

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

NRYK GRIFFEL

6127

inw.

Studjum nad stopniem utwierdzenia belek prostych  
w konstrukcjach spawanych



Nr: 144



ODBITKA Z „CZASOPISMA TECHNICZNEGO“ 1934 r.

LWÓW 1934

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000231384





Nr: 144

ZWIĄZEK STUDENTÓW INŻYNIERII  
PRZY A. G. w KRAKOWIE  
Biblioteka i Czytelnia





Inż. HENRYK GRIFFEL

Studjum nad stopniem utwierdzenia belek prostych  
w konstrukcjach spawanych



Nr: 144



|| 6127

Akc. Nr. 825 51

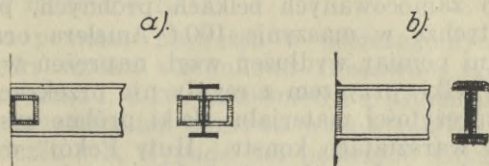




Nr 144

## I. WSTĘP.

Jednym z najprostszyc elementóv konstrukcyi spawanych jest belka prosta, np. dwuteowa, na obu podporach przyspawana wprost do słupa lub podciągu. Przyspojenie to, które może być dokonane w różny sposób, wywołuje z reguły pewne utwierdzenie belki na jej podporach. Utwierdzenie to może być mniejsze lub większe, zależnie od sposobu przytwierdzenia belki; np. belka przyspojona przy pomocy kątowników (rys. 1 a) będzie w mniejszym stopniu utwierdzona niż belka na rys. 1 b, która na całym swym obwodzie jest przyspojona.



Rys. 1.

- a) Przyspojenie dźwigara przy pomocy kątowniki.  
b) Przyspojenie bezpośrednie.

Stopień utwierdzenia, dalej, może być zależny przy tym samym sposobie przyspojenia od grubości szwów, jakimi belka została przytwierdzona, może także zależec od wymiarów belki (w szczególności wysokości jej i rozpiętości wzgl. stosunku obu tych wartości). W końcu nie bez wpływu na stopień utwierdzenia może się okazać rodzaj i wielkość obciążenia, np. ciężaru skupionego lub obciążenia jednostajnie rozłożonego.

Zbytecznem byłoby udowadniać, iż znajomość stopnia utwierdzenia przy danym sposobie przytwierdzenia jest dla konstruktora rzeczą bardzo ważną. Niestety jednak sprawa ta dotychczas nie jest jeszcze zupełnie wyswietloną. Konstruktor bowiem obliczając belki, które stanowią zwykle znaczny odsetek wagi całości konstruk-

cji, uwzględniając nieodpowiedni stopień zamocowania, popełnia za jednym zamachem dwa błędy. Przyjmując za małe utwierdzenie, konstruuje belkę za ciężką przeto nieekonomiczną; następnie obliczy źle spawki na podporach, które muszą być przecie obliczone nie tylko ze względu na oddziaływanie belki, lecz także ze względu na moment utwierdzenia, którego wielkość zależna jest znowu od stopnia utwierdzenia belki na podporach.

Urzędowe przepisy różnych państw dla konstrukcyj spawanych, traktują tę sprawę niejednolicie. Niektóre wogóle ją pomijają, niektóre zaś, między innymi i polskie, przepisują dla obliczenia belek pewną stałą wartość momentu utwierdzenia<sup>1)</sup>, wartość, która jak zobaczymy nie odpowiada zupełnie rzeczywistości i która powinna być zmieniona.

Celem niniejszej pracy jest właśnie przyczynienie się przy pomocy odpowiednich doświadczeń do wyświetlenia, jak sprawa utwierdzenia belek spawanych przedstawia się w rzeczywistości, w zależności od rodzaju przytwierdzenia, wielkości i sposobu obciążenia oraz wymiarów belki.

## II. SPOSÓB WYKONYWANIA DOŚWIADCZEŃ.

Doświadczenia przeprowadziłem z reguły na odpowiednio zamocowanych belkach próbnych, przez obciążanie tychże w maszynie 100 t Amslera oraz przez bezpośredni pomiar wydłużeń wzgl. naprężeń w różnych punktach belki, przyczem z reguły nie przekraczały one granicy sprężystości materiału. Belki próbne zostały wykonane w warsztatach konstr. „Huty Pokój“ w Nowym Bytomiu, doświadczenia zaś w laboratorium doświadczalnym tejże huty<sup>2)</sup>.

W celu umocowania belek próbnych, skonstruowałem specjalną silną i sztywną ramę żelazną (p. rys. 2), której górny rygiel stanowiła badana belka próbna.

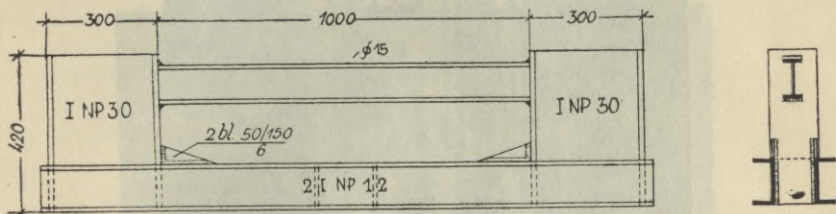
Ramę tę w całości przytwierdziłem do stołu maszyny do rozrywania uchwytami, w ten sposób, by stano-

<sup>1)</sup> Projekt polskich przepisów dla konst. spawanych z roku 1931-go § 2. „Belki utwierdzone przy pomocy szwów, można obliczać na moment  $0,8 M_0$ , gdzie  $M_0$  jest momentem belki, (wolno) podpartej. Należy zastosować przytem szwy tak na stopkach jakoteż i na ściankach dźwigarów.

<sup>2)</sup> Przy tej sposobności pozwalam sobie wyrazić na tem miejscu serdeczne podziękowanie Panu Dyr. Absolonowi za umożliwienie mi tych doświadczeń oraz Panu Smolce, Kierownikowi warsztatu konstr., za okazaną mi wydatną pomoc przy wykonywaniu prób.



wiła ze stołem maszyny jedną sztywną całość. Belka próbna o dł. 1000 mm, miała u góry i dołu wyryty podział co 50 mm. Belkę następnie poddawałem obciążeniu w maszynie, przyczem w poszczególnych punktach wykonywałem pomiar naprężeń. Z pomierzonych naprężeń w poszczególnych punktach belki, można było obliczyć momenty zgięcia w przekrojach, odpowiadających tym punktom, wykreślić linię momentów oraz wywnioskować z przebiegu tejże o wielkości momentu utwierdzenia, a więc także i stopniu tegoż utwierdzenia.



Rys. 2.

Rama z belką próbną.

Na ryc. 3 widzimy tę ramę z belką próbną umocowaną w maszynie 100 t.

Do pomiaru naprężeń w poszczególnych przekrojach belki użyłem stosunkowo niedawno skonstruowanego przyrządu, t. zw. „tensometru Huggenbergera“. Ponieważ przyrząd ten odgrywa ważną rolę w niniejszych doświadczeniach, wypada mu poświęcić kilka słów.

### III. TENSOMETR HUGGENGERGERA.

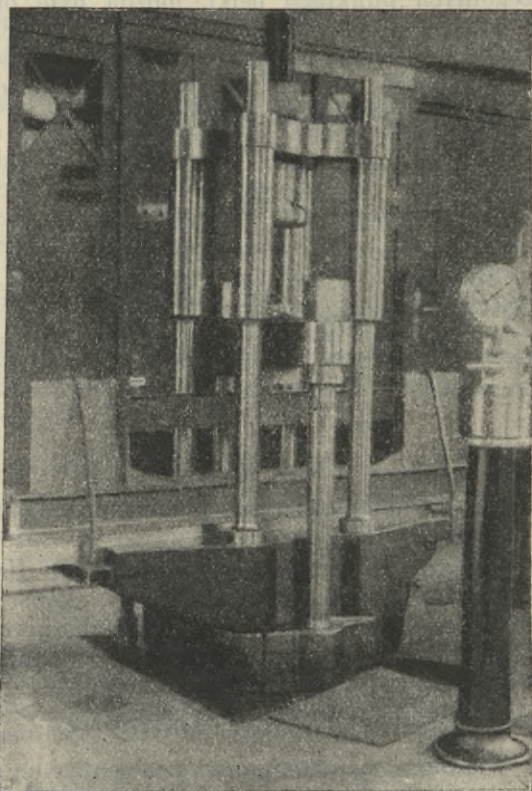
Jak wiadomo, w materiałach podlegających prawu Hooke'a, naprężenie i sprężyste wydłużenie jednostkowe pozostają do siebie w pewnym stałym stosunku, właściwym dla danego materiału, przyczem wartość tego stosunku  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$  nazywamy współczynnikiem sprężystości

tego materiału. Znając więc stałą wartość tego współczynnika oraz mierząc wydłużenia powstałe skutkiem działania sił zewnętrznych, łatwo możemy obliczyć powstałe w materiale naprężenia. Mając przyrząd do mierzenia wydłużeń na pewnej stałej długości badanego obiektu, można instrument ten tak urządzić i wycechować, by podawał nam wprost naprężenia w badanym miejscu.

Przyrząd taki, by był celowy, musi odpowiadać kilku warunkom, z których najważniejsze są następujące:

1. Wydłużenie powinno być badane we włóknie skrajnem obiektu, a nie jak niektóre przyrządy mierzące

wydłużenia, w t. zw. włóknie idealnem oddalonym o pewną długość od włókna rzeczywistego, gdyż przyrząd taki da dobre rezultaty tylko w wypadku, gdy naprężenia są w przekroju równomiernie rozdzielone i nie ma naprężeń zginających.



*Ryc. 3.*

*Rama z belką próbną umocowana w maszynie 100 t.*

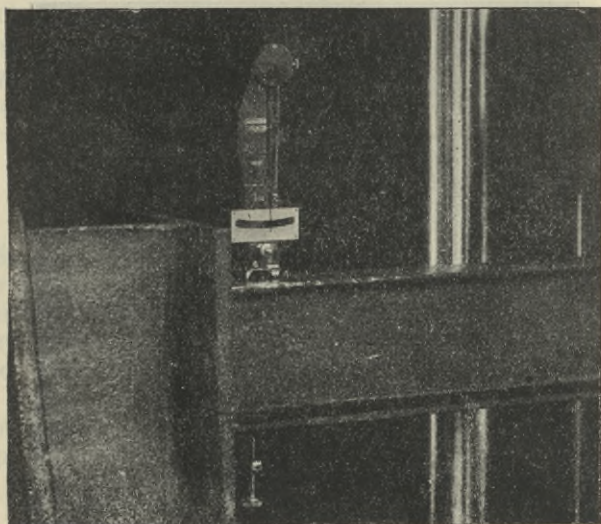
2. Przyrząd musi posiadać stosowne powiększenie, gdyż mierzone wielkości wahają się w ułamkach tysięcznych milimetra. Przytem musi być naturalnie odpowiednio czuły i posiadać stosowną precyzję wykonania.

3. Przyrząd taki musi być lekki i łatwy do umieszczenia nawet w trudno dostępnych miejscach.

Warunkom tym odpowiada w zupełności tensometr Huggenbergera. Jest to przyrząd niewielki, wymiary jego wynoszą: wysokość 165 mm, szerokość 52 mm, grubość 15 mm, waży zaledwie 70 gr. Wydłużenie mierzy się między dwoma ostrzami sporządzonymi ze specjalnie



twardej stali, których odstęp wynosi zwykle 20 mm, a z których jedno jest ruchome i przenosi wahania tegoż przez system dźwigni na skalę. Powiększenie tego systemu jest około 1200 krotne. Odstęp ostrzy można zmieniać zależnie od potrzeby; są też i tensometry czulsze, posiadające powiększenie 2000 krotne, do celów praktycznych jednak z reguły wystarczy typ uniwersalny, o którym mowa, a którego powiększenie jest 1200 krotne. Wygląd przyrządu umieszczonego na belce próbnej przedstawia nam fotografia na ryc. 4.



*Ryc. 4.*  
*Tensometr na belce próbnej.*

Tensometr można przytwierdzać przy pomocy stosownych urządzeń do obiektów, na których mają być dokonane pomiary. Są to najczęściej klamry dające się regulować, lub też inne przytrzymywacze, które muszą być dostosowane do rodzaju i wielkości obiektu. Do pomiarów na konstrukcjach żelaznych, nadaje się specjalnie do tego celu skonstruowany elektromagnes, który może przytrzymywać instrument w różnych położeniach na badanym obiekcie. W badaniach niniejszych elektromagnes taki był często używany (p. ryc. 5).

Pomiaru dokonuje się na następującej zasadzie: Jeżeli długość, na której wykonujemy pomiar oznaczmy przez „*l*“, zaś przez „*z*“ różnicę odczytów na skali przed i po obciążeniu, w końcu przez „*n*“ powiększenie, to wydłużenie jednostkowe otrzymamy z wzoru

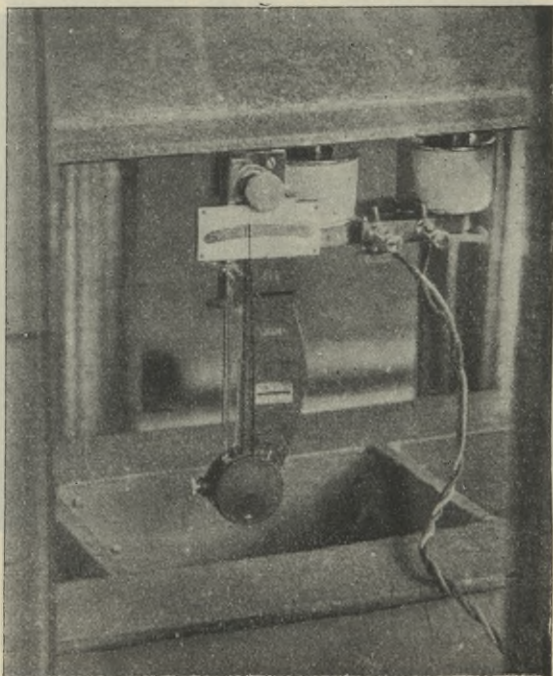
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{z}{n \cdot l} \quad (1)$$

Napężenie zaś otrzymamy z wzoru

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \frac{zE}{n \cdot l} \quad (2)$$

Np.  $l = 2 \text{ cm}$ ,  $n = 1200$ ,  $z = 1 \text{ mm}$ ,  $E = 2150000$ .  
Jednemu  $\text{mm}$  skali odpowie zatem napężenie

$$= \frac{1 \cdot 2150000}{1200 \cdot 20} = 89,5 \text{ kg/cm}^2 \sim 90 \text{ kg/cm}^2 \quad (3)$$



Ryc. 5.

Tensometr przytwierdzony do belki przy pomocy elektromagnesu.

Ponieważ skala jest tak urządzona, że można wygodnie szacować dziesiątne  $\text{mm}$ , więc wychyleniu wskazówki o  $0,1 \text{ mm}$  odpowie napężenie  $9 \text{ kg/cm}^2$ , zaś odpowiednie wydłużenie  $\Delta l$  wyniesie

$$\Delta l = \frac{l \cdot \sigma}{E} = \frac{20 \cdot 9}{2150000} = 0,000084 \text{ mm} \quad (4)$$

#### IV. POMIAR SPÓŁCZYNNIKA SPRĘŻYSTOŚCI.

Z wywodu w ustępie poprzednim jest widocznym, że, by otrzymać dokładne pomiary naprężeń przy po-



mocy tensometru, należy znać jego powiększenie oraz współczynnik sprężystości badanego materiału.

Powiększenie tensometru jest dane, gdyż przyrząd użyty do badań opisanych w niniejszej pracy, został cechowany w szwajcarskim państwowym Urzędzie Miar w Zurychu, przyczem określono powiększenie tegoż na 1242 krotnie.

Pozostaje do zbadania współczynnik sprężystości materiału, z którego huta walcowała belki użyte do doświadczeń. W tym celu wykonałem przy pomocy tensometru pomiar wydłużenia sprężystego na prętach obciążonych znaną siłą. Znając przekrój pręta i siłę, a więc naprężenie  $\sigma$ , wydłużenie jednostkowe wzgl. różnicę odczytów na tensometrze oraz powiększenie tegoż, łatwo obliczyć współczynnik sprężystości z równania 2, a mianowicie

$$E = \frac{\sigma \cdot n \cdot l}{z} \quad (5)$$

Pomiaru dokonałem na trzech prętach z żelaza kwadratowego 25/25 mm, utwierdzonych w maszynie do rozrywania, obciążając je następnie w granicach wydłużenia sprężystego siłą, odczytaną na manometrze maszyny, mierząc przytem wydłużenie tensometrem. — Przed wykonaniem odczytów na tensometrze, poddałem pręt kilkakrotnemu obciążeniu i odciążeniu, by wyeliminować nieznaczne wydłużenie niesprężyste, które zwykle pozostaje przy pierwszym obciążeniu.

