DTU Bibliotek

Denne fil er downloadet fra

Danmarks Tekniske Kulturarv

www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på *www.tekniskkulturarv.dk/about*

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*

DTU Bibliotek Danmarks Tekniske Universitet | Anker Engelunds Vej 1 2800 Kgs. Lyngby | Tlf. 45 25 72 50 | bibliotek@dtu.dk www.bibliotek.dtu.dk

/5

MEDDELELSE Nr. 4
FRA
POLYTEKNISK LÆREANSTALTS LABORATORIUM
FOR BYGNINGSSTATIK

FORSKELLIGE ARBEJDER
1928–29

AF

A. OSTENFELD

KØBENHAVN
TRYKT HOS J. JØRGENSEN & CO. • IVAR JANTZEN
1930

MEDDELELSE NR. 4
FRA
POLYTEKNISK LÆREANSTALTS LABORATORIUM
FOR BYGNINGSSTATIK

FORSKELLIGE ARBEJDER
1928–29

AF
A. OSTENFELD

KØBENHAVN
TRYKT HOS J. JØRGENSEN & CO. • IVAR JANTZEN
1930

INDHOLDSFORTEGNELSE

		Side
I.	Spændingsmaalinger paa Broen over Roskilde Fjord ved Frederikssund	1
II.	Spændingsmaalinger paa Masnedsundbroen	5
III.	Søjleforsøg med T-formede Flangeprofiler	13
IV.	Modelforsøg med Rigler til Alssundbroen	15
V.	Forsøg med en [-Jærns Søjle af Krupp-Staal	16
VI.	Forsøg med »Gitterklo«-Tømmerforbindelser, System »Mjølner«	17
VII.	Forsøg med Søjler af friskfældet dansk Gran	20
VIII.	Spændingsmaalinger paa en Jærnbeton-Etageadskillelse, Bragesgades Under-station	21

Foruden det fortløbende egentlige Forsøgsarbejde har Laboratoriet i de tre Aar, der nu er forløbne siden dets Oprettelse, udført en Del Undersøgelser af mere tilfældig Natur, som oftest efter Anmodning af Institutioner eller Private udefra. Om de første af disse Arbejder — Spændingsmaalinger paa Højbro i København og Søjleforsøg med Flangeprofiler til Kalundborg Radiotaarne — er der berettet i »Meddelelse Nr. 1« fra Laboratoriet. Her skal nu gives nogle korte Meddelelser om en Række senere udførte Undersøgelser af lignende Art.

Disse Undersøgelser falder i to væsentlig forskellige Klasser: Forsøg i selve Laboratoriet med Konstruktionsdele eller Modeller af saadanne, eller Maalinger paa færdige Konstruktioner udenfor Laboratoriet. Til de sidstnævnte Maalinger raades der nu over et ikke ubetydeligt Materiel, nemlig foruden de i »Meddelelse Nr. 1« (S. 16—17) opregnede Instrumenter:

4 Stkr. Huggenberger (Model B) Spændingsmaalere,
3 » » (Model A; finere, til Brug i Laboratoriet),
6 » Stoppani-Okhuizen Spændingsmaalere;
ialt haves saaledes nu 20 Stkr. af disse Spændingsmaalere (+ 3 Huggenberger »A«).
2 » Stoppani-Nedbøjningsmaalere (nu ialt 6),
1 » Lehmann & Michels Vibrograf (System Geiger), ogsaa anvendelig som Spændings-Svingningstegner).

I. *Spændingsmaalinger paa Frederikssundbroen.*

Efter Anmodning af de *Danske Statsbaner* foretoges d. $^{28}/_{6}$ 1928 en Belastningsprøve med omfattende Spændings- og Nedbøjningsmaalinger paa *Jærnbanebroen over Roskilde Fjord ved Frederikssund.* Maalingerne, der udførtes paa det faste Brofag nærmest Frederikssund, omfattede:

a. Spændingsmaalinger i de fra Knudepunkt 2 (se Fig. 1) udgaaende Stænger,

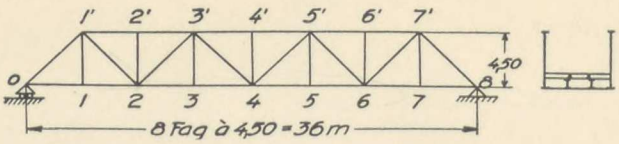


Fig. 1.

b. Maaling af de relative vandrette Udbøjninger af alle Hovedets Knudepunkter og en samtidig Spændingsmaaling i Knudepunkt 4',

c. Nedbøjnings- og Svingningsmaalinger i Knudepunkt 4 for forskellige Toghastigheder.

Som Belastningstog anvendtes et Lokomotiv med 4 Axeltryk à ca. 12,5 t og tre Broprøvevogne, hver med to Axeltryk à 9,025 t. Navnlig for Maalingerne under *b*) vilde et betydelig sværere Belastningstog have været ønskeligt.

a. Spændingsmaalingerne ved Knudepunkt 2 udførtes (med Okhuizen-Huggenberger-Apparater) i et Tværsnit i hver af de 4 Stænger (ikke Vertikalen) lige udenfor Knudepladen, og i saa mange Punkter af hvert Tværsnit (for Diagonalerne 4, for Flangestængerne 6, nemlig 3 for hver Halvdel), at den virkelige Spændingsfordeling kunde fastslaas, naar man blot gik ud fra den sædvanlige Forudsætning, at Tværsnittene holder sig plane. De maalte Spændinger ses for Diagonalernes Vedkommende i Fig. 2 (de paaskrevne Tal er: kg/cm²), for Foden i Fig. 3.

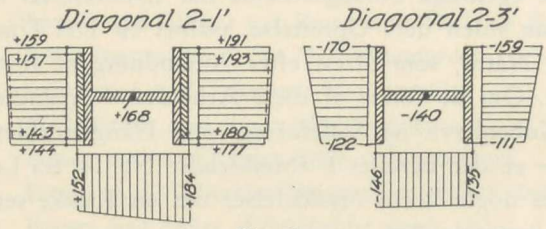


Fig. 2.

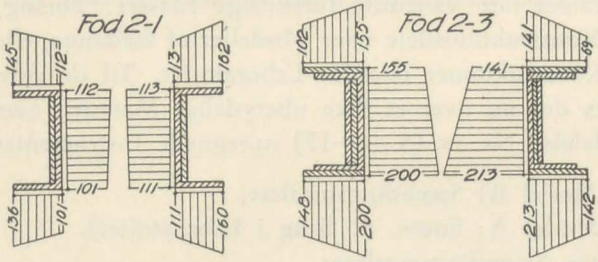


Fig. 3.

For den ved Maalingen anvendte Belastningsstilling beregnedes Spændingerne saa nøjagtigt som muligt, under Hensyn til alle, ogsaa sekundære Aarsager, der blot kunde talmæssigt angives. For *Diagonalerne* fandtes en meget tilfredsstillende Overensstemmelse, nemlig:

Diagonal Nr.	2—1	2—3
beregnet Grund-(Tyngdept.-)spænding, kg/cm²	+ 185	— 135
maalt » » » »	+ 168	— 140
beregnet sekundær Bøjningsspænding (i Dragernes Plan) kg/cm²	± 7,1	± 33
maalt » » » »	± 7,3	± 24

De her opførte beregnede sekundære Bøjningsspændinger er reducerede til at gælde for Maaletværsnittet ved Hjælp af den af *Roš* angivne Methode [1]). Der er i Beregningen derimod ikke taget Hensyn til Skinnedragernes (og Skinnernes, svejsede Stød) Kontinuitet og den deraf følgende Omfordeling af Hjultrykkene.

For *Dragerfoden* er det vanskeligere at tage alle de optrædende sekundære Virkninger med i Beregningen og derfor vanskeligere at paavise en lignende god Overensstemmelse [2]). Tager man Hensyn til den Aflastning af Flangen, der hidrører fra Skinnedragernes Medvirkning som Del af Dragerfoden, fra de krydsende Vinddrager-Diagonaler, Friktionen i Rullelejet og fra 10 kg/m² Vindtryk (det blæste temmelig stærkt under Maalingerne, og disse foretoges paa den luv-Drager), kommer man til følgende Tal:

Stang Nr.	1—2	2—3
beregnet Grund-(Tyngdept.-)spænding, kg/cm²	130	208
maalt » » » »	109	178

De beregnede Spændinger burde yderligere formindskes under Hensyn til Aflastningen ved de kontinuerlige Skinnestrenge og Trottoir-[-Dragere, men da disse Deles Forbindelse med Dragerfoden er mindre sikker, har det ikke kunnet gøres blot nogenlunde paalideligt. En nøjagtig Beregning af de sekundære Bøjningsmomenter i Dragerplanen, hvorved der tages Hensyn til Fodens Aflastning ved alle de nævnte Virkninger, er næsten haabløs.

