

TR E Ś Ć : Część urzędowa. Część nieurzędowa. Stefan Bryła: Doświadczenia z połączeniami nitowanymi wzmocnionymi przy pomocy spawania. — Dr. Cz. Thullie: Kościoły i klasztory warowne w dawnej Polsce. (Ciąg dalszy). — Wiadomości z literatury technicznej. — Bibliografja. — Kongresy i Zjazdy.

## Część urzędowa.

### Ustawy i rozporządzenia.

W Dz. U. Nr. 56, poz. 458 — Rozporządzenie Ministra Robót Publicznych i Ministra Skarbu z dn. 10. VI. 1931 r., wydane w porozumieniu z Ministrami: Spraw Wewnętrznych, Przemysłu i Handlu, Sprawiedliwości oraz Poczty i Telegrafów, zmieniające rozporządzenie z dn. 17 marca 1931 r. w sprawie wykonania ustawy o Państwowym Funduszu Drogowym.

W Dz. U. Nr. 57, poz. 463 — Rozporządzenie Ministra Robót Publicznych w porozumieniu z Ministrem Spraw Wewnętrznych z dn. 27 maja 1931 r. o zniesieniu urzędu budowy gmachów państwowych w m. st. Warszawie (przedruk w Monitorze Polskim Nr. 151).

W Dz. U. Nr. 60, poz. 490 — Obwieszczenie Ministra Robót Publicznych w porozumieniu z Ministrem Spraw Wewnętrznych z dn. 15 maja 1931 r. o sprostowaniu błędów w rozporządzeniu Ministra Robót Publicznych w porozumieniu z Ministrem Spraw Wewnętrznych z dn. 7 III. 1931 r., rozciągającym przepisy policyjno-budowlane dla gmin miejskich na niektóre osiedla gmin wiejskich na obszarze województwa lubelskiego (przedruk w Monitorze Polskim Nr. 171).

W Dz. U. Nr. 64, poz. 527 — Rozporządzenie Ministra Robót Publicznych w porozumieniu z Ministrem Spraw Wewnętrznych z dn. 12 VI. 1931 r. rozciągające przepisy policyjno-budowlane dla gmin miejskich na niektóre osiedla gmin wiejskich na obszarze województwa wołyńskiego (przedruk w Monitorze Polskim Nr. 177).

W Dz. U. Nr. 64, poz. 528 — Rozporządzenie Ministra Robót Publicznych z dn. 9 maja 1931 r. o ustaleniu specjalnych wymagań od kandydatów na niższych funkcjonariuszów państwowych w dziale drogowym i na niektóre stanowiska w dziale wodnym służby na lądzie.

W Dz. U. Nr. 66, poz. 546 — Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 2 lipca 1931 r. o stanowisku wojewodów i starostów jako przedstawicieli Rządu.

W Dz. U. Nr. 67, poz. 551 — Rozporządzenie Ministra Robót Publicznych z dn. 23 maja 1931 r. ustalające zasady sporządzania projektów technicznych, wymaganych do uzyskania pozwoleń w sprawach wodnych.

### Zmiany personalne.

#### Mianowania.

Zarząd Centralny Ministerstwa Robót Publicznych w Warszawie: Inż. Tadeusz Szanior, Dyrektor Urzędu budowy gmachów państwowych w m. st. Warszawie w V st. sł. — Naczelnikiem Wydziału w V st. sł. w Ministerstwie Robót Publicznych.

Urząd Wojewódzki (Dyrekcja Robót Publicznych) w Kielcach: Inż. Mieczysław Laubitz — prow. radcą budownictwa w VI st. sł.

Urząd Wojewódzki (Dyrekcja Robót Publicznych) w Nowogrodku: Inż. Józef Romański — prow. radcą budownictwa w VI st. sł.

#### Zwolnienia.

Urząd Wojewódzki (Dyrekcja Robót Publicznych) w Brześciu n/B: Inż. Władysław Zukowski, prow. radca budownictwa w VI st. sł.

#### Przeniesienia.

Inż. Mieczysław Surwiłło, radca ministerjalny w VI st. sł. z Ministerstwa Robót Publicznych do Urzędu Wojewódzkiego (Dyrekcji Robót Publicznych) w Warszawie z nominacją na kierownika Oddziału w VI st. sł.

#### Przeniesienia w stan spoczynku.

Zarząd Centralny Ministerstwa Robót Publicznych w Warszawie: Inż. Józef Opolski, Dyrektor Departamentu w III st. sł. — na własną prośbę z dniem 31 lipca 1931 r.

Urząd Wojewódzki (Dyrekcja Robót Publicznych) w Toruniu: Dr. inż. Mieczysław Nawrowski, Dyrektor Robót Publicznych w V st. sł. — na własną prośbę z dniem 30 czerwca 1931 r.

## Część nieurzędowa.

Stefan Bryła.

### Doświadczenia z połączeniami nitowanymi wzmocnionymi przy pomocy spawania.

Doświadczenia omawiane stanowią drugą z rzędu serję doświadczeń wykonanych dla polskiego Ministerstwa Robót Publicznych. Wielkie znaczenie ich dla konstrukcji żelaznych, zwłaszcza mostowych, leży w tem, że wiele istniejących budowli wymaga po pewnym czasie wzmocnienia z różnych powodów, przede wszystkim jednak z powodu zwiększenia się obciążeń. Wzmocnienie połączeń węzłowych konstrukcji kratowych przedstawia tu zaś wogóle największe trudności; najczęściej bowiem niema miejsca na umieszczenie dodatkowych nitów. Wtedy wzmocnienie przy pomocy spawek oddać może nieocenione korzyści, o ile oczywiście współpraca nitów i szwów spawanych będzie należycie zagwarantowana.

Doświadczenia z połączeniami spawanymi nitowanymi robił jeszcze przed kilku laty prof. Roś w Zurychu, następnie prof. Dustin w Brukseli, oraz profesorowie Kayzer i Gehler w Niemczech. Wyniki tych badań były jednak dość niezgodne z sobą. Doświadczenia te, wykonane przeważnie z niewielką ilością próbek nie mogły

dawać dostatecznej podstawy do określenia współdziałania obu rodzajów połączeń. Podaję tu jednak wyniki, do jakich doszedł prof. Roś.

Wzmocnienia połączeń, nitowanych przez nieracjonalnie zaprojektowane i obliczone spawania, zdaniem prof. Roś'a nie dają żadnego powiększenia siły przenoszonej i prowadzą nawet do osłabienia połączenia. Przyczyna tego leży w różnych zdolnościach pracy i wydłużenia połączenia nitowanego i spawanego. Wartości wytrzymałościowe poszczególnych połączeń wynosiły u niego:

a) wytrzymałość na ścinanie nita średnio  $4,0 t/cm^2$ .

b) granica plastyczności połączenia nitowanego  $= 0,6 \cdot 4,0 = 2,4 t/cm^2$ . (granica plastyczności połączenia nitowanego nazywa prof. Roś naprężenie, przy którym następuje silny przyrost odkształceń bez przyrostu siły; wynosi ono okragło 0,6 wytrzymałości na ścinanie).

c) wytrzymałość szwu na styk  $3,5 t/cm^2$ .

d) wytrzymałość szwu czołowego  $2,5 t/cm^2$ .

e) wytrzymałość szwu boczego  $2,1 t/cm^2$ .

f) wytrzymałość połączenia kombinowanego (spawanie czołowe, oraz boczne),  $2,3 \text{ t/cm}^2$ .

g) wytrzymałość doraźna na rozciąganie stali zlewnej konstrukcyjnej  $4,1 \text{ t/cm}^2$ .

h) wydłużenie procentowe przy zerwaniu  $A_{10} = 25\%$ .