Wyniki podaję zestawione w poniższej tabelce:

Tabl. I.

l=2 cm, n=1242								
Pręt Nr.	Przekrój mm	Pow. F=cm <sup>2</sup>	Odczyty na tensometrze		Różnica odczytów		$\sigma = \frac{P}{F}$ kg/cm <sup>2</sup>	$E = \frac{\sigma n l}{z}$
			P=0	P=8t	z	średnia		
1	25,1/25,2	6,32	4,7	18,8	14,1	14,1	1265	2,230,000
			10,6	24,6	14,0			
			14,8	29,0	14,2			
2	25,2/25,2	6,34	5,6	19,6	14,0	14,0	1260	2,240,000
			11,2	25,3	14,1			
			18,6	32,5	13,9			
3	25,0/25,1	6,27	3,7	18,0	14,3	14,2	1275	2,230,000
			11,2	25,3	14,1			
			16,3	30,5	14,2			
średnio E=								2,233,000

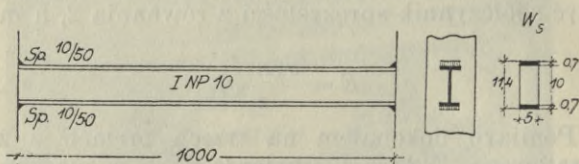
Naprężenie odpowiadające w powyższych warunkach 1 mm skali tensometru obliczymy z równania 2:

$$\sigma = \frac{1.2233000}{1242.20} = 89,9 \sim 90 \text{ kg/cm}^2 \quad . \quad . \quad (6)$$

## V. WYZNACZENIE STOPNIA UTWIERDZENIA PRZY OBCIĄŻENIU SKUPIONEM.

Mając powyższe dane można było przystąpić do przeprowadzenia prób, w sposób podany w rozdziale II. Naprzód wykonałem szereg doświadczeń dla obciążenia skupionego. Szczegółowe wyniki podaję poniżej:

### Próba Nr. 1.



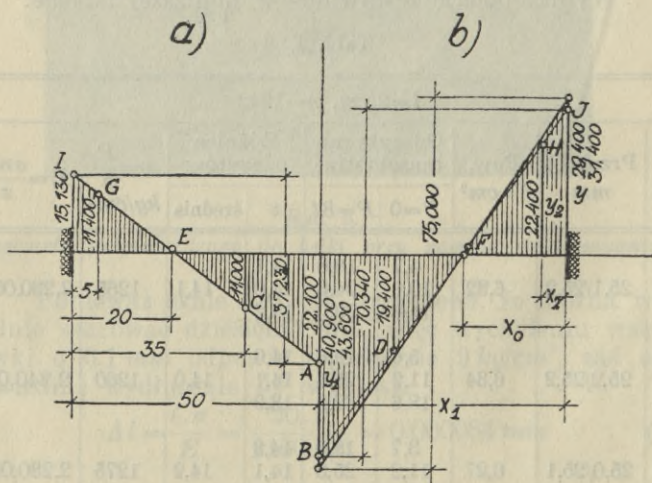
Rys. 6.

Próba Nr. 1.

$$W_B = 34,2 \text{ cm}^3 \text{ (wartość tablicowa)}$$

$$W_S = \frac{5}{6} \cdot \frac{11,4^3 - 10^3}{11,4} = 35,1 \text{ cm}^3$$

$$F_S = 2.0,7.5 = 7,0 \text{ cm}^2$$



Rys. 7.

Wykres momentów dla próby Nr. 1: a) dla 1,5 t, b) dla 3,0 t.



Tabl. II.

$$1 \text{ cm} = 90 \text{ kg/cm}^2, W_B = 34,2 \text{ cm}^3$$

Odczyt dla $2 P =$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napre- żenie $\sigma \text{ kg/cm}^2$	$M = \sigma W_B$ $\text{kgcm}$	Punkt
0 t	1,5 t	3,0 t	1,5 t	3,0 t	1,5 t	3,0 t			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
2,6	9,9	16,5	7,3	13,9	7,2		647	22,100	A
2,8	10,2	16,8	7,4	14,0					
3,3	10,3	16,0	7,0	12,7		13,3	1198	40,900	B
3,8	10,9	16,4	7,1	12,6					
$x = 35 \text{ cm}$									
0,8	4,4	7,0	3,6	6,2	3,6		324	11,100	C
1,2	4,6	7,3	3,4	6,1					
5,2	9,0	11,7	3,8	6,5	6,3		567	19,400	D
5,5	9,1	11,9	3,6	6,4					
$x = 20 \text{ cm}$									
3,8	4,2	4,6	0,4	0,8	0,3		27	923	E
3,9	4,4	4,7	0,5	0,8					
4,5	4,7	4,7	0,2	0,2	0,5		45	1,540	F
4,9	5,0	5,2	0,1	0,3					
$x = 5 \text{ cm}$									
5,0	8,4	11,8	3,4	6,8	3,7		333	11,400	G
5,2	8,5	11,9	3,3	6,7					
1,8	5,9	9,7	4,1	7,9	7,3		657	22,400	H
2,0	6,0	9,8	4,0	7,8					

Jak widać pomiary naprężeń przeprowadzone są dla działania siły mniejszej 1,5 t i dwa razy większej 3,0 t, przyczem ta ostatnia siła jest tak dobrana, by naprężenia w belce nie przekroczyły naprężeń dopuszczalnych. W rubryce odczytów widzimy po 4 odczyty; z tych 2 odnoszą się do lewej i 2 do prawej strony belki, by wyeliminować ewentualne błędy powstałe z niezupełnie idealnie osiowego działania siły, wzgl. niesymetryczności pomiaru względem osi siły.

Obliczone w ostatniej rubryce tabeli II wartości  $M$ , naniesione na odpowiedni wykres, pozwalają nam wyznaczyć rzeczywisty przebieg momentów w belce, gdyż

linia momentów jest prostą, a więc można także wyznaczyć i moment podporowy graficznie lub analitycznie.

Jak z rys. 7 widać, punkty *A, C, E, G*, oraz *B, D, F, H*, leżą prawie dokładnie na prostej, pomiar został przeto dokonany z dostateczną dokładnością. Wystarczy zatem dokładny pomiar naprężeń w dwu punktach np. w p. *B* i *H* by określić przebieg linii momentów. Pomiar w punktach pośrednich służy tutaj dla kontroli. Punkty *I* i *J* można wyznaczyć graficznie przedłużwszy linię *AG* wzgl. *BH* do przecięcia się z rzędną podporową, lub też można obliczyć wartość rzędnej tych punktów przy pomocy następującej prostej relacji:

Jeżeli rzędną w środku rozpiętości nazwiemy  $y_1$ , w p. *H* przez  $y_2$ , zaś szukaną przez  $y$ , następnie odpowiednie odcięte przez  $x_1$ ,  $x_2$  i  $x_0$  (rys. 7) to

$$\frac{y}{x_0} = \frac{y_2}{x_0 - x_2} = \frac{y_1}{x_1 - x_0} \quad \dots \quad (7)$$

$$y = \frac{x_0 y_2}{x_0 - x} \quad \dots \quad (8)$$

$$x_0 = \frac{y_1 x_2 + y_2 x_1}{y_1 + y_2} \quad \dots \quad (9)$$

dla  $x = 0,5$ ,  $x_2 = 0,05$  otrzymamy

$$y = 0,111 y_1 + 1,11 y_2 \quad \dots \quad (10)$$

W tym wypadku otrzymujemy dla p. *I* rzędną 15130, zaś dla p. *J* rzędną 29440.

Jeżeli doświadczenie zostało dobrze wykonane, to suma bezwzględnych wartości momentu dodatniego w środku belki i momentu podporowego, powinna dać moment teoretyczny dla belki wolno podpartej o tej samej rozpiętości.

W naszym przypadku moment teoretyczny dla belki wolno podpartej  $M_0 = \frac{Pl}{4}$  czyli 37500 wzgl. 75000 *kgcm*.

Z wykresu natomiast otrzymujemy 37230 i 70340 *kg/cm*. Z całego przebiegu doświadczenia widać, iż błędu żadnego nie popełniono, najlepszym dowodem to, iż punkty leżą na linii prostej; powód tej różnicy leży zatem gdzieindziej. Leży on w samej maszynie użytej do doświadczeń lub też w podziale manometru tej maszyny. Maszyna bowiem, jak zresztą każdy przyrząd, posiada pewien błąd i jeżeli manometr tejże wskazuje obciążenie 3 *t*, to rzeczywista siła może być nieco mniejsza lub większa. Ponieważ jest to maszyna 100 tonowa, więc błąd kilkoprocentowy zwłaszcza przy małych siłach jest bardzo prawdopodobny. Błąd ten jednak nie ma najmniejszego wpływu na wynik naszego doświadczenia, gdyż siła była we wszystkich punktach tej samej wielkości,



a nam chodzi nietylko o bezwzględną wartość momentów, jak o ich stosunek, który pozostaje ten sam. Znając stosunek możemy obliczyć bezwzględne wartości momentów dla danej siły.

Otrzymujemy zatem następujące relacje:

a) dla siły 1,5 t

$$\frac{M}{M_0} = \frac{22100}{37230} = 0,594 \dots \dots \dots (11)$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{15130}{37230} = 0,406 \dots \dots \dots (12)$$

b) dla siły 3,0 t

$$\frac{M}{M_0} = \frac{40900}{70340} = 0,582 \dots \dots \dots (13)$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{29440}{70340} = 0,418 \dots \dots \dots (14)$$

Rzeczywiste wartości momentów dla siły 1,5 t wzgl. 3,0 t można teraz obliczyć, wynoszą one:

a) dla siły 1,5 t

$$M = 0,594 \cdot 37500 = 22300$$

$$M_u = 0,406 \cdot 37500 = 15200$$

b) dla siły 3,0 t

$$M = 0,582 \cdot 75000 = 43600$$

$$M_u = 0,418 \cdot 75000 = 31400.$$

Wartości powyższe uwzględnione w wykresie na rys. 7 dają nam prawdziwy przebieg linii momentów dla siły 1,5 wzgl. 3,0 t. (Linja ta na rysunku dla 3 t grubiej wyciągnięta, dla 1,5 różnica jest b. mała).

W próbie tej wynosi średnio:

$$M = \frac{0,594 + 0,582}{2} M_0 = 0,588 M_0 \dots \dots \dots (15)$$

$$M_u = \frac{0,406 + 0,418}{2} M_0 = 0,412 M_0 \dots \dots \dots (16)$$

Znając momenty utwierdzenia można teraz obliczyć naprężenia w spoinach, które wyznaczymy z wzoru<sup>1)</sup>:

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_m^2} \text{ gdzie } \dots \dots \dots (17)$$

$$\sigma_p = \frac{P}{F_s} \text{ naprężenie z siły podporowej. } \dots \dots \dots (18)$$

$$\sigma_m = \frac{M_u}{W_s} \text{ naprężenie z momentu podporowego } (19)$$

<sup>1)</sup> Por. projekt polskich przepisów prof. Bryły § 2, oraz „Vorläufige Vorschriften für geschweisste Stahlbauten“ § 4 ust. 3.

dla siły 3,0 t otrzymamy:

$$\sigma_p = \frac{1500}{7} = 214 \text{ kg/cm}^2$$

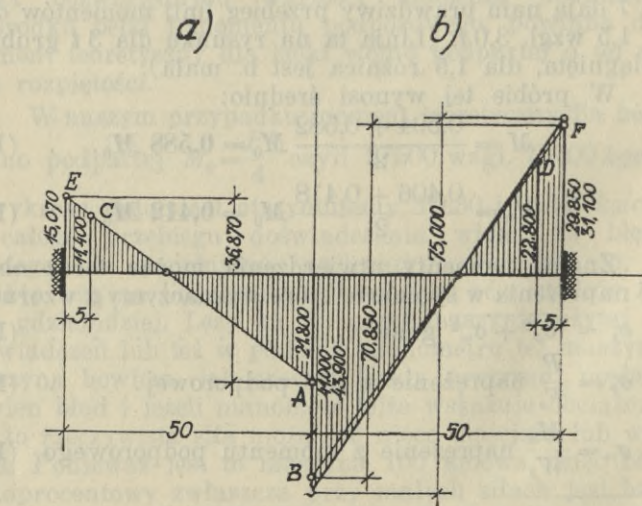
$$\sigma_m = \frac{0,412 \cdot 75000}{35,1} = 880 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = \sqrt{214^2 + 880^2} = 905 \text{ kg/cm}^2.$$

### Próba Nr. 2.

Wobec tego, iż wstępne próby oraz dokładnie przeprowadzona próba Nr. 1 wykazały z dostateczną dokładnością, iż mierzone punkty linii momentów leżą na linii prostej, ograniczam się przy dalszych próbach do mierzenia naprężeń w dwu tylko punktach: dla  $x = l/2 = 50 \text{ cm}$  oraz dla  $x = 5 \text{ cm}$ ; t. j. w środku rozpiętości, gdzie moment dodatni jest największy oraz możliwie blisko podpory, dla zmierzenia momentu podporowego. — Można to uczynić tembardziej, że pomiary w p.  $x = 20$  i  $35 \text{ cm}$  jako bliskich punktu zerowego linii momentów, nie mogą być z powodu b. małych naprężeń tak dokładne jak w środku rozpiętości, lub blisko podpory.

Do próby Nr. 2 użyłem tej samej belki próbnej, jednak z tą różnicą, iż słupy, w których utwierdzono belkę nie zostały uchwycone klamrami do stołu maszyny, mogły się przeto nieco ugiąć. Chodziło mi o zbadanie, czy wywiera to jakiś wpływ na wielkość utwierdzenia belki w tych słupach.



Rys. 8.

Wykres momentów dla próby Nr. 2: a) dla 1,5 t, b) dla 3,0 t.



Pomiary zestawione są w poniższej tabelce.

Tabl. III.

$$1 \text{ mm} = 90 \text{ kg/cm}^2 \quad W_B = 34,2 \text{ cm}^3$$

Odczyt dla $2 P=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napre- żenie $\sigma \text{ kg/cm}^2$	$M = \sigma W_B$ $\text{kgcm}$	Punkt
0	1,5	3,0	1,5	3,0	1,5	3,0			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
4,0	11,3	17,4	7,3	13,4	7,1		638	21800	A
4,6	11,7	17,7	7,1	13,1					
22,0	28,9	35,4	6,9	13,4	13,3		1200	41000	B
22,0	29,0	35,4	7,0	13,4					
$x = 5 \text{ cm}$									
4,5	8,4	12,0	3,9	7,5	3,7		333	11400	C
4,6	8,7	12,1	4,1	7,5					
6,7	10,1	14,0	3,4	7,3	7,4		667	22800	D
6,8	10,2	14,1	3,4	7,3					
$x = 0$									
dla 1,5 t: $y = 0,111 \cdot 21800 + 1,11 \cdot 11400 =$								15070	E
„ 3,0 t: $y = 0,111 \cdot 41000 + 1,11 \cdot 22800 =$								29850	F

W dalszym ciągu otrzymujemy:

a) dla siły 1,5 t:  $M_0 = 21800 + 15070 = 36870 \text{ kgcm}$ .

$$\frac{M}{M_0} = \frac{21800}{36870} = 0,590 \quad \dots \quad (20)$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{15070}{36870} = 0,410 \quad \dots \quad (21)$$

b) dla siły 3,0 t:  $M_0 = 41000 + 29850 = 70850 \text{ kgcm}$ .

$$\frac{M}{M_0} = \frac{41000}{70850} = 0,579 \quad \dots \quad (22)$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{29850}{70850} = 0,421 \quad \dots \quad (23)$$

Wartości średnie:

$$M = \frac{0,590 + 0,579}{2} M_0 = 0,585 M_0 \quad \dots \quad (34)$$

$$M_u = \frac{0,410 + 0,421}{2} M_0 = 0,415 M_0 \quad \dots \quad (25)$$

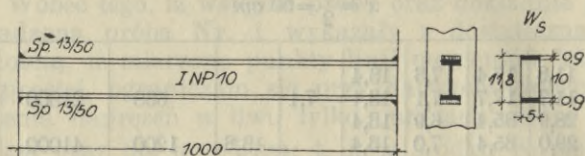
Wyniki otrzymaliśmy prawie te same co w próbie Nr. 1, zatem małe elastyczne ugięcia słupów nie wywiera tu wpływu na stopień utwardzenia belki.

Rzeczywiste momenty dla siły 3,0 t obliczymy jak poprzednio, a mianowicie:

$$M = 0,585 \cdot 75000 = 43900 \text{ kgcm}$$

$$M_u = 0,415 \cdot 75000 = 31100 \text{ "}$$

### Próba Nr. 3.



Rys. 9.

