



Forblad

Forsøg med Træforbindelser

Laboratoriet for bygningsstatik

Tidsskrifter

BSM 12-2 Bygningsstatiske Meddelelser

1941

FORSØG MED TRÆFORBINDELSER¹⁾

Indledning.

Formaalet med Forsøgene er at undersøge Styrke og Stivhed af moderne Træforbindelser. Forbindelserne bestaar som Regel af en Bolt og Indlæg i Fugerne til Hindring af Tømmerets Glidning. Disse Indlæg kan være meget forskelligartede lige fra simple Laase og Ringdorne til Gitterkløer o. l. Ved Forsøgene her anvendtes Gitterkløer.

I det følgende er forsøgt at adskille en saadan Forbindelses Virkning i tre enklere Virkninger, nemlig

1. Boltens rene Dornvirkning, væsentlig beroende paa Boltens Bøjningsmodstand og Træets Knusningsmodstand.
2. Boltens Virkning som Trækbolt, væsentlig beroende paa Boltens Træksmodstand og Friktionen i Fugerne.
3. Indlæggenes Virkning, væsentlig beroende paa Indlæggenes Modstand mod Forskydning og Bøjning samt Træets Knusningsmodstand, altsaa de samme Faktorer som under 1, idet Bolten betragtet som Dorn jo ogsaa kan opfattes som en speciel Form for et Indlæg.

Den første Forsøgsrække udførtes med rene Dornforbindelser uden Hoved og Møtrik, saa Virkning 1 alene var gældende. Den anden Forsøgsrække udførtes med Bolte alene, hvor Virkning 1 og 2 var gældende, og hvor Virkning 2 blev varieret ved at variere Boltens Spænding.

Den tredje Forsøgsrække udførtes med Gitterkløer og Bolte, saa alle tre Virkninger i Reglen var gældende.

Første Forsøgsrække blev suppleret med en Undersøgelse af Træs Elasticitets- og Styrkeforhold under en Dorn, anden Række med Undersøgelse af Friktionen alene og tredje Række med Undersøgelse af Indlæggets Virkning alene. De tre sidstnævnte Undersøgelser kan ogsaa betragtes som Undersøgelse af Træforbindelsers Elementer, idet vi af ovennævnte ser, at man som Elementer kan betragte:

1. Træets Knusningsmodstand under en Dorn.
2. Friktionen i Fugerne.
3. Indlæggets Virkning.

¹⁾ Meddelelse Nr. 10 fra Laboratoriet for Bygningsstatik, Danmarks tekniske Højskole.

Endelig er Boltens Bøjningsmodstand, Trækstyrke samt Indlæggets Forskydning og Bøjningsstyrke ogsaa afgørende for Træforbindelsens Bæreevne; men disse sidste Faktorer kan anses for velkendte.

1. Træforbindelsers Elementer.

A. Indtrykningsstyrken.

Til Undersøgelse af Indtrykningsstyrken udførtes Forsøg som vist i Fig. 1 og 2. Kraften P overførtes jævnt til hele Dornen ved et T₂-formet Stykke Jern, og Dornens Indtrykning y i Forhold til Linien $a-a$ maalt.

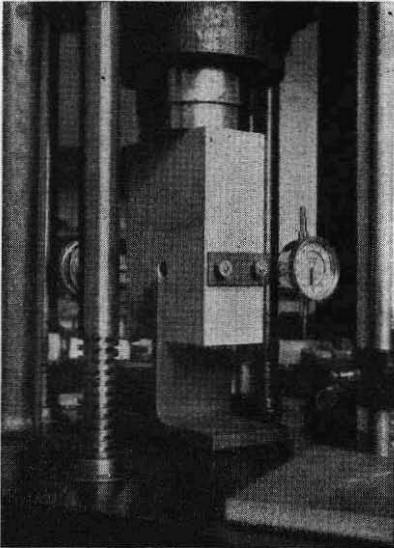


Fig. 1. Indtrykningsforsøg.

Trykket pr. Længdeenhed var konstant for hele Dornen og lig p kg/cm. Trykset paa Hulranden er $\sigma_H = \frac{P}{d}$. Forsøgene udførtes med Fyr, Lærk, Eg og Pitchpine og med 10, 14 og 18 mm Dorne. Endvidere udførtes Forsøg med Gran og 10, 14, 18 og 22 mm Dorne.

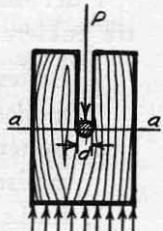


Fig. 2.

Forsøgene gav Arbejdskurver som vist i Fig. 3. De indledes med et lille krumt Stykke, til Dornen er kommet til at trykke rigtigt paa Hullet. Derefter følger et retliniet Stykke, der gennem et krumt Stykke gaar over i et kortere eller længere retliniet Stykke, der for Fyr, Gran, Eg og Lærk var vandret og for 18 mm Dorne endog meget langt, medens det for Pitchpine var svagt stigende og ret kort, da denne Træsart var meget tilbøjelig til at flække.

Forsøgene viser, at man for tilstrækkelig smaa Værdier af p kan sætte $p = Ky$.

Brudværdien s_H af Trykket paa Hulranden var i Forhold til Træets Prismestyrke s_C parallelt med Fibrene:

Tabel I.

Træsart	$s_H : s_C$	
	mindste — største	Middeltal
Pitchpine.....	0,59 — 1,07	0,76
Eg	0,92 — 1,31	1,10
Lærk	0,77 — 1,13	0,96
Fyr	0,80 — 0,92	0,85
Gran	0,84 — 1,33	1,00

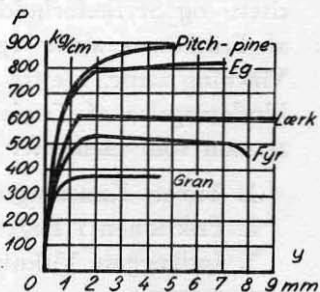


Fig. 3.

Dette er for Dorne, der er lige saa lange som Hullet. For Dorne, der var kortere end Hullet, fandtes for Fyr samme s_H men for Pitchpine højere Værdier, ligesom Bruddet var mere plastisk for de ganske korte.

Proportionalitetsgrænsen ligger omkring $0,7 \cdot s_H$. For Konstanten K fandtes meget varierende Værdier, men herom senere i Kapitel 5.

De angivne Værdier af s_H er kun gyldige ned til Dorndiameter omkring 10 mm. Ved mindre Dorne findes større s_H . Disse Forhold har særlig Betydning for Sømforbindelser og vil blive nærmere behandlet ved en senere Forsøgsrække.

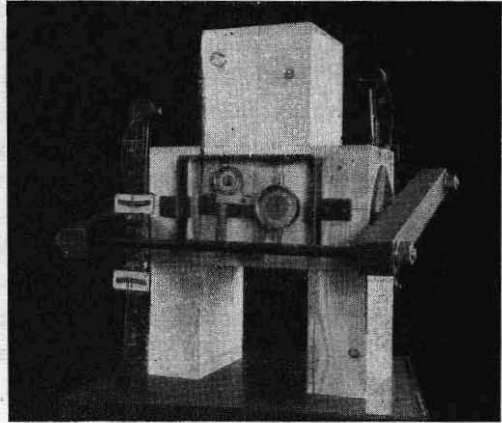


Fig. 4. S sammenspændingsramme med Tensometre.

B. Friktionen.

Til Undersøgelse af Friktionen udførtes Forsøg, hvor tre Stykker ru Tømmer sammenspændtes med en udvendig Ramme bestaaende af to Traverser af firkantet Jern, forbundet med to Bolte, hvis Spændinger maales med Huggenberger-Tensometre¹⁾. Inden Forsøget spændtes Boltene, saa Normalkraften N i Fugerne mellem de tre Stykker Træ fik en passende Værdi. Samlingen blev derpaa belastet i Prøvemaskinen med Kraften P , og Midterstykkets Glidning g i Forhold til de to andre maales med Stoppani-Ure. Eventuelle Forandringer i Normalkraften under Forsøget kunde bestemmes ved Maaling af Spændingerne i Boltene. Ved at forøge P i passende smaa Trin fandtes Arbejdskurver som vist i Fig. 5. Man ser, at disse i Begyndelsen er retliniede og først umiddelbart før Glidningen krummer stærkt. Normalkraftens Forløb under Forsøget er ogsaa vist i Fig. 5. Ved Forsøg 1 holdt den sig konstant mellem Glidningerne, men falder pludseligt ved hver

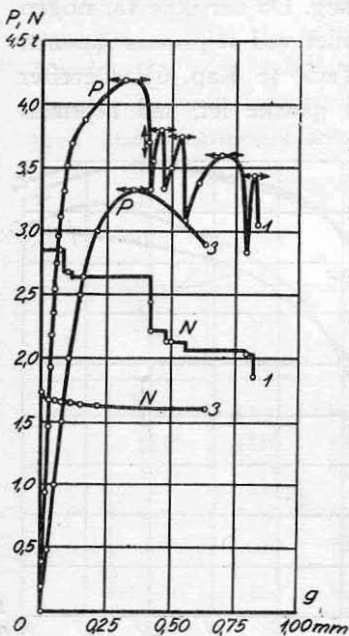


Fig. 5.

¹⁾ Der udførtes ogsaa Forsøg med en Bolt gennem Tømmeret som i en Bolteforbindelse, men med ovalt Hul i Midterstykket. Boltens Spændinger maales ved Tensometre gennem et opslidset Rør. (Se Fig. 28, Side 53).

Glidning. I Forsøg 3 holdt den sig derimod konstant under hele Forsøget. Efter Glidningen sammenspændtes Forbindelserne med en større Normalkraft, hvorefter nye Forsøg kunde anstilles. Resultaterne viser, at Friktionskoefficienten varierer overmaade meget, idet der fandtes Værdier fra 0,4 til 1,4, samt at den ved gentagne Forsøg aftog. En Gennemsnitsværdi paa $\frac{2}{3}$, som angivet i Litteraturen, kan anses for passende.

Ved disse Forsøg anvendtes kun Fyr.

C. Indlæggenes Virkning.

Det er afgørende for Indlæggenes Virkning, at Indlæggenes egen Styrke er tilstrækkelig til at forhindre Brud i Indlægget selv, saadan at dets fulde

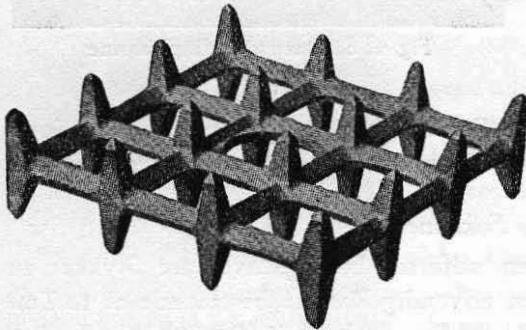


Fig. 6. Gitterklo.

Indtrykningsstyrke kan udnyttes. Som et i denne Henseende ret tilfredsstillende Indlæg valgtes ved Forsøgene Gitterkløer, hvis Dimensioner er angivet i Tabel II som Middelværdi af flere Opmaalinger. Med disse afholdtes Forsøg uden Bolte, udført paa lignende Maade som de i det foregaaende omtalte Friktionsforsøg. Da der ikke var nogen Bolt, blev Tømmeret (Fyr) og Gitterkløerne samlet ved at presses sammen i Prøvemaskinen (om det hertil nødvendige Tryk se Kap. 6). Derefter blev Rammen anbragt, og dens Bolte spændtes ganske let, saa Normalkraften blev 100 à 200 kg. Under Forsøget spændtes ikke paa Boltene, saa Ændringerne i Normalkraften skyldes alene Gitterkløernes Virkning.

Arbejdskurven havde det i Fig. 7 viste Forløb for 1" Gitterkløer i Fyr, og man bemærker, at Normalkraften N vokser fra det Sted, hvor Arbejdskurven begynder at afvige fra den retliniede Del. Den opnaar dog ikke særlig store Værdier.

I Tabel III er Resultaterne af Forsøgene opstillet. Man har her regnet, at det Bidrag, som Gitter-

kløerne bidrager til den samlede Indtrykningsstyrke kan udnyttes. Som et i denne Henseende ret tilfredsstillende Indlæg valgtes ved Forsøgene Gitterkløer, hvis Dimensioner er angivet i Tabel II som Middelværdi af flere Opmaalinger. Med disse afholdtes Forsøg uden Bolte, udført paa lignende Maade som de i det foregaaende omtalte Friktionsforsøg. Da der ikke var nogen

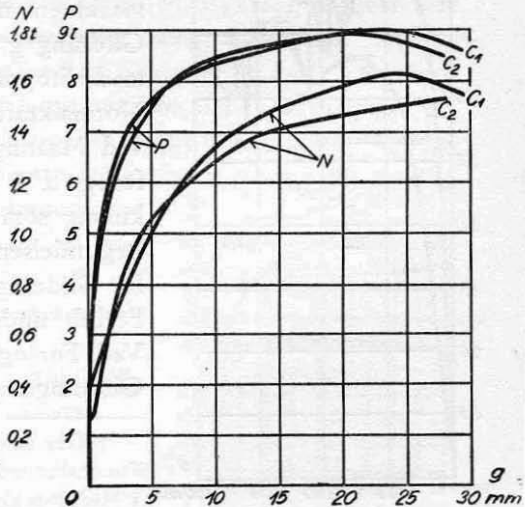
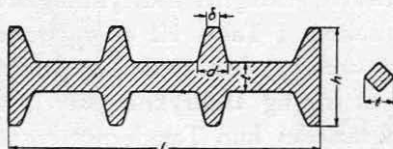


Fig. 7.

Tabel II.



Bolt	l cm	t cm	A_R cm ²	h cm	δ cm	d cm	A_T cm ²	A cm ²
$\frac{5}{4}$ "	15,1	1,1	65	4,2	0,45	0,9	33	98
1"	11,6	1,0	44	3,4	0,35	0,85	24	68
$\frac{3}{4}$ "	8,9	0,65	23	2,55	0,3	0,7	15	38
$\frac{1}{2}$ "	6,0	0,50	12	1,7	0,18	0,5	6,5	18,5

A_R er Indtrykningsareal for Ribber. A_T er Indtrykningsareal for Tænder.

klørerne alene kan optage, er bestemt ved:

$$G = P_{\max} - 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot N,$$

hvor N er Normalkraften, idet man har regnet Friktionskoefficienten til $\frac{2}{3}$, skønt det her nærmest drejer sig om Friktion mellem Gitterklo og Træ, idet Gitterklørerne maa antages at forhindre en mere inderlig Berøring mellem de to Træflader. Ved Bruddet vil dog en Del af Træet føres med af Gitterkloen, saa der nu er Bevægelse mellem Brudfladerne i Træet, hvorfor Værdien for Træ mod Træ kan anvendes. Man kan nu forsøge at bestemme Indtrykningsstyrken udfra G , idet man naturligt dividerer denne med Indtrykningsarealet A af Gitterkloen, hvor Indtrykningsarealet er

Tabel III.
Gitterklør alene.

d	P_{\max} kg	N kg	G kg	s_C kg/cm ²	s_H kg/cm ²	A cm ²	$\sigma'_H = \frac{G}{A}$ kg/cm ²	A_T cm ²	$\sigma_H = \frac{G}{A_T}$ kg/cm ²
$\frac{3}{4}$ "	5990	1100	4660			} 38 {	122	} 15 {	310
	5815	1110	4335	453	386		114		290
	5925	854	4785	453	386		126		318
1"	8900	1480	6930	490	417	} 68 {	102	} 24 {	288
	9030	1630	6850	490	417		101		285
$\frac{5}{4}$ "	12230	1880	9720	330	281	} 98 {	99	} 33 {	294
	12225	1390	10370	376	320		106		314

Summen af samtlige Anlægsfladers Projektion paa en Plan vinkelret paa Kraftretningen. I Tabel II er beregnet Indtrykningsarealerne af de anvendte Gitterkløer efter Opmaaling. I Tabel III er σ_H bestemt dels ved Division med hele Indtrykningsarealet, dels med Tændernes Areal alene. Dette sidste giver Værdier af σ_H lig Indtrykningsstyrken s_H . Af Gitterkloens Indtrykningsareal kan saaledes kun Tændernes regnes nyttigt.

Ved andre Former for Indlæg bør det effektive Indtrykningsareal bestemmes paa tilsvarende Maade.

2. Dornforbindelser.

Ved Indtrykningsforsøgene fandtes i Reglen en plastisk Tilstand i Træet under Dornen, idet Arbejdskurven fik en vandret Linie til Afslutning, særlig naar Dornen var kortere end Hullet. I en Dornforbindelse opstaar den plastiske Tilstand i Reglen ikke i hele Dornens Længde, saa Forholdene svarer til Forsøgene med korte Dorne, hvor Faren for Flækning er mindre. Man kan derfor med god Berettigelse regne med den plastiske Tilstand for Træet under Dornen.

Arbejdskurven for Bøjning af Dornen slutter med en svagt stigende ret Linie, saa man kun tilnærmelsesvis kan regne med en vandret Linie. Bøjningsmodulus bestemmes da ved at bøje Dornen, til den har faaet samme Deformationer som i Brudtilstanden i Forbindelsen.

Ved at gaa ud fra idealplastiske Forhold for saavel Træ som Dorne, kan der opstilles Formler for Forbindelsernes Bæreevne udtrykt ved Brudværdien s_H af Trykket paa Hulranden og Bøjningsmodulus s_B for Dornen.

Da hverken s_H eller s_B er særlig velbestemte, kan Formlerne ved Indsætning af passende Værdier af s_H og s_B ventes at kunne bringes i Overensstemmelse med Forsøgene, og hvis de ved Indtryknings- og Bøjningsforsøgene fundne Værdier af s_H og s_B ligger nær de Værdier, der faar Formlerne til at passe, er de teoretiske Betragtninger paa en vis Maade verificerede.

A. Teori.

1. Snits Dornforbindelser.

Forbindelsen forudsættes ens paa begge Sider af Fugen, og Kraften forudsættes virkende i Fugen. I Brudtilstanden har Dornen drejet sig som vist i Fig. 8, og Tilstanden i Træet paa Grund af de store Deformationer maa være plastisk, saa Trykfordelingen maa være som vist i Figuren. Transversalkraften bliver Nul dobbelt saa langt fra Dornens frie Ende som det Punkt, hvor Trykket skifter Retning.

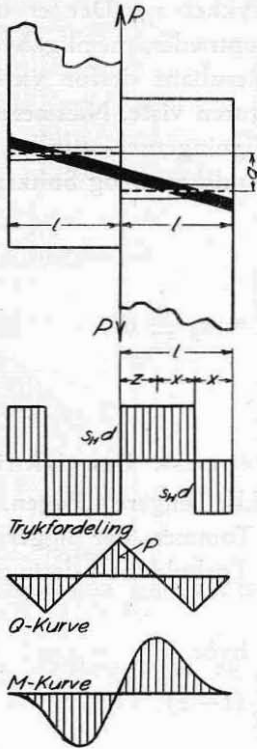
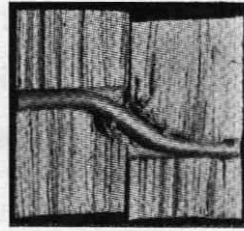
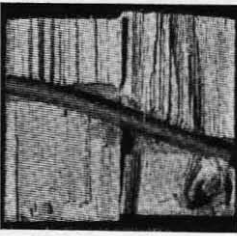


Fig. 8.

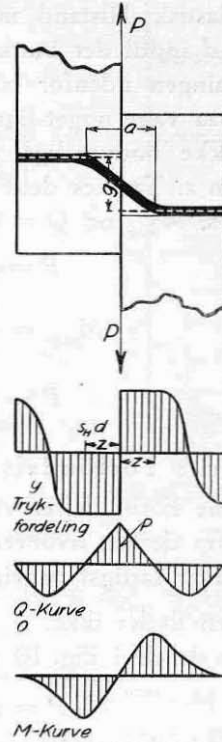


Fig. 9.