Z wytrzymałości połączenia nitowanego wyzyskać można tylko  $60\%$ , gdyż ponad tę wartość przy zwiększającym się obciążeniu wydłużenia nitów tak silnie wzrastają, że cała nadwyżka siły przenosi się na połączenie spawane. Przy założonej równowartości pomiędzy połączeniem nitowanym, a połączeniem kombinowanym, muszą spoiny przenieść resztę siły rozciągającej, t. j. te  $40\%$ , które z racji wydłużeń nita połączenie straciło. Prowadzi to do zależności:

$$F_{sp} = F_{nit} \frac{(1-0,60) \cdot 4,00}{2,30} = 70\% F_{nit}$$

t. j. przy równowartości pomiędzy samem połączeniem nitowanym, oraz połączeniem kombinowanym z nitów i spawania czołowego i bocznego, musi całkowita powierzchnia spawania wynosić  $70\%$  powierzchni nitowania. Tylko nadwyżka ponad tę wartość powoduje odciążenie połączenia nitowanego. Połączenie nitowane wzmacnia się zatem praktycznie przy pomocy spawki wówczas, gdy powierzchnia spawania równa się pracującej powierzchni nitów. Zastosowanie spawak, które nie pozwalają na przenoszenie siły przez nity, jak to się dzieje przy szwach na styk i przy silnie dymensjonowanych szwach czołowych wykluczają współpracę obu rodzajów połączeń.

Roś wyciągnął następujące wnioski:

1. Wytrzymałość na rozciąganie spawek, wykonanych na drodze elektrycznej wynosi średnio  $3,5 \text{ ton/cm}^2$ . Odchyłki mogą wynosić do  $30\%$ , podczas gdy przy konstrukcjach nitowanych  $15\%$ .

2. Spawanie na styk nie daje wzmocnienia połączenia nitowanego.

3. Szwy boczne ze średnią wytrzymałością około  $2,1 \text{ ton/cm}^2$  oraz szwy czołowe z wytrzymałością  $2,5 \text{ ton/cm}^2$ , średnio zatem  $2,3 \text{ ton/cm}^2$  prowadzą do odciążenia połączenia nitowanego tylko wtedy, jeżeli pracująca powierzchnia spawania równa się conajmniej powierzchni pracującej nitów. Udział nitów wynosi około  $0,6$  całkowitej ich wytrzymałości.

4. Zastosowanie spawak, które stoją na drodze przenoszenia siły do nitów, jak to się dzieje przy szwach czołowych i na styk, może wykluczyć całkowicie współpracę tychże z nitami.

5. Poleca się przy wzmocnieniu połączenia nitowanego przez spawanie w każdym poszczególnym przypadku wykryć prawdziwe stosunki przy pomiarach i badaniach wytrzymałości dla zorientowania się w obrazie współpracy połączeń kombinowanych, nitowanych i spawanych.

Przytaczając powyższą opinię zauważyć można, że wypada ona raczej na niekorzyść połączeń kombinowanych. W rzeczywistości sprawa wzmocnienia konstrukcji nitowanych przy pomocy połączeń spawanych, przedstawia bardzo duże trudności w doborze rodzaju połączenia spawanego i wielkości jego powierzchni w stosunku do powierzchni nitów pracujących, a to ze względu na różny charakter i zdolność pracy obu rodzajów połączeń. Jakkolwiek na tem polu zostały wykonane dość liczne doświadczenia, nie są one jednak wystarczające, zwłaszcza, że poszczególne opinie np. prof. Rośa i prof. Dustin'a nie są ze sobą zgodne.

Jak to jest widoczne z powyżej przytoczonych doświadczeń, przyjął Roś dla szwów bocznych i czołowych niezależnie od grubości i długości szwu średnią wartość  $2,3 \text{ ton/cm}^2$ . Wynik ten jest, jak już wydaje się na pierwszy rzut oka za niski, a powtórnie nie jest polecenia godnym przyjmować jedną wartość niezależnie od długości, a zwłaszcza i grubości szwu, co jasno wynika z poniżej przedstawionych rezultatów i badań nad szwami czołowymi i boczno-

Doświadczenia, które omawiam poniżej, przeprowadzone zostały pod moim kierownictwem w Mechanicznej Stacji Doświadczalnej Politechniki Lwowskiej, przy współudziale asystenta tejże Stacji p. Marjana Popiela. Próbkę wykonała firma Edward Kozłowski we Lwowie, przy zastosowaniu elektrod Arcos Tensilend.

Wykonano przytem następujące serie badań:

1. Wytrzymałość na rozciąganie próbki przy połączeniu nitowanym. Oznaczono wytrzymałość na ścinanie nitów. Do badań wzięto próbki blach kotłowych, połączone za pomocą nitów o wymiarach  $2\phi 11$ ,  $2\phi 14$  i  $2\phi 17 \text{ mm}$ . Z dwu dowolnie wybranych próbek nitów przeprowadzono analizę chemiczną, oraz badanie metalograficzne.

2a. Wytrzymałość na rozciąganie próbek spawanych, połączenie zapomocą szwów czołowych.

2b. Wytrzymałość na rozciąganie próbek spawanych, połączenie zapomocą szwów bocznych.

3a. Wytrzymałość połączenia nitowanego w kombinacji ze szwem czołowym.

3b. Wytrzymałość połączenia nitowanego w kombinacji ze szwem bocznym.

Poniżej podane zestawienie daje możność zorientowania się w zależności pomiędzy wytrzymałością połączenia nitowanego i spawanego, a kombinowanego przy różnych stosunkach długości i szerokości szwu do średnicy nita, a tem samem przy różnych stosunkach powierzchni szwów do powierzchni nitów. Wytrzymałość połączenia kombinowanego obliczano zapomocą następującego ułożonego wzoru:

$$P_c = P_n + k \cdot P_s \text{ lub } P_c = P_n + k_1 \cdot P_{s.1}$$

Oznaczenia:

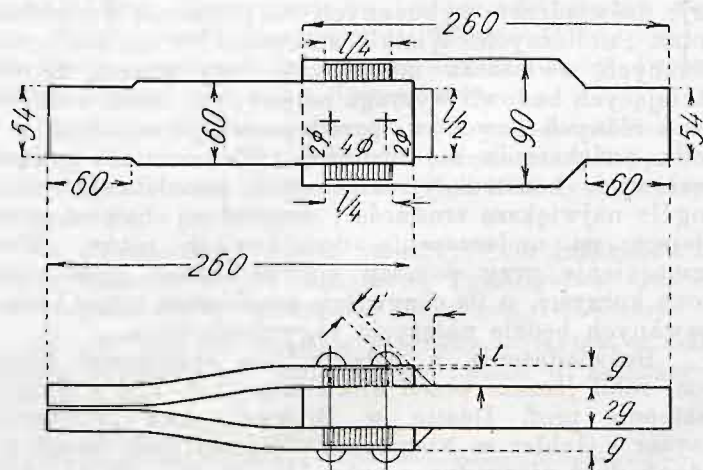
1.  $P_c$ ... całkowita siła zrywająca dla połączenia kombinowanego, nitowanego i spawanego (wyniki doświadczeń serji 3).

2.  $P_n$ ... siła przenoszona przy zerwaniu przez połączenie wyłącznie nitowane o tych wymiarach co wyżej. Wyniki doświadczeń serji 1.

3.  $P_s$ ... siła przenoszona przez połączenie tylko spawane (wyniki doświadczeń serji 2).

Powyższe trzy wielkości dane są z oddzielnych pomiarów, a zatem w obydwu równaniach mamy do obliczenia jedną niewiadomą  $k$ , względnie  $k_1$ . Spółczynnik  $k$  obliczony był przy danej wartości  $P_s$ , którą to wartość bierzemy dokładnie z wyników doświadczeń nad próbka spawaną tego samego typu, a więc: wykonaną przez tego samego spawacza o tej samej długości i przekroju poprzecznym szwów. W drugim sposobie obliczenia przy obliczeniu  $k_1$ , przyjęto stałą wytrzymałość połączenia spawanego dla szwu czołowego i bocznego w odniesieniu do teoretycznego przekroju spawki; wytrzymałość ta, przyjęta jako  $80\%$  wytrzymałości stali zlewnej wynosi:

$$R_{sp} = 0,80 \cdot 37,0 = 29,6 \text{ kg/mm}^2$$



Rys. 1.

