for svelling og krymping. Tunge treslag sveller og krymper vanligvis mer enn lette, men sammenhengen mellom svelling og krymping på den ene siden og volumvekten på den andre, er ofte bestemt av andre faktorer. Dette gjelder også med hensyn til svelling og krymping innenfor samme treslag. Den tyngre kjerneveden sveller og krymper mindre enn den lettere splintveden. Dette beror på innlagringen av bestemte kjernestoffer i celleveggene i kjerneveden. Disse har liten eller ingen evne til å svelle. Hos nåletrær vil også svelling og krymping avhenge av andelen av høstved som sveller og krymper mer enn vårved.

Trevirket sveller og krymper forskjellig i de tre anatomiske hovedretningene. Det skyldes vedens struktur. Den svake svellingen og krympingen i lengderetningen skyldes en slags sperrevirkning som oppstår fordi fibrillene i sekundærveggen er vridd både til høyre og til venstre. Den forholdsvis sterke svellingen og krympingen i tangential- og radialretningen henger trolig bl.a. sammen med at på samme strekning er det omlag hundre ganger så mange tverrvegger i disse retningene som i lengderetningen.

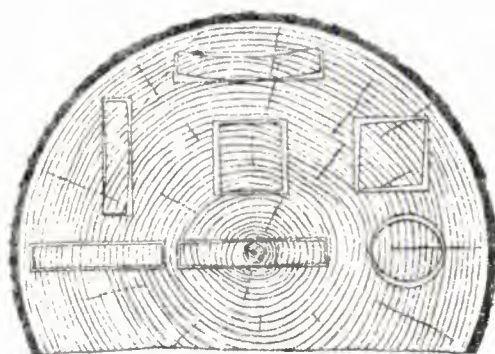


Fig. 22. Deformering p.g.a. krymping. Etter For. Prod. Labor., Madison (VORREITER 1949).

Den sterke svelling og krymping i tangential- i relasjon til i radialretningen, skyldes trolig forskjellig tykkelse i tangential- og radial-

Vanninhold.
Vasheart.

*Uten peletiv i
radial veggene.*

veggene. Årsakene er ikke helt klarlagt. (Se fig. 22.).

Vi har nevnt at størrelsen av svellingen og krympingen også avhenger av volumvekten. Nedenstående figur gir et bilde av dette forholdet.

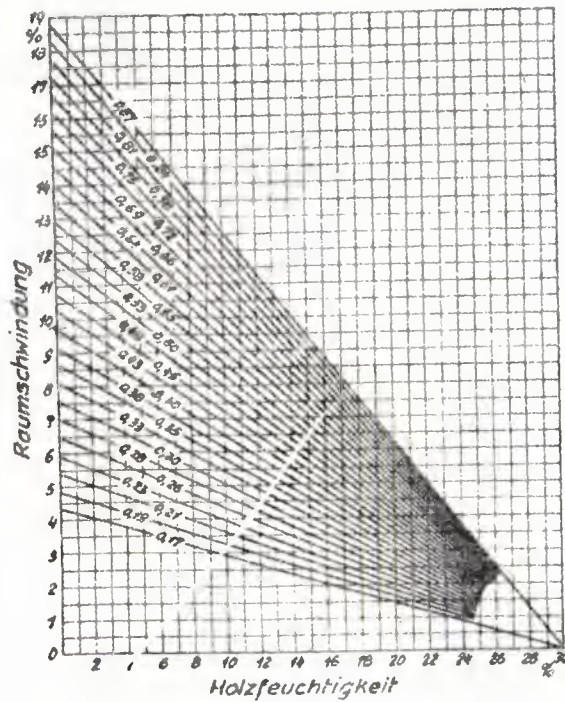


Fig. 23. Forholdet mellom krymping, tørrvolumvekt og trevirkets vanninnhold. Etter MACLEAN (VORREITER 1949).

Vanninnholdet og ikke å forglemme væskearten, influerer sterkt på svelling og krymping. Således sveller trevirket overhodet ikke i ligroin, i jordolje er svellingen ytterst liten, mens den i vann og i glyserin er meget stor.

Vanninnholdets betydning for krymping og svelling under fibermetningspunktet går tydelig fram av figurene 24 og 25.

FIBERMETNINGS-
PUNKTET. se tab. 13
(S. 43)

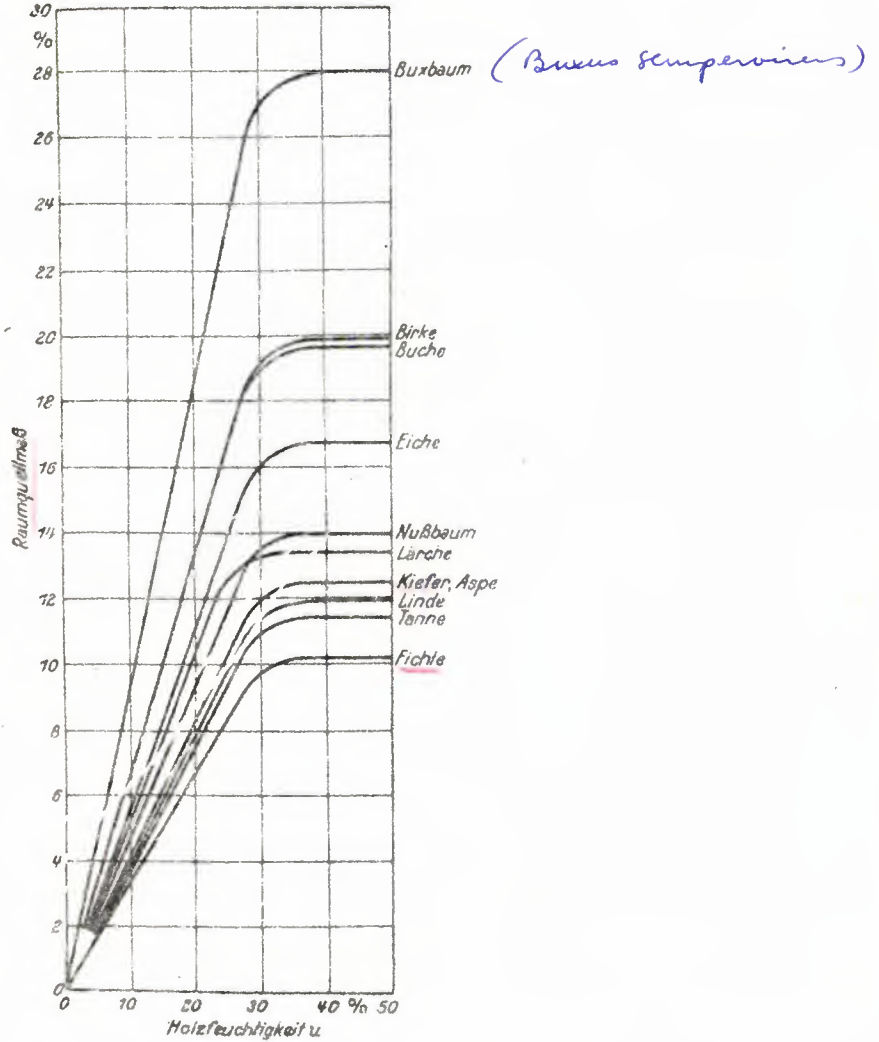


Fig. 24. Forholdet mellom svelling og vanninnhold hos noen treslag.
Etter MØRATH. (KOLLMANN 1951)

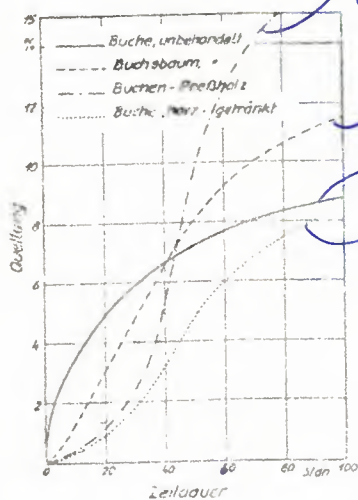


Fig. 25. Svellingsforløp hos ubehandlet og behandlet trevirke (VORREITER 1949).

pressed av bøk (Signo Stone).
Buebaum
ubehandlet bok
Karpitimpregn. bøk.

Vi ser bl.a. av fig. 25 at presset bok ^{signo stone} sveller mindre enn ubehandlet og impregnert bok ^{og buebaum} de første 40 timene. Senere endes ~~bildet~~ forløpet. Minst sveller karpitimpregneret bok.

3.24 Forholdsregler for å minske svelling og krymping.

Den enkleste metoden for å redusere innflytelsen fra svelling og krymping er å bruke trevirke med et vanninnhold som svarer til formålet. Stilles det krav om at trevirket må svelle og krympe lite, kan en bruke treslag der disse egenskapene er lite utpreget.

En kan også underkaste trevirket forskjellige behandlingsmetoder for å hindre svelling og krymping, f.eks.) utluting med kaldt vann,

- 2) damping,
- 3) tørking,
- 4) behandling med varme gasser,
- 5) varmebehandling i smeltede metall-legeringer,
- 6) behandling med pyridin-eddiksyre-anhydridløsning,
- 7) behandling med løselige stoffer som senere stivner i trevirket og til slutt kan nevnes tilføring av stoffer som er vannavstøtende og som ikke lar seg herde.
- 8) En kan også motvirke de uheldige virkningene av krymping og svelling ved å sette sammen trevirket på forskjellige måter, f.eks. som finér.

Krypsfinér

(vannfast finér)

- 4) Til slutt kan nevnes at en kan hindre svelling og krymping ved å hindre overflaten fra å ta opp vann, f.eks. ved å male og lakke trevirket.

Tab. 15. Krymping hos noen treslag (KØNIG 1955)

Treslag	β_l	β_r	β_t	β_v
Bøk	0,30	5,6	11,5	17,5
Eik	0,40	4,2	8,0	12,6
Gran	0,30	3,5	7,7	11,8
Furu	0,40	3,8	7,5	12,3
Lerk	0,30	3,2	7,6	11,3
Lind	0,30	5,6	9,0	14,9

Svellingen kan beregnes av formelen:

$$\alpha = \frac{\beta}{100 - \beta} \cdot 100 (\%)$$

Sammendrag.

Når trevirket tørker fra fibermetningspunktet og ned til tørr tilstand, inntreer en forandring i de ytre mål som kalles krymping. Ved at trevirket tar opp fuktighet på nytt vil det svelle helt til det når fibermetningspunktet. Svellingen er størst i begynnelsen og avtar senere nokså jevnt. Med svellingsvarme forstår en den frigitte varmemengde når trevirket tar opp fuktighet. Svellingsstrykk er det trykket som oppstår når trevirket tar opp vann. Volumkontraksjonen er forholdet mellom volumet av den opp-tatte væskemengde og det tørre trevirket på den ene siden og trevirket i svellet tilstand på den andre.

Størrelsen av svelling og krymping avhenger av treslaget, og innenfor det enkelte treslag først og fremst av volumvekten, fiberretningen og ikke å forglemme av arten av væske som opptas.

4. Trevirkets forhold overfor gasser.

Trevirkets forhold overfor gasser er relativt lite undersøkt. De resultatene som er kommet refererer seg hovedsakelig til gassers inntrenging i trevirket.

Denne egenskapen er av spesielt stor betydning når det gjelder å behandle trevirke med beskyttelsesmidler i gassform mot soppangrep. Inntrengningsdybden av de gassformige beskyttelsesmidlene avhenger i første rekke av

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]

Varnits anomoli

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]

gasstettheten og av gasstrykket. Videre av treslaget og av inntrengningsretningen (i radial-, tangential- og lengderetning) og av om det dreier seg om splint- eller kjerneved. Gassene trenger lettest inn i fiberretningen. Det er f.eks. funnet at hos furu med 10% vanninnhold (normalt trykk) trengte svoveldioksyd, klor, formaldehyd, svovelkullstoff og eddiksyre ca. 1 - 3 mm inn i radialretningen, og ca. 10 mm inn i fiberretningen (WANIN, 1949). Inntrengningsdybden stiger med økt trykk. Det er utarbeidet bestemte metoder for volumetrisk å bestemme hvor mye luft som kan trenge gjennom trevirke. Luftmengden kan leses av på en skala på byretten.

Gassgjennomtrengeligheten i trevirket lar seg også bestemme ved hjelp av fargereaksjon. Metoden går ut på at gassen som trenger gjennom trevirket farger en bestemt indikator.

5. Trevirkets forhold overfor varme og temperaturvariasjoner.

Trevirkets forhold overfor varme og temperaturvariasjoner er først og fremst karakterisert ved dets volumendring, varmeledningstall, spesifikk varme og temperaturlledningstall.

5.1 Utvidelse på grunn av oppvarming.

Ved økning og senkning av temperaturen vil det forekomme endringer i de ytre mål hos trevirke. Generelt gjelder følgende grunnregel at et stoff utvider seg ved oppvarming og trekker seg sammen ved avkjøling. Vann står forøvrig i en særstilling, fordi det trekker seg sammen mellom 0° og 4°C istedenfor å utvides, og en snakker om vannets anomali. Ovenfor 4°C forholder det seg igjen normalt, dvs. det utvider seg ved fortsatt oppvarming. Gasser utvider seg mest ved oppvarming og faste stoffer minst. Alt etter som temperaturendringen forårsaker endringer i en, to eller tre dimensjoner, snakker en om lineær- flate- eller volumutvidelse.

Betegner vi:

Lengden av en treprøve ved en temperatur t_1 med l_1 ,

lengden ved en temperatur t_2 med l_2 ,

endringen i lengden av en treprøve ved en temperaturredifferans

$dt = t_2 - t_1$ med dl

og den lineære utvidelseskoeffisient med α_w ,

Linear utvidelses koeffisient

Formel:

$$d_{wec} : d_{wtg} = 1 : 10$$

$$\frac{(d_{w/nd} + d_{w/ty})}{2} = d_{w/}$$

Linear
kvadrutvidelses-
koeffisient.

$$\text{da er } dl = l_1 \cdot \alpha_w \cdot dt.$$

Den lineære utvidelseskoeffisient er altså

$$\alpha_w = \frac{1}{l_1} \cdot \frac{dl}{dt}$$

Den lineære utvidelseskoeffisienten uttrykker den relative forlengelsen ved en temperaturforskjell på 1°C . Den sier hvor mye lengdeenheten av et stoff øker ved en temperaturstigning på 1°C .

Av ligningen

$$dl = l_2 + l_1(\text{cm}) \text{ og } dl = l_1 \cdot \alpha_w \cdot dt(\text{cm}), \text{ får en:}$$

$$l_2 = l_1 (1 + \alpha_w \cdot dt)(\text{cm})$$

henholdsvis

$$l_2 = l_1 [1 + \alpha_w (t_2 + t_1)] (\text{cm})$$

En kan bestemme lengden (l_2) på grunnlag av begynnelseslengden, den lineære utvidelseskoeffisient og temperaturøkningen.

Trevirket er et anisotrop materiale og utvidelsen er forskjellig i lengde-, radial- og tangentialretningen. Den er minst i lengderetningen og størst i tangentialretningen. Verdien av den lineære utvidelseskoeffisienten i lengderetningen (α_{wll}) og i tangentialretningen (α_w/tg) forholder seg hos trevirke som omtrent 1 : 10. Sammenlignet med andre stoffer er koeffisienten α_{wll} hos trevirke svært liten. Den er f.eks. 7,2 ganger mindre enn hos aluminium og ca. 2,3 ganger mindre enn hos glass.

Middelverdien av den lineære utvidelseskoeffisienten i radialretning (α_w/rad) og den i tangentialretning (α_w/tg), kalles for lineær kvadratutvidelseskoeffisient og betegnes med ($\alpha_w/$). Mellom volumvekten av trevirket og den lineære utvidelseskoeffisienten i lengderetningen er det ikke noen lovmessig sammenheng. I radial og tangential retning stiger den lineære utvidelseskoeffisienten med volumvekten. Med forskningens nåværende kjennskap til forholdet er det ikke mulig å trekke videre slutninger, f.eks. om verdien av den lineære utvidelseskoeffisienten er proporsjonal med volumvekten o.l.

Utvidelse av trevirke ved temperaturstigning, altså ved oppvarming, er ledsaget av fordunstning av vann fra trevirket. Dette forårsaker krymping

innenfor det hygroskopiske området. Utvidelsen av trevirke ved oppvarming virker mot krympingen, men krympingen virker sterkere enn utvidelsen ved oppvarming. Utvidelse på grunn av varme og den samtidige krympingen er fordelaktig når trevirke brenner, fordi vedbestanddelene i slike tilfelle ikke endrer omfang i særlig utstrekning. Dette minsker faren for sammenstyrting. I så henseende er konstruksjoner av trevirke mer fordelaktige enn konstruksjoner av stål. Trevirke i fly som for kortere tid blir utsatt for hyppige og store temperaturendringer, vil praktisk talt ikke endre seg fordi varigheten er forholdsvis kort.

Den lineære utvidelse av trevirke ved oppvarming spiller en stor rolle for forskjellige materialer. Hos komprimert trevirke er krymping og svelling av liten størrelse, og kan bare svakt motvirke endringer på grunn av temperaturvekslinger. Varmeutvidelseskoeffisienten i fiberretningen (α_{wll}) stiger hos komprimert trevirke med økende kvaehold, fordi varmeutvidelseskoeffisienten hos kvaen er større enn hos selve tresubstansen. Innflytelsen av komprimeringsgraden på verdien α_{wll} er av underordnet betydning. I tangential retning avhenger den lineære varmeutvidelseskoeffisienten hos komprimert trevirke av volumvekten hos det ubehandlede virke, henholdsvis av de fortettede tresjiktene, samt av kvaeholden. Den lineære utvidelseskoeffisienten i radialretningen, altså i komprimeringsretningen, avhenger av utvidelsen hos de enkelte tre- og limsjiktene. Verdien av utvidelseskoeffisienten hos kvaeholdert virke av sukkerlønn med en vekt på $0,99 \text{ g/cm}^3$ forholder seg overfor de opprinnelige verdier hos sukkerlønnen i lengde-, tangential- og radialretning som gjennomsnittlig $1,5 : 1$, henholdsvis $1 : 1$ og som $1,5 : 1$.

Med få unntak er endringen i de ytre målene hos trevirke ved avkjøling først av betydning når temperaturen er under 0°C . Ved frost blir de ytre lagene av trevirket først avkjølt, og de blir sterkere avkjølt enn de indre delene. De trekker seg også sterkere sammen. Når spenningene på grunn av sammentrekningen overstiger tverrestrekkstyrken, kan det oppstå sprekker. Dette er årsak til at det kan oppstå sprekker i levende trær. Her kan riktignok også andre faktorer virke inn. Ved sterk frost kan diameteren hos trærne bli mindre.

Flateutvidelsen hos trevirke på grunn av varmepåvirkning avhenger av snittretningen. Utvidelsen forløper annerledes i lengde- og radialretningen enn i lengde- og tangentialretningen. I det første tilfellet blir utvidelsen tilnærmet beregnet ved hjelp av følgende ligning:

$$F_2 = F_1 \cdot [1 + (\alpha_{w11} + \alpha_w/\text{rad}) (t_2 \div t_1)] \text{ (cm}^2\text{)} \text{ I det siste tilfellet:}$$

$$F_2 = F_1 \cdot [1 + (\alpha_{w11} + \alpha_w/\text{tg}) (t_2 \div t_1)] \text{ (cm}^2\text{)}.$$

Her betyr:

F_1 flaten ved en temperatur på t_1 , altså begynnelsestilstanden

F_2 flaten i utvidet tilstand ved temperatur t_2 .

På lignende måte blir også volumutvidelsen beregnet. Den utgjør:

$$V_2 = V_1 \cdot [1 + (\alpha_{w11} + \alpha_w/\text{tg} \cdot \alpha_w/\text{rad}) (t_2 \div t_1)] \text{ (cm}^3\text{)}$$

Her betyr:

V_1 , volumet i begynnelsestilstanden, og V_2 , volumet i utvidet tilstand.

5.2 Varmeledningstall.

Varmeledning er en overgang av varme fra steder med høyere temperatur til steder med lavere temperatur. Varmeledningen skjer innenfor legemet og går fra det ene molekylet til det andre. For å bedømme et stoff som varmeleder, bruker en varmeledningstallet. Det uttrykker varmemengden i kcal som i løpet av en time går loddrett gjennom en terning på 1 m^3 , dvs. fra en flate til den andre, når det er en temperaturforskjell på 1°C mellom flatene. Varmeledningstallet blir beregnet ved hjelp av følgende ligning:

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{F(t_2 - t_1)} \text{ (kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C)}$$

Q er den varmemengden som i løpet av en time går gjennom en terning på 1 m^3 (fra en side til den som ligger like overfor),

d er lik tykkelsen av treprøven i meter,

F er lik flaten av treprøven i m^2

og $(t_2 \div t_1)$ er temperaturforskjellen mellom de to flatene som ligger like overfor hverandre i $^\circ\text{C}$.

Innenfor et treslag avhenger varmeledningstallet spesielt av volumvekten, fiberretningen, vanninnholdet og av trevirkets temperatur. Varmeledningstallet stiger tilnærmet rettlinjet med volumvekten. Dette henger sammen med porevolumet som er større hos lette treslag enn hos tunge. For sammenhengen mellom varmeledningstallet perpendikulært på fibrene hos et bestemt treslag og volumvekten (r_u) ved et midlere vanninnhold på ca. 12% og en

temperatur på ca. 27°C, gjelder omtrent følgende ligning:

$$\lambda = 0,168 r_u + 0,022 \text{ (kcal/mh } ^\circ\text{C)}$$

For noen treslag (perpendikulært på fibrene) og for treholdige isolasjonsplater i fullstendig tørr tilstand, er det oppgitt følgende verdier for volumvekt og varmeledningstall (se tab. 16):

Tab. 16. Forholdet mellom volumvekt og varmeledningstall (loddrett på fibrene) (BRUCKMAYER 1949).

Stoff	Volumv. (kg/m ³)	Varmeledn. tall (kcal/m h °C)	Stoff	Volumv. (kg/m ³)	Varmeledn. tall (kcal/m h °C)
Balsa	200	0,048	Trefiber-	200	0,032
	300	0,064	plater	300	0,034
Gran	400	0,079		400	0,037
Furu	500	0,095		500	0,042
Edelgran	600	0,111		600	0,051
	700	0,127	Sement-	700	0,120
Bøk, eik	800	0,143	sagspon	800	0,140
	900	0,159		900	0,160
Treullplater	200	0,042	Tremasse	125	0,035
med sement-	300	0,048		225	0,045
eller magne-	400	0,057			
sittbinding	500	0,070			
	600	0,090			

Det største varmeledningstallet får en når varmen brer seg parallelt med fibrene. Perpendikulært på fibrene er verdiene atskillig mindre, og forskjellen er ikke særlig stor i radial- og tangentialretning. Med stor tilnærming kan en uttrykke

$$\frac{\lambda_{11}}{\lambda_1} \text{ med } 1,8 - 2,5.$$

Varmeledningstallets avhengighet av varmestrømmenes orientering beror på trevirkets ulike struktur i forskjellige retninger.

I tørr tilstand er trevirket som et porøst legeme, en dårlig varmeleder. Av denne grunn egner det seg som isoleringsstoff for bolighus, kjølevogner osv. I den varme årstiden hindres varmeledningen utenfra, og i den kalde årstiden blir det ikke noen hurtig varmeledning innenfra. Varmeledningstallet stiger imidlertid med trevirkets vanninnhold, fordi vann er en atskillig bedre varmeleder enn trevirke.

temperatur på ca. 27°C, gjelder omtrent følgende ligning:

$$\lambda = 0,168 r_u + 0,022 \text{ (kcal/mh } ^\circ\text{C)}$$

For noen treslag (perpendikulært på fibrene) og for treholdige isolasjonsplater i fullstendig tørr tilstand, er det oppgitt følgende verdier for volumvekt og varmeledningstall (se tab. 16):

Tab. 16. Forholdet mellom volumvekt og varmeledningstall (loddrett på fibrene) (BRUCKMAYER 1949).

Stoff	Volumv. (kg/m ³)	Varmeledn. tall (kcal/m h °C)	Stoff	Volumv. (kg/m ³)	Varmeledn. tall (kcal/m h °C)
Balsa	200	0,048	Trefiber-	200	0,032
	300	0,064	plater	300	0,034
				400	0,037
Gran	400	0,079		500	0,042
Furu	500	0,095		600	0,051
Edelgran	600	0,111		700	0,120
	700	0,127	Sement-	800	0,140
Bøk, eik	800	0,143	sagspon	900	0,160
	900	0,159			
Treullplater	200	0,042	Tremasse	125	0,035
med sement-	300	0,048		225	0,045
eller magne-	400	0,057			
sittbinding	500	0,070			
	600	0,090			

Det største varmeledningstallet får en når varmen brer seg parallelt med fibrene. Perpendikulært på fibrene er verdiene atskillig mindre, og forskjellen er ikke særlig stor i radial- og tangentialretning. Med stor tilnærming kan en uttrykke

$$\frac{\lambda_{11}}{\lambda_1} \text{ med } 1,8 - 2,5.$$

Varmeledningstallets avhengighet av varmestrømmenes orientering beror på trevirkets ulike struktur i forskjellige retninger.

I tørr tilstand er trevirket som et porøst legeme, en dårlig varmeleder. Av denne grunn egner det seg som isoleringsstoff for bolighus, kjølevogner osv. I den varme årstiden hindres varmeledningen utenfra, og i den kalde årstiden blir det ikke noen hurtig varmeledning innenfra. Varmeledningstallet stiger imidlertid med trevirkets vanninnhold, fordi vann er en atskillig bedre varmeleder enn trevirke.

I praksis regner en tilnærmet med 1,25% økning i varmeledningstallet for hver prosents økning av trefuktigheten. Visse antagelser fører til gode resultater i fuktighetsintervallet fra $u = 5 - 35\%$. Varmeledningstallet i is ved en temperatur på 0°C er $1,9 \text{ kcal/m h }^{\circ}\text{C}$ og i 20 graders kulde $2,1 \text{ kcal/m h }^{\circ}\text{C}$. Is i trevirke virker imidlertid ikke så sterkt på varmeledningstallet som en skulle tro når en ser på differansen mellom varmeledningstallet for vann og is.

I sammenheng med varmeledningstallets avhengighet av forskjellige faktorer, skal vi spesielt se litt på temperaturens betydning for varmeledningstallet hos trevirke. Tilnærmet gjelder at ved en temperaturstigning på 1°C , stiger varmeledningstallet med ca. $0,25\%$. Sammenlignet med forskjellige metaller er varmeledningstallene hos trevirke svært små. Varmeledningstallet hos rent sølv er f.eks. 360 , hos rent jern 63 og hos glass $0,4 - 0,9 \text{ kcal/m h }^{\circ}\text{C}$. Det fins flere metoder til å bestemme varmeledningstallet hos trevirket. Målenøyaktigheten hos disse prøveapparatene kan utgjøre ca. $2 - 3\%$.

5.3 Spesifikk varme.

Når to stoffer kommer i berøring med hverandre, vil det varmeste stoffet avgi varme til det kaldere helt til temperaturen er den samme hos begge legemer.

Den varmemengden som opptas eller avgis hos en masseenheter av et stoff, kalles spesifikk varme og måles i $\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$ eller $\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$. Den spesifikke varmen beregnes ved hjelp av følgende ligning:

$$c = \frac{Q}{m (t_b - t_s)} \quad (\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C})$$

Q er varmemengde,

m er masse,

t_b er begynnelsestemperatur

og t_s er slutt-temperatur.

Er verdien $(t_b + t_s)$ svært liten, snakker en om den sanne spesifikke varmen ved temperaturen, $t = \frac{t_b + t_s}{2}$. Ved større temperaturendringer, får en den midlere spesifikke varme mellom t_b og t_s .

Den spesifikke varmen hos faste stoffer bestemmes enten ved hjelp av den såkalte blandingsmetoden eller ved hjelp av elektriske metoder. I praksis

bruker en helst empiriske formler, og derfor skal vi ikke gå nærmere inn på beregningsmåtene her.

For å finne den sanne spesifikke varme (c_o) av tørt trevirke, bruker en følgende empiriske ligning:

$$c_o = 0,266 + 0,0116 t \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)}$$

t er temperatur i grader C.

Den midlere spesifikke varme (c_o) av helt tørt trevirke bestemmes ved hjelp av følgende formel:

$$c_o = 0,266 + 0,00058 \cdot (t_b \div t_s) \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)}.$$

Begge formlene kan brukes for alle treslag. Den spesifikke varmen hos trevirke avhenger sterkt av vanninnholdet og øker med økende vanninnhold. (se fig. 26).

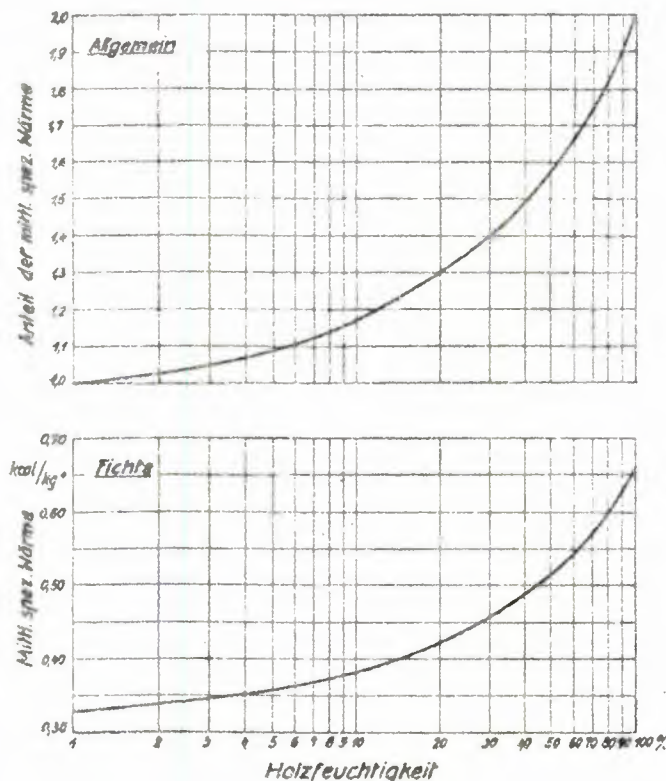


Fig. 26. Spesifikk varme - tilnærmet for alle treslag (øverst) og for gran (nederst). (KOLLMANN, 1951).

Den spesifikke varme hos fuktig trevirke er sammensatt av den spesifikke varme for helt tørt trevirke og av den spesifikke varmen av vann. Den spesifikke varmen for vann er $1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$. Den spesifikke varme for helt tørt trevirke (c_o) i temperaturområdet fra $0 - 100^\circ\text{C}$, er lik $0,324 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$.

Betegner vi den spesifikke varme hos fuktig trevirke med c_u og trevirkets vanninnhold (g/g-ikke %) over tørrvekten med u , så får en følgende tilnærmede ligning for den spesifikke varmen hos fuktig trevirke:

$$c_u = \frac{c_o + u}{u + 1}, \text{ henholdsvis } c_u = \frac{0,324 + u}{u + 1} \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)}$$

I praksis blir det også brukt andre formler for å bestemme den spesifikke varmen, men vi skal ikke gå nærmere inn på disse her. Den spesifikke varme (c) i $\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ ved 18°C utgjør for jern $0,111$, for kopper $0,092$ og for bly $0,031$. Den spesifikke varme hos trevirke ligger forholdsvis høyt.

Jo høyere den spesifikke varmen ligger hos et stoff, desto mer varme må det til for å forårsake en temperaturstigning. Omvendt betyr dette at et stoff med en høy spesifikk varme holder godt på varmen og er hensiktsmessig for beskyttelse mot varme og kulde. Den dårlige varmeledningsevnen hos trevirket spiller først og fremst en stor rolle for beregning av tørkekammere, damp- og kokeanlegg.

5.4 Temperaturledningstall.

Temperaturledningstallet gir uttrykk for temperaturendringen i et stoff i en bestemt tid. I treindustrien spiller temperaturledningstallet spesielt en stor rolle ved tørking, liming og varmepressing og ved damping av finér m.m. Temperaturledningstallet (a) avhenger av:

varmeledningstallet (λ) ($\text{kcal/m h } ^\circ\text{C}$),
den spesifikke varme (c) ($\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$)
og av tørrvolumvekten (r) (kg/m^3).