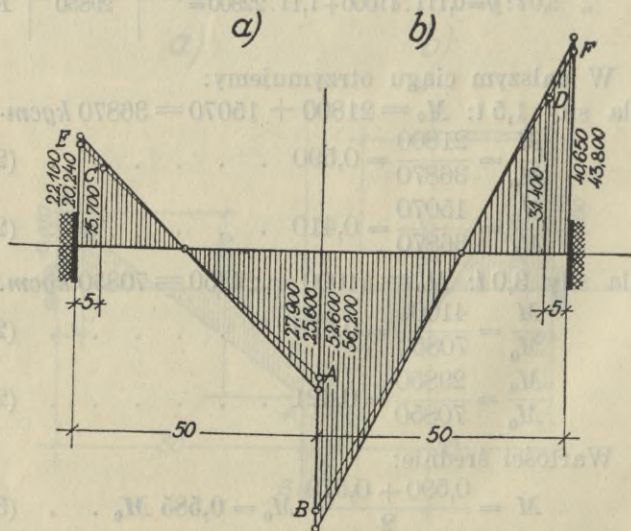
### Próba Nr. 3.

$$W_B = 34,2 \text{ cm}^3 \text{ (wartość tablicowa)}$$

$$W_s = \frac{5}{6} \cdot \frac{11,8^3 - 10^3}{11,8} = 45,2 \text{ cm}^3$$

$$F_s = 2 \cdot 0,9 \cdot 5,0 = 9 \text{ cm}^2.$$

Belka próbna ta sama, tylko spawki wzmocnione z 1 na 1,3 cm oraz zwiększono nacisk z 3 na 4 t.



Rys. 10.

Wykres momentów dla próby Nr. 3: a) dla 2 t, b) dla 4 t.



Wyniki pomiarów podaję poniżej.

Tabl. IV.

$$1 \text{ mm} = 90 \text{ kg/cm}^2$$

Odczyt dla $2 P=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napre- żenie $\sigma \text{ kg/cm}^2$	$M = \sigma W_B$ $\text{kgcm}$	Punkt
0	2	4	2	4	2	4			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
10,8	19,0	28,0	8,2	17,2	8,3		747	25600	A
11,0	19,3	28,0	8,3	17,0					
11,0	19,4	28,2	8,4	17,2	17,1		1540	52600	B
11,0	19,4	28,0	8,4	17,0					
$x = 5 \text{ cm}$									
5,7	10,2	15,0	4,5	9,3	5,1		459	15700	C
5,9	10,3	15,0	4,4	9,1					
18,2	23,8	29,3	5,6	11,1	10,2		918	31400	D
18,1	23,9	29,3	5,8	11,2					
$x = 0$									
dla $2 t: y = 0,111 \cdot 25600 + 1,11 \cdot 15700 =$								20240	E
dla $4 t: y = 1,111 \cdot 52600 + 1,11 \cdot 31400 =$								40650	F

dla  $2 t$  otrzymujemy:

$$M_0 = 25600 + 20240 = 45840 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{25600}{45840} = 0,558$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{20240}{45840} = 0,442$$

dla  $4 t$ :

$$M_0 = 52600 + 40650 = 93250 \text{ kgcm.}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{52600}{93250} = 0,565$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{40650}{93250} = 0,435$$

Średnio wynosi:

$$M = \frac{0,558 + 0,565}{2} M_0 = 0,562 M_0 \quad . \quad (26)$$

$$M_u = \frac{0,442 + 0,435}{2} M_0 = 0,438 M_0 \quad . \quad (27)$$

Napężenie w spoinach: (dla siły 4 t)

$$\sigma_p = \frac{P}{F_s} = \frac{2000}{9} = 222 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_m = \frac{M_u}{W_s} = \frac{0,435 \cdot 100000}{45,2} = 963 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_m^2} = \sqrt{222^2 + 963^2} = 988 \text{ kg/cm}^2.$$

#### Próba Nr. 4.

Belka próbna ta sama, co w próbie Nr. 3, z tą różnicą, iż podobnie, jak w próbie Nr. 2, słupy nie zostały uchwycone klamrami do stołu maszyny. Chodzi o ponowne sprawdzenie, czy wyniki będą podobne jak w próbie Nr. 2, t. j. czy małe sprężyste ugięcie słupów ma wpływ na wielkość utwierdzenia belki.

Pomiary zestawione są poniżej.

Tabl. V.

1 mm = 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Odczyt dla $2P=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napężenie $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	$M = \sigma W_B$ kgcm	Punkt
0	2	4	2	4	2	4			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
10,6	18,5	27,0	7,9	16,4	8,0		720	24600	A
10,8	18,9	27,2	8,1	16,4					
10,8	18,8	27,4	8,0	16,6	16,4		1480	50600	B
10,9	18,8	27,1	7,9	16,2					
$x = 5 \text{ cm}$									
19,3	24,0	29,2	4,7	9,9	4,5		405	13850	C
19,2	24,0	29,6	4,8	10,4					
20,0	24,0	28,2	4,0	8,2	9,5		836	28600	D
20,0	24,3	28,5	4,3	8,5					
$x = 0$									
dla 2 t: $y = 0,111 \cdot 24600 + 1,11 \cdot 13850 =$								18100	E
„ 4 t: $y = 0,111 \cdot 50600 + 1,11 \cdot 28600 =$								37400	F

dla 2 t otrzymujemy:

$$M_0 = 24600 + 18100 = 42700 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{24600}{42700} = 0,576$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{18100}{42700} = 0,424$$



dla 4 t:

$$M_0 = 50600 + 37400 = 88000$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{50600}{88000} = 0,575$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{37400}{88000} = 0,425$$

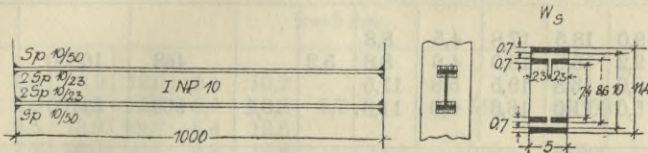
Średnio można przyjąć:

$$M = 0,575 M_0 \quad (28)$$

$$M_u = 0,425 M_0 \quad (29)$$

Wyniki zatem niewiele się różnią od poprzednich. Różnica leży jeszcze w granicach błędu doświadczalnego, wynosi bowiem zaledwie 3%.

## Próba Nr. 5.



Rys. 11.

Próba Nr. 5.

$$W_B = 34,2 \text{ cm}^3$$

$$W_S = \frac{5}{6} \cdot \frac{11,4^3 - 10^3}{11,4} + \frac{4,5}{6} \cdot \frac{8,6^3 - 7,4^3}{8,6} = 55,2 \text{ cm}^3$$

$$F_S = 0,7 (5,2 + 2,25 \cdot 4) = 13,3 \text{ cm}^2.$$

W próbie tej chodziło o sprawdzenie, czy i o ile spoiny dodatkowe wewnętrzne poprawiają utwierdzenie dźwigara.

Wyniki pomiarów są następujące (p. Tabl. VI):

dla 2 t:

$$M_0 = 26500 + 20690 = 47190 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{26500}{47190} = 0,561$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{20690}{47190} = 0,439$$

dla 4 t:

$$M_0 = 52300 + 40210 = 92510 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{52300}{92510} = 0,565$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{40210}{92510} = 0,435.$$



Tabl. VI.  
1 mm = 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Odczyt dla 2 P=t			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napre- żenie $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	M = $\sigma W_B$ kgcm	Punkt
0	2	4	2	4	2	4			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
7,5	16,1	24,8	8,6	17,3	8,6	17,0	774	26500	A
7,7	16,2	24,5	8,5	16,8			1580	52300	B
7,8	16,6	24,8	8,8	17,0					
9,5	18,1	26,5	8,6	17,0					
$x = 5 \text{ cm}$									
9,0	13,5	17,8	4,5	8,8	5,2	10,1	468	16000	C
9,2	13,8	18,0	4,6	8,8			909	31100	D
8,0	13,8	19,5	5,8	11,5					
5,0	11,0	16,3	6,0	11,3					
$x = 0$									
dla 2 t: $y = 0,111 \cdot 26500 + 1,11 \cdot 16000 =$								20690	E
„ 4 t: $y = 0,111 \cdot 52300 + 1,11 \cdot 31100 =$								40210	F

Średnio można przyjąć:

$$M = 0,563 M_0 \quad (30)$$

$$M_u = 0,437 M_0 \quad (31)$$

Jak widać skutkiem spoin wewnętrznych utwierdzenie dźwigara nieco się zwiększyło. By jednak z całą pewnością wykluczyć możliwą pomyłkę oraz dokładniej określić wielkość utwierdzenia w tym wypadku, wykonałem dodatkowo jeszcze jedną próbę Nr. 6, przyczem spoiny tak górne jak i dolne zostały oszlifowane ściśle na przepisana miarę.

### Próba Nr. 6.

dla 2 t:

$$M_0 = 26800 + 22400 = 49200 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{26800}{49200} = 0,545$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{22400}{49200} = 0,455$$



Tabl. VII.

1 mm = 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Odczyt dla $2P=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napre- żenie $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	$M = \sigma W_B$ kgcm	Punkt
0	2	4	2	4	2	4			
$x = \frac{l}{2} = 50$ cm									
2,5	11,3	20,0	8,8	17,5	8,7		784	26800	A
3,0	11,7	20,1	8,7	17,1					
3,3	12,0	20,5	8,7	17,2	17,3		1558	53200	B
5,6	14,3	22,9	8,7	17,3					
$x = 5$ cm									
1,8	6,9	12,0	5,1	10,2	5,7		513	17500	C
2,0	7,1	12,2	5,1	10,2					
7,5	13,9	19,8	6,4	12,3	11,3		1018	34800	D
7,7	14,0	20,0	6,3	12,3					
$x = 0$									
dla 2 t: $y = 0,111 \cdot 26800 + 1,11 \cdot 17500 =$								22400	E
„ 4 t: $y = 0,111 \cdot 53200 + 1,11 \cdot 34800 =$								44600	F

dla 4 t:

$$M_0 = 53200 + 44600 = 97800 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{53200}{97800} = 0,544$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{44600}{97800} = 0,456$$

Średnio:

$$M = 0,545 M_0 \quad (32)$$

$$M_u = 0,455 M_0 \quad (33)$$

Napężenie w spoinach:

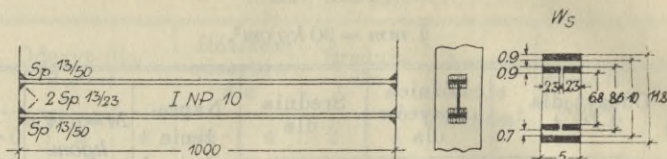
$$\sigma_p = \frac{2000}{13,3} = 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_m = \frac{0,455 \cdot 100000}{55,2} = 824 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = \sqrt{150^2 + 824^2} = 838 \text{ kg/cm}^2.$$



## Próba Nr. 7.



Rys. 12.  
Próba Nr. 7.

$$W_B = 34,2 \text{ cm}^2$$

$$W_S = \frac{5}{6} \cdot \frac{11,8^3 - 10^3}{11,8} + \frac{4,5}{6} \cdot \frac{8,6^3 - 6,8^3}{8,6} = 73,0 \text{ cm}^3$$

$$F_S = 0,9 (5,2 + 2,25 \cdot 4) = 17,1 \text{ cm}^2.$$

Tabl. VIII.

1 mm = 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Odczyt dla 2 P=t			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napre- żenie $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	M=σ W <sub>B</sub> kgcm	Punkt
0	2	4	2	4	2	4			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
2,9	11,3	19,8	8,4	16,9	8,5		765	26200	A
7,4	16,0	24,2	8,4	16,7					
15,3	23,7	32,0	8,6	16,8	16,8		1512	51700	B
19,4	27,9	36,2	8,5	16,8					
$x = 5 \text{ cm}$									
7,5	12,3	17,6	4,8	10,1	5,5		495	16900	C
15,0	20,0	25,0	5,0	10,0					
4,2	10,2	15,9	6,0	11,7	10,9		981	33550	D
21,7	27,8	33,5	6,1	11,8					
$x = 0$									
dla 2 t: y=0,111.26200+1,11.16900=								21660	E
„ 4 t: y=0,111.51700+1,11.33550=								42940	F

dla 2 t:

$$M_0 = 26200 + 21660 = 47860 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{26200}{47860} = 0,548$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{21660}{47860} = 0,452$$



dla 4 t:

$$M_0 = 51700 + 42940 = 94640 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{51700}{94640} = 0,546$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{42940}{94640} = 0,454$$

$$\text{Średnio: } M = 0,547 M_0 \dots \dots \dots (34)$$

$$M_u = 0,453 M_0 \dots \dots \dots (35)$$

Napężenie w spoinach:

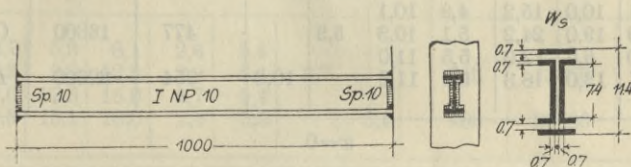
$$\sigma_p = \frac{2000}{17,1} = 117 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_m = \frac{0,453 \cdot 100000}{73,0} = 621 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = \sqrt{117^2 + 621^2} = 631 \text{ kg/cm}^2.$$

Utwierdzenie skutkiem zwiększenia spoin wzrosło w stosunku do próby Nr. 6 tylko nieznacznie, natomiast napężenie w spoinach naturalnie znacznie mniejsze.

### Próba Nr. 8.



Rys. 13.

Próba Nr. 8.

$$W_B = 34,2 \text{ cm}^3$$

$$W_s = (\text{por. próbę Nr. 5}) = 55,2 + \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 7,4^2}{6} = 55,2 + 12,8 = 68 \text{ cm}^3$$

$$F_s = 13,3 + 2 \cdot 0,7 \cdot 7,4 = 23,7 \text{ cm}^2.$$

dla 2 t:

$$M_0 = 26500 + 21040 = 47540 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{26500}{47540} = 0,558$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{21040}{47540} = 0,442$$

dla 4 t:

$$M_0 = 52300 + 42000 = 94300 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{52300}{94300} = 0,555$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{42000}{94300} = 0,445$$





Próba ta została wykonana w tym celu, by przekonać się, jak wielkiem jest utwierdzenie w przypadku przyspojenia dźwigarów tylko szwami górnymi. Dolne szwy wymagają, jak wiadomo znacznie więcej pracy jako wykonywane zwykle ponad głową, gdyby zatem dało się ich uniknąć, byłoby to znaczną oszczędnością.

Tabl. X.

$$1 \text{ mm} = 90 \text{ kg/cm}^2.$$

Odczyt dla $2 P=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napre- żenie $\sigma \text{ kg/cm}^2$	$M=\sigma W_B$ <i>kgcm</i>	Punkt
0	2	4	2	4	2	4			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
4,0	11,3	18,4	7,3	14,4	7,3		657	36000	A
10,0	17,3	24,4	7,3	14,4					
14,2	21,4	28,5	7,2	14,3	14,4		1295	70800	B
18,6	26,0	33,1	7,4	14,5					
$x=5 \text{ cm}$									
2,7	5,3	8,1	2,6	5,4	2,7		243	13300	C
6,9	9,8	12,3	2,9	5,4					
9,6	12,3	15,0	2,7	5,4	5,4		486	26600	D
12,5	15,1	18,0	2,6	5,5					
$x=0$									
dla $2t: y=0,111.36000+1,11.13300=$								18750	E
„ $4t: y=0,111.70800+1,11.26600=$								37360	F

dla  $2t$ :

$$M_0 = 36000 + 18750 = 54750 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{36000}{54750} = 0,657$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{18750}{54750} = 0,343$$

dla  $4t$ :

$$M_0 = 70800 + 37360 = 108160 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{70800}{108160} = 0,655$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{37360}{108160} = 0,345$$

Średnio:

$$M = 0,656 M_0 \quad \dots \quad (38)$$

$$M_u = 0,344 M_0 \quad \dots \quad (39)$$

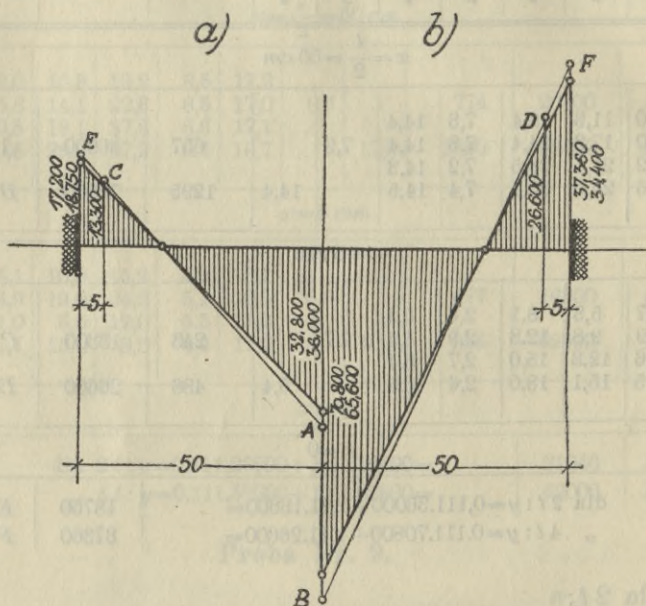
Jak widać utwierdzenie jest w tym przypadku znacznie mniejsze niż w poprzednich.