Wartość  $k$  obliczono przy założeniu, że dobroć i jakość wykonanej spawki są takie same przy próbie o połączeniu kombinowanym, jak przy próbie czysto spawanej. Nie jest tak zawsze i może się zdarzyć nawet, że spawka w próbie o połączeniu kombinowanym została wykonana lepiej, niż próbka w połączeniu czysto spawanem, co prowadzi do wartości współczynnika  $k=1$ . Zachodzi to jednak w wyjątkowym wypadku, zwłaszcza w przedłożonej poniżej partji próbek, gdzie wykonanie spawek w jednym i drugim połączeniu było jednakowo solidne. W drugim natomiast wypadku przy obliczeniu przyjęto stałą wartość wytrzymałości połączenia spawanego t. j.  $R_{sp}=0,80 \cdot 37=29,6 \text{ kg/mm}^2$ .

Próbki miały kształt podany na rys. 1. Składały się one z płaskowników, z jednej strony jednego, szerszego, z drugiej dwukrotnie cieńszych i o tyle węższych, aby szwy boczne można było dobrze wykonać; obejmują one płaskownik grubszy obustronnie symetrycznie. Na rysunku podana jest próbka o kształcie ogólnym, z rozmieszczeniem: *a)* nitów, *b)* szwów bocznych (zakreskowanych), *c)* szwów czołowych (niezakreskowanych). Obrobienie na końcach odpowiednio do uchwytów maszyny rozrywającej. Dymensje dostosowane tak, aby zerwanie nastąpiło przez zniszczenie nitów, względnie spoin.

### I. Wytrzymałość połączeń nitowanych.

Nr. próbki L.	Pole przekroju nitów w $\text{mm}^2$	Wytrzymałość na ściananie w $\text{kg/mm}^2$
------------------	---	---

#### a) 2 nity $\phi 11$ .

6	$2 \times 2 \phi 11,0$	380,0	45,6
6/1	"	380,0	40,5
6/2	"	380,0	39,7
		średnio	41,95

czyli  $4,2 \text{ ton/cm}^2$ .

#### b) 2 nity $\phi 14$ .

2	$2 \times 2 \phi 14,0$	616,0	39,05
2/3	"	616,0	42,25
2/4	"	616,0	35,45
		średnio	38,5

czyli  $3,85 \text{ ton/cm}^2$

#### c) 2 nity $\phi 17$ .

17/2	$2 \times 2 \phi 17,0$	908,0	40
17/3	"	908,0	40,5
		średnio	40,25

czyli  $4,025 \text{ ton/cm}^2$ .

Średnia wytrzymałość wzięta dla trzech rodzajów nitów  $2 \phi 11$ ,  $2 \phi 14$  i  $2 \phi 17$  wynosi  $40,20 \text{ kg/mm}^2$ , co zaokrąglić można na  $40 \text{ kg/mm}^2$ , czyli  $4,0 \text{ ton/cm}^2$ . Ta wartość przyjęta została dla wszystkich obliczeń następujących.

### II. Wytrzymałość połączeń spawanych.

Wyniki podane w zestawieniach 2a i 3b zostały wzięte z badań nad połączeniami wyłącznie spawanymi; szczegółowe omówienie ich ogłoszone będzie oddzielnie.

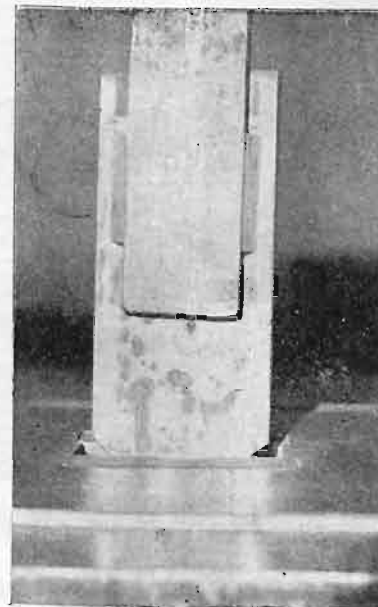
#### 2a. Wytrzymałość połączeń spawanych ze szwem czołowym.

Długość szwów stała.  $l=10 \text{ cm}$ .

L. p.	$t$	$t'$	$\frac{P}{t}$	$\frac{P}{t'l}$
	mm	mm	$\text{kg/cm}$	$\text{kg/mm}^2$
3	12	8,5	31300	31,3
3/1	12	8,5	33200	33,2
3/2	12	8,5	31400	31,4
		średnio		32,0
7	10	7,0	36900	36,9
7/1	10	7,0	45600	45,6
		średnio		41,25

L. p.	$t$	$t'$	$\frac{P}{t}$	$\frac{P}{t'l}$
	mm	mm	$\text{kg/cm}$	$\text{kg/mm}^2$
6	8	5,6	43600	43,6
6/1	8	5,6	42500	42,5
		średnio		43,0
5	6	4,2	37800	37,9
5/1	6	4,2	37400	37,4
		średnio		37,6
4	4	2,8	45500	45,4
4/1	4	2,8	50800	50,8
		średnio		48,1

#### 2b. Wytrzymałość połączeń spawanych ze szwami bocznymi (ryc. 2).



Ryc. 2.

L. p.	$t$	$t'$	$\frac{P}{t}$	$\frac{P}{t'l}$
	mm	mm	$\text{kg/cm}$	$\text{kg/mm}^2$
$l = \text{const.} = 8 \text{ cm}$				
4	12	8,5	25400	31,7
3/1	10	7,0	23150	35,2
30	8	5,6	35000	43,8
26	6	4,2	41400	51,8
22	4	2,8	33600	42,0
$l = \text{const.} = 12 \text{ cm}$				
5	12	8,5	36000	30,0
35	10	7,0	40800	33,9
31	8	5,6	37500	31,3
27	6	4,2	50000	41,7
23	4	2,8	63800	53,2
$l = \text{const.} = 16 \text{ cm}$				
36	10	7,0	51500	32,1
32	8	5,6	57200	35,8
28	6	4,2	57200	35,7
24	4	2,8	73600	46,0
$l = \text{const.} = 20 \text{ cm}$				
37	10	7,0	63500	31,6
33	8	5,6	69900	34,9
29	6	4,2	70500	35,2
25	4	2,8	80300	40,2

### III. Wytrzymałość połączeń nitowanych, wzmocnionych zapomocą szwów czołowych. (Ryc. 3).

#### 1. $2 \phi 12 \text{ mm}$ , $l=10 \text{ cm}$ .

##### a) $t=4 \text{ mm}$ , $t'=2,8 \text{ mm}$ .

L. p.	$F_n$	$F_{sp}$	$P_c$	$P_n$	$P_c - P_n$	$R_{sp}$	$k$	$k_1$
	$\text{mm}^2$	$\text{mm}^2$	kg	kg	kg	$\text{kg/mm}^2$		
8	380	280	24000	15200	8800	31,3	0,65	1,06
8/1	380	280	22300	15200	7100	25,3	0,525	0,854
8/2 A	380	280	24000	15200	8800	31,3	0,65	1,06

##### b) $t=8 \text{ mm}$ , $t'=4,2 \text{ mm}$ .

9/4	380	420	29200	15200	14000	33,3	0,886	1,125
9/1	380	420	26200	15200	11000	26,2	0,700	0,885
9/2	380	420	27700	15200	12500	29,8	0,785	1,005

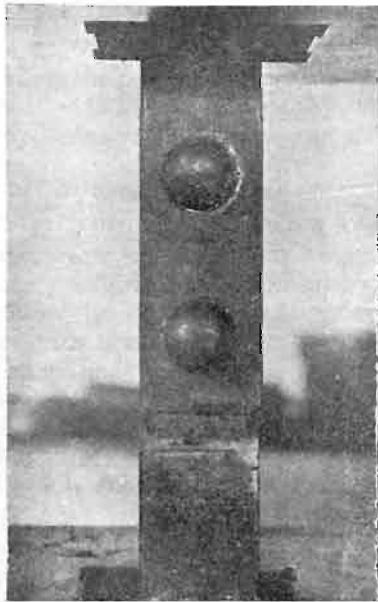
##### c) $t=8 \text{ mm}$ , $t'=5,6 \text{ mm}$ .