Temperaturledningstallet lar seg beregne av følgende ligning:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot r} \text{ (m}^2\text{/h)}$$

Vi ser at når varmeledningstallet og den spesifikke varmen er konstante, så øker temperaturledningstallet med avtagende volumvekt. Hos f.eks. det svært lette balsatreet er temperaturledningstallet $0,001$, for luft og vann ved 0°C , henholdsvis $0,0688$ og $0,0048 \text{ m}^2\text{/h}$. Kopper har et spesielt høyt temperaturledningstall ($a = 0,383 \text{ m}^2\text{/h}$).

Et høyt temperaturlledningstall forårsaker en hurtig oppvarming, men også en rask avkjøling av et stoff. Kjennskapet til temperaturlledningstallet er av stor betydning når det gjelder å bestemme avkjølingsforløpet om vinteren og oppvarmingen om sommeren. Når en skal varme opp et rom, spesielt om vinteren, som har stått uoppvarmet i lengere tid (f.eks. et forsamlingsrom), er det å anbefale at en bruker innervegg av et materiale med liten varmemagasineringssevne, f.eks. treullplater.

Sammendrag.

Trevirkets forhold overfor temperatur blir først og fremst karakterisert ved hjelp av dets volumendringer, varmeledningstall, spesifikk varme og temperaturlledningstall.

Trevirket utvider seg ved oppvarming og trekker seg sammen ved avkjøling. Endringene er minst i lengderetningen og størst i tangentialretningen. Sammenlignet med andre stoffer er utvidelsen liten hos trevirke. Mellom volumvekten av trevirket og dets lineære utvidelseskoeffisient i lengderetningen, er det ingen lovmessige sammenheng. I radial og tangential retning stiger den lineære utvidelseskoeffisienten med volumvekten. Utvidelsen av trevirket ved oppvarming motvirker krymping og svelling i det hygroskopiske området. Dette er fordelaktig når trevirket brenner, fordi vedbestanddelene i slike tilfelle ikke endrer seg særlig og dermed minskes faren for sammenstyrting. Trevirkets utvidelse ved oppvarming har stor betydning for forskjellige materialer. Endringen i målene ved avkjøling er først av praktisk betydning når temperaturen er under 0°C .

Varmeledningstallet angir varmemengden i kcal som i løpet av en time går loddrett gjennom en terning på 1 m^3 av et stoff fra en flate til den motliggende når temperaturdifferansen mellom disse er 1°C . Trevirkets varmeledningsevne stiger tilnærmet rettlinjet med volumvekten. Varmeledningstallet er størst når varmen ledes parallelt med fiberretningen. I tørr tilstand er trevirket en dårlig varmeleder, og varmeledningstallet stiger med stigende vanninnhold. Tilnærmet gjelder at ved en temperaturstigning av 1°C øker varmeledningstallet omkring 0,25%.

Med spesifikk varme mener man den varmemengden som et stoff opptar eller avgir ved en temperaturstigning h.h.v. temperatursenkning på 1°C . Den spesifikke varmen hos trevirket øker med økende vanninnhold. I industrien har den spesifikke varmen stor betydning når en skal beregne tørkekammere, damp- og kokeanlegg.

$$u = RI$$

Temperaturledningstallet angir temperaturendringene i et stoff til enhver tid. I industrien er temperaturledningstallet spesielt av stor betydning ved tørking, liming og varmpressing og ved damping av finér m.m. Når varmeledningstallet og den spesifikke varmen er konstante, øker temperaturledningstallet med avtagende volumvekt. Et høyt temperaturledningstall forårsaker en hurtig oppvarming, men også en rask avkjøling av et stoff.

6. Trevirkets forhold overfor elektrisitet.

Trevirkets forhold overfor elektrisitet er først og fremst karakterisert ved dets isoleringssevne og virkning som dielektrikum.

6.1 Isoleringssevne.

Den elektriske motstand og gjennomslagsevne spiller en stor rolle når en skal bedømme trevirket som isoleringsstoff.

6.11 Elektrisk motstand.

Tørt trevirke har den egenskap at det yter motstand overfor elektrisk strøm. (Den elektriske enheten for motstand er 1 ohm (Ω)).

Motstand (R) = spenning (U)/strømstyrke (J). Spenningen måles i volt (V) og strømstyrken i ampèr (A). Mellom den elektriske motstand (R), lengden (l) og tverrsnittet (F) av et legeme gjelder følgende ligning:

$$R = \rho_e \cdot \frac{l}{F} (\Omega)$$

ρ_e er en proporsjonalitetsfaktor som kalles for spesifikk elektrisk motstand, og som videre er karakteristisk for det enkelte stoff.

Av formelen ser en at den elektriske motstand (R) endrer seg med stoffet når lengden og tverrsnittet er konstant.

Hos stoffer med samme egenskaper og med samme tverrsnitt, er motstanden proporsjonal med lengden (l).

Hos stoffer med samme egenskaper og samme lengde, er motstanden omvendt proporsjonalt med tverrsnittet (F).

Av ligningen ovenfor får en følgende ligning for den spesifikke elektriske motstand:

$$\rho_e = \frac{R \cdot F}{l} (\Omega \cdot \text{cm})^1)$$

Den spesifikke elektriske motstand, altså den elektriske motstand av et legeme med 1 cm sidelengde og 1 cm² tverrsnitt, utgjør hos trevirke i tørr tilstand minst $1,6 \cdot 10^{14}$. Av tabell 17 går det fram at absolutt tørt trevirke er utmerket som isolator.

Tabell 17. Spesifikk elektrisk motstand hos noen faste stoffer ved 0°C. (BROCKHAUS, 1952).

Stoffart	ρ_e ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Stoffart	ρ_e ($\Omega \cdot \text{cm}$)
Trevirke	$1,6 \cdot 10^{14}$	Jern	$8,7 \cdot 10^{-6}$
Glimmer	$9 \cdot 10^{15}$	Aluminium	$2,41 \cdot 10^{-4}$
Glass	$10^{11} \dots 10^{15}$	Kopper	$1,55 \cdot 10^{-6}$
Grafitt	800	Sølv	$1,49 \cdot 10^{-6}$

Trevirke blir i praksis ikke tørket til vanninnholdet er lik null, men vanninnholdet avtar til det innstiller seg en likevektsfuktighet avhengig av luftens temperatur og relative fuktighet. Med økende vanninnhold avtar den spesifikke elektriske ledningsevnen (se fig. 27).

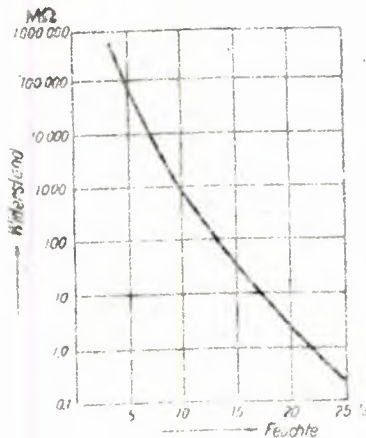


Fig. 27. Forholdet mellom den elektriske motstand og vanninnholdet hos trevirket. (Etter Die elektrische Holzfeuchtemessung nach dem Widerstandsverfahren, Wernerwerk der Siemens & Halske AG, Karlsruhe)

Ovenfor fibermetningspunktet avtar den ca. 5 - 50 ganger, og fra 0% vanninnhold til fibermetningspunktet, flere millioner ganger. Når det elektriske felt ligger parallelt med fiberretningen hos trevirke med et vanninnhold fra 8 - 18%, gjelder følgende ligning mellom logaritmen til den elektriske motstand (R) og vanninnholdet (u) i %:

$$\lg R = \div 0,2 \cdot u + 11,5.$$

1) $\left(\frac{\Omega \cdot \text{cm}^2}{\text{cm}}\right)$

I lufttørr tilstand er trevirket en dårlig leder. Når trevirket er fullstendig mettet med vann, er den spesifikke elektriske motstand den samme som hos vann. Den elektriske motstand i trevirke er ikke bare avhengig av vanninnholdet, men også av spesielle andre betingelser. Hvis det f.eks. oppstår en trykkspenning parallelt med fibreene ved mekanisk belastning, vil det føre til en høyere elektrisk motstand.

En annen faktor som har innflytelse på størrelsen av den elektriske motstanden, er snittretningen. Når den elektriske strømmen løper parallelt med fiberretningen er den elektriske motstanden i trevirket ca. halvparten så stor som i tverr-retningen. Den elektriske motstanden i radial- og tangentialretning er omtrent den samme.

$$R_{||} = 10 \text{ M}\Omega, R/\text{rad} = 18 \text{ M}\Omega \text{ og } R/\text{tang} = 20 \text{ M}\Omega$$

$R_{||}$ betyr den elektriske motstand parallelt med fiberretningen,
 R/rad , den elektriske motstand i radialretning,
 R/tang , den elektriske motstand i tangentialretning og
 $\text{M}\Omega = 1 \text{ million } \Omega$. Verdiene gjelder for gran.

Den spesifikke elektriske motstand hos trevirke avhenger også av temperaturen. ϵ_e avtar grovt regnet med 1 - 2% pr. 1° temperaturstigning.

Sammenlignet med vanninnholdets betydning, er innflytelsen av treslaget på den spesifikke elektriske motstand svært liten (se tab. 18).

Tabell 18. Spesifikk elektrisk motstand hos noen treslag (NIKITIN 1955).

Treslag	Snittretning	Vanninnhold	ϵ_e i $\cdot \Omega \cdot \text{cm}$
Bjerk	radial	7,05	$8,6 \cdot 10^{11}$
"	lengde	8,20	$4,2 \cdot 10^{10}$
Or	radial	7,50	$1,6 \cdot 10^{12}$
Lerk	radial	9,00	$1,4 \cdot 10^{11}$

I relasjon til den store innflytelsen av fuktigheten på den elektriske motstanden, er innflytelsen av trevirkets form svært liten. Den inverse verdi av den spesifikke elektriske motstand kaller vi spesifikk elektrisk ledningsevne (κ).

$$\kappa = \frac{1}{\epsilon_e}$$

$$\kappa = \frac{1}{R \cdot F} \left(\frac{1}{\Omega \text{ cm}} \right)$$

Den spesifikke elektriske ledningsevnen øker med vanninnhold og temperatur i motsetning til ρ_e . κ er omtrent dobbelt så stor i fiberretningen som i tverr-retningen.

Med elektrisk ledningsverdi (G), mener vi den inverse verdi av den elektriske motstand:

$$G = \frac{1}{R} \text{ (S)}^1)$$

I praksis har det vist seg at den elektriske motstand i tjæreimpregnerte stolper er omtrent den samme som i ubehandlede stolper. Uhellene med gjennomslag i tjæreimpregnerte stolper avhenger mer av den forsinkede tørkingen innenfor tjæresjiktet. Dermed bedres den elektriske ledningsevnen. Parafinert ved har en meget høy elektrisk motstand.

Med elektrisk krympestrømmotstand mener vi et stoffs evne (motstand) til å hindre elektrisk strøm fra å slå over fra steder med høy til steder med lav spenning. Den kalles r og måles i $\frac{\Omega}{10 \cdot \text{cm}^2}$. En spesielt høy krypestrømmotstand har impregnert presstre.

6.12 Gjennomslagsfasthet.

Når en øker spenningen mellom to isolerte elektroder, vil det til slutt oppstå en utladning i isolatoren. Går utladningen gjennom isolatoren, snakker en om elektrisk gjennomslag. Den elektriske spenning som fører til gjennomslag kalles for gjennomslagsspenning (E) og måles i volt eller kilovolt (lav = 100v). Den elektriske gjennomslagsspenning blir undersøkt hos de forskjellige isoleringsstoffer.

Koeffisienten mellom gjennomslagsspenningen (E_D) og den minste tykkelsen mellom elektrodene, betegnes med gjennomslagsstyrke og måles i kv/cm.

Størrelsen av gjennomslagskraften avhenger først og fremst av vanninnholdet og av smittetningen.

Gjennomslagsstyrken er minst i lengderetningen. Den er praktisk talt lik i radial- og tangentialretningen. For ask, furu, bøk og eik med 0% vanninnhold er det funnet verdier for $E_{DII} = 17 - 19 \text{ kv/cm}$, $E_{DI} = 68 - 88 \text{ kv/cm}$ (CHANMAMEDOW, 1955).

Trevirke som er impregnert med kreosot, eller som er presset med $27 - 53 \text{ g/cm}^2$, viser høyere verdier for gjennomslagskraften enn ubehandlet tre-

1) 1S = 1Siemens = $1 \cdot \Omega^{-1}$

virke. En undersøkelse viste at ved 22% vanninnhold var E_{DI} bare 6 kv/cm for bøk. Den elektriske gjennomslagskraften er f.eks. for marmor 20 - 40 kv/cm og hos transformatorolje 50 - 90 kv/cm.

6.2 Trevirke som dielektrikum.

Til å karakterisere de dielektriske egenskapene hos trevirket, bruker en den relative dielektrisitetskonstanten og tapsfaktoren. De har særlig stor betydning ved tørking av trevirke og ved oppvarming av limforbindelser ved hjelp av høyfrekvensstrøm. For å bestemme den relative dielektrisitetskonstanten, bruker vi to metallplater som stilles parallelt med liten avstand. Avhengig av stoffet mellom platene, det såkalte dielektrikum, kan disse metallplatene ta opp forskjellig elektrisitetmengde.

Er metallplatene atskilt av vakuum, sier en at ladningen som er opptatt av metallplatene er 1,0. Andre dielektrika opptar forholdsvis større ladninger. Forholdstallene kaller en relative dielektrisitetskonstanter.

Den relative dielektrisitetskonstanten (DK) hos trevirket avhenger først og fremst av:

Volumvekten (ved samme vanninnhold stiger den med økende volumvekt, uavhengig av treslaget og dets opprinnelse),

av vanninnholdet (den øker sterkt med vanninnholdet),

av retningen av de elektriske felt i forhold til fibre (den er størst når retningen av det elektriske felt er parallelt med fiberretningen, verdien av DK i radial- og tangentialretningen er omtrent like),

av temperaturen (det foreligger få undersøkelser hittil, og en kan derfor ikke sette opp almen gyldige regler)

og av frekvensen av det elektriske felt (i området fra 5 - 45 MHz avtar den med økende frekvens, og visstnok sterkere ved høyere vanninnhold enn ved lavere).

I et høyfrekvent vekselfelt dreier molekylene hos dielektrikumet seg ved hver retningsveksel av den elektriske vekselstrøm. Dermed foregår det en oppvarming i dielektrikumet, og størrelsen angis med den såkalte dielektriske tapsfaktor ($tg \delta$). En snakker også om dielektrisk tapsvinkel. For de fleste anvendte dielektrika er δ svært liten, og en kan sette $tg \delta \approx \delta$ (For høyfrekvensisolatorer utgjør δ ca. 10^{-4}). For den maksimale tapsfaktor $tg \delta \cdot 10^4$, gjelder følgende tall (se tab. 19).

Tabell 19. Maksimalverdier av tapsfaktoren ($\operatorname{tg} \delta \cdot 10^{+4}$)
(KRÖNER, 1944)

Treslag	Tverrsnitt	Radialsnitt	Tangentialsnitt
Gran	625	345	310
Bøk	585	298	319
Eik	465	285	325

Verdien av tapsfaktoren er størst i lengderetningen. I radial- og tangentialretning er verdiene temmelig like. Hittil er det foretatt få undersøkelser over sammenhengen mellom temperaturen og tapsfaktoren, henholdsvis vanninnholdet og tapsfaktoren.

Sammendrag.

Trevirkets forhold overfor elektrisitet blir først og fremst karakterisert ved hjelp av dets isoleringssevne og virkning som dielektrikum. Når en skal bedømme trevirkets egenskaper som isoleringsstoff, er det først og fremst den elektriske motstand og gjennomslagsfastheten som er av betydning.

Den spesifikke elektriske motstand er den elektriske motstand i et legeme med 1 cm sidelengde og 1 cm² tverrsnitt. Helt tørt trevirke er en utmerket isolator. Når vanninnholdet øker, avtar den spesifikke elektriske motstand, - ovenfor fibermetningspunktet ca. 5 - 50 ganger, - fra 0% trefuktighet til fibermetningspunktet flere millioner ganger. I lufttørr tilstand er trevirket en dårlig leder. En annen faktor som virker sterkt på den elektriske motstanden hos trevirket er snittretningen. Parallelt med fiberretningen er den elektriske motstanden hos trevirket ca. halvparten så stor som i tverr-retningen. Den elektriske motstanden hos trevirket avtar omlag 1 - 2% for hver grads temperaturforhøyelse. I forhold til vanninnholdets store betydning for den elektriske motstanden, er innflytelsen av volumvekten og formen hos trevirket svært liten.

Den inverse verdi av den spesifikke elektriske motstand kalles for spesifikk elektrisk ledningsevne. Denne øker med vanninnholdet og temperaturen og er omtrent dobbelt så stor i fiberretningen som i tverr-retningen. I praksis har den elektriske ledningsevnen stor betydning når det gjelder golvbelegg (beskyttelse mot ulykker). Uhell ved elektrisk gjennomslag i tjæreimpregnerte master beror på den forsinkede tørking i den delen av trevirket som ligger innenfor tjærekappen. Dermed økes den elektriske ledningsevnen.

Med elektrisk krypestrømsmotstand mener en evnen til å hindre den elektriske strømmen i å slå over fra et sted med høy til et sted med lav spenning.

Koeffisienten mellom gjennomslagspenningen og den minste tykkelsen mellom to elektroder hos et trelegeme, kalles for gjennomslagskraft. Størrelsen av gjennomslagskraften avhenger først og fremst av vanninnholdet og av snittretningen i trevirket. Gjennomslagskraften er minst i lengderetningen og den er praktisk talt lik i radial- og tangentialretningen. Ved økende vanninnhold avtar gjennomslagskraften.

For å karakterisere de dielektriske egenskapene hos trevirket, bruker en den relative dielektrisitetskonstanten og den dielektriske tapsfaktor. Den relative dielektrisitetskonstanten avhenger først og fremst av volumvekten, vanninnholdet, retningen av den elektriske strømmen i relasjon til fiberretningen og av frekvensen av det elektriske felt. Den relative dielektrisitetskonstanten øker med økende volumvekt og vanninnhold hos trevirket. Den relative dielektrisitetskonstanten hos trevirket er størst når det elektriske feltet er parallelt med fiberretningen. I området fra 5 - 45 MHz avtar den relative dielektrisitetskonstanten med økende frekvens, og visstnok sterkere ved høyt enn ved lavt vanninnhold.

Den dielektriske tapsfaktor er en faktor som karakteriserer oppvarmingen av et dielektrikum når det elektriske felt skifter retning. Tapsfaktoren er størst i lengderetningen. Det er ingen tilstrekkelige resultater som viser sammenhengen mellom tapsfaktoren og vanninnholdet i trevirket.

7. Trevirkets forhold overfor ultrafiolette stråler.

De ultrafiolette stråler har en bølgelengde fra 400 - 185 $m\mu$. Det er undersøkelser som viser at treprøver med en tykkelse av 0,2 - 0,5 cm er gjennomtrengelige for ultrafiolette stråler med en bølgelengde på minst 350 $m\mu$. Det er gjort forsøk på å sterilisere trevirket mot råte og blåvedsopper ved hjelp av ultrafiolette stråler.

Når det opptrer filtrerte ultrafiolette stråler i trevirket, blir fargene kastet tilbake. Disse fargene avviker fra sin vanlige farge. Dette kalles luminescens. Alt etter fargenes refleksjon, kan en skille mellom flere grupper av treslag. Også innenfor et enkelt treslag vil det være forskjell mellom splint- og kjerneved, henholdsvis mellom sommer- og høstved.

8. Trevirkets forhold overfor lyd.

Trevirkets forhold overfor lyd blir karakterisert ved hjelp av hurtigheten av utbredelsen av lydbølgene i trevirkets indre og av motstanden mot denne utbredelsen. Videre av evnen til å dempe, oppdemme og sluke lyden.

Først skal vi se litt på hvordan lyden oppstår.

8.1 Hvordan lyden oppstår.

Lyd oppstår gjennom svingninger i faste, flytende eller gassformige legemer. Når det opptrer lydbølger på overflaten av trevirket, bringes denne til å svinge med. (Ved overføring av dypere toner er svingningene i radiosendere følbare med hånden, og en kan høre en brummetone.) Nedenfor 20 Hz ligger området for infralyden, og ved 20 000 Hz ultralyden.

8.2 Lydhastighet.

Utbredelseshastigheten for lydbølgene (m/sek.), kalles for lydhastighet. Hos longitudinale bølger foregår bevegelsen i mediet i bølgenes utbredelsesretning, i motsetning til transversale bølger der svingningene i utbredelsesretningen foregår loddrett på flaten. Vi betegner lydhastigheten av lengdebølgene med c_e , elastisitetsmodulen hos trevirket med E (kg/cm^2) og tettheten med ρ ($\frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{cm}^4}$).

$$\text{Da er } c_e = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ (cm/s),}$$

henholdsvis

$$c_e = \sqrt{\frac{E}{10^4}} \text{ (m/s)}$$

Eksempel:

Den midlere volumvekten hos gran er lik $r = 0,47 \text{ g/cm}^3$, den midlere bøyeelastisitetsmodul i fiberretningen, $E_{||} = 110\,000 \text{ kg/cm}^2$.

$$r = \rho \cdot g_N, \text{ henholdsvis } \rho = \frac{r}{g_N}.$$

$g_N = 980,665 \text{ cm/s}^2 \approx 981 \text{ cm/s}^2$. Ved å sette inn de forskjellige verdier får en:

$$\rho = \frac{0,47}{981} \left(\frac{\text{g/cm}^3}{\text{cm/s}^2} \right). \text{ Det er lik } \frac{0,47}{981 \cdot 1000} \left(\frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{cm}^4} \right)$$

Setter vi inn verdien for ρ ($\frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{s}^4}$) og E (kg/cm^2) i formelen:

$$c_e = \sqrt{\frac{E}{10\,000 \cdot \rho}} \text{ (m/s) så får en:}$$

$$c_e = \sqrt{\frac{110\,000}{10\,000 \cdot \frac{0,47}{981\,000}}} \quad 4790 \text{ (m/s)}$$

Det er likegyldig om en bruker elastisitetsmodulen ved trykk-, strekk- eller bøyeforsøk, da forskjellen er av svært liten betydning. Ligningen fører bare til tilnærmede resultater. Vi skal se på en tabell som viser lyd hastigheten i trevirket (i fiberretningen) og i andre stoffer.

Tabell 20. Lyd hastighet i noen stoffer (etter USPASSKIJ, 1946).

Stoffart	Lyd hastighet i m/s	Stoffart	Lyd hastighet i m/s
Luft	330,7	Kopper	3900
Kork	430 ... 530	Valnøtt	4700
Eik	3380 ... 4310	Gran	4800
Bøk	3412	Jern	5000
Bjørk	3706	Glass	5100 ... 6000
Ask	3900	Furu	6000

Elastisitetsmodulen (E) varierer med fiberretningen, og dette influerer på lyd hastigheten, dvs. om lyden utbrer seg i fiberretningen, henholdsvis i radial- eller tangentialretningen. Vi skal se på en tabell over lyd hastigheten i forskjellige treslag i forskjellig fiberretning, uttrykt i relasjon til lyd hastigheten i luft ($c = 330,7 \text{ m/s}$).

Tabell 21. Lydhastigheten i forskjellige treslag. Etter
ARNOLD (USPASSKIJ, 1946).

Treslag	Lydhastighet		
	i fiberretningen	loddrett på årringene	parallelt med årringene
Lønn	13,472	5,047	3,401
Akasie	15,467	4,840	4,436
Bjørk	10,965	6,028	4,643
Eik	12,662	5,036	4,229
Or	15,306	4,491	3,423
Ask	15,314	4,567	4,142
Osp	16,667	5,297	2,987
Furu	15,218	4,382	2,572
Poppel	14,050	4,600	3,444
Edelgran	10,600	4,611	2,605
Alm	13,516	4,665	3,327

De akustiske tverrbølgene opptrer i trevirket i form av skyvebølger. Betegner vi utbredelseshastigheten av tverrbølgene med c_g (m/sek), skyvemodulen med G (kg/cm²) og tettheten av trevirket med ρ ($\frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{cm}^4}$),

$$\text{da er } c_g = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \text{ (cm/s),}$$

henholdsvis

$$c_g = \sqrt{\frac{G}{10\,000}} \text{ (m/s)}$$

Til praktiske formål kan skyvemodulen ved en trefuktighet fra 10 - 15% beregnes med tilstrekkelig nøyaktighet ved hjelp av elastisitetsmodulen. Følgende tall skal multipliseres med elastisitetsmodulen for å få skyvemodulen: Gran 0,0625, edelgran 0,0605, furu 0,0690, lerk 0,0770, bøk 0,0835, eik 0,0910.

Da skyvemodulen (G) kan beregnes ved hjelp av elastisitetsmodulen, og denne er avhengig av fiberretningen, vil denne også influere på utbredelseshastigheten av tverrbølgene i trevirket.

8.3 Lydbølgemotstand.

Med lydbølgemotstand mener en et legemets evne til å hindre utbredelse av lydbølger i dets indre. Betegner vi lydbølgemotstanden med Z , tettheten

med ρ og lydbølgehastigheten med c , så er:

$$Z = \rho \cdot c \left(\frac{\text{g}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2} \right)$$

$$\left(1 \frac{\text{g}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2} = 1 \text{ akustisk Ohm} \right)$$

Lydbølgemotstanden i trevirket er ved tilnærmet lik lydhastighet (på grunn av dets vesentlig mindre tetthet) ca. 10 - 20 ganger mindre enn lydbølgemotstanden i de mest anvendte metaller med unntak av bly.

8.4 Lyddemping.

Med lyddemping forstås en lydstyrkens avtagelse pr. m, f.eks. når lydbølgene går over fra et legeme til et annet. Lyddempingen måles i Dezibel pr. m (db/m).

Når energien vandrer bort i lydfeltet snakker en om strålingsdemping, og når lydenergien tas opp av indre rivinger hos svingende legemer, hvormed en del av lydenergien går over til varme, snakker en om tapsdempning.

8.41 Strålingsdempning.

Betegner en tettheten med ρ , og lydhastigheten med c , så er strålingsdempningen:

$$\delta_s = \frac{5}{10^8} \cdot \rho \cdot c \left(\frac{\text{cm}^4}{\text{s} \cdot \text{g}} \right)$$

Til forskjell fra trevirke, har metallene en liten strålingsdempning.

Trevirkets evne til å reflektere stråler kan f.eks. ha stor betydning når det gjelder musikkinstrumenter. Tar vi for oss en fiolin, så vil svingningene i strengene bringe platene i fiolinhuset til å svinge med og vi oppfatter lyden.

8.42 Tapsdempning.

På grunn av omvandlingen fra lyd til varmeenergi, blir amplituden, dvs. vidden eller størrelsen av et svingningsutslag, mindre.

Tapsdempningen uttrykkes ved det såkalte logaritmiske dekrement. Det er logaritmen til koeffisienten mellom verdiene av to amplityder fra like strenger. Det logaritmiske dekrement av en amplityde A og en amplityde B etter 10 svingninger er altså:

$$\delta = \frac{\log A + \log B}{10} .$$

Det er vist at dekrementet i trevirket i en klangbredde hos strykeinstrumenter fra 10 - 10 000 Hz, avhenger av frekvensen og av tykkelsen av trestykket. Videre står det i forbindelse med fiberretningen, vanninnholdet og etterbehandlingen av trevirket. Dekrementet er større i tverr-retningen enn i lengderetningen av fibrene, og det øker ved vannopptagelse og lakkering. I ekstreme tilfeller kan en alt for sterk lakkering føre til at klangen i strykeinstrumenter ødelegges.

8.5 Lydabsorbsjon.

Når lyden utbrer seg i et tomt rom med lukkede vinduer, fås en refleksjon fra de nakne og glatte veggene. Åpner vi et vindu, vil en del av lyden absorberes av åpningen og ekkoet blir mindre. En liknende virkning kan en også få når vinduene er igjen hvis veggene kles med lydabsorberende stoffer.

Trevirkets evne til å absorbere lyd, f.eks. hos trepanel, er større jo større volumvekten er. Den øker med vanninnholdet, temperaturen og tykkelsen av panelen, henholdsvis med panelens uregelmessighet i anatomisk oppbygning, og evnen til å absorbere lyd avhenger av overflateegenskapene. Den varierer også med lydens frekvens. Hvis en fester panelen på et tre-gitter i en bestemt avstand fra den motstående veggen, svinger disse med og forsterker absorberingen.

Ved å anvende trefiberplater blir lydabsorberingen forbedret når man forsyner platene med hull eller riller. Treullplater som har store porerom, tar opp lyden betraktelig, og finér brukes også til å absorbere lyden.

8.6 Lydoppdemming (Lydisolasjon).

De svingningene som brer seg i lufta kalles for luftlyd. Treffer denne luftlyden et legeme, f.eks. en skillevegg av tre, så vil det foregå bøyesvingninger i denne. Så lenge lydimpulsen utbrer seg i skilleveggen eller i andre legemer (foruten luft) snakker en om ledningslyd. Lyden som får legemet i bevegelse stråler ut i lufta, og dermed blir ledningslyden igjen til luftlyd. Trampelyd er en spesiell art av ledningslyd. Den skiller seg fra luftlyden ved hjelp av dens opprinnelse. Således kan et golv settes i svingninger ved direkte berøring med en støvel, og dette forårsaker en trampelyd.

Når lyden trenger gjennom et legeme, f.eks. gjennom en bordvegg, så oppstår det en forminskning av lydstyrken som kalles for lydoppdemming.

Trevirket selv er ikke noe særlig godt oppdemningsmateriale, derimot er enkelte industriprodukter av trevirke gunstige.

8.7 Lydoppdemming hos vinduer og dører.

I vinduer er det i første rekke glassruten som utgjør motstand mot lyd-gjennomtrenging. Lydoppdemmingen henger sterkt sammen med tettheten av materialet. Dobbelte vinduer er mye bedre enn enkle.

Lydoppdemmingen i dører øker med vekten, med stivheten og med tykkelsen av dørmaterialene. Dobbeltdører er best.

Sammen drag.

Når lydbølger opptrer på overflaten av trevirket bringes det til å svinge med. Lydhastigheten av langsgående bølger (longitudinale) lar seg tilnærmelsesvis beregne ved hjelp av elastisitetsmodulen ved statisk trykk-, strekk- eller bøyeforsøk og av volumvekten. Da elastisitetsmodulen varierer med fiberretningen, er lydhastigheten sterkt avhengig av denne. De akustiske tverrbølgene (transversale) opptrer i trevirket i form av skyvebølger eller støtbølger. Deres utbredelseshastighet i trevirket lar seg tilnærmelsesvis beregne ved hjelp av skyvemodulen og volumvekten. De avhenger også av fiberorienteringen. Motstanden mot utbredelse av lydbølger i trevirket er avhengig av trevirkets tetthet og av lydhastigheten.

Når lydbølgen går over fra et legeme til et annet, avtar lydstyrken. Dette skyldes enten at lydenergien avtar i lydfeltet eller førtæres ved indre friksjon i de svingende legemer. I det første tilfellet snakker en om strålingsdempning, i det siste om tapsdempning. Strålingsdempningen er først og fremst avhengig av lydhastigheten og av trevirkets tetthet. Tapsdempningen er spesielt avhengig av fiberretningen og av vanninnholdet. Trevirkets evne til å absorbere lyd, f.eks. en trepanel, er større jo større volumvekten er, og den øker med økende vanninnhold, med temperaturen og med tykkelsen av panelen. Den avhenger videre av uregelmessigheter i anatomisk oppbygning og av overflatebeskaffenheten. Lydabsorberingen varierer også med lydfrekvensen.

Når lyden trenger gjennom et legeme, f.eks. en bordvegg, oppstår det en

redusert lydstyrke, og dette kalles for lydoppdemming. Trevirket selv er et dårlig oppdemningsstoff, mens derimot visse industriprodukter av trevirke kan være gode.