Ligevægtsligningen for Dornen giver, idet Dornens Bøjningsmoment i Fugen er Nul paa Grund af Antimetrien

$$P = s_H dz$$

$$M_{\max} = s_H dx^2 = \frac{1}{2} s_H dz^2, \text{ hvoraf}$$

$$x = z \sqrt{\frac{1}{2}}, \quad l = z + 2x = z(1 + \sqrt{2}),$$

$$z = l(\sqrt{2} - 1) = 0,414l, \quad x = 0,293l,$$

$$P = 0,414 s_H l d.$$

(1)

Denne Formel gælder kun, saalænge $M_{\max} \leq s_B W$ eller

$$\frac{1}{2} s_H d (\sqrt{2} - 1)^2 l^2 \leq s_B \frac{\pi}{32} d^3,$$

$$d \geq 0,93 \sqrt{\frac{s_H}{s_B}} l. \quad (2)$$

Naar d er mindre, flyder Dornen og deformeres som vist paa Fig. 9, hvor der er store Deformationer i Omraadet a , og Træet følgelig her paa- virket i plastisk Tilstand med Hulrandstrykket s_H . Der er derfor altid Trykket $s_H d$ indtil det Punkt, hvor M_{\max} optræder, nemlig hvor $Q = 0$. Paa Strækningen udenfor maa Trykkets Resultant derfor være Nul, og Forløbet maa være noget lignende det i Figuren viste. Nærmere Kendskab hertil er ikke nødvendigt, da Ligevægtsligningerne opstilles alene for Strækningen a . Tænkes dette Stykke Dorn udskåret og Snitkræfterne til- føjet, d. v. s. M_{\max} og $Q = 0$, faas

$$P = s_H dz$$

$$M_{\max} = \frac{1}{2} Pz = \frac{1}{2} \frac{P^2}{s_H d} = s_B \frac{\pi}{32} d^3,$$

der giver

$$P = 0,442 \sqrt{s_B s_H} d^2. \quad (3)$$

1. Snits Forbindelser med ekscentrisk Paavirkning.

I saadanne Forbindelser virker Kraften ikke længere i Fugen, men i Af- standen e fra denne, hvorved det Stykke Tømmer, der ligger længst fra Kraften, bliver farligst paa- virket, saa alene Forholdene i dette undersøges.

a. Dornen flyder ikke.

Man har da de i Fig. 10 viste Forhold, hvor

$$P = z \cdot s_H d, \quad x = \frac{1}{2} (l - z),$$

og for Maksimalmomentet

$$P \left(e + \frac{1}{2} z \right) = s_H dx^2 < \frac{\pi}{32} s_B d^3,$$

altsaa $d > \sqrt{\frac{32}{\pi} \frac{s_H}{s_B}} x$. Elimineres x og z , findes

$$P = \frac{s_H d l^2}{l + 2e + \sqrt{(l + 2e)^2 + l^2}}, \quad d > D_e,$$

hvor

$$D_e = \frac{l + 2e}{2l + 2e + \sqrt{(l + 2e)^2 + l^2}} D,$$

idet

$$D = \sqrt{\frac{32}{\pi} \frac{s_H}{s_B}} l = 3,2 \sqrt{\frac{s_H}{s_B}} l.$$

(4)

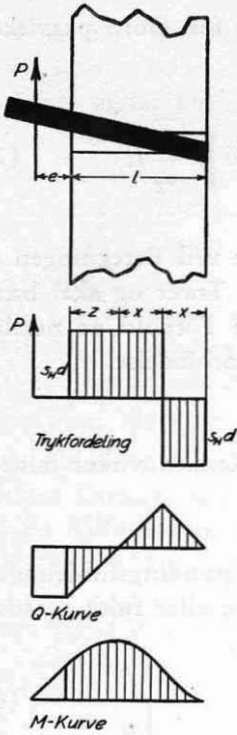


Fig. 10.

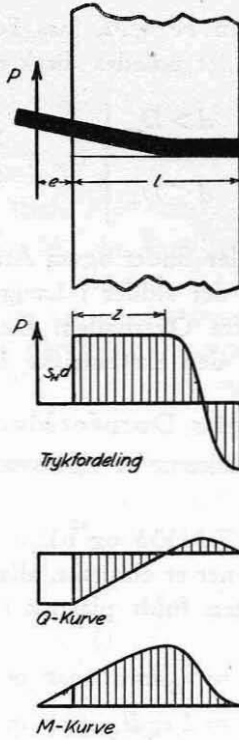


Fig. 11.

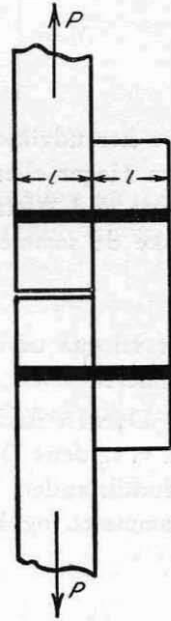


Fig. 12.

b. Dornen flyder.

Forholdene er da som i Fig. 11 med $Q = 0$ og M_{\max} i Afstanden z .

Nu er

$$P = z \cdot s_H d \quad \text{og} \quad \frac{\pi}{32} s_B d^3 = P \left(e + \frac{1}{2} z \right),$$

der giver

$$P = \left(\sqrt{1 + \frac{\pi}{16} \frac{s_B}{s_H} \frac{d^3}{e^2}} - 1 \right) s_H e d^3 \quad d \leq D_e. \quad (5)$$

Specielt faas for Stød med een Lask (Fig. 12), $e = \frac{1}{2} l$,

$$P = \begin{cases} 0,236 s_H l d & d > D_e \\ \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\pi}{4} \frac{s_B}{s_H} \frac{d^3}{e^2}} - 1 \right) s_H l d & d \leq D_e \end{cases} \quad D_e = 0,382 D = 1,22 \sqrt{\frac{s_H}{s_B}} l. \quad (6)$$

1) Ved Bearbejdelsen af Forsøgene søges s_H , som bliver

$$s_H = P^2 : \left(\frac{\pi}{16} s_B d^4 - 2 P e d \right).$$

Naar $e \rightarrow \infty$, $P \rightarrow 0$, men $Pe \rightarrow M$, faas Formlerne for Dorn paavirket til ren Bøjning, der ogsaa let udledes direkte

$$M = \begin{cases} \frac{1}{4} s_H d l^2, & d > D_\infty \\ \frac{\pi}{32} s_B d^3, & d \leq D_\infty \end{cases} \quad D_\infty = \frac{1}{2} D = 1,6 \sqrt{\frac{s_H}{s_B}} l. \quad (7)$$

De her udviklede Formler finder ogsaa Anvendelse ved Beregningen af svære Hager eller Kroge, der sidder i Længden l i Træet og skal bære Kraften P i Afstanden e fra Overfladen. De statiske Forhold er nemlig ganske de samme som for den ekscentriske 1-Snits Forbindelse.

2-Snits Dornforbindelser.

Vi vil gaa ud fra, at Laskerne er lige svære, og Kraften virker midt i Tømmeret.

a. Dornen flyder ikke (Fig. 13 a og b),

d. v. s. dens Deformationer er elastiske, altsaa maa Spændingsfordelingen i Brudtilstanden blive enten fuldt plastisk i Laskerne eller fuldt plastisk i Tømmeret, og Kraften

$$\left. \begin{aligned} P &= s_H d m, & \text{naar } m \leq 2l \\ P &= 2 s_H d l, & \text{naar } m \geq 2l. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

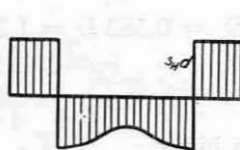
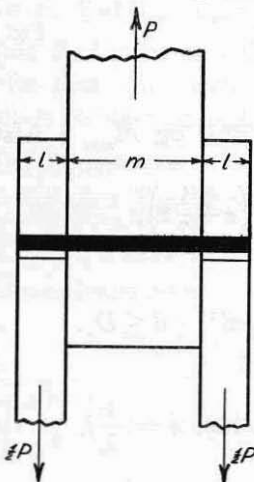


Fig. 13 a.

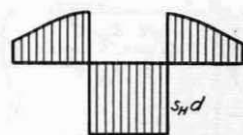
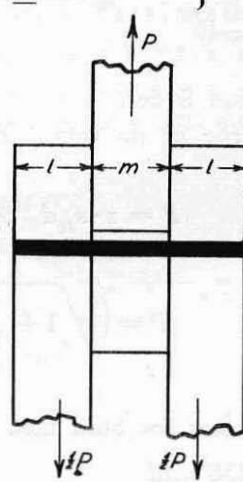


Fig. 13 b.

Naar $m = 2l$, bliver Tilstanden baade i Lasker og Tømmer plastisk. Den store Glidning ved Brud skyldes alene de store plastiske Knusninger i Træet under Dornen i henholdsvis Lasker eller Tømmer.

b. Dornen flyder i Tømmeret (Fig. 14).

Den vil i Almindelighed flyde i to Punkter, og uden for disse maa Tilstanden i Træet være plastisk, da Brudbevægelsen skyldes Dornens Drejning.

I Lasken faas en til Fig. 8 og 10 svarende Trykfordeling og i hver Halvdel af Tømmeret en til Fig. 9 og 11 svarende Trykfordeling. Idet $Q = 0$ baade ved M_{\max} og M_{\min} , maa disse optræde i samme Afstand z fra Fugen, da $s_H dz$ i begge Tilfælde skal være lig $\frac{1}{2} P$. I Lasken er som ved Fig. 8 og 10 $Q = 0$ i den dobbelte Afstand af den, hvor Trykket skifter Fortegn, altsaa $l = z + 2x$. Tænkes Dornen overskaaret ved M_{\max} under Tilføjelse af Snitkræfterne M_{\max} og $Q = 0$ giver Momentligningen, idet

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} P &= s_H dz \quad \text{og} \quad x = \frac{1}{2} (l - z) \\ M_{\max} &= \frac{\pi}{32} s_B d^3 = \frac{1}{2} Pz - s_H dx^2 = s_H dz^2 - \frac{1}{4} s_H d (l - z)^2 \\ z &= \frac{l}{3} \left(\sqrt{4 + \frac{3\pi s_B d^2}{8 s_H l^2}} - 1 \right) \\ P &= \frac{2}{3} s_H dl \left(\sqrt{4 + \frac{3\pi s_B d^2}{8 s_H l^2}} - 1 \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Denne Formel gælder kun for $z \leq l$ eller $z \leq \frac{1}{2} m$ og

$$M_{\min} = s_H dx^2 \leq \frac{\pi}{32} s_B d^3, \quad \text{der giver}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{naar } m \leq 2l, & \quad \sqrt{\frac{8 s_H}{\pi s_B} \left(\frac{3m^2}{4l^2} + \frac{m}{l} - 1 \right)} \cdot l \\ \text{naar } m \geq 2l, & \quad \sqrt{\frac{32 s_H}{\pi s_B}} \cdot l \end{aligned} \right\} \geq d \geq \left(1 - \sqrt{\frac{1}{2}} \right) \sqrt{\frac{32 s_H}{\pi s_B}} \cdot l \\ = 0,93 \sqrt{\frac{s_H}{s_B}} \cdot l.$$

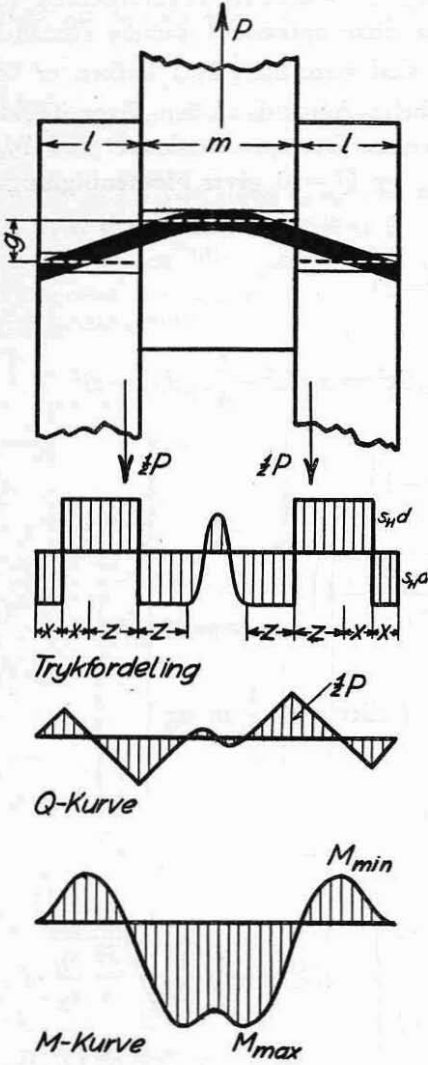
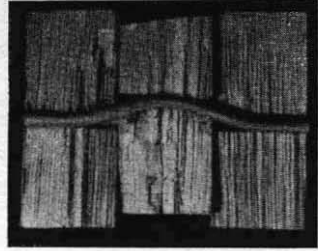
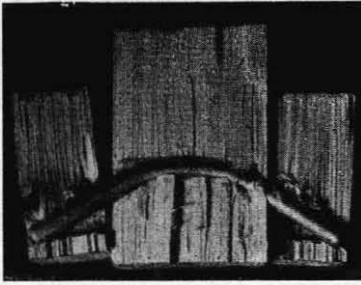


Fig. 14.

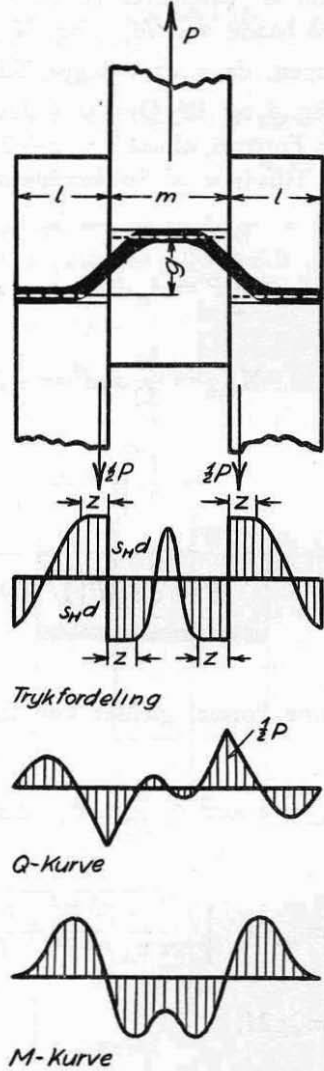


Fig. 15.

c. Dornen flyder i Lasker og Tømmer (Fig. 15).

I det Omraade mellem Bøjningerne, hvor Dornen har drejet sig, maa Tilstanden i Træet være plastisk og Trykket mod Dornen derfor $s_H d$. Da $Q = 0$ ved M_{\max} og M_{\min} , maa disse ligge i samme Afstand z fra Fugen, idet Transversalkraften i Fugen skal være

$$\frac{1}{2} P = s_H dz.$$

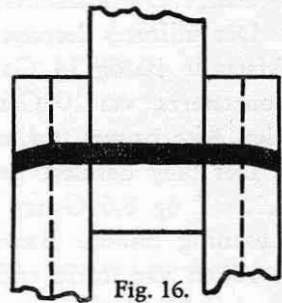
Endvidere faas

$$M_{\max} + M_{\min} = 2 \cdot \frac{\pi}{32} s_B d^3 = \frac{1}{2} Pz = s_H dz^2,$$

$$z = \sqrt{\frac{\pi}{16} \frac{s_B}{s_H}} d = 0,442 \sqrt{\frac{s_B}{s_H}} d,$$

$$P = 0,885 \sqrt{s_B s_H} d^2, \quad (10)$$

ganske svarende til (3) ved 1-Snits Forbindelser. Tilfældet med Flydning af Dornen i Lasken alene (Fig. 16) er ikke muligt, da det forudsætter en Forskydning af Laskens Dele langs de punkterede Linier og ikke nogen Bevægelse af Lasken i Forhold til Tømmeret (bortset fra de smaa elastiske Forskydninger).



Indføres som ovenfor $D = \sqrt{\frac{32}{\pi} \frac{s_H}{s_B}} l = 3,20 \sqrt{\frac{s_H}{s_B}} \cdot l$, faas:

$$\left. \begin{aligned} P &= s_H dm, \text{ naar } m \leq 2l \text{ og } d \geq \frac{1}{2} D \sqrt{\frac{3m^2}{4l^2} + \frac{m}{l} - 1} \\ P &= 2s_H dl, \text{ naar } m \geq 2l \text{ og } d \geq D \end{aligned} \right\} (8')$$

og

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{2}{3} s_H ld \left(2 \sqrt{1 + 3 \frac{d^2}{D^2}} - 1 \right), \\ \left. \begin{aligned} \text{naar } m \leq 2l \text{ og } \frac{1}{2} D \sqrt{\frac{3m^2}{4l^2} + \frac{m}{l} - 1} \\ \text{naar } m \geq 2l \text{ og } D \end{aligned} \right\} &\geq d \geq 0,293 D, \end{aligned} \right\} (9')$$

samt

$$P = 0,885 \sqrt{s_B s_H} d^2, \text{ naar } 0,293 D \geq d. \quad (10')$$

Ved Brud har Forbindelsen i Reglen faaet saa store Deformationer, at Forudsætningerne for Formlerne ikke længere er gyldige, idet Træet dels faar saa store Sammentrykninger, at Trykket mod Dornen bliver større end s_H , der er bestemt for relativt smaa Sammentrykninger, og Dornen dels faar en meget skraa Beliggenhed i Forhold til Fugen, medens Formlerne forudsætter Dornen vinkelret paa Fugen. Ved Friktionen mellem Dorn og Træ kan der da ogsaa opstaa Træk i Dornen, og Styrken kan paa den Maade overstige den regningsmæssige Brudbelastning betydeligt.

Ved Bearbejdelsen bestemmes s_H rent formelt ud fra Brudbelastningen, idet de ved Bøjningsforsøg fundne Værdier af s_B indføres.

For Staalorne af komprimeret Akselstaa fandtes for

$d =$	6	10	14	18	22 mm
$s_B =$	11400	11400	11000	10000	9500 kg/cm ²

For Bronzedorne kan man paa Grundlag af de faa Forsøg¹⁾ sætte $s_B = 8000$ kg/cm².

1-Snits Forbindelser, Trækforsøg.

Med fire forskellige Træsorter udførtes Forsøg med 10 mm Staalorne i 6 × 6 cm Tømmer. Resultaterne er gengivet i Tabel IV.

Tabel IV.

Træs sort	Prismes styrker s_C kg/cm ²	P_{max} kg	Be- regnet s_H kg/cm ²	Beregnet		Observeret		$\frac{s_H}{s_C}$	Flydning ved Brud
				Tryk- nul- punkt x cm	Mak- simal Mo- ment- punkt z cm	x cm	z cm		
Fyr ²⁾	344/361	850	343	1,76		1,8		0,98	Ingen I den ene Lask
	374/454	970	380/466	1,72	2,08	2,0	2,0	1,02	
Lærk	330/340	925	383		2,42		2,5	1,14	Svag i begge Lasker
Eg	501/529	1590	1130		1,41		1,3/1,6	2,19	Stærk i begge Lask.
Pitch- pine	677/721	1410	886		1,59		1,6/1,7	1,26	Stærk i begge Lask.

¹⁾ Bronzedornene anvendtes ved nogle foreløbige Forsøg, og der blev benyttet Prøver af en ny Legering. Der var derfor kun faa Stænger til Raadighed, og Materialet var ret varierende. For 18 mm Dorne bestemtes s_B ikke.

²⁾ Da de to Stykker Tømmer her har meget afvigende Styrker, er s_H beregnet efter Formler, der kan udledes for Forbindelser med Træ af forskellig Styrke. Der findes derfor to Værdier af s_H i Tabellen.