10	380	560	31300	15200	16100	28,8	0,67	0,975
10/1	380	560	32500	15200	17300	31,0	0,72	1,05
10/2	380	560	33100	15200	17900	32,0	0,745	1,08

##### d) $t=10 \text{ mm}$ , $t'=5,6 \text{ mm}$ .

11	380	700	31000	15200	15800	22,6	0,658	0,765
11/1	380	700	37400	15200	22200	32,75	0,921	1,07
11/2	380	700	39000	15200	23700	34,0	0,990	1,15
9	380	700	36100	15200	20900	29,1	0,845	0,985
9/1	380	700	36600	15200	21400	30,6	0,890	1,035
9/2	380	700	34800	15200	19600	28,0	0,815	0,946

L. p.	$F_n$ mm <sup>2</sup>	$F_{sp}$ mm <sup>2</sup>	$P_c$ kg	$P_n$ kg	$P_c - P_n$ kg	$R_{sp}$ kg/mm <sup>2</sup>	$k$	$k_1$
e) $t=12\text{ mm}, t'=8,5\text{ mm}.$								
12	380	850	36300	15200	21100	25,1	0,785	0,85
12/1	380	850	35800	15200	20600	24,6	0,77	0,835
12/2	380	850	39000	15200	23800	28,4	0,815	0,895



Ryc. 3.

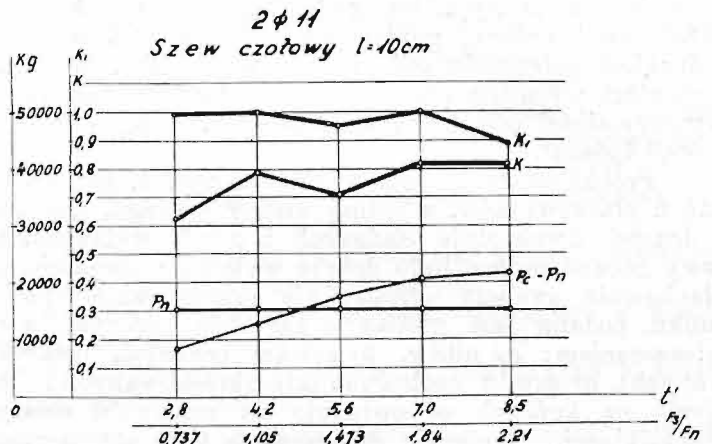
2.  $2\phi 14\text{ mm}, l=10\text{ cm}.$

a) $t=4\text{ mm}, t'=2,8\text{ mm}.$								
13	616	280	28500	24600	3900	13,9	0,29	0,47
13/1	616	280	28500	24600	3900	13,9	0,29	0,47
13/2	616	280	30200	24600	5600	20,0	0,417	0,675
b) $t=6\text{ mm}, t'=4,2\text{ mm}.$								
14	616	420	35400	24600	10800	25,7	0,685	0,87
14/1	616	420	34800	24600	10200	24,3	0,648	0,82
14/2	616	320	34800	24600	10200	24,3	0,648	0,82
c) $t=8\text{ mm}, t'=5,6\text{ mm}.$								
15	616	560	37500	24600	12900	23,0	0,535	0,778
15/1	616	560	36800	24600	12200	21,8	0,506	0,736
15/2	616	560	38500	24600	13900	24,8	0,575	0,840
d) $t=10\text{ mm}, t'=7,00\text{ mm}.$								
16	616	700	43400	24600	18800	26,9	0,784	0,91
16/1	616	700	39400	24600	14800	21,2	0,617	0,716
16/2	616	700	45500	24600	20900	29,8	0,866	1,005

3.  $2\phi 17\text{ mm}, l=8\text{ cm}.$

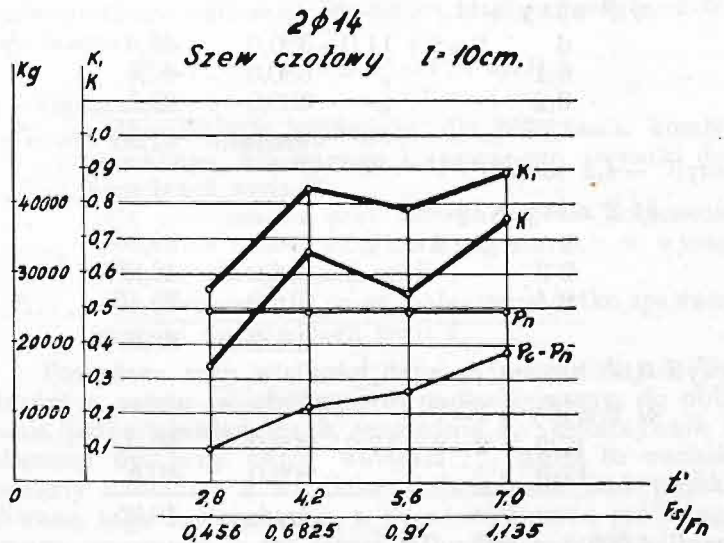
a) $t=4\text{ mm}, t'=2,8\text{ mm}.$								
17	908	224	36000	36300				
17/1	908	224	36300	36300				
17/2	908	224	36700	36300	400	1,78	0,0307	0,0600
b) $t=6\text{ mm}, t'=4,2\text{ mm}.$								
18	908	336	36900	36300	600	1,780	0,0475	0,0600
18/1	908	336	34400	36300				
18/2	908	336	34900	36300				
c) $t=8\text{ mm}, t'=5,6\text{ mm}.$								
19	908	448	37000	36300	700	1,56	0,0363	0,053
19/1	908	448	40500	36300	4200	9,4	0,218	0,317
d) $t=10\text{ mm}, t'=7,00\text{ mm}.$								
20	908	560	39400	36300	3100	5,54	0,162	0,188
20/1	908	560	39700	36300	3400	6,08	0,178	0,205
20/2 A	908	560	41300	36300	5000	8,93	0,208	0,302

L. p.	$F_n$ mm <sup>2</sup>	$F_{sp}$ mm <sup>2</sup>	$P_c$ kg	$P_n$ kg	$P_c - P_n$ kg	$R_{sp}$ kg/mm <sup>2</sup>	$k$	$k_1$
e) $t=12\text{ mm}, t'=8,5\text{ mm}.$								
21	908	680	48400	36300	12100	18,0	0,565	0,608
21/1	908	680	44500	36300	8200	12,25	0,384	0,412
21/2 A	908	680	52000	36300	15700	23,3	0,73	0,79



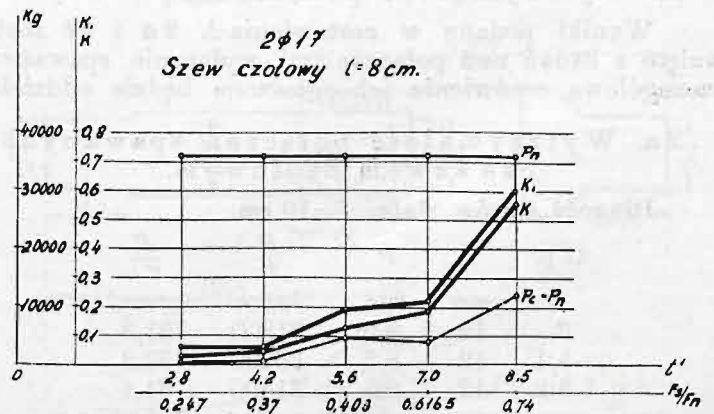
Rys. 4.