Derimod ses det tydeligt i Fig. 3, at der optræder en Bøjning i vandret Plan af hver af Fodens to Halvdele for sig; til venstre for Knudepunktet (Stang 1—2) bøjer de to Halvdele sig bort fra hinanden (Træk udvendig), til højre ind mod hinanden (Træk indvendig). Som det har kunnet paavises ved en omtrentlig Beregning, der i alt Fald fører til de rigtige Krumningsretninger, Fortegn og Størrelsesorden af Spændingerne, er Forklaringen heraf den, at hver Flange-Halvdel for sig paavirkes excentrisk af Krafttilvæxten fra Knudepladerne, og at denne Excentricitet ikke er tilstrækkelig neutraliseret ved Tværplade-Forbindelser.

b. De *relative vandrette Udbøjninger af Dragerhovedets Knudepunkter* maaltes ved *Zivy*-Nedbøjningsmaalere (i to af Knudepunkterne dog ved *Mettler* og *Griot*) ved Hjælp af Staaltraade, udspændte tværs over Broen. Maalingen gentoges for tre forskellige Belastninger, af hvilke I var symmetrisk om Broens Midte, II og III indbyrdes symmetriske med Hensyn

[1]) Bericht der Gruppe V der T. K. V. S. B., Zürich 1922; se ogsaa Tekn. Statik II, S. 401.

[2]) Smlgn. ogsaa *Roš:* Nebenspannungen infolge von vernieteten Knotenpunkten (Texten til Taf. 51).

til Midten; alle tre Belastninger bestod alene af de tre Broprøvevogne, da Lokomotivet ikke kunde køre under de udspændte Traade. Udbøjningerne beregnedes[1]) dels under Forudsætning af Kontinuitet af Flangen i Punkterne 1 og 7, dels under Forudsætning af Afbrydelser her; der fandtes exempelvis for Belastning III:

Knudepunkt Nr.	1	2′	3	4′	5	6′	7
maalt Udbøjn. . . . . mm	+1,08	+1,25	+1,33	+0,99	+0,45	+0,08	−0,15
beregn. » (Kontin. i 1 og 7), mm	+1,19	+1,18	+1,09	+0,80	+0,36	+0,05	−0,10
» » (Afbryd. » »), mm	+1,44	+0,86	+1,09	+0,86	+0,40	+0,06	−0,11

Overensstemmelsen er meget respektabel, hvorved maa erindres, at 2den Decimal ($\frac{1}{100}$ mm) i de maalte Værdier kun er skønnet, og at de udspændte Traades Temperaturvariationer neppe har været helt uden Indflydelse, selv om denne, saaledes som Maalingerne udførtes, ikke kan have været stor. Forudsætningen om Kontinuitet i Punkterne 1 og 7 giver maaske nok de bedste Resultater (især for de største Udbøjninger), men Forskellen er ikke saa stor, at der kan siges at være Grund til at gaa bort fra den simpleste Beregningsmaade (med Afbrydelser).

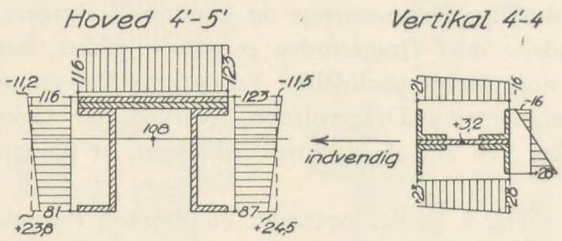


Fig. 4.

De samtidig udførte *Spændingsmaalinger* ved Knudepunkt 4′ (i Stang 4′—5 og 4—4′) gav en lignende god Overensstemmelse med Beregningen som den, der ovenfor fandtes for Diagonalerne i Punkt 2. Resultaterne af Maalingen med Belastning III ses i Fig. 4; en Sammenligning med Beregningen giver (Tallene er kg/cm²):

	Dragerhovedet							Vertikal	
	Grundsp. $\frac{1}{2}$(I+II)	Sek. Bøjn. i Dragerpl.				Bøjning ⊥ Dragerpl.		Grundsp. $\frac{1}{2}$(I+II)	Bøjning i Dr.pl.
		Belastn. II		Belastn. III		Belastn. II	Belastn. III		
		foroven	forneden	foroven	forneden				
beregnet	−107,4	− 12,4	+26,2	− 11,5	+24,5	±8,1 à ±5,7	±5,4 à ±4,2	0	±18
maalt . .	−103,5	− 7,0	+15.0	− 11,5	+24,5	± 9,0	± 3,5	2,5	±22

De to forskellige beregnede Spændinger, der er anført som hidrørende fra Dragerhovedets Bøjning vinkelret paa Dragerplanen, svarer til de to

[1]) Efter den nøjagtige Methode, der er angivet i »Ingeniøren« 1914, S. 475.

ovenfor omtalte Forudsætninger om Kontinuitet eller Afbrydelse i Punkterne 1 og 7.

c. Angaaende *Nedbøjnings-* og *Svingningsmaalingerne* (for Bromidten) bemærkes kun, at Nedbøjningen for den under *a*) anvendte Belastning maaltes til 8,5 mm og beregnedes (uden Hensyn til Knudepunktstivheden) til 9,8 mm, og at et af de optagne Svingningsdiagrammer ses i Fig. 5. Største »statiske« Nedbøjning under Togets Passage med forskellige Ha-

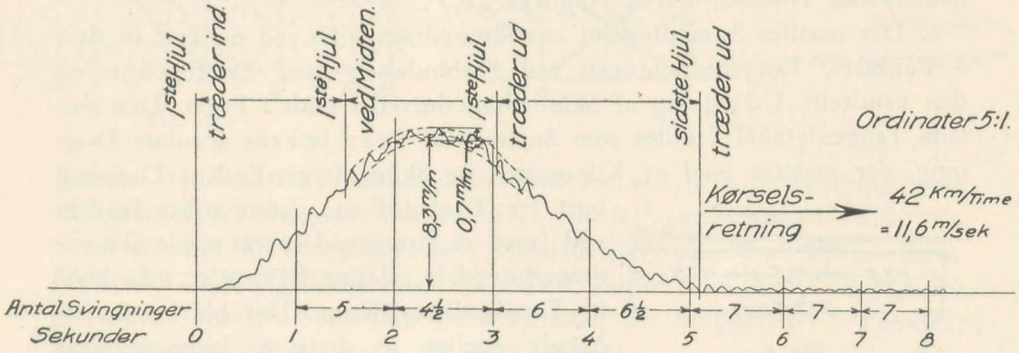


Fig. 5.

stigheder var ca. 8,4 mm; de maalte Svingninger beløb sig til 0,7 à 1,2 mm og var større ved 33 km/Time Hastighed end ved 42 km/Time, hvilket hidrører fra, at Forholdet mellem Lokomotiv-Drivhjulenes Antal Omdrejninger pr. Sek. og den belastede Bro's øjeblikkelige Svingningstal nærmede sig mere til et simpelt Tal i første end i sidste Tilfælde. Den ubelastede Bro's Svingningstal kan ses i Fig. 5 tilhøjre (efter at Toget helt har forladt Brofaget) og er ca. 7 pr. Sek.; dette stemmer meget godt med *Bresse*'s Formel [1]):

$$\tau = \frac{2}{\pi} l^2 \sqrt{\frac{g_e}{g \cdot EI_m}},$$

hvor l er Broens Længde, g_e Egenvægten pr. Drager, I_m Dragerens Middel-Inertimoment, g Tyngdens Acceleration. Med $l = 36^{\mathrm{m}}$, $g_e = 1{,}5\,{}^{\mathrm{t}}/_{\mathrm{m}}$, $I_m = 0{,}2744\ \mathrm{m}^4$, $E = 2{,}15 \cdot 10^7\,{}^{\mathrm{t}}/_{\mathrm{m}^2}$ findes heraf $\tau = 0{,}133$ Sek. = 7,5 Svingninger pr. Sek.

II. *Maalinger paa Masnedsundbroen.*

Efter Anmodning af de *Danske Statsbaner* er der to Gange udført Maalinger paa Masnedsundbroen. Første Gang (d. $^{25}/_{10}$ 1928) havde Maalingerne nærmest en orienterende Karakter, og der undersøgtes:

[1]) Se en Art. af *Hawranek* i »Der Eisenbau« 1914, S. 230.

a. Brobanebjælkerne, navnlig Skinnedragerne,
b. Gitterstængerne i Hoveddragerne,
c. Broens Svingninger i lodret og vandret Retning.

2den Gang (d. 5/9 1929) drejede det sig mere specielt om at undersøge:

d. Knæksikkerheden for Tryk-Diagonalerne i Hoveddrageren.

Som Belastning anvendtes ét eller to *P*-Lokomotiver med Tendere i tjenstfærdig Tilstand, største Axeltryk 16,5t.

a. Der maaltes Spændinger i en Skinnedragers Hoved og Fod (i alt i 4 Punkter), Tangentdrejningen ved Forbindelsen med Tværbjælken og den vandrette Udbøjning af Skinnedragerhovedet midt i Faget. Den omtalte Tangentvinkel fandtes som Summen af Tværbjælkens absolute Drejning, der maaltes med et Klinometer, og Skinnedrager-Endens Drejning bort fra Tværbjælken; denne sidste fandtes ved (med et Stoppani-Uhr) at maale Skinnedragerhovedets relative Bevægelse i Forhold til Tværbjælkens Krop. Det blev paa den Maade muligt at beregne Indspændingsmomentet, og saaledes ved Beregning kontrolere de direkte maalte Flangespændinger.