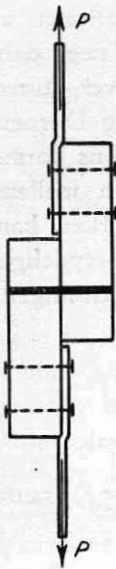


Fig. 18.

Forsøgslegemerne var, som vist i Fig. 18, forsynet med Beslag af Fladjern fastspændt ved Bolte og forkrøppet saadan, at Trækket falder lige i Fugen, som forudsat i Formlerne.

s_H , x og z er beregnet ved (1) og (3) og tilhørende Formler. Værdierne af $s_H:s_C$ er noget større end de direkte bestemte (Tab. I. S. 30).

For Eg er Afvigelsen betydelig, men dette skyldes, at Dornen ved denne Træsart fik meget større Deformationer.

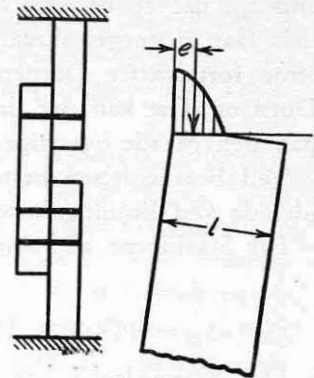


Fig. 19.

1-Snits Forbindelser, Trykforsøg.

Med Pitchpine udførtes tillige Trykforsøg med 1-Snits Forbindelser. Ved Forsøgets Begyndelse (Fig. 19) er Ekscentriciteten e (sml. Side 37) ubestemt; men ved Brud er Trykket saa nær Kanten som muligt, og man kan skønne Brudværdien ved at regne Spændingsfordelingen rektangulær og Flydespændingen lig Prismestyrken. Man faar da

$$2e = \frac{P}{ls_C},$$

hvorefter s_H kan bestemmes ved Formlen Side 37, Fodnoten.

Tabel V.

Dorn	d mm	l cm	Prismestyrke s_C kg/cm ²	P_{\max} kg	$2e$ cm	Beregnet s_H kg/cm ²	Grænse for d D_e mm	$\frac{s_H}{s_C}$
Staal	10	6,0	535	1040	0,3	565	13	1,06
Staal	10	6,0	523	1120	0,4	680	14	1,30
Bronze	14	8,4	438	1485	0,4	423	19	0,97
Bronze	14	8,4	463	1600	0,4	496	20	1,07
Bronze	18	10,9	610	3770	0,55	1120	40	1,83
Bronze	18	10,9	555	3250	0,55	800	33	1,44

Som man ser, Værdier, der slutter sig ganske godt til de forrige. De høje Værdier for de 18 mm Bronzedorne gaar igen ved alle de senere Forsøg og skyldes rimeligvis et højere s_B end regnet med.

2-Snits Forbindelser, Trækforsøg.

Med fire forskellige Træsarter udførtes Forsøg med 10 mm Staaldorne i 6×6 cm Tømmer og Lasker (Fig. 20, 21 og 22).

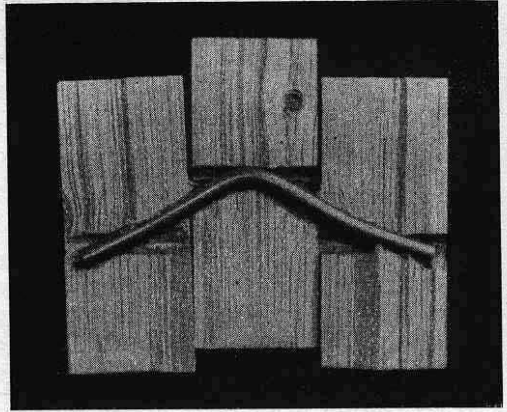


Fig. 20.
2-Snits Forbindelse, Fyr.

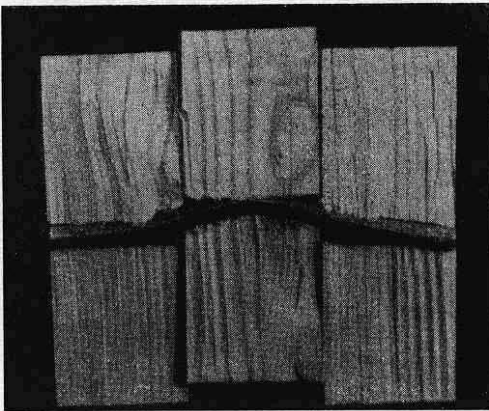


Fig. 21.
2-Snits Forbindelse, Lærk.

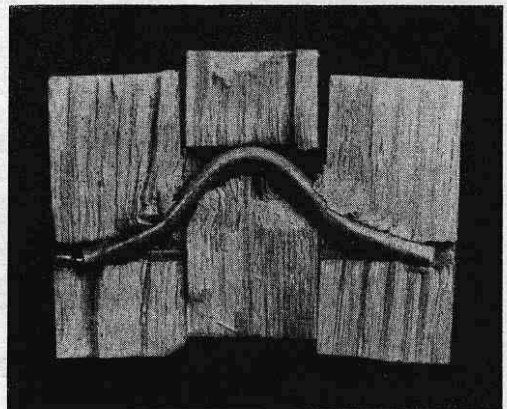


Fig. 22.
2-Snits Forbindelse, Eg.

Tabel VI.

Træs- sort	Prisme- styrke s_C kg/cm ²	P_{max} kg	Be- regnet s_H kg/cm ²	Beregnet		Observeret		$\frac{s_H}{s_C}$	Flydning ved Brud
				Tryk- nul- punkt x cm	Maksimal Moment- punkt z cm	x cm	z cm		
Fyr	389	1783	358	1,75	2,5	2,0 ¹⁾	2,2	0,92	Ingen i Lask Stærk i Tømmer
	386	1740	347	1,75	2,5	2,0	2,3	0,90	
Lærk	413	2130	508		2,1		2,0	1,23	I Lasker og Tømmer
	442	2258	570		2,0		2,0	1,29	
Eg	555	3703	1540		1,2		1,1	2,77	Stærk i Lasker og Tømmer
	560	3420	1310		1,3		1,2	2,34	
Pitch- pine	504	2213	550		2,0		2,0	1,09	Stærk i Lasker og Tømmer
	591	2275	580		2,0			0,98	
	508	2415	652		1,9			1,28	
	519	2306	596		1,9			1,15	
	552	2397	643		1,9			1,16	

¹⁾ Da Dornen ligger meget skraat, har den trukket sig et Par mm ind i Boringen, saa de virkelige x ligger nær de beregnede.

s_H , x og z beregnes af Formel (8), (9) og (10).

Værdierne for $s_H:s_C$ ligger lidt højere end de ved Indtrykningsforsøgene fundne (Side 30).

Forsøg med forskellige Dorndimensioner.

Tabel VII. Fyr med Staldorne.

Prisme- styrke s_C kg/cm ²	P_{max} kg	Tykkelse af Tømmer m cm	Tykkelse af Lasker l cm	Dorn- diam. d mm	Be- regnet s_H kg/cm ²	$\frac{s_H}{s_C}$	Bemærkninger om Brud
389	1783	6,0	6,0	10,0	358	0,92	
386	1740	6,0	6,0	10,0	347	0,90	
370	3495	12,0	9,0	14,0	368	0,99	
320	3030	12,0	9,0	14,0	286	0,89	
340	4775	12,0	12,0	18,0	276	0,81	
350	5640	12,0	12,0	18,0	385	1,10	
236/328 ¹⁾	1063	7,8	3,9	10,0	225	0,82	Dornen trækkes ud af Laskerne
262/275	1048	7,8	3,9	10,0	220	0,82	
310/375	1993	7,8	3,9	14,0	233	0,69	Dornen glider ud af Laskerne
309/330	1970	7,8	3,9	14,0	231	0,73	
312/305	3425	7,8	3,9	18,0	290	0,94	Dornen glider ud af Laskerne
297/297	3360	7,8	3,9	18,0	273	0,92	
385/350	4450	7,8	3,9	22,2	257	0,73	Flækning og Forskydning udenfor Dornen
357/397	3900	7,8	3,9	22,2	226	0,63	

¹⁾ Lasker/Tømmer.

$s_H:s_C$ varierer fra 0,63—1,10 og er i Middelt 0,85 stemmende med Indtrykningsforsøgene (Side 30, Tabel I).

Tabel VIII.
Pitchpine med Staaldorne.

Prisme- styrke s_C kg/cm ²	P_{max} kg	Tykkelse af Tømmer m cm	Tykkelse af Lasker l cm	Dorn- diam. d mm	Be- regnet s_H kg/cm ²	$\frac{s_H}{s_C}$	Bemærkninger om Brud
482	808	4	4	6	560	1,16	
454	766	4	4	6	505	1,11	
591	2275	6	6	10	580	0,98	
504	2213	6	6	10	550	1,09	
508	2415	6	6	10	652	1,28	
519	2306	6	6	10	596	1,15	
552	2397	6	6	10	643	1,16	
434	3010	12	6	14	390	0,90	
409	2828	12	6	14	358	0,88	
437	3825	12	9	14	440	1,01	
390	3633	12	9	14	395	1,01	
467	4260	12	12	14	545	1,31	
539	4210	12	12	14	532	0,99	
466	4940	12	6	18	450	0,97	Den ene Lask var svag
534	4625	12	6	18	410	0,77	
518	5315	12	9	18	383	0,74	
508	5195	12	9	18	371	0,73	
488	6855	12	12	18	570	1,17	
470	6515	12	12	18	516	1,10	

$s_H : s_C$ varierer fra 0,73—1,31 og er i Middelt 1,03, altsaa noget højere end ved Indtrykningsforsøgene (S. 30, Tabel I), men stemmende med Indtrykningsstyrken for korte Dorne.

De store Afvigelser for Eg i Tabel IV og VI skyldes som nævnt de meget store Deformationer (Fig. 22), der dels bevirker et større s_B , dels et Træk i Dornen. Den deraf opstaaede Friktion forøger Bæreevnen.

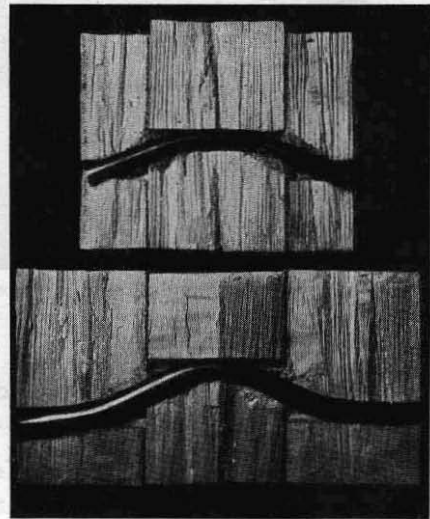


Fig. 23. Pitchpine med Staaldorne.

Tabel IX.
Pitchpine med Bronzedorne.

Prisme- styrke s_C kg/cm ²	P_{\max} kg	Tykkelse af Tømmer m cm	Tykkelse af Lasker l cm	Dorn- diam. d mm	Be- regnet s_H kg/cm ²	$\frac{s_H}{s_C}$	Bemærkninger
494	2290	6	6	10	840	1,70	
476	2150	6	6	10	740	1,55	
454	2934	8,4	8,4	14	356	0,79	} Forsøg med to Dorne
444	2890	8,4	8,4	14	346	0,80	
447	2910	8,4	8,4	14	351	0,79	
441	2970	8,4	8,4	14	366	0,83	
564	6870	11	11	18	720	1,28	} Forsøg med to Dorne
586	7365	11	11	18	830	1,42	
550	6850	11	11	18	717	1,30	

$s_H : s_C$ varierer fra 0,79—1,70 og er gennemsnitlig 1,15. I Betragtning af den noget ubestemte Værdi af Bøjningsmodulus s_B maa det siges, at disse Forsøg slutter sig særdeles godt til de foregaaende Forsøg.

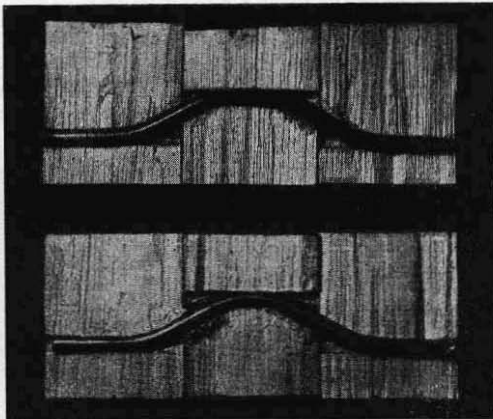


Fig. 24. Pitchpine med Bronzedorne.



Fig. 25.

2=Snits Forbindelser, Trykforsøg.

Disse giver i de Tilfælde, hvor Træet havde Tilbøjelighed til at flække ved Trækforsøget, højere og med Teorien mere overensstemmende Værdier. I de andre Tilfælde gav de meget nær samme Værdier som ved Trækforsøget.

Forbindelser med Lasker smallere end $6d$.

Ved Forbindelser med smalle Lasker vil Kraftforløbet tilnærmelsesvis være som vist i Fig. 25, hvorved Trækspændingen σ_t umiddelbart over Dornen giver Anledning til Flækning, inden Hulrandstrykket naar op paa Værdien s_H .

Idet man kan regne det til σ_t svarende Hulrandstryk σ_H bestemt ved $p = \sigma_H d = \sigma_t (b - d)$, faas

$$\sigma_H = \sigma_t \left(\frac{b}{d} - 1 \right)$$

ved smalle Lasker. Naar $b = 6d$ er $\sigma_H = s_H$, og derfor $\sigma_t = \frac{1}{5} s_H$, saa man med god Tilnærmelse kan sætte

$$\sigma_H = \begin{cases} \frac{1}{5} s_H \left(\frac{b}{d} - 1 \right) & b \leq 6d \\ s_H & b \geq 6d \end{cases} \quad (11)$$

Af Forsøgene i Tabel X ses, at σ_t i Virkeligheden kan være betydelig større end $\frac{1}{5} s_H$, saa Formlen er i hvert Fald paa den sikre Side.

Trækforsøg med 2-Snits Forbindelser.

Med Staaldorne udførtes Trækforsøg i Fyr og Pitchpine med Forbindelser, hvis Bredde b var mindre end $6d$ (sml. Side 42). Den ringere Bredde giver Flækning paa lignende Maade som for kort Endeaafstand. Ved Forsøgene med Pitchpine var Endeaafstanden forøget til $8d$.

Tabel X.

Træsort	Prismestyrke s_C kg/cm ²	s_H ¹⁾ kg/cm ²	P_{\max} kg	d mm	$\frac{b}{d}$	m cm	l cm	Besregnet σ_H kg/cm ²	σ_t kg/cm ²	$\frac{\sigma_t}{s_H}$
Fyr	377/252	320/214	3510	18	4,3	7,8	3,9	297	90	0,42
	388/255	330/217	3141	18	4,3	7,8	3,9	240	73	0,33
	288/296	245/252	3892	22,2	3,5	7,8	3,9	224	90	0,37
	260/273	221/237	3720	22,2	3,5	7,8	3,9	215	86	0,41
Pitchpine	570	433	893 ²⁾	6	5,0	3	3	686	171	0,39
	436	332	640 ²⁾	6	5,0	3	3	408	102	0,31
	533	405	3208	14	4,3	8,5	8,5	322	98	0,24
	516	392	3260	14	4,3	8,5	8,5	328	99	0,25
	499	378	3223	14	2,9	8,5	8,5	325	171	0,45
	584	444	3483	14	2,9	8,5	8,5	365	192	0,43

¹⁾ Bestemt som $0,85 s_C$ og $0,76 s_C$. ²⁾ Kærnetræ. ³⁾ Splint.

Da Bruddet i dette Tilfælde sker ved Flækning, er der naturligvis ret stor Spredning i Værdierne for σ_t , der dog aldrig er mindre end $\frac{1}{5} s_H$, idet den ved Fyr ligger mellem 0,3—0,4 s_H og ved Pitchpine mellem 0,25—0,45 s_H .

3. Bolteforbindelser.

En Bolteforbindelses Modstand mod Forskydning udgøres dels af Boltens Modstand mod Bøjning, altsaa Boltens Virkning som Dorn, og dels af Friktionen i Fugerne, der er afhængig af Normal-

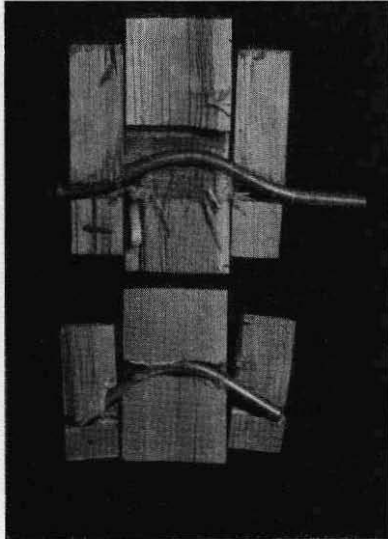


Fig. 26.

Sammenligning mellem Bolt og Dorn.

kraften i Boltens Hulle. Hvis Boltens Hulle ikke passer stramt i Hullet, vil Friktionen alene udgøre Modstanden, indtil Belastningen naar en saadan Størrelse, at Glidning indtræffer, og Dornvirkningen kan begynde. Er Forbindelsen derimod gammel og ikke efterspændt, vil Normalkraften i Boltens Hulle være Nul, og Dornvirkningen er da alene afgørende, indtil Deformationen af Boltens Hulle er blevet saa stor, at der opstaar Træk i den. Da man een Gang for alle kan sørge for, at Boltens Hulle passer stramt i Hullet, men kun ved hyppige Efterspændinger kan sikre et vist Træk i Boltens Hulle, er det naturligt at udføre og beregne Bolteforbindelser som Dornforbindelser, og de Fordele, der opnaas ved Hoved og Møtrik med Underlagsplader¹⁾ er, at Bæreevnen bliver større, da Boltens Hulle kan betragtes som en Dorn, der er indspændt i Enderne (Fig. 26). Man kan ogsaa sige, at ved at anvende Bolt i Stedet for Dorn, kan man nøjes med tyndere Lasker.

I Tilfælde, hvor en Konstruktion skal udsættes for en ekstraordinær høj Belastning, vil en Efterspænding af Boltene give en kortvarig højere Bæreevne.

I Tilfælde, hvor en Konstruktion skal udsættes for en ekstraordinær høj Belastning, vil en Efterspænding af Boltene give en kortvarig højere Bæreevne.

A. Teori for Bolteforbindelser.

I den følgende Teori er der gaaet ud fra, at der ved Boltens Ende overføres et Moment fra Underlagspladen, men ikke nogen Transversalkraft.

1. Snits Bolteforbindelser.

Med et tilstrækkeligt stort Indspændingsmoment M_i og en tilstrækkelig stiv Bolt bliver Tilstanden plastisk i begge Stykker Tømmer, idet disse forudsættes ens.

¹⁾ Ved Forsøgene anvendtes de til Gitterkløer hørende Underlagsplader.

Man har da:

$$M_i = \frac{1}{2} s_H d l^2, \quad P_F = s_H d l,$$

der naturligvis kun gælder for $M_i \leq \frac{\pi}{32} s_B d^3$, d. v. s.

$$\frac{d}{l} \geq \sqrt{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{s_H}{s_B}} = 2,26 \sqrt{\frac{s_H}{s_B}}.$$

I modsat Fald faas Flydning af Bolten lidt inde i Tømmeret, og vi har da det samme Forhold som ved en tilsvarende Dorn

$$P_F = 0,442 \sqrt{s_B s_H} d^2. \quad (12)$$

2-Snits Bolteforbindelser.

Med tilstrækkelig stiv Bolt faas plastisk Tilstand enten i Tømmer eller i Lasker, saa

$$P_F = \begin{cases} s_H d m & m \leq 2l \\ 2s_H d l & m \geq 2l. \end{cases}$$

Er Bolten ikke stiv nok, men Indspændingen effektiv, flyder den og kan paa Grund af Indspændingen kun flyde i Tømmer og Lasker samtidig, saa Forholdene bliver som ved den tilsvarende Dorn

$$P_F = 0,885 \sqrt{s_B s_H} d^2 \quad (13)$$

gældende for

$$\frac{m}{2} \text{ eller } l \geq 0,442 \sqrt{\frac{s_B}{s_H}} d = z,$$

idet z som tidligere er Afstanden fra Fugen til Maksimalmomentet.