9. Friksjonsegenskaper.

Når en skal bruke trevirke til tekniske formål, spiller friksjonen en viss rolle, bl.a. for festing av spiker, nagler, skruer, kiler osv. En snakker i disse tilfeller om startfriksjon (statisk friksjon). Når f.eks. metaller glir på trevirke snakker en om glidefriksjon. Når maskindeler dreier seg i lager av hardved, komprimert ved, metaller osv., snakker en om lagerfriksjon. Når væsker beveger seg i rør, snakker en om vækefriksjon, og når en radkrans ruller på en flate, om rullefriksjon.

9.1 Startfriksjon (statisk friksjon).

Vanligvis gjelder grunnregelen at hardt, glatt og smurt trevirke yter en liten friksjonsmotstand, i motsetning til bløtt trevirke eller trevirke med ru overflate, henholdsvis trevirke uten smøremidler. Innenfor en og samme treprøve er friksjonen minst i tangentialflaten og størst i tverrsnittsflaten. Vi skal se på en tabell som viser friksjonskoeffisienten for noen stoffer. Vanligvis er startfriksjonskoeffisienten større enn den anførte glidefriksjonskoeffisienten i neste avsnitt (se tab. 23).

Tabell 22. Friksjonskoeffisienten hos noen stoffer.

Stoffer	Friksjonsflater		
	tørr	smurt	med vann
Støpegods mot støpegods	-	0,16	-
Stål mot stål	0,15	0,11-0,12	-
Eik mot eik (<u>//</u>)	0,62	0,44	-
Eik mot eik (<u>⊥</u>)	0,54	-	0,71
Lærreim mot eiketrommel	0,47	-	-
Eik mot polert granitt eller polert messing (<u>//</u>)	-	-	0,49-0,53

9.2 Glidefriksjon.

Med hensyn til glidefriksjonens avhengighet av hardhet og glatthet hos trevirket, er det et liknende forhold som ved startfriksjonen. Vått trevirke derimot viser en mindre motstand ved glidning enn tørt trevirke.

Glidfriksjonen er også avhengig av berøringsflatens snittretning. Det er vist at lufttørt gran- og edelgrantømmer har den største friksjon når fibrene ligger i bevegelsesretningen av friksjonsflaten, og når de andre danner en vinkel på $60 - 180^{\circ}$ til disse VORREITER, 1949).

Vi skal se på en tabell som viser glidfriksjonskoeffisienten for noen stoffer.

Tabell 23. Glidfriksjon hos noen stoffer.

Stoffer	Friksjonsflater		
	tørr	smurt	med vann
Støpegods mot støpegods	-	0,15	0,31
Stål mot stål	0,03...0,09	0,009	-
Eik mot eik ()	0,48	0,16	-
Eik mot eik (⊥)	0,34	-	0,25
Lærreim mot eiketrommel	0,27	-	-

9.3 Lagerfriksjon.

Med lagerfriksjon mener en friksjonen mellom lagertappene og lagerskålene i glidelageret. Lagertappfriksjonskoeffisienten avhenger av omdreinings-tallet, det midlere flatetrykket, smørefilmens viskositet og temperatur og av selve lagerets tilstand (f.eks. om det er tilsmusset eller ikke).

I forhold til metall-lagere er lagerskåler av hard ved, komprimert ved og presset finér billigere, - de skåner lagertappene og en kan bruke andre smøremidler, f.eks. vann. Riktignok er det vanskelig å unngå svelling etter lengere stillstand.

9.4 Væskefriksjon i trerør.

Med væskefriksjon forstår en her friksjonsmotstanden som oppstår mellom trerørets innside og væsken. Friksjonen er mindre jo mindre viskositet og tetthet den enkelte væske har. Friksjonen avtar med økende glatthet av friksjonsflaten og med økende væskehastighet. Formen på rørtverrsnittet spiller også en rolle.

Etter noen år er det vanlig at det dannes en slimfilm på rørets innside, og dette fører til at trerør blir gode hydrauliske ledere. Trerørene er frostsikre og motstandsdyktige mot syre og saltholdig vann, så vel som mot

utluting. Det danner seg lite kondens ved berøring med damp, og trerørene har god evne til å motstå trykkstøt.

9.5 Rullefriksjon.

Jo hardere, fuktigere og glattere trevirket er, desto mindre er rullefriksjonen.

Sammendrag.

Vanligvis gjelder at hardt, glatt, henholdsvis smurt trevirke, har en mindre startfriksjonskoeffisient enn trevirke som er bløtt eller har ru overflate og som ikke er smurt. Innenfor en og samme treprøve er friksjonen minst i tangentialflaten og størst i tverrsnittsflaten.

Med hensyn til glidefriksjonens avhengighet av hardhet og glatthet hos trevirket er det et liknende forhold som ved startfriksjon. Vått trevirke derimot viser en mindre motstand ved glidning enn tørt trevirke.

Lagertappfriksjonskoeffisienten er avhengig av omdreiningstallet, det midlere flatetrykk, seigheten og temperaturen av smøremidlet og videre av lagerets tilstand.

Med væskefriksjon i trerør betegner en friksjonsmotstanden mellom trerørets innside og væsken. Selv etter flere år har trerøret en god hydraulisk ledningsevne fordi det danner seg en slimfilm på innsiden av trerøret.

Jo hardere, fuktigere og glattere trevirket er, desto mindre er rullefriksjonen.

10. Elastisitet.

Når trevirket belastes under bruddgrensen, skjer det ting som er kompliserte å analysere, først og fremst fordi trevirket er uregelmessig bygd, og fordi dets egenskaper er avhengig av en rekke foranderlige faktorer. Vi skal se litt på hvordan trevirket forholder seg ved langsomt stigende trykk-, henholdsvis strekkbelastning inntil bruddgrensen. Videre skal vi se på elastisitetsmodulen ved statisk strekk-, trykk- og bøyepåkjenning.

10.1 Grunnlag.

I det følgende avsnitt skal vi gå inn på spenning og formendringer hos trevirke.

10.11 Spenning.

Ved innvirkning av en ytre kraft, f.eks. trykk eller strekk-kraft, vil trevirket bli påvirket til å bevege seg i kraftretningen. Det oppstår en indre bevegelse i trevirket. Denne kraften kaller vi for spenning (σ), og den måles i kg/cm^2 .

Ved strekkforsøk oppstår det en forminskning og ved trykkforsøk en forstørring av tverrsnittet. Betegner vi belastningen med P og begynnelses-tverrsnittet med F_0 , så er spenningen

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Alt etter arten av belastning snakker en om strekk, trykk eller andre spenninger.

10.12 Formendring på grunn av spenning.

Ved spenning forandrer trevirket form. Det blir deformert. Omfanget av deformeringsen henger sammen med forholdet mellom de innvirkende ytre krefter og den indre motstandskraft hos trevirket. Selv ved lav deforming som ikke er synlig med det blotte øyet, altså ved lav spenning, oppstår det endringer i strukturen hos trevirket. Endringene kan studeres under spesialmikroskop, det såkalte polarisasjonsmikroskop. Trevirket kan også behandles med bestemte kjemikalier og en kan studere deformeringsen p.g.a. disse under vanlig mikroskop.

Alt etter som trevirket (etter at belastningen er opphørt) enten går tilbake til sin tidligere form eller forblir deformert, snakker en henholdsvis om elastisk og plastisk deforming. Den permanente (plastiske) deforming skyldes indre friksjon. Når en fjerner belastningen og trevirket går tilbake til sin opprinnelige form, snakker en altså om elastisitet. Den har spesielt stor betydning ved f.eks. fremstilling av sportsutstyr, verktøy og fjærende maskindeler. Når trevirket ikke går tilbake til sin opprinnelige form etter at en har fjernet belastningen, snakker en om plastisitet. Den kan for trevirke forhøyes ved såkalt hydrotermisk behandling, dvs. ved innvirkning av fuktighet og varme (f.eks. ved damping og koking). Selv ved lav belastning er den totale deforming hos trevirke

sammensatt av elastisk og plastisk deformering.

Ved strekkbelastning oppstår det en utvidelse av treprøven i kraftretningen og en kontraksjon loddrett på denne. Betegner vi forskjellen mellom målelengden (L_s) av treprøven ved strekkbelastning og den opprinnelige målelengden (L_{s0}), altså lengdeforandringen, med ΔL_s , så er utvidelsen $\epsilon_s = \frac{\Delta L_s}{L_{s0}} \cdot 100 (\%)$.

Ved strekkforsøk betyr ϵ_{sel} elastisk utvidelse og ϵ_{sp} permanent utvidelse.

Når vi yter et trykk på treprøven, blir målene mindre i belastningsretningen, henholdsvis større loddrett på denne. Forholdet mellom lengdeendringen (ΔL) og den opprinnelige målelengde (L_{t0}) kalles for oppdemming (ϵ_t).

$$\epsilon_t = \frac{\Delta L_t}{L_{t0}} \cdot 100\%$$

Her betyr ΔL_t forskjellen mellom målelengden hos prøven ved trykkbelastning og den opprinnelige målelengden. Ved trykkbelastning blir den elastiske oppdemming betegnet med ϵ_{tel} og den permanente oppdemming med ϵ_{tp} . Størrelsen av tverrforstørrelsen (tverrdilatasjonen) i tangential retning er forskjellig fra den i radial retning. Den første er ved forskjellige treslag som f.eks. eik og furu, større ved trykkbelastning parallelt med fiberforløpet enn i radial retning, fordi de radiale løpende margstrålene forhøyer motstanden mot tverrforandringer. Ved damping eller koking av trevirket blir dets enkelte byggelementer oppløst og dermed forstørres oppdemmingen og tverrdilatasjonen. Utvidelsen av trevirket parallelt med fiberretningen beror på formendringer hos celleveggene med kryssvis skrueformete fibriller. Ved belastning perpendikulært på fiberforløpet oppstår det også en formendring i sjiktene som forbinder celleveggene ved siden av deformering av fibrillene.

(Forholdet mellom tverrkontraksjon og utvidelse ved strekkbelastning, henholdsvis mellom tverrdilatasjon og oppdemming ved trykkbelastning, er under elastisitetsgrensen den såkalte Poissonske konstant.)

10.13 Sammenheng mellom spenning og formendring.

Sammenhengen mellom spenning og formendring er forskjellig under proporsjonalitetsgrensen og mellom proporsjonalitetsgrensen og elastisitetsgrensen (også etter at den er oppnådd, henholdsvis er overskredet flyte-

grensen). De uelastiske forømdringene hos trevirke er små ovenfor flytegrensen, for allerede ved en liten stigning av belastningen oppstår det brudd.

10.131 Proporsjonalitetsgrense.

Når trevirke belastes langsomt, f.eks. ved bruk av en hydraulisk prøvemaskin, kan en finne sammenhengen mellom kraft, henholdsvis spenning og deformering ved hjelp av et automatisk registrerende diagram.

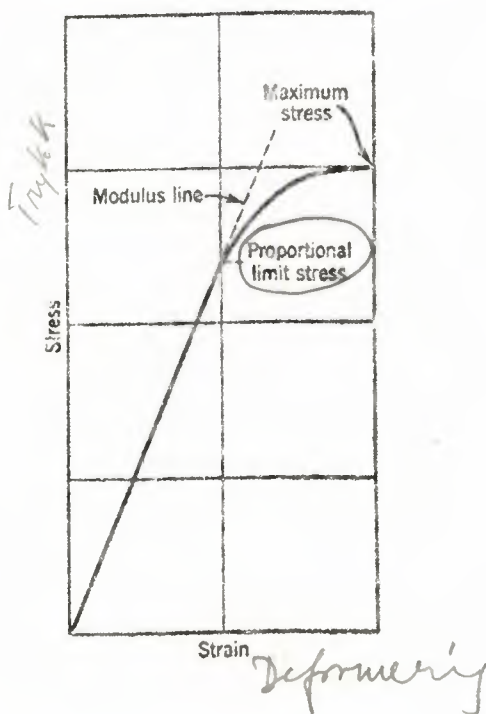


Fig. 28. Forholdet mellom trykk og deformering. (WANGAARD 1950)

I dette diagrammet blir kraften (henholdsvis spenningen) framstilt på den vertikale akse og deformeringen på den horisontale. Deformeringen stiger lineært med spenningen inntil den såkalte proporsjonalitetsgrensen. Ovenfor proporsjonalitetsgrensen stiger deformeringen sterkere med økt spenning. Denne sammenheng uttrykkes ved den såkalte Hooks lov.

Strekkeproporsjonalitet

$$\epsilon = \alpha \cdot \sigma$$

α er en proporsjonalitetsfaktor. Ved strekkforsøk kalles den utvidelsestall, altså

$$\alpha = \frac{\epsilon_{\text{spec}}}{\sigma_{\text{spec}}} = E$$

Den uttrykker hvor mye en 1 cm lang treprøve forlenges når tverrsnitts-

Imprimatur

— flycatcher type seen in nature
Holland

flaten på 1 cm^2 utsettes for et strekk på 1 kg . Utvidelsestallet kan sammenlignes med varmeutvidelseskoeffisienten (men masseendringen inntrer riktignok ikke under innvirkning av varme, men av belastning). Ved mange regneoperasjoner er det mer hensiktsmessig å bruke den inverse verdi av utvidelsestallet, altså $\frac{1}{\alpha}$. For $\frac{1}{\alpha}$ setter en inn verdien E , og kaller den for elastisitetsmodul. Den brukes som tallfaktor for å kjennetegne de elastiske forhold hos et stoff. Elastisitetsmodulen uttrykker spenningen i kg/cm^2 hos et prisme eller en sylinder med 1 cm^2 tverrsnittsflate utsatt for strekkbelastning for å utvide dens egen lengde. Setter en inn verdien $\frac{1}{E}$ for α , får ligningen følgende form:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Har en ved to forsøk funnet verdiene α_1 og α_2 , får en $\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$. En beregner da middelverdien for elastisitetsmodulen på følgende måte:

$$E_m = \frac{1}{\alpha_m} = \frac{2}{\alpha_1 + \alpha_2} = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \quad \text{hvor } E_1 \text{ og } E_2 \text{ er lik den inverse verdi}$$

av α_1 og α_2 .

10.132 Elastisitetsgrense.

Elastisitetsgrensen kan tilnærmevis settes lik proporsjonalitetsgrensen. Med elastisitetsgrensen forstår en hos trevirket den spenning som må til inntil den blivende formendringen er ubetydelig. Bare hos ideale elastiske stoffer er en blivende deformering nedenfor elastisitetsgrensen lik 0. Grensen har først og fremst betydning når det gjelder byggekonstruksjoner. Elastisitetsgrensen kan ikke finnes helt nøyaktig med de målemetoder som står til rådighet.

10.133 Flytegrense.

Straks etter at elastisitetsgrensen er overskredet, begynner trevirket å deformeres sterkt, og man kan merke deformeringen med det blotte øyet. Selv uten videre belastningsstigning, altså ved konstant spenning, vokser deformeringen til trevirket er uelastisk. Når prøvemaskinens kraftviser er uforandret eller går tilbake tross økende deformering, har en nådd flytegrensen, og alt etter arten av påkjønning, kalles den for strekkgrense (ved strekkforsøk) osv. Hos trevirke som er impregnert, ligger flytegrensen høyere enn i naturlig tilstand. For å bestemme flytegrensen er det nødvendig med en tid på 1 mnd. Nå er det imidlertid enklere å be-

Elastisiteitsmodulus stijgt met
steunende volumeecht.

- Steun has soortmateriaal aan het dragen.

- Stijft i fiberruimte

stemme flytegrensen ved langsom belastningsstigning med like store størrelser og ved like stor hastighet. Under flytegrensen ligger differansen mellom forandringene på en rett linje. Ordinaten i enden av den rette linjen danner flytegrensen.

10.2 Elastisitetsmodul ved statisk trykk-, strekk- og bøyepåkjenning.

10.21 Forhold som influerer på elastisitetsmodulens størrelse.

Elastisitetsmodulen hos trevirke ved statisk strekk-, trykk- og bøyepåkjenning avhenger først og fremst av trevirkets volumvekt, struktur, vanninnhold og av temperaturen. Vanligvis gjelder grunnregelen at elastisitetsmodulen stiger med økende volumvekt. Den lovmessige sammenheng avhenger ikke bare av treslaget og innenfor dette av arten av belastning (trykk-, strekk- henholdsvis bøyebelastning) og av vinkelen mellom kraftretningen og fiberorienteringen, men også av voksestedet. Vi skal ikke gå detaljert inn på lovmessighetene her.

Videre avhenger trevirkets elastisitetsmodul av dets andel av sommerved. Elastisitetsmodulen hos sommerved er betydelig større enn den hos vårved.

Kjennskap til sommervedinnholdet er ikke nok til at en kan finne elastisitetsmodulen hvis årringbredden er ukjent. Elastisitetsmodulen hos trevirke er også avhengig av vinkelen mellom dets orientering (lengde-, radial- eller tangentialsnitt) og kraftretningen. Elastisitetsmodulen hos trevirke er størst når belastningen skjer i fiberretningen, og den er minst ved belastning perpendikulært på fiberretningen. En snakker også om den anisotrope elastisitet hos trevirke. Den henger sammen med den uregelmessige struktur i de tre anatomiske hovedretningene.

Også kvistmengden er av betydning for elastisitetsmodulens verdi hos trevirke, særlig ved bøyeforsøk. Vanligvis gjelder at elastisitetsmodulen avtar sterkt med økende kvistmengde.

Trevirkets formendringer ved mekanisk påkjenning stiger med økende vanninnhold og er betydelige under fibermetningspunktet. Det lar seg forklare ved hjelp av friksjonsmotstanden når micellene glir. Det bundne vannet som er mellom micellene vil tjene som smøremiddel og øver et trykk mot micellesystemet. Den gjensidige tiltrekningskraft mellom micellene blir mindre, og når innholdet av bundet vann øker, blir glidefriksjonen mellom micellene nedsatt og formendringene blir større. Fordi elastisitetsmodulen er om-

vendt proporsjonal med formendringen, avtar dens størrelse ved stigende vanninnhold. Den endres vekslende selv hos ett og samme treslag. Formelen for omregning av elastisitetsmodulen fra et bestemt vanninnhold til et annet fører bare til tilnærmede verdier.

Videre er det fastslått gjennom forsøk at elastisitetsmodulens størrelse hos trevirke også henger sammen med temperaturen. Riktignok er ikke sammenhengen så sterk som når det gjelder vanninnholdet.

Forløpet av elastisitetsmodulens avhengighet av temperaturen er forskjellig ved trykk- henholdsvis bøyebelastning, og hos disse annerledes enn ved strekkbelastning.

Ved trykkbelastning parallelt med fiberforløpet er det fastslått at elastisitetsmodulens størrelse hos furu er rettlinjert i temperaturintervallet fra 10 - 20°C, senere avtar den.

Elastisitetsmodulen avtar ved bøyeforsøk med temperaturstigningen. Elastisitetsmodulen avtar mer hos fuktig trevirke enn hos tørt.

Størrelsen av elastisitetsmodulen i forhold til temperaturen avhenger av viskositeten hos det vannet som er lagret mellom micellene.

10.22 Bestemmelsesmetoder.

I det følgende skal vi se på noen metoder til å bestemme elastisitetsmodulen ved langsomt stigende trykk-, strekk- og bøyebelastning.

10.221 Bestemmelse av elastisitetsmodulen ved statisk trykkbelastning.

Under proporsjonalitetsgrensen gjelder Hooks lov:

$$\epsilon = \alpha \cdot \sigma$$

For α setter en inn verdien $\frac{1}{E}$ og får ligningen:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\text{Spennning}}{\text{deformasjon}}$$

For trykkforsøk får ligningen følgende formel:

$$E_t = \frac{\sigma_t}{\sigma_{te1}}$$

σ_t betyr trykkspenning og σ_{te1} betyr den elastiske sammenpressingen. Trykk-

spenningen (σ_t) er forholdet mellom trykk-kraften (P) og begynnelsestverrsnittet (F_0) hos treprøven, og ϵ_t er forholdet mellom lengdeendringen (ΔL) ved trykkpåvirkning og målelengden (L_0). Følgelig kan en skrive:

$$E_t = \frac{P}{F_0} : \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\text{eller } E_t = \frac{P}{F_0} \cdot \frac{L_0}{\Delta L}$$

Til å bestemme elastisitetsmodulen ved trykkforsøk i fiberretningen bruker en prismatiske staver med kvadratisk tverrsnitt. Vanligvis er sidene i tverrsnittet ved trykkprøver lik 20 - 50 mm og lengden 3 - 6 ganger tverrsnittsbredden. Den minste lengden av trykkprøven blir følgelig 60 mm og den største 300 mm. Flatene må stå perpendikulært på hverandre for at trykk-kraften ikke skal virke eksentrisk. Videre må en passe på at prøvene er feilfrie og at fibreene løper rett. Vanligvis skal vanninnholdet hos prøvene være ca. 12%. Samtlige overflater må være jevne og glatte.

Prøvene blir belastet i en prøvemaskin. De blir innspent mellom to plater av herdet stål. I forbindelse med belastningen må en finne ut:

Forbelastningen er lik $0,1 \sigma_{tB} \cdot F_0$ (kg) og prøvebelastningen er lik $0,25 \cdot \sigma_{tB} \cdot F_0$ (kg). Her betyr σ_{tB} trykkstyrken og F_0 er tverrsnittflaten hos prøven. Er f.eks. trykkstyrken 500 kg/cm^2 og tverrsnittsflaten 4 cm^2 , så er forbelastningen er lik $0,1 \cdot 500 \cdot 4 = 200 \text{ kg}$ og prøvebelastningen er lik $0,25 \cdot 500 \cdot 4 = 500 \text{ kg}$. Stigningen i trykkbelastning pr. min. skal være $400 - 600 \text{ kg/cm}^2$ for nåletrær og en del lauvtrær, og $600 - 800 \text{ kg/cm}^2$ for prøver av harde lauvtrær.

Som målelengde (L_0) bruker en den midlere tredjedel av trykkprøvens total-lengde. For å måle lengdeendringene under trykkpåvirkning bruker en spesielle fine måleinstrumenter. En belaster og avlaster prøven til en får overensstemmende verdier for lengdeendringen. De størrelsene som en finner ut på denne måten, setter en inn i ligningen:

$$E = \frac{\Delta P}{F_0} \cdot \frac{L_0}{\Delta L} \text{ (kg/cm}^2\text{)}. \text{ Her betyr:}$$

ΔP differansen mellom begge kraftstørrelsene.

F_0 begynnelsestverrsnittet.

L_0 den midlere tredjedel av prøvens total lengde.

ΔL den gjennom dP forårsakede lengdeendring.

Når en skal gjennomføre slike forsøk går en fram i følgende rekkefølge:

- a. Merk av midten på prøvestykket og festestedene for måleapparatet, (altså i begge endene) med blyant.
- b. Mål bredden og tykkelsen av prøven ved de tre blyantstrekene ved hjelp av mikrometerskrue med 0,02 mm nøyaktighet og dann det aritmetiske middel av måleverdiene.
- c. Fest måleapparatet for å måle lengdeendringen på to sider som ligger overfor hverandre.
- d. Fest trykkprøven med måleapparatet mellom den kulelagrede platen og trykkplaten på prøvemaskinen.
- e. Belast trykkprøven med forbelastningen og avles viseren på finmåleren.
- f. Øk trykkbelastningen ved den foreskrevne hastighet inntil kraftviseren på måleuret viser prøvebelastningen, og til slutt les av på finmåleren.
- g. Avlast trykkprøven inntil kraftviseren kommer litt under størrelsen for trykkbelastningen, så heves trykkbelastningen langsomt inntil måleuret på prøvemaskinen viser prøvebelastningen, og til slutt les av på finmåleren.
- h. Gjenta avlastning og belastning av trykkprøven inntil en får nesten overensstemmende måleverdier for lengdeendringen.
- i. Sett inn verdiene i ovenstående ligning.

Eksempel:

En trykkprøve av furu har en tykkelse $a = 2$ cm, bredde $d = 1,98$ cm og lengde $h = 6$ cm. Målelengden = $L_0 = 2$ cm. Av andre prøver fra furu har en fått en styrke ved trykkforsøk i fiberretningen på $\sigma_{tB} = 500$ kg/cm². Av trykkstyrken hos tverrsnittet av prøven beregner en:

$$\text{Forbelastningen} = 500 \cdot 0,1 \cdot 2 \cdot 1,98 = 1980 \text{ kg}$$

$$\text{og prøvebelastningen} = 500 \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 1,98 = 495 \text{ kg}$$

Lengdeforandringen ved å gjenta avlastning og belastning utgjør 0,0001 cm. Vanninnholdet av treprøven = $u = 11\%$. Hvor stor er elastisitetsmodulen hos furuprøven ved trykkbelastning i fiberretningen når $u = 11\%$?

Løsning:

$$E_{11} = \frac{\Delta P}{F_0} \cdot \frac{L_0}{\Delta L} = \frac{495 \div 198}{2 \cdot 1,98} \cdot \frac{2}{0,0001} = 150\,000 \text{ kg/cm}^2$$

10.222 Bestemmelse av elastisitetsmodulen ved statisk strekkbelastning.

Den kan bestemmes på lignende måte som elastisitetsmodulen ved trykkforsøk, men det er tilstrekkelig å måle bredden og tykkelsen hos prøveavsnittet med en nøyaktighet på 0,1 mm. Belastningshastigheten pr. min. skal være ca. 600 kg/cm², uavhengig av treslaget. Form og minstestørrelse på strekkprøven er den samme som ved bestemmelse av strekkstyrke.

Ved valg av prøvetverrsnitt i prøveavsnittet på mer enn 7_{mm} 20 mm, må en velge de innspenne hodene tilsvarende større. Det blir også krevd at årringene i tverrsnittet skal løpe loddrett på prøvebredden. Strekkprøvens sideflater må være glatthøvlede og tverrendene må være glattsagde.

10.223 Bestemmelse av elastisitetsmodulen ved statisk bøyebelasting.

Bestemmelse av elastisitetsmodulen ved bøyeforsøk kan enten foretas på små prøver som må være feilfrie eller på virke som brukes i praksis, f.eks. til byggeformål. I det følgende skal vi se på prøving av små feilfrie prøver. Tverrsnittssidene (tykkelsen er lik bredden) hos bøyeprovne må være minst 20 mm, eller bedre 30 - 40 mm, og lengden skal være minst 18 · tverrsnittsbredden. Den minste lengden av bøyeprovnen er følgelig 360 mm. Tverrendene må være glattsagde og lengdeflatene må være glatthøvlede. Avstanden mellom understøttelsespunktene skal være minst 15 · prøvehøyden. For å nedsette faren for spesielle ødeleggelser, brukes en rytter av hardved eller stål mellom trykkstampelets valse og bøyestaven, henholdsvis mellom bøyestaven og opplagringspunktene i begge endene.

Prøven legges opp på lagrene slik at bøyekraften kommer tangentialt til årringene. Belastningshastigheten skal være 400 - 500 kg/cm²/min. uavhengig av treslaget. Ved bøyeforsøk går man ut fra en liten forbelastning (P_1) som uttrykker en bøyespennning:

$\sigma_1 = 10 \text{ kg/cm}^2$. Ved kvadratisk tverrsnitt og belastning på midten av prøven uttrykkes bøyespenningen ved følgende ligning:

$$\sigma_b = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot L_s}{b \cdot h^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

P = bøyekraft, L_s = avstanden mellom understøttelsespunktene, b = prøvebredden og h = prøvehøyden. Bøyekraften er da:

$$P = \frac{2bh^2 \cdot \sigma_b}{3L_s} \text{ (kg)}$$

En bøyespennning på 10 kg/cm² ved et tverrsnitt på 3_{cm} 3 cm og 45 cm av-

stand mellom understøttelsespunktene, uttrykker altså en bøyekraft:

$$P = \frac{2 \cdot 27 \cdot 10}{3 \cdot 45} = 4 \text{ kg}$$

Den totale gjennombøyningen i prøvemidten blir ved belastning målt med bøyekreftene P_2 , P_3 og P_4 . Bøyespenningsene er:

$$\sigma_2 = 10 + 100 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \sigma_3 = 10 + 200 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \sigma_4 = 10 + 300 \text{ (kg/cm}^2\text{)}.$$

Den varige gjennombøyningen blir stundom målt etter avlastning av prøven med bøyekraften P_1 som uttrykker bøyespenningen $\sigma_b = 10 \text{ kg/cm}^2$. Differansen mellom verdien av den vanlige gjennombøyningen og verdiene av den samlede gjennombøyning er den elastiske gjennombøyning.

For å beregne elastisitetsmodulen ved bøyeforsøk ved belastning på midten av prøven og kvadratisk tverrsnitt bruker en følgende ligning:

$$E_b = \frac{1}{6} \cdot \frac{\sigma_b}{f} \cdot \frac{L_s^2}{h} \text{ (kg/cm}^2\text{)}. \quad f \text{ betyr den samlede, henholdsvis den elastiske gjennombøyning.}$$

Sammendrag.

Den motstandskraft som hver cm^2 av et tverrsnitt utvikler mot en ytre kraft, kalles for spenning og måles i kg/cm^2 . For tekniske formål er en interessant i den spenningen som refererer seg til begynnelsetverrsnittet hos treprøven. Ved spenning forandrer trevirket sin form. Det blir deformert. Alt etter som trevirket etter endt belastning går tilbake til sin opprinnelige form eller ikke, snakker en om elastisk, henholdsvis plastisk deformering. Selv ved lav belastning, er den samlede deformering sammensatt av elastisk og plastisk deformering.

Ved strekkelastning oppstår det en forstørrelse av målene i kraftretningen og en forminskning av målene perpendikulært på kraftretningen. Virker det et trykk på treprøven så forminskes målene i belastningsretningen, henholdsvis forstørres perpendikulært på kraftretningen.

Inntil den såkalte proporsjonalitetsgrense, stiger deformeringen lineært med spenningen. Under proporsjonalitetsgrensen gjelder Hooks lov. Proporsjonalitetsgrensen kan tilnærmelsesvis settes lik elastisitetsgrensen. For å karakterisere de elastiske forhold hos et stoff under elastisitetsgrensen, bruker en elastisitetsmodulen.

Spenningen som tross videre deformering av trevirket ikke fører til utslag

Statische Systeme

Dynamische Systeme

på prøvemaskinen, kalles for flytegrense.

Allerede ved liten belastning av trevirket ovenfor flytegrensen oppstår det brudd.

Elastisitetsmodulen ved statisk trykk-, strekk- og bøyebelastning kan enten bestemmes ved hjelp av en prøvemaskin som tegner verdiene inn på et diagram, eller ved hjelp av en prøvemaskin og en finmåler til å måle lengdeendringene ved trykk-, henholdsvis strekk- og bøyebelastning. Av diagrammet kan en bare ganske grovt lese av elastisitetsmodulen. Trevirkets elastisitetsmodul ved statisk trykk-, strekk- eller bøyepåkjenning avhenger særlig av dets volumvekt, struktur, vanninnhold og temperatur. Elastisitetsmodulen stiger med volumvekten og ved stigende innhold av sommerved. Den største verdi oppnår elastisitetsmodulen ved belastning i fiberretningen. Den minste derimot ved belastning perpendikulært på fiberretningen. Mye kvist og et stigende vanninnhold (særlig under fibermetningspunktet) nedsetter elastisitetsmodulen. Om elastisitetsmodulen skal tilta eller avta i bestemte temperaturområder, er avhengig av en rekke faktorer.

11. Styrke eller fasthet.

Vi skal nå se litt på trevirkets styrke, hardhet og motstandsevne mot slitasje.

Ved belastning av trevirke med en tilstrekkelig kraft inntreer det brudd. Spenningen som uttrykker bruddkraften, kaller vi fasthet eller styrke. Oppstår brudd ved langsom økning av kraften snakker en om statisk styrke. Av statisk natur er også varighets- eller stabilitetsstyrken. Det er den høyeste spenning som trevirke kan tåle når det er i ro uten å brette. Brudd kan også inntreffe hos trevirke ved støtvis eller vekslende belastning, og da snakker en om dynamisk styrke. Ved påkjenning av trevirke ved å øke kraften fra 0 kg til maksimalverdien med følgende avtagelse av kraften til 0 kg (henholdsvis veksle kraften mellom to like pluss og minusverdier, f.eks. ved å veksle belastningen med strekk og trykk, blir trevirke dynamisk påvirket, og dette ligger til grunn når en skal bestemme varigheten av vekslende styrkepåkjenning.

Vi skal se litt på de viktigste arter av styrke eller fasthet hos trevirke som har betydning når en skal bedømme forholdene i praksis.