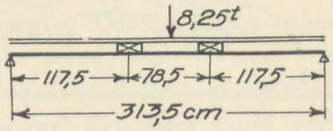


Fig. 6.

Det »simple« Moment i Skinnedrageren (se Fig. 6) var $M_0 = 484\,700$ kgcm; $I = 27\,000$ cm^4, $W = 1200$ cm^3, »simpel« Tangentvinkel $= \frac{\frac{1}{2}(M_0\text{-Areal})}{2 \cdot 10^6 \cdot 27\,000} = 0{,}00088$. Tværbjælkens absolute Drejning maaltes til 0,00014, Skinnedrager-Endens relative Drejning til 0,00043, tilsammen 0,00057. Differensen 0,00088—0,00057 = 0,00031 maa hidrøre fra Indspændingsmomentet M_1, altsaa $\frac{M_1 l}{2EI} = 0{,}00031$, $M_1 = 106\,600$ kgcm. Den virkelige Bøjningsspænding ved Midten skulde derfor være: $\frac{M_0 - M_1}{W} =$ 315 kg/cm^2, medens *Middeltallet* af de maalte Spændinger i Dragerfoden var 328 kg/cm^2.

Til denne næsten altfor gode Overensstemmelse maa dog bemærkes, at der i Beregningen ikke er taget Hensyn til det Træk i Skinnedragerne, der hidrører fra, at de maa følge med i Hoveddragerfodens Forlængelse (selvom Forbindelsen, som paavist, ikke just er helt fast). Endvidere er de to maalte Spændinger i Skinnedragerfodens to Kanter *meget* forskellige, 222 og 435 kg/cm^2, men dette kan forklares ved en vandret Bøjning af Skinnedrageren, saaledes som ogsaa virkelig konstateret ved de ovenfor nævnte Maalinger af den vandrette Udbøjning. Herved fandtes nemlig en vandret Bevægelse paa 0,66 à 0,85 mm, uden at man dog kan angive Grunden hertil.

De maalte Spændinger i Skinnedrager-Hovedet (— 149 og — 178 kg/cm²) er derimod adskilligt mindre end i Foden, hvilket sikkert hidrører fra Køreskinnens Medvirkning som Del af Dragerhovedet.

b. Spændingsmaalingerne udførtes paa de to Diagonaler 6—4′ og 5—7′ (Fig. 7*a*) og Vertikalen 6—6′, i de i Fig. 7*b* angivne Tværsnit *a*, *b*, *c* og *d*.

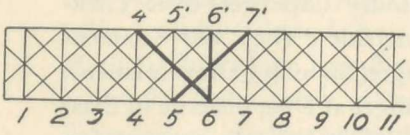


Fig. 7a.

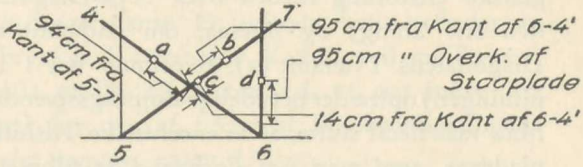


Fig. 7b.

Forreste Hjul af de to Lokomotiver stilledes ved 6, Kørselsretning mod Masnedø. Hver Diagonal bestaar af et enkelt [-Jærn (300·75·13·10 mm), nittet ensidigt til Flangernes høje Staaplader, Vertikalen af 4 Vinkeljærn (100·100·12½) i I-Form med sekundært Gitter som Krop. For hvert [-Tværsnit maaltes Spændingen i 3 Punkter, for Vertikalen i 5 Punkter; de fundne Spændinger ses i Fig. 8 (i kg/cm²).

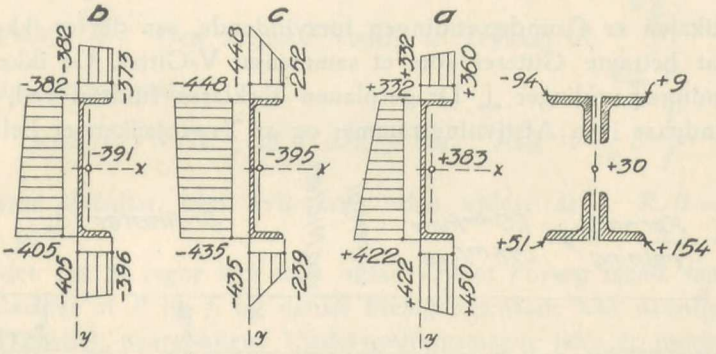


Fig. 8.

Den for et saadant tætmasket Gitter sædvanlige tilnærmende Udledelse af Diagonalspændingerne af Transversalkraften kan udføres paa lidt forskellig Maade. Her viser det sig, at man kommer meget nær til de virkelige Spændinger ved simpelthen at *fordele Fagets Transversalkraft ensformigt over de fire Stænger, der træffes af et lodret Snit*[1]). For den benyttede Togstilling er $Q_{5-6} = 55{,}3^t$, de 4 Stænger har alle samme Tværsnitsareal 47,1 cm², og $\frac{55\,300}{4 \cdot 47{,}1} \cdot 1{,}414 = 415$ kg/cm², medens de maalte

[1]) Et lignende Resultat er fundet ved flere schweiziske Maalinger, se *A. Meyer:* »Spannungsverteilung bei Füllungsgliedern von Brücken etc.«, Meddelelse ved den internationale Bro-Kongres i Zürich 1926.

Tyngdepunktsspændinger er $\frac{1}{2}(391 + 395) = 393$ og 385. — At der i Tværsnittene *b* og *c* (af samme Stang) findes næsten nøjagtigt samme Spænding, er naturligvis ikke saa mærkeligt, men en smuk Bekræftelse paa Maalingens Paalidelighed.

Derimod er det mere mærkeligt (se Fig. 8), at Spændingen er næsten ganske ensformig fordelt over Tryk-Diagonaltværsnittet *b* (midt ude paa den frie Stang) og ligesaa, om end lidt mindre udpræget, over Træk-Diagonalens Tværsnit (*a*), hvorimod der i Tværsnit *c* (lige ved Sammennitningen) optræder betydelige Bøjningsspændinger (Bøjning ⊥ Dragerplanen). Man maa heraf slutte, at de excentriske Tilslutninger af Diagonalerne til Staapladerne, som man paa Forhaand er tilbøjelig til at betragte som ret farlige, i høj Grad neutraliseres af de stive Nitteforbindelser, og at man maaske dog ikke fjerner sig saa langt fra Virkeligheden ved at *regne Tryk-Diagonalerne centralt paavirkede.* Af Spændingernes Variation fra Tværsnit *c* til Tværsnit *b* kan man ganske vist nok drage visse Slutninger om Udbøjningsliniens Form og Stangens »frie Længde«, men noget afgørende Resultat kan man dog ikke naa til alene ved disse Maalinger. Dette er netop Grunden til, at de under *d* omtalte Maalinger senere udførtes.

I Vertikalen er Grundspændingen forsvindende, saa det er ikke meget forkert at betragte Gitteret som et sammensat V-Gitter. De ikke ubetylige Bøjningsspændinger ⊥ Dragerplanen forklares fuldtud ved, at Vertikalen indgaar i en Afstivningsramme, og at Tværbjælken er belastet.

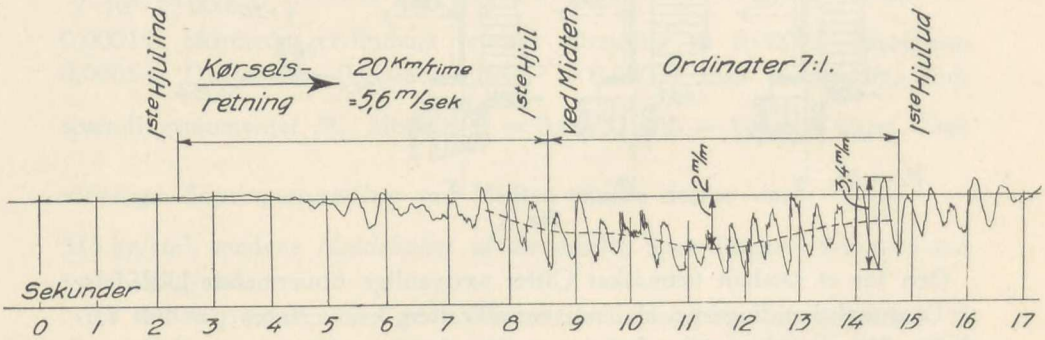


Fig. 9.

c. Der optoges Diagrammer af Dragermidtens Svingninger baade i lodret og vandret Retning og baade for 20 à 22 km/Time og 30 à 36 km/Time Hastighed af det af de to Lokomotiver dannede Belastningstog. Egen-Svingningstallet for lodrette Svingninger fandtes baade af Diagrammet og efter den ovenfor benyttede Formel at være $3\frac{1}{2}$ pr. Sek. Udsvingene var ogsaa her noget større (hele Svingningen ca. 4 mm, i Forhold til 22 mm statisk Nedbøjning) for den mindre af de to anvendte Hastigheder end for

den større, og Forklaringen er den samme som ovenfor, at man ved den mindre Hastighed er nærmere ved Synkronisme med Drivhjulene. — Fig. 9 viser et af Diagrammerne for de vandrette Svingninger, med største Bølgehøjde ca. 3,4 mm. Alle Diagrammerne viser den Mærkelighed, at de vandrette Svingninger foregik ikke om en retlinet Axe, men om en Axe, der var bøjet $1\frac{3}{4}$—2 mm ud mod Vest. Nogen Forklaring herpaa fandtes ikke.

d. Knæksikkerheden for Tryk-Diagonalerne. En udbøjet Søjle befinder sig i den kritiske Tilstand, hvis Trykket R's Arbejde $R \cdot d\Delta l$ ved en Tilvæxt df til Udbøjningen (se Fig. 10) er lig Tilvæxten dA_i til det indre Arbejde A_i. Dette sidste afhænger foruden af f kun af Nedbøjningsliniens Form og er derfor omtrent det samme, enten Udbøjningen er frembragt af den ene eller den anden ydre Aarsag. Man kan da tænke sig f frembragt af en Belastning P vinkelret paa Søjlen[1]) og altsaa sætte $A_i = \frac{1}{2} Pf$ og $dA_i = \frac{1}{2}(Pdf + fdP)$. Nu er $f = cP$, $df = cdP$ og følgelig $Pdf = P \cdot cdP = fdP$, hvorved $dA_i = Pdf$.