Naprężenie w spoinach:

$$\sigma_p = \frac{2000}{7,8} = 256 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_m = \frac{0,344 \cdot 100000}{42,3} = 812 \text{ kg/cm}^2$$

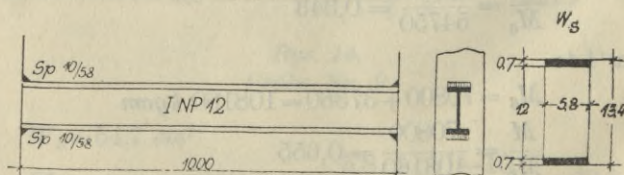
$$\sigma_s = \sqrt{256^2 + 812^2} = 851 \text{ kg/cm}^2.$$



Rys. 15.

Wykres momentów dla próby Nr. 9: a) dla 2t, b) dla 4t.

### Próba Nr. 10.



Rys. 16.

Próba Nr. 10.



$$W_B = 54,7 \text{ cm}^3$$

$$W_S = \frac{5,8}{6} \cdot \frac{13,4^3 - 12^3}{13,4} = 49 \text{ cm}^3$$

$$F_S = 0,7 \cdot 5,8 \cdot 2 = 8,1 \text{ cm}^2.$$

Tabl. XI.

$$1 \text{ mm} = 90 \text{ kg/cm}^2.$$

Odczyt dla $2 P=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napre- żenie $\sigma \text{ kg/cm}^2$	$M = \sigma W_B$ $\text{kgcm}$	Punkt
0	2	5	2	5	2	5			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
1,8	9,1	17,2	6,3	15,4					
4,5	10,7	19,9	6,2	15,4	6,4		576	31500	A
6,3	12,8	21,9	6,5	15,6					
10,4	17,0	26,0	6,6	15,6		15,5	1393	76200	B
$x = 5 \text{ cm}$									
4,4	7,6	11,7	3,2	7,3					
11,2	14,2	18,6	3,0	7,4	2,9		261	14250	C
16,3	19,0	23,7	2,7	7,4					
19,3	22,1	26,7	2,8	7,4		7,4	666	36500	D
$x = 0$									
dla $2 t: y = 0,111 \cdot 31500 + 1,11 \cdot 14250 =$								19300	E
" $5 t: y = 0,111 \cdot 76200 + 1,11 \cdot 36500 =$								49000	F

dla  $2 t$ :

$$M_0 = 31500 + 19300 = 50800 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{31500}{50800} = 0,620$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{19300}{50800} = 0,380$$

dla  $5 t$ :

$$M_0 = 76200 + 49000 = 125200 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{76200}{125200} = 0,608$$

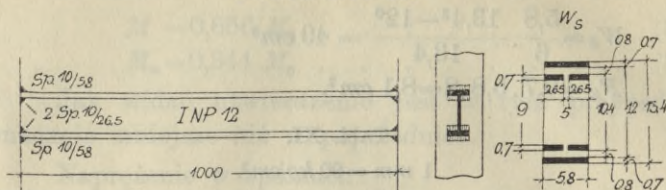
$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{49000}{125200} = 0,392$$

Średnio:

$$M = 0,614 M_0 \quad (40)$$

$$M_u = 0,386 M_0 \quad (41)$$

## Próba Nr. 11.



Rys. 17.  
Próba Nr. 11.

$$W_B = 54,7 \text{ cm}^3$$

$$W_S = \frac{5,8}{6} \cdot \frac{13,4^3 - 12^3}{13,4} + \frac{5,3}{6} \cdot \frac{10,4^3 - 9^3}{10,4} = 49 + 33,7 = 82,7 \text{ cm}^3$$

$$F_S = 8,1 + 0,7 \cdot 5,3 \cdot 2 = 15,5 \text{ cm}^3.$$

Tabl. XII.  
1 mm = 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Odczyt dla $2P=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Naprężenie $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	$M = \sigma W_B$ kgcm	Punkt
0	2	5	2	5	2	5			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
3,0	8,9	17,7	5,9	14,7	5,9	14,7	531	29000	A
7,3	13,2	22,0	5,9	14,7					
6,7	12,5	21,3	5,8	14,6	14,7	1323	72400	B	
10,2	16,2	25,0	6,0	14,8					
$x = 5 \text{ cm}$									
3,3	6,3	11,1	3,0	7,8	3,1	8,0	279	15270	C
8,2	11,4	16,2	2,8	8,0					
1,8	4,9	9,9	3,1	8,1	8,0	720	39400	D	
5,0	8,3	13,1	3,3	8,1					
$x = 0$									
dla $2t: y = 0,111 \cdot 29000 + 1,11 \cdot 15270 =$								20160	E
„ $5t: y = 0,111 \cdot 72400 + 1,11 \cdot 39400 =$								51740	F

dla  $2t$

$$M_0 = 29000 + 20160 = 49160 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{29000}{49160} = 0,590$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{20160}{49160} = 0,410$$



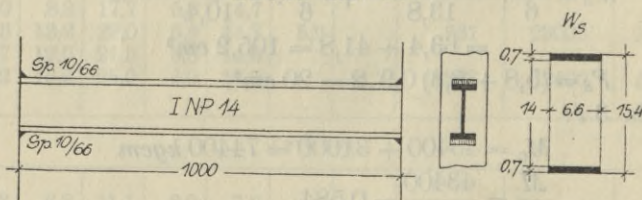


Tabl. XIII.

1 mm = 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Odczyt dla $2P = t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Naprę- żenie $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	$M = \sigma W_B$ kgcm	Punkt
0	3	6	3	6	3	6			
$x = \frac{l}{2} = 50$ cm									
2,7	11,7	20,2	9,0	17,5	8,8		793	43400	A
7,0	15,9	24,6	8,9	17,6					
13,5	22,2	30,7	8,7	17,2	17,4		1566	85500	B
18,0	26,7	35,3	8,7	17,3					
$x = 5$ cm									
7,0	11,6	16,5	4,6	9,5	4,8		432	23600	C
9,0	13,6	18,7	4,6	9,7					
16,6	21,6	26,6	5,0	10,0	9,8		882	48200	D
20,3	25,2	30,2	4,9	9,9					
$x = 0$									
dla 3 t: $y = 0,111 \cdot 43400 + 1,11 \cdot 23600 =$								31000	E
" 6 t: $y = 0,111 \cdot 85500 + 1,11 \cdot 48200 =$								63000	F

## Próba Nr. 13.



Rys. 19.

Próba Nr. 13.

$$W_B = 81,9 \text{ cm}^3$$

$$W_S = \frac{6,6}{6} \cdot \frac{15,4^3 - 14^3}{15,4} = 64,2 \text{ cm}^3$$

$$F_S = 0,7 \cdot 6,6 \cdot 2 = 9,2 \text{ cm}^2.$$

dla 3 t:

$$M_0 = 46400 + 28800 = 75200 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{46400}{75200} = 0,617$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{28800}{75200} = 0,383$$



dla 6 t:

$$M_0 = 93600 + 52180 = 145700 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{93600}{145700} = 0,643$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{52100}{145700} = 0,357$$

Średnio:

$$M = 0,630 M_0 \dots \dots \dots (46)$$

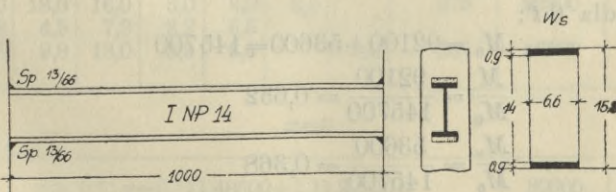
$$M_u = 0,370 M_0 \dots \dots \dots (47)$$

Tabl. XIV.

1 mm = 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Odczyt dla $2P = t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napre- żenie $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	$M = \sigma W_B$ kgcm	Punkt
0	3	6	3	6	3	6			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
4,3	10,6	17,0	6,3	12,7	6,3	12,7	567	46400	A
7,2	13,5	19,8	6,3	12,6					
10,0	16,2	22,5	6,2	12,5	12,7	1142	1142	98600	B
17,5	24,0	30,3	6,5	12,8					
$x = 5 \text{ cm}$									
4,4	6,0	8,4	1,6	4,0	2,6		284	21300	C
9,0	11,0	13,0	2,0	4,0					
5,0	8,2	11,0	3,2	6,0	5,1		459	37600	D
9,9	13,3	16,2	3,4	6,3					
$x = 0$									
dla 3 t: $y = 0,111 \cdot 46400 + 1,11 \cdot 21300 =$								28800	E
„ 6 t: $y = 0,111 \cdot 98600 + 1,11 \cdot 37600 =$								52100	F

## Próba Nr. 14.



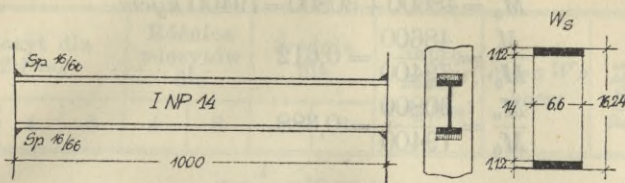
Rys. 20.

Próba Nr. 14.





## Próba Nr. 15.



Rys. 21.  
Próba Nr. 15.

$$W_B = 81,9 \text{ cm}^3$$

$$W_S = \frac{6,6}{6} \cdot \frac{16,24^3 - 14^3}{16,24} = 1,1 \cdot \frac{1550}{16,24} = 105 \text{ cm}^3$$

$$F_S = 14,8 \text{ cm}^2.$$

Tabl. XVI.

1 mm = 90 kg/cm<sup>2</sup>.

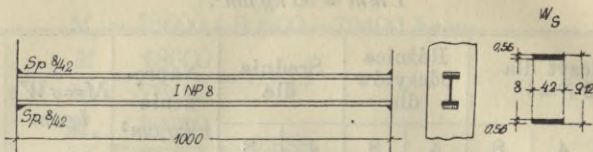
Odczyt dla $2P=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napężenie $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	$M = \sigma W_B$ kgcm	Punkt
0	3	6	3	6	3	6			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
3,7	10,1	16,3	6,4	12,6	6,6		594	48600	A
7,7	14,5	20,6	6,8	12,9					
14,5	21,2	27,2	6,7	12,7	12,8		1151	94800	B
19,8	26,4	32,6	6,6	12,8					
$x = 5 \text{ cm}$									
5,0	7,9	11,0	2,9	6,0	3,1		279	22900	C
10,0	13,0	16,0	3,0	6,0					
1,3	4,5	7,8	3,2	6,5	6,3		567	46500	D
6,5	9,8	13,0	3,3	6,5					
$x = 0$									
dla 3 t: $y = 0,111 \cdot 48600 + 1,11 \cdot 22900 =$								30800	E
„ 6 t: $y = 0,111 \cdot 94800 + 1,11 \cdot 46500 =$								62100	F







## Próba Nr. 17.



Rys. 23.  
Próba Nr. 17.

$$W_B = 19,5 \text{ cm}^3$$

$$W_S = \frac{4,2}{6} \cdot \frac{9,12^3 - 8^3}{9,12} = 19 \text{ cm}^3$$

$$F_S = 4,2 \cdot 0,56 \cdot 2 = 4,7 \text{ cm}^2$$

Tabl. XVIII.

$$1 \text{ mm} = 90 \text{ kg/cm}^2.$$

Odczyt dla $2P=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napężenie $\sigma$ $\text{kg/cm}^2$	$M = \sigma W_B$ $\text{kgcm}$	Punkt
0	0,75	1,5	0,75	1,5	0,75	1,5			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
5,5	11,7	18,0	6,2	12,5	6,3		566	11000	A
10,4	16,7	23,1	6,3	12,7					
14,7	21,2	27,3	6,5	12,6			12,6	1132	22000
17,3	23,6	29,9	6,3	12,6					
$x = 5 \text{ cm}$									
3,0	7,0	11,0	4,0	8,0	3,9		351	6850	C
5,7	9,6	13,7	3,9	8,0					
3,9	7,8	11,5	3,9	7,6			7,8	702	13700
8,4	12,3	16,0	4,0	7,6					
$x = 0$									
dla 0,75 t: $y = 0,111 \cdot 11000 + 1,11 \cdot 6850$								8800	E
„ 1,5 t: $y = 0,111 \cdot 22000 + 1,11 \cdot 13700$								17600	F

dla 0,75 t:

$$M_0 = 11000 + 8800 = 19800 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{11000}{19800} = 0,556$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{8800}{19800} = 0,444$$



dla 1,5 t:

$$M_0 = 22000 + 17600 = 39600 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{22000}{39600} = 0,556$$

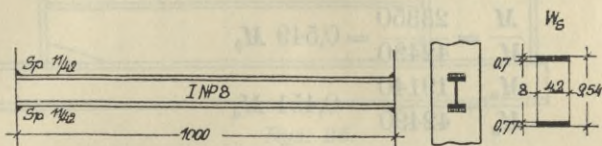
$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{17600}{39600} = 0,444$$

Średnio:

$$M = 0,556 M_0 \quad \dots \quad (54)$$

$$M^u = 0,444 M_0 \quad \dots \quad (55)$$

## Próba Nr. 18.



Rys. 24.

Próba Nr. 18.

$$W_B = 19,5 \text{ cm}^3$$

$$W_S = \frac{4,2}{6} \cdot \frac{9,54^3 - 8^3}{9,54} = 26,0 \text{ cm}^3$$

$$F_S = 0,77 \cdot 4,2 \cdot 2 = 6,5 \text{ cm}^2.$$

Tabl. XIX.

$$1 \text{ mm} = 90 \text{ kg/cm}^2.$$

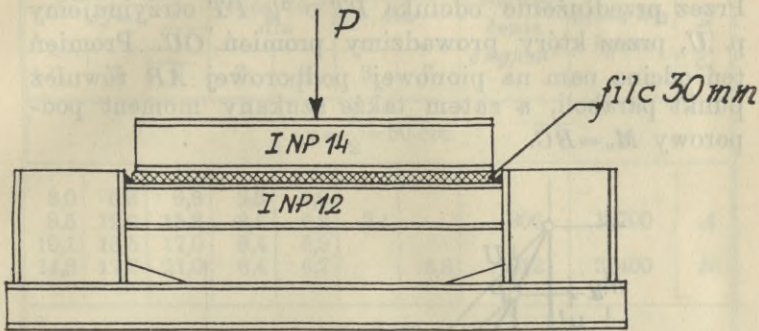
Odczyt dla $2P=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napreżenie $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	$M = \sigma W_B$ kgcm	Punkt
0	0,75	1,5	0,75	1,5	0,75	1,5			
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$									
5,7	12,5	19,0	6,8	13,3	6,7		603	11750	A
8,3	15,0	21,6	6,7	13,3					
13,0	19,6	26,2	6,6	13,2	13,3		1197	23350	B
15,2	21,9	28,5	6,7	13,3					
$x = 5 \text{ cm}$									
3,2	8,0	12,3	4,8	9,1	4,4		396	7720	C
7,7	12,5	16,8	4,8	9,1					
4,8	8,8	12,7	4,0	7,9	8,5		765	14900	D
11,5	15,5	19,4	4,0	7,9					
$x = 0$									
dla 0,75 t: $y = 0,111 \cdot 11750 + 1,11 \cdot 7720$								9875	E
„ 1,5 t: $y = 0,111 \cdot 23350 + 1,11 \cdot 14900$								19140	F

\*





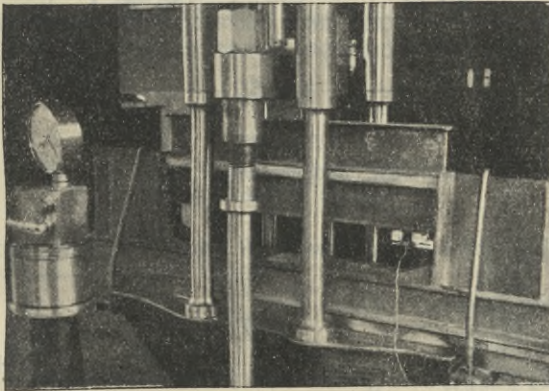
jednak na inny kształt linii momentów, która to linia jest tu parabolą, należało zastosować odmienny sposób obliczenia momentu podporowego.



Rys. 25.

Sposób wykonania prób na obciążenie jednostajnie rozłożone.

Sposób ten opiera się na znanej konstrukcji paraboli, gdy mamy dany wierzchołek, średnicę oraz jeden punkt tej paraboli (rys. 27).



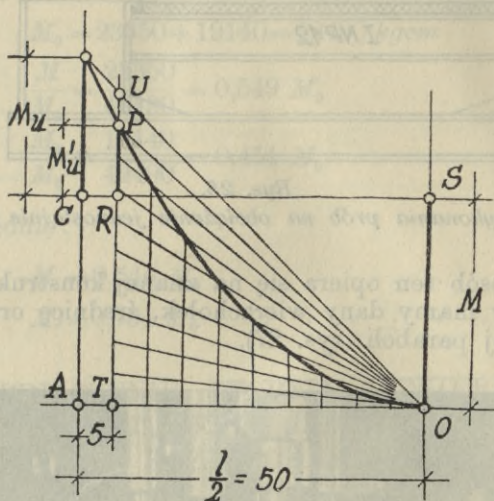
Ryc. 26.

Belka próbna z ramą, w laboratorium podczas prób na obciążenie jednostajnie rozłożone.