F-Io ~~den~~ mit abliegende ~~trichter~~



Inwinkel marster ved a knake

$$\sigma_{tB} = \frac{P_{max}}{F_0}$$

11.1 Trykk- og knekkfasthet.

Trykkfasthet er spenningen som fører til at det belastede trevirke taper sin naturlige indre sammenheng. Den blir beregnet av bruddkraften (P_{max}) og av begynnelsestverrsnittet (F_0) av treprøven ved hjelp av ligningen:

$$\sigma_{tB} = \frac{P_{max}}{F_0} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Ved trykkbelastning hos trevirke oppstår det en forstørrelse av tverrsnittet. Trykkprøvens tverrsnittsstørrelse (F) etter belastning atskiller seg fra begynnelsestverrsnittet (F_0). Det er vist at forskjellen mellom disse to størrelsene øker med avtagende tørrvolumvekt. Trevirke forholder seg annerledes ved belastning i fiberretningen enn perpendikulært på denne. I det førstnevnte tilfellet er motstanden større enn i det sistnevnte. Brudd ved trykkbelastning i fiberretningen innledes med at celleveggene byggelementer knekker sammen. Til slutt blir prøven spaltet eller gjennomtrenget av glideflater med en bestemt vinkel til trykkretningen. Slanke påler som har en høyde på minst det firedobbelte av tykkelsen (f.eks. gruvevirke eller bestemte ledd i bindingsverk) kan knekke ved trykkbelastning i fiberretningen. Dette beror på at retningen av trykkkraften avviker fra den geometriske stavaksen. Staven får samtidig bøyepåkjenninger. Ved en bestemt størrelse av trykket oppstår det brudd, og dermed har en nådd knekkstyrken eller knekkfastheten.

Mange treslag har den egenskapen at når belastningene er så store at det er fare for brudd, oppstår det spraking og knaking i trevirket. Denne evnen til å varsle at brudd er forestående er en egenskap som kan være utslagsgivende for trevirkets anvendelse i f.eks. gruver. Jo før en hører denne varslingen, desto bedre er treslaget egnet til slike forsmål. Det er ønskelig om slike lyder kan høres når det oppstår spenninger på ca. 70% av trykkstyrken eller trykkfastheten. Treslag med lange fibre har spesielt en slik evne. Trevirket er seigt. Sprø treslag brekker uten å varsle. Av treslag som varsler kan nevnes furu, gran, lerk, edelgran, eik og robinie. Hos edelgran har en riktignok observert korte brudd som skyldes virkninger av vekstfaktorene. Feil og uregelmessigheter i trevirket nedsetter varslingssevnen sterkt. Tørt trevirke varsler vanligvis bedre enn fuktig.

Ved kraftvirkning loddrett på fiberretningen, skiller man mellom trykkbelastning av den totale flaten, mellom trykkbelastning av en delflate hvorved for og baksiden av den belastede flaten har ubelastede steder (sville-

Tripelbelaster an total fläche
Hilfsträger
Hauptträger



Halbträger
- Saugwirkung
(Spalte + Anker)
Spurpunkte unten
- für Lasten
Tragpunkte
- Spalten

trykk), og til slutt trykkbelastning av delflaten av et legeme hvorved ikke bare for og baksiden av den belastede flaten er ubelastet, men det skal være ubelastede steder på alle sider, såkalte stempeltrykkforsøk. Vi skal ikke gå inn på stempeltrykkforsøk her.

Trevirkets motstand er mindre når hele flaten er belastet enn når bare en del av flaten er belastet. Forskjellen lar seg forklare ved at i det sistnevnte tilfellet vil de stedene som ligger i fiberretningen og som ikke er belastet, til en viss grad være med å bære belastningen.

Ved trykkpåvirkning perpendikulært på fiberretningen forholder nåletrærne seg annerledes enn lauvtrærne, og innenfor de sistnevnte er ringporete treslag forskjellige fra spredtporete. I denne forbindelse spiller også kraftretningen en bestemt rolle. Virker kraften perpendikulært på fibrene, blir nåletrærne hovedsakelig sammentrykt. Betydelige ødeleggelser inntreffer hos nåletrær ved trykkvirkning parallelt med årringforløpet. Uavhengig av trykk-kraftens retning blir de spredtporete lauvtreslagene vanligvis betydelig fortettet mens de ringporete spaltes opp.

11.11 Prøve- og beregningsmetoder.

I dette avsnitt skal vi behandle metoder til å prøve trykkfastheten i fiberretningen og til å beregne knekkfastheten, henholdsvis spenningen ved de to førstnevnte og de tidligere omtalte forsøk.

11.111 Trykkfasthet i fiberretningen.

Trykkfastheten i fiberretningen blir prøvd på prismatiske treprøver (se tabell 24).

Tabell 24. Trykkfasthet i fiberretningen etter DIN 52 185.

Tverrsnittsform	Treprovens ytre mål i mm		
	Tykkelse (a)	Bredde (b)	Høyde (h)
Kvadratisk	20 ... 50	20 ... 50	1,5a ... 3a
Rettvinklet	vilkårlig	$a < b < 2a$	1,5 ... $\frac{a+b}{2}$

Størrelsen av tverrsnittssidene hos treprøver med kvadratisk tverrsnitt skal være større når veden er uregelmessig eller hurtigvokst enn hos ved med ensartet årringbredde og smale årringer. Når tverrsnittsidene er større enn 5 cm, er det et avhengighetsforhold mellom trykkfastheten i fiberretningen (σ_{tB11}) og størrelsen av tverrsnittsidene. I slike tilfeller avtar

σ_{TBII} avtar när ökande tvärsnittside $> 5 \text{ cm}$
(fall, utvärdering)

σ_{TBII} avtar när: $\frac{\text{Höjke}}{\text{tvärsnitt}} > 3$

$$\sigma_{TB} = \frac{P_{max}}{F_0}$$

σ_{tB11} med økende tverrsnittside. Dette skyldes at det kan forekomme uregelmessigheter eller feil i treprøven. σ_{tB11} avtar også når forholdet mellom høyde og tverrsnitt hos treprøven er større enn 3.

Tverrflatene må være parallelle og lengdeflatene må stå perpendikulært på tverrflatene. Videre må en passe på at to lengdeflater som ligger overfor hverandre, må være loddrett på årringene. De resterende må da være parallelle med årringene i tverrsnittet. Samtlige flater må være glatte og jevne. Det blir også krevd at de små prøvene skal være feilfrie. Før prøvingen skal treprøvene minst lagres i 28 dager ved en temperatur på $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$, og ved $65\% \pm 5\%$ luftfuktighet (hvis det ikke er forlangt at prøvingen skal foregå ved et bestemt fuktighetsinnhold). Før en spenner inn prøven i prøvemaskinen skal bredde og tykkelse i halve lengden måles med mikrometerskrue med 0,02 mm nøyaktighet.

Trykkbelastningen blir foretatt i spesielle prøvemaskiner. Belastningen skal økes med en hastighet av $400 - 600 \text{ kg/cm}^2$ hos bartrær og en del lauvtrær, og med $600 - 800 \text{ kg/cm}^2$ og min. hos harde treslag. Trykkfastheten i fiberretningen avhenger bare av trykkstigningens hastighet når den er mindre enn ca. $150 \text{ kg/cm}^2/\text{min}$. Den høyeste kraft (P_{\max}) blir avlest på prøvemaskinens måleur. Verdien som en leser av på prøvemaskinen sammen med måleresultatene av bredden og tykkelsen hos begynnelsetverrsnittet, settes inn i følgende ligning:

$$\sigma_{tB} = \frac{P_{\max}}{F_0} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Den størrelsen for trykkfastheten (σ_{tB}) som en oppnår på denne måten, kan omregnes til u^1 er lik 12% vanninnhold ved hjelp av følgende formel:

$$\sigma_{tB}^1 = \sigma_{tB} \cdot \frac{20\%}{32\% - u}$$

Formelen gjelder for $u = 9 - 15\%$.

11.112 Knekkfasthet eller knekkstyrke.

For å beregne knekkfastheten, henholdsvis knekkspenningen ved sentrisk kraftangrep, går en ut fra den såkalte slankhetsgraden () hos trevirket.

$$\lambda = \sqrt{\frac{S_k}{J/F}}$$

S_k er fri knekk lengde, J minste treghetsmoment og F tverrsnittet før forsøket settes i gang.

Den frie knekk lengde (S_k) avhenger av arten av innspenningen hos staven. I den forbindelse skiller man mellom fire tilfelle:

1. Den ene enden av staven er innspent, den andre er fri bevegelig.
I dette tilfellet er $S_k = 2 \cdot l$, hvor $l =$ stavlengden.
2. Begge stavendene er lagret lenket, $S_k = l$.
3. Den ene stavenden er innspent, den andre er lenket, $S_k = 0,71 l$.
4. Begge stavendene er innspent, $S_k = 0,5 l$.

Den minste knekkefaren hos en slank, trykkbelastet stav er når stivheten er like stor til alle sider. Dette inntreffer hos staver med sirkelformet tverrsnitt, og til en viss grad også hos staver med like store tverrsnitt-sider. Staver med rettvinklet tverrsnitt knekker i den siden hvor motstanden er minst.

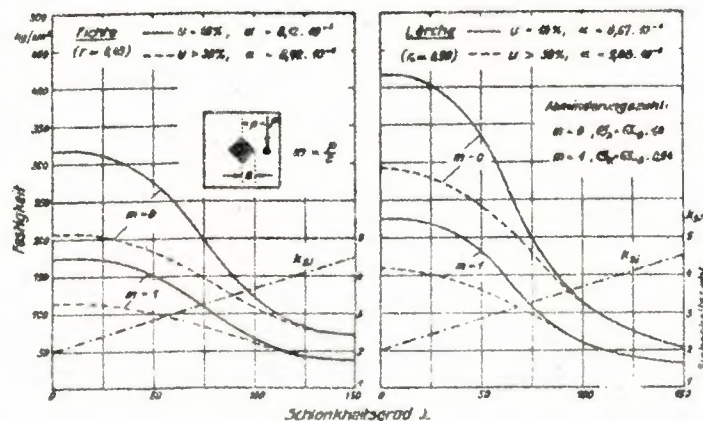


Fig. 29. Forholdet mellom trykk i lengderetningen, knekkfasthet, sikkerhetstall og slankhetsgrad. (ROS og BRUNNER, 1932).

Hos staver med kvadratisk tverrsnitt er treghetsmomentet:

$$J = \frac{1}{12} \cdot d^4,$$

og ved sirkelformet tverrsnitt:

$$J = 0,0491 \cdot d^4.$$

Her betyr d tykkelsen, henholdsvis diameteren hos prøvestaven. Når $\lambda = 3,46 - 20$, er knekkfastheten (σ_k) noenlunde lik trykkfastheten i fiberretningen (σ_{tB11}).

For $\lambda = 20 - 100$, kan en beregne knekkfastheten hos trevirke ved hjelp av følgende formel:

$$\sigma_k = \sigma_{tB} - 1,94 \cdot \lambda$$

En annen formel:

$$\sigma_k = \frac{F_k}{F}$$

henholdsvis

$$\sigma_k = 9,87 \cdot \frac{E \cdot J}{F \cdot S_k^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}. \text{ Den siste formelen er anvendbar for } \lambda > 100.$$

Her betyr: E, elastisitetsmodulen - J, treghetsmoment - F, tverrsnittsflaten av staven og F_k , fri knekk lengde.

I praksis finnes det enklere beregningsmetoder for å finne knekkspenningen, f.eks. for knekkpåkjenninger i bygningselementer av trevirke anvendes det såkalte knekktalet (ω). For forskjellige verdier av slankhetsgraden er det tilsvarende knekktall (ω). Ved sentrisk kraftangrep skal ikke knekkspenningen

$$\sigma_{\mu} = \omega \cdot \frac{F_k}{F}$$

være større enn trykkspenningen.

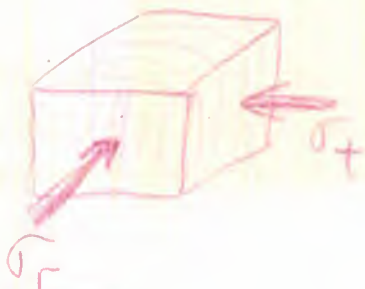
For å finne knekktalet (ω) av tabeller, må en først beregne slankhetsgraden (λ) i de foreliggende tilfeller, dvs. avhengig av arten av innspenning hos stavene.

Ved eksentrisk kraftangrep på tverrsnittsflaten hos en stav, er knekkfastheten mindre enn ved sentrisk belastning, og den er avhengig av eksentrisitetsmålet. Vi skal ikke gå nærmere inn på dette her.

11.113 Svilletrykkforsøk.

Svilletrykkforsøk blir foretatt på prismatiske staver med kvadratisk tverrsnitt ved 10 kg/cm^2 trykkstigning pr. min. Tverrsnittssidene av prøvestaven skal være minst 5 cm og lengden skal være minst det tredobbelte av tverrsnittssiden (se fig. 30).

Central



$$\sigma_t > \sigma_r$$

Peripheral



$$\sigma_r > \sigma_t$$

BESTEMMELSE AV PAPIRETS SAMMENSETNING

De forskjellige massers mengdeforhold i papir finnes på følgende måte, når en har behandlet papiroppslemmingen med forskjellige fargereagenser (fucksinopløsning og malakitgrønt):

1. De forskjellige masser får følgende farge:

Tremasse:	Blågrønn
Halvkjemisk masse:	Blåfiolett
Ublekt sulfatcellulose:	Lysegrønn
Ublekt sulfittcellulose:	Rødfiolett
Blekt sulfitt- og sulfat-cellulose:	Ufarget (uansett treslag)

2. Sammensetningen av papiret fås ved å "gå" takstlinjer over preparatet hvor en teller de forskjellige fibre som føres inn i skjemaet.

	Antall	Vekt-faktor	Produkt	Vekt-prosent
Tremasse	32	1,3	41,6	17,4
Halvkjemisk masse	32	1,0	32,0	13,4
Ublekt sulfat	50	0,9	45,0	18,8
Ublekt sulfitt	73	0,9	65,7	27,5
Blekt sulfat	61	0,9	54,9	23,0
Blekt sulfitt		0,9		
			239,2	100,1

SKJÆRING AV SMITT.

Det tas snitt fra tre retninger: radiaalt, tangentialt og på tvers. Det forsøkes med forskjellige snitttykkelser (variasjonsområdet på mikrotomen er 0-50 mikron).

1. Snittene legges i 70 % alkohol og vaskes ved rysting.
2. - " - " - 50 " - " - " - " - " - " -
3. Snittene legges i en blanding av safranin (1%) og destillert vann. I denne blandingen skal de ligge i minst 10 min. Tida må økes for treslag som er vanskelige å farge. (Koking kan være nødvendig.)
4. Snittene vaskes i destillert vann inntil vannet ikke farges mer.
5. Snittene legges i 50% alkohol (hvor de skal ligge noen min.).
6. - " - " - " 70% - " - " - " - " - " - " -
7. - " - " - " 96% - " - " - " - " - " - " -
8. - " - " - " 96% - " - " - " - " - " - " -
9. Snittene legges i en blanding av light green (M) i nellikolje og alkohol, 1:3, Snittene skal ligge i denne blandingen i 5-10 min.
10. Snittene skylles i minst 5 glass 96% alkohol.
11. Snittene skylles i 96% (99%) alkohol.
12. - " - " - " 96% (99%) - " -
13. Snittene legges i xylol (5-10 min).
14. Snittene legges over i ny xylol i petriskåler.
15. Snittene tas over på objektglass.
16. Kanadabalsam oppløst i xylol (tynn som sirup) dryppes over.
17. Dekkglass vasket i xylol (og som tas direkte derfra) legges over.
18. Objektglassene føres fram og tilbake over en flamme fra en spritlampe (loddelampe) slik at man får ut eventuelle luftbobler.
19. Snittene stüderes under mikroskop.
20. Snittene legges til tørk i ca. ett døgn. Påsettes etikett.

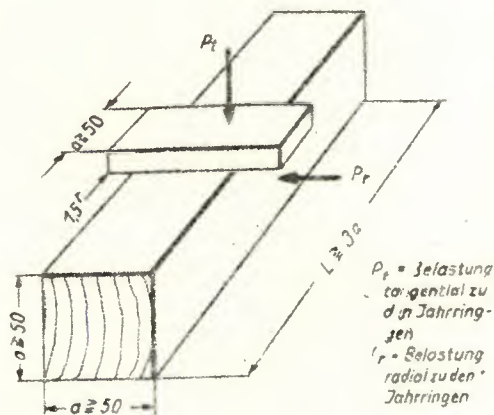


Fig. 30. Forsøksanordning for svilletrykkforsøk. (DIN 52 185).

Trykk-kraften blir overført til den midlere delen av svillen ved hjelp av en 15 mm tykk stålrytter. Bredden må overensstemme med staven. Belastningen foregår perpendikulært eller parallelt med årringene. Med hensyn til utforming, beskaffenhet og lagring av prøvestavene før prøvingen gjelder det samme som ved lengdetrykkforsøk. Ved innspenning i prøvemaskinen må prøvestaven hvile på en fast flate. For å omregne spenningen ved svilletrykkforsøk fra u til $u^1 = 12\%$, bruker en følgende ligning:

$$\sigma_{t1}^1 = \sigma_{t1} \cdot \frac{28\%}{40\% \div u}$$

Ligningen gjelder for tilnærmede omregninger innenfor grensene $u = 9 - 15\%$. Svilletrykkmotstanden stiger med forholdet mellom svillelengden og svillehøyden (visstnok under 1,5 ved tangential trykkbelastning og under 0,5 ved radial trykkbelastning).

11.114 Terningtrykkforsøk.

Terningtrykkforsøk blir foretatt på terninger med minst 30 mm sidelengder med en trykkstigning av $10 \text{ kg/cm}^2/\text{min}$. Trykkbelastningen kan være radial eller tangential til årringene. Med hensyn til utforming, beskaffenhet, lagring og innspenning av terningen i prøvemaskinen, gjelder det samme som ved trykkforsøk i fiberretningen. For å omregne terningstrykkspenningen fra u til $u^1 = 12\%$, kan en bruke samme ligningen som ovenfor. Hos nåletrær er terningtrykkfastheten ved belastning i tangential retning større enn ved belastning i radial retning. Hos lauvtrær er det omvendte tilfelle.

Kraftschily
Voll mit
Sonnenschein
Kunst
Kost
Licht
Vand
Temp

Terminy - 
Hydroperoxyd

Nätkör

- 1. stück

- 2. stück

Lauter

- 3. stück

- 2. stück

11.12 Forhold som har innflytelse på trykkspenningens størrelse.

Bortsett fra en del faktorer som allerede er nevnt, avhenger trykkspenningen ved kraftvirkning i fiberretningen eller perpendikulært på denne, av volumvekten, sommedandelen, kvistmengden, kvæinnleiringen i celleveggene, lignininholdet og av vanninnholdet. Videre av temperaturen og av vinkelen mellom trykk- og fiberretningen (se fig. 31).

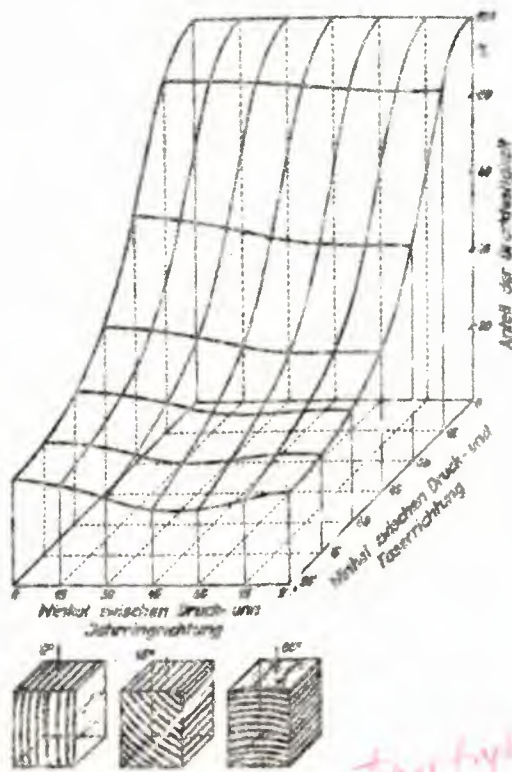


Fig. 31. Trykkfasthetens andel ved for forskjellig trykkretning hos nåletrær. (BAUMANN 1922)

Av årringbredden kan en derimot ikke slutte noe bestemt om trykkfasthetens størrelse. Så vel innenfor treslagene som innenfor ett og det samme treslag, kan en tilnærmedesvis slutte seg til trykkspenningen v.h. av volumvekten, fordi trykkspenningen vanligvis stiger med volumvekten.

For bestemte formål, f.eks. til flybygging, hvor det kreves lav volumvekt og høy trykkfasthet, har en for å sammenligne nåletrær og lauvtrær innført begrepene presslengde eller statistisk godhetstall ved trykkbelastning i fiberretningen i forhold til volumvekten. Ved å måle trykkfastheten i lengderetningen i kg og volumvekten i g/cm^3 ved et vanninnhold på 12%, er det statistiske godhetstall:

$$J_s = \frac{\sigma_{tB}}{100 \cdot r_{12}}$$

Trykkespenning under vand
stygende væksehøjled under
fibermembran punktst.

J_s fremstiller lengden hos en tenkt treprøve som brekker under påvirkning av dens egenvekt. Presslengden hos en treprøve med $\sigma_{tBl1} = 500 \text{ kg/cm}^2$ og $r_{12} = 0,5 \text{ g/cm}^3$ utgjør altså $J_s = 10 \text{ km}$.

Sommervedinnholdet danner for nåletrær, men ikke for lauvtrær, en tilstrekkelig målestokk for størrelsen av trykkspenningen. Den stiger med økende sommervedinnhold. Trykkspenningens avtagelse med økende kvistmengde avhenger av antall, størrelse og sunnhetstilstand hos kvistene, og har på langt nær ikke så stor betydning som ved strekkfasthet. Kvistmengdens innflytelse på trykkspenningen gjør seg spesielt gjeldende hos fuktig trevirke. Sammenlignet med tørt trevirke er trykkspenningen hos vått trevirke svært liten (se fig. 32).

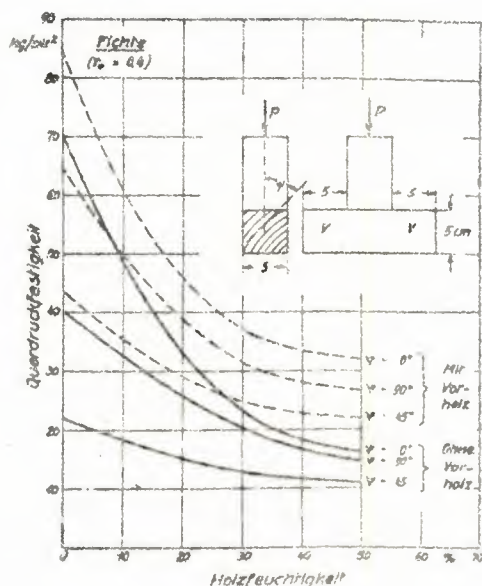


Fig. 32. Forholdet mellom tverrtrykkfasthet og vanninnhold hos gran (VORREITER 1949).

Kvae fra kvaeganger og kvaelommer øker ikke trykkfastheten men volumvekten. Derfor blir godhetstallet dårligere.

Kvaeinnleiring i celleveggene fører derimot til en stigning av trykkspenningen. På lignende måte virker også lignininnholdet.

Innenfor det hygroskopiske området, dvs. under fibermetningspunktet, avtar trykkspenningen med stigende vanninnhold, og visstnok sterkere ved trykkvirkning i fiberretningen enn perpendikulært på denne. Ovenfor fibermetningspunktet er trevirkets trykkspenning praktisk talt uavhengig av vanninnholdet.

Inntil begynnelsen av den termiske ødeleggelsen av trevirke (ved en

temperatur over 100°C), avtar trykkspenningen med økende temperatur og sterkere hos fuktig trevirke enn hos tørt.

Til slutt skal vi se litt på forholdet mellom vinkelen mellom trykk-kraft og fiberretning (henholdsvis årringforløp) og trykkspenningen. Når vinkelen mellom trykk-kraft og fiberretning øker fra $0 - 90^{\circ}$, avtar trykkfastheten i lengderetningen. Ved en vinkel mellom trykk-kraft og fiberretning på 90° snakker man også om tverrtrykkfasthet som ligger betydelig lavt.

Når en snakker om forholdet mellom tverrtrykkspenning og vinkelen mellom trykk-kraft og årringforløp, må en skille mellom terning- og svilletrykkforsøk. Terningtrykkspenningens avhengighet av vinkelen mellom kraftretning og årringforløp er annerledes hos nåletrær enn hos lauvtrær.

Hos nåletrær er terningtrykkspenningen størst ved en vinkel mellom trykkretningen og årringforløpet på 0° , dvs. ved kraftvirkning tangentielt til årringene, og minst når trykkretningen og årringforløpet danner en vinkel på 45° . Hos lauvtrær er terningtrykkspenningen størst når kraften virker radially på årringforløpet og minst når kraftretningen danner en vinkel på 45° med årringforløpet. Ved svilletrykkforsøk er trykkmotstandens avhengighet av vinkelen mellom kraftretning og årringforløp mindre enn ved terningtrykkforsøk. Den største svilletrykkmotstand viser nåletrærne når trykk-kraften virker tangentielt til årringforløpet og den er minst ved en vinkel på 45° mellom trykkretning og årringforløp. Hos lauvtrær er ikke forholdet så entydig og det er derfor vanskelig å sette opp almen-gyldige regler.

11.13 Verdier av trykkfastheten i fiberretningen hos noen treslag.

Betegnelsene svært lite trykkfast, noe trykkfast, temmelig trykkfast, svært trykkfast, ytterst trykkfast o.l. som blir hyppig anvendt, gir ikke tilstrekkelige opplysninger om trykkfastverdiene hos trevirke. For å unngå uoverensstemmelser er det hensiktsmessig å angi den tallmessige trykkfasthet hos trevirke (se tab. 25).

Tabell 25. Trykkfastheten hos noen treslag ved $u = 12\%$

Treslag	Trykkfasthet i fiberretningen (kg/cm ²)	Treslag	Trykkfasthet i fiberretningen (kg/cm ²)
Hvitbøk	515...772...936	Furu	351...550...936
Sommereik	480...644...690	Lerk	410...550...807
Rødbøk	424...620...983	Alm	351...527...690
Vintereik	538...608...667	Gran	351...503...784
Ask	293...562...737	Svartpop.	257...351...562

Sammendrag.

Spenningen som uttrykker bruddkraften, kalles for fasthet eller styrke. En skiller mellom statisk og dynamisk fasthet.

Trykkfasthet er spenningen som oppstår når trevirket utsettes for trykk og dermed mister sin indre sammenheng. Slanke påler (f.eks. i gruver) knekker ved trykkbelastning i fiberretningen. Når bruddet inntreer, er knekkfastheten oppnådd. Mange treslag har den egenskap at når det er fare for brudd, vil de knitre og knake før bruddet. Det er en såkalt verneevne.

Ved kraftvirkning parallelt på fiberretningen, skiller en mellom terning-, sville- og stempeltrykkforsøk.

Før en spenner prøven inn i prøvemaskinen, måles begynnelsestverrsnittet (F_0) i halve lengden. Den avleste P_{max} refererer seg til begynnelsestverrsnittet og verdien blir omregnet til å gjelde ved 12% vanninnhold.

For å beregne knekkfastheten (henholdsvis den tillatte knekkspenning ved sentrisk kraftangrep), går en ut fra den såkalte slankhetsgrad (λ) hos prøvestaven. Denne avhenger av hvordan staven er innspent.

Når $\lambda = 3,46 - 20$, er σ_k nær lik σ_{tB11} . For $\lambda = 20 - 100$, kan σ_k beregnes ved hjelp av en bestemt formel.

En annen formel kan brukes når λ er større enn 100. I praksis vil den tillatte spenning (σ_u) bli beregnet ved hjelp av knekkallet (ω). For forskjellige verdier av slankhetsgraden er det tilsvarende verdier for knekkallet.

Ved svilletrykkforsøk blir bare en delflate av svillen belastet. For og bak den belastede flaten finnes det ubelastede steder. Form, størrelse og

vanninnhold i treprøver er foreskrevet. Belastningen kan virke perpendikulært eller parallelt med årringene. Spenningen hos trevirket ved svilletestrykkforsøk omregnes til å gjelde ved et vanninnhold på 12%.

Ved stempeltrykkforsøk foregår trykkbelastningen bare på en delflate av prøvelegemet. Til alle sider vil det være ubelastede steder.

Terningtrykkspenningen blir også omregnet til å gjelde ved 12% vanninnhold. Innenfor treslagene og innenfor ett og det samme treslag, kan man tilnærmet slutte seg til trykkspenningen ut fra volumvekten, fordi trykkspenningen vanligvis stiger med volumvekten. Bare hos nåletrær danner somervedandelen en pålitelig viser for størrelsen av trykkspenningen. Kvaeinnleiringer i celleveggene og høyere lignininnhold fører til at trykkfastheten øker. Under fibermetningspunktet avtar trykkspenningen med stigende vanninnhold. Inntil begynnelsen av den termiske ødeleggelsen av trevirket, avtar trykkspenningen med økende temperatur.

Til slutt avhenger trykkspenningen også av vinkelen mellom trykk-kraft og fiberretning. Her er det forskjell mellom lengde-, terning- og svilletestrykkforsøk.

11.2 Strekkfasthet.

Strekkfasthet er en spenning som fører til at trevirket rives i stykker. Den blir beregnet av P_{\max} og begynnelsestverrsnittet (F_0) etter ligningen:

$$\sigma_{sB} = \frac{P_{\max}}{F_0} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Av denne ligningen er det tydelig at strekkfastheten ikke avhenger hverken av lengden eller av formen på det belastede trestykket, men av størrelsen på begynnelsestverrsnittet. I denne sammenhengen skal det bemerkes at brudd ved strekkpåkjenninger av trevirke vanligvis oppstår på steder der tverrsnittet er svakest. Svekkelser i tverrsnittet kan forårsakes av innsnitt eller skår i trevirket. Dette oppstår f.eks. ved boring i trevirket når en setter inn bolter o.l.

I motsetning til trykkforsøk, oppstår det ved strekkbelastning av trevirke en forminskning av tverrsnittsflaten. Også når det gjelder strekkforsøk gjelder grunnregelen at forskjellen mellom det varige tverrsnittet og begynnelsestverrsnittet er større jo mindre tørrvekten er.

Alt etter som belastningen skjer i fiberretningen eller perpendikulært på

Stærkefasthet hosast i fiberretningen
(Strykefasthet)

- høyere enn trykkefasthet i
fiberretningen

Vannrettet

denne, snakker en om strekkfasthet i fiberretningen (lengdestrekkfasthet) henholdsvis strekkfasthet på tvers av fiberretningen (tverrstrekkfasthet).

11.21 Strekkfasthet i fiberretningen.

I fiberretningen er strekkfastheten høyere enn perpendikulært på denne. Sammenlignet med trykkfastheten i fiberretningen er lengdestrekkfastheten vesentlig høyere.

11.211 Prøvemethoder.

Form og minstestørrelser av prøvene til bestemmelse av strekkfastheten hos trevirke i fiberretningen er den samme som for bestemmelse av elastisitetsmodulen ved strekkforsøk. Her skal vi bare peke på at fibrene må være parallelle med lengdeaksen hos staven. Dette oppnås best når en spalter prøvene fra rått trevirke. Ved en avvikelse av fiberretningen fra strekk-kraftretningen på 15° , oppstår det en forminskelse av lengdestrekkfastheten på rundt 50%. Prøvenes tverrsnitt bør være mer enn 7 mm · 20 mm for at prøvene ikke skal rives i stykker ved innspenningen og bli presset i stykker mellom innspenningsdelene.