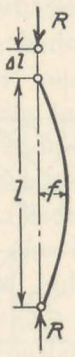


Fig. 10.

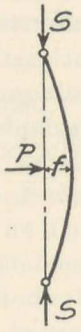


Fig. 11.

Endvidere kan man sætte $\Delta l = k \cdot \frac{f^2}{l}$ (for en Parabel er f. Ex. $k = \frac{8}{3} = 2{,}67$, for en Sinusoide $k = 2{,}5$), altsaa $d\Delta l = 2k \frac{fdf}{l}$. Den kritiske Værdi af Trykket R bestemmes derfor ved:

$$R \cdot d\Delta l = R \cdot 2k \frac{f}{l} df = dA_i = Pdf, \quad R_{krit.} = \frac{1}{2k} P \frac{l}{f},$$

det samme Resultat, som hvis man uden videre satte: $R\Delta l = R \cdot k \frac{f^2}{l} = A_i = \frac{1}{2} Pf$.

I Stedet for at *regne* kan man ogsaa ved et Forsøg *maale* sammenhørende Værdier af P og f, og denne Fremgangsmaade kan navnlig udnyttes med Fordel, naar Søjlens Understøtningsmaade ikke er nøjagtig defineret. Blot maa Maalingen saa ogsaa give tilstrækkelige Oplysninger til at bestemme Δl.

Naar Forsøget udføres med en Søjle, som indgaar i en færdig Konstruktion og derfor har en Begyndelsesspænding S, maa der tages Hensyn hertil. Med de samtidig virkende P og S (Fig. 11) bliver Nedbøjningen, idet $a = \sqrt{\frac{P}{EI}}$:

$$f = \frac{P}{2aS} (\operatorname{tg} \tfrac{1}{2} al - \tfrac{1}{2} al) \backsim \frac{P}{2aS} (\tfrac{1}{3} (\tfrac{1}{2} al)^3 + \tfrac{2}{15} (\tfrac{1}{2} al)^5 + \cdots),$$

$$f = \frac{Pl^3}{48EI} \left(1 + \tfrac{1}{10} \frac{Sl^2}{EI}\right).$$

[1]) Navnlig udviklet af *Kayser* i »Der Eisenbau« 1910, S. 451, og 1915, S. 305, Zentr. d. Bauverw. 1912, S. 121, o. fl.

Naar S er konstant, er f altsaa fremdeles (tilnærmelsesvis) $= c \cdot P$, og følgelig ligesom ovenfor $fdP = Pdf$. Man faar da:

$$A_i = \tfrac{1}{2} Pf + S\Delta l, \qquad dA_i = \tfrac{1}{2} \cdot 2Pdf + S \cdot d\Delta l = R \cdot d\Delta l,$$

$$R = \frac{Pdf}{d\Delta l} + S,$$

saaledes at $R_{krit.}$ forøges med S, naar P og f maales, medens S virker.

Med Udgangspunkt i ovenstaaende Betragtninger foretoges en Del Maalinger paa Masnedsundbroens Tryk-Diagonaler for at komme til Klarhed over Nedbøjningsliniens Form for en Belastning vinkelret paa Længderetningen og derved over Understøtningernes Virkemaade. Maalingerne udførtes for de tre i Fig. 12 stærkt optrukne Diagonaler. Kraften (P) frembragtes ved at anbringe en vandret Forbindelse tværs over Brobanen mellem to til hinanden svarende Punkter af ensliggende Diagonaler i de to Hoveddragere; i Forbindelsen var indskudt en Skruemuffe, hvorved Punkterne kunde spændes sammen, samt et Fjederdynamometer til Maaling af Kraften. Udbøjningerne maaltes ved *Stoppani*-Nedbøjningsmaalere (Aflæsning $\frac{1}{100}$ mm), fastgjorte til udvendig paa Hoveddrageren anbragte lodrette Træbjælker, der under Maalingen laa fast an mod Hoveddragerens Flangekanter, og som let kunde flyttes paa langs ad Drageren.

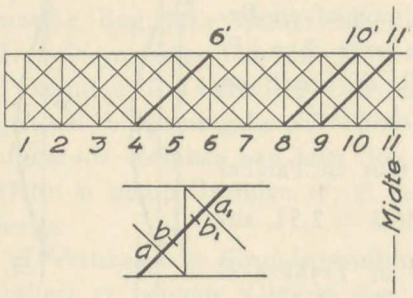


Fig. 12.

Oprindelig var man mest tilbøjelig til ikke at tillægge Stivheden af Diagonalernes Nitning til Staapladerne altfor stor Betydning, altsaa at regne Diagonalerne som tilnærmelselsesvis simpelt understøttede ved Enderne og derfor ogsaa excentrisk paavirkede. Heraf maatte man slutte, at den øverste og nederste Halvdel af Diagonalen ved en eventuel Udknækning maatte bøje sig ud til samme Side, saaledes at Tangenten i Krydsningspunktet med Vertikalen var nogenlunde fastholdt. For at nærme sig saa meget som muligt til denne formodede Udbøjningslinie valgte man ved Maalingerne at anvende en om Diagonalens Midtpunkt symmetrisk Belastning, nemlig to lige store Kræfter P enten i Punkterne a og a_1 eller i b og b_1 (Fig. 12, nederst). Ved den sidste Paavirkningsmaade, som har størst Betydning, og hvortil vi derfor her skal indskrænke os, maaltes Udbøjningerne i de tre Punkter a, b og b_1; de fundne Værdier er opførte i Tabellen nedenfor.

Tryk-Diagonalens Ender (ved Flangerne) betegnes ved A og B (se Fig. 13), Midtpunktet (paa Vertikalen) ved C og Krydsningerne med

Træk-Diagonalerne ved X og Y (se ogsaa Fig. 14, hvor dog kun den halve Længde, AC, er vist). C regnes som en simpel Understøtning, X og Y som elastiske simple Understøtninger, A og B skal, som det viser sig, betragtes som Indspændinger. Det drejede sig nu om at faa en Beregning for den i Fig. 13 viste Belastning til at give de samme Nedbøjninger som Maalingen, og efter en Del Prøven sig frem lykkedes dette ogsaa, men kun derved, at man ikke blot regnede A og B som fuldstændige Indspændinger, men endog gjorde Afstandene a i Fig. 13 og 14 noget mindre end Afstandene b. Nitningen til den 60 cm høje Staaplade medfører altsaa en fuldstændig Indspænding, og endda paa den Maade, at Indspændingspunktet rykker fra det mathematiske Knudepunkt ud mod Kanten af Staapladen, og mest for de spinkleste Diagonaler (for de tre Diagonaler fandtes Flytningen af Indspændingspunktet lig ca. 20, 30 og 45 cm). — Modtrykkene X og Y fra Træk-Diagonalerne bestemmes ved at sætte de to Diagonalers Udbøjninger lige store. Beregningerne bliver ret besværlige, idet de to Træk-Diagonaler, der skærer samme Tryk-Diagonal, sædvanligvis ikke har samme Inertimoment, hvorved X og Y bliver forskellige og Symmetrien gaar tabt.

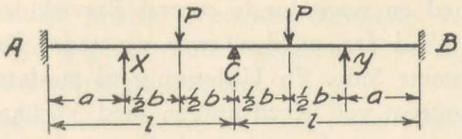


Fig. 13.

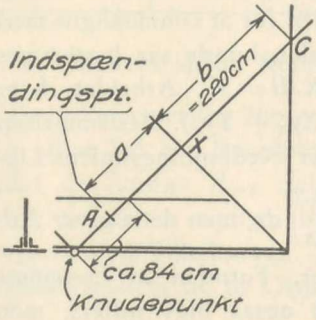


Fig. 14.