W naszym przypadku znamy wierzchołek  $O$ , średnicę równoznaczną z osią symetrii belki oraz  $p.P$ , który wyznaczamy z pomiaru, gdyż znamy odcinki  $OS=RT=M$  oraz  $PR=M_u'$ . Parabola da się narysować przez podział odcinka  $OT$  na pewną ilość równych części (w tym przypadku 9 części po 5 cm), z których wprowadzamy równoległe do średnicy. Równocześnie



dzielimy odcinek  $\overline{PT}$  na taką samą ilość równych części i prowadzimy promienie do p.  $O$ . Punkty przecięcia odnośnych prostych wyznaczają nam punkty paraboli. Przez przedłużenie odcinka  $\overline{PT}$  o  $\frac{1}{9} \overline{PT}$  otrzymujemy p.  $U$ , przez który prowadzimy promień  $\overline{OU}$ . Promień ten odcina nam na pionowej podporowej  $\overline{AB}$  również punkt paraboli, a zatem także szukany moment podporowy  $M_u = \overline{BC}$ .



Rys. 27.

Wyznaczenie momentu podporowego przy obciążeniu jednostajnie rozłożonem\*).

Z podobieństwa trójkątów  $AOB$  oraz  $TOU$  otrzymujemy:

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AO}} = \frac{\overline{TU}}{\overline{TO}} \quad \text{stad} \quad \overline{AB} = \overline{AO} \frac{\overline{TU}}{\overline{TO}}.$$

$$\overline{AB} = M_u + M, \quad \overline{AO} = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}, \quad \overline{TU} = M + M_u' + \frac{M + M_u'}{9} =$$

$$= 1,11 (M + M_u'),$$

$$\overline{TO} = 45 \text{ cm}, \quad \text{wobec tego:}$$

$$M_u + M = 50 \cdot \frac{1,11 (M + M_u')}{45} = 1,2321 (M + M_u'), \quad \text{a stad:}$$

$$M_u = 1,2321 (M + M_u') - M = 0,2321 M + 1,2321 M_u',$$

$$M_u = 0,2321 M + 1,2321 M_u'. \quad . \quad . \quad (58)$$

### Próba Nr. 19.

Belka jak w próbie Nr. 10 (por. rys. 16).

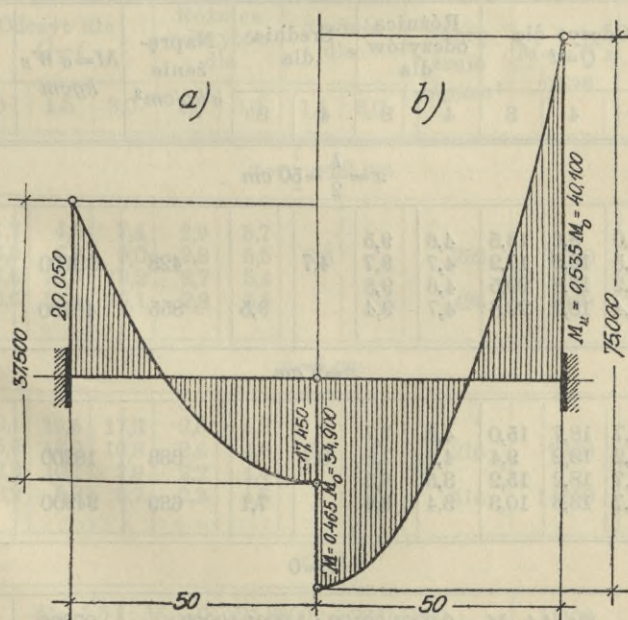
$$W_B = 54,7 \text{ cm}^3, \quad W_S = 49,0 \text{ cm}^3, \quad F_S = 8,1 \text{ cm}^2.$$

\*) W rys. 27 brak oznaczenia punktu  $B$  u góry.



Tabl. XX.  
1 mm = 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Odczyt dla $Q=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napężenie $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	$M = \sigma W_B$ kgcm	Punkt
0	3	6	3	6	3	6			
$x = \frac{l}{2} = 50$ cm									
3,0	6,3	9,8	3,3	6,8					
8,5	12,0	15,3	3,5	6,8	3,4		306	16700	A
10,1	13,5	17,0	3,4	6,9					
14,3	17,7	21,0	3,4	6,7		6,8	612	33400	B
$x = 5$ cm									
21,0	18,4	15,8	2,6	5,2					
15,0	12,3	9,7	2,7	5,3	2,5		225	12300	C
16,0	13,8	11,1	2,2	4,9					
10,8	8,4	5,8	2,4	5,0		5,1	459	25100	D
$x = 0$									
dla 3 t: $M_u = 0,2321 \cdot 16700 + 1,2321 \cdot 12300$								19000	E
„ 6 t: $M_u = 0,2321 \cdot 33400 + 1,2321 \cdot 25100$								39000	F



Rys. 28.

Wykres momentów dla próby Nr. 19. a) dla 3,0 t, b) dla 6,0 t.







dla 1,5 t :

$$M_0 = 8600 + 11100 = 19700 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{8600}{19700} = 0,437$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{11100}{19700} = 0,563$$

dla 3,0 t :

$$M_0 = 16900 + 21350 = 38250 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{16900}{38250} = 0,441$$

$$\frac{M_u}{M_0} = \frac{21350}{38250} = 0,559$$

Średnio :

$$M = 0,439 M_0 \dots \dots \dots (63)$$

$$M_u = 0,561 M_0 \dots \dots \dots (64)$$

**Próba Nr. 22.**

Belka jak w próbie Nr. 5 (por. rys. 11).

$$W_B = 34,2 \text{ cm}^3$$

$$W_S = 55,2 \text{ cm}^3$$

$$F_S = 13,3 \text{ cm}^2$$

Tabl. XXIII.

1 mm = 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Odczyt dla $Q=t$			Różnica odczytów dla		Średnia dla		Napreżenie $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	$M = \sigma W_B$ kgcm	Punkt	
0	2	4	2	4	2	4				
$x = \frac{l}{2} = 50 \text{ cm}$										
7,6	11,2	14,6	3,6	7,0	3,5		315	10780	A	
10,2	13,6	17,0	3,4	6,8						
13,8	17,3	20,5	3,5	6,7			612	20900	B	
17,3	20,8	24,0	3,5	6,7		6,8				
$x = 5 \text{ cm}$										
22,6	19,0	15,9	3,6	6,7	3,4		306	10450	C	
18,2	14,6	11,5	3,6	6,7						
14,5	11,2	8,1	3,3	6,4			6,5	585	20000	D
10,6	7,4	4,3	3,2	6,3						
$x = 0$										
dla 2 t: $M_u = 0,2321 \cdot 10780 + 1,2321 \cdot 10450$								15380	E	
„ 4 t: $M_u = 0,2321 \cdot 20900 + 1,2321 \cdot 20000$								29500	F	



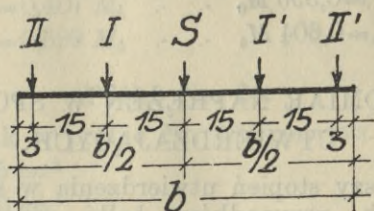








Pomiaru dokonałem z lewej i prawej strony belki, by wyeliminować ewentualne mimośrodowe działanie siły obciążającej belkę, biorąc następnie średnią z obu wyników. By zbadać rozkład naprężenia w przekroju podłużnym spoiny, dokonałem w każdej spoinie 5 pomiarów, a mianowicie jeden w środku (p. *S*), dwa w odległości 15 mm od środka oraz dwa po bokach w odległości 3 mm od końca spoiny jak wskazuje rys. 30.



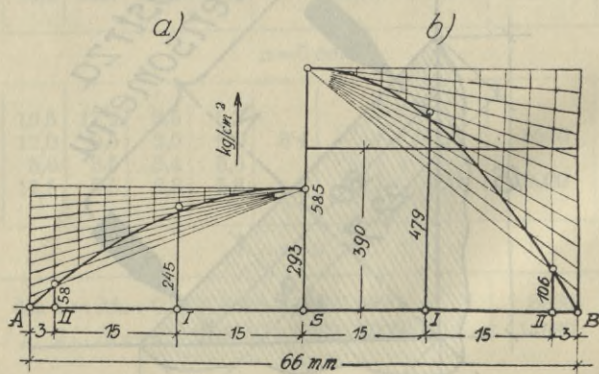
Rys. 30.

Rozmieszczenie pomiarów w przekroju podłużnym spoiny.

W powyżej podany sposób zbadałem wydłużenie jakiego ulega górna powierzchnia spoiny pod działaniem oddziaływania oraz momentu utwierdzenia. Ponieważ wydłużenia te są sprężyste, można na ich podstawie obliczyć wielkość siły, usiłującej rozerwać spoinę w przekroju niebezpiecznym *M-N* (rys. 29), a zatem także i wielkość naprężeń w tym przekroju.

### Próba Nr. 25.

Pomiar naprężeń w spoinach próby Nr. 15.



Rys. 31.

Rozkład naprężeń w przekroju podłużnym spoiny: a) dla 3 t, b) dla 6 t.



Tabl. XXVI.

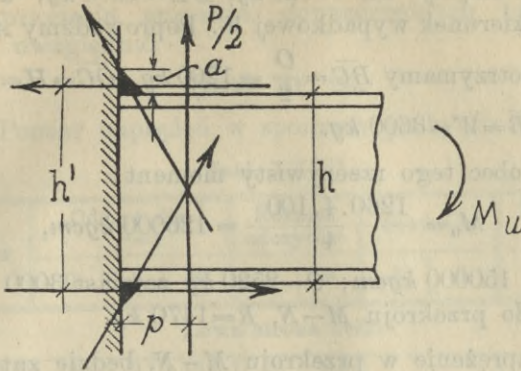
1 mm = 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Punkt	Odczyt dla $P=t$			Różnica odczytów		Średnia		Naprężenie	
	0	3	6	3	6	3	6	3	6
Prawa strona belki									
S	3,5	6,8	10,0	3,3	6,5				
	7,7	10,8	13,9	3,1	6,2				
	15,0	18,1	21,1	3,1	6,1	3,2	6,3	298	567
I	2,7	5,7	8,8	3,0	6,1				
	5,6	8,5	11,5	2,9	5,9				
	9,3	12,2	15,2	2,9	5,9	2,9	6,0	261	540
I'	1,8	4,9	7,8	3,1	5,5				
	3,5	6,6	8,7	3,1	5,2				
	8,3	11,3	13,5	3,0	5,2	3,1	5,3	279	477
II	3,0	8,5	4,2	0,5	1,2				
	7,1	7,6	8,3	0,5	1,2				
	11,9	12,3	13,0	0,4	1,1	0,5	1,2	45	108
II'	7,4	8,1	8,7	0,7	1,3				
	12,2	13,1	13,7	0,9	1,5				
	15,0	16,0	16,4	1,0	1,4	0,9	1,4	81	126
Lewa strona belki									
S	5,0	8,4	11,8	3,4	6,8				
	9,0	12,3	15,6	3,3	6,6				
	11,0	14,3	17,7	3,3	6,7	3,3	6,7	297	603
I	6,6	9,8	12,6	3,2	6,0				
	7,5	10,5	13,4	3,0	5,9				
	11,2	14,3	17,1	3,1	5,9	3,1	5,9	279	531
I'	7,8	9,6	11,9	1,8	4,1				
	10,2	12,1	14,3	1,9	4,1				
	15,6	17,4	19,6	1,8	4,0	1,8	4,1	162	369
II	1,0	2,0	2,6	1,0	1,6				
	6,1	7,0	7,8	0,9	1,7				
	8,2	9,2	9,9	1,0	1,7	1,0	1,7	90	153
II'	3,0	3,2	3,5	0,2	0,5				
	7,8	7,9	8,1	0,1	0,3				
	9,6	9,8	10,0	0,2	0,4	0,2	0,4	18	36
S	Średnie naprężenie z obu stron belki							293	585
I i I'	" " " " "							245	479
II i II'	" " " " "							58	106

Naprężenia maksymalne wynoszą zatem 293 kg/cm<sup>2</sup> dla obciążenia 3 t, zaś 585 kg/cm<sup>2</sup> dla 6 t. Z rys. 31 widać dalej, iż punkty I i II leżą prawie dokładnie na paraboli wykreślonej przez punkty A, S i B, rozkład naprężeń zatem w tym przypadku można do obliczenia przyjąć wg. tej krzywej. Całkowita siła działająca w przekroju niebezpiecznym M—N (rys. 32) prosto-

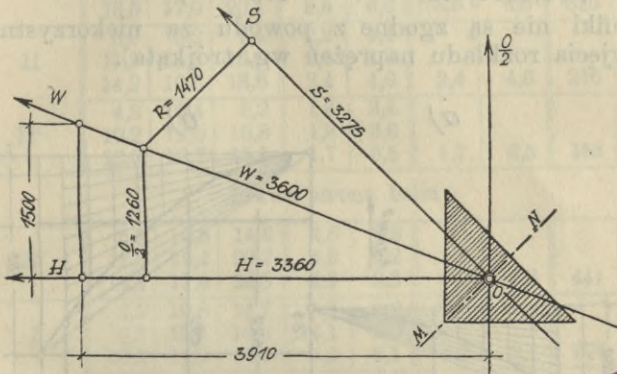






Rys. 33.  
Oddziaływanie belki.

Porównajmy teraz następujący wykres (rys. 34).



Rys. 34.  
Wykres sił do próby Nr. 25\*).

Przyjmijmy  $P=6\text{ t}$ ,  $O=3\text{ t}$ .

$$M_0 = 150000\text{ kgcm},$$

$$H = 0,0261 \cdot 150000 = 3910\text{ kg}$$

na jedną spawkę działa  $\frac{O}{2} = 1500\text{ kg}$ .

\*) W rys. 34 przez omyłkę rysownika nie oznaczono punktów  $A, B, C, D, E$ , przyczem p.  $A$  leży na przecięciu sił  $R$  i  $S$ , p.  $B$  na przecięciu  $R$  i  $W$ , p.  $C$  na przecięciu  $H$  i  $\frac{O}{2}$ , p.  $D$  na  $H$  i p.  $E$  na  $W$ .



Odetnijmy  $\overline{OD}=3910 \text{ kg}$ ,  $\overline{DE}=1500 \text{ kg}$ , a otrzymamy kierunek wypadkowej  $W$ . Poprowadźmy  $\overline{AB} \parallel$  do  $MN$ , a otrzymamy  $\overline{BC}=\frac{O}{2}=1260 \text{ kg}$ ,  $\overline{OC}=H=3360 \text{ kg}$  oraz  $\overline{OB}=W=3600 \text{ kg}$ .

Wobec tego rzeczywisty moment:

$$M_0 = \frac{1260 \cdot 4 \cdot 100}{4} = 126000 \text{ kgcm},$$

zamiast  $150000 \text{ kgcm}$ ;  $O=2520 \text{ kg}$  zamiast  $3000 \text{ kg}$ , zaś siła  $\parallel$  do przekroju  $M-N$ ,  $R=1470 \text{ kg}$ .

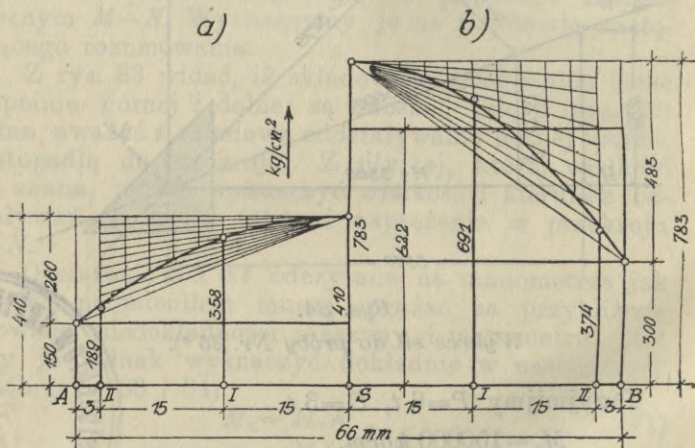
Naprężenie w przekroju  $M-N$ , będzie zatem:

$$\sigma_s = \frac{2S}{F_s} = \frac{2 \cdot 3275}{1,12 \cdot 6,6} = 886 \text{ kg/cm}^2,$$

zaś naprężenie obliczone z wzoru (17) będzie:

$$\sigma_s = \sqrt{\left(\frac{2520}{1,12 \cdot 6,6 \cdot 2}\right)^2 + \left(\frac{0,393 \cdot 126000}{105}\right)^2} = 501 \text{ kg/cm}^2,$$

(wyniki nie są zgodne z powodu za niekorzystnego przyjęcia rozkładu naprężeń wg. trójkąta).



Rys. 35.

Rozkład naprężeń w przekroju podłużnym spiny.

Jest to naprężenie średnie, czyli  $\frac{2}{3}$  maksymalnego; maksymalne będzie o  $50\%$  wyższe czyli  $1,5 \cdot 501 = 751 \text{ kg/cm}^2$ .