Powyższe wyniki ujęto w wykresy, przedstawione na rys. 4, 5 i 6. Wykresy te podają zależność pomiędzy



Rys. 5.

wartością współczynnika  $k$ , wzgl.  $k_1$  a stosunkiem przekroju szwu do przekroju nitów,  $k=f\left(\frac{F_s}{F_n}\right)$  przy stałej długości



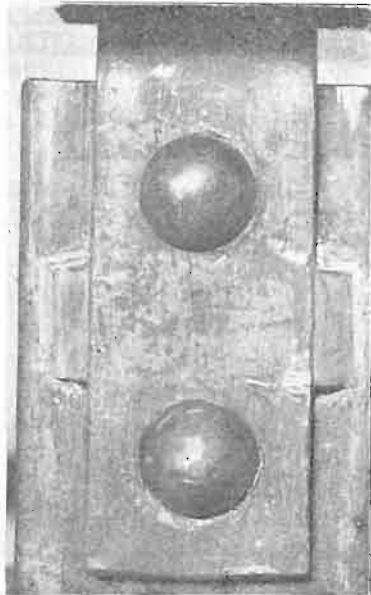
Rys. 6.

i zmiennej grubości szwu. Z wykresu dla danej powierzchni nitów można odczytać wprost wartość współczynnika  $k$  w za-

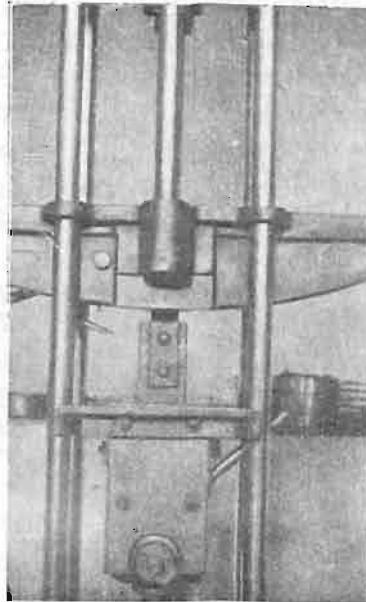
leżności od powierzchni spawki. Ujęcie powyższych wielkości we wzory podane jest przy końcu. Ponadto widać na wykresie wartość obciążenia przenieszonego przez połączenie nitowane ( $P_n$ ), oraz wartość obciążenia przenieszonego przez połączenie spawane ( $P_c - P_n$ ).

3a. Wytrzymałość połączeń nitowanych, wzmocnionych szwami bocznymi.

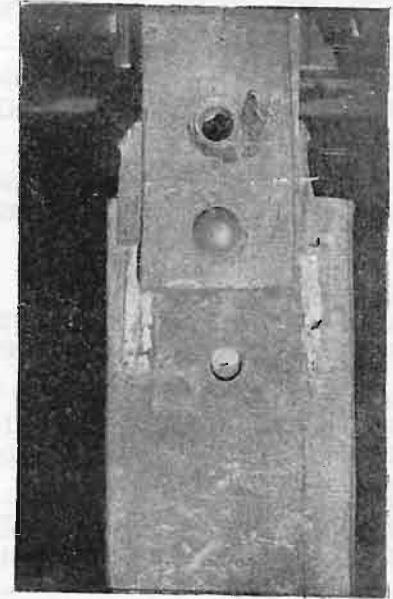
Ryc. 7 wskazuje wygląd próbki nitowanej (2 nity  $\phi 14$  mm) wzmocnionej 4-ma szwami bocznymi. Ryc. 8 wskazuje tę próbkę założoną na maszynie do badania wytrzymałości, zaś ryc. 9 wskazuje wygląd próbki po zerwaniu.



Ryc. 7.



Ryc. 8.



Ryc. 9.

1.  $2 \phi 11$  (2 nity o  $\phi 11$  mm).

1.  $l=4$  mm,  $t'=2,8$  mm.

L. p.	$F_n$ mm <sup>2</sup>	$F_{sp}$ mm <sup>2</sup>	$P_c$ kg	$P_n$ kg	$P_c - P_n$ kg	$R_{sp}$ kg/mm <sup>2</sup>	$k$	$k_1$
a) $l=8$ cm								
38	380	224	21800	15200	6600	29,4	0,700	0,993
38/1	380	224	20000	15200	4800	21,4	0,510	0,734
b) $l=12$ cm								
39	380	336	28200	15200	13000	38,7	0,725	1,305
39/1	380	336	25800	15200	9600	28,6	0,535	0,965
c) $l=16$ cm								
40	380	448	29100	15200	13900	31,0	0,675	1,04
40/1	380	448	31200	15200	16000	35,6	0,775	1,20
d) $l=20$ cm								
41	380	560	32400	15200	17200	30,7	0,755	1,03
41/1	380	560	30700	15200	15500	27,7	0,680	0,935
2. $t=6$ mm, $t'=4,2$ mm.								
a) $l=8$ cm								
42	380	336	26800	15200	11600	34,5	0,666	1,165
42/1	380	336	24700	15200	9500	29,1	0,562	0,985
b) $l=17$ cm								
43	380	504	30600	15200	15400	30,6	0,740	1,032
43/1	380	504	30000	15200	14800	29,4	0,705	0,993
c) $l=16$ cm								
44	380	672	35700	15200	20500	30,5	0,855	1,030
44/1	380	672	40300	15200	25100	37,3	1,045	1,260
d) $l=20$ cm								
45	380	850	46000	15200	30800	36,7	1,040	1,240
45/1	380	850	42500	15200	27300	32,5	0,925	1,098

L. p.	$F_n$ mm <sup>2</sup>	$F_{sp}$ mm <sup>2</sup>	$P_c$ kg	$P_n$ kg	$P_c - P_n$ kg	$R_{sp}$ kg/mm <sup>2</sup>	$k$	$k_1$
3. $t=8$ mm, $t'=5,6$ mm.								
$l=8$ cm								
46	380	448	30200	15200	15000	33,5	0,765	1,130
46/1	380	448	29400	15200	14200	31,7	0,725	1,070
$l=12$ cm								
47	380	672	34800	15200	19600	29,2	0,935	0,987
47/1	380	672	40400	15200	25200	37,5	1,200	1,265
$l=16$ cm								
48	380	806	41500	15200	32300	36,0	1,005	1,215