Innflytelsen av belastningshastigheten på strekkfastheten er i likhet med trykkforsøk bare av betydning ved liten hastighet. Stigningen av prøvenes strekkbelastning i prøvemaskinen skal (uavhengig av treslaget) være ca. 600 kg/cm²/min. Den høyeste kraft (P_{max}) som adskiller treprøven, blir avlest på prøvemaskinen. Bruddformen (lang splintring, kort splintring eller stumpet brudd) danner bare for noen treslag en grov målestokk for størrelsen av strekkfastheten. Således er f.eks. askeved med langsplintrede brudd mer strekkfast enn ved med kort splintring. Når fiberforløpet avviker fra lengdeaksen, oppstår det skjærebrudd som ikke må forveksles med langsplintrede brudd. Begynnelsestverrsnittet (F_0) hos prøven beregnes av middelverdien av tre avlesninger av tykkelsen, henholdsvis bredden av forsøksstaven. Avlesningene blir foretatt i midten og i begge endene av forsøksstaven, og målenøyaktigheten skal være omkring 0,1 mm. Ved å innsette verdiene i en bestemt ligning, oppnår en til slutt strekkfastheten hos trevirke i fiberretningen.

En omregning av strekkfastheten (σ_{SB}) til 12% vanninnhold, har bare betydning når vanninnholdet (u) av treprøven ligger under 5%, henholdsvis mellom 15 - 25%.

I motsetning til trykkfastheten som er av underordnet betydning for tre-fiber- og sponplater, er strekkfastheten av stor betydning.

11.212 Forhold som influerer på strekkfasthetens størrelse.

Strekkfastheten i fiberretningen avhenger av treslaget og innenfor det samme treslag, spesielt av volumvekten, vanninnholdet, temperaturen og kvistmengden. Når det gjelder innflytelsen av vinkelen mellom fiberforløpet og kraftretningen så vel som belastningshastigheten, har vi allerede sett på det under 11.211.

Vanligvis gjelder grunnregelen at lengdestrekkfastheten stiger med volumvekten. For vanlig furu er det f.eks. funnet at følgende ligning gjelder mellom lengdestrekkfastheten (σ_{sB11}) og volumvekten r_{12} ved 12% vanninnhold:

$$\sigma_{sB11} = 4000 \cdot r_{12} \div 600 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Forholdet mellom lengdestrekkfastheten (kg/cm²) og volumvekten (g/cm²) kalles rivlengde og måles i km. Den blir beregnet ved hjelp av følgende ligning:

$$M = \frac{\sigma_{sB11}}{100 \cdot r_{12}} \text{ (km)}$$

Rivlengden av en prøvestav av hvitbøk med $\sigma_{sB11} = 1350 \text{ kg/cm}^2$ og $r_{12} = 0,83 \text{ g/cm}^2$, er altså $M = 16,26 \text{ km}$.

Lengdestrekkfastheten hos trevirke er avhengig av vanninnholdet når dette er under fibermetningspunktet. Under $u = 5\%$, tiltar σ_{sB11} med vanninnholdet, og i området fra $15\% < u < 25\%$ avtar σ_{sB11} med stigende vanninnhold. Når u ligger mellom 5 og 15%, har vanninnholdet liten innflytelse på σ_{sB11} . Vi har allerede sett på avhengigheten mellom vanninnholdet og lengdestrekkfastheten i 11.211.

Temperaturens innflytelse på strekkfastheten hos trevirket er ikke så stor som når det gjelder trykkfastheten. Se følgende tabell som gjelder furu.

Tabell 26. Forholdet mellom temperatur og lengdestrekkfasthet hos furu ved $u = 12\%$ (KOLLMANN og SCHULZ 1944).

Temperatur i °C	10	20	45	70	100
Lengdestrekkfasthet i kg/cm ²	1240	1230	1160	1200	1050

Kvistmengden øver en meget sterk innflytelse på lengdestrekkfastheten, vesentlig større enn når det gjelder trykkfastheten. Alt etter størrelse, frekvens og sunnhetstilstand hos kvistene, kan lengdestrekkfastheten hos trevirke sammenlignet med frisk ved nedsettes med 10%. Derfor bruker en bare feilfri ved når en foretar strekkfasthetsprøver.

11.213 Strekkfasthetsverdier for noen treslag.

I likhet med trykkfastheten er det også nødvendig å angi strekkfastheten i tall. Følgende tabell viser strekkfastheten hos noen treslag i fiberretningen ved 12% vanninnhold.

Tabell 27. Strekkfasthet i fiberretningen ved 12% vanninnhold.

Treslag				Treslag			
Hvitbøk	470	1350	2000	Gran	400	900	2450
Bøk	570	1350	1800	Sommereik	500	900	2100
Lerk		1070		Alm	650	800	2100
Furu	350	1040	1960	Svartpoppel	430	770	1100
Ask	340	1040	2200				

11.22 Strekkfasthet på tvers av fiberretningen.

På tvers av fiberretningen er trevirket meget svakt. I praksis må en derfor prøve å unngå å belaste trevirket på tvers av fiberretningen.

Sammendrag.

Strekkfastheten er spenningen som forårsaker at trevirket rives i stykker. Form og størrelse på prøvene er normerte. Før en spenner prøven inn i prøvemaskinen må en måle begynnelsestverrsnittet. Også hastigheten av belastningsstigningen er foreskrevet. P_{max} som avleses på prøvemaskinen ved begynnelsestverrsnittet av prøven, kalles for strekkfasthet. Omregning av strekkfastheten til å gjelde ved et vanninnhold på ca. 12% er bare nødvendig når vanninnholdet er under 5%, henholdsvis mellom 15 - 25%.

Lengdestrekkfastheten (σ_{SB11}) stiger med stigende volumvekt. Under u er lik 5%, stiger σ_{SB11} med vanninnholdet, og i området fra $15\% < u < 25\%$, avtar σ_{SB11} med stigende vanninnhold. For hver prosents økning av u , må en forhøye verdien for σ_{SB11} med $2\frac{1}{2}\%$. Temperaturens innflytelse på σ_{SB} er ikke så stor som på σ_{tB} : Kvistmengden nedsetter σ_{SB} meget sterkt.

11.3 Bøyefasthet.

Vi forestiller oss en frittliggende bjelke som hviler med endene på to underlag. Ved belastning av bjelken med en kraft perpendikulært på fiberforløpet, f.eks. i midten av bjelken, oppstår det en gjennombøyning. Der ved antar den ene siden av bjelken en konkav form, og den andre en konvekse form. På den konkave siden blir trevirket sammentrykt, og på den konvekse utvidet. I trykksonen hersker trykkspenninger, og i strekksonen strekkspenninger. Mellom begge sonene er det et sjikt som er fritt for trykk og strekk, det såkalte nøytrale sjikt. Men langs dette sjiktet forekommer det skyvospenninger som forsøker å skyve trevirket i to motsatte retninger. I lengdesnittet av den belastede bjelken oppstår det nøytrale sjikt som en linje som kalles for 0-linjen (se fig. 33).

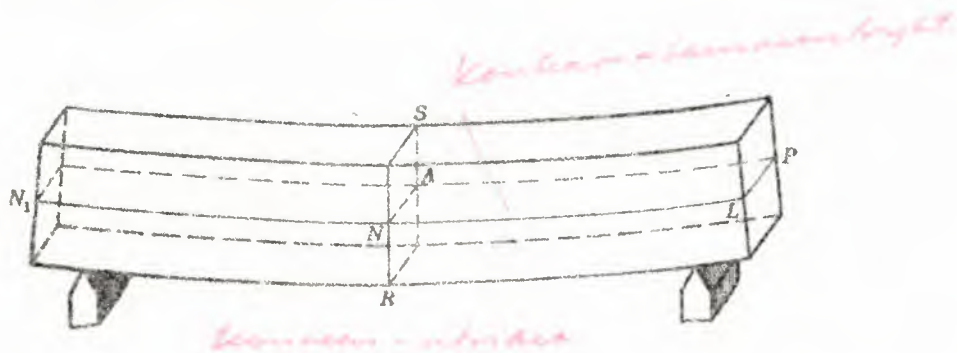


Fig. 33. Skisse av enkel bjelke. NP = det nøytrale plan, NA = nøytral akse i seksjonen RS (WANGAARD 1950)

Bøyebrudd innledes med knekking når trykkstyrken blir tilstrekkelig stor (se fig. 34). Når strekkspenningen i strekksonen oppnår verdien for strekkfastheten, kommer det ofte bøyebrudd til syne. Bøyefastheten uttrykker altså bøyespenningen som fører til at trevirket mister sin indre naturlige sammenheng.

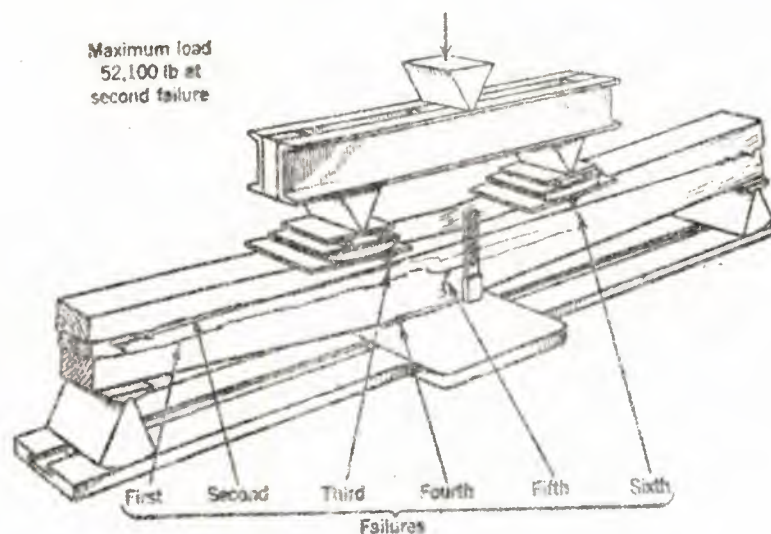


Fig. 34. Svikt i større bjelke p.g.a. et horisontalt skjærebrudd (WANGAARD 1950).

Vi skal senere se på noen ligninger som en kan bruke til å beregne bøyefastheten. De fører riktignok bare til tilnærmede verdier, fordi en ofte må bygge på antagelser som ikke alltid gjelder for trevirket. Således antar en f.eks. at tverrsnittet ikke forandrer seg, i virkeligheten blir det deformert. En antar også at strekk- og trykkelastisiteten er like store, men de vil avvike fra hverandre ved strekk- og trykkpåkjenninger. Videre regner en med at 0-linjen går gjennom midten av tverrsnittet, dvs. gjennom tyngdepunktet, men 0-linjen vil forskyve seg ved økt belastning, selv i et symmetrisk tverrsnitt.

11.31 Prøvemethoder.

Til å prøve bøyefastheten bruker en enten feilfrie normalstaver eller bruksvirke. Normalstaver er prismatiske prøver med kvadratisk tverrsnitt. Tverrsnittetsiden er vanligvis minst 20 mm, men det er bedre å bruke 30 - 40 mm, og lengden av staven må være minst 18 ganger så lang som tverrsnittetsiden. Ved bruksvirke dreier det seg om kantet, henholdsvis rundt virke, og den samlede lengden skal være minst 18 ganger så stor som tykkelsen av kantet virke, henholdsvis som av diameteren hos rundvirket.

Belastningen av treprøven blir foretatt i en dertil egnet prøvemaskin.

Prøvene blir belastet ved fri understøttelse i begge ender tangentialt til årringene. Ved normalstaver retter kraften seg mot midten av prøvene (se fig. 35).

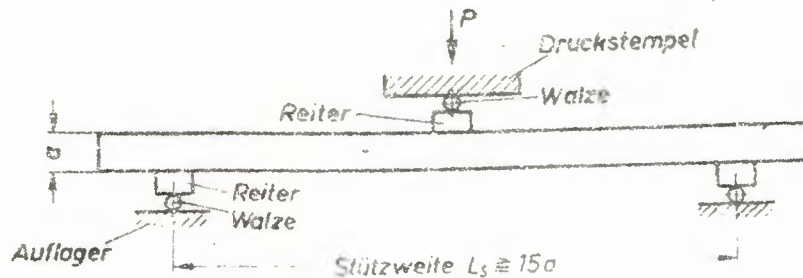


Fig. 35. Prøveanordning for bøyeforsøk av feilfrie prøvestaver (DIN 52 186).

Bruksvirke blir derimot belastet på to steder som skal ligge i samme avstand fra midten av prøven (se fig. 36). Avstanden skal være minst 200 mm og høyst $1/3$ av prøvelengden. Avstanden mellom understøttelsespunktene skal være minst 15 ganger så stor som prøvehøyden. For å forminske stedlige deformeringer, er det innsatt ryttere av hardved eller av stål mellom trykkstempelets valse og treprøven, og mellom treprøven og anleggsplatene.

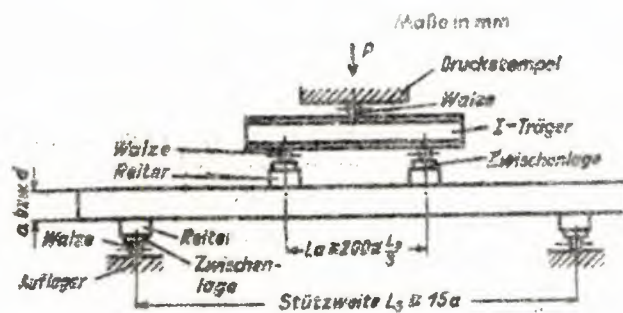


Fig. 36. Prøveanordning for bøyeforsøk av kantvirke og rundvirke ved belastning på to steder (DIN 52 186).

Belastningshastigheten skal (uavhengig av treslaget) være fra 400 - 500 kg/cm²/min.

Betegner vi bøyekraften med P (kg),

avstanden mellom understøttelsespunktene med L_s (cm)

og prøvehøyden (tykkelsen) med a (cm),

så er bøyefastheten av en normalstav med kvadratisk tverrsnitt og med en avstand mellom understøttelsespunktene på minst 15 ganger prøvehøyden ved belastning i stavmidten lik:

$$\sigma_{bB} = \frac{3 \cdot P \cdot L_s}{2 \cdot a^3} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

For å beregne bøyefastheten hos bruksvirke med rettvinklet tverrsnitt med en avstand mellom understøttelsespunktene på minst 15 ganger prøvehøyden og ved belastning på to steder som ligger i samme avstand fra prøvemidten, bruker en ligningen:

$$\sigma_{bB} = \frac{3 \cdot P \cdot (L_s \div L_a)}{2 \cdot b \cdot a^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$
 Her betyr L_a avstanden mellom belastningspunktene (cm) og b er bredden av prøvestykket i cm.

Til slutt skal vi se litt på beregningen av bøyefastheten hos trevirke med sirkelformet tverrsnitt, der avstanden mellom understøttelsespunktene er minst 15 ganger prøvehøyden og med en belastning på to steder. Bøyefastheten blir beregnet ved hjelp av følgende ligning:

$$\sigma_{bB} = \frac{8 \cdot P \cdot (L_s - L_a)}{\pi \cdot d^3} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Her betyr d diameteren av treprøven (cm). Omregning av bøyefastheten til å gjelde ved 12% vanninnhold kan utføres ved følgende ligning:

$$\sigma_{bB12} = \sigma_{bBu} \cdot \frac{30}{42 - u} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Her betyr: σ_{bB12} bøyefastheten ved et vanninnhold på 12% og σ_{bBu} bøyefastheten ved en prøfefuktighet på u . Denne ligning gjelder bare innenfor grensene u er 8 - 18%. Påstanden om at glatte brudd kjennetegner liten bøyefestighet, og splintrede brudd en høy bøyefestighet, må ikke generaliseres.

Prøving av bøyefastheten for sponplater og trefiberplater er normert.

11.32 Forhold som influerer på størrelsen av bøyefastheten.

Bøyefastheten avhenger spesielt av:

Forsøksanordningen (feste- og belastningsmåtene, avstanden mellom understøttelsespunktene, beliggenheten av treprøven - med den smale, henholds-

vis den brede side på støttepunktene)

form og måleforhold hos treprøven,

kvistmengden,

fiberforløpet,

om det er marg i treprøven

og til slutt av treprøvens fysikalske tilstand.

Når avstanden mellom understøttelsespunktene er mindre enn 15 ganger tverrsnittshøyden av prøven, opptrer det skyvespenninger som minsker bøyefastheten. Denne minskningen er større jo mindre forholdet er mellom avstanden mellom understøttelsespunktene og tverrsnitthøyden. Kjenner man bøyefastheten (σ_{bB}) av kantet trevirke med rettvinklet tverrsnitt og med en avstand mellom understøttelsespunktene (L_s cm) på mer enn 40 ganger prøvehøyden og minst 7,5 ganger prøvehøyden (cm), får en:

$$\sigma'_{bB} = \sigma_{bB} \cdot \left(1 + \frac{a}{L_s}\right) \text{ (kg/cm}^2\text{)}.$$

Ligningen gjelder når $\frac{L_s}{a} < 40$

Når en legger kantet trevirke med smalsiden på understøttelsespunktene, er bøyefastheten større enn når en legger det med breidsiden på understøttelsespunktene.

Med hensyn til form og måleforhold hos treprøven, har følgende størrelser innflytelse på bøyefastheten hos trevirket:

Tverrsnittsflaten,

tverrsnittsforringelsen på grunn av innsnitt m.m.,

forholdet mellom bredde og høyde (kantvirke).

Normalstaver er vanligvis mer bøyefaste enn bruksvirke med sitt vesentlig større tverrsnitt. Ved tverrsnittstørrelser fra 20 mm · 20 mm - 40 mm · 40 mm, er bøyefastheten uavhengig av tverrsnittstørrelsen.

Når det gjelder bøyefasthetens avhengighet av tverrsnittsforringelsen, er formen og beliggenheten av skår og innsnitt av betydning. Trevirke med skarpkantede innsnitt i endene brekker ved mye lavere bøyebelastning enn trevirke der tverrsnittsforringelsen er gradvis. Bruddfaren øker ved lokalt opptredende spenningstopper. Finnes det skår eller innsnitt mellom opplagringspunktene, brekker trevirket ved lavere bøyebelastning enn

usvekket trevirke. Her har formen av innsnittet ingen betydning.

Kantvirke er mest dragfast når bredden forholder seg til høyden som 5 : 7.

Bøyefasthetsverdiene hos to bjelker med samme vedegenskap, er ikke sammenlignbare når tverrsnittshøydene er forskjellige. For å omregne bøyefastheten σ_{bB1} av en trebjelke med tverrsnittshøyde h_1 til en bjelke med tverrsnittshøyde h_2 og med en bøyefasthet σ_{bB2} , bruker en følgende tilnæringsligning:

$$\sigma_{bB2} = \sigma_{bB1} \cdot \left(\frac{1 + c_1 \cdot h_2}{1 + c_2 \cdot h_2} \cdot \frac{1 + c_2 \cdot h_1}{1 + c_1 \cdot h_1} \right) \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Verdiene c_1 og c_2 må en bestemme eksperimentelt.

Vankanten skjærer hjørnene under en bestemt vinkel i forhold til den rett-vinklede tverrsnittssiden. Innflytelsen av vankanten når $\frac{x}{b} < 0,25$, er av liten betydning for bøyefastheten.

Kvist forringer bøyefastheten hos trevirket ganske betraktelig. Forringelsen avhenger særlig av størrelse, antall, sunnhet og beliggenhet av kvistene i den belastede treprøven.

Bøyefastheten blir spesielt sterkt forminsknet når kvistene ligger i strekksonen og nær belastningsstedet. Kvister i trykksonen og nær endene av det belastede trestykket øver bare en liten innflytelse på bøyefasthetens størrelse. Den største bøyefastheten finner en hos trevirke der fibrene løper parallelt med lengdeaksen, henholdsvis med lengdekanten. Allerede en avvikelse av fibrene på 20° fra lengdeaksen kan nedsette bøyefastheten med rundt halvparten (se fig. 37 og 38). Størrelsen av bøyefasthetens minskning blir større desto mer fibrene avviker fra lengdekanten av trevirket. Men ofte kan det også forekomme at fibrene løper parallelt med ytterkanten hos trevirket mens det kan danne vinkel mot ytterkanten i de indre deler. Dessuten skal en merke seg om det forekommer krympingsprekker, og disse kan gi en liten pekepinn om fibrenes retning i trevirkets indre.

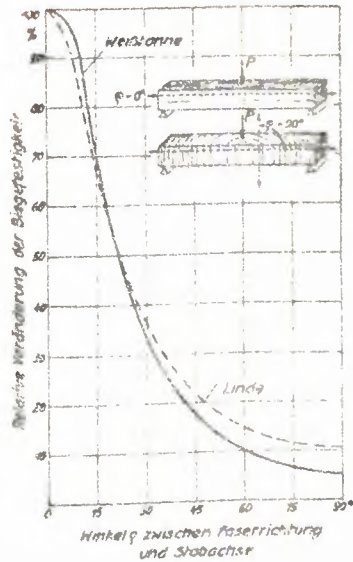


Fig. 37. Forholdet mellom fiberretning og relativ bøye-fasthet. Etter EHRMANN (VORREITER 1949).

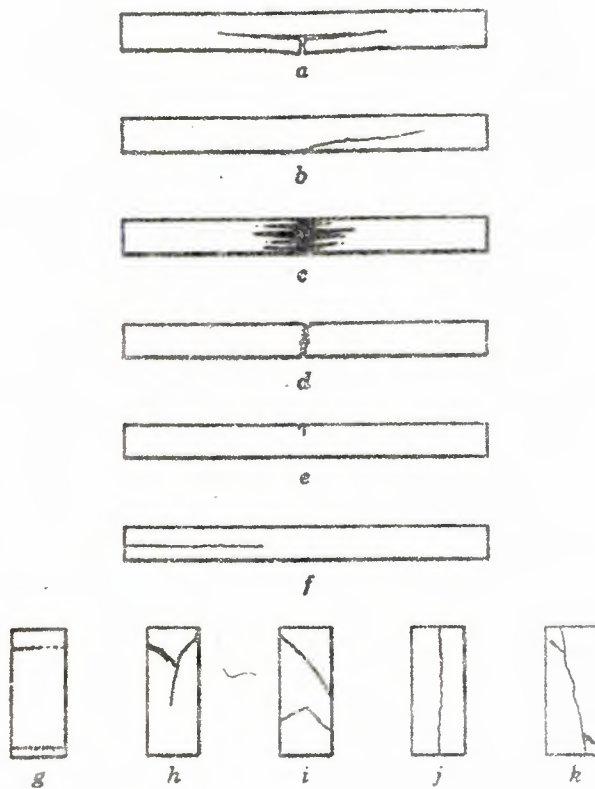


Fig. 38. Bruddtyper i enkle bjelker etter bøyepåkjenning (a-f) og brudd i korte søyler som har vært utsatt for kompresjon parallelt med fibrene (g-k) (WANGAARD 1950).

Tilstedeværelsen av marg i midten av bjelken nedsetter fastheten med ca. 10%.

Vi skal se litt på bøyefasthetens avhengighet av trevirkets fysikalske tilstand.

Økende volumvekt bevirker en økende bøyefasthet innenfor treslaget.

Innenfor ett og det samme treslag stiger bøyefastheten tilnærmet proporsjonalt med volumvekten. Et unntak danner kvaeholdige treslag. Hos disse blir volumvekten sterkt forhøyet på grunn av kvaeinholdet hvorfor bøyefastheten bare øker ganske lite. Av denne grunn kan en ikke fremstille forholdet mellom bøyefasthet og volumvekt hos kvaeholdige treslag med en rett linje, men med en krum kurve.

Bøyefasthetens avhengighet av vanninnholdet har bare praktisk betydning under fibermetningspunktet, og innenfor grensene fra u er lik 8 - 18%, har vi tidligere sett på en bestemt ligning.

Temperaturens innflytelse på bøyefastheten har spesielt betydning ved bygninger i det fri. Disse blir jo utsatt for høy oppvarming om sommeren og tilsvarende sterk frost om vinteren.

Vanligvis gjelder at bøyefastheten hos trevirke avtar når trevirket oppvarmes fra 0 - ca. 100°C. Ved senkning av temperaturen under 0°C, stiger bøyefastheten. For bøyefasthetens avtagelse og økning spiller også temperaturpåvirkningens varighet en stor rolle, likeså arten av varmeoverføring, f.eks. damp, varmt vann eller tørr varm luft.

Tabell 28. Bøyefasthet (gj.sn.) for noen treslag ved 12% vanninnhold (KOLLMANN 1951).

Treslag	Bøyefasthet kg/cm ²	Treslag	Bøyefasthet kg/cm ²
Bøk	1230	Furu	1000
Ask	1200	Vintereik	880
Sommereik	1100	Gran	780

Sammendrag.

Ved bøyning blir trevirket sammentrykt i den konkave siden og utvidet på den konvekse siden. Mellom begge disse sonene ligger det et strekk- og trykkfritt sjikt, det såkalte nøytrale sjikt.

Prøving av bøyefastheten kan foretas på normerte staver med kvadratisk tverrsnitt, eller på bruksvirke (kant-, henholdsvis rundvirke). Før en setter prøvene inn i prøvemaskinen måler en stavhøyden (tykkelsen), høyden og bredden av kantvirke, henholdsvis diameteren av rundvirket. Så blir prøven innspent i prøvemaskinen med en foreskrevet avstand mellom understøttelsespunktene og utsatt for en bøyekraft på midten på 400 - 500 kg/cm²/min. inntil det inntreffer brudd. Bøyefastheten er spesielt avhengig av forsøksanordningen, formen og måleforholdene hos treprøven, kvistmengden, fiberforløpet, forekomst av marg og av trevirkets fysikalske tilstand.

11.4 Spaltefasthet.

Med spaltbarhet mener en trevirkets egenskap til å motstå spalting når en f.eks. driver inn en kile. Vanligvis gjelder at godt spaltbart trevirke, dvs. trevirke med glatte og rette spalteflater, har en lavere spaltefasthet enn dårlig spaltbart virke. En opererer altså med begrepet spaltefasthet som en fysikalsk størrelse og spaltbarhet som en mer industriell egenskap. Spaltefastheten gir opplysning om hvor mye kraft som er nødvendig for å spalte en liten flate, mens spaltbarheten karakteriserer den geometriske formen av større snittflater.

Spaltefastheten er av stor betydning for nagleforbindelser i byggekonstruksjoner. Den kan også være av betydning når det gjelder materialer til bestemte håndverk.

11.41 Prøvemethoder.

Det er forskjellige prøvenormer i forskjellige land, og prøveverdiene kan derfor ikke sammenlignes med hverandre. Nedenstående figur viser en framgangsmåte.

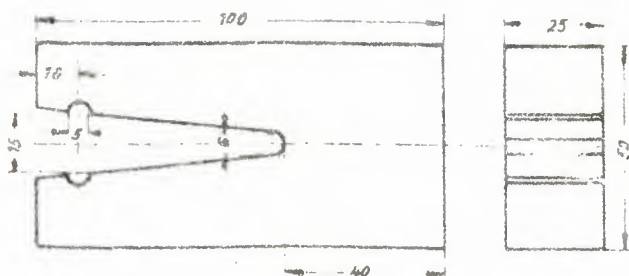


Fig. 39. Spalteprøve.

Alt etter som spaltefastheten blir prøvd i radial eller tangential retning, må årringene i tverrsnittet være loddrette på, eller parallelle med prøvebredden. Prøven må være fri for feil, og flatene må være glatthøvlede. Innenfor prøven må fibrene løpe parallelt med midtaksen. Prøven bør foretas ved normalklima, dvs. prøvene må lagres 28 dager ved $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ og ved en relativ luftfuktighet på $65\% \pm 5\%$. Etter at prøven er innspent, skal kraften være 50 kg/min. inntil prøven er spaltet. Leser vi av en kraft (P_{\max}) på prøvemaskinen og kaller den beregnede spalteflate for F, så er spaltefastheten:

$$\sigma_{\text{spB}} = \frac{P_{\max}}{F} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

For å bestemme vanninnhold og volumvekt hos treprøven, tar en ut en liten prøve ved siden av spalteflaten.

Spaltefastheten avtar i følgende rekkefølge: Ask, alm, bøk, eik, lerk, poppel, furu, edelgran, gran og balsa.

11.42 Forhold som influerer på spaltefasthetens størrelse.

Vanligvis gjelder grunnregelen at lauvtrærne er mer spaltefaste enn nåletrærne. Innenfor ett og det samme treslag avhenger spaltefastheten særlig av volumvekten, fibrenes orientering, vanninnholdet og av visse strukturelle egenskaper hos trevirket. Spaltefastheten stiger med stigende volumvekt. Spaltefastheten hos svartfuru er i tangential retning uavhengig av volumvekten, og spaltefastheten hos gran er i diagonal retning uavhengig av volumvekten, dvs. i de flatene som danner en vinkel med margstrålene på 45° , avtar spaltefastheten med økende volumvekt.

Trevirket er selvfølgelig bare spaltbart i fiberretningen (se fig. 40). Alt etter som spalteflaten i margstråleretningen står loddrett eller med en vinkel på 45° på denne, snakker en om radial, tangential, henholdsvis diagonal spalting.

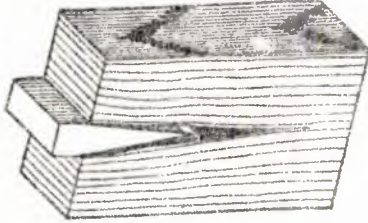


Fig. 40. Spalting av rettfibret trevirke (WANGAARD 1950).

Det er også av betydning enten spaltekraften angriper i tverrflaten som er lettest å spalte, eller i lengdeflatten. Hos nesten alle treslag er spaltefastheten størst ved spalting i tangential retning og minst i radial retning. Hos noen treslag, f.eks. hos furu, er spaltefastheten mindre i tangential enn i radial retning. Dette kan muligens henge sammen med furuas kvæinnhold. Størrelsen av spaltefastheten i diagonal retning inntar en midlere stilling mellom den i tangential og den i radial retning.

Sammenhengen mellom spaltefastheten og vanninnholdet hos trevirket er nok så innviklet. Spaltefastheten liksom bøyefastheten, er størst ved et vanninnhold som tilsvarende trevirket i lufttørr tilstand, men det er også her unntagelser.

Når det gjelder strukturen hos trevirket, er spesielt fiberforløpet og kvistmengden av betydning. Vridde vekst, bølget fiberforløp, masurvekst og kvist høyner spaltefastheten.

Sammendrag.

Spaltbarheten refererer seg til trevirkets egenskap til å spaltes når det blir utsatt for en kraft som virker på et kileaktig verktøy. Vanligvis gjelder det at godt spaltbart trevirke, dvs. trevirke med glatte og rette spalteflater, har en lavere spaltefasthet enn det som er dårlig spaltbart.

Spaltefastheten blir prøvd på U-formede prøver. Dette er bare en tilnærmet metode, fordi de herskende forhold med de motsatt virkende tverrestrekk-kreftene ikke stemmer overens med de som hersker ved spalteforsøk. Vanligvis gjelder grunnregelen at lauvtreartene er mer spaltefaste enn

nåletrærartene. Innenfor ett og samme treslag avhenger spaltefastheten særlig av volumvekten, fiberorienteringen, vanninnholdet og av visse strukturelle egenskaper hos trevirket.

11.5 Skjærfasthet.

Med skjærpåkjønning forstår en enhver belastning som virker parallelt med skjæreflaten (se fig. 41). Skyvepåkjønning er en belastning som virker loddrett på flaten (tverkrefter ved bøyepåkjønning). Bøye- og skyvespenninger oppstår.

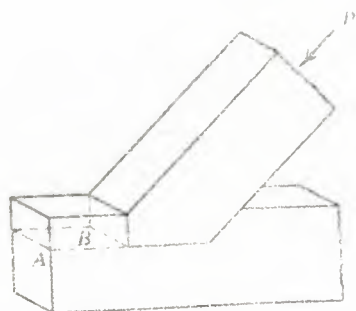


Fig. 41. Skjærkraft parallelt med fiberretningen (WANGAARD 1950).

Skjærfastheten er en spenning som uttrykker en kraft som virker slik at to deler som enten er naturlig forbundet med hverandre eller limt sammen blir forskjøvet i forhold til hverandre. Til forskjell fra bestemte andre belastninger, f.eks. belastning av trevirke ved trykk og strekk, opptrer det aldri rene skjærspenninger. Alt etter prøveform og prøveinnretning vil skjærspenningene være ledsaget av forskjellige sidespenninger. Således inntreffer f.eks. i innsnittede skjærprøver foruten små bøyespenninger, større sidespenninger på grunn av friksjon, og kilevirkning av stålkanten på skjærinnretningen. Ved tosnittede skjæreprøver er det små sidespenninger på grunn av friksjon og store bøye- og tverrstrekkspenninger. Enda mer innviklede er sidespenningene som oppstår i prøveformer som skal tilpasses praktiske formål.