Naar man vil udnytte Bolten fuldtud, bør man konstruere Forbindelsen saaledes, at man altid faar Flydning i Bolten, samtidig med at Tømmeret naar den plastiske Tilstand. Ved Boltens store Deformationer opstaar der da et Træk i denne, selvom den oprindeligt var spændingsløs, og Forbindelsen kan da endnu optage store Kræfter, idet dette Træk kan vokse lige til Flydegrænsen. Naar Bolten paavirkes stærkt til Træk, mister den ganske vist Evnen til at optage Bøjning, men Trykkene fra Træet kan nu optages af Bolten som et bøjeligt Tov, saa Dornvirkningen stadig er mulig. Den yderste Bæreevne, der dog først fremkommer efter store Deformationer, bliver derfor, naar Dornvirkningen antages uforandret

$$P_{\max} = 0,442 \sqrt{s_B s_H} d^2 + \mu s_F \frac{\pi}{4} d_1^2, \quad (14)$$

for 1-Snits og

$$P_{\max} = 0,885 \sqrt{s_B s_H} d^2 + 2 \mu s_F \frac{\pi}{4} d_1^2, \quad (15)$$

altsaa det dobbelte, for 2-Snits Forbindelse.

Her er μ Friktionskoefficienten Træ—Træ, s_F Trækflydegrænsen og d_1 Kærneradius.

B. Forsøg med Bolteforbindelser.

For at undersøge Boltespændingens Betydning udførtes en Række Forsøg med $\frac{3}{4}$ " Bolte i 5×5 " Tømmer med $5 \times 2\frac{1}{2}$ " Lasker. Ved disse var Boltens dels spændingsløs, idet Møtrikken blot blev skruet til uden Nøgle, dels spændt normalt, d. v. s. Møtrikken blev skruet til med en $\frac{3}{4}$ " Nøgle, som almindeligt i Praksis, dels spændt over »Brud«, hvilket skete ved at forlænge Skruenøglen med et Rør, hvorved det blev muligt at spænde Boltens saa haardt, at Møtrikken skar Gevindet itu og derefter kunde drejes uden at tage fat i Gevindet. Det var ikke muligt ved de leverede Bolte at spænde disse itu, som det ofte forekommer i Praksis, sandsynligvis ved Vridning. Med en Skydelære maalttes Boltens Forlængelse ved dette »Brud« i Gevindet, og man kunde da ved Tilspænding svarende til en lidt mindre

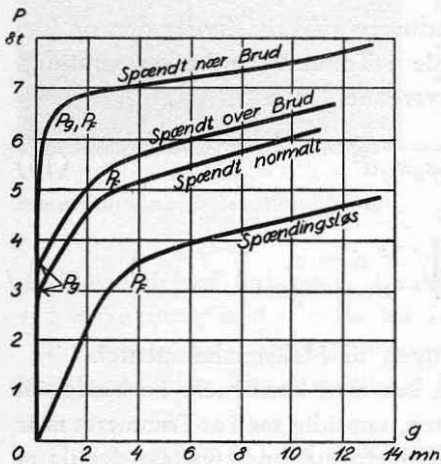


Fig. 27.

Forlængelse ogsaa udføre Forsøg med Forbindelser, hvor Boltens var spændt nær »Brud«. I Fig. 27 er Resultaterne af disse Forsøg angivet. Kurverne er hver for sig Middelværdien af flere ens Forsøg, der naturligvis var ret afvigende, da de nævnte Fremgangsmaader ved Sæmspændingen inden for hver Gruppe ikke sikrer nogen helt ens Spænding i Boltene. Der er kun vist den første Del af Arbejdskurven.

Største Værdi af P , P_{\max} , var i det store og hele ens ved samtlige Forsøg, saa for denne Værdi har Boltespændingen ingen Betydning. Dette var ogsaa, hvad man kunde vente, da Deformationerne ved P_{\max} er saa store, at Boltens flyder, saa dens Begyndelsesspænding her er betydningsløs. Det er derfor rigtigt, at Formlen for den maksimale Bæreevne P_{\max} ikke indeholder Boltens Begyndelsesspænding.

Paa Arbejdskurven for den normalt spændte Bolteforbindelse findes to

karakteristiske Punkter, Glidegrænsen P_g , hvor Glidningen begynder, og Flydegrænsen P_F , hvor Bolt og Træ »flyder« som ved en Dornforbindelse. Inden Glidegrænsen er Glidningerne overordentlig smaa, efter P_g kan Friktionen alene ikke mere hindre Glidning i Forbindelsen, og Boltens paavirkes nu som Dorn til Bøjning. Ved Flydegrænsen naar denne sidste Virkning sin højeste Værdi; men samtidig er Deformationerne blevet saa store, at

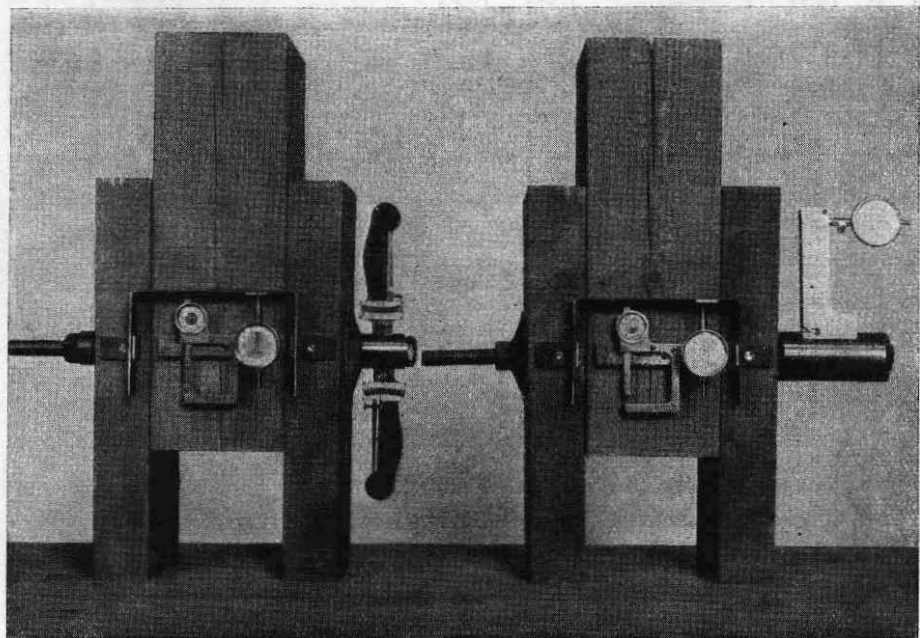


Fig. 28. Spændingsmaaling i Bolt ved Huggenberger Tensometer (tilvenstre) og Berry Tensometer (tilhøjre). Paa begge Anordning til Maaling af Glidningen mellem Tømmer og Lasker.

Trækket i Boltens begynder at vokse og dermed Friktionen, saa Belastningen stadig kan forøges.

For den spændingsløse Bolt ligger naturligt P_g ved Nul. Ved Boltene spændt nær »Brud« falder P_g og P_F praktisk taget sammen, medens Boltene spændt over »Brud« viser omtrent samme Forhold som de normalt spændte.

For at studere disse Forhold noget mere indgaaende udførtes en Række Trykforsøg med $\frac{3}{4}$ " Bolte i 6×6 " Tømmer med $6 \times 2\frac{1}{2}$ " Lasker, hvor Spændingerne i Boltens maales under Forsøget, idet Boltene var saa lange, at der mellem Hovedet og Underlagsskiven kunde indskydes et svært Rør med to Slidser, hvorigennem Spændingsmaalingen kunde finde Sted. Der maales Spændinger i Boltens Overside og Underside, hvoraf Normalkraften og Indspændingsmomentet kunde udledes. Resultaterne er vist i Fig. 29—31, hvor Glidningen g er afsat som Abscisse, Kraften P , Normalkraftspændingen

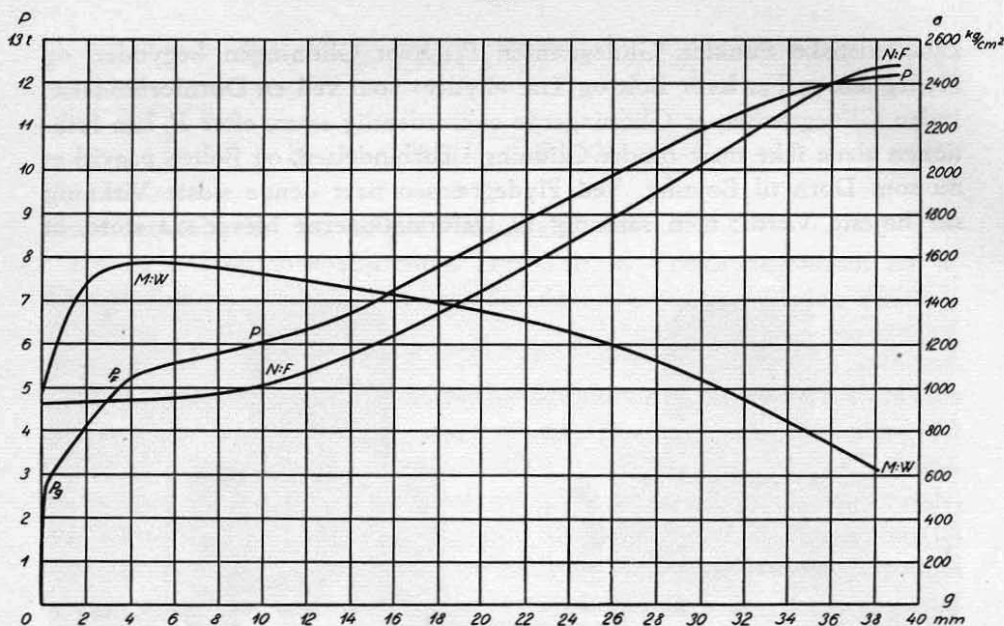


Fig. 29.

$\frac{N}{F}$ og Bøjningsspændingen $\frac{M}{W}$ som Ordinater. Der udførtes Forsøg med normalt spændte Bolte, spændingsløse Bolte og Bolte spændt over Flydegrænsen.

Ved Forsøgene med den normalt spændte Bolt, hvis Begyndelsesspænding var omkring 1000 kg/cm², viser Arbejdskurven de sædvanlige to karakteristiske Punkter, Glidegrænsen P_g og Flydegrænsen P_F . Det er interessant at følge Normalkraftens og Momentets Forløb ved disse Punkter. Der er i Fig. 29 og 30 vist Resultaterne fra to Forsøg. Begge viser for

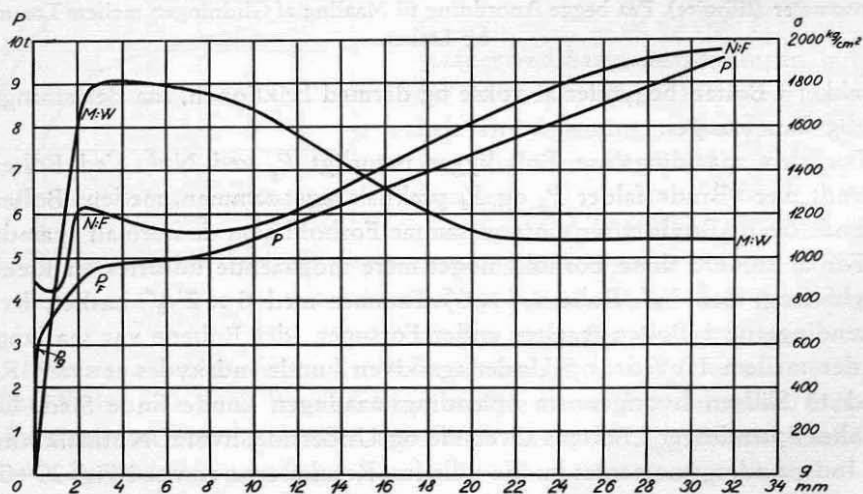


Fig. 30.

Indspændingsmomentet samme karakteristiske Forløb, en stærk Stigning mellem P_g og P_F og derefter et svagt Fald. For Normalkraften viser de to Forsøg i Begyndelsen forskellige Forhold, idet Normalkraften i Fig. 29 er praktisk taget konstant lige fra Begyndelsen til P_F , hvor den begynder at stige svagt, medens Normalkraften i Fig. 30 stiger meget stærkt mellem P_g og P_F , hvorefter den aftager lidt, for sluttelig at stige langsomt som ved første Forsøg.

At P_g virkelig er Glidegrænsen verificeres ved Udregning af Friktionskoefficienten. Ved begge Forsøg var $P_g = 2750$ kg og det samtidige N henholdsvis 2220 og 2300 kg. Da $P_g = 2\mu N$ faas heraf μ henholdsvis 0,62 og 0,60, der er meget passende. Efter Glidningen begynder Boltens Dornvirkning, idet Momentet vokser stærkt. Naar M_{\max} har naaet Flyde-værdien, kan Momenterne i det hele taget ikke vokse mere, saa ogsaa det maalte Indspændingsmoment ophører her at stige. Dornvirkningen er da udtømt, og efterhaanden som Deformationerne vokser, begynder N at tiltage, idet Momenterne samtidig aftager, da det større Træk i Boltens forringer dens Bøjningsmodstand, der efterhaanden erstattes af en Tøvvirkning.

Ved Glidningen kan det ske, at Tømmerstykkerne kiler sig mere sammen og derved fremkalder en pludselig Stigning i N straks efter P_g som iagttaget ved Forsøget i Fig. 30; men de øvrige Forhold forløber ellers ganske som ovenfor.

Ved Forbindelsen med spændingsløs Bolt faas Kurverne i Fig. 31. Glidegrænsen P_g ligger ved Nul, da $N = 0$. Mellem P_g og P_F vokser Momentet

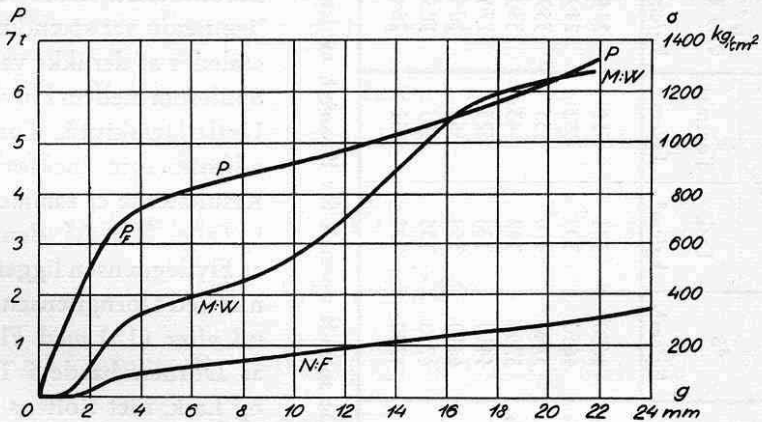


Fig. 31.

stærkt, men først ved Flydegrænsen P_F begynder N at vokse. Efter Flydegrænsen vokser N ganske jævnt, men opnaar ikke nogen større Værdi, kun $\frac{1}{3} - \frac{1}{4}$ af N i den normalt spændte Bolt. Som Følge af N 's lille Værdi kan M ogsaa efter Flydegrænsen vokse yderligere; men der er dog et tyde-

Tabel XI.

d''	m''	l''	s_B kg/cm ²	s_C		$s_H =$ $0,85 s_C$ kg/cm ²	Glide- grænse P_g kg	Flyde- grænse P_F kg	Brude- grænse P_{max} kg	Dorn- grænse P_D kg	$\frac{P_{max}}{P_D} =$ $\frac{P_N}{P_D}$ kg	$\frac{\pi}{4} d_1^2$ cm ²	s_F kg/cm ²	μ
				Lask kg/cm ²	Tømmer kg/cm ²									
$1\frac{1}{8}$ ¹⁾	3	$1\frac{1}{2}$	4630	334	311	274	ca. 700	1650	5150	1610	3540	0,784	2720	0,83
$1\frac{1}{2}$ ¹⁾	3	$1\frac{1}{2}$	4630	303	282	249	ca. 700	1800	4500	1535	2965	0,784	2720	0,70
$\frac{3}{4}$	5	$2\frac{1}{2}$	3780	410	435	359	3600	3600	9250	3740	5510	1,961	2220	0,63
$\frac{3}{4}$	5	$2\frac{1}{2}$	3780	347	443	330	2100	3300	7685	3580	4105	1,961	2220	0,47
1	6	3	4410	326	323	276	2900	8000	16850	6300	10550	3,573	2590	0,57
1	6	3	4410	359	365	308	3100	7150	18390	6650	11700	3,573	2590	0,63
$1\frac{1}{4}$	8	4	4750	335	385	305	ca. 7000	ca. 12000	22510	10730	11780	5,768	2790	0,37
$1\frac{1}{4}$	8	4	4750	301	331	268	ca. 7000	ca. 12000	23525	10060	13465	5,768	2790	0,42

¹⁾ Her var Boltene spændt normalt før Forsøget, medens de øvrige Forsøg er med spændingsløse Bolte.

Middeltal 0,58

ligt Knæk ved P_F , hvor de ved Dornvirkningen opstaaede Momenter aabenbart indleder Flydning i Boltene. Da N er ganske ringe, vil P_F praktisk taget falde sammen med Dorngrænsen P_D , som det ogsaa vil vise sig i det følgende (Tabel XI).

I Forbindelserne, hvor Boltene var spændt over Flydegrænsen, var Forholdene paa det nærmeste som i de med normalt spændte Bolte, dog med en højere liggende Glidegrænse P_g , men ikke sammenfaldende med Flydegrænsen P_F .

Da man i Praxis ikke kan regne, at Boltene bevarer sit Træk i ret lang Tid efter Sammenspændingen, blev der udført en Række Forsøg med Forbindelser, hvor Boltene lige netop var spændingsløse, saaledes at der ikke var noget Spillerum mellem Hovedet og Underlagsskiven. Forsøgene udførtes som Trækforsøg, og Resultaterne er sammenstillet i Tabel XI. Af denne ses, at Flydegrænsen ligger meget nær ved Dorngrænsen, regnet ud efter (13) med Flydning af Dornen baade i Tømmer og Lask, idet Boltens Hoved og Møtrik bevirker en Indspænding af Boltene i Lasken, saaledes at der altid vil være Flydning i baade Tømmer og Lask.

Idet den fra Friktionen

eller rettere fra Normalkraften N stammende Forøgelse af Bæreevnen

$$P_N = P_{\max} - P_D = 2\mu s_F \frac{\pi}{4} d_1^2,$$

kan man heraf bestemme Friktionskoefficienten μ , der ses at være i Overensstemmelse med de ved Friktionsforsøgene direkte bestemte Værdier, saa den i det foregaaende udviklede Teori hermed kan anses for verificeret.

For at opnaa P_{\max} uden Flækning af Træet maa Bolten naturligvis anbringes længere fra Enden end en Dorn, og Forsøgene viste her, at Endeafstanden $10d$ er tilstrækkelig.

4. Forbindelser med Indlæg.

Indlæggene forøger Modstanden mod Forskydning ved at danne ekstra Anlægsflader til Overførelse af Kraften. De kan deles i to Grupper: 1. Indlæg i Form af Ringe eller Klodser, for hvilke der maa skæres ud i Træet. 2. Indlæg med Tænder eller lign., der kan presses ind i Træet og højst kræver Knaster udboret.