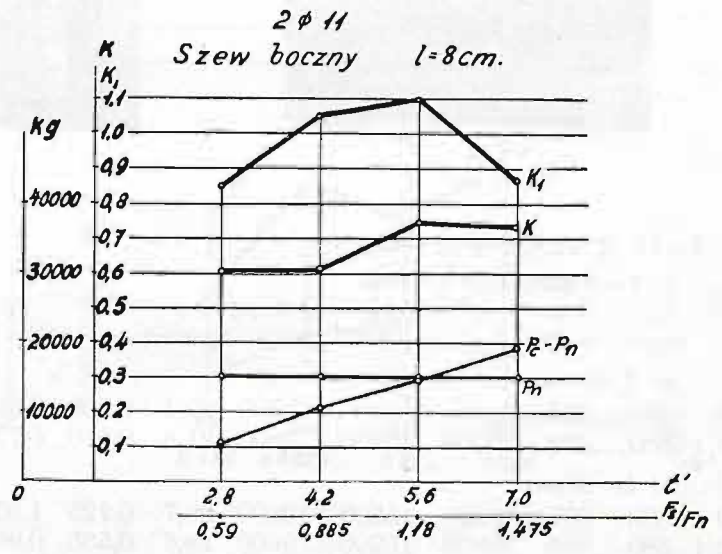
48/1	380	896	39000	15200	23800	26,5	0,740	0,896
$l=49$ cm								
49	380	1120	49100	15200	33900	30,2	0,865	1,020
49/1	380	1120	50800	15200	35600	31,8	0,914	1,072
4. $t=10$ mm, $t'=7,0$ mm.								
$l=8$ cm								
50	380	560	29000	15200	13800	24,6	0,705	0,834
50/1	380	560	30000	15200	14800	26,5	0,760	0,895
$l=12$ cm								
51	380	850	44500	15200	29300	34,9	1,03	1,180
51/1	390	850	41000	15200	25900	30,7	0,906	1,035
$l=16$ cm								
52	380	1120	49000	15200	33800	30,2	0,94	1,02
52/1	380	1120	49400	15200	33800	30,2	0,94	1,02
$l=20$ cm								
53	380	1400	55000	15200	39800	28,5	0,90	0,965
2. $2 \phi 14$ (2 nity o $\phi 14$ mm).								
1. $l=4$ mm, $t'=2,8$ mm								
a) $l=8$ cm								
54	616	224	28500	24600	3900	17,4	0,415	0,590
54/1	616	224	27100	24600	2500	11,25	0,268	0,380
b) $l=12$ cm								
55	616	336	32000	24600	7400	22,0	0,418	0,743
55/1	616	336	29800	24600	5200	15,5	0,292	0,525
c) $l=16$ cm								
56/1	616	448	34000	24600	9400	21,0	0,458	0,710
56	616	448	38200	24600	13600	30,3	0,660	1,022

L. p.	$F_n$ mm <sup>2</sup>	$F_{sp}$ mm <sup>2</sup>	$P_c$ kg	$P_n$ kg	$P_c - P_n$ kg	$R_{sp}$ kg/mm <sup>2</sup>	$k$	$k_1$
d) $l = 20$ cm								
57	616	560	42500	24600	17900	32,0	0,795	1,080
57/1	616	560	41500	24600	16900	30,2	0,750	1,02
2. $t = 6$ mm, $t' = 4,2$ mm								
a) $l = 8$ cm								
58	616	336	32500	24600	7900	23,5	0,455	0,795
58/1	616	336	31400	24600	6800	20,2	0,390	0,682
b) $l = 12$ cm								
59	616	504	37800	24600	13200	26,2	0,630	0,885
59/1	616	504	37000	24600	12400	24,6	0,592	0,832
c) $l = 16$ cm								
60	616	672	43500	24600	18900	28,1	0,787	0,950
61/1	616	672	39600	24600	15000	22,4	0,627	0,755
d) $l = 20$ cm								
61	616	850	48500	24600	23900	28,4	0,808	0,960
61/1	616	850	48200	24600	23600	28,0	0,795	0,950
3. $t = 8$ mm, $t' = 5,6$ mm								
a) $l = 8$ cm								
62	616	448	36800	24600	12200	27,2	0,620	0,920
62/1	616	448	35200	24600	10600	23,6	0,525	0,800
b) $l = 12$ cm								
63	616	672	41700	24600	17100	25,4	0,812	0,860
63/1	616	672	46100	24600	21500	32,0	1,00	1,080
c) $l = 16$ cm								
64	616	896	53000	24600	28400	31,7	0,886	1,070
64/1	616	896	52000	24600	27400	30,6	0,855	1,030
d) $l = 20$ cm								
65	616	1120	59000	24600	34400	30,7	0,885	1,040
65/1	616	1120	58000	24600	33400	29,8	0,855	1,010
4. $t = 10$ mm, $t' = 7$ mm								
a) $l = 8$ cm								
66	616	560	34000	24600	9400	16,8	0,480	0,570
66/1	616	560	39600	24600	15000	26,8	0,762	0,905
b) $l = 12$ cm								
67	616	850	47200	24600	22600	26,9	0,795	0,910
67/1	616	850	50300	24600	25700	30,6	0,905	1,03
c) $l = 16$ cm								
68	616	1120	55000	24600	30400	27,1	0,850	0,915
68/1	616	1120	53000	24600	28400	25,4	0,790	0,860
d) $l = 20$ cm								
69	616	1400	60000	24600	35900	25,6	0,81	0,865
69/1	616	1400	60500	24600	36400	26,0	0,84	0,880

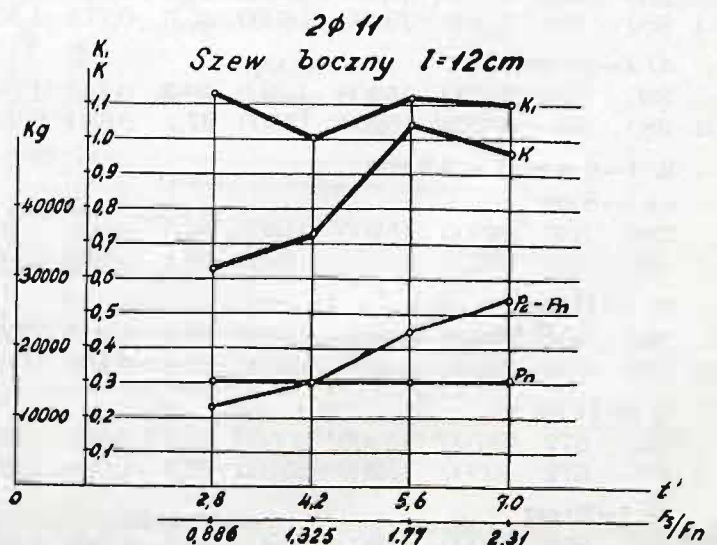
3. 2 φ 17

L. p.	$F_n$ mm <sup>2</sup>	$F_{sp}$ mm <sup>2</sup>	$P_c$ kg	$P_n$ kg	$P_c - P_n$ kg	$R_{sp}$ kg/mm <sup>2</sup>	$k$	$k'$
1. $t = 4,0$ mm, $t' = 2,8$ mm								
a) $l = 8$ cm								
70	908	224	39700	36300	3400	15,2	0,362	0,514
70/1	908	224	39200	36300	2900	12,95	0,310	0,440
b) $l = 12$ cm								
71	908	336	43000	36300	6700	19,9	0,372	0,672
71/1	908	336	42500	36300	6200	18,4	0,326	0,620
c) $l = 16$ cm								
72	908	448	45000	36300	8700	19,5	0,425	0,66
72/1	908	448	43700	36300	7400	16,5	0,359	0,558
d) $l = 20$ cm								
73	908	560	48200	36300	11900	21,3	0,530	0,72
73/1	908	560	48600	36300	12300	22,0	0,547	0,742

L. p.	$F_n$ mm <sup>2</sup>	$F_{sp}$ mm <sup>2</sup>	$P_c$ kg	$P_n$ kg	$P_c - P_n$ kg	$R_{sp}$ kg/mm <sup>2</sup>	$k$	$k'$
2. $t = 6,0$ mm, $t' = 4,2$ mm								
a) $l = 8$ cm								
74	908	336	41500	36300	5200	15,0	0,299	0,308
b) $l = 12$ cm								
75	908	504	46100	36300	9800	19,4	0,48	0,655
75/1	908	504	46200	36300	9900	19,6	0,485	0,662
c) $l = 16$ cm								
76	908	672	51000	36300	14700	21,9	0,614	0,74
76/1	908	672	52000	36300	15700	23,4	0,658	0,79
d) $l = 20$ cm								
77	908	850	60700	36300	24400	29,0	0,720	0,98
77/1	908	850	61000	36300	24700	29,5	0,734	0,995
3. $t = 8$ mm, $t' = 5,6$ mm								
a) $l = 8$ cm								
78	908	448	43500	36300	7200	16	0,366	0,54
78/1	908	448	44700	36300	8400	18,7	0,427	0,632
b) $l = 12$ cm								
79	908	672	51200	36300	14900	22,2	0,710	0,75
79/1	908	672	52000	36300	15700	23,4	0,746	0,79
c) $l = 16$ cm								
80	908	896	55400	36300	19100	21,3	0,595	0,72
80/1	908	896	55000	36300	18700	20,9	0,584	0,705