Det fins også skjæreprøver hvor det ikke er godt å klarlegge hvilke arter av sidespenninger som opptrer ved skjærkraften. Skjærespenninger oppstår spesielt ved sammenføyning av trevirket i byggekonstruksjoner. I gjennomsnitt er skjærfastheten parallelt med fiberforløpet ca. 5 - 6 ganger lavere enn lengdestrykkfastheten.

11.51 Prøvemethoder.

Skjærfastheten blir enten prøvd på runde eller korsformede prøver (se fig. 42). Før undersøkelsen skal prøvene ligge åtte dager ved en temperatur på $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ og ved $65\% \pm 5\%$ relativ luftfuktighet.

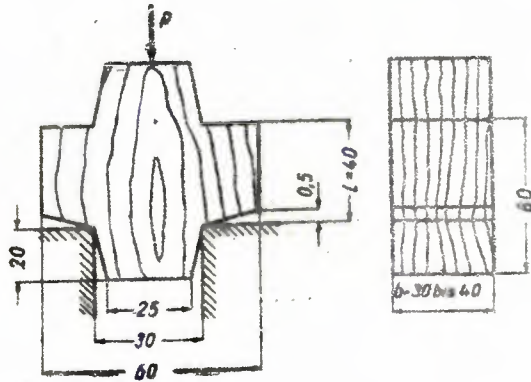


Fig. 42. Korsprøve (DIN 52 187).

Korsprøvene må forarbeides slik at høyden ligger i fiberretningen og skjæreflatene i radial eller tangential retning. Før en setter prøven inn i prøvemaskinen, måler en bredden (b) og skjærelengden (l) på begge sider av korsskjærprøven. Målingen foretas med en nøyaktighet på 0,1 mm, og en beregner aritmetisk middel av verdiparene. Korsskjærprøven legges med begge innsnittene på to rettvinklede skarpkantede stålunderlag. Belastningen er $60 \text{ kg/cm}^2/\text{min}$. inntil skjæringen inntreffer. Bruddlasten avleses på prøvemaskinen. Middelerdien for bredden (b), og skjærelengden (l) så vel som bruddlasten (P_{max}) settes inn i ligningen:

$$\tau_{\text{aB}} = \frac{P_{\text{max}}}{2 \cdot b \cdot l} \cdot (\text{kg/cm}^2)$$

τ er tegnet for skjær- henholdsvis skyvespenning, til forskjell fra σ som gjelder for noramlspenning.

For å undersøke runde prøver, brukes en spesialmaskin. Belastningen er den samme som nevnt for korsprøvene.

En leser av en kraft (P_{max}) og bruker diameteren (d) som er målt før prøvingen og får:

$$\tau_{\text{aB}} = \frac{2 \cdot P_{\text{max}}}{d^2} \cdot (\text{kg/cm}^2)$$

11.52 Forhold som influerer på skjærfasthetens størrelse.

Skjærfastheten avhenger spesielt av prøveformen, prøveinnretningen, prøvestørrelsen og belastningshastigheten. Videre av volumvekten, fibrenes orientering, vanninnholdet og av feil hos treprøven.

Resultatet fra skjærforsøk kan bare sammenlignes med hverandre når prøvene har samme form og når det er brukt samme prøvemaskiner. Ikke bare prøvens form, men også dens størrelse, har betydning for skjærfasthetens størrelse.

Generelt gjelder at skjærfastheten avtar med økende skjæreflatehøyde. Av denne grunn kan en ikke uten videre overføre resultater fra skjæreforsøk med normerte prøver til å gjelde trevirke til forskjellige formål i praksis. Belastningshastigheten influerer visstnok også på skjærfastheten, men hittil foreligger det ikke resultater som belyser dette forholdet nærmere.

For å finne sammenhengen mellom skjærfasthet og volumvekt, er skjærfastheten i radial retning bedre enn den i tangential, fordi den siste har store variasjoner. Så vel innenfor treslagene som i ett og samme treslag, stiger skjærfastheten med volumvekten rettlinjet eller krumlinjet (se fig. 43).

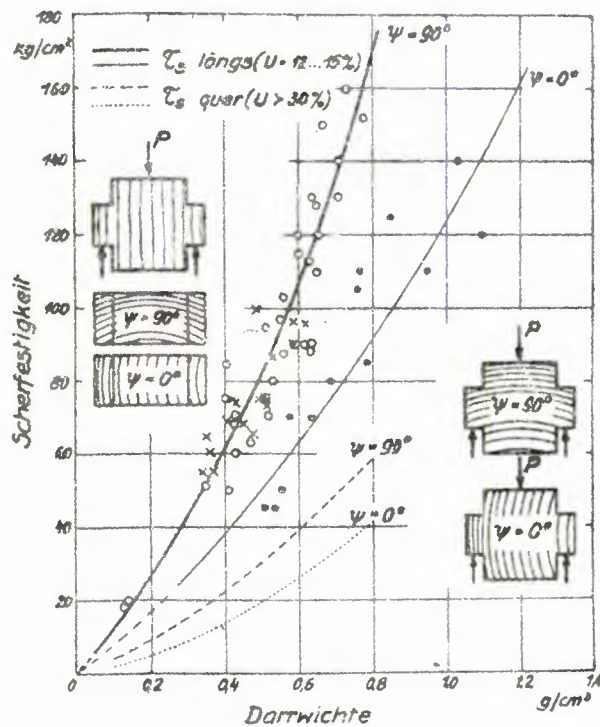
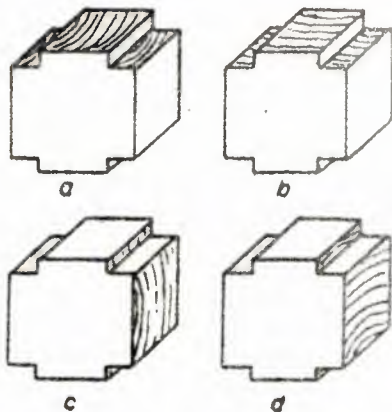


Fig. 43. Forholdet mellom skjærfasthet, tørrvolumvekt og årringretning (VORREITER 1949).

Når skjærkraften forsøker å få to veddelers som ligger ved siden av hverandre til å forskyves, er det forståelig at skjærmotstanden er lavere i fiberretningen enn perpendikulært på denne (se fig. 44).

Fig. 44. Skjærebelastning hos trevirke.



- a) Kraften virker i fiberretningen tangentialt på årringforløpet.
- b) Kraften virker i fiberretningen radialt på årringforløpet.
- c) Kraften virker loddrett på fiberretningen og radialt på årringforløpet.
- d) Kraften virker loddrett på fiberretningen og tangentialt på årringforløpet.

Forholdet mellom skjærfastheten i fiberretningen og perpendikulært på denne, utgjør ca. 1,2 til 1,15. Den noe høyere skjærfastheten på tvers av fibrene blir sjelden utnyttet, for i praksis vil det i de fleste tilfelle bli spørsmål om skjærpåkjenninger i fiberretningen. Det er påvist at skjærfastheten hos lauvtrær i fiberretningen ved belastning tangentialt til årringene, er 10 - 30% høyere enn ved belastning radialt på årringene. Hos nåletrær er denne forskjellen svært liten.

Sin største verdi oppnår skjærfastheten ved belastning i fiberretningen under en vinkel på ca. 45° til årringene.

Ved kraftvirkning loddrett på fiberforløpet, er skjæremotstanden hos mange treslag større i radial retning enn i tangential, f.eks. hos gran og eik. Hos andre treslag, f.eks. lerk, er den derimot mindre.

I området fra $u = 0\%$ - ca. 8%, tiltar skjærfastheten (τ_{aB}) med vanninnholdet (u). Mellom $u = 8\%$ og fibermetningspunktet, avtar τ_{aB} ved økende vanninnhold. Ovenfor fibermetningspunktet er τ_{aB} praktisk talt uavhengig av vanninnholdet.

Hvis det er spørsmål om store nøyaktigheter, f.eks. ved vitenskapelige undersøkelser, må økningen (henholdsvis avtagningen) av skjærfastheten, undersøkes for hver prosents stigning i vanninnholdet. I praksis kan en

klare seg med almengyldige regler. Man regner med at ved påkjønning i fiberretningen (uavhengig av treslaget) vil skjærfastheten øke (henholdsvis avta) med 3% for hver prosents økning (h.h.v. avtagelse) av vanninnholdet. Ved påkjønning på tvers av fiberretningen utgjør økningen (avtagelsen) av skjærfastheten i relasjon til vanninnholdet 2% hos nåletrær, henholdsvis 3% hos lauvtrær.

Vridning og sprekker virker særlig uheldig på skjærfastheten. Friske og store kvister (men ikke råtne og løse) kan alt etter deres beliggenhet i forhold til skjæreflaten, øke skjærfastheten.

Tabell 29. Skjærfasthet hos noen treslag i lufttørr tilstand (BELLMANN 1953).

Treslag	Skjærfasthet kg/cm ²
Balsa	40 - 45
Svartor	45 - 50
Weymouthfuru og Balsampoppel	50 - 60
Gran og osp	60 - 70
Douglasgran	70 - 80
Europeisk lerk og hvitbøk	80 - 100
Furu og eik	100 - 120
Ask og jerntre	120 - 150
Robinie	150 og mer

Sammendrag.

Skjærfasthet uttrykker en skjærekraft som prøver å forskyve to legemer som er naturlig eller kunstig forbundet med hverandre. I treprøver som er belastet med en skjærekraft, oppstår det aldri rene skjærspenninger, men også forskjellige sidespenninger, f.eks. bøye- og tverrstrekkspenninger.

Prøving av skjærfastheten er normert. Prøvene er runde eller korsformede og måles etter 8 dagers lagring ved 20°C ± 2°, og 65% ± 5%. Før undersøkelsen må en bestemme bredden og skjærelengden av korsprøven, henholdsvis diameteren av rundskjærprøven. Belastning av skjærprøven skal foregå med en bestemt hastighet inntil det oppstår brudd. Bruddkraften settes så inn i en ligning for å bestemme skjærfastheten. Skjærfastheten av-

henger spesielt av prøveformen, prøveinnretningen, prøvestørrelsen og av belastningshastigheten, videre av volumvekten, fibrenes orientering, vanninnholdet og av feil hos treprøven.

11.6 Dreiefasthet.

Vi forestiller oss en trestav med motsatt rettede dreiekrefter i hver ende. Kreftene forsøker med andre ord å dreie lengdeaksen. Alt etter som lengdeaksen løper parallelt med fiberretningen eller loddrett på denne, oppstår det ved økende dreiekraft en oppløsning av fibersammenhengen, eller staven brekker. Spenningen som skal til for å ødelegge trevirket ved dreining, kalles for dreie- eller torsjonsfasthet. Forløpet er meget komplisert, fordi fibrebl.a. blir utsatt for bøyning og strekk. Det oppstår også trykk-krefter i lengdeaksen. Deformeringen er mer komplisert hos kantede forsøksstaver enn hos runde.

Av og til blir det i praksis snakket om bruddfordreining. Denne uttrykker den største vinkel i grader pr. cm som en trestav kan dreies uten å ødelegges.

Dreiepåkjenninger hos trevirket, f.eks. hos bestemte deler i fly eller i andre byggekonstruksjoner, forekommer svært sjelden i praksis.

11.61 Prøvemethoder.

Undersøkelsene blir utført ved hjelp av en såkalt dreieingsprøvemaskin. Som prøver bruker en 40 cm lange feilfrie trestaver med kvadratisk tverrsnitt. Tverrsnittssidene er 2 cm. For at fibre skal løpe rettlinjet og parallelt med lengdekanten, er det hensiktsmessig å spalte opp prøvene. En må også passe på at flatene står loddrett på hverandre, og at årringgrensen i tverrsnittet må være parallell med en tverrsnittside. Før en spenner inn prøvestavene i prøvemaskinen, må tverrsnittssidene måles med 0,1 mm nøyaktighet.

For å beregne dreiefastheten bruker en følgende ligning:

$$\tau_{tB} = \frac{9}{2 \cdot s^3} M_t \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Her betyr M_t dreiemoment i $\text{kg} \cdot \text{cm}$ som en leser av på prøvemaskinen, og s er tverrsnittssiden hos prøvestaven i cm. En kan omregne dreiefastheten hos en prøvestav fra et vanninnhold u (under fibermetningspunktet) til å gjelde ved et vanninnhold på 12%.

$$\sigma_{tB12} = \sigma_{tBu} \cdot [1 + c \cdot (u \div 12)]$$

Der det er spørsmål om stor nøyaktighet, f.eks. ved vitenskapelige sammenligningsundersøkelser, må fuktighetskoeffisienten (c) finnes ved forsøk. Ellers er det tilstrekkelig å sette $c = 0,03$. Omregningsnøyaktigheten blir større når man anvender $c = 0,03$ for prøvestaver med $u = 9 - 15\%$. Utenfor denne grense må verdien for c fastsettes empirisk.

11.62 Forhold som influerer på dreiefasthetens størrelse.

Dreiefastheten avhenger særlig av fibrenes orientering, av volumvekten og av vanninnholdet hos trevirket.

Det er funnet at dreiefastheten i fiberretningen hos nåletrær er 2,9 - 3 ganger så stor som på tvers av fiberforløpet, og hos lauvtrær tilsvarende 1,55 - 1,6 ganger høyere.

Dreiefastheten hos ett og samme treslag stiger rettlinjet med volumvekten.

Under fibermetningspunktet avtar dreiefastheten gjennomsnittlig 3% for hver prosents fuktighetsøkning.

11.63 Dreiefasthet og bruddfordreining hos noen treslag.

Dreiefastheten i fiberretningen avtar i følgende rekkefølge: Alminnelig valnøtt ($\tau_{aB//12} = 327 \text{ kg/cm}^2$), hvitbøk, lønn, bjørk, eik, ask, hestekastanje, furu, robinie, lind, edelgran, lerk, edelkastanje og gran ($\tau_{aB//12} = 98 \text{ kg/cm}^2$).

Tabell 30 gir opplysninger om bruddfordreiningen hos noen treslag.

Tabell 30. Bruddfordreining hos noen treslag (KOLLMANN 1951)

Treslag	Vanninnhold i %	Bruddfordreining i fiberretningen ($^{\circ}$ /cm)
Ask	11,3	1,3 - 2,1
Bøk	11,7	1,2 - 2,0
Gran	11,9	0,96 - 1,33

Sammendrag.

Spenningen som skal til for å ødelegge trevirket ved dreining, kalles for

dreie- eller torsjonsfasthet.

Bruddfordreining derimot, angir den høyeste vinkel i grader pr. cm som en trestav kan dreies uten å bli ødelagt.

Dreieforsøkene er normert. Før en spenner trestaven inn i prøvemaskinen må en måle tverrsnittssidene. Dreiemomentet avleses av maskinen. Ved hjelp av en ligning, kan en beregne dreiefastheten, og den kan omregnes til å gjelde ved 12% vanninnhold. Dreiefastheten avhenger særlig av fibrenes orientering, volumvekten og av vanninnholdet hos trevirket.

11.7 Bruddslagsarbeid og slagbøyefasthet.

Trevirkets forhold ved slagpåkjenninger av en bøyekraft blir enten uttrykt ved hjelp av verdien av bruddslagsarbeidet eller ved hjelp av slagbøyefastheten. I det første tilfellet er det spørsmål om det mekaniske arbeid som skal til for å få gjennomslag av trelegemet. I det siste tilfellet er det spørsmål om en spenning som uttrykker en slagaktig virkende bøyebrukraft. Bruddslagsfastheten måles i $\text{kg} \cdot \text{m}$, slagbøyefastheten derimot i kg/cm^2 . Fysikalsk sett er bruddslagsarbeid og slagbøyefasthet to forskjellige størrelser. I praksis blir også det forbrukte bruddarbeid på en cm^2 av prøvetverrsnittet (altså det spesifikke bruddslagsarbeid i $\text{kg} \cdot \text{m}$ pr. cm^2) betegnet med slagbøyefasthet.

I praksis forekommer slagaktige påkjenninger av trevirket forholdsvis ofte. Vi kan bare tenke på trevirke i land-, vann- og luftfartøyer, i sports- og arbeidsutstyr osv. Alt etter som det nødvendige bruddslagsarbeidet er stort eller lite, snakker en om seigt, henholdsvis sprøtt trevirke. Også v.h.a. bruddformen kan en med en viss nøyaktighet slutte seg til om en har med seigt eller sprøtt trevirke å gjøre. Seigt trevirke brykker vanligvis langfibrig eller splintres ved slagaktig bøyepåkjenning. Sprøtt trevirke derimot brykker kortfibrig eller glatt. Foruten disse to bruddformene, er det naturligvis tallrike overgangsformer.

Det finnes mange metoder til å bestemme bruddslagsarbeidet, f.eks. brukes pendelhammer og slaghammer.

11.71 Prøving av bruddslagsarbeider med pendelhammer.

Slagbøyeforsøkene er normert og utføres ved hjelp av pendelslagverk.

Det nødvendige arbeid (A) som skal til for å få gjennomslag, kan leses av

i kg · m på pendelslagverkets skala. Det spesifikke bruddslagarbeid er da:

$$a = \frac{A}{F_0} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \text{ Her er } F_0 \text{ begynnelsestverrsnittet hos prøven i cm}^2\text{.}$$

11.72 Prøving av slagbøyefastheten.

Denne metoden består vesentlig i at en går ut fra den klassiske formel til å beregne bøyefastheten.

$$\sigma_{bB} = \frac{3P \cdot l}{2b \cdot h^2}$$

P erstattes med den dynamiske bruddkraft (P_d) og slagbøyefastheten er da:

$$\sigma_{bBd} = \frac{3 \cdot P_d \cdot l}{2b \cdot h^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

l er opplagringsavstand (cm), b er bredde (cm) og h er høyde (cm) av prøven. For å finne den dynamiske bruddkraften, bruker en spesielle måleinnretninger.

Betegner vi Brinellhardhet av bløtt aluminium H_B (kg/mm²), diameteren av stålkula med D (mm) og diameteren av kuleinntrengningen med d (mm) så er:

$$P_d = H_B \cdot \pi \cdot D \cdot (D \div \sqrt{D^2 \div d^2}) \text{ (kg).}$$

Eksempel: Beregn slagbøyefastheten av en treprøve med b = 2 cm, h = 2 cm og l = 24 cm. $H_B = 20 \text{ kg/mm}^2$, D = 10 mm og d = 2 mm.

$$\text{Løsning: } P_d = 20 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot (10 \div \sqrt{100 \div 4}) = 125,6 \text{ (kg)}$$

$$\text{Slagbøyefastheten er da: } \sigma_{bBd} = \frac{3 \cdot 125,6 \cdot 24}{3 \cdot 2 \cdot 2^2} = 565,2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

11.73 Forhold som influerer på størrelsen av bruddslagarbeidet.

Bruddslagarbeidet avhenger særlig av forholdet mellom støtvidden (l) og høyden (h) av prøvestaven, av treorienteringen, videre av volumvekten, vanninnholdet, temperaturen og av sunnhetstilstanden hos trevirket.

De verdier som oppnås ved bruddslagarbeid kan bare sammenlignes med hverandre når de er utført under samme betingelser, også ved samme prøvestørrelse. Hos staver med likeformet store kvadratiske tverrsnitt, oppnår bruddslagarbeidet sin minste verdi når l : h = 12. I praksis brukes det ofte ligninger til å omregne bruddslagarbeidet fra A_1 ved støtvidde l_1

12 h og stavhøyde h_1 , til A_2 med støtvidde l_2 og stavhøyde $h_2 = h_1$. Disse formlene gir bare brukbare resultater under bestemte betingelser. Ved $\frac{l}{h} \geq 16$, kan en ikke sammenligne resultatene fra slagbøveforsøk.

Bruddslagarbeidet avtar med økende fibervinkel som er vinkelen mellom stavaksen og fiberretningen. Hos bøk er det funnet verdier på 90% ved 5° fibervinkel, 50% ved 10° fibervinkel og bare 10% ved 50° vinkel. Verdiene av bruddslagarbeidet i radial slagretning hos nåletrær er vanligvis større enn i tangential retning. Hos lauvtrær er det ikke fastslått bestemte lovmessigheter.

Innenfor treslagene danner ikke volumvekten noen pålitelig viser for bruddslagarbeidet, skjønt i de fleste tilfeller er det en tendens til at bruddslagarbeidet øker med økende volumvekt. Hos ett og samme treslag eksisterer det visse lovmessigheter for avhengigheten mellom bruddslagarbeid og volumvekt.

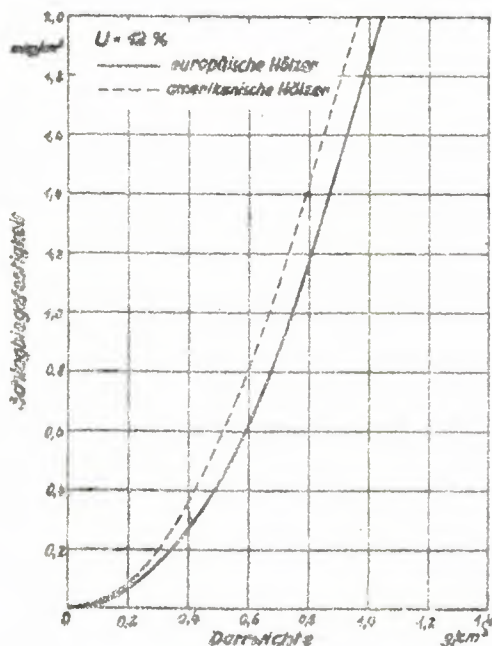


Fig. 45. Forholdet mellom tørrvolumvekt og slagbøvefasthet. Etter NEWLIN, WILSON og CHELMEZIU (VORREITER 1949)

Bruddslagarbeidet stiger rettlinjett eller kurveformet med økende volumvekt. For en del vanlige treslag er det funnet:

$$a = 1,90 \cdot r_o^2 \text{ henholdsvis } a' = 1,80 \cdot r_u^2$$

Her betyr a og a' slagbøyearbeid, r_0 tørrvolumvekt og r_u råvolumvekt ved $u = 15\%$.

Verdien av bruddslagarbeidet varierer forholdsvis mye. Det er vanskelig å fastslå bruddslagarbeidets variasjon med vanninnholdet. Videre kan en heller ikke alltid overføre bruddslagarbeidets avhengighet av vanninnholdet fra ett treslag til å gjelde for et annet. Det samme kan en si når det gjelder å overføre resultater fra forsøk med pendelhammer til forsøk med fallhammer. I det følgende skal vi se på slagbøyeforsøk med pendelhammer.

Vanninnholdets innflytelse på bruddslagarbeidet er vanligvis av mindre betydning.

Under og over den lufttørre tilstand forholder treslagene seg forskjellig ved økt vanninnhold, og det er vanskelig å sette opp almenngyldige grunnregler. Under området for lufttørr tilstand avtar bruddslagarbeidet for mange treslag, f.eks. hos furu, gran og bøk, ved avtagende vanninnhold. Hos andre treslag derimot, f.eks. hos eik, øker den. Bruddslagarbeidet hos furu og gran avtar med økende vanninnhold, hos bøk derimot er det motsatt. Ved videre vannopptagelse ovenfor fibermetningspunktet stiger bruddslagarbeidet hos noen treslag, hos andre, f.eks. bøk, avtar det.

Temperaturens betydning for bruddslagarbeidet er lite undersøkt, men det er fastslått, bl.a. for furu, at bruddslagarbeidet hos lufttørt trevirke i områder fra $0 - ca. 20^{\circ}$ er lite påvirket av temperaturen. Under $0^{\circ}C$ avtar bruddslagarbeidet sterkt med fallende temperatur. Her gjelder vanligvis at økning henholdsvis avtagning av bruddslagarbeidet hos trevirket ved temperaturforandringer, er sterkere jo større volumvekten er. Ved høyt vanninnhold hos trevirket kan det også oppstå avvikelser i resultatene.

Til slutt skal det også nevnes at råte nedsetter bruddslagarbeidet sterkt. Dette er lett å påvise ved slagbøyeforsøk. Se forøvrig fig. 46 og tab. 31.

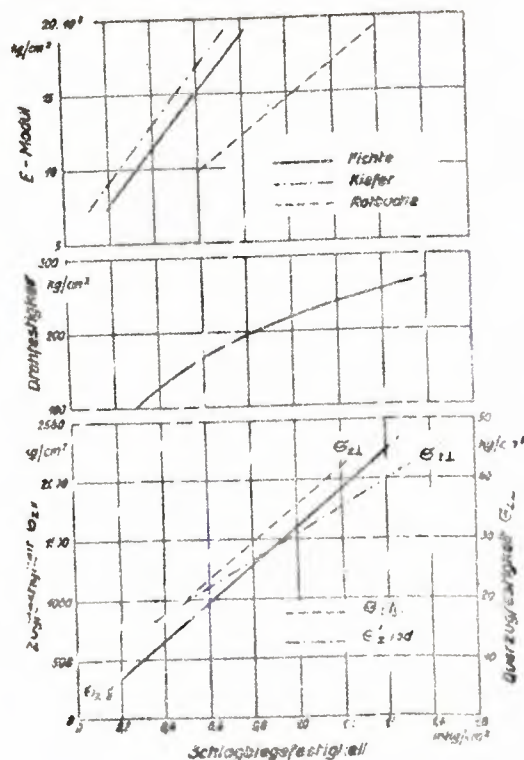


Fig. 46. Forholdet mellom slagbøye- og strekkfasthet, E-modul, dreie- og strekkfasthet hos gran, furu og bøk. Etter GHELMEZIU (VORREITER 1949)

Tab. 31. Bruddslagarbeid hos noen treslag (BELLMANN 1953)

Treslag	Bruddslagarbeid kgm/cm ²	Treslag	Bruddslagarbeid kgm/cm ²
Bøk	0,80	Furu	0,70
Ask	0,80	Douglasgran	0,60
Eik	0,75	Gran	0,50

Sammendrag.

Det mekaniske arbeid som skal til for å få gjennomslag av et trelegeme, kalles for bruddslagarbeid. Med slagbøye- og strekkfasthet forstår man derimot den spenningen som oppstår ved slagaktig bøyebruddkraft. I praksis blir ofte begrepene bruddslagarbeid og slagbøye- og strekkfasthet likestilt.

Slagbøye- og strekkfasthet blir utført på 30 cm lange staver med kvadratisk tverrsnitt med en støtvidde på 24 cm ved hjelp av et pendelslagverk. Arbeidet som skal til for å få gjennomslag leses av på en skala i slagverket.

Bruddslagarbeidet avhenger særlig av forholdet mellom støtvidde og stavhøyde, av orienteringen hos fibrene, videre av volumvekten, vanninnholdet, temperaturen og av sunnhetstilstanden hos trevirket. Det gjelder heller ingen almengyldige regler for forholdet mellom bruddslagarbeid og fuktighetstilstand. Det foreligger få resultater når det gjelder forholdet mellom bruddslagarbeid og temperatur. Tredestruering på grunn av sopper, nedsetter bruddslagarbeidet sterkt.

11.8 Stabil tilstandsfasthet.

Når en undersøker de hittil beskrevne fastheter, ser en at prøvene gradvis blir belastet helt til de når den maksimale kraft som skal til før brudd inntreffer.

I praksis fins det tallrike eksempler på at trevirket i måneder og år blir utsatt for en konstant kraft. Ved forsøk er det påvist at trevirket ødelegges ved langt mindre krefter når belastningen er langvarig og konstant enn ved en langsomt stigende, men svært kort innvirkende kraft. Den langsomtvirkende konstante kraft har langt større betydning i praksis enn den som forekommer ved en kort kraftpåkjenning. Denne grensespenningen som uttrykker en hvilende påkjenning og som ikke fører til brudd selv etter uendelig lang tid, kaller vi stabil tilstandsfasthet.

11.81 Prøvemethoder.

Den stabile tilstandsfasthet kan en bestemme ved at en utsetter en rekke likeartede treprøver med forskjellig kraft, inntil det inntreffer brudd samtidig som en registrerer belastningstiden. Med avtagende spenning øker tiden før det inntreffer brudd (se fig. 47).

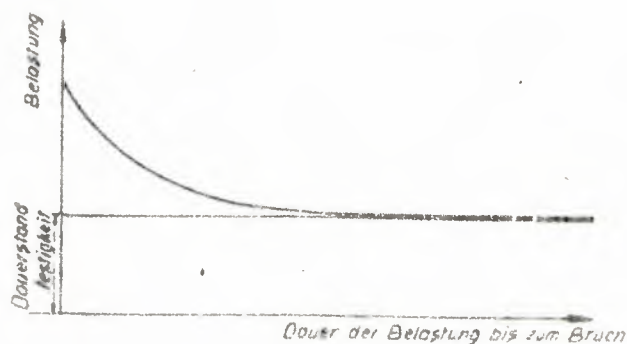


Fig. 47. Forholdet mellom belastning og belastningens varighet.

Av figuren går det fram at spenningen til slutt får en verdi som løper asymptotisk til en horisontal linje.

Skjæringspunktet mellom denne horisontale linjen og ordinaten gir verdien for den stabile tilstandsfasthet. Nøyaktigheten ved denne metoden er beregnet til å være $\pm 10\%$ (WANIN 1949). Da må treprøvenes struktur være fullstendig likeartet, likeså må vanninnholdet og temperaturen avvike svært lite.

Det er også påvist at den stabile tilstandsfasthet har sammenheng med den plastiske deformering i begynnelsen. Man kan praktisk talt sette den stabile tilstandsfastheten lik flytegrensen.

Det er også vist at det ikke er noen forskjell mellom verdier for den stabile tilstandsfastheten som er funnet ved langvarige forsøk med en rekke likeartede treprøver, og ved de verdier av kurveforsøk som kan brukes til å bestemme den stabile tilstandsfastheten ved hjelp av flytegrensen.

Tabell 32. Stabil tilstandsfasthet hos noen treslag (WANIN 1949).

Treslag	σ_{tB11}	σ_{sB11}	σ_{sB}	σ_{bB}
Bjørk	-	-	-	65
Bøk	74	90	92	-
Eik	74	-	-	54
Gran	88	74	94	-
Lind	82	-	-	-
Furu	73	-	89	-
Ask	67	86	-	-

Tabellen viser stabil tilstandsfasthet hos noen treslag ved forskjellige påkjenninger.

Sammendrag.

Den spenningen som trevirket kan tåle uten å brette ved langvarig belastning, kalles for stabil tilstandsfasthet.

Bestemmelse av den stabile tilstandsfastheten ved hjelp av belastning av et antall likeartede treprøver med varierende kraft til det oppstår brudd, krever mye tid. Da er det mye hurtigere å bestemme den stabile tilstandsfastheten når en setter den lik flytegrensen. Det å finne den stabile

tilstandsfastheten er da det samme som å bestemme flytegrensen.

11.9 Stabil svingfasthet.

Med stabil svingfasthet forstår en den spenningen som et legeme kan tåle uten å brekke når det utsettes for en svingende last. Den kalles for σ_s .

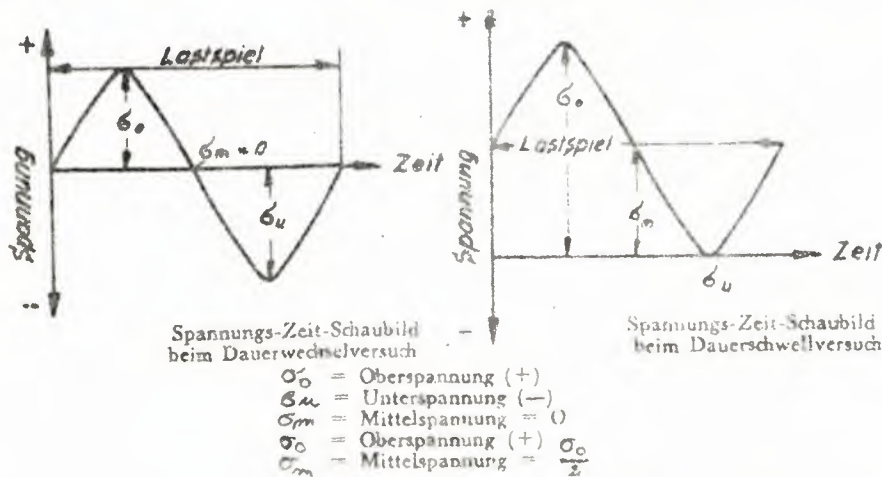


Fig. 48. Forholdet mellom spenning og tid (DURST 1958).