Medens Indlæggene i den første Gruppe uden Vanskelighed kan udføres kraftige nok, er Indlæggene i den sidste i Reglen for svage til at hindre Kæntring af Tænderne. Selv for de ved Forsøgene anvendte Indlæg, Gitterkløer, var dette til en vis Grad Tilfældet, idet de yderste Rækker Tænder havde en vis Tilbøjelighed til at kæntré (Fig. 32—34). Dette kan der sandsynligvis raades Bod paa ved at udføre Gitterkløerne med forlængede Ribber som vist paa Fig. 35, hvorved de yderste Tænder er lige saa godt hindret i Kæntring som de mellemste.

A. Teori.

Bæreevnen bliver lig den tilsvarende Bolteforbindelse forøget med Indlæggets Bidrag, altsaa for

$$\begin{aligned} 1\text{-Snits: } P_{\max} &= 0,442 \sqrt{s_B s_H} d^2 + \mu s_F \frac{\pi}{4} d_1^2 + L; \\ P_F &= 0,442 \sqrt{s_B s_H} d^2 + L, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} 2\text{-Snits: } P_{\max} &= 0,885 \sqrt{s_B s_H} d^2 + 2\mu s_F \frac{\pi}{4} d_1^2 + 2L; \\ P_F &= 0,885 \sqrt{s_B s_H} d^2 + 2L, \end{aligned} \quad (17)$$

idet N er regnet lig Nul ved P_F .

For L haves, naar A_n er det nyttige Indtrykningsareal

$$2L = s_H A_n.$$

For Gitterkløer fandtes $A_n = A_T$, der kan sættes til $4d^2$.



Fig. 32. Gitterklo, hvor de yderste Tænder er kærtret.

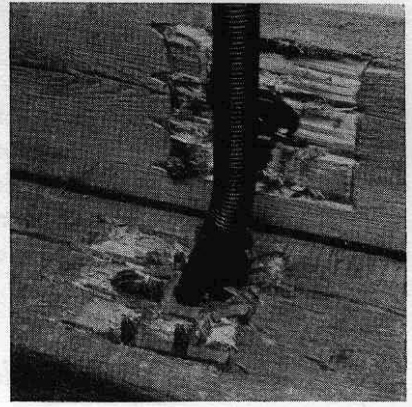


Fig. 33. Gitterklo, hvor de yderste Tænder er knækket og ligger helt ned i Træet.

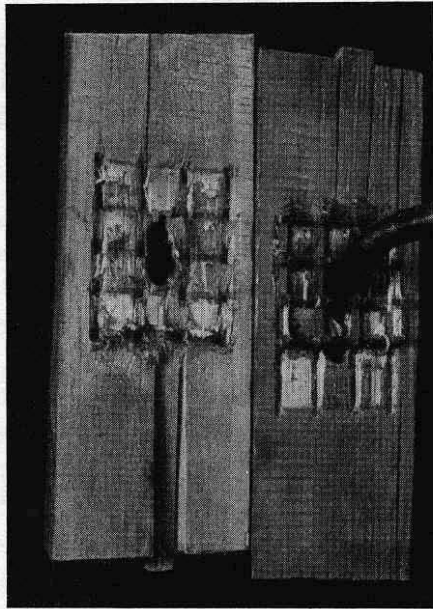


Fig. 34. Gitterklo, hvor de yderste Tænder ikke er kærtret, saa Gitterkloen som Helhed har bevæget sig i Træet.

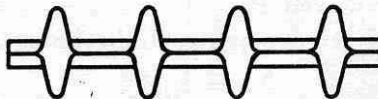


Fig. 35.

B. Forsøg med Gitterkløer.

Forsøgene med Gitterkløer udførtes dels som Trykforsøg med Huggenberger Maaling af Spænding i Boltene (se Fig. 28 Side 53), dels som Trækforsøg med spændingsløse Bolte og normalt spændte Bolte. Kurverne blev noget lignende som ved Bolteforbindelserne, idet Normalkraften i Begyndelsen ikke varierer synderligt. Ved Glidegrænsen begynder Dornvirkningen, og Momentet vokser stærkt indtil Flydegrænsen. Herefter begynder Boltene at virke som et bøjeligt Tov, saa Momentet aftager og Normal-

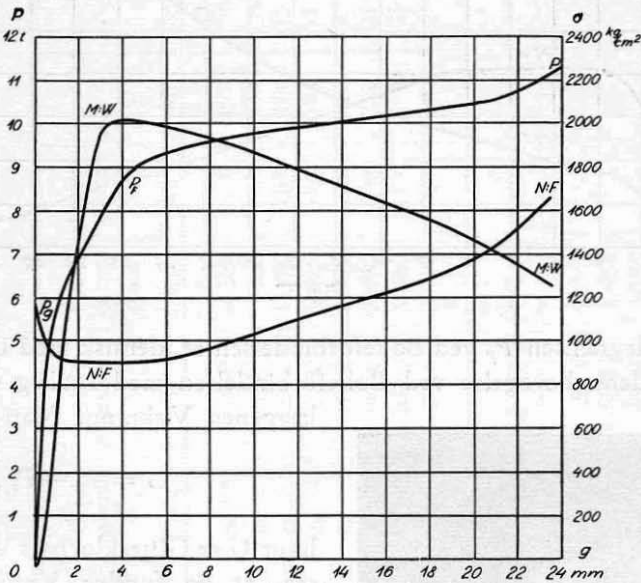


Fig. 36.

kraften vokser. Da Forsøg med sammenspændte Forbindelser viser, at Trækket i Boltene hurtigt aftager efter Sammenspændingen, udførtes en Række Trækforsøg med spændingsløse Bolte, hvis Resultater er angivet i Tabel XII. Indføjet er endvidere Resultaterne for tre Forbindelser, hvor Boltene var spændt normalt. Ved disse Trækforsøg var Arbejdskurvens karakteristiske Punkter ikke saa skarpt fremtrædende som ved Bolteforsøgene. Særlig var Glidegrænsen meget ubestemt, idet Kurven gik over til den mere skraa Gren gennem en krum Kurve. Flydegrænsen var i Reglen mere udpræget, særlig ved de smaa Bolte. Ved de spændte Bolte var Glidegrænsen og Flydegrænsen høje og noget mere udprægede end ved de spændingsløse Bolte.

I Tabellen ser man, at Flydegrænsen nu ligger ca. dobbelt saa højt som Dorngrænsen.

Glidegrænsen er ret tilfældig og afhænger aabenbart af det lille Træk, der rimeligvis straks ved Forsøgets Begyndelse opstaar i Boltene.

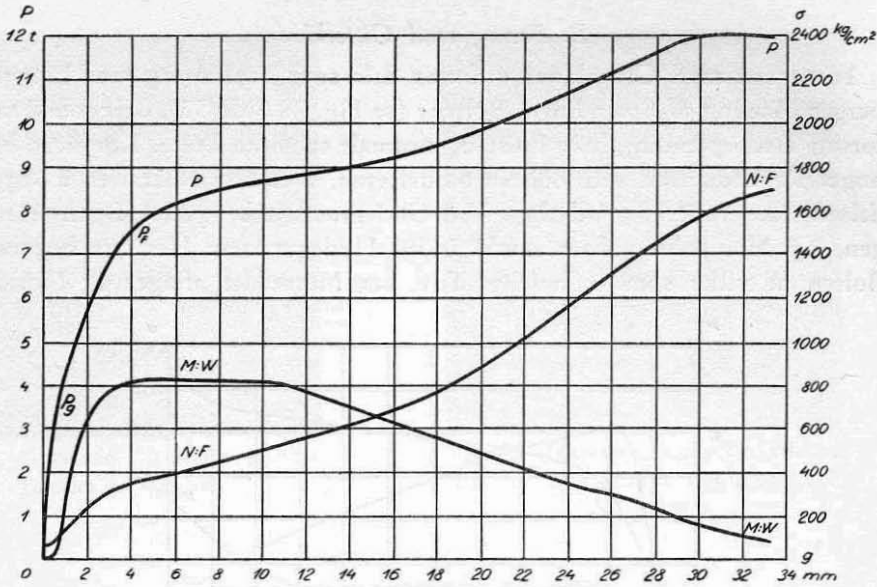


Fig. 37.

Da Flydegrænsen P_F ved Bolteforbindelsen er identisk med Dorngrænsen P_D , maa dens Forøgelse ved Bolteforbindelsen med Indlæg skyldes Indlæggenes Virkning. Man har derfor

$$G = P_F - P_D,$$

hvor G er Gitterkløernes Virkning. Det ses, at de fundne Værdier stemmer overordentlig godt med de direkte bestemte (Tabel III). Da den forøgede Bæreevne efter Flydningen væsentlig skyldes den ved Boltetrækket opstaaede Friktion, faas:

$$P_N = P_{\max} - P_F = 2\mu s_F \frac{\pi}{4} d_1^2,$$

hvoraf Friktionskoefficienten bestemmes. Disse Værdier er noget mindre end de direkte bestemte og de ved Bolteforsøgene fundne. Dette kan skyldes, at Friktionen mellem Gitterkløer og

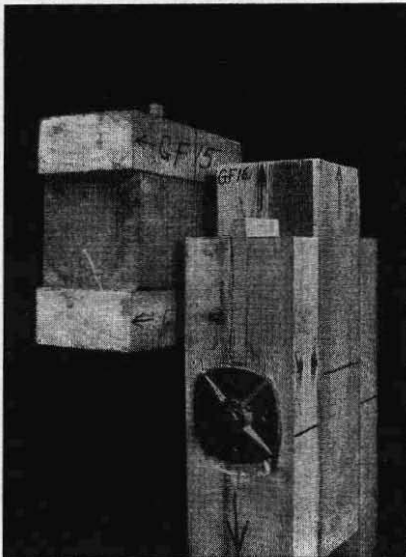


Fig. 38. Gitterkloforbindelser efter Brud.

Træ er mindre end Friktionen mellem Træ og Træ. Ligesom ved Bolteforbindelser maatte Endefstanden forøges til $10d$ for at kunne komme op paa P_{\max} uden Flækning (Fig. 38).

Tabel XII.

Trækforsøg med Gitterkløer og spændingsløse Bolte.

d"	m"	l"	s _B kg/cm ²	s _C		s _H = 0,85 s _C kg/cm ²	Glide- grænse P _g kg	Flyde- grænse P _F kg	Brud- grænse P _{max} kg	Dorn- grænse P _D kg	P _F - P _D = P _G kg	A _T cm ²	G A _T s _H	P _{max} - P _F = P _N kg	μ
				Lask kg/cm ²	Tømmer kg/cm ²										
1/2	3	1 1/2	4240	429	360	333	ca. 2200	3650	6250	1700	1950	6,5	0,90	2600	0,67
1/2	3	1 1/2	4240	475	385	362	ca. 2500	4250	5300	1770	2480	6,5	1,05	1050	0,27
3/4	5	2 1/2	3780	306	386	290	ca. 3000	8500	13525	3360	5140	15	1,18	5025	0,58
3/4	5	2 1/2	3780	320	464	322	ca. 3000	7500	10915	3540	3960	15	0,82	2415	0,28
1	6	3	4410	400	393	337	ca. 9000	14200	26970	6960	7240	24	0,89	12770	0,69
1	6	3	4410	363	371	312	8000	14000	23100	6700	7300	24	0,97	9100	0,49
1 1/4	8	4	4750	318	318	269	ca. 3000	20000	31680	10100	9900	33	1,11	11680	0,36
1 1/4	8	4	4750	324	374	295	ca. 6000	20000	29980	10600	9400	33	0,96	9980	0,31

Trækforsøg med Gitterkløer og normalt spændte Bolte.

3/4	5	2 1/2	3780	340	337	288	4700	9500	12555						
1	6	3	4410	328	354	290	ca. 10000	16800	23250						
1 1/2	8	4	4750	291	317	258	ca. 10000	24000	31900						

I Fig. 39 er til Sammenligning vist Arbejdskurven for tilsvarende Dorn-, Bolte- og Gitterkloforbindelser. Samtlige Kurver gælder for 1" Dorn eller Bolt af blødt Staal i 6 × 6" Fyr med 3 × 6" Lasker. Da Dornen her er af blødt Staal, faar Arbejdskurven en udpræget Flydegrænse i Modsætning til Dornene af komprimeret Akselstaa. Det ses, at Dornforbindelsen er stivere end den spændingsløse Bolteforbindelse, fordi Dornen er drevet i. Paa Grund af Boltens Indspænding ved Hoved og Møtrik ligger Bolteforbindelsens Flydegrænse højere end Dornforbindelsens.

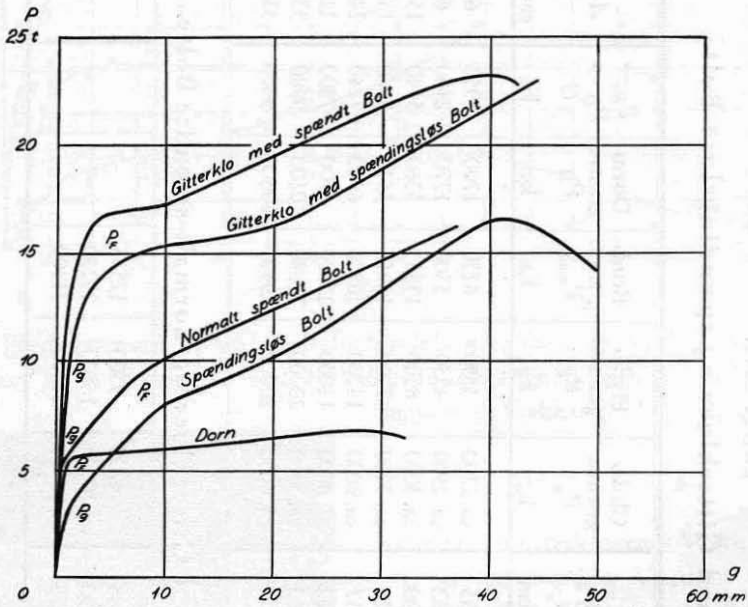


Fig. 39.

Ved Boltene er Glidegrænsen P_g og Flydegrænsen P_f udprægede, ved Gitterklørerne kun Flydegrænsen. P_{\max} er uafhængig af Boltens Forspænding. Glidningen g ved P_{\max} er ens for Bolte og Gitterklør.

5. Glidningerne.

Da man ikke alene skal sikre sig en tilstrækkelig stærk Konstruktion, men ogsaa en tilstrækkelig stiv Konstruktion, maa den i det foregaaende givne Redegørelse for Træforbindelsers Styrke suppleres med en Undersøgelse af Træforbindelsers Stivhed, d. v. s. Lovmæssigheden for Glidningerne i de forskellige Træforbindelser skal undersøges. Grundlaget for en saadan Undersøgelse haves allerede i

A. Indtrykningsforsøgene.

Ved disse bestemtes Konstanten K eller k i Ligningerne

$$p = Ky = \sigma_H d \quad (18)$$

$$\sigma_H = \frac{K}{d} y = ky \quad (19)$$

Resultaterne udviste i Reglen meget stor Spredning, saa k eller K 's Uafhængighed af Dorn diameteren d vanskeligt kunde bestemmes. Saaledes fandtes for

Fyr:	K : 7000—11200 kg/cm ²	Middel 9200 kg/cm ²
	k : 4400— 8500 kg/cm ³	— 6800 kg/cm ³
Gran:	K : 2400— 6600 kg/cm ²	— 3900 kg/cm ²
	k : 1900— 3700 kg/cm ³	— 2600 kg/cm ³
Lærk:	K : 3600— 7500 kg/cm ²	— 5600 kg/cm ²
	k : 3600— 4400 kg/cm ³	— 4000 kg/cm ³
Eg:	K : 11800—14700 kg/cm ²	— 13000 kg/cm ²
	k : 7200—14600 kg/cm ³	— 9700 kg/cm ³
Pitchpine:	K : 8200—23800 kg/cm ²	— 14200 kg/cm ²
	k : 5000—13200 kg/cm ³	— 9300 kg/cm ³

Af disse Tal ses, at for Lærk er k meget nær uafhængig af d . Ved Fyr og Eg er K den mest konstante, ved Gran k . Ved Pitchpine er begge meget variable, k dog mindst. Den store Variation ved Pitchpine skyldes sikkert den stærkt varierende Elasticitetskoefficient, idet denne varierede fra 94 000—230 000 kg/cm².

Ved disse Forsøg var Dornen lige saa lang som Hullet. I en Dornforbindelse trykker Dornen som Regel kun paa en Del af Hulranden. For at undersøge disse Forhold udførtes ogsaa Indtrykningsforsøg med 14 mm Dorne, kortere end Hullet og anbragt symmetrisk i dette. Samtidig bestemtes E . Resultaterne er angivet i Tabel XIII.

Tabel XIII.

Længde mm	$\frac{d}{l}$	E 10 ⁸ kg/cm ²	K 10 ⁸ kg/cm ²	$\frac{K}{E}$
∞	0	183	8,5	0,046
45	0,31	99	7,3	0,073
45	0,31	110	8,5	0,077
30	0,47	219	21,5	0,098
30	0,47	111	16,6	0,149
15	0,93	122	20	0,164
15	0,93	206	30	0,149

Som man kunde vente, bliver K meget større i dette Tilfælde. Endvidere ses, at Forholdet $\frac{K}{E}$ har et mere lovmæssigt Forløb end K , idet K naturligvis kan ventes at være proportional med E . Man har i dette Tilfælde

$$K = 0,045 \left(1 + 3 \frac{d}{l}\right) E,$$

heri indbefattes Forsøgene med Dornlængden lig Hulllængden, idet disse svarer til $l = \infty$ i ovenstaaende Formel.

Det fremgaar med al Tydelighed af disse Undersøgelser, at noget sikkert om Formforandringerne ved Indtrykning kan ikke siges paa Grund af den store Spredning i Forsøgsresultaterne som Følge af Træets og særlig Pitchpines stærkt variable Egenskaber.

B. Bestemmelse af K ved Dornforsøg.

Da Dornene er presset ind i mindre Huller, er Proportionalitetsgrænsen allerede overskredet, saa nogen særlig god Overensstemmelse med den følgende Beregning kan ikke ventes. Til Støtte for Bearbejdelsen vil en kort teoretisk Undersøgelse paa Basis af Ligningen $p = Ky$ altid have en vis Værdi.

Teori for 1-Snits Forbindelser.

Ved Differentialligningen for den elastisk understøttede Bjælke

$$EIy'''' + Ky = 0 \quad (20)$$

med Randbetingelserne $M = 0$, $Q = 0$ for $x = \pm l$ faas for Glidningen

$$g = \frac{4P}{aK} \cdot \frac{\sinh \frac{2l}{a} - \sin \frac{2l}{a}}{\cosh \frac{2l}{a} + \cos \frac{2l}{a} - 2}, \quad (21)$$

hvor $a = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K}}$ (E og I er Dornens Elasticitetskoefficient og Inertiemoment). Endvidere er $p_{\max} = \frac{1}{2} K \cdot g$. Indføres Nyttelængden l_n ved

$$p_{\max} = \frac{P}{l_n}, \quad g = 2y_{\max} = \frac{2p_{\max}}{K} = \frac{2P}{Kl_n}, \quad (22)$$

faas følgende Værdier for

$\frac{l}{a} = 0$	0,5	1,0	1,5	2	2,5	3	∞
$\frac{l_n}{l} = 0,250$	0,248	0,248	0,238	0,230	0,193	0,166	0
$\frac{l_n}{a} = 0$	0,124	0,248	0,357	0,460	0,482	0,498	0,5,

der viser, at man uden væsentlig Fejl kan sætte

$$l_n = \begin{cases} \frac{1}{4} l & l \leq 2a \\ \frac{1}{2} a & l \geq 2a \end{cases} \quad (23)$$

Fig. 40 viser Momentets og Hulsrandstrykkets Forløb for $\frac{d}{a} = 0,4$ og $l = 6d$ og $3d$ for samme P .

Teori for 2-Snits Forbindelser.