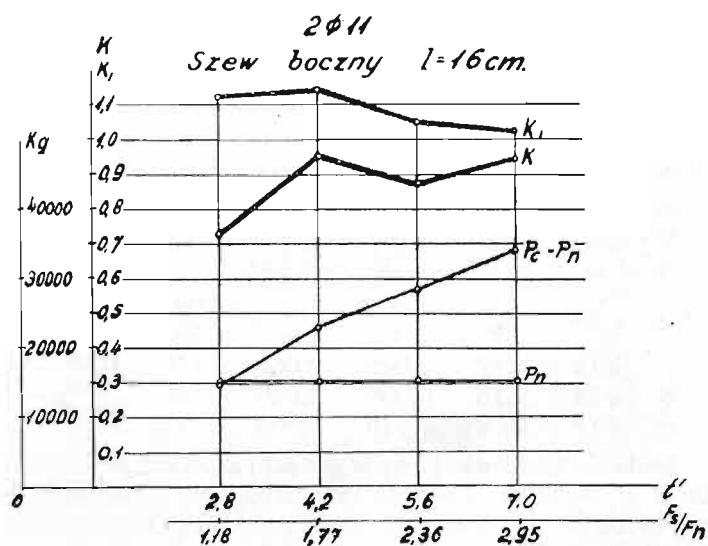
Rys. 10.



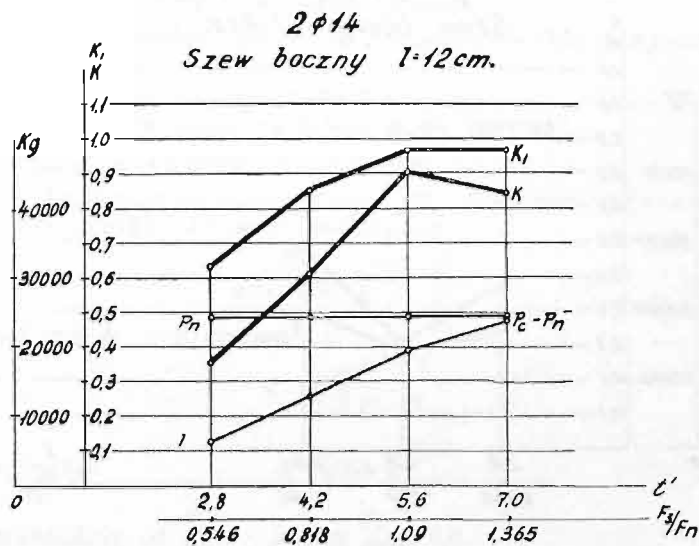
Rys. 11.

Analogicznie jak dla szwów czołowych, ujęto powyższe wyniki w wykresy, oddzielne dla każdej długości szwu, oraz dla wymiarów nitów.

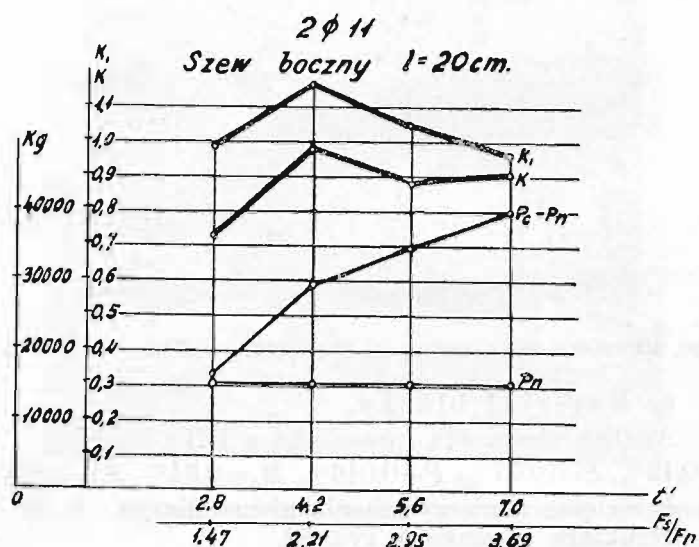
przekroju nita, t. j.  $k=f\left(\frac{F_s}{F_n}\right)$ , wzgl.  $k_1=f'\left(\frac{F_s}{F_n}\right)$  dla nita  $2\phi 11$  mm przy długościach spawki  $l=8, 12, 16$  i  $20$  cm



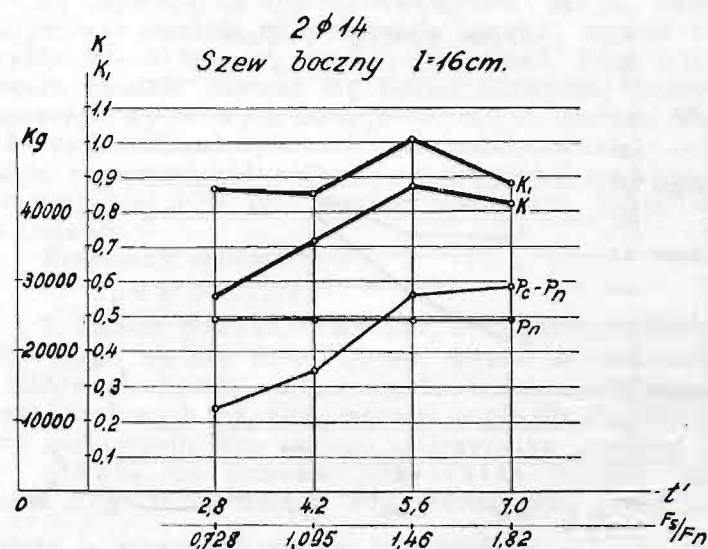
Rys. 12.



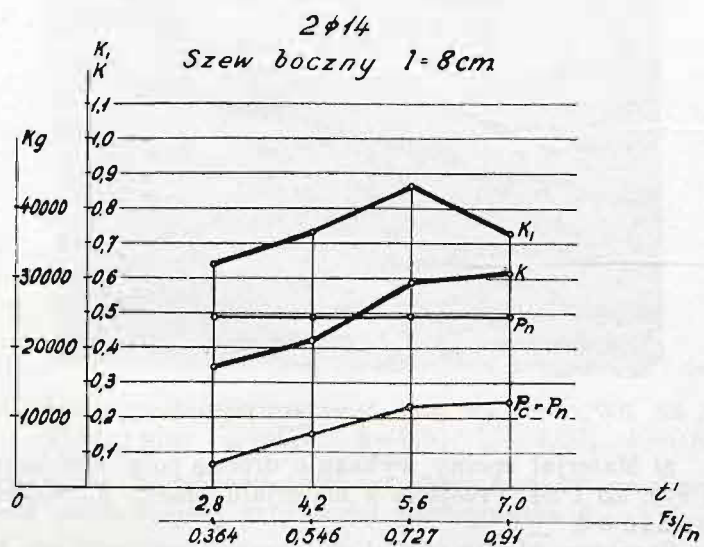
Rys. 15.