Resultaterne af Beregningerne for Belastningen i Fig. 13 og en Sammenligning med Maalingerne fremgaar af følgende Tabel:

	Udbøjning i mm i Punkt					
	a		b		b_1	
	beregn.	maalt	beregn.	maalt	beregn.	maalt
Diagonal 4— 6′. $P = 850$ kg, $a = 195$ cm..	0,150	0,156	0,240	0,283	0,330	0,380
» » » » , » = 205 » ..	0,165		0,249		0,342	
» 8—10′, » = 350 kg, » = 190 » ..	0,171	0,157	0,229	0,257	0,300	0,332
» 9—11′, » = 250 », » = 175 » ..	0,163	0,158	0,238	0,248	0,271	0,259

Ved de smaa Udbøjninger, der her var Tale om, blev Korrektionen fra Egenvægtsspændingen saa ubetydelig, at der saas bort fra den.

Afvigelserne imellem Beregning og Maaling ses overalt at være mindre end $\frac{1}{2}$ mm.

Imidlertid følger det af den fuldstændige Indspænding ved Enderne,

som man saaledes maa regne med, at Excentricitetens Betydning forsvinder (hvad forøvrigt stemmer med de under *b*) ovenfor omtalte Maalinger); og med en nogenlunde central Paavirkning er der ikke mere nogen Nødvendighed for, at den øvre og nedre Diagonal-Halvdel skal knække ud til samme Side. En Udbøjning til modsatte Sider, altsaa med et Vendepunkt omtrent ved Krydsningen med Vertikalen, viser sig nu at blive farligere, og det er derfor en af de i Fig. 15 viste Belastninger (med kun ét P), der blev lagt til Grund for den endelige Beregning. Ved at gennemføre Beregningen for begge Belastningerne i Fig. 15 havde man stadig Muligheden for at sammenligne med Maalingerne. Det søgte kritiske Tryk i Diagonalen kunde saa bestemmes ved Hjælp af den ovenfor udviklede Formel: $R\Delta l = A_i$. Arbejdet A_i er her med let forstaaelige Betegnelser lig $\frac{1}{2}(Py_P + Xy_x + Yy_y)$. Bestemmelsen af Δl kan naturligvis gennemføres, naar man har Nedbøjningsliniens Ligning, ved det bekendte Udtryk: $\Delta l = \frac{1}{2}\int_0^l \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx$, men dette giver Anledning til yderst omstændelige Talberegninger. Foruden at bestemme Nedbøjningslinien ved ren Beregning (hvilket ogsaa blev udført, men nærmest kun som Kontrol) konstruerede man den derfor som Tovpolygon (efter at have lagt Momentkurven fast ved Beregning), idet man sørgede for, ved Inddelingen af Momentfladen, at faa alle Vendepunkter og Maximumspunkter og Nedbøjningerne her nøjagtigt bestemte. Nedbøjningslinien kunde da uden større Fejl erstattes med en Række Parabel- eller Sinusoidelinier fra Vendepunkt til Maximumspunkt, paa hvilke man kunde anvende Formlen $\Delta l_1 = \frac{5}{8}\frac{f_1^2}{l_1}$, hvorefter $\Delta l = \Sigma \Delta l_1$.

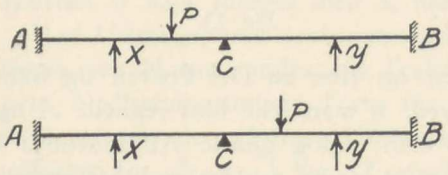
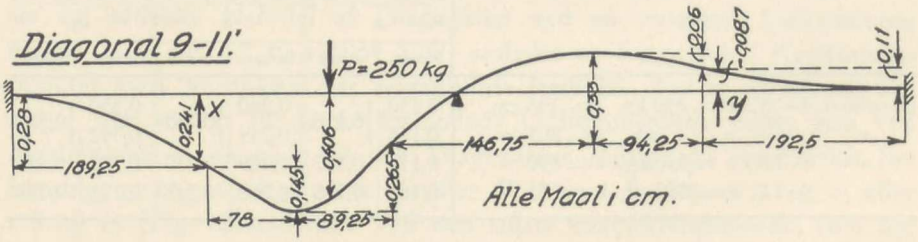


Fig. 15.



$$\Delta l = \frac{5}{8}\left[\frac{0{,}28^2}{189{,}25} + \frac{0{,}145^2}{78} + \frac{0{,}265^2}{89{,}25} + \frac{0{,}33^2}{146{,}75} + \frac{0{,}06^2}{94{,}25} + \frac{0{,}11^2}{192{,}5}\right] = 0{,}0014461\ \text{cm}.$$

$$\left.\begin{matrix} X = 104\ \text{kg} \\ Y = -26\ \text{"} \end{matrix}\right\}\ A_i = \frac{1}{2}[250 \cdot 0{,}406 - 104 \cdot 0{,}241 + 26 \cdot 0{,}087] = 39{,}35\ \text{kgcm}.\quad R_{krit} = \frac{39{,}35}{\Delta l} = 27200\ \text{kg} = 1265\ \text{kg/cm}^2$$

Fig. 16.

Ved at gennemføre disse Beregninger ogsaa for en Del af de symmetriske Belastninger (med to Kræfter P) overbeviste man sig om, at de valgte Tilfælde virkelig gav de mindste kritiske Værdier. Resultatet ses for Diagonal 9—11′ i Fig. 16, og efterfølgende Tabel giver en Oversigt over de fundne Værdier for alle tre undersøgte Stænger.

Diagonal	Belastn. P i Punkt	A_i kgcm	Δl cm	$R_{krit.}$ kg	$R_{krit.}$ kg/cm²	$\frac{l}{i}$
4— 6′	b_1	175,9	0,0022443	77 970	1660	110
8—10′	b_1	69,4	0,0019596	35 400	1430	117
9—11′	b	39,3	0,0014461	27 200	1265	125
»	b_1	43,6	0,0015938	27 360	1270	

I Tabellens sidste Kolonne er opført de Værdier af $\frac{l}{i}$, man skal indføre i Eulerformlen for en simpelt understøttet Søjle for at komme til $R_{krit.}$, og disse Tal har Betydning for Bedømmelsen af den endelige Sikkerhed, idet de fundne $R_{krit.}$ ifølge hele Udledelsen svarer til »Euler-Værdier«, d. v. s. kun er rigtige, hvis Slankhedsforholdet er saa stort, at der skal regnes med Eulerkurven. I modsat Fald bør $R_{krit.}$ multipliceres med Forholdet mellem de to Ordinater til Johnson-Parablen og Eulerkurven, der svarer til Abscisserne $\frac{l}{i}$, og dette fører til, at de tre fundne Værdier skal multipliceres med 0,85, 0,91 og 0,95.

III. *Søjleforsøg med T-formede Flangeprofiler.*

Efter Anmodning af de *Danske Statsbaner* udførtes Søjleforsøg med tre Stænger af de i Fig. 17 viste Tværsnitsdimensioner og med Længderne 100, 125 og 200 cm. Stængerne var Modeller i halv Størrelse af Flangestængerne i Jærnbanebroen over Limfjorden, og det Spørgsmaal, der interesserede, var Sikkerheden mod lokal Udknækning af den høje Staaplade.

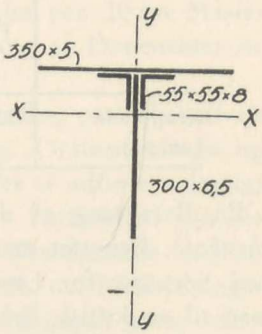


Fig. 17.

Søjlerne understøttedes ved begge Ender paa Knivsegge, hvorved de frie Længder for Udbøjning om Axen x—x blev: 220,2, 145,3 og 119,9 cm, og belastedes centralt. For at sikre den nøjagtige Centrering af Trykket anbragtes i Midtertværsnittet en Spændingsmaaler (Huggenberger) paa hver af de tre frie Flige, og der rettedes paa Indstillingen (ved Flytning af Søjlen paa Knivseggenes Bordplader), indtil der for en Belastning af ca. 20^t (350 kg/cm²) fandtes tilnærmelsesvis samme

Spænding i de tre Punkter. Desuden maaltes Søjleaxens Udbøjning i de to Hovedretninger i Midtpunktet (ved Zivy-Apparater) og Kropkantens Udbøjning i fem over Længden jævnt fordelte Punkter (ved Stoppani-Apparater).

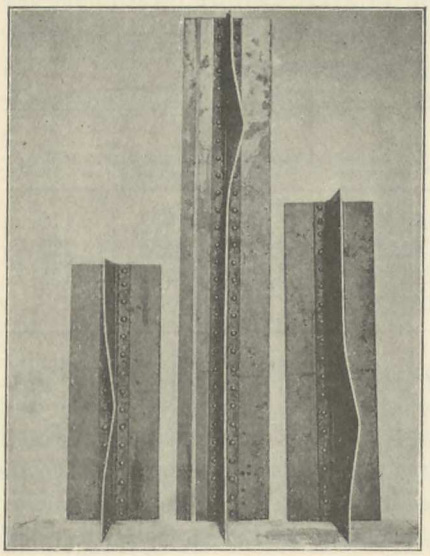


Fig. 18.

Efter Centreringen fortsattes Belastningen, indtil Bæreevnen var udtømt. Bruddet foregik paa den Maade, at Kropkanten først knækkede ud, hvorefter Belastningen dog endnu kunde sættes noget op, inden Søjlen som Hele knækkede ud om x-Axen. Naar Kropkanten giver efter, virker dette som en Svækkelse af Tværsnittet, men den tilbageblivende Del kan endnu taale en Forøgelse af Kraften; da denne dog nu virker excentrisk i Forhold til den virksomme Del af Tværsnittet, naas Bæreevnen for Søjlen som Hele snart.