Man kommer her til ret indviklede Konstantbestemmelser for Løsningen til Differentialligningen, saa sluttede Formler vanskeligt kan angives. Numeriske Beregninger i Lighed med ovenstaaende giver følgende simple tilnærmede Formler for $l \leq m \leq 2l$.

$$\text{Nyttelængderne } l_1 = \begin{cases} \frac{1}{2} m & m \leq a \\ \frac{1}{2} a & m \geq a \end{cases} \text{ i Tømmer} \quad (24)$$

$$l_2 = \begin{cases} l & l \leq \frac{1}{2} a \\ \frac{1}{2} a & l \geq \frac{1}{2} a \end{cases} \text{ i Lasker} \quad (25)$$

$$P_{\max} = \frac{1}{2} P, \quad g = y_1 + y_2 = \frac{1}{2} \frac{P}{Kl_1} + \frac{1}{2} \frac{P}{Kl_2} = \frac{P}{2K} \left(\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} \right). \quad (26)$$

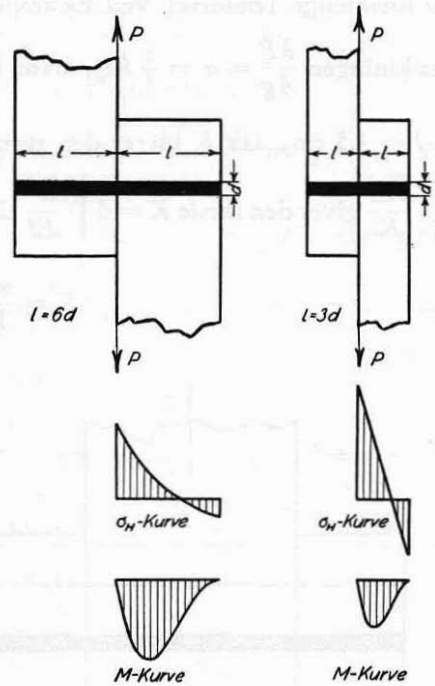


Fig. 40.

Træsart	Fyr	Lærk	Eg	Pitchpine	
α	8350	8100	13430	13900	kg/cm
$K = k$	14300	13800	27000	28300	kg/cm ²

Disse Værdier er betydeligt større end de ved Indtrykningsforsøgene fundne, hvilket stemmer med, at Trykket ikke er jævnt fordelt over hele Dornens Længde.

Forsøg med 2-Snits Forbindelser.

Her er $\alpha = \frac{2K}{\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2}}$, hvor l_1 er den mindste af Størrelserne $\frac{1}{2} a$ og $\frac{1}{2} m$,

og l_2 er den mindste af Størrelserne $\frac{1}{2} a$ og l , d. v. s. $\alpha = \frac{1}{2} Ka$, som giver

$K = \frac{1}{29,8} \frac{\alpha}{d} \sqrt{\frac{\alpha}{d}}$. De andre Muligheder forekommer ikke i Forsøgene.

Tabel XIV.

Fyr.

l cm	m cm	d mm	α kg/cm	K kg/cm ²	k kg/cm ³
3,9	7,8	10	9700	6950	6950
3,9	7,8	10	9550	6800	6800
3,9	7,8	14	36000	25600	18300
3,9	7,8	14	41800	31000	22100
9,0	12,0	14	18400	10400	7400
9,0	12,0	14	11300	5400	3850 ¹⁾
3,9	7,8	18	58800	35000	19400
3,9	7,8	18	62200	37800	21000
12,0	12,0	18	18200	7350	4000
12,0	12,0	18	25700	11600	6450
3,9	7,8	22,2	82000	41000	18500
3,9	7,8	22,2	85100	42200	19000

¹⁾ Revne ved Dorn.

Af Resultaterne ses, at de 14—22 mm Dorne i den ene Gruppe har været usædvanlig stive, medens de øvrige udviser Værdier svarende til Indtrykningsforsøgene. For den nævnte usædvanlig stive Gruppe er k praktisk taget uafhængig af Diameteren; men for de øvrige er saavel K som k lige variable.

Som en passende lav Gennemsnitsværdi kan man regne

$$k = 7000 \text{ kg/cm}^3.$$

Pitchpine med Staaldorne.

Tabel XV.

l cm	m cm	d mm	α kg/cm	K kg/cm ²	Middeltal	k kg/cm ³	Middeltal
6	6	10	20000	18250	50000	18250	50000
6	6	10	46400	56000		56000	
6	6	10	36800	41100		41100	
6	6	10	27150	27500		27500	
6	6	10	62000	82500		82500	
6	6	10	57500	74500		74500	
12	12	14	33400	23000	22900	16400	16350
12	12	14	33600	23300		16600	
9	12	14	25400	15800		11300	
9	12	14	49600	39100		27900	
6	12	14	34200	23800		17000	
6	12	14	21500	12400		8900	
12	12	18	11200	83000	43260	46000	24000
9	12	18	35600	18000		10000	
9	12	18	21000	8800		4900	
6	12	18	67500	42000		23300	
6	12	18	93000	64500		35800	

Middeltal $K = 38700$ kg/cm²Middeltal $k = 30100$ kg/cm³

Resultaterne er meget varierende som ved Indtrykningsforsøgene, men betydeligt højere end ved disse.

Pitchpine med Bronzedorne.

Da Bronzens Elasticitetskoefficient fandtes nøjagtig lig det halve af Staalets, faas her

$$K = \frac{1}{23,6} \frac{\alpha^3}{d} \sqrt{\frac{\alpha}{d}}$$

Tabel XVI.

l cm	m cm	d mm	α kg/cm	K kg/cm ²	k kg/cm ³	Middel
6	6	10	48000	74000	74000	$K = 39200$ kg/cm ²
6	6	10	21200	24900	24900	
8,4	8,4	14	24000	18700	13400	
8,4	8,4	14	33800	29700	21100	
8,4	8,4	14	23800	18500	13200	$k = 27900$ kg/cm ³
11	11	18	31800	19500	10800	
11	11	18	61900	47100	26200	
11	11	18	7900	65200	36200	
11	11	18	70500	56000	31100	

Ogsaa her er stor Variation, men Værdien svarer til de foregaaende. Vil man resumere Resultaterne for Pitchpine til Sammenligning med Fyr, kan man som passende lav Gennemsnitsværdi regne

$$k = 14000 \text{ kg/cm}^3,$$

saa Pitchpine maa under disse Forhold anses for dobbelt saa stift som Fyr.

Trods den stærke Variation af K er Størrelsen $a = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K}}$ mindre variabel og kan sættes for

$$\text{Staal i Fyr} \dots\dots\dots a = 2,5 d$$

$$\text{Staal i Pitchpine} \dots\dots a = 2,0 d$$

$$\text{Bronze i Fyr} \dots\dots\dots a = 2,0 d$$

$$\text{Bronze i Pitchpine} \dots\dots a = 1,7 d$$

Proportionalitetsgrænsen. 1 $\frac{1}{2}$ Snits Forbindelser.

Idet $p_{\max} = \frac{P}{l_n}$ for 1 $\frac{1}{2}$ Snits Forbindelser, faas $P = \sigma_H dl_n$, hvor l_n oftest er $\frac{1}{2} a$

$$P = \frac{1}{2} \sigma_H ad.$$

$$\text{Idet} \quad P_{\max} = 0,442 \sqrt{s_H s_B} d^2 \quad \text{eller} \quad 0,414 s_H ld$$

$$\text{altsaa} \quad \frac{P}{P_{\max}} = \frac{\sigma_H}{0,885 \sqrt{s_H s_B}} \cdot \frac{a}{d} \quad \text{eller} \quad \frac{\sigma_H}{0,828 \cdot s_H} \cdot \frac{d}{l}.$$

For Proportionalitetsgrænsen sættes $\sigma_H = 0,7 s_H$, hvorved

$$\frac{P}{P_{\max}} = 0,79 \sqrt{\frac{s_H}{s_B}} \cdot \frac{a}{d} \quad \text{eller} \quad 0,85 \frac{a}{d}.$$

Den laveste Værdi faas af den første Formel og er for

	$\frac{s_H}{s_B}$	$\frac{P}{P_{\max}}$	
Staaldorne i Fyr.....	220:11000	0,28	} $\frac{1}{3,5}$
Staaldorne i Pitchpine..	350:11000	0,28	
Bronzedorne i Fyr.....	220:8000	0,26	
Bronzedorne i Pitchpine..	350:8000	0,28	

For svære Dorne er Forholdet større, men kan ikke overstige den til $l_n = \frac{1}{4} l$ svarende Værdi,

$$\frac{P}{P_{\max}} = 0,42.$$

2-Snits Forbindelser.

Naar $l_1 = l_2 = \frac{1}{2} a$, og $P_{\max} = 0,885 \sqrt{s_H s_B} \cdot d^2$, faas samme Værdier af $P:P_{\max}$ som ovenfor. For sværere Dorne kan Forholdet ikke overstige den til $P_{\max} = 2 s_H dl$ eller $s_H dm$ og $l_1 = \frac{1}{2} m$ eller $l_2 = l$ svarende Værdi,

$$\frac{P}{P_{\max}} = \frac{2 \sigma_H dl_1}{s_H dm} = \frac{2 \sigma_H dl_2}{2 s_H ld} = 0,7.$$

Af de her angivne Grænser vil det være den laveste Værdi, der skal regnes med ved de fleste af de i Praksis anvendte Dimensioner.

C. Arbejdskurver for Dorne.

For at undersøge det videre Forløb af Glidningerne, er Arbejdskurverne for forskellige Forbindelser optegnet i Fig. 42—48. Som Ordinat er $P:P_{\max}$ afsat og som Abscisse $g:d$.

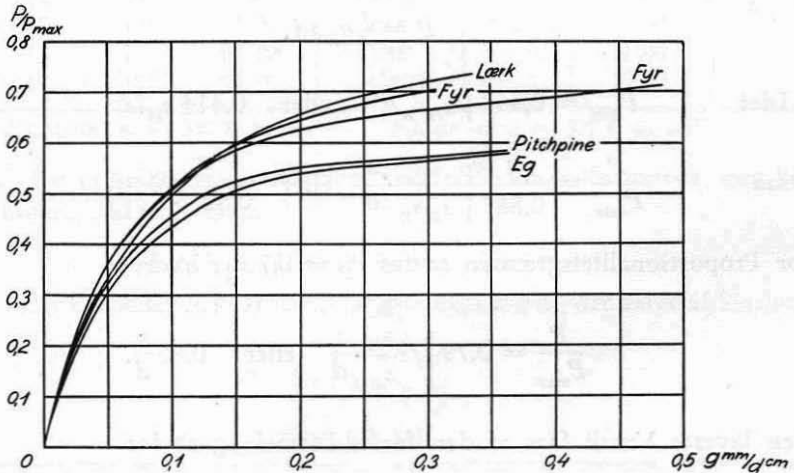


Fig. 42. 1-Snits Forbindelser med 10 mm Staaldorne i 6 cm Tømmer af forskellige Træsarter.

I Fig. 42 falder Kurverne paa det første Stykke næsten sammen. De er svagt krumme lige fra Begyndelsen, saa nogen udpræget Proportionalitetsgrænse kan ikke angives. Krumningen vokser stærkt efter $P:P_{\max} = 0,5-0,6$.

2-Snits Forbindelser i Fyr.

I Fig. 43 danner de usædvanlig stive 14—22 mm Forbindelser en Gruppe for sig med stærk Tiltagen i Krumning af Kurven omkring $P:P_{\max} = 0,7$.

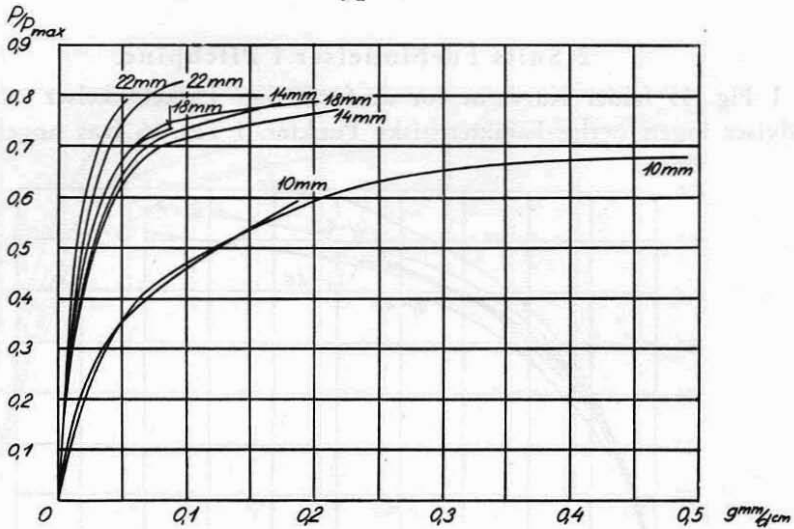


Fig. 43. 10—22 mm Staaldorne. $m = 2l = 2 \cdot 3,8$ cm.

De 10 mm Forbindelser er betydeligt blødere og har allerede ved $0,35 P_{max}$ stærk Krumning.

Kurverne i Fig. 44 følges ad indtil $\frac{1}{3} P_{max}$ med største Krumning ved henholdsvis $0,4$ og $0,5 P_{max}$.

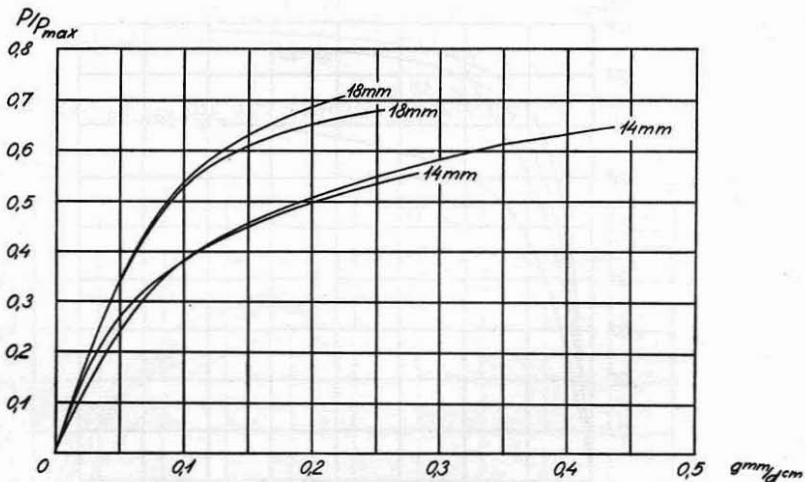


Fig. 44. Staaldorne 14 og 18 mm. $l = 6d$, $m = 12$ cm.

Sammenlignes Fig. 42—44, faar man, bortset fra den usædvanlig stive 14—22 mm Gruppe i Fig. 43, godt sammenfaldende Kurver.

2-Snits Forbindelser i Pitchpine.

I Fig. 45 falder Kurverne for de forskellige Lasketykkelser sammen og udviser ingen særlig karakteristiske Punkter. I Fig. 46 faas noget forskel:

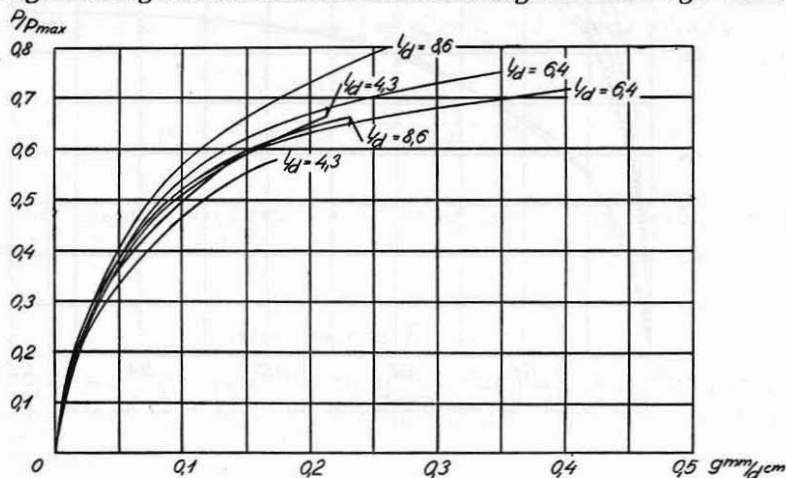


Fig. 45. 14 mm Staaldorne. $m = 12$ cm, $l = 6, 9$ og 12 cm.

lige og stejlere Kurver op til ca. $0,5-0,7 P_{\max}$, hvor Krumningen er størst.

I Fig. 47 og 48 er der jævnt krumme Arbejdslinier med største Krumning ved henholdsvis $0,5-0,6 P_{\max}$ og $0,4-0,5 P_{\max}$.

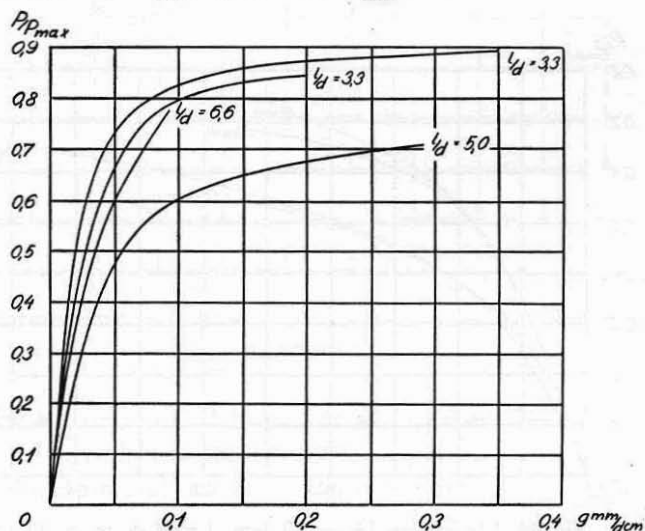


Fig. 46. 18 mm Staaldorne. $m = 12$ cm, $l = 6, 9$ og 12 cm.

Sammenlignes Kurverne 45—48 ses, ligesom ved de øvrige Forsøg med Pitchpine, en ret stærk Variation. Med g som Abscisse faas ikke bedre

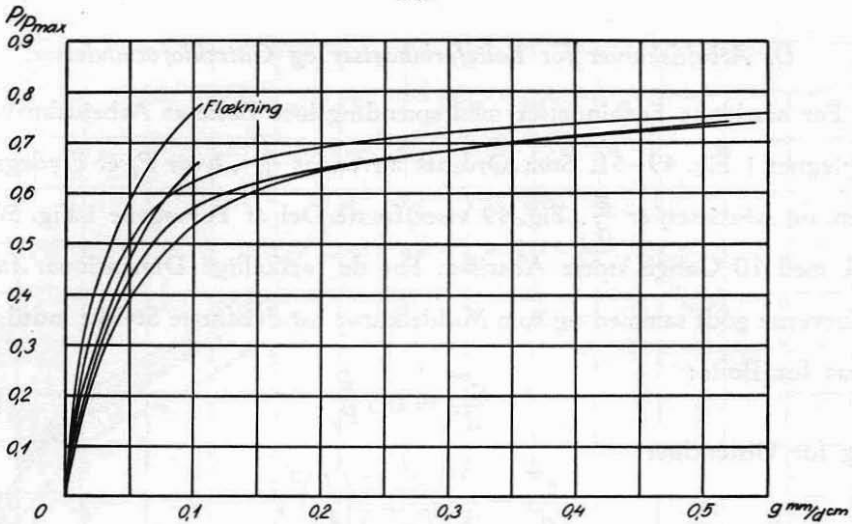


Fig. 47. 10 mm Staldorne i 6 cm Tømmer og Lasker med forskellig Endefstand.

Overensstemmelse; men naar Abscissen $g:d$ anvendes, vil Kurverne dog komme til at ligge over eller ved den til (27) svarende. Som Resultat kan vi derfor fastslaa, at Arbejdslinien med Ordinaten $P:P_{\max}$ og Abscisse $g:d$ vil falde nær eller over Kurverne for 1-Snits Forbindelser. Som Middelkurve for de blødeste Forbindelser kan Ligningen

$$\frac{g}{d} = \frac{1}{50} \frac{P}{P_{\max}} + \frac{2}{5} \left(\frac{P}{P_{\max}} \right)^2 \quad (27)$$

anvendes til ca. $\frac{1}{2} P_{\max}$ for alle Dornforbindelser.