Endrer spenningen seg i konstant retning, men vekslende last, så snakker en om vekselfasthet (σ_v). Hvis retningen varierer mellom null og en høyeste verdi og lasten er konstant, snakker en om "svulmende" fasthet (σ_s). Se fig. 48.

Når det oppstår brudd ved forsøk, kaller en disse for stabilitetsbrudd. De er som regel flate og glatte selv hos treslag som splintrer langfibret ved statiske forsøk.

11.91 Prøvemethoder.

En går ut fra et antall likeartede treprøver som blir utsatt for svingende påkjenninger i en prøvemaskin. Alt etter som det er veksel-, henholdsvis "svulmefasthet" som blir prøvd, blir middelspanningen (σ_m), eller underspenningen (σ_u) holdt konstant. Overspenningen (σ_o) endres gradvis. Den første prøven blir belastet med en så stor overspenning at den brekker etter kort tid. For den andre treprøven bruker en mindre overspenning og får større tid. Slik fortsetter en helt til den siste prøven ikke brekker. Verdiene settes inn i en kurve, og en trenger minst 5 - 6 punkter for hvert enkelt forsøk. Kurven nærmer seg asymptotisk en parallell til den horisontale akse. Snittpunktet mellom denne parallellen og den vertikale akse gir den stabile svingfastheten.

Den stabile svingfastheten ved bøyepåkjenninger er den viktigste art av stabil svingpåkjønning i praksis. Forsøkene foretas med flate, henholdsvis omløpsbøyemaskiner. For den første bruker en flate prøver, til den andre runde staver som blir dreid under belastning.

Tabell 33. Vekselbøyefasthet hos noen treslag (KOLLMANN 1951)

Treslag	r_u (g/cm ²)	u (%)	Statisk bøyefasthet (kg/cm ²)	Vekselbøyefasthet (kg/cm ²)
Gran	0,44	10 - 12	780	195
Furu, kjerne	0,65	10,8	955	360
" splint	0,56	11,3	1160	420
Bjørk	0,67	-	1400	350
Ask	0,56	10,6	-	270

Sammendrag.

Med stabil svingfasthet forstår en den spenningen som et legeme kan utsettes for uten å brette under påvirkning av en svingende last.

En snakker om veksel- henholdsvis svulmefasthet. I det første tilfellet er lasten konstant og retningen varierer, og i det siste tilfellet er forholdet motsatt.

Den stabile svingfastheten bestemmes ved at treprøven blir utsatt for svingende påkjenninger i en prøvemaskin. Den stabile svingfastheten hos trevirket ved bøyepåkjenninger blir bestemt ved hjelp av flate-, henholdsvis omløpsbøyemaskiner. Med hjelp av disse maskinene finner en det såkalte lastvekseltallet som sier hvor mye trevirket kan tåle uten å brette.

12. Hardhet.

Med hardhet mener en den motstand som et legeme (her altså trevirke) yter mot inntrengning av et hardt legeme. Hardheten hos trevirket er særlig av stor betydning når det gjelder trevirkets bearbeiding, fordi hardheten til en viss grad bestemmer valg av verktøy.

12.1 Prøvemethoder.

De metoder som nyttes til å måle trevirkets hardhet har visse feilkilder. Først og fremst blir måleresultatene påvirket av sidepåkjenninger. Dette

er grunnen til at verdiene av hardhetsmålinger hos trevirket er nokså omstridte.

De verdiene som oppnås etter målinger med forskjellige hardhetsmålere, kan ikke uten videre sammenlignes med hverandre.

Alt etter som inntrengningen av fremmedlegemet i trevirket foregår langsomt eller plutselig (f.eks. slagvis), snakker en om statiske, henholdsvis dynamiske hardhetsmålinger. Vi skal se litt på to alminnelige målemetoder, de såkalte Brinell- og Jankametodene. Av større betydning er kanskje den metoden som er utformet av Chalais-Meudon, fordi denne ble internasjonalt anerkjent ved Genferkonferansen for mekanisk treeteknologi år 1949.

12.11 Statiske prøvemethoder.

Brinells metode går ut på at hardheten uttrykkes ved hjelp av kraften. Ei stålkule med 10 mm diameter trykkes inn i overflaten på trevirket. En bruker følgende ligning:

$$H_B = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot (D + \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (kg/mm}^2\text{)}.$$

P er trykk-kraft i kg,

D er diameter av stålkula

og d er diameteren av kulas inntrengning, som f.eks. kan måles med en såkalt Brinell-lupe med 0,1 mm nøyaktighet.

Vil en ha en større nøyaktighet når en avleser diameteren ved kulas inntrengning, så anvender en et målemikroskop.

Alt etter som det dreier seg om svært bløte, middelharde eller harde treslag, blir de belastet med 10, henholdsvis 50 eller 100 kg. Den største kraft (P) skal oppnås i løpet av 15 sek. Så skal den holdes konstant i 30 sek. og derpå senkes til 0 kg i løpet av 15 sek.

Etter den samme metoden kan en hurtigere og enklere komme til resultater ved å måle dybden av inntrengningen med en såkalt kuleinntrengningsdybde-måler. Av inntrengningsdybden (d) kan en finne inntrengningsflaten. Den er:

$$F = \pi \cdot D \cdot d.$$

Dermed får ligningen følgende form:

$$H_D = 77 \cdot \frac{P}{D} \cdot u \quad (\text{kg/mm}^2)$$

Det er kommet visse innveinginger med Brinells metode, bl.a. er 10 mm diameter for lite. Ved prøving av sidehardheten er det heller ikke mulig å bestemme diameteren på den uskarpe, elliptiske inntrengningen. For å få en tilstrekkelig nøyaktig middelvei, kreves det 9 inntrengninger i henholdsvis tverrflaten og i sideflaten.

Ved prøving av trevirkets hardhet i følge Jankas metode, brukes ei stål-kule med diameter 11,284 mm som trykkes inn i trevirket til en dybde av halve kulas diameter. Projeksjonen av inntrengningsflaten utgjør nøyaktig 1 cm². Hardhetssiffrene i kg/cm² er da den nødvendige kraft som skal til for å få kula til å trenge inn. Variasjonen i måleresultatene er mindre ved bruk av denne metoden enn ved Brinellmetoden. Måleresultatene påvirkes riktignok av stedvise fortetninger i trevirket under halvkula, så vel som av spalte- og skjærepåvirkninger.

Metoden etter Chalais-Meudon består i at mantelen av en stålsylinder trykkes med en bestemt kraft og ved en bestemt belastningsvarighet inn i radialflaten på trevirket. Middelveiden (b) av breddene i begge ender av inntrengningen blir målt, og så bruker en følgende formel for å beregne inntrengningsdybden:

$$d = 15 \div \frac{1}{2} \sqrt{900 - b^2} \quad (\text{mm})$$

Hardhetstallet er da:

$$H_c = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{1}{\text{mm}}\right)$$

Jo hardere trevirket er, desto mindre blir inntrengningsdybden, henholdsvis desto større blir hardhetstallet. Det er vanlig å bruke 12 cm brede normalstaver.

Det er også utformet en rekke andre metoder til å bestemme hardheten ved statisk påkjenning, men det er ikke noen grunn til å gå nærmere inn på disse her.

12.12 Dynamiske prøvemethoder.

Bausann beregnet hardhetstallet av ligningen:

$$H_{Ba} = \frac{1000}{77 \cdot d^2} \cdot \left(\frac{1}{\text{mm}^2}\right)$$

Her betyr d diameteren av inntrengningen av ei stålkule med 10 mm diameter som blir drevet inn ved hjelp av en fjærende bolt, en såkalt slaghardhetsprøver.

Det er også her en rekke andre metoder, men det er ingen grunn til å gå nærmere inn på disse.

12.2 Forhold som influerer på hardhetens størrelse.

Hardheten hos trevirket avhenger særlig av volumvekten og snittretningen. Videre av vanninnholdet, temperaturen og strukturen. En kan ikke uten videre påstå at det innenfor treslagene er slik at tunge treslag er hardere enn lette. Ved ett og samme treslag gjelder derimot grunnregelen at hardheten stiger med volumvekten. For europeiske treslag er det funnet følgende forhold mellom Brinell-hardhet og volumvekt (r_o) hos trevirket:

$$H_B = a \cdot r_o^b$$

Her er a lik 11,80 i tverrsnittet og b er lik 1,62. a er lik 6,70 når det gjelder sidehardhet og b er da 2,14.

Innenfor en og samme treprøve avhenger hardheten av snittretningen. Den er større i tverrsnittet enn i tangential- og radialsnittet. Om hardheten er større i tangentialsnittet enn i radialsnittet, avhenger av treslaget. Det finnes også treslag hvor forskjellen mellom hardhet i tangential- og radialretning ikke er særlig utpreget eller faktisk talt er lik null.

Under fibermetningspunktet avtar hardheten med stigende vanninnhold. Det foreligger undersøkelser som viser at hardheten i endeflatene avtar med $2\frac{1}{2}\%$, og sidehardheten med 4% når vanninnholdet øker med 1%.

Med hensyn til temperaturens innflytelse på trevirkets hardhet, gjelder grunnregelen at frosset trevirke er hardere enn tørt.

Til slutt skal vi se litt på hardhetens avhengighet av strukturen. Vi kan si det på følgende måte:

Høstved er hardere enn vårved. Hardheten i endeflatene er større hos langfibrede enn hos kortfibrede treslag. Fibre som løper bølgeformet forhøyer hardheten.

Med hensyn til årringbredden kan en ikke slutte seg til noe bestemt om

hardheten. Selv om nåletrær med brede årringer vanligvis er bløtere enn de med smale årringer. Treets alder spiller også en viss rolle. Nedenstående tabell viser en inndeling av noen treslag etter hardheten.

Tabell 34. Hardhet i fiberretningen hos noen treslag (GAYER 1949)

Hardhet i kg/cm ²		Treslag
Svært bløtt	inntil 3,5	Kastanje, osp, svartpoppel, selje, balsa, gran, edelgran, weymouthfuru
Bløtt	" 4,9	Bjerk, svartor, lind, hassel, platan, mahogny, lerk og vanlig furu
Middels hardt	" 5,9	Douglasgran, alm, valnøtt og svartfuru
Hardt	" 6,5	Lønn, ask, pæretre, epletre, rogn og teak
Svært hardt	" 14,6	Bøk, akasie, hichory, palisander, barlind og eik
Beinhardt	" 15,0	Dalbergia melanoxylon, Brya ebenus m.fl.

Sammendrag.

Med hardhet mener vi motstanden hos et legeme mot inntrengning av et hardere legeme.

De brukte prøvemethodene fører med seg visse feilkilder, fordi måleresultatene blir påvirket av en rekke forhold. Man skiller mellom statiske og dynamiske metoder. Trevirkets hardhet avhenger spesielt av volumvekten og av snittretningen, videre av vanninnholdet, temperaturen og strukturen.

13. Trevirkets motstand mot slitasje.

Med slitasje av trevirke forstår en overflateforandringer som følge av påvirkning av en rekke faktorer, f.eks. gliding, sliping, støt osv. Forandringen av treoverflaten er forbundet med volum- og vekttap. Golvbord, brudekker av tre osv. blir utsatt for slitasje. Trevirkets evne til å motstå slik uheldig slitasje kan vi kalle for slitasjemotstand. Vi må ikke blande sammen trevirkets hardhet og slitasjemotstanden. Resultatene fra slitasjeundersøkelser varierer mye mer enn hardhetsprøver.

13.1 Prøvemethoder.

Antall og art av faktorer som virker inn på trevirkets slitasje er for-

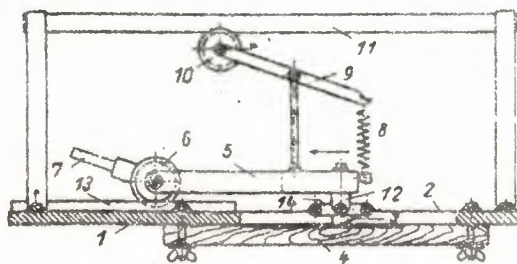
skjellige i praksis. Golv blir utsatt for gang, brubord blir utsatt for gang og slitasje av fremkomstmidler osv.

Det er innlysende at antall og arter av faktorer som virker i praksis ikke nøyaktig kan etterlignes ved forsøk.

En metode til å bestemme slitasjemotstanden er å bruke slipemaskiner. Prøven blir da f.eks. presset mot en slipestein med bestemt kraft. Som mål på slitasjemotstanden brukes enten volumet eller vekttapet hos treprøven. Det er et aber med metoden, nemlig at små deler av slipemidlet trenger inn i treprøven og en får for høye verdier for slitasjemotstanden.

En annen metode går ut på å bruke sandblåsing. Som mål på slitasjemotstanden bruker en også her volum- og vekttap. Metoden har ikke lenger noen praktisk interesse.

En tredje metode baserer seg på at treprøven blir utsatt for et fjærebelastet rivestykke av stål som beveges fram og tilbake (se fig. 49). For å bedømme slitasjemotstanden bruker en middelverdien av målinger av furudybden etter tusen løftinger av rivestykket. Denne metoden er atskillig bedre enn de to forannevnte.



- 1 = Tischplatte, 2 = Fenster, 3 = Widia-Reibstück, 4 = Holzprobe,
5 = Dreipunktauflage-Rahmen, 6 = Räderpaar, 7 = Kurbelstange,
8 = Zugfeder, 9 = Hebel, 10 = Laufrolle, 11 = Schiene, 12 = Schaukel.

Fig. 49. Maskin for prøving av slitasjemotstanden. Etter SACHSENBERG (KOLLMANN 1951)

Det er også flere metoder til å bestemme slitasjemotstanden, men det er ikke noen grunn til å gå nærmere inn på disse.

13.2 Forhold som virker inn på størrelsen av slitasjemotstanden.

Slitasjemotstanden hos trevirket avhenger særlig av volumvekten, av arten av for- og etterbehandling, og av vinkelen mellom fiberforløpet og slitasjeretningen.

Trevirke med høyt vanninnhold har liten slitasjemotstand. Det er vanskelig å finne sammenhengen mellom slitasjemotstanden og trevirkets vanninnhold fordi enkelte av prøvemaskinene utvikler varme som fører til at vanninnholdet hos treprøven forandres.

Grunnregelen at slitasjemotstanden øker med volumvekten gjelder bare innen for ett og samme treslag, men ikke mellom treslagene. Det finnes f.eks. treslag som har kjemiske stoffer som nedsetter slitasjemotstanden, f.eks. naturlig olje hos teak.

For- og etterbehandlingen spiller stor rolle når det gjelder slitasjemotstanden. Således er f.eks. slitasjemotstanden lavere for trevirke som er dampet, mens derimot oljet og bonet trevirke har høyere slitasjemotstand enn ubehandlet.

I radialsnittet er slitasjemotstanden hos trevirket høyere enn i tangentialsnittet, spesielt hos nåletrær.

Sammendrag.

Med slitasje hos trevirke forstår en volum og vekttap på grunn av forskjellige faktorerers innvirkning på overflaten. Spesielt gjelder dette gliding, riving, sliping og støt. Trevirkets evne til å motstå slitasje, kan vi kalle for slitasjemotstand.

Det finnes en rekke metoder som er mer eller mindre brukbare til å bestemme slitasjemotstanden hos trevirket.

Slitasjemotstanden hos trevirket avhenger spesielt av volumvekten, vanninnholdet, av arten av for- og etterbehandling, og av vinkelen mellom fiberforløpet og slitasjeretningen.

14. Formelsamling.

14.1 Volumvektbegreper, celleveggenes spesifikke vekt og porevolum.

$$\text{Volumvekt, } r = \frac{G}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Tørrvolumvekt, } r_o = \frac{G_o}{V_o} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

G_o = vekt ved ca. 0 % vanninnhold

V_o = volum " " " "

$$\text{Volumtetthet, } R = \frac{G_o}{V_u} \text{ (g/cm}^3\text{) (også kg/m}^3\text{)}$$

(Tørr-råvolumvekt)

$$\text{Råvolumvekt, } R_u = \frac{G_u}{V_u} \text{ (g/cm}^3\text{) (også kg/m}^3\text{)}$$

$u >$ fibermetningspunktet

$$r_o = R \frac{100}{100 - \beta_v} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad R \frac{100}{100 - 28R} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad R \frac{1}{1 - 0,28R} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$r_o = R \frac{100 + \alpha_v}{100} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$\beta_v = \text{volumkrympingen} = 28 R \text{ (\%)} \text{ (også } 0,28 R\text{)}$$

$$\alpha_v = \text{volumsvellingen} = 28 r_o \text{ (\%)} \text{ (også } 0,28 r_o\text{)}$$

Tallet 28 (h.h.v. 0,28) er funnet ved forsøk

$$R = r_o \frac{100}{100 + \alpha_v} \text{ (g/cm}^3\text{)} \approx r_o \frac{100}{100 + 28r_o} \approx \frac{r_o}{1 + 0,28r_o} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$R = r_o \frac{100 - \beta_v}{100} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$Y_H = \frac{G}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)} \approx 1,50 \text{ for alle treslag}$$

Y_H = celleveggs substansens spesifikke vekt

$$m = \frac{r_o}{\gamma_H} 100 \%$$

m = volum av tørr tresubstans

Porevolum = P

$$P_{u=0} = 1 - m = 1 - \frac{r_o}{\gamma_H} = 1 - \frac{r_o}{1,50} = 1 - 0,667 r_o$$

$$P_{u=0} = 100 (1 - 0,667 r_o) \%$$

$P_{u=0}$ = porevolum hos vannfritt trevirke

Er tørrvolumvekten 1,50, blir porevolumet 0

I vannmettet tilstand stiger volumet fra 1 til $(1 + \alpha_v)$, eller når $\alpha_v \approx 0,28 r_o$, til $(1 + 0,28 \cdot 1,50)$

Herav

$$R_{\max} = \frac{H_{\max}}{1 + \alpha_{v\max}} = \frac{1,50}{1 + 0,28 \cdot 1,50} = 1,056 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Volum porefri rå ved} = \frac{R}{1,056}$$

$$\text{Porevolumet} = 1 - \frac{R}{1,056}$$

$$\text{Volum bundet vann} = \frac{R}{1,056} \div \frac{R}{1,50} = R \cdot 0,28$$

Porevolumet er ikke konstant innenfor det hygroskopiske området, vi får:

$$P' = 1 - R' \left(\frac{1}{\gamma_H} + \frac{u_h}{\rho_s} + \frac{u_k}{Q} \right)$$

R' = tørrvekt/volum ved et vanninnhold u

u_h = innhold av hygroskopisk vann i g pr. g tørr ved

u_k = " " fritt " " " " " " "

Q = normal tetthet ved "måletemperaturen"

ρ_s = tettheten hos det bundne vannet - varierer med u_h

Porevolum hos trevirke med et vanninnhold, u < 25 %

$$P_{u < 25 \%} = 1 \div \frac{r_o}{1 + u r_o} (0,65 + u)$$

og $u > 25 \%$

$$P_{u > 25 \%} = 1 + \frac{r_o}{1 + 0,28 r_o} (0,65 + u)$$

14.2 Trevirkets vanninnhold.

Vanninnhold i % av tørrvekten, $u = \frac{G_u - G_o}{G_o} 100 \%$

G_u = vekt i rå tilstand

G_o = " " tørr " (tørket ved ca. 103°C til vekten er konstant, vanligvis to døgn)

Vanninnhold i % av råvekten, $x = \frac{G_u - G_o}{G_u} 100 \%$

$$u = \frac{x}{1 - x} \text{ (kg/kg)} \quad \left[G_o (u + 1) = G_u, G_o = G_u (1 - x), \frac{1}{u + 1} = 1 - x \right]$$

$$u = \frac{x}{1 - \frac{x}{100}} (\%) = \frac{100 \cdot x}{100 - x} \%$$

$$x = \frac{u}{1 + u} \text{ (kg/kg)}$$

$$x = \frac{u}{1 + \frac{u}{100}} (\%) = \frac{100 u}{100 + u} (\%)$$

$$\begin{aligned} \text{Volum luft} &= \text{porevolum} \div \text{volumet av fritt vann} = \\ &= \text{porevolum} \div (\text{totalt vann} \div \text{bundet vann}) = \\ &= V_1 \\ V_1 &= 100 - R(u + \frac{100}{1,50}) (\%) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maksimalt volum vann} &= \text{vedens volum i rå tilstand} \div \\ &\div \text{volumet porefri absolutt tørr ved} = \\ &= V_{\text{max}} \end{aligned}$$

$$V_{\text{max}} = 1 - \frac{R}{1,50} = \frac{1,50 - R}{1,50} \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$u_{\text{max}} = \left[\frac{G_u - G_o}{G_o} \right]_{\text{max}} 100 \% = u_F + u_{K\text{max}} = \text{bundet vann} + \\ + \text{fritt (kapillært)vann}$$

$$u_F = \frac{\beta_v}{R} \approx 28 \% \approx \text{det bundne vannet}$$

$$u_k = \frac{V_o P \gamma_v}{G_o} = \frac{1,50 - r_o}{1,50 r_o} 100 \% \quad \left(\because \frac{P}{G_o} = \frac{1 - \frac{r_o}{1,50}}{r_o} \right)$$

$$P = \text{porevolum} = 1 - \frac{r_o}{1,50} \quad (\text{se side } 1)$$

$$\gamma_v = \text{spes. v. av fritt vann} \approx 1,0$$

$$u_{\max} = 28 \% + \frac{1,50 - r_o}{1,50 r_o} 100 \%$$

$$u_{\max} = 0,28 + \frac{1,50 - r_o}{1,50 r_o}$$

$$\left[r_o = \frac{R}{1 - 0,28R} \quad (\text{g/cm}) \quad (\text{Se side 1}) \right]$$

Derfor:

$$u_{\max} = \frac{1,50 - R}{1,50 R}$$

$$u_{\max} = \frac{V_{\max}}{(1 - V_{\max}) 1,50} \cdot 100 \% = \frac{1,50 - R}{1,50 R} 100 \% \quad (\text{Se side 4})$$

$$u = \frac{G_u - G_o}{G_o} \quad G_u = G_o (1 + u)$$

$$v_u = V_o (1 + \alpha_{vu})$$

α_{vu} = svelling mellom o og u prosent vanninnhold

Volumvekt ved et vanninnhold $u = r_u$

$$r_u = \frac{G_u}{V_u} = \frac{G_o}{V_o} \cdot \frac{(1 + u)}{(1 + \frac{\alpha_{vu} u}{1 + u})} = r_o \frac{1 + u}{1 + \alpha_{vu} u} \quad (\text{Se side 6})$$

$$\alpha_v = 0,28 r_o \quad (\text{Se side 1})$$

$$\alpha_v = 28 r_o \quad (\%)$$

Svellingskurven er vanligvis rettlinjet i området fra 0-25 % vanninnhold.

Svellingen ved $u = 25 \%$ er gjennomsnittlig 75 % av svellingens høyeste verdi. Svellingen pr. 1 % økning av vanninnholdet er da:

$$\frac{75}{100} \alpha_v = 0,03 \alpha_v = 0,84 r_o \quad (\alpha_v = 28 r_o \%) \quad \text{og}$$

$$\frac{0,75}{25} \beta_v = 0,03 \beta_v$$

$$\frac{d\alpha_{vu}}{du} = \text{volumsvellingen i \% pr. 1 \% økning av vanninnholdet}$$

Ser en bort fra svellingsspenninger og vannets volumkontraksjon (s.3) kan en sette:

$$\alpha_{vu} \approx u_v \approx u r_0$$

u_v og α_{vu} er uttrykt over tørrvolumet

$$0 \leq u \leq 25 \% :$$

$$\frac{d\alpha_{vu}}{du} = \frac{\alpha_{vu}}{u} \approx r_0 \quad 0,84$$

Noen treslag sveller mindre (og mer) enn dette, men verdien gir et brukbart gjennomsnitt.

D.v.s. i området $0 \leq u \leq 25 \%$ gjelder:

$$r_u = r_0 \frac{1 + u}{1 + 0,84 r_0 u} \quad (\text{Se side } 5)$$

14.3 Krymping og svelling.

$$\text{Svelling i lengderetningen, } \alpha_l = \frac{m_{lu} - m_{lo}}{m_{lo}} 100 \%$$

m_{lu} = mål (cm) i lengderetningen i rå tilstand

m_{lo} = " " " " tørr "

Indeksene u og o brukes fortløpende som betegnelse for h.h.v. rå og tørr tilstand.

$$\text{Svelling i tangentialretningen, } \alpha_t = \frac{m_{tu} - m_{to}}{m_{to}} 100 \%$$

$$\text{Svelling i radialretningen, } \alpha_r = \frac{m_{ru} - m_{ro}}{m_{ro}} 100 \%$$

Tilsvarende for krymping

$$\beta_l = \frac{m_{lu} - m_{lo}}{m_{lu}} 100 \% \quad (\text{NB! } m_{lu} \text{ som nevner})$$

$$\beta_t = \frac{m_{tu} - m_{to}}{m_{tu}} 100 \%$$

$$\beta_r = \frac{m_{ru} - m_{ro}}{m_{ru}} 100 \%$$

$$\alpha_v = \text{Volumsvelling} = \frac{V_u - V_o}{V_o} \cdot 100 \%$$

$$\alpha_v = [(1 + \alpha_r) (1 + \alpha_t) (1 + \alpha_l) - 1] \cdot 100 \%$$

$$\alpha_v \approx \alpha_r + \alpha_t + \alpha_l$$

$$\beta_v = \text{Volumkrymping} = \frac{V_u - V_o}{V_u} \cdot 100 \%$$

$$\beta_v = [1 - (1 - \beta_r) (1 - \beta_t) (1 - \beta_l)] \cdot 100 \%$$

$$\beta_v \approx \beta_r + \beta_t + \beta_l$$

$$V_o = 1 - \beta_v \quad V_o + \beta_v = 1 \quad V_o + \beta_v = V_u$$

$$V_u = 1 + \alpha_v \quad V_u - \alpha_v = 1 \quad V_u - \alpha_v = V_o$$

$$\alpha_v = \frac{V_u - V_o}{V_o} = \frac{V_o + \beta_v - V_o}{1 - \beta_v} = \frac{\beta_v}{1 - \beta_v}$$

$$\beta_v = \frac{V_u - V_o}{V_u} = \frac{V_o + \alpha_v - V_o}{1 + \alpha_v} = \frac{\alpha_v}{1 + \alpha_v}$$

$$r_o = R \frac{100 + \alpha_v}{100} \quad R = r_o \frac{100}{100 + \alpha_v}$$

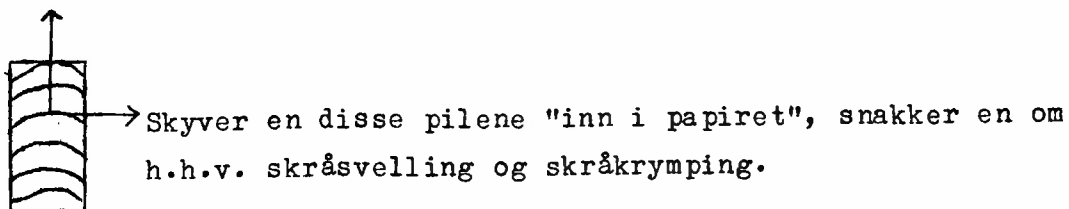
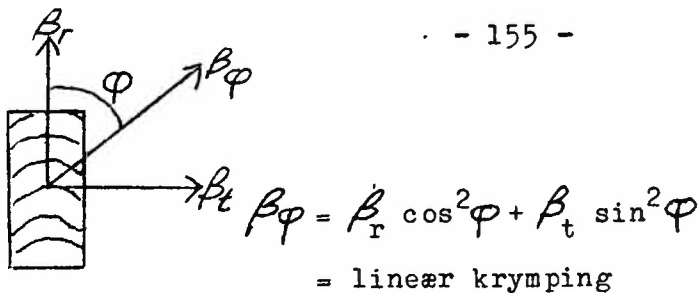
$$\alpha_v = r_o \left(\frac{100}{R} - \frac{100}{r_o} \right)$$

$$\beta_v = R \left(\frac{100}{R} - \frac{100}{r_o} \right)$$

$$\alpha_{vmax} \approx u_F r_o \approx 0,28 r_o \quad (\text{Variasjoner}) \quad (\text{Se side} \quad \text{og side}$$

$$\beta_{vmax} \approx u_F R \approx 0,28 R \quad " \quad " \quad " \quad " \quad " \quad "$$

$$\frac{\beta_t}{\beta_r} (\text{vårved}) > \frac{\beta_t}{\beta_r} (\text{sommerved})$$



a) Vinkelen mellom svellingsretningen og årringtangenten = φ

$$a_{t \text{ skrå}} = a_t a_r \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \varphi (a_t^2 - a_r^2) + a_r^2}} \quad 100 \%$$

b) Vinkelen mellom svellingsretningen og en loddrett linje på årringene = φ'

$$a_r \text{ skrå} = a_t a_r \sqrt{\frac{1}{a_t^2 - \sin^2 \varphi' (a_t^2 - a_r^2)}} \quad 100 \%$$

Når trevirket tar opp vann og sveller, frigis det varme.

$$\text{Svellingsvarmen, } Q_s = \frac{A \cdot u}{B + u} \quad (\text{kcal/kg trevirke})$$

A og B er konstanter. For gran: $A = 22$

$$B = 0,07$$

Når trevirket tørker trengs det varmeenergi til å sprengre de hygroskopiske bindingskreftene. Tørker trevirket fra u_1 til u_2 , trengs Q kcal/kg

$$Q = \frac{A \cdot u_1}{B + u_1} - \frac{A \cdot u_2}{B + u_2} \quad (\text{kcal/kg})$$

14.4 Trevirkets termiske egenskaper.

Varmeutvidelse.

Den midlere lineære varmeutvidelseskoeffisienten, $\alpha_w = \frac{1}{l_1} \frac{dl}{dt}$

l_1 = lengde ved en temperatur t_1

dl = lengde ved en temperatur t_2 ÷ lengde ved en temperatur t_1

$dt = t_2 - t_1$

Lengde i utvidet tilstand, $l_2 = l_1 [1 + \alpha_w (t_2 - t_1)]$

(α_w vil også øke noe med økende temperatur)

Varmeutvidelseskoeffisienten i fiberretningen = $\alpha_{w||}$

" loddrett på fiberr. = $\alpha_{w\perp}$

$$\alpha_{w\perp} = \frac{\alpha_{w\text{radial}} + \alpha_{w\text{tangential}}}{2}$$

$\Delta \alpha_{wH}$ er + 2-3 % for hver prosents avtagelse av vanninnholdet

$\Delta \alpha_{w\perp}$ " + 3-5 " " " " " " " "

$$\alpha_{wr} = 0,00005 r_o \quad \alpha_{wt} = 0,00006 r_o$$

r_o = tørrvolumvekten

Utvidelse på tvers av fiberretningen hos et bord eller en planke.

$$\text{Bredden, } b_2 = b_1 [1 + \alpha_{w\perp} (t_2 - t_1)]$$

Varme-flateutvidelseskoeffisienten, α_{wF} , beregnes v.h.a. $\alpha_{w||}$ og $\alpha_{w\perp}$ pr. 1°C temperaturstigning.