De endelige Belastninger fandtes at være:

for Søjlelængde (cm):	100,	125,	200,
Brudbelastning (kg/cm²):	1307,	1380,	1318.

Et Billede af Søjlerne efter Forsøget ses i Fig. 18. Materialet, hvoraf Modellerne var fremstillede, var blødt Staal med følgende Egenskaber (ved *Træk*-Forsøg):

	Flydegrænse kg/cm²	Brudgrænse kg/cm²	Brudforlængelse pr. 20 cm %	E (kg/cm²)
Kropplade ...	ikke udpræget	3900	28	2 178 000
Lamel.....	3400	4240	18	

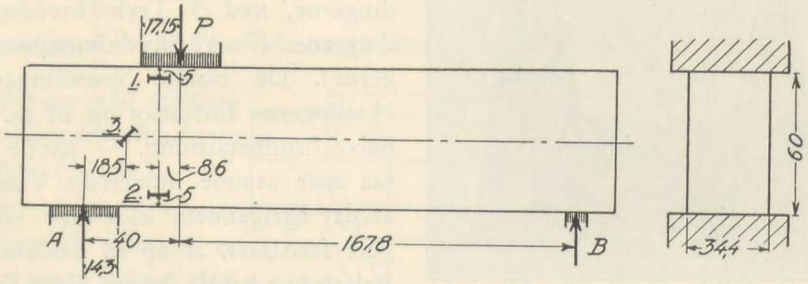
En Beregning af det her omhandlede Fænomen er angivet af *Timochenko*[1]). Benytter man hans Fremgangsmaade, idet man dog indfører de ved Forsøget for Lamellen gældende Understøtningsbetingelser, kommer man til en kritisk Belastning for Kroppladen paa kun 1000—1100 kg/cm². Herved er dog ikke taget Hensyn til den Omfordeling af Trykket pr. Arealenhed, som ved Forsøget (men neppe i samme Grad i Virkelighe-

[1]) Sur la Stabilité des systèmes élastiques, Ann. d. ponts et chaussées 1913, Særtryk S. 162 o. f.

den) maa fremkomme, fordi Søjlens Endetværsnit af de plane Knivsegborde tvinges til at holde sig plane, medens de forskellige Fibre paalangs i Søjlen paa Grund af den lokale Udbøjning forkortes efter en anden Lov, og dette kan maaske tildels forklare, at Forsøget har givet en noget større Bæreevne. Derimod maa det vel antages, at den ovenfor omtalte Udknækning af Søjlen som Hele (under Paavirkning af det excentriske Tryk) hen mod Forsøgets Slutning vil medføre, at det endelige Brud i Virkeligheden ligesom ved Forsøget indtræder lidt senere end den lokale Udknækning af Kroppen.

IV. *Modelforsøg med Rigler til Alssundbroen.*

Efter Anmodning af de *Danske Statsbaner* er udført Brudbelastningsforsøg med to Stkr. Modeller af de Rigler, der i Alssundbroen skal tjene



Alle Maal i mm.

Fig. 19.

til Aflaasning af de to Klapper mod hinanden. Rigelmodellen var en Stang med rektangulært Tværsnit, 60 × 34,4 mm, og var fremstillet i $\frac{1}{7}$ sand Størrelse; Materialet var det samme som i den virkelige Rigel, nemlig Staal-Smedegods med 3010 og 2940 kg/cm² øvre og nedre Flydegrænse, 5270 kg/cm² Brudgrænse og 25 % Brudforlængelse paa 20 cm Maalelængde (bestemt ved Trækforsøg med en Prøvestang af Dimensionerne ca. 2,5 × 1,25 cm.).

Som det ses i Fig. 19 virker Riglen som en Bjælke, paavirket af en Enkeltkraft temmelig tæt ved den ene Understøtning. Understøtnings- og Belastningsfladernes Længder, der naturligvis ligeledes er udførte nøjagtigt i Maalestoksforholdet 1 : 7, er saa store (se Fig.) i Forhold til Bjælkehøjden, at det kan være ret tvivlsomt, hvorledes Tværsnittene mellem Kraften og den nærmeste Understøtning er paavirkede, om Forskydnings- eller Normalspændingerne har Overvægten, og Beregningen gøres yderligere usikker ved Understøtningsfladernes Deformationer og ved det Horizontaltryk, som Mangel paa Bevægelighed i Understøtningerne efter al Sandsynlighed maa medføre. I Henseende til alle disse Kilder til Usikkerhed var Modellen og den virkelige Rigel saa vidt muligt ens stillede;

det eneste Forhold, som ikke kunde efterlignes ved Modelforsøget, var Beliggenheden af samtlige tre Kraftangrebspunkter i den *elastiske* Brokonstruktion.

Skønt man var klar over, at sandsynligvis heller ikke direkte *Spændings*maalinger kunde føre til nogen klar Besvarelse af Spørgsmaalet om Normal- eller Forskydningsspændingernes Overlegenhed, forsøgtes dog saadanne Maalinger, nemlig i de tre i Fig. 19 ved 1, 2 og 3 betegnede Punkter, hvor der blev anbragt Huggenberger-Apparater (Model A) med 1 cm Maalelængde; ved 1 og 2 maaltes direkte Normalspændingerne, ved 3 Tryk-Hovedspændingerne (= Forskydningsspændingerne). De maalte Spændinger — Maalingerne fortsattes op til ca. den halve Brudbelastning, — havde dog saa nær samme numeriske Værdier, at det herigennem blot blev yderligere fastslaaet, at op til den nævnte Belastning havde begge Slags Spændinger Indflydelse paa Resultatet. Af Fig. 20 fremgaar det ogsaa, at der inden Bruddet var foregaaet meget betydelige Bøjningsdeformationer.

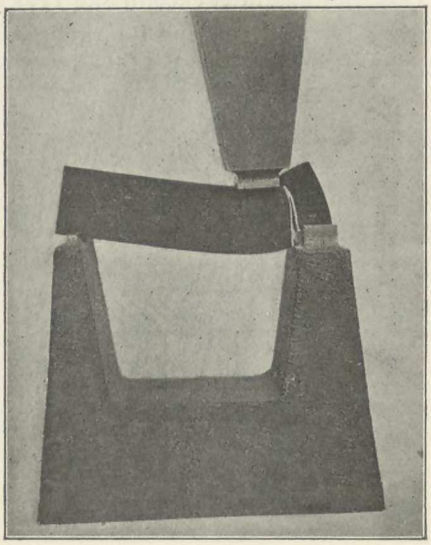


Fig. 20.

Bruddet indtraadte tilsidst som et afgjort Forskydningsbrud i næsten lodret Plan. Brudbelastningen var for de to Prøvestykker 73,62^t og 77,48^t, svarende til 2878 og 3034 kg/cm^2 af det oprindelige Tværsnit. Inden Bruddet var Tværsnittet dog betydelig formindsket ved Belastningsfladernes Indtrykning i Prøvestængerne.

V. *Forsøg med en [-Jærns Søjle af Krupp-Staal (Lillebæltsbroen).*

Efter Anmodning af de *Danske Statsbaner* er udført et Søjleforsøg med et Stk. [-Jærn, N. P. 20, Længde 144,3 cm, af det til Lillebæltsbroen bestemte Krupp-Staal. Dettes Styrke-Egenskaber bestemtes baade ved Træk- og Trykforsøg, som gav følgende Resultater:

Trækforsøg.	Flydegrænse kg/cm²	Brudgrænse kg/cm²	Brudforlængelse paa 20 cm %	*E*
Prøvestykke fra Kroppen.....	3810	5340	30	2 072 000
» » Flangen	3860	5560	26	
» » »	3850	5530	25	

Trykforsøg.

Flydegrænse (Flangen): 3860, 3840, 3850, 3870, Middel 3855 kg/cm²,
— (Krop): 4060, 4100 kg/cm².

Ved Søjleforsøget anvendtes Knivseg-Understøtninger ved begge Ender, hvorved Søjlens frie Længde blev 164,8 cm, $l : i = 76{,}6$. Udbøjningerne maaltes ved Midten og ved begge Ender, og Søjlen omstilledes paa Knivseg-Bordene, indtil en saa nøjagtig Centrering som mulig var opnaaet. Ved det endelige Forsøg maaltes paa Midten følgende Udbøjninger f:

P(t) =	0,3,	20,17,	40,06,	60,60,	70,1,	75,2	81,8	86,2,	92,8
f(mm) =	0,	—0,17,	+0,11,	0,86,	1,43,	1,89	3,11	4,71,	Brud.

Efter Parabelformelen skulde Brudbelastningen være:

$$\sigma = \sigma_F\left(1 - \frac{\sigma_F}{4\pi^2 E}\left(\frac{l}{i}\right)^2\right) = 3855\left(1 - \frac{3855}{4 \cdot 9{,}87 \cdot 2072000} \cdot 76{,}6^2\right) = 2790\,\text{kg/cm}^2,$$

medens (med $F = 32{,}5\,\text{cm}^2$) den maalte Brudbelastning er $\frac{92800}{32{,}5} = 2855\,\text{kg/cm}^2$.