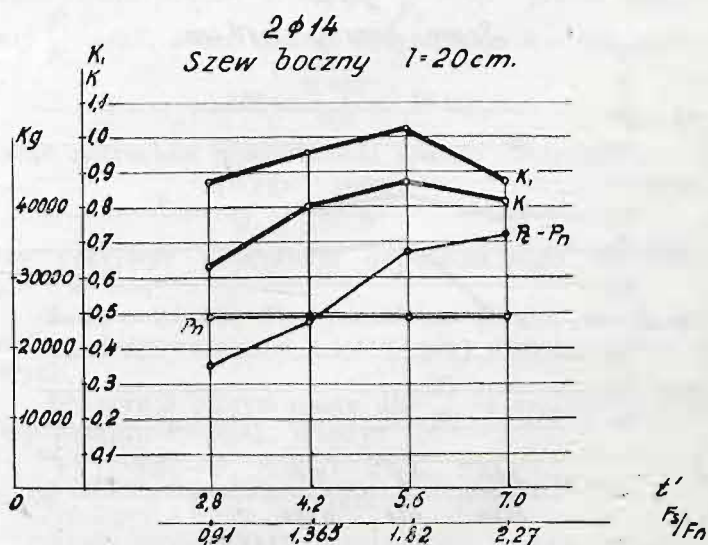
Rys. 13.



Rys. 16.



Rys. 14.

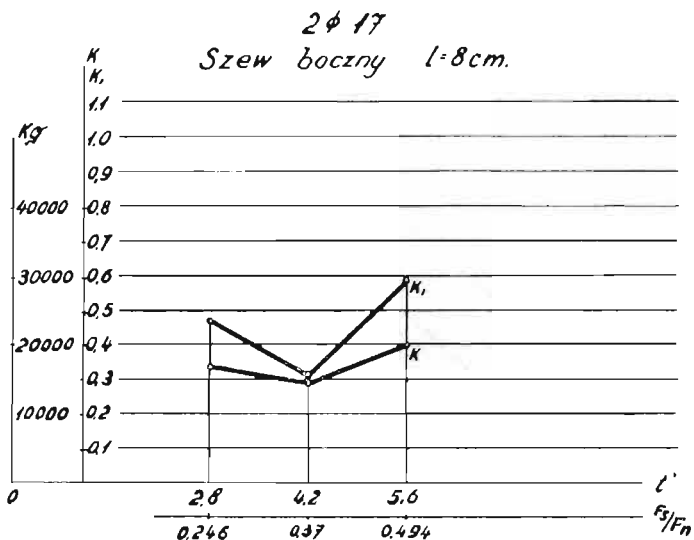


Rys. 17.

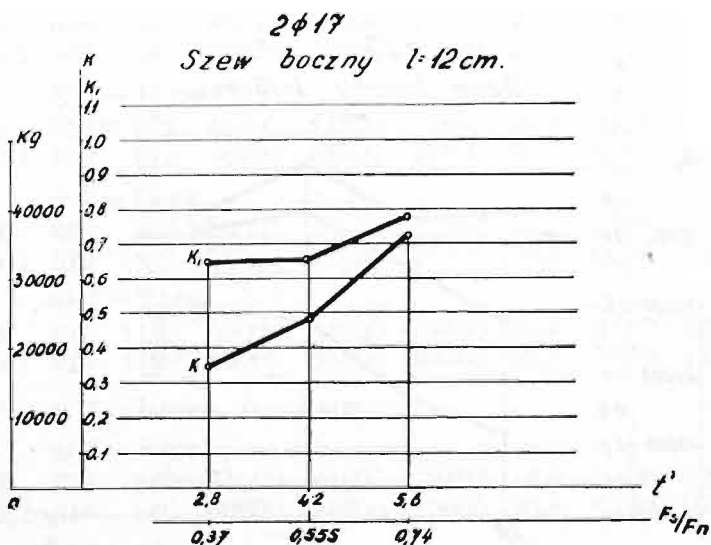
Wykresy 10, 11, 12, 13 podają zależność wartości współczynnika  $k$  wzgl.  $k_1$  od stosunku przekroju spawki do

i przy zmiennej minimalnej grubości szwu  $t'=2,8, 4,2, 5,6, 7$  mm (t. j.  $t=4, 6, 8, 10$  mm). Wykresy 14, 15, 16, 17,

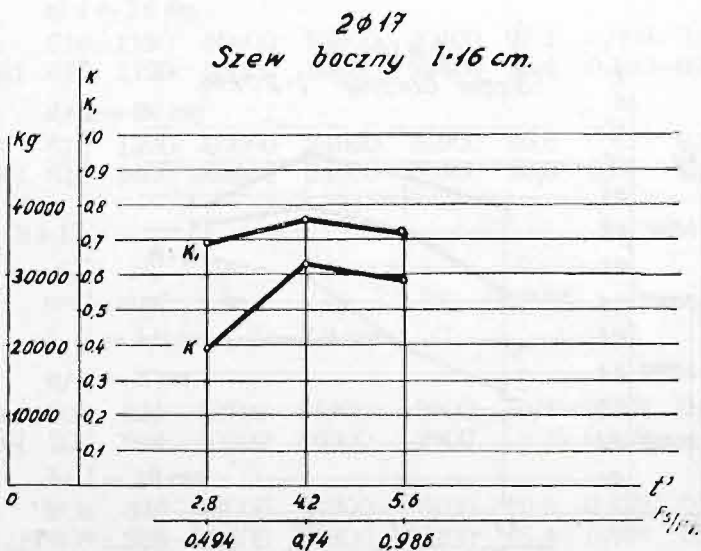
podają tę zależność dla nitów  $2\phi 14\text{ mm}$ , zaś wykresy 18, 19, 20, dla nitów  $2\phi 17\text{ mm}$ .



Rys. 18.



Rys. 19.



Rys. 20.

W ten sposób uzyskano wartości współczynnika  $k$  t. j. stopnia wzmocnienia danej konstrukcji nitowanej przy pomocy spawek różnego typu (t. j. różnych wymiarów)

przy różnych wielkościach spawki w stosunku do powierzchni nitów t. j. dla  $\frac{F_s}{F_n}$  od 0,246 do 3,69.

Na podstawie powyższych wykresów, łącznie rozpatrywanych, ułożono wzory określające wprost zależność pomiędzy stopniem wzmocnienia a wielkością spawki. Wzory te podano przy końcu.

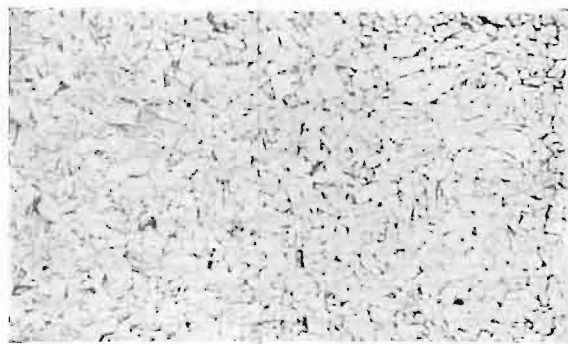
Ponadto przeprowadzono orientacyjne badanie metalograficzne makro- i mikroskopowe, oraz analizę chemiczną dla a) nitów, b) blachy, oraz c) samej spawki.

a) Materiał nitów.

Wybrano dowolne trzy próbki nitów  $\phi 11$ ,  $\phi 14$ ,  $\phi 17\text{ mm}$ . Analiza chemiczna dała rezultaty:

L. p.	$\phi\text{ mm}$	C %	P %	S %	$M_n$ %	$S_i$ %
1	$\phi 11$	0,12	0,049	0,060	0,38	0,02
2	$\phi 14$	0,13	0,058	0,040	0,40	0,015
3	$\phi 17$	0,07	0,049	0,053	0,44	0,01

Badanie makroskopowe wykazało zgrupowanie fosforu i siarki w ośrodku, badanie mikroskopowe przeciętne zanieczyszczenie niemetaliczne, oraz strukturę naogół drobnoziarnistą (ryc. 21).

Ryc. 21. 100  $\times$  traw. kw. azot. Przeciętna struktura mat. nitu.