I lengderetningen $\alpha_{wF} = (1 + \alpha_{w||})(1 + \alpha_{w\perp}) - 1$

ii " (radialt) $\alpha_{wF} = (1 + \alpha_{w||})(1 + \alpha_{wr}) - 1$

" " (tang.) $\alpha_{wF} = (1 + \alpha_{w||})(1 + \alpha_{wt}) - 1$

" tverrsnittet $\alpha_{wF} = (1 + \alpha_{wr})(1 + \alpha_{wt}) - 1$

$$\text{Flate i utvidet tilstand, } F_2 = F_1 [1 + \alpha_{wF} (t_2 - t_1)]$$

Varme-volumutvidelseskoeffisienten, α_{wv} , er volumøkningen pr. 1°C temperaturstigning

$$\alpha_{wv} = (1 + \alpha_{w||}) (1 + \alpha_{wr}) (1 + \alpha_{wt}) - 1$$

$$\begin{aligned} \text{Volum i utvidet tilstand, } V_2 &= V_1 [1 + \alpha_{wv} (t_2 - t_1)] \\ & (= V_1 [1 + (\alpha_{w||} + \alpha_{wr} + \alpha_{wt}) (t_2 - t_1)]) \end{aligned}$$

Varmeutvidelseskraft, P_w (kg), er det trykket som trevirket øver utad ved oppvarming.

$$\text{I fiberretningen, } P_{w||} = \alpha_{w||} E_{||} t F \text{ (kg)}$$

$$\text{På tvers av fibre, } P_{w\perp} = \alpha_{w\perp} E_{\perp} t F \text{ (kg)}$$

$E_{||}$ og E_{\perp} er elastisitetsmoduler (kg/cm^2)

F = tverrsnittsflate i cm^2

Spesifikk varme.

Med spesifikk varme, c , mener en som kjent den varmemengden (kcal/kg) som skal til for å varme opp et stoff 1°C . (Egentlig fra $14,5$ til $15,5^{\circ}\text{C}$)

En skiller mellom sann og midlere spesifikk varme. Sann spesifikk varme ved $t = 0^{\circ}\text{C} = C = 0,266$

$$C = 0,266 + 0,00116 t \text{ (kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Midlere spesifikk varme, } C_m = \frac{1}{t} \int_0^t (0,266 + 0,00116 t) dt \text{ (kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C})$$

For $t = 0-100^{\circ}\text{C}$ og abs. tørt trevirke:

$$C_{mo} = \frac{1}{100} \int_0^{100} (0,266 + 0,00116 t) dt = 0,324 \text{ (kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C})$$

$$C_{mo} = 0,266 + 0,00058 (t_2 - t_1) \text{ (kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Eks. } t_2 = 100, t_1 = 0 \quad C_{mo} = 0,324$$

Volumvekten spiller liten rolle mellom $r_0 = 0,23$ og $1,10$ (g/cm^3), derimot har vanninnholdet stor betydning.

Midlere spesifikk varme, $C_{mx} = X C_w + (1 - x) C_{mo}$

x = vanninnholdet uttrykt over råvekten

C_{mo} = midlere spesifikk varme for helt tørt trevirke = 0,324 (kcal/kg °C)

C_w = spesifikk varme for vann = 1,0

$$C_{mu} = \frac{u}{1+u} C_w + \left(1 - \frac{u}{1+u}\right) C_o = \frac{u + C_o}{u + 1} = \frac{u + 0,324}{u + 1} \text{ (kcal/kg } ^\circ\text{C)}$$

C_{mu} gjelder i området $t = 0 - 100$ °C

$$C = \frac{Q}{m(t_b - t_s)} \text{ (kcal/kg } ^\circ\text{C)}$$

Q = varmemengde

m = masse

t_b = begynnelsestemperatur

t_s = sluttemperatur

Varmeledningsevne.

Varmeledningstallet, λ (kcal/m.h.°C), angir den varmemengden i kcal som i løpet av 1 time går loddrett gjennom en terning på 1 m³ (fra en flate til den motstående) når det er en temperaturforskjell på 1°C mellom flatene.

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{F(t_2 - t_1)} \text{ (kcal/h.m.} ^\circ\text{C)}$$

Q = varmemengde i kcal pr. time som går fra en flate til den motstående i en terning på 1 m³.

d = tykkelsen av treprøven i m

$(t_2 - t_1)$ = temperaturforskjellen mellom flatene i °C

I fiberretningen: $\lambda_{\parallel} = 0,15 (R)^{1,5} 1,5 + 0,04$ (kcal/m.h.°C)

På tvers av fibrene: $\lambda_{\perp} = 0,45 (R)^{1,5} 1,5 + 0,04$

R = volumtettheten (Stemmer bra når $u = 0$)

$\Delta \lambda$ i % pr. 1°C temperaturstigning (-endring):

$$\Delta \lambda = 1,47 P - 0,367 \approx 1,1 - 0,98 r_o$$

P = porevolum

r_o = tørrvolumvekt

I området $-50^{\circ}\text{C} < t < +100^{\circ}\text{C}$ gjelder:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \left[1 - (1,1 - 0,98 r_o) \left(\frac{t_1 - t_2}{100} \right) \right] \quad (\text{kcal/m.h.}^{\circ}\text{C})$$

$$\lambda_1 = 0,168 r_u + 0,022 \quad (\text{kcal/m.h.}^{\circ}\text{C})$$

Ligningen gjelder tilnærmet for alle treslag når $u \approx 12\%$ og $t = 27^{\circ}\text{C}$
($T = 300$)

$$\lambda_2 = \lambda_1 \left[1 - 0,0125 (u_1 - u_2) \right] \quad (\text{kcal/m.h.}^{\circ}\text{C})$$

eller

$$\lambda_2 = \lambda_1 \left[1 + k (u_2 - u_1) \right] \quad (\text{kcal/m.h.}^{\circ}\text{C})$$

k kan tas ut av en tabell for ulike tørrvolumvekter

Varmeledning gjennom vegger.

$$Q_F = k F (t_1 - t_2) \quad (\text{kcal/h})$$

Q_F = den kontinuerlige varmemengden som strømmer gjennom veggen pr. time

F = flate i m^2

t_1 = temperaturen på den varmeste siden i $^{\circ}\text{C}$

t_2 = " " " kaldeste " " "

k = varmegjennomgangstallet ($\text{kcal/m}^2 \text{ h }^{\circ}\text{C}$)

k beregnes som summen av varmegjennomgangsmotstanden for de enkelte sjikt i veggen (Se side 17)

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_u}$$

α_i = varmeovergangstallet mellom innelufta og den indre veggflaten

α_u = " " " utelufta " " ytre " (se s.)

d = tykkelsen av de enkelte byggelementer (sjikt) i veggen

λ = varmeledningstallet for de enkelte sjikt

NB! $\frac{d}{\lambda}$ kan ikke brukes for å beregne varmegj.g. motstanden for mellomliggende luftsjikt.

Temperaturledningsevne.

Med temperaturledningstallet, a (m^2/h), mener en temperaturendringen i et stoff (trevirke) til en hver tid.

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot r} \text{ (m}^2\text{/h)}$$

λ = varmeledningstallet (kcal/m.h. °C)

c = spesifikk varme (kcal/kg °C)

r = volumvekt (kg/m^3)

a avtar med økende vanninnhold til $u = 20\%$ og øker senere med økende vanninnhold.

Varmeovergangstall.

Varmeovergangstallet, α_G (kcal/ m^2 .h.°C) er den varmemengden i kcal som ved rolig strømming går loddrett over fra $1 m^2$ av en flate til én parallell flate i løpet av 1 time når temperaturforskjellen mellom flatene er $1^\circ C$.

$\alpha_G = 5 - 8$ hos trevirke når lufta er rolig

Er lufthastigheten f.eks. $1 - 5$ m/s, er α_G $8 - 20$

Varmegjennomgangsmotstanden.

Varmegjennomgangsmotstanden, η ($m^2 h$ °C/kcal), er motstanden mot varmestruøninger fra den ene til den andre av to begrensingsflater

$$\eta = \frac{d}{\lambda} \text{ eller } \eta = \frac{1}{\alpha} \text{ (m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal)} \quad d = \text{tykkelse im}$$

Stiger tykkelsen hos bartrevirke fra $1 - 10$ cm stiger η fra $0,1 - 1,0$ ($m^2 h$ °C/kcal)

Varmegjennomgangstallet.

Varmegjennomgangstallet, k (kcal/ m^2 .h °C), er den varmemengde i kcal som passerer $1 m^2$ av en vegg i løpet av 1 time når temperaturforskjellen er $1^\circ C$ mellom ytterluft og innerluft.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n}} \text{ (kcal/m}^2\text{.h } ^\circ\text{C)}$$

Se side

$\alpha_i = 5 - 8$ (kcal/m² h °C) i innelukkede rom

$\alpha_u = 20 - 25$ " i det fri

Varmestrålingsmengden.

varmestrålingstallet, C (kcal/m² h), er den varmemengde som stråler ut fra 1 m² av overflaten av et legeme i løpet av 1 time. (Det er størst for absolutt svarte legemer - $C_s = 4,96$ (kcal/m² h)).

Hos trevirke ligger C mellom 3,5 (lyse, glatte flater) og 4,9. Jo glattere overflate, desto lavere C-verdi.

Varmestrålingsmengden, Q_s (kcal), er den varmemengden som stråler ut fra overflaten av et legeme i løpet av 1 time. Opptatt varmemengde er det samme, men forkøpet er motsatt.

$$Q_s = m C_s F \left(\frac{T}{100}\right)^4 \text{ (kcal/h)}$$

m = konstant

For lyse, glatte treflater, m = 0,70 - 0,80

" brune til grå " , " = 0,80 - 0,89

" mørke " , " = 0,88 - 0,95

F = overflaten

T = 273 + t

To parallelle like store flater: Den varmeste flata med temperatur t_1 avgir en strålingsvarmemengde (Q_1) til den andre flata som har temp. t_2

$$Q_1 = F \left[m_1 C_s \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - m_2 C_s \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] \text{ (kcal/h)}$$

Til den mellomliggende lufta avgis:

$$Q_L = F \alpha (t_1 - t_2) \text{ (kcal/h)}$$

Total avgitt varmemengde fra den varmeste flata,

$$Q = Q_1 + Q_L \text{ (kcal/h)}$$

Ødeleggelse av trevirket under varmepåvirkning og forbrenning.

Termisk ødeleggelse begynner ved 105°C. Flyktige stoffer fordamper og det skjer mindre forandring av cellulose og polyoser.

Flammepunktet ligger mellom 225 og 260°C
Brennpunktet " " 260 " 290°C
Antennelsespunktet " 330 " 470°C (Dvs. gassene tenner av seg selv ved berøring med luft)

Ved 350°C:

14 - 26	Vektprosent gass
16 - 20	" eddik
3 - 4	" tjære
50 - 70	" trekull

Varmeverdien, H (kcal/kg trevirke).

Alle treslagene har omtrent samme elementære sammensetning og derfor får en tilnærmet samme varmeverdi (kcal/kg) uansett treslag. Hos tørt trevirke kan en sette H til 4500 (kcal/kg) i gjennomsnitt.

Den øvre varmeverdi, $H_o = 8100 C + 3400 (H - \frac{O}{8}) + 2500 S$ (kcal/kg)

C, H, O og S er vektdeler (desimalbrøk) av h.h.v. kullstoff, vannstoff, oksygen og svovel.

$S \approx$ null i trevirke

Fordampningsvarmen for vann = $600 (x + 9 H')$ (kcal/kg)

χ = vanninnholdet uttrykt over råvekten

H' = vannstoffinnh. " " "

Tar en hensyn til fordampningsvarmen, får en den nedre varmeverdi, H_u , som er av størst interesse når en ikke nyttiggjør seg kondensasjonsvarmen i vanddampen.

$$H_u = H_o - 600 (x + 9 H') \quad H_o = H_o (1 - x) = \frac{H_o}{1 + u}$$

$$x = \frac{u}{1 + u}$$

$$H' = \frac{H_o}{1 + H} \quad H_u = \frac{H_o - 600 (u + 9 H)}{1 + u}$$

Antar vi nå tilnærmet for alle treslag at:

$$\left. \begin{array}{l} H_u = 4500 \text{ kcal/kg} \\ H = 0,06 \end{array} \right\} \text{ for } u = 0$$

får vi:

$$H_0 = 4824 \text{ kcal/kg}$$

$$H_u = \frac{4500 - 600 u}{1 + u} \text{ eller}$$

$$H_u = 4500 - 5100 u \text{ (kcal/kg)}$$

14.5 Elektriske egenskaper.

$$\chi = \frac{1}{\rho_e} \left(\frac{1}{\Omega \text{ cm}} \right)$$

χ = spesifikk elektrisk ledningsevne

ρ_e = " " motstand

Ved en temperatur på 15°C og innenfor 8 - 18 % vanninnhold gjelder loddrett på fibrene for bl.a. eik, bøk, lønn, furu, gran og edelgran:

$$\ln \rho = 13,25 - 0,32 u \quad \rho = 1,7810^{13} e^{-0,736 u}$$

14.6 Akustiske egenskaper.

Lydhastigheten i trevirket (longitudinale bølger), $c_e = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ (cm/s)

E = elastisitetsmodul ved statisk påkjenning (kg/cm^2)

ρ = tetthet hos trevirket ($\frac{\text{kg s}^2}{\text{cm}^4}$)

$$\frac{c_{\parallel}}{c_{\perp}} = \sqrt{\frac{E_{\parallel}}{E_{\perp}}} \quad (\rho_e \text{ er den samme})$$

$$Z = \text{lydbølgemotstand} = \rho c_e \left(\frac{\text{g}}{\text{s cm}^2} \right) = \rho \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\rho E}$$

$$\text{Strålingsdempning, } \delta_s = \frac{5}{10^8} \rho c_e \left(\frac{\text{cm}^4}{\text{s g}} \right)$$

$$\text{Tapsdempning (indre friksjon)} = \delta = \frac{\lg A - \lg B}{10}$$

A, B = svingningens amplityder

14.7 Elastisitet.

Elastisitetsmodul ved trykkforsøk, $E_t =$

$$= \frac{\Delta P}{F_0} \frac{L_0}{\Delta L} \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon} = \frac{\Delta \sigma}{\frac{\Delta L}{L_1}} = \frac{(P_2 - P_1) L_1}{F_0 \Delta L}$$

ΔP = differensen mellom begge kraftstørrelsene som lengdeforandringen bestemmes med.

F_0 = prøvens begynnelsestverrsnitt.

L_0 = midlere tredjedel av prøvens totallengde.

ΔL = lengdeforandring som følge av P .

Elastisitetsmodul ved strekkforsøk, E_s , beregnes på samme måte som E_t .

$$\text{Elastisitetsmodul ved bøyeforsøk, } E_b = \frac{1}{6} \frac{\sigma_b}{f} \frac{L_s^2}{h} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

(kvadratisk tverrsnitt og belastning på midten)

σ_b = bøyespenning

f = total, h.h.v. elastisk gjennombøyning

L_s = støtvidde (dvs. avstand mellom understøttelsespunktene)

h = prøvehøyde

$$E_{\text{strekk}} \approx E_{\text{trykk}} \approx E_{\text{bøyning}}$$

$$\alpha_d = \frac{\epsilon}{\sigma} = \text{utvidelsestall}$$

$$\frac{1}{\alpha_d} = E \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Svakhet ved E modulen: F.eks. for bøk: $E = 180\,000 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ parallelt med fibre, men strekkstyrken er bare $1600 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

$$\text{Den midlere elastisitetsmodul, } E_m = \frac{1}{\alpha_m} = \frac{2}{\alpha_1 + \alpha_2} = \frac{2 E_1 E_2}{E_1 + E_2} \text{ (To forsøk)}$$

$$E_2 = E_1 \left[1 - 0,02 (u_2 - u_1) \right] \text{ (kg/cm}^2\text{)} \text{ (Fransk norm)}$$

$6 < u < 20 \%$: u = vanninnhold i prosent

$$E_2 = E_1 \frac{48 - u_2}{48 - u_1}$$

Utvidelsestall, α_y , hos en stav hvis akse danner en vinkel, γ , med fiberretningen.

$$\alpha_y = \alpha_{\parallel} \cos^n \gamma + \alpha_{\perp} \sin^n \gamma$$

$n \approx 3$ (empirisk)

$$\text{Utvidelsestallet, } \alpha = \frac{a}{r - b}$$

r = tørrvolumvekt

a og b = konstanter

14.8 Styrkeegenskaper.

Trykkstyrke (-fasthet) ved belastning i fiberretningen, $\sigma_{tB_{\parallel}} = \frac{P_{\max}}{F_0}$ (kg/cm²)

P_{\max} = bruddbelastning

F_0 = begynnelsestverrsnitt

$$\sigma_{tB_{\parallel}}^2 = \sigma_{tB_{\parallel}} \frac{20\%}{32\% - u} = \sigma_{tB_{\parallel u}} \quad u = 12\% \text{ vanninnhold}$$

Gjelder for $u = 9 - 15\%$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{b - u_1}{b - u_2} = \frac{32 - u_1}{32 - u_2}$$

$$\sigma_{tB_{\parallel 2}} = \sigma_{tB_{\parallel 1}}^{-n} (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

$n = 4,76 r_0$ for vannfritt trevirke

ϑ = temperatur (160°C)

$$\alpha_y = \frac{\sigma_{\parallel} \sigma_{\perp}}{\sigma_{\parallel} \sin^n \gamma + \sigma_{\perp} \cos^n \gamma}$$

$n = 2,5$

γ = vinkelen mellom trykk- og fiberretning

Knekkfasthet k

$$\lambda = \frac{S_k}{i} = \frac{S_k}{\sqrt{\frac{I}{F}}}$$

i = treghetsradius

I = minste treghetsmoment

F = tverrsnitt for forsøket

S_k = fri knekk lengde

λ = slankhetsgrad

Det finnes en rekke formler til å beregne knekkfastheten med.

Ved λ = 3,46 - 20 er $\sigma_k \approx \sigma_{tB||}$

Ved λ = 20 - 100 er $\sigma_k = \sigma_{tB||} + 1,94 \lambda$

$$\sigma_k = \sigma_{tB||} (1 - a\lambda + b\lambda^2)$$

(b = 0 for bygningsvirke)

$$\sigma_k = 293 (1 - 0,00662 \lambda) = 293 - 1,94 \lambda$$

Ved λ > 100 er $\sigma_k = \pi^2 \frac{E}{F} \frac{I}{S_k^2}$ (kg/cm²)

For kvadratiske staver: $I = \frac{1}{12} d^4$

" sirkelrunde " : $I = 0,0491 d^4$

Tillatt knekkspenning ved sentrisk kraftangrep, $\sigma_{\mu} = \frac{\omega \cdot S_k}{F}$

ω = knekketall F = tverrsnittsflate

Spenning ved svilletestrykkforsøk, $\sigma'_{t\perp} = \sigma_{t\perp} \frac{28\%}{40\% - u}$

$\sigma'_{t\perp}$ gjelder ved u = 12 %

$\sigma_{t\perp}$ " " u = 9 - 15 %

Strekfasthet $\sigma_{SB} = \frac{P_{\max}}{F_0}$ (kg/cm²)

P_{max} = maksimal strekkbelastning

F₀ = begynnelsestverrsnittet i den midlere stavedelen

Det er en rekke forskjellige prøvefasonger

$\sigma_{||}(\gamma = 0)$ og $\sigma_{\perp}(\gamma = 90^\circ)$

$$\sigma_{\gamma} = \frac{1}{\frac{\cos^n \gamma}{\sigma_{||}} + \frac{\sin^n \gamma}{\sigma_{\perp}}} = \frac{\sigma_{||} \sigma_{\perp}}{\sigma_{||} \sin^n \gamma + \sigma_{\perp} \cos^n \gamma}$$

$$n = 1,5 - 2,0$$

$$\sigma_{SB||} = 4000 r_{12} - 600 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (\text{For furu, } u = 1,2 \%)$$

For furu, $u = 8 - 10 \%$:

$$\sigma_{SB} = 3940 \text{ kg/cm}^2 \text{ for sommerved}$$

$$\sigma_{SB} = 650 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{" vårved}$$

Bøyefasthet ved belastning midt på prøvestaven,

$$\sigma_{bB} = \frac{3 P L_s}{2 a^3} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

P = bøyekraft i kg

$L_s \geq 15 a$ = støtvidde i cm

a = prøvehøyde (-tykkelse) i cm

Belastning på to steder (kantvirke):

$$\sigma_{bB} = \frac{3 P (L_s - L_a)}{2 b a^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

L_a = avstand mellom belastningspunktene

a = høyden (tykkelsen) hos kantvirket

b = bredden

Belastning på to steder (rundvirke):

$$\sigma_{bB} = \frac{8 P (L_s - L_a)}{\pi d^3} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

d = diameter

$$\sigma_{bB_2} = \sigma_{bB_1} \frac{(1 + c_1 h_2)(1 + c_2 h_1)}{(1 + c_2 h_2)(1 + c_1 h_1)}$$

$c_{1,2}$ = konstanter

$$\sigma_{bB12} = \sigma_{bBu} \frac{30}{42 - u} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

u = vanninnhold (8 - 18 %)

$$\sigma_y = \frac{\frac{\cos^n \gamma}{\sigma_{||}} + \frac{\sin^n \gamma}{\sigma_{\perp}}}{\frac{\sigma_{||}}{\sigma_{||} \sin^n \gamma + \sigma_{\perp} \cos^n \gamma}}$$

n \approx 2

γ = vinkelen mellom fiber- og kraftretning

$$\text{Spaltefastheten, } \sigma_{spB} = \frac{P}{F} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

P = spaltekraft

F = tverrsnitt

$$\text{Skjærfasthet (korsprøve), } \tau_{aB} = \frac{P_{\max}}{2 b l} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

b = bredde

l = skjærelengde

$$\text{Skjærfasthet (runde prøver), } \tau_{aB} = \frac{2 P_{\max}}{\pi d^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

d = diameter

$$\text{Dreiefasthet, } \tau_{tB} = \frac{9 M_t}{2 S^3} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

M_t = dreiemoment i kg cm

s = tverrsnittsside hos prøvestaven i cm

$$\tau_{tB12} = \tau_{tBu} [1 + c (u - 12)]$$

c \approx 0,03

u = 9 - 15 %

$$\text{Spesifikt bruddslagarbeid, } a = \frac{A}{F_0} \text{ (kgm/cm}^2\text{)}$$

$$a = 1,90 r_o^2$$

$$a' = 1,80 r_u^2 = 15 \%$$

$$\text{Brinellhardhet, } H_B = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

P = inntrengningskraft

D = diameteren hos stålkula

d = " " kuleavtrykket

$$H_B = a \cdot r_0^b$$

15. Beregningsoppgaver.

1. Ved 18 % vanninnhold er volumvekten $0,59 \text{ g/cm}^3$. Hvor stor er den ved 80 %? Se fig. 2.
2. Tørrvolumvekten hos furu utgjør $0,48 \text{ g/cm}^3$, volumsvellingen 13,9 % og volumkrympingen 12,4 %. Hvor stor er volumtettheten, R?
3. Volumtettheten er 370 g/cm^3 hos kanadisk poppel, volumsvellingen er 16,0 % og volumkrympingen er 13,8 %. Hvor stor er tørrvolumvekten?
4. Vanninnholdet hos en treprøve bestemt på vekt i rå tilstand er 50 %. Hvor stor er verdien når vanninnholdet er bestemt over tørrvekten?
5. Hvor høyt er det maksimale vanninnholdet hos en treprøve med en tørrvolumvekt på $0,80 \text{ g/cm}^3$?
6. Hvor stor er fibermetningsfuktigheten hos en treprøve med volumkrymping 11 % og volumtetthet $0,450 \text{ g/cm}^3$?
7. De ytre mål hos en furuprøve i våt tilstand er:
Lengderetning 100 mm
Radial- og tangentialretning, hver 30 mm
I tørr tilstand:
99,0 mm, 28,0 mm og 27,0 mm. Hvor stor er svellingen, henholdsvis krympingen i de tre hovedretningene?
8. Beregn forskjellen mellom verdiene for volumsvelling, henholdsvis volumkrympingen for furuprøven fra nr. 7.
9. Krympingen hos en eikeprøve er:
 $B_l = 0,42$, $B_r = 4,3 \%$, $B_t = 8,1 \%$ og $B_v = 12,8 \%$
Finn svellingen.

10. Den lineære varmeutvidelseskoeffisienten hos en rettvisklet prøve av lønn med 10 cm bredde - målt i tangentialretningen - og 40 cm lengde, er i tangentialretningen 0,0000485 og i lengderetningen 0,0000640. Beregn flateutvidelsen ved en temperaturstigning fra 20 til 30°C.
11. Beregn tilnærmet varmeledningstallet loddrett på fibrene hos en treprøve med volumvekt $r_{25} = 0,60 \text{ g/cm}^3$. Finn først r_{12} .
12. Beregn tilnærmet verdi for den spesifikke varme hos finereik med 19 % vanninnhold.
13. Beregn temperaturledningstallet (α) hos en trevegg med varmeledningstall (λ) = 0,105 kcal/mh°C, spesifikk varme $c = 0,440 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ og volumvekt $r = 460 \text{ kg/m}^3$.
14. Beregn utbredelseshastigheten for akustiske langbølger i trevirke med $r = 0,50 \text{ g/cm}^3$ og $E = 100000 \text{ kg/cm}^2$.
15. Hvor stor er utbredelseshastigheten for akustiske tverrbølger i gran-trevirke med $r = 0,46 \text{ g/cm}^3$ og $E = 110000 \text{ kg/cm}^2$?
16. Utbredelseshastigheten hos lydbølger i en treprøve med $\rho = 0,50 \text{ g/cm}^3$ er 4000 m/s = 400000 cm/s. Hvor stor er lydbølgemotstanden?
17. Beregn strålingsdempingen for en treprøve med tetthet $0,52 \text{ g/cm}^3$ ved en lydhastighet på 300000 cm/s.
18. Beregn elastisitetsmodulen ved trykkbelastning i fiberretningen hos en prøve: 1,98 cm tykk, 1,97 cm bred og 5,9 cm høy med $u = 15 \%$. Lengdeendringen er 0,001 cm og trykkfastheten er 410 kg/cm^2 , midlere prøvel. = 2 cm.
19. Beregn lengdetrykkfastheten ($\sigma_{tB \parallel 12}$) hos en furuprøve med 3 cm tverrsnitt og 14 % vanninnhold ved 5400 kg bruddbelastning.
20. Beregn lengdestrekkfastheten $\sigma_{sB \parallel 12}$ hos en eikeprøve med tverrsnitt $0,7 \times 1,8 \text{ cm}^2$ i prøveavsnittet og 18 % vanninnhold ved en bruddbelastning på 1000 kg.
21. Beregn bøyefastheten σ_{bB12} hos en furuprøve med $3,50 \times 3,50 \text{ cm}^2$ tverrsnitt og 16 % vanninnhold ved kraftangrep i midten, fri understøttelse i endene, 52,00 cm avstand mellom understøttelsespunktene og 480 kg bruddbelastning.

Litteraturliste.

- BAUMANN, R. 1922. Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Mat.- Prüf.- Anst. a.d. Techn. Hochsch. Stuttgart, H. 231.
- BELLMANN, H. 1953. Taschenbuch für den Holzfachmann. Hamburg.
- BROCKHAUS. 1952. ABC der Naturwissenschaft und Technik. Leipzig.
- BROWN, H.P., PANSHIN, A.J. and FORSAITH, C.C. 1949. Textbook of Wood Technology. Vol. I.
- BRUCKMAYER, F. 1949. Der praktische Wärme- und Schallschutz im Hochbau. Wien.
- BURGER, H. 1945. Holz, Blattmenge und Zuwachs. Die Lärche. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. Bd. 24.
- BURGER, H. 1952. Holz, Blattmenge und Zuwachs. Fichten im Plenterwald. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. Bd. 28.
- BURGER, H. 1953. Holz, Blattmenge und Zuwachs. Fichten im gleichalterigen Hochwald. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. 29.
- CHANMAMEDOW, K.M. 1955. Die elektrische Festigkeit von Holz. Doklady Akademii Nauk Aserbajdschanskai USSR 11.
- DURST, J. 1958. Handbuch der Nutzhölzer. Leipzig.
- GAYER, K. und FABRICIUS, L. 1949. Die Forstbenutzung. Berlin.
- GÖHRE, K. 1960. Die Verteilung von Rohwichte im Pappelstamm. Beiträge zur Pappelforschung nr. 4.
- HARTIG, R. 1882. Über die Verteilung der organischen Substanz, des Wassers und Luftraumes in den Bäumen. Untersuch. aus deutsche Forstbot. Inst. München, Bd. 2.
- JALAVA, M. 1934. Havaintoja puun aseman vaikutuksesta puun ominaisuksiin. Summary: Investigation into the Influence of the Position of a Tree in the Stand upon the Properties of the Wood. Acta for fenn. 40.
- JANKA, G. 1909. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der Österreichischen Bauhölzer. Mitt. forstl. Versuchsw. Ost. 35.
- JANKA, G. 1915. Die Härte der Hölzer. Mitt forstl. Versuchsw. Ost. 39.
- JANKA, G. 1925. Die bautechnische Qualität des Holzes der Stiel- und Traubeneiche. Cbl. ges. Forstwiss. 51.
- KLEM, G.G. 1934. Undersøkelse av granvirkets kvalitet. Medd. Det norske Skogforsøksv. Bd. V.

- KLEM, G.G. 1947. Våre skogstrær. Oslo.
- KOLLMANN, F. und SCHULZ, 1944. Versuche über den Einfluss der Temperatur auf die Festigkeitswerte von Flugzeugbaustoffen, 2. - Teilbericht, Reichsamst. f. Holzforschung, Berlin.
- KOLLMANN, F. 1951. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Erster Band. - Springer Verlag.
- KRÖNER, K. 1944. Über dielektrische Untersuchungen an Naturhölzern und an deren mechanischen und chemischen Abbaustoffen im grossen Frequenzgebiet-Braunschweig.
- KÖNIG, E. 1955. Lektion 60/Holzfeuchtigkeit, Dtsch. Holzwirtsch., 9, 34, Die Nachwuchsbeilage.
- LASSILA, I. 1930. Metsätyypin vaikutuksesta puun painoon. Summary: On Influence of Forest Type on Weight of Wood. Acta for. fenn. 36.
- LIEPINS, R. 1933. Die technischen Eigenschaften der Birke Lettlands. - Helsinki.
- MAYER-WEDELIN, H. 1949. Die besondere Holzeigenschaften der Pappel im Hinblick auf Anbau, Pflege und Verwendung. Mitt. Deutsch. Pappelver. 2.
- NIKITIN, N.I. 1955. Die Chemie des Holzes - Berlin.
- NYLINDER, P. 1953. Volumviktsvariationer hos planterad gran. Medd. St. Skogsforskningsinst. Bd. 43.
- RAUNECKER, H. 1940. Untersuchungen über die Holzbeschaffenheit von Schwarzerlen des oberbayerischen Moränengebietes. Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 3.
- RENDLE, B.J. and PHILLIPS, E.W.J. 1957. The effect of rate of growth (ring width) on the density of softwoods. Forestry commission, London.
- ROS, M. und BRUNNER, J. 1932. Die Knickfestigkeit der Bauhölzer. Zürich.
- SIIMES, F.E. 1938. On the Structural and Physical Properties of Finnish Pine Wood. - Helsinki.
- STAMM, A.P. and HANSEN, L.A. 1937. The binding force of cellulosic materials for water (from specific volume and thermal data). J. Physic. Chem. Bd. 41.

- STAMM, A.J. 1938. Calculations of Void Volume in Wood. Ind. Eng. Chem. Bd. 30.
- STEMSRUD, F. 1964. Volum- og vektmåling ved omsetning av trevirke - Stensiltrykk.
- THUNELL, B. 1952. Trä. Dess bygnad och felaktigheter. Byggstandardiseringen. - Stockholm.
- TRENDELENBURG, R. 1939. Das Holz als Rohstoff.
- TRENDELENBURG, R./MAYER-WEGELIN, H. 1955. Das Holz als Rohstoff. München.
- USPASSKIJ, P.P. 1946. (Holz und seine Bearbeitung). Moskva.
- VINTILA, E. 1939. Untersuchungen über Raumgewicht und Schwindmass von Früh- und Spätholz bei Nadelhölzern. Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 2.
- VOLKERT, E. 1941. Untersuchungen über Grösse und Verteilung des Raumgewichts in Nadelholzstämmen. Mitt. Akad. dtsh. Forstwiss. Frankfurt a.M.
- VORREITER, L. 1949. Holztechnologisches Handbuch. Bd. I. Wien.
- WANGAARD, F.F. 1950. The Mechanical Properties of Wood. New York.
- WANIN, S.I. 1949. (Holzkunde) Leningrad.
- YAZAWA, K. 1936. Untersuchungen über die mechanisch-technischen Eigenschaften der wichtigsten Nadelhölzer Südsachaliens: 3. Lärche aus Stück. Sachalien Centr. Exp. Stat. Konuma 9.