VI. *Forsøg med »Gitter-klo«-Tømmerforbindelser (System Mjølner).*

For Ingeniørfirmaet *Monberg & Thorsen* er udført nogle Forsøg med de i Fig. 21 fremstillede Tømmerkonstruktioner, hvori var anvendt Gitter-klo-Forbindelser[1]) (se Fig. 22). Forsøgs-Objekterne, der leveredes af Firmaet, var dels simple Laskeforbindelser (Type I og II i Fig. 21; i Type I løb Fibrene overalt paa langs, i Type II i de to ydre Træstykker vinkelret paa Forskydningsretningen), dels 2 Stkr.

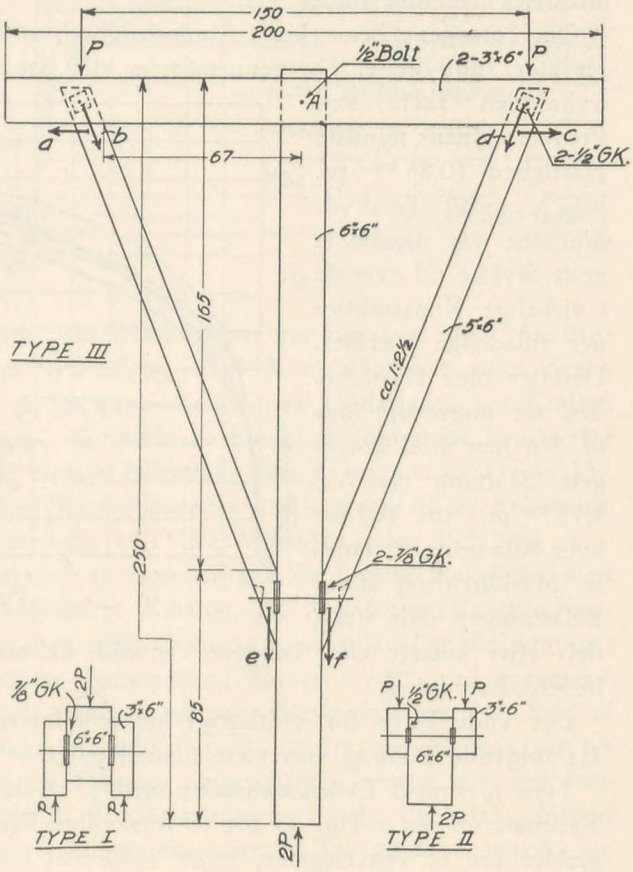


Fig. 21.

[1]) Angivne af Kapten *Gösta Smitt*, Sverige, fremstillede af A/B *Järnförädling, Hälleforsnäs*, forhandlede af Ingeniørforretningen »*Mjølner*«, Kjøbenhavn.

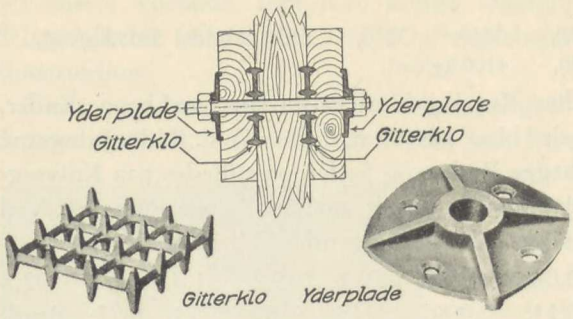


Fig. 22.

større Konstruktionsdele med Skraabaand (Type III i Fig. 21). Belastningen overførtes som angivet i Fig. 21 ved Kræfterne *P* og 2*P*, og de relative Forskydninger af de forbundne Tømmerstykker maaltes med 10 Gange Forstørrelse (ved Type III i alle de med Bogstaverne *a*—*f* betegnede Punkter og Retninger). Det til Prøvelegemerne anvendte Træ var *frisk fældet dansk Rødgran*, antagelig fældet sent paa Foraaret 1929, Forsøgene udførte d. 6.—8. Juni 1929; nogle nærmere Oplysninger om Træets Egenskaber meddeles nedenfor under VII.

Om Forsøgene bemærkes i Almindelighed, at *Forsøgshastigheden* havde ret stor Indflydelse. De gennemførtes alle paa den Maade, at Sammentrykningen skete ved Prøvemaskinens mindste Hastighed (0,85 mm pr. Min.), indtil Forskydningerne var naaede et godt Stykke ud over de i virkelige Konstruktioner tilladelige Værdier. Derefter blev Hastigheden sat noget op, indtil den hen mod Forsøgets Slutning var ca. 4,72 mm pr. Min. Ved for hver Aflæsning at standse Maskinen og aflæse Belastningen dels strax, dels efter kortere eller længere Ventetid, fik man et Begreb om Hastighedens Betydning.

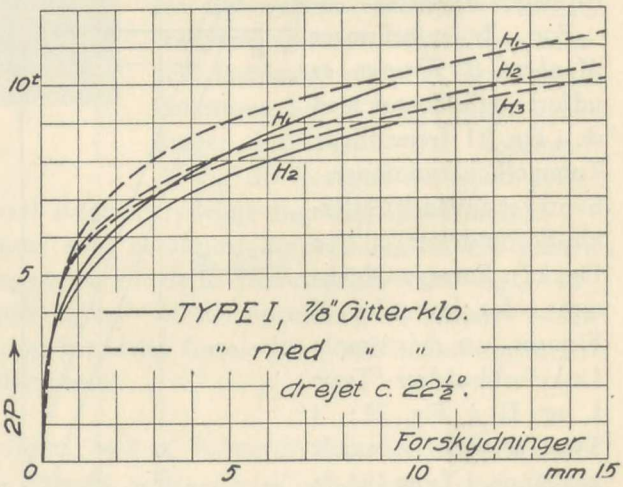


Fig. 23.

Det vilde blive for vidtløftigt her at referere alle Forsøgsresultaterne, saa følgende Uddrag maa være tilstrækkeligt.

Type I, simpel Laskeforbindelse med $\frac{7}{8}''$ Bolt og tilsvarende Gitterklo. Resultaterne ses i Fig. 23 for to forskellige Prøver, de optrukne Kurver gælder for et Prøvelegeme, hvor Sidelinien i den kvadratiske Gitterklo var anbragt parallelt med Fibrene, de punkterede for et andet, hvor Git-

terkloen var drejet ca. $22\frac{1}{2}^0$, saa Kloens Tænder blev saa godt som muligt forsatte for hinanden. Endvidere betyder:

*H*1.....	Maskinhastighed	0,85 mm/Min.,	ingen Ventetid,
*H*2.....	do.	do.	, Ventetid 1 Min.,
*H*3.....	do.	do.	, » 5 »

Den absolut største Belastning, Forbindelsen kunde taale, var i begge Tilfælde (ved Hastigheden 4,72 mm/Min. og uden Ventetid) ca. $15{,}6^t$.

Type III. Der anstilledes Forsøg med to af disse Konstruktioner, der kun adskilte sig fra hinanden derved, at den $\frac{1}{2}''$ Bolt ved Punkt *A* var fjernet i den ene. Nogle af Resultaterne fra den ene Halvdel af Konstruktionen [Punkterne *c*, *d*, $\frac{1}{2}(e+f)$] ses i Fig. 24; alle Kurverne her svarer til Hastigheden *H*2 (se ovenfor), de optrukne Kurver gælder for Konstruktionen uden Bolt i *A*, de punkterede for den med Bolt i *A*. — Angaaende den absolut største Belastning, Konstruktionen kunde taale, kan oplyses følgende. Da Belastningen var naaet op til 11^t for Modellen med den $\frac{1}{2}''$ Bolt ved *A* og til 13^t for Modellen uden denne Bolt, kom Skraastiverne til at støtte direkte paa Underlaget, saa Kraften ikke mere passerede de $\frac{1}{2}''$ Gitterklo-Forbindelser; om disse kan derfor kun siges, at den omtalte største Belastning har været *mindst* 11^t og 13^t. For den $\frac{7}{8}''$ Gitterklo-Forbindelse naaedes derimod op til en Belastning paa $18{,}8^t$ for Modellen med og $14{,}7^t$ for Modellen uden Bolt ved *A*.

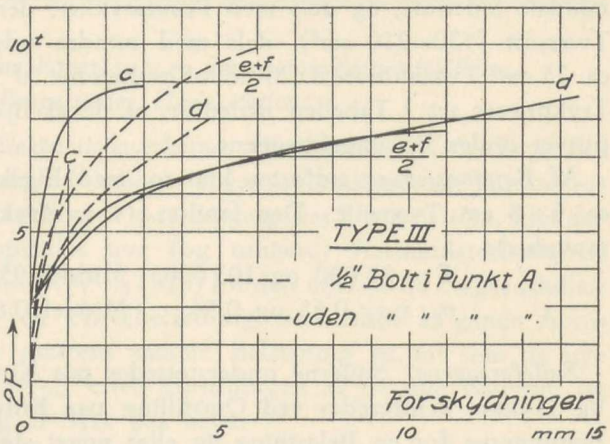


Fig. 24.