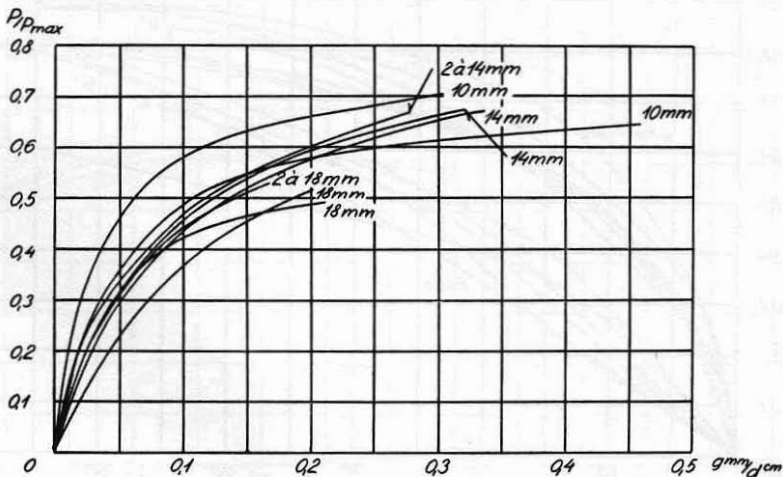


Fig. 48. Bronzedorne 10–18 mm. $l = 6d$.

D. Arbejdskurver for Bolteforbindelser og Gitterkloforbindelser.

For saadanne Forbindelser med spændingsløse Bolte er Arbejdskurverne optegnet i Fig. 49—51. Som Ordinaten anvendes $\frac{P}{P_F}$, hvor P_F er Flydegrænsen, og Abscissen er $\frac{g}{d}$. Fig. 49 viser første Del af Forsøgene i Fig. 50 og 51 med 10 Gange større Abscisse. For de forskellige Dimensioner falder Kurverne godt sammen og som Middelkurve for det første Stykke indtil $\frac{1}{2} P_F$ faas for Bolte:

$$\frac{g^{cm}}{d''} = 0,5 \frac{P}{P_F} \quad (28)$$

og for Gitterkløer:

$$\frac{g^{cm}}{d''} = \frac{1}{50} \frac{P}{P_F} + \frac{2}{5} \left(\frac{P}{P_F} \right)^2, \quad (29)$$

altsaa samme Formel som for Dorne; men da d maales i Tommer, er Gitterkloforbindelsen faktisk $2\frac{1}{2}$ Gang saa stiv.

E. Forsøg med vekslende Tryk og Træk i Dornforbindelser.

Da Arbejdskurven for Dorne ikke udviser noget udpræget karakteristisk Punkt til Støtte for Fastsættelsen af den tilladelige Paavirkning, blev der udført en kort Forsøgsrække for at undersøge Virkningen af vekslende

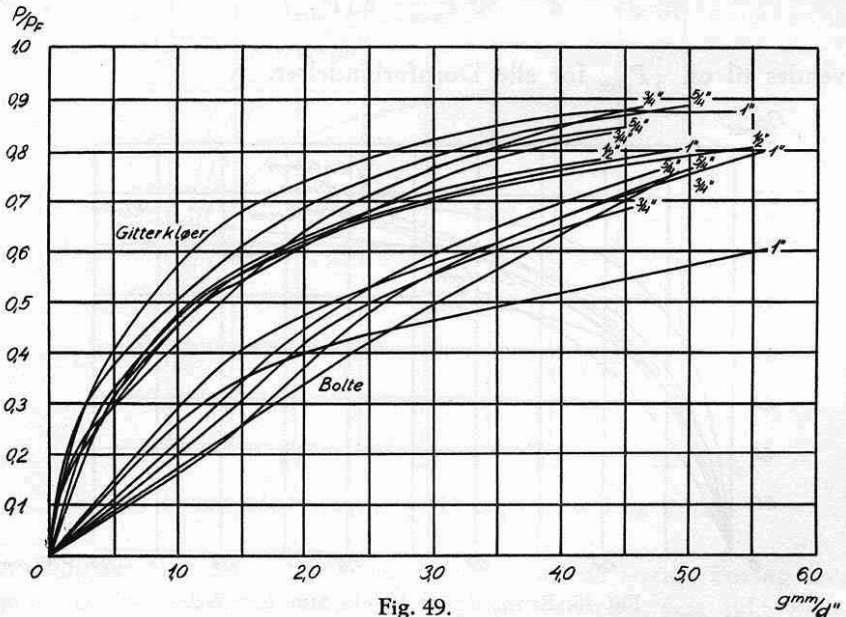


Fig. 49.

$g/mm d''$

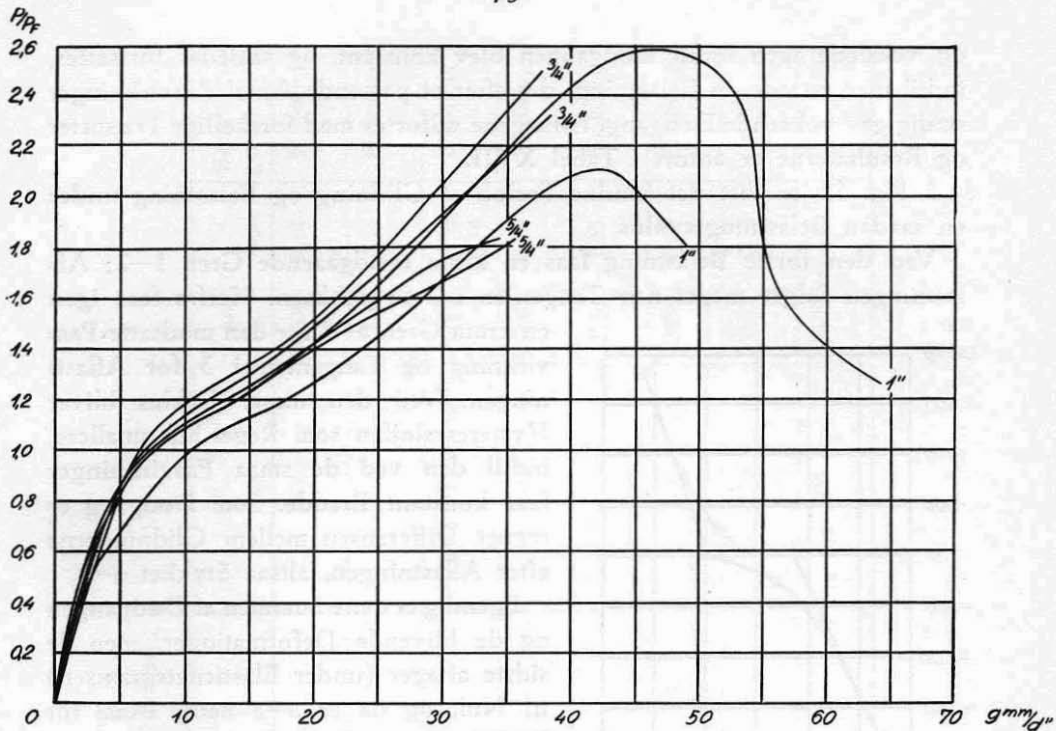


Fig. 50. Bolte.

Paavirkninger. Forsøgene udførtes med Dornforbindelser, der vekselvis blev paavirket af Træk og Tryk imellem lige store Grænser, idet man begyndte med en vis lav Værdi og vekslede Paavirkningerne, indtil Forbindelsens Dødgang blev konstant. Derefter gik man et Trin op med Paavirkningerne

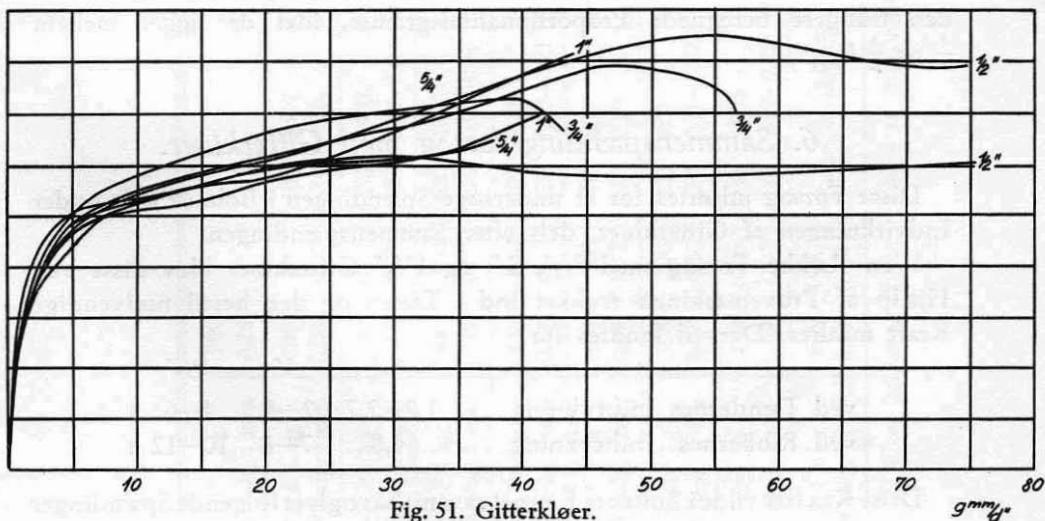


Fig. 51. Gitterkløer.

og vekslede igen indtil Dødgangen blev konstant, og saaledes fortsattes, indtil man naaede en Belastning, der efter et passende Antal Paavirkninger stadig gav voksende Dødgang. Forsøgene udførtes med forskellige Træsorter og Resultaterne er anført i Tabel XVII.

I Fig. 52 er vist det fundne Forløb af Glidning og Belastning under en saadan Belastningscyklus.

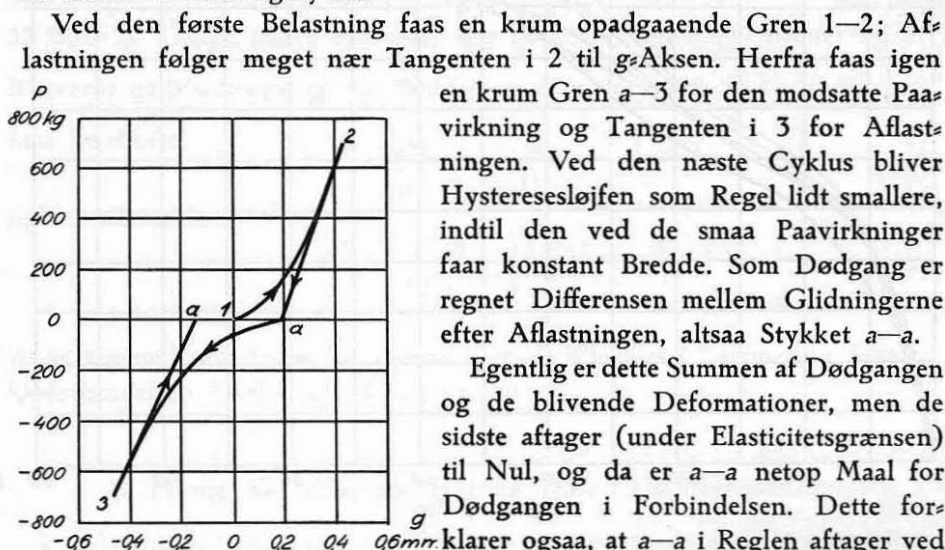


Fig. 52.

Ved den første Belastning faas en krum opadgaaende Gren 1—2; Aflastningen følger meget nær Tangenten i 2 til g -Aksen. Herfra faas igen en krum Gren a—3 for den modsatte Paavirkning og Tangenten i 3 for Aflastningen. Ved den næste Cyklus bliver Hysteresesløjfen som Regel lidt smallere, indtil den ved de smaa Paavirkninger faar konstant Bredde. Som Dødgang er regnet Differensen mellem Glidningerne efter Aflastningen, altsaa Stykket a—a.

Egentlig er dette Summen af Dødgangen og de blivende Deformationer, men de sidste aftager (under Elasticitetsgrænsen) til Nul, og da er a—a netop Maal for Dødgangen i Forbindelsen. Dette forklarer ogsaa, at a—a i Reglen aftager ved de første Belastningscykler. Dødgangen i sig selv vil naturligvis have en Tendens til at vokse, men først over en vis kritisk Belastning vil Dødgangen vedblive at vokse.

De fundne Værdier af denne kritiske Belastning P_0 slutter sig nær til den tidligere beregnede Proportionalitetsgrænse, idet de ligger mellem $\frac{1}{3}$ og $\frac{1}{2} P_{\max}$.

6. Sammenspændingsforsøg med Gitterkløer.

Disse Forsøg udførtes for at undersøge Spændingen i Boltene dels under Indvirkningen af Gitterkløer, dels efter Sammenspændingen.

I en Række Forsøg med $\frac{3}{4}$ " , 1" og $1\frac{1}{4}$ " Gitterkløer blev disse ved Hjælp af Prøvemaskinen trykket ind i Træet, og den hertil nødvendige Kraft maalt. Derved fandtes for

	$\frac{3}{4}$ "	1"	$1\frac{1}{4}$ "
ved Tændernes Indtrykning....	1,2—2,7	2—4	4—6 t
ved Ribbernes Indtrykning....	4,8	7—8	10—12 t

Disse Kræfter vilde i Boltens Kærnetværsnit have givet følgende Spændinger

Tabel XVII.
Tryk — Trækforsøg.

$\pm P$ i kg Dødg. i mm	700 0,24							P_o kg	P_{max} kg	$\frac{P_o}{P_{max}}$	Bemærknin- ger om Brud	
$\pm P$ i kg Dødg. i mm	700 0,08	900 0,09	1100 0,14	1300 0,16	1500 0,23—0,33			1300	31500	0,41	Flydning	
$\pm P$ i kg Dødg. i mm	750 0,17	1000 0,30	1250 0,63	1500 0,84—1,11	1750 1,96—3,28			1250	24580	0,51	Flækning	
$\pm P$ i kg Dødg. i mm	400 0,08	500 0,09	600 0,10	1000 0,35—0,46				mellem 600 og 1000	1783	0,34 á 0,56	Flydning	
$\pm P$ i kg Dødg. i mm	400 0,12	600 0,19	800 0,29	900 0,33—0,43				800	1740	0,46	Flydning	
$\pm P$ i kg Dødg. i mm	400 0,09	500 0,12	600 0,15	800 0,29	900 0,41—0,46	1000 0,62—0,69		800	2130	0,37	Flækning	
$\pm P$ i kg Dødg. i mm	500 0,07	700 0,10	800 0,13	900 0,18—0,22	1000 0,27—0,34	1100 0,48—0,51	1200 0,58—0,70	800	2258	0,35	Flækning	
$\pm P$ i kg Dødg. i mm	750 0,09	1000 ¹⁾ 0,07	1250 0,10	1500 0,20—0,25	1750 0,47—0,70			1250	3703	0,33		
$\pm P$ i kg Dødg. i mm	800 0,13	1400 ²⁾ (0,27)	Forsøget afbrudt						over 800	3420	over 0,29	

¹⁾ Efter 3 Døgns Hvile. ²⁾ Kun to Maalinger.

ved Tændernes Indtrykning 700—1400 kg/cm²
 ved Ribbernes Indtrykning 1700—2500 —

der viser, at under den sidste Del af S sammenspændingen kan der meget godt blive Mulighed for Flydning i Bolten. Dette blev da ogsaa bekræftet ved en Forsøgsrække, hvor S sammenspændingen skete som i Praksis, altsaa ved Hjælp af Bolten selv. Ved Hjælp af det tidligere omtalte Rør (Side 53) kunde man under S sammenspændingen maale Spændingen i Bolten ved Berrymaaler. Henføres de maalte Spændinger til Kærnetværsnittet, fandtes for $\frac{3}{4}$ " Bolte ved Tændernes Indtrykning 1300—1400 kg/cm² og ved Ribbernes 2800 kg/cm², der viser, at Flydning finder Sted under den sidste Del af S sammenspændingen. S sammenspændingen udførtes paa forskellig Maade, dels ved Smøring af Gitterkløerne med Olie for at lette Indtrykningen, dels under Bankning for at ophæve Friktionen; men der var ingen Forskel i Kraftanvendelsen.

Spændingens Forløb efter S sammenspændingen fremgaar af Resultaterne fra 3 Forsøg, angivet i Fig. 53.

Det ses, at Spændingen i Løbet af ca. 4 Døgn aftager til Halvdelen af Begyndelseshærdien og efter 3 Uger kun andrager Trediedelen.

I Fig. 54, som har logaritmisk Abscisse, er angivet Resultaterne af et Forsøg, der strakte sig over et længere Tidsrum. Forbindelsen blev her samlet af Træ, som havde ligget i Vand i 3 Maaneder, hvorved det havde faaet et Vandindhold paa 120 % efter Vægt. Kurve 1 viser Spændingens Forløb under Samlingens Udtørring. I Figuren er angivet, om Lokalet var opvarmet (Centralvarme) eller ej. Efter 4 Maaneders Forløb var Forbindelsen blevet ganske spændingsløs og efter at have staaet saadan i 1 Maaned blev S sammenspænding atter foretaget paa den nu ganske tørre Forbindelse og Kurve 2 viser Spændingens Forløb herefter. Den aftager ogsaa efter ca. 4 Maaneder til en meget lav Værdi, der efter Opvarmningens Ophør

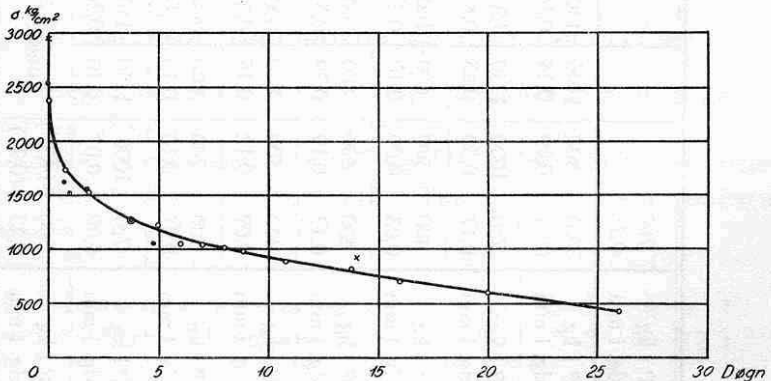


Fig. 53.

igen vokser paa Grund af Træets Optagelse af Fugtighed. Ved Opvarmningens Begyndelse tørrer Forbindelsen igen, og Svindet bringer Spændingen ned til Nul i Løbet af en Maanedes Tid. De forskellige Bølger paa

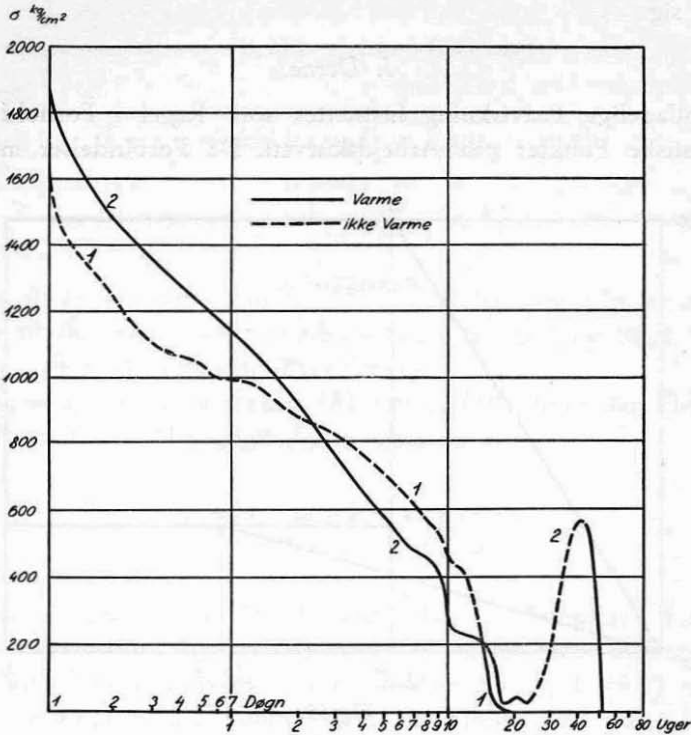


Fig. 54.