Wobec tego wzór (17) daje w tym przypadku wartości niższe o około  $\frac{1}{3}$  od rzeczywistych, co jest



zrozumiałem wobec rozkładu naprężeń podług paraboli. Przy przyjęciu naprężeń dopuszczalnych należy to przeto uwzględnić.

### Próba Nr. 26.

Pomiar naprężeń w spoinach próby Nr. 16.

Tabl. XXVII.

Punkt	Odczyt dla $\dot{P}=t$			Różnica odczytów		Średnica		Naprężenie	
	0	4	8	4	8	4	8	4	8
Lewa strona belki									
S	5,0	9,1	13,0	4,1	8,0				
	11,8	16,0	20,0	4,2	8,2				
	13,2	17,4	21,3	4,2	8,1	4,2	8,1	378	729
I	7,8	11,6	15,2	3,8	7,4				
	9,3	13,3	16,8	4,0	7,5				
	11,2	15,1	18,7	3,9	7,5	3,9	7,5	351	675
I'	5,6	9,1	12,3	3,5	6,7				
	9,5	12,9	16,0	3,4	6,5				
	13,5	17,0	20,1	3,5	6,6	3,5	6,6	315	594
II	3,0	5,2	7,4	2,2	4,4				
	11,3	13,9	16,0	2,6	4,8				
	14,2	16,6	18,8	2,4	4,6	2,4	4,6	216	414
II'	4,8	6,4	8,2	1,6	3,4				
	10,2	12,0	13,8	1,8	3,6				
	12,0	13,7	15,5	1,7	3,5	1,7	3,5	153	315
Prawa strona belki									
S	5,5	10,3	14,8	4,8	9,3				
	11,5	16,4	20,7	4,9	9,2				
	14,7	19,6	24,0	4,9	9,3	4,9	9,3	441	837
I	6,5	10,8	14,7	4,3	8,2				
	8,2	12,3	16,2	4,1	8,0				
	10,6	14,8	18,7	4,2	8,1	4,2	8,1	378	730
I'	5,6	9,9	14,1	4,3	8,5				
	7,8	12,1	16,3	4,3	8,5				
	13,3	17,5	21,7	4,2	8,4	4,3	8,5	387	765
II	12,0	14,0	16,0	2,0	4,0				
	13,6	15,6	17,6	2,0	4,0				
	15,2	17,2	19,2	2,0	4,0	2,0	4,0	180	360
II'	6,5	8,8	11,0	2,3	4,5				
	9,8	12,0	14,2	2,2	4,4				
	11,3	13,6	15,8	2,3	4,5	2,3	4,5	207	405
S	Średnie naprężenie z obu stron belki							410	783
I i I'	" " " " "							358	691
II i II'	" " " " "							189	374

Wykres 35 różni się nieco od wykresu próby 25. Jak widać po naniesieniu naprężeń można było wkreślić parabolę między punkta S, I II, otrzymując

w  $A$  i  $B$  odcinek wyrażający nam pewną stałą wartość naprężenia w całym przekroju. Figura naprężeń składa się więc z prostokąta i paraboli.

Całkowita siła działająca w przekroju niebezpiecznym  $M-N$  (rys. 36) będzie według tego wykresu (dla obciążenia  $8 t$ ):

$$S_1 = 6,6 \left( 300 + \frac{2}{3} \cdot 483 \right) \cdot 1,12 \cdot 2,27 \cdot 0,5 = 5220 \text{ kg.}$$

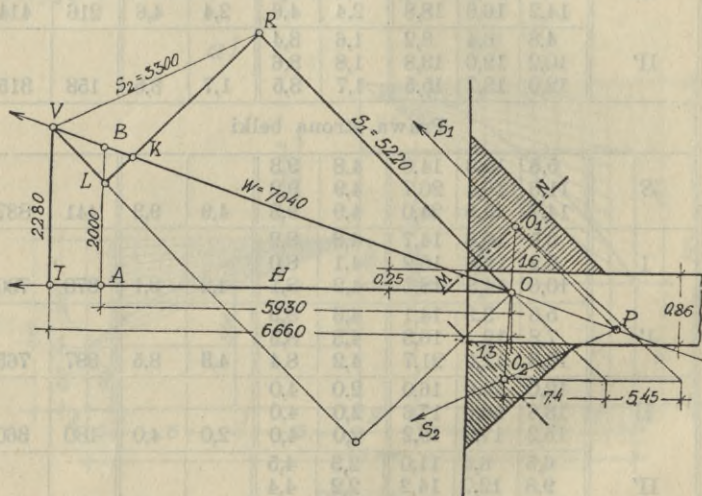
Obliczmy teraz naprężenia. Najpierw wyznaczmy podobnie jak przy próbie poprzedniej rzeczywiste oddziaływanie oraz moment utwierdzenia.

Rys. 36 przedstawia wykres sił działających na spoiny. Naprzód wyznaczamy zwykłym sposobem wspólny środek ciężkości spoin  $O$ , przez który przechodzi oddziaływanie.

Przyjmijmy  $P=8 t$ , zatem  $M_0=200000 \text{ kgcm}$ . Ramię momentu  $M_u$ :

$$h' = 14 - 2 \cdot 0,25 = 13,5 \text{ cm, } M_u = 0,4 M_0 \text{ (53), } H = \frac{M_u}{h'}$$

$$H = \frac{0,4 \cdot 200000}{13,5} = 5930 \text{ kg.}$$



Rys. 36.

Wykres sił dla próby Nr. 26.

Kreślmy  $\overline{OA} = 5930 \text{ kg}$ , prostopadłą  $\overline{AB} = 2000 \text{ kg}$ , następnie prostą  $BO$ , która daje nam kierunek wypadkowej  $W$ . Wypadkowa przecina się z siłą  $S_1$  w  $P$ , przez który to punkt musi przejść dla równowagi i siła  $S_2$  przechodząca przez środek ciężkości drugiej spoiny.



Sily  $S_1$  i  $S_2$  muszą być z wypadkową w równowadze; ponieważ znamy  $S_1=5220 \text{ kg}$  oraz kierunki pozostałych sił, możemy ich wielkość z rysunku wyznaczyć. Prowadzimy zatem  $S_1=\overline{OR}=5220 \text{ kg}$ ,  $\overline{RV} \parallel \overline{PO_2}$ , do przecięcia się z  $W$ , przyczem otrzymujemy wielkość wypadkowej  $W=7040 \text{ kg}$ , następnie zaś pionową  $\overline{VT}$  oraz poziomą  $\overline{OT}=H$ , która odcina nam w p.  $T$  wielkość oddziaływania. Wynosi ona w tym przypadku  $O=2.2280=4560 \text{ kg}$ .

Rzeczywisty moment utwierdzenia będzie zatem:

$$M_0 = \frac{2.4560.100}{4} = 228000 \text{ kgcm},$$

$$M_u = 0,4.228000 = 91200 \text{ kgcm}.$$

Zaś naprężania w spoinach:

$$\sigma_s' = \frac{2.5220}{1,12.6,6} = 1410 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\sigma_s'' = \frac{2.3140}{0,91.6,6} = 1045 \text{ kg/cm}^2.$$

Zaś naprężenie z wzoru (17):

$$\sigma_s = \sqrt{\left(\frac{4560}{25,7}\right)^2 + \left(\frac{91200}{173}\right)^2} = 556 \text{ kg/cm}^2.$$

Zgodność wyników nie jest więc i tutaj dobra z powodu za niekorzystnych założeń. Sprawa ta wymaga dalszych badań.

Naturalnie podobnie jak i w próbie poprzedniej obliczone naprężenie jest naprężeniem średnim.

Jak z rys. 35 widać, rozkład naprężeń jest nieco lepszy jak w próbie 25 z powodu przyspojenia dodatkowymi spoinami, jednak maksymalne naprężenie jest tutaj także znacznie wyższe niż obliczone z wzoru (17).

Z wykresu sił na rys. 36 widać, iż prosta  $\overline{RL}$  dzieli nam wypadkową na dwie części, z których  $\overline{OK}=5800 \text{ kg}$ , działa na spoinę górną, zaś  $\overline{VK}=1240$  na spoinę dolną. Wobec tego średnie naprężenie w górnej spoinie

będzie  $\sigma_1 = \frac{5220}{7,4} = 706 \text{ kg}$ , w dolnej zaś  $\sigma_2 = \frac{3140}{5,45} = 576 \text{ kg/cm}^2$ . Jeżeli uwzględnimy nierównomierny rozkład naprężeń, to otrzymamy nawet w górnej spoinie

$\frac{783}{622} \cdot 706 = 1,26 \cdot 706 = 890 \text{ kg/cm}^2$ . Widocznem więc jest,

iż spoiny górna i dolna nie pracują równomiernie; górna pracuje za dużo, dolna zamało. Rzeczywiste naprężenie w górnej spoinie jest o 60% wyższe od obliczonego z wzoru (17). Jest to jeszcze jeden względ przemawiający za tem, że wystarczy dźwigary przymocowywać tylko odpowiednio silnymi szwami zew-

nętrznymi, wewnętrzne zaś mogą odpaść — tembardziej, iż niewiele na utwierdzenie wpływają; koszt ich zatem nie stoi w żadnym stosunku do korzyści, a wprowadzone do rachunku obniżają naprężenia, które w rzeczywistości są znacznie większe.

### VIII. ZESTAWIENIE WYNIKÓW I WNIOSKI.

#### a) Obciążenie skupione.

Wyniki prób 1—18 są zestawione poniżej w tabl. 28.

Tabl. XXVIII.

Próba Nr.	I NP	Sposób przyspojenia	$F_s \text{ cm}^2$	$W_s \text{ cm}^3$	$\frac{W_s}{W_B}$ $w =$	$\frac{M}{M_0}$ $k_1 =$	$\frac{M_u}{M_0}$ $k_2 =$	Uwagi
1	"	2 Sp. 10 mm zewn.	7,0	35,1	1,03	0,588	0,412	}0,414
2	"	"	"	"	"	0,585	0,415	
3	"	2 Sp. 13 mm zewn.	9,0	45,2	1,32	0,562	0,438	}0,432
4	"	"	"	"	"	0,575	0,425	
5	"	2 Sp. 10 mm zewn. dtto wewn.	13,3	55,2	1,61	0,563	0,437	}0,446
6	"	"	"	"	"	0,545	0,455	
7	"	2 Sp. 13 mm zewn. dtto wewn.	17,1	73,0	2,14	0,547	0,453	}Obciążenie skupione
8	"	2 Sp. 10 mm całk. przysp.	23,7	68,0	1,99	0,557	0,443	
9	12	2 Sp. 10 mm 1 zewn. 1 wewn.	7,8	42,3	0,77	0,656	0,344	
10	"	2 Sp. 10 mm zewn.	8,1	49,0	0,90	0,614	0,386	
11	"	2 Sp. 10 mm zewn. dtto wewn.	15,5	82,7	1,51	0,587	0,413	
12	"	2 Sp. 13 mm zewn. dtto wewn.	20,0	105,2	1,92	0,580	0,420	
13	14	2 Sp. 10 mm zewn.	9,2	64,2	0,78	0,630	0,370	
14	"	2 Sp. 13 mm zewn.	11,9	83,6	1,02	0,630	0,370	
15	"	2 Sp. 16 mm zewn.	14,8	105,0	1,28	0,607	0,393	
16	"	2 Sp. z. 16 mm 2 Sp. w. 13 mm	25,7	163,0	1,99	0,600	0,400	
17	8	2 Sp. 8 mm zewn.	4,7	19,0	0,97	0,556	0,444	
18	"	2 Sp. 11 mm zewn.	6,5	26,0	1,33	0,546	0,454	

Rzut oka na powyższą tabelę przekona nas odrazu, iż utwierdzenie belki wyrażone współczynnikiem  $k_2$  zależne jest dla danego dźwigara, w pierwszym rzędzie od wielkości momentu oporu spoiny  $W_s$ . Zależność ta została przedstawiona dla poszczególnych dźwigarów w postaci wykresu na rys. 37. Z wykresu tego widzimy, iż  $k_2$  wzrasta wyraźnie z wzrostem  $W_s$



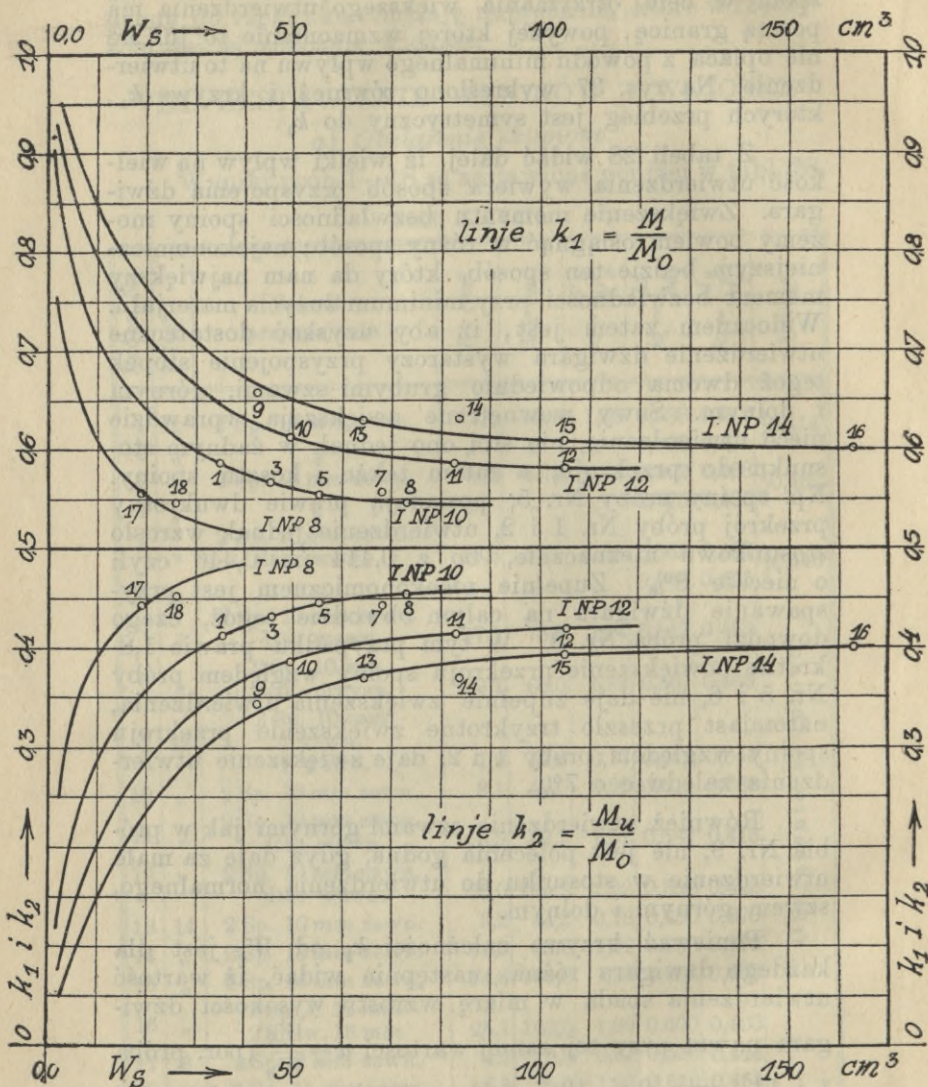
w postaci pewnej krzywej, która to krzywa jest dla każdego dźwigara inna, lecz przebieg ich jest podobny. Z przebiegu tych krzywych widać, iż wzmacnianie spoin w celu otrzymania większego utwierdzenia ma pewną granicę, powyżej której wzmacnianie to już się nie opłaca z powodu minimalnego wpływu na to utwierdzenie. Na rys. 37 wykreślono również i krzywe  $k_1$ , których przebieg jest symetryczny do  $k_2$ .

Z tabeli 28 widać dalej, iż wielki wpływ na wielkość utwierdzenia wywiera sposób przyspojenia dźwigara. Zwiększenie momentu bezwładności spoiny możemy bowiem osiągnąć w różny sposób; najekonomicznym będzie ten sposób, który da nam największy moment bezwładności przy minimum zużycia materiału. Widocznym zatem jest, iż aby uzyskać dostateczne utwierdzenie dźwigara wystarczy przyspojenie stopek tegoż dwoma odpowiednio grubymi szwami, górnym i dolnym. Szwy wewnętrzne zwiększają wprawdzie nieco utwierdzenie, nie stoi ono jednak w żadnym stosunku do przekroju, a zatem także i kosztu spoiny. Np. spoiny próby Nr. 5, posiadają prawie dwukrotny przekrój próby Nr. 1 i 2, utwierdzenie jednak wzrosło stosunkowo nieznacznie, bo z 0,414 na 0,446 czyli o niecałe 8%. Zupełnie nieekonomicznym jest przyspawanie dźwigara na całym obwodzie tegoż, czego dowodzi próba Nr. 8. W tym przypadku prawie 1,8-krotne powiększenie przekroju spoiny względem próby Nr. 5 i 6, nie daje zupełnie zwiększenia utwierdzenia, natomiast przeszło trzykrotne zwiększenie przekroju spoiny względem próby 1 i 2, daje zwiększenie utwierdzenia zaledwie o 7%.