Det kan være af Interesse at sammenligne de fundne Resultater med Opgivelserne i Firmaet »*Mjølners*« Katalog. De heri for permanente Konstruktioner af almindelig Fyr eller Gran angivne tilladelige Belastninger synes at svare til en relativ Forskydning paa ca. $0{,}2^{mm}$; ved Forsøgene her var de af samme Belastning frembragte Forskydninger i alt Fald af samme Størrelsesorden, maaske endda noget mindre, og det maa saa tilmed erindres, at der her var Tale om meget friskt Grantræ. De ved Forsøgene her fundne egentlige Brudbelastninger havde ligeledes omtrent samme Størrelse som de i Kataloget for normalt Træ angivne, maaske laa de dog ubetydeligt lavere, hvad i og for sig er rimeligt. Naturligvis er

disse Brudbelastninger ledsagede af saa store Forskydninger, at de kun maa opfattes som givende en extra Sikkerhed mod Ulykker.

VII. *Forsøg med Søjler af frisk dansk Gran.*

Med Tømmer-Materialet fra de under VI omtalte Forsøg anstilledes ialt 7 Søjleforsøg med tilhørende Tryk- og Bøjningsprøver, og Resultaterne heraf kan formentlig have Interesse, idet saadant grønt Træ ofte anvendes i Interimskonstruktioner.

Trykforsøgene anstilledes med Prismer, hvis Højde var ca. 3 Gange mindste Sidelinie, og dels med Prøvestykker, der havde Tømmerets fulde Tværsnit (130—210 cm^2), dels med mindre udskaarne Prøvestykker af ca. 25 cm^2 Tværsnitsareal. Middel-Resultaterne af de for Søjlerne gældende Trykprøver ses i Tabellen nedenfor, af de af Bjælkerne udskaarne Tryk-prøver under Bøjningsforsøgene.

Af *Bøjningsforsøg* udførtes kun to, med Bjælker af 95 cm Længde og ca. 6×8 cm Tværsnit. Der fandtes (σ_c = Trykbrudgrænse, s_b = Brud-modulus):

$E = 88\,000$ og $103\,000$, Middel $95\,500$ kg/cm^2,
$\sigma_c : s_b = 0{,}65$ og $0{,}56$, Middel $0{,}605$.

Søjleforsøgene. Søjlerne understøttedes paa Knivsegge ved begge Ender, og Trykket centreredes ved Omstilling paa Knivseg-Bordene, indtil Ud-bøjningerne for en Belastning lig eller noget større end den halve Brud-belastning fandtes forsvindende. Søjle F var omtrent i Trediedelspunktet svækket af et Boltehul og »Saaret« efter Gitterkloen, og ved Forsøget fremkom der ogsaa et Trykbrud i dette Punkt, saa den fundne Bæreevne er sikkert her noget for lav. Søjlen F_1 fremstilledes ved Afkortning af F (efter Forsøget), saa Beskadigelsen blev skaaret bort.

Resultaterne ses i efterfølgende Tabel, hvor σ_C er Tryk-Brudgrænsen, $\sigma_{obs.}$ den fundne Brudbelastning for Søjlen. $\sigma_{Par.}$ betyder den efter Parabel-formelen *beregnede* Brudbelastning:

$$\sigma_{Par.} = \sigma_B\left(1 - \frac{\sigma_B}{4\pi^2 E'}\left(\frac{l}{i}\right)^2\right) = \sigma_B\left(1 - \frac{\sigma_B}{4\sigma'_E}\right), \quad \sigma_B = \frac{\sigma_C}{1 + \beta\varphi_0},$$

hvor $\varphi_0 = f_0 : k$ for de her omhandlede *centralt* paavirkede Søjler er sat lig 0,1 og $\beta = 1{,}43 \cdot 0{,}605 = 0{,}86$ (se »Meddelelse Nr. 2« fra Laboratoriet); Elasticitetskoefficienten E' er indført med 10 % Formindskelse, $E' =$ 86 000 kg/cm^2.

Søjle-Nr.	Tværsnits Areal cm²	$\frac{l}{i}$	σ_C	$1+\beta\varphi_0$	σ_B	σ'_E	$\sigma_{Par.}$	$\sigma_{obs.}$	$\sigma_{Par.}-\sigma_{obs.}$ kg/cm²	$\sigma_{Par.}-\sigma_{obs.}$ %	Vandindhold %
A	188,5	57,5	241	1,086	222	257	174	184	—10	— 5,7	25
B	205,7	55,0	279	»	257	281	198	204	— 6	— 3,0	27
C	194,3	57,4	222	»	204	258	164	182	—18	—11,0	22
D	210,8	54,3	240	»	221	288	179	178	+ 1	+ 0,6	22
E	242,7	47,8	176	»	162	372	144	139	+ 5	+ 3,5	38
F	248,9	65,3	174	»	160	199	128	120	+ 8	+ 6,7	36
F_1	248,9	42,8	174	»	160	463	146	146	0	0	36

VIII. *Spændingsmaalinger paa en Jærnbeton-Etageadskillelse, Bragesgades Understation.*

Efter Anmodning af *Elektricitetsværkernes Overingeniør (Københavns Belysningsvæsen)* er udført nogle Maalinger af Jærnspændingerne i Jærnbeton-Etageadskillelsen over Maskinsalen paa Bragesgades Understation, idet der nemlig herpaa skulde opstilles nye (og tungere) Accumulatorbatterier. Maalingen blev foretaget først (d. $^{21}/_{7}$ 1929) for den ubelastede Etageadskillelse, dernæst (d. $^{24}/_{7}$) for en Prøvebelastning, bestaaende af gamle Accumulatorbatterier, der gav omtrent samme Belastning pr. m² som de nye Batterier, og endelig (d. $^{18}/_{10}$) efter Opstillingen af de nye Batterier og (d. $^{2}/_{11}$) efter Paafyldning af Syre paa disse.

Etageadskillelsen bæres af en Række Hoveddragere i ca. 3,8 m Afstand og med ca. 5,8 m Fritliggende, hvilende paa Bygningens Ydermure; herimellem i hvert Fag to sekundære Dragere. Maalingerne anstilledes ved Midten af en Hoveddrager; i Fig. 25 ses franeden Partiet omkring Hoveddrager-Midten med de i Betonen huggede Slidser for Anbringelse af Instrumenterne. Der anvendtes ved B_1 og B_2 (paa de yderste af de 4 Armeringsjærn i nederste Lag) et *Berry*-Apparat med 20 cm Maalelængde og Forstørrelse 500 : 1, ved H_1 og H_4 (paa de to ydre Armeringsjærn) og H_2 og H_3 (paa de to indre Jærn) fire *Huggenberger*-Apparater med 2 cm Maalelængde, Forstørrelse 1000 : 1. De sidstnævnte Instrumenter sad fastspændte paa Jærnene under hele Maaleperioden og var maaske derfor hen mod Slutningen ikke helt paalidelige, idet Opstillingen af Accumulatorbatterierne sikkert har medført en Del Rystelser; *Berry*-Apparatet derimod var overhovedet ikke fastspændt, men anbragtes med Haanden i de for Apparatets Spidser i Armeringsjærnene

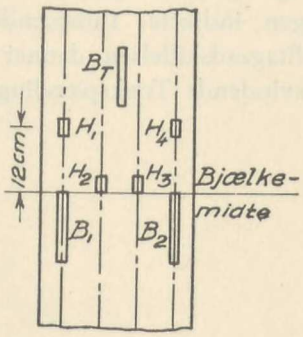


Fig. 25.

borede Huller, hver Gang en Maaling skulde foretages. For at kunne eliminere Indflydelsen af Temperatursvingninger under den lange Maaleperiode var der endelig ved B_T paa Dragerens Underside og i umiddelbar Berøring med Betonen fastskruet en Jærnstang, forsynet med Huller for *Berry*-Apparatet; denne Stang kan antages at have fulgt Betonens, og dermed Armeringsjærnenes Temperaturvariationer ret nær, og idet den var spændingsløs, fik man, ved stadig at tage Differenserne mellem Armeringsjærnenes og den løse Stangs Forlængelser, kun de rene Spændings-Forlængelser tilbage.

Som Hovedresultat af Maalingerne fandtes følgende Spændinger (i kg/cm²):

	Prøve-belastning	Nye Batterier uden Syre	Nye Batterier med Syre
Middeltal for Berry-Apparater.....	701	471	610
» » Huggenberger-Apparater..	670	396	606

De to Slags Instrumenter stemmer altsaa i Hovedsagen ganske pænt overens; kun i Mellemstadiet (uden Syre) er Afvigelsen for stor, hvilket antagelig maa forklares ved, at Huggenberger-Apparaterne rager noget ned under Loftet og derfor selv har antaget en noget højere Temperatur end Armeringsjærnene.

Derimod er de fundne Jærnspændinger en Del mindre end dem, man havde fundet ved den sædvanlige Beregning. Dette kan skyldes forskellige Omstændigheder: mindre virksom Spændvidde end den i Beregningen indførte, Indspænding i Bygningens Ydermure, der sammen med Etageadskillelsen danner en Rammekonstruktion, og muligvis ikke for svindende Trækspændinger i Betonen.