Kurverne skyldes Variationen i Luftens og dermed Tømmerets Fugtighedsgrad. Særlig bemærkes den sidste Del af Kurve 2, der viser, hvordan Opvarmningens Ophør bringer Fugtighedsgraden til at vokse saa meget, at Træets Udbulning giver den praktisk taget spændingsløse Bolt en ret betydelig Spænding, der dog hurtigt forsvinder ved næste Varmeperiode.

7. Praktiske Anvendelser.

I det foregaaende er de forskellige Træforbindelsers Brud- og Flydegrænser bestemte ved Beregning og Forsøg. Hermed er Grundlaget givet for Fastsættelsen af de tilladelige Paavirkninger. Skønt denne Fastsættelse mere er et psykologisk-økonomisk Problem end et statisk og derfor skal behandles i Normudvalget, skal der her gøres nogle Bemærkninger dertil, da Bæreevnen af Træforbindelser afhænger af de bestemmende Størrelser paa mere indviklet Maade end sædvanlig. Mellem Forholdene ved Jern-

beton og Træforbindelser er der dog visse Lighedspunkter, idet Bæreevnen i begge Tilfælde afhænger af to Materialer af saa forskellig Karakter, at man ved disse Materialer har meget forskellig Sikkerhed, naar de anvendes hver for sig.

I. Dorne.

Den tilladelige Paavirkning fastsættes som Regel i Forhold til visse karakteristiske Punkter paa Arbejdskurven. Da Forbindelser med Dorne

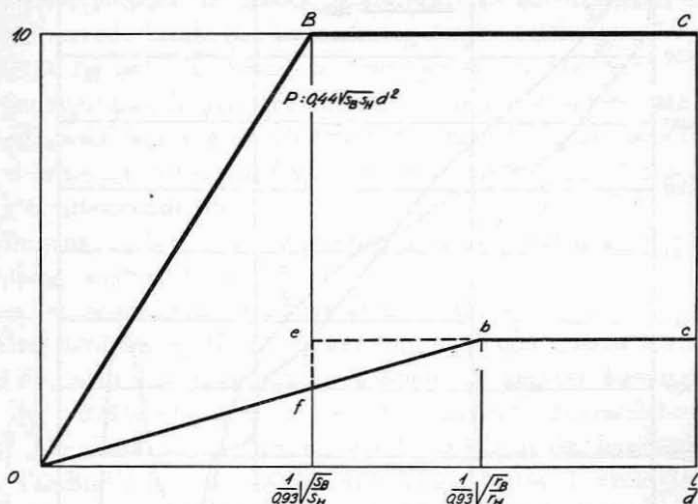


Fig. 55.

af haardt Staal ikke opviser saadanne (jfr. Kap. 5 C), er Brudgrænsen P_{\max} det naturlige Udgangspunkt. Af Forsøgene i Kap. 5 E og den i Kap. 5 B beregnede Proportionalitetsgrænse ses, at den tilladelige Værdi ikke bør overskride $P_{\max} : 3,5$.

Betragtes nu Formlerne (1) og (3) for P_{\max} , kan disse fremstilles i Fig. 55, hvor $l : d$ er Abscisse, $P_{\max} : 0,44 \sqrt{s_B s_H} d^2$ Ordinater. OB svarer til (1). BC til (3). Af (1) ses, at P_{\max} kun afhænger af s_H , altsaa alene af Træet, saa man maa forlange samme Sikkerhed her som ellers for Træ, f. Eks. 6. Da vil Of , hvis Ordinater er $\frac{1}{6}$ af OB 's fremstille den tilladelige Paavirkning svarende til (1). I (3) afhænger P_{\max} baade af s_B og s_H , altsaa baade af Dorn og Træ, og Sikkerhedsgradens Størrelse er ikke umiddelbart indlysende. Ifølge ovennævnte bør den tilladelige Paavirkning dog ikke overskride $P_{\max} : 3,5$, saa $e c$ med Ordinater lig BC 's divideret med 3,5 vil fremstille en øvre Grænse for den tilladelige Værdi. Hele Linien $e-c$ kan dog ikke godt anvendes paa Grund af Springet $f-e$, saa man nødvendigvis maa indføre en variabel Sikkerhedsgrad for at faa en kontinuert

Overgang. Dette kan naturligvis gøres paa mange Maader, men Forlængelsen af $o-f$ til Skæring med $e-c$ i b vil være den naturligste, da $o-b-c$ fremstilles ved Udtryk, der svarer til $O-B-C$. For $o-b$ faas

$$P = \frac{1}{6} \cdot 0,414 \cdot s_H l d = 0,414 r_H l d$$

og for $b-c$

$$P = \frac{1}{3,5} \cdot 0,442 \sqrt{s_H s_B} d^2 = 0,442 \sqrt{r_H r_B} d^2$$

$$\text{hvor } r_H = \frac{1}{6} s_H \text{ og } r_B = \frac{1}{2} s_B$$

Det har altsaa vist sig, at indføres de tilladelige Spændinger r_H og r_B , der svarer til de sædvanlige Sikkerhedsgrader for Træ og Staal, i (1) og (3), faas en passende tilladelig Paavirkning.

For 2-Snits Forbindelser gælder (8), (9) og (10), hvor den ubekvemme Formel (9) med stor Nøjagtighed kan erstattes af

$$P = \left(\frac{1}{4} s_H l^2 + \frac{3}{5} s_B d^2 \right) \sqrt{\frac{s_H}{s_B}}. \quad (9a)$$

I Fig. 56 er paa samme Maade som i Fig. 55 Formlerne for 2-Snits Forbindelser fremstillet, Formel (8) svarer til en ret Linie mellem OA og $O'A'$ eller disse selv, naar m henholdsvis er $2l$ og l . (9a) svarer til $A(A')B$ og (10) til BC . Punktet B er det samme som i Fig. 55 og da Kurverne ligger over den rette Linie OB , ses heraf, at naar $d > 0,93 \sqrt{\frac{s_H}{s_B}} l$ er 2-Snits Forbindelser stærkere end 2 tilsvarende 1-Snits Forbindelser, og naar $d \leq 0,93 \sqrt{\frac{s_H}{s_B}} l$, er Styrken den samme.

Som før faas den tilladelige Paavirkning fremstillet ved $o-a$ og $o-a'$ med 6 Gange Sikkerhed og $b-c$ med 3,5 Gange Sikkerhed. For at undgaa Spring maa der indføres en mellem 6 og 3,5 varierende Sikkerhedsgrad, og dette gøres som før naturligst ved rent formelt at indføre de tilladelige Spændinger i Formlerne, altsaa

$$P = \begin{cases} 2r_H d l & m \geq 2l \\ r_H d m & m \leq 2l \end{cases}$$

$$P = \left(\frac{1}{4} r_H l^2 + \frac{3}{5} r_B d^2 \right) \sqrt{\frac{r_H}{r_B}}$$

$$P = 0,885 \sqrt{r_B r_H} d^2.$$

Ved de tidligere angivne Grænser for d kunde man paa Forhaand afgøre hvilken Formel der i hvert Tilfælde skal benyttes. Det er dog lige saa hurtigt at beregne P af dem alle. Den mindste Værdi er den rigtige. I Praksis vil der som Regel kun blive Brug for de to sidste.

Da Ordinaterne i Fig. 55 og 56 er proportionale med Forholdet mellem Bæreevne og Dornareal, vil den største Ordinats, d. v. s. $b-c$ give den

største Udnyttelse. Man bør derfor vælge $d \leq 0,93 \sqrt{\frac{r_H}{r_B}} l$.

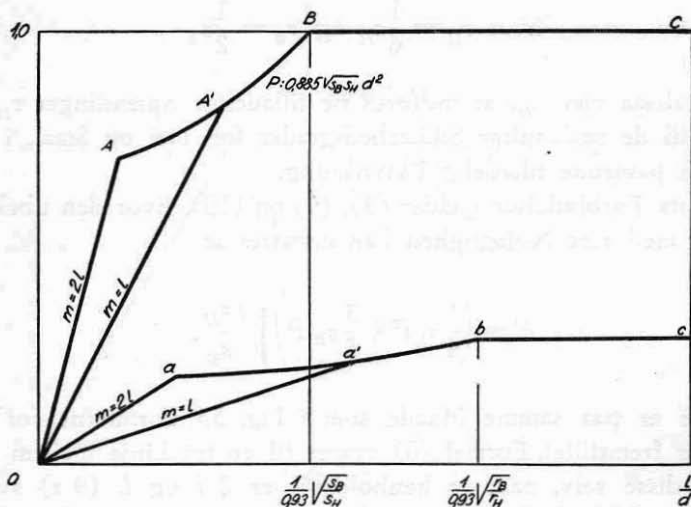


Fig. 56.

Af Formel (27) Side 73 findes, naar $P:P_{\max}$ varierer fra 1:3,5 til 1:6 at $g:d$ varierer fra 1:25 — 1:70, der viser, at Forbindelsen bliver jo stivere jo mindre d vælges. Mange spinkle Dorne giver altsaa baade en mere økonomisk og stiv Forbindelse end færre svære Dorne.

Da kun de to sidste Formler anvendes i Praksis og d bør vælges i Nærheden af ovenfor angivne Værdi vil Sikkerhedsgraden hyppigt være 3,5 og Glidningen derfor

$$\underline{g = 0,04 d.}$$

II. Bolte.

Da 1 $\frac{1}{2}$ -Snits Forbindelser har nøjagtig den halve Bæreevne af 2 $\frac{1}{2}$ -Snits, kan man indskrænke Undersøgelsen til f. Eks. 2 $\frac{1}{2}$ -Snits Forbindelser.

Den tilladelige Paavirkning kan dels sættes i Forhold til Flydegrænsen

$$P_F = 0,885 \sqrt{s_B s_H} d^2 \quad (13)$$

og dels i Forhold til Brudgrænsen P_{\max} , der med $\mu = \frac{2}{3}$, $s_B = 1,7 s_F$ og $d_1 = 0,8d$ ifølge (14) bliver

$$P_{\max} = (0,885 \sqrt{s_B s_H} + 0,4 s_B) d^2. \quad (14a)$$

For blødt Staal er $s_B = 4000 \text{ kg/cm}^2$ og for Fyr $s_H = 300 \text{ kg/cm}^2$, saa

$$P_F = 970 d^2, \quad P_{\max} = 2570 d^2, \quad P_{\max} : P_F = 2,65.$$

Proportionalitetsgrænsen bliver ifølge (24)—(26) med $\sigma_H = 0,7 s_H$

$$P = 2 l_n \cdot 0,7 s_H \cdot d = a \cdot 0,7 \cdot s_H \cdot d = 2,5 \cdot 0,7 s_H \cdot d^2 = 525 d^2$$

$$P_F : P = 1,85; \quad P_{\max} : P = 4,9.$$

Vælges f. Eks. Sikkerheden 2 mod Flydning faas

$$P_{\text{till}} = 485 d^2,$$

der ligger lidt under Proportionalitetsgrænsen og giver Sikkerheden 5,3 mod Brud.

Indføres d i Tommer og P i t , faas $P = 3d^2$ eller

$$\underline{1,5 d^2 \text{ pr. Snit.}}$$

$$\text{Af (28) findes for } \frac{P}{P_F} = 0,5 \quad \underline{g^{\text{cm}} = \frac{1}{4} d''}$$

eller naar g og d regnes i samme Maal $g = 0,1 \cdot d$, altsaa 2,5 à 7 Gange Glidningen ved Dorne.

I den tidligere Forsøgsrække fandtes for normalt spændte Bolte, der ikke passede stramt i Hullerne og prøvet umiddelbart efter Sammen-spændingen

$$P_F = 1 + 1,6 d^2,$$

medens de her omhandlede Forsøg med spændingsløse, men stramt passende Bolte, giver

$$P_F = 6 d^2.$$

Ved $\frac{1}{2}''$ Bolte faas omtrent samme P_F , men ved $\frac{3}{4}''$ er P_F omtrent det dobbelte for de stramt passende Bolte.

III. Bolte og Gitterkløer.

Af (17) med $A_n = 4d^2$ faas for 2-Snits Forbindelser

$$P_F = (0,885 \sqrt{s_B s_H} + 4 s_H) d^2$$

$$P_{\max} = (0,885 \sqrt{s_B s_H} + 4 s_H + 0,4 s_B) d^2.$$

Med de foregaaende Værdier for s_H og s_B faas

$$P_F = (970 + 1200)d^2 = 2170d^2$$

$$P_{\max} = 3770d^2 \quad P_{\max} : P_F = 1,74.$$

Det ses, at P_F nu bestemmes ved to Bidrag, hvor det første er det i Boltens stammende, medens det sidste er Gitterkløernes Bidrag. For det første Led kan den tilladelige Værdi som før sættes lig Halvdelen. Det sidste Led afhænger direkte af Træets Styrke og indirekte af Gitterkløernes, der er af Blødstøbegods, saa man for saa vidt burde have en Sikkerhed større end 2 for dette Led. Ved Bestemmelsen af det effektive Indtrykingsareal A_n som en vis Brøkdel af det teoretiske A , kan det siges at en væsentlig Faktor i Sikkerhedskoefficienten allerede er taget i Betragtning, saa man ogsaa for dette Led kan sætte den tilladelige Værdi til Halvdelen.

Idet man saaledes regner med $\frac{1}{2} \cdot 4d^2 s_H = 2d^2 s_H$, og den teoretiske Værdi er $A \cdot s_H$, hvor A for Gitterkløer kan sættes til $11d^2$ (Tab. II), faas $11d^2 s_H$, saa man faktisk har Sikkerheden 5,5 heroverfor.

Regnes saaledes med Sikkerheden 2 for P_F , faas

$$P_{\text{till}} = 1085d^2,$$

der giver Sikkerheden 3,5 mod Brud.

Indføres d i Tommer og P i t , faas $P = 6,8d^2$ eller

$$\underline{3,4d^2 \text{ pr. Snit.}}$$

Af (29) findes for $\frac{P}{P_F} = 0,5$, $g^{\text{cm}} = 0,11d''$, eller naar g og d regnes samme Maal $g = 0,044d$, altsaa omtrent som for Dorne.

Ved de tidligere Forsøg med spændte Bolte i store Huller fandtes

$$P_F = 1 + 6,6d^2,$$

medens de foreliggende giver

$$P_F = 13,6d^2.$$

Gitterkløernes Bidrag har altsaa i første Tilfælde været

$$1 + 6,6d^2 - (1 + 1,6d^2) = 5d^2$$

og i sidste

$$(13,6 - 6)d^2 = 7,6d^2.$$

altsaa betydeligt større, naar Boltene passer stramt i Hullerne. Dette kan skyldes, at naar Hullerne er for store, skal Gitterkløerne alene optage

Kraften, indtil Glidningen er blevet saa stor, at Boltene lægger an i Hullerne og da optager deres Del af Kraften, men da kan Gitterkløerne allerede være delvis ødelagt.

Sammenligningen viser saaledes overordentlig tydeligt den store Fordel ved at anvende Boltene stramt passende i Hullerne.

Liste over Betegnelser.

s_C	Prismestyrke af Træ \neq Fibrene	P_N	Normalkraftens Bidrag
$\sigma_H = \frac{P}{d}$	Hulrandstryk	G, L	Bæreevne af Gitterklo eller Indlæg alene
s_H	Brudværdi af σ_H	A, A_n	Indtrykningsareal, nyttigt Indtrykningsareal
r_H	Tilladelig Værdi af σ_H	A_R, A_T	Indtrykningsareal af Ribber, Tænder ved Gitterklo
s_B	Bøjningsmodulus for Dorn eller Bolt	d	Diameter af Dorn eller Bolt
r_B	Tilladelig Værdi af s_B	d_1	Kærnediameter af Bolt
s_F	Trækflydegrænse af Dorn eller Bolt	b	Bredde af Tømmer (\perp Dorn eller Bolt)
μ	Friktionskoefficient Træ mod Træ	m	Tykkelse af Tømmer (\neq Dorn eller Bolt)
E	Elasticitetskoefficient	l	Tykkelse af Lasker (\neq Dorn eller Bolt)
M	Moment i Dorn eller Bolt	e	Ekscentricitet
Q	Transversalkraft i Dorn eller Bolt	g	Glidning
F	Tværsnitsareal af Dorn eller Bolt	y	Indtrykning af Dorn
I	Inertimoment af Dorn eller Bolt	$K = p : y$	Indtrykningskoefficient (kg/cm^2)
W	Modstandsmoment af Dorn eller Bolt	$k = \sigma_H : y = K : d$	Indtrykningskoefficient (kg/cm^3)
p	Belastning pr. Længdeenhed af Dorn eller Bolt	$a = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K}}$	
P_D	Dorngrænse	$\alpha = \frac{\delta P}{\delta g}$	
P_g	Glidegrænse	$l_n = P : p_{\max}$	
P_f	Flydegrænse		
P_{\max}	Brudgrænse		

Efterskrift.

Ved Dimensionering af Træforbindelser har man hidtil været henvist til Regler, der hverken ved Teori eller Forsøg var tilfredsstillende underbygget. De hidtil udførte Forsøg har for en stor Del bestaaet i en rent empirisk Bestemmelse af de moderne Forbindelsesmidlers Bæreevne. Saaledes udførte Professor A. Ostenfeld i 1931 efter Anmodning udefra Forsøg med Gitterkløer, der er offentliggjort i Laboratoriets Meddelelse Nr. 6. I 1932 udførte Laboratoriet efter Henvendelse fra Generaldirektorater for Post- og Telegrafvæsenet en omfattende Forsøgsrække med Dornforbindelser.

Under dette Arbejde blev det klart, at en rationel Undersøgelse af Træforbindelser i det hele taget var stærkt paakrævet, og at en Teori for Træforbindelser vilde være til stor Støtte ved Forsøgenes videre Planlægning, idet man derved faar Indblik i, hvordan Træforbindelsers Bæreevne afhænger af Træets og Forbindelsesmidlernes Egenskaber, et Indblik, der ogsaa er nødvendigt ved Fastsættelsen af de tilladelige Paavirkninger. Det blev derfor i 1933 besluttet at tage disse Undersøgelser op.

Disse Forsøg, som nu offentliggøres, er udført i Lighed med de tidligere Arbejdslinier og Flydegrænser er bestemt paa de i Meddelelse Nr. 6 nærmere beskrevne Maader. Der blev undersøgt baade Dorn- og Bolteforbindelser samt Forbindelser med Indlæg, idet der blev anvendt Gitterkløer som Repræsentant for de forskellige Indlæg, der findes.

Der angives Formler for Bæreevnen af de undersøgte Træforbindelser, samtidig med at der anføres mindste Maal for Træstykkernes Dimensioner og mindste Afstande mellem Forbindelserne og fra disse til Stykkernes Kanter.

Forsøgene fortsættes med Sømforbindelser, som i det væsentlige kan behandles ud fra de Synspunkter, der gælder for de undersøgte Forbindelser, men som dog har saadanne Særegenskaber, at nye Forsøgsrækker er nødvendige.

Forsøgene er udført og bearbejdet af Laboratoriets videnskabelige Medarbejder, Civilingeniør K. W. Johansen, der ogsaa har udviklet Teorien for Træforbindelser. Civilingeniørerne O. Palle, Bent Møller, C. J. Schiær, Gustav Hansen, Just Sørensen, Martin Jensen samt Laboratiemester Aage Nielsen har bistaaet ved Arbejdets Udførelse. Samtlige Tegninger er udført af Civilingeniør Martin Jensen.

København, Juni 1941.

Laboratoriet for Bygningsstatik.