Również utwierdzenie szwami górnymi jak w próbie Nr. 9, nie jest polecenia godne, gdyż daje za małe utwierdzenie w stosunku do utwierdzenia normalnego, szwem górnym i dolnym.

Ponieważ krzywa zależności  $k_2$  od  $W_S$  jest dla każdego dźwigara różna, następnie widać, iż wartość utwierdzenia spada w miarę wzrostu wysokości dźwigara nawet przy tej samej wartości  $w = \frac{W_S}{W_B}$  (por. próba 1 i 14, oraz 9 i 13), stąd wniosek, że musi istnieć jeszcze jeden czynnik wpływający na wartość utwierdzenia. Jeżeli bowiem wykreślimy zależność  $k_2$  od „ $w$ ” (rys. 38) to otrzymujemy również dla każdego dźwigara odrębną krzywą. Czynnik ten to w niniejszych doświadczeniach oczywiście wysokość dźwigara (przy tej samej rozpiętości) ogólnie zaś  $\frac{h}{l}$ , czyli wartość sto-

sunku wysokości do rozpiętości dźwigara. By otrzymać przeto ogólne wyniki, a nie tylko dla poszczególnych dźwigarów, wykreśliłem na podstawie wykresu na rys.

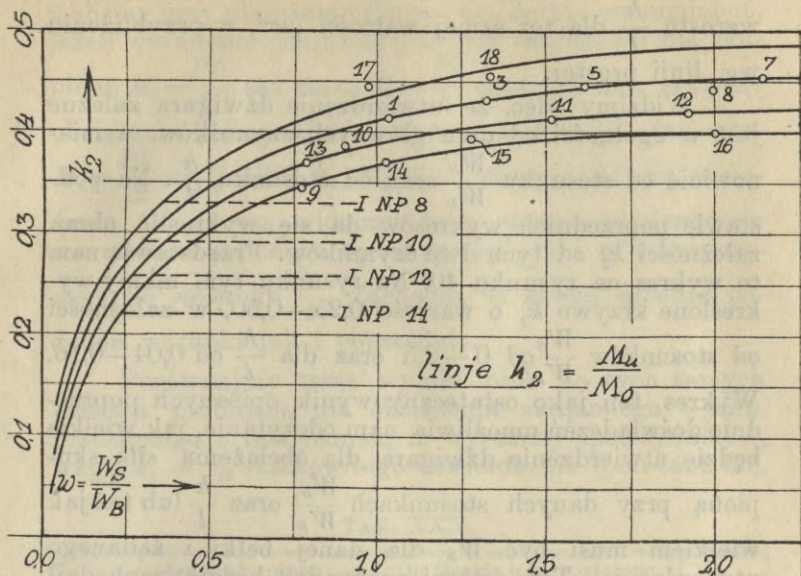


Rys. 37.

Wykres linii  $k_1$  i  $k_2$  w zależności od  $W_s$ , dla obciążenia siłą skupioną.

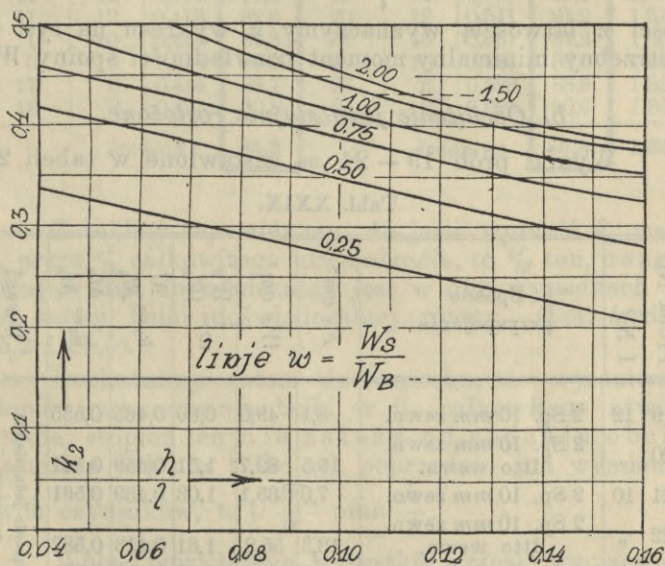
38 zależność  $k_2$  od  $\frac{h}{l}$  dla stałych wartości „ $w$ ”. Zależność ta przedstawiona jest na wykresie rys. 39. Z wykresu tego widać wyraźnie spadek „ $k_2$ ” w miarę





Rys. 38.

Wykres linii  $k_2$  w zależności od  $w = \frac{W_S}{W_B}$  dla obciążenia siłą skupioną.



Rys. 39.

Wykres  $k_2$  w zależności od  $\frac{h}{l}$  dla stałych wartości  $w = \frac{W_S}{W_B}$  dla obciążenia skupionego.

wzrostu  $\frac{h}{l}$  dla tej samej wartości „ $w^u$ ”, w przybliżeniu wg. linii prostej.

Widzimy więc, że utwierdzenie dźwigara zależne jest w ogólności od dwu głównych czynników, a mianowicie od stosunku  $\frac{W_S}{W_B}$  oraz od stosunku  $\frac{h}{l}$ . Na podstawie poprzednich wykresów da się wykreślić obraz zależności  $k_2$  od tych dwu czynników. Przedstawia nam to wykres na rysunku 40. Na rysunku tym mamy wykreślone krzywe  $k_2$  o wartości 0,25—0,50, w zależności od stosunków  $\frac{W_S}{W_B}$  od 0—2,5 oraz dla  $\frac{h}{l}$  od 0,04—0,16. Wykres ten jako ostateczny wynik opisanych poprzednio doświadczeń umożliwia nam odczytanie, jak wielkie będzie utwierdzenie dźwigara dla obciążenia siłą skupioną przy danych stosunkach  $\frac{W_S}{W_B}$  oraz  $\frac{h}{l}$  lub też jak wielkiem musi być  $W_S$  dla danej belki i żadanego utwierdzenia. Ten ostatni przypadek będzie zachodził najczęściej przy projektowaniu; przyjmijmy z góry  $k_2$  np. 0,4, dla tego utwierdzenia obliczymy dźwigar, otrzymamy skutkiem tego  $\frac{h}{l}$  i  $W_B$ , mając zaś te dwie wartości z łatwością wyznaczymy z wykresu na rys. 40 potrzebny minimalny moment bezwładności spiny  $W_S$ .

*b) Obciążenie jednostajnie rozłożone.*

Wyniki prób 19—24 są zestawione w tabeli 29.

Tabl. XXIX.

Próba Nr.	I NP	Sposób przyspojenia	$F_s \text{ cm}^2$	$W_s \text{ cm}^3$	$\frac{W_s}{W_B}$	$\frac{M}{M_0}$	$\frac{M_u}{M_0}$	Uwagi
19	12	2 Sp. 10 mm zewn.	8,1	49,0	0,90	0,465	0,535	Obciążenie jednostajnie rozłożone
20	"	2 Sp. 10 mm zewn. dtto wewn.	15,5	82,7	1,51	0,459	0,541	
21	10	2 Sp. 10 mm zewn.	7,0	35,1	1,03	0,439	0,561	
22	"	2 Sp. 10 mm zewn. dtto wewn.	13,3	55,2	1,61	0,413	0,587	
23	8	2 Sp. 8 mm zewn.	4,7	19,0	0,97	0,407	0,593	
24	"	2 Sp. 11 mm zewn.	6,5	26,0	1,33	0,396	0,604	

Dla obciążenia jednostajnie rozłożonego otrzymujemy współczynniki  $k_2$  i  $k_4$  różne od tych, jakie otrzy-



maliliśmy przy obciążeniu skupionem. Jest to zrozumiałem, jeżeli weźmiemy pod uwagę, iż przy obciążeniu siłą skupioną  $M_0 = \frac{Pl}{4}$ , zaś max.  $M_u = \frac{Pl}{8}$  czyli  $0,5 M_0$ , zaś przy obciążeniu jednostajnie rozłożonem,  $M_0 = \frac{Pl}{8}$ , zaś max.  $M_u = \frac{Pl}{12}$  czyli  $0,667 M_0$  ( $\frac{2}{3} M_0$ ). Zresztą jak i przy obciążeniu skupionem widzimy tutaj wzrost utwierdzenia z wzrostem momentu oporu spiny jak i ze zmniejszeniem się stosunku  $\frac{h}{l}$ . Zachodzą tu zatem zupełnie podobne warunki jak i poprzednio.

Porównajmy teraz wyniki prób na tych samych belkach próbnych, dla obciążenia skupionego i jedn. rozłożonego z tem jednak, iż wyrazimy współczynniki  $k_2$  wzgl.  $k_4$  w % całkowitego utwierdzenia (por. tabl. 30).

Tabl. XXX.

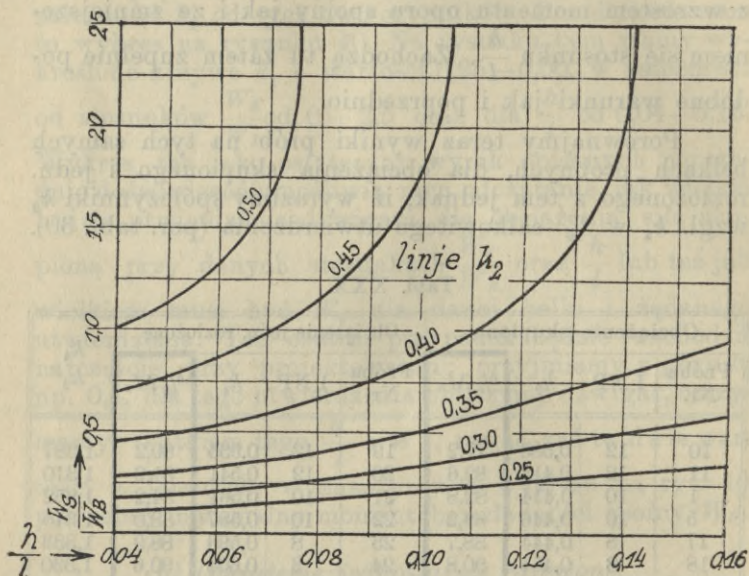
Obciążenie skupione				Obciążenie jedn. rozłożone				$\frac{k_4}{k_2}$
Próba Nr.	I NP	$k_2$	% $M_u$	Próba Nr.	1 NP	$k_4$	% $M_u$	
10	12	0,386	77,2	19	12	0,535	80,2	1,387
11	12	0,413	82,6	20	12	0,541	81,2	1,310
1	10	0,414	82,8	21	10	0,561	84,2	1,952
5	10	0,446	89,2	22	10	0,587	88,0	1,315
17	8	0,444	88,7	23	8	0,593	88,9	1,533
18	8	0,454	90,8	24	8	0,604	90,6	1,330
średnia:			85,2	średnia:			85,5	1,337

Z tablicy tej widzimy, że jeśli wyrazić  $k_2$  wzgl.  $k_4$  przez % całkowitego utwierdzenia, to % ten, uwzględniając błąd doświadczalny jest w obu wypadkach dla tej samej belki doświadczalnej równy. (Por. średnie 85,2 i 85,5).

Dochodzimy zatem do wniosku, że wyraziwszy stopień utwierdzenia belki w % całkowitego utwierdzenia, stopień ten nie zależy od rodzaju obciążenia a jedynie tylko od poprzednio już wymienionych czynników, t. j.  $\frac{W_S}{W_B}$  oraz  $\frac{h}{l}$ .

Wobec powyższego, wszystkie wnioski wyciągnięte z doświadczeń wykonanych siłą skupioną odnoszą się tak samo do obciążenia jednostajnie rozłożonego. Należy tylko pamiętać o tem, że współczynniki utwierdzenia stoją do siebie w tym stosunku co całkowite

momenty utwierdzenia, zatem jak  $\frac{0,667}{0,5} = 1,334$ . (Z doświadczeń wypadł średni stosunek  $\frac{k_4}{k_2} = 1,337$ , zgodność zatem wprost idealna). Jeżeli zatem rzędne  $k_2$  w wykresach na rys. 37, 38 i 39 w tym stosunku powiększymy, otrzymamy wykresy dla obciążenia jednostajnie rozłożonego.



Rys. 40.

Wykres linii  $k_2$  w zależności od  $\frac{h}{l}$  oraz  $\frac{W_S}{W_B}$  dla obciążenia skupionego.

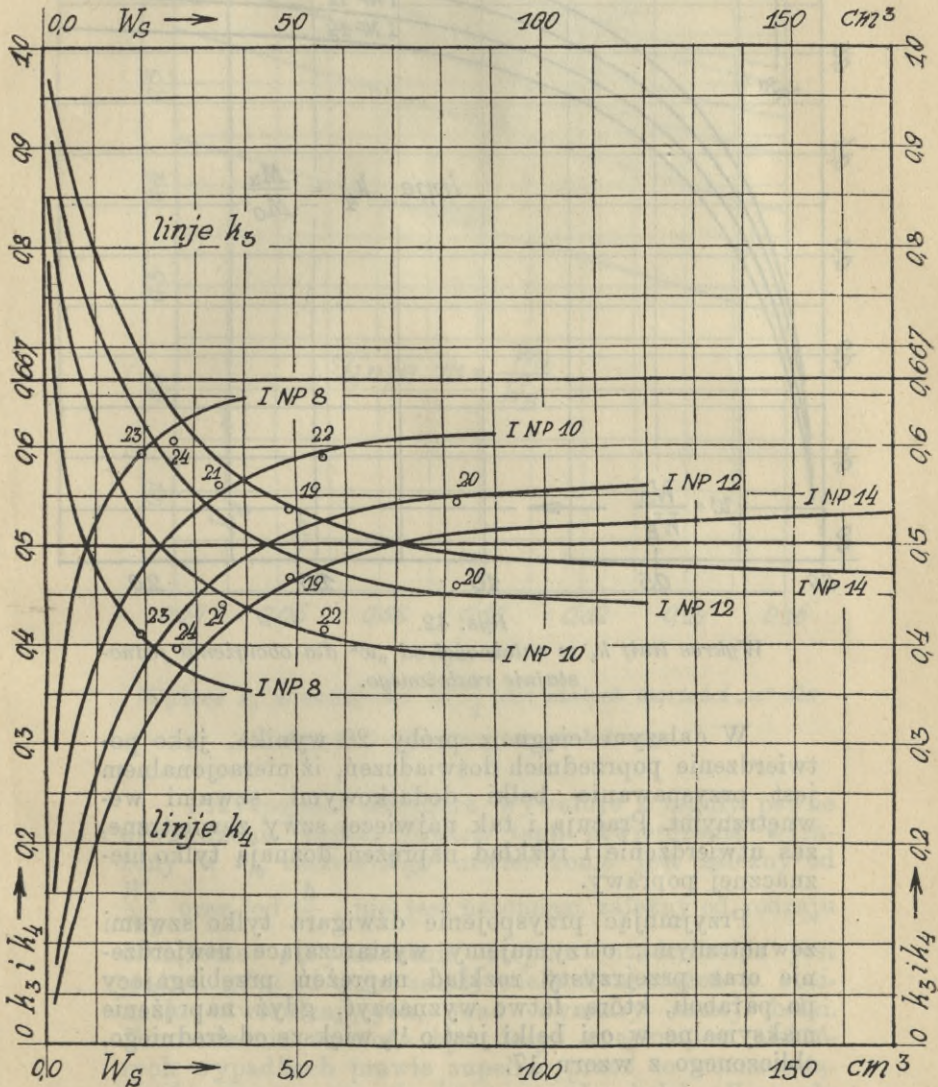
Wykresy te uwidocznione są na rys. 41, 42 i 43. W końcu na podstawie tych wykresów wykonany jest ostateczny wykres na rys. 44, który dla obciążenia jednostajnie rozłożonego daje nam to samo, co dla obciążenia skupionego wykres na rys. 40.

Równie dobrze możemy zamiast wykresu na rys. 44 użyć wykresu dla obciążenia skupionego na rys. 40, musimy tylko wtedy wyrazić stopień utwierdzenia w % całkowitego utwierdzenia, czyli będziemy mieli zamiast linii  $k_2 = 0,25 M_0$ ,  $0,30 M_0$ ,  $0,40 M_0$  i  $0,50 M_0$  linie  $k = 50\%$ ,  $60\%$ ,  $80\%$  i  $100\%$  całkowitego momentu utwierdzenia dla danego rodzaju obciążenia.



## c) Naprężenia w spoinach.

Pierwszym i najważniejszym rezultatem prób 25 i 26 jest wynik nierównomiernego rozkładu naprężeń w przekroju podłużnym spoiny. Naprężenia są największe w osi belki, maleją zaś znacznie w miarę odległości od tej osi; najmniejsze są na krawędziach belki. Rozkład tych naprężeń przebiega w przybliżeniu wg. krzywej zbliżonej do paraboli wykreślonej na rys. 31



Rys. 41.

Wykres linii  $k_3$  i  $k_4$  w zależności od  $W_s$  dla obciążenia jednostajnie rozłożonego.

i 35. Ten nierównomierny rozkład naprężeń należy mieć na uwadze przy przyjmowaniu naprężeń dopuszczalnych dla tych spoin.

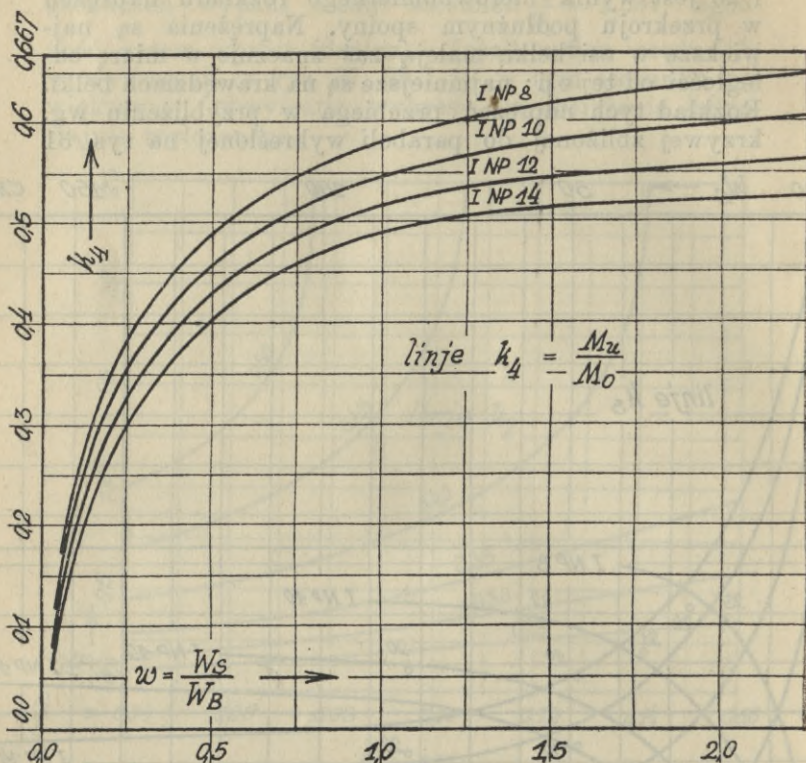


Fig. 42.

Wykres linii  $k_4$  w zależności od „ $w$ ” dla obciążenia jednostajnie rozłożonego.

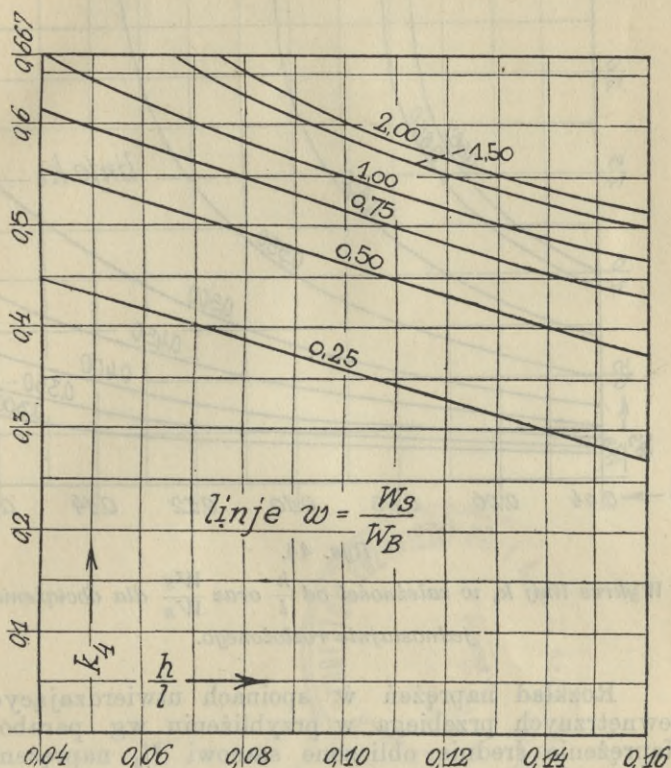
W dalszym ciągu z próby 26 wynika, jako potwierdzenie poprzednich doświadczeń, iż nieracjonalnym jest przyspawanie belki dodatkowymi szwami wewnętrznymi. Pracują i tak najwięcej szwy zewnętrzne, zaś utwierdzenie i rozkład naprężeń doznają tylko nieznacznej poprawy.

Przyjmując przyspojenie dźwigara tylko szwami zewnętrznymi, otrzymujemy wystarczające utwierdzenie oraz przejrzysty rozkład naprężeń przebiegający po paraboli, którą łatwo wyznaczyć, gdyż naprężenie maksymalne w osi belki jest o  $\frac{1}{3}$  większe od średniego, obliczonego z wzoru 17.



## IX. ZAKOŃCZENIE.

Reasumuję w krótkości wyniki niniejszej pracy jak następuje:

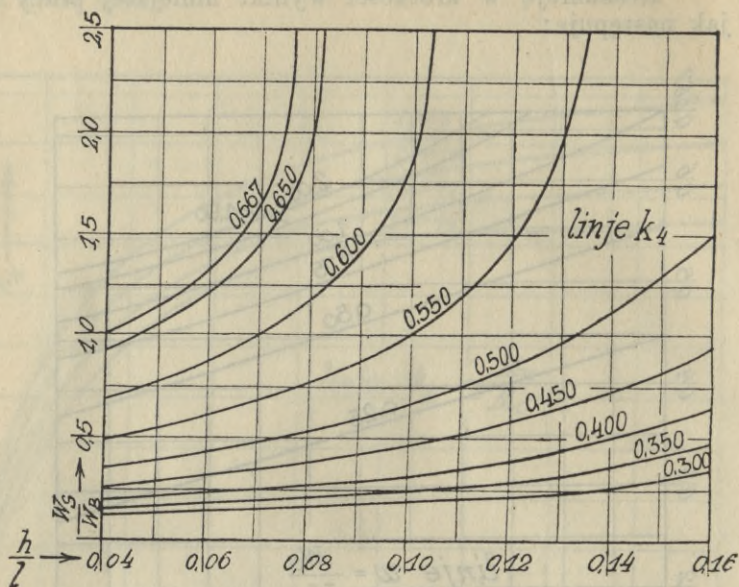


Rys. 43.

Wykres  $k_4$  w zależności od  $\frac{h}{l}$  dla stałych wartości „ $w$ ” dla obciążenia jednostajnie rozłożonego.

Przyspojenie dźwigara wywołuje z reguły pewne utwierdzenie tegoż. Stopień tego utwierdzenia wyrażony w % całkowitego utwierdzenia jest zależny od  $\frac{W_s}{W_B}$  oraz od  $\frac{h}{l}$ , nie jest natomiast zależny od rodzaju obciążenia. Wyznaczenie stopnia utwierdzenia jest ważne, gdyż od tegoż zależy wielkość naprężeń w spoinach utwierdzających, oraz wymiary samej belki. Utwierdzenie to może być dosyć znaczne, w niektórych wypadkach prawie zupełne, przez co można osiągnąć znaczne oszczędności na wadze belek. Z reguły wystarczy dla osiągnięcia dostatecznego utwierdzenia

przyspojenie stopek dwoma odpowiednio silnymi spoinami zewnętrznymi.



Rys. 44.

Wykres linii  $k_4$  w zależności od  $\frac{h}{l}$  oraz  $\frac{W_S}{W_B}$  dla obciążenia jednostajnie rozłożonego.

Rozkład naprężeń w spoinach utwierdzających zewnętrznych przebiega w przybliżeniu wg. paraboli. Naprężenie średnie obliczone stanowi  $\frac{2}{3}$  naprężenia maksymalnego rzeczywistego<sup>1)</sup>.

Do projektowania i wyznaczenia stopnia utwierdzenia mogą służyć wykresy na rys. 40 i 44 oraz tabl. 31<sup>2)</sup> dla wyznaczenia momentu oporu  $W_S$ , grubości i przekroju spoin ze znanego  $w = \frac{W_S}{W_B}$  dla części używanych dźwigarów.

<sup>1)</sup> Już po zakończeniu niniejszej pracy ukazały się „Przepisy o projektowaniu i wykonaniu połączeń spawanych w spawanych konstrukcjach stalowych“ wydane przez Ministerstwo Spraw Wewn. W przepisach tych przyjęto naprężenie dopuszczalne przy zginaniu  $1000 \text{ kg/cm}^2$ , co jest moim zdaniem za dużo, gdyż wg. wyników niniejszej pracy naprężenie maksymalne wynosiłoby wtedy  $1500 \text{ kg/cm}^2$ . W tych warunkach należałoby przyjąć naprężenie dopuszczalne max.  $700 \text{ kg/cm}^2$ .

<sup>2)</sup> W tablicy 31 zamiast  $W_S = \frac{b}{6} \frac{h_1^3 - h^3}{h_1}$  należy wstawić  $W_S = \frac{b}{6} \frac{h_1^3 - h^3}{h_1}$ .



Tabl. 31.

$$\omega = \frac{W_S}{W_B}, \quad W_S = \frac{b}{6} \frac{h_1^3 - h_2^3}{h_1}, \quad h_2 = h + 2t', \quad t' = 0,7t, \quad F_S = 2bt',$$

*ω, W<sub>S</sub> i F<sub>S</sub> dla przymocowania belki dwoma spoinami. zewnętrznymi o grub. t w mm.*

I NP	b cm	W <sub>B</sub> cm <sup>3</sup>	t		ω, W <sub>S</sub> i F <sub>S</sub>															
			4	2,8	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20		
8	4,2	195	ω	0,49	0,61	0,75	0,85	0,98	1,09	1,22	1,35	1,46								
			W <sub>S</sub>	9,5	11,8	14,2	16,6	19,0	21,3	23,7	26,0	28,4								
			F <sub>S</sub>	2,4	2,9	3,5	4,1	4,7	5,3	5,9	6,5	7,1								
10	5,0	342	ω	0,51	0,64	0,72	0,82	0,93	1,05	1,15	1,25	1,34								
			W <sub>S</sub>	17,5	21,0	24,6	28,1	31,6	35,1	38,6	42,1	45,7								
			F <sub>S</sub>	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4	9,1								
12	5,8	547	ω	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81	0,89	0,98	1,07	1,16								
			W <sub>S</sub>	24,4	29,3	34,2	39,1	44,0	48,9	53,7	58,6	63,5								
			F <sub>S</sub>	4,1	4,9	5,7	6,5	7,3	8,1	8,9	9,7	10,5								
14	6,6	819	ω	0,47	0,55	0,63	0,71	0,79	0,86	0,94	1,02	1,10								
			W <sub>S</sub>	38,6	45,1	51,5	57,9	64,3	70,8	77,3	83,7	90,2								
			F <sub>S</sub>	5,5	6,5	7,4	8,3	9,2	10,2	11,1	12,1	13,0								
16	7,4	117	ω	0,38	0,45	0,51	0,58	0,64	0,70	0,77	0,83	0,89								
			W <sub>S</sub>	44,8	52,3	59,7	67,5	74,7	82,2	89,7	97,1	105								
			F <sub>S</sub>	6,2	7,3	8,3	9,3	10,4	11,4	12,4	13,4	14,5								
18	8,2	161	ω	0,45	0,51	0,57	0,64	0,70	0,76	0,83	0,89	0,96								
			W <sub>S</sub>	72,0	82,2	92,5	103	113	123	133	144	154								
			F <sub>S</sub>	8,0	9,2	10,3	11,5	12,6	13,8	14,9	16,1	17,2								
20	9,0	214	ω	0,44	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71	0,77	0,83	0,88								
			W <sub>S</sub>	88,3	101	115	126	139	151	164	177	189								
			F <sub>S</sub>	8,8	10,1	11,3	12,6	13,9	15,1	16,4	17,7	18,9								
22	9,8	278	ω					0,40	0,54	0,59	0,65	0,70								
			W <sub>S</sub>					120	135	150	165	180	195							
			F <sub>S</sub>					11,0	12,3	13,7	15,1	16,5	17,8							
24	10,6	354	ω					0,44	0,46	0,51	0,56	0,61								
			W <sub>S</sub>					145	163	181	199	217	235							
			F <sub>S</sub>					11,9	13,3	14,8	16,3	17,8	19,3							
26	11,3	442	ω					0,43	0,48	0,52	0,57	0,62								
			W <sub>S</sub>					189	210	231	252	273	294							
			F <sub>S</sub>					14,2	15,8	17,4	19,0	20,6	22,1							
28	11,9	542	ω					0,39	0,44	0,48	0,53	0,57								
			W <sub>S</sub>					212	236	260	285	307	331							
			F <sub>S</sub>					15,0	16,7	18,3	20,0	21,7	23,3							
30	12,5	653	ω						0,41	0,45	0,47	0,53	0,57							
			W <sub>S</sub>					266	292	319	345	372	398							
			F <sub>S</sub>					17,5	19,3	21,0	22,8	24,5	26,3							
32	13,1	782	ω						0,38	0,42	0,46	0,50	0,54							
			W <sub>S</sub>					300	330	360	390	420	450							
			F <sub>S</sub>					18,5	20,2	22,0	23,8	25,7	27,5							
34	13,7	923	ω							0,39	0,43	0,46	0,50	0,54						
			W <sub>S</sub>						362	395	428	460	494	526						
			F <sub>S</sub>						21,1	23,0	25,0	26,9	28,8							
36	14,3	1089	ω							0,37	0,40	0,43	0,47	0,50						
			W <sub>S</sub>						400	456	472	508	544	581						
			F <sub>S</sub>						22,0	24,0	26,0	28,0	30,0							
38	14,9	1264	ω								0,38	0,44	0,44	0,57	0,50					
			W <sub>S</sub>							476	516	555	595	635						
			F <sub>S</sub>							25,0	27,1	29,2	31,3	33,4						
40	15,5	1461	ω									0,36	0,39	0,42	0,45					
			W <sub>S</sub>								524	568	611	655						
			F <sub>S</sub>								26,0	28,2	30,4	32,6						







Powyższe dane odnoszą się do obciążenia symetrycznego belki względem podpór, t. j. kiedy wypadkowa  $\eta P^u$  ciężarów przechodzi przez środek rozpiętości. W razie obciążenia niesymetrycznego, gdy wypadkowa oddalona jest od lewej podpory o wielkość  $\eta a^u$ , zaś od prawej o  $\eta b^u$ , przyczem  $a + b = l$ , otrzymujemy na każdej podporze inny moment, a mianowicie  $M_u'$  i  $M_u''$ . Otrzymamy zatem także i 2 współczynniki  $k_2' = \frac{M_u'}{M_0}$  oraz  $k_2'' = \frac{M_u''}{M_0}$ . Ponieważ momenty utwierdzenia, jak łatwo udowodnić są:

$$M_u' = 2k_2 \frac{Pab^2}{l^2} \quad \text{oraz} \quad M_u'' = 2k_2 \frac{Pa^2b}{l^2}, \quad (74)$$

więc otrzymamy:

$$k_2' = 2k_2 \frac{b}{l} \quad \text{oraz} \quad k_2'' = 2k_2 \frac{a}{l}, \quad \text{przyczem} \quad k_2 = \frac{k_2' + k_2''}{2}. \quad (75)$$

Możemy zatem do wyznaczenia momentów podporowych oraz wartości  $\eta w^u$  przy obciążeniu niesymetrycznym, używać tablic i wykresów jak dla obciążenia symetrycznego, przyjmując średnie  $k_2$  oraz wyznaczając  $M_u'$ ,  $M_u''$ ,  $k_2'$  i  $k_2''$  z powyższych wzorów.



## SPIS RZECZY.

	Str.
I. Wstęp . . . . .	1
II. Sposób wykonywania doświadczeń . . . . .	2
III. Tensometr Huggerbergera . . . . .	3
IV. Pomiar współczynnika sprężystości . . . . .	6
V. Wyznaczenie stopnia utwierdzenia przy obciążeniu skupionem . . . . .	8
Próba Nr. 1 . . . . .	8
"    "    2 . . . . .	12
"    "    3 . . . . .	14
"    "    4 . . . . .	16
"    "    5 . . . . .	17
"    "    6 . . . . .	18
"    "    7 . . . . .	20
"    "    8 . . . . .	21
"    "    9 . . . . .	22
"    "   10 . . . . .	24
"    "   11 . . . . .	26
"    "   12 . . . . .	27
"    "   13 . . . . .	28
"    "   14 . . . . .	29
"    "   15 . . . . .	31
"    "   16 . . . . .	32
"    "   17 . . . . .	34
"    "   18 . . . . .	35
VI. Wyznaczenie stopnia utwierdzenia przy obciążeniu jednostajnie rozłożonem . . . . .	36
Próba Nr. 19 . . . . .	38
"    "   20 . . . . .	40
"    "   21 . . . . .	41
"    "   22 . . . . .	42
"    "   23 . . . . .	43
"    "   24 . . . . .	44
VII. Pomiar naprężeń w spoinach utwierdzających . . . . .	45
Próba Nr. 25 . . . . .	46
"    "   26 . . . . .	51
VIII. Zestawienie wyników i wnioski . . . . .	54
IX. Zakończenie . . . . .	63

S. 61





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000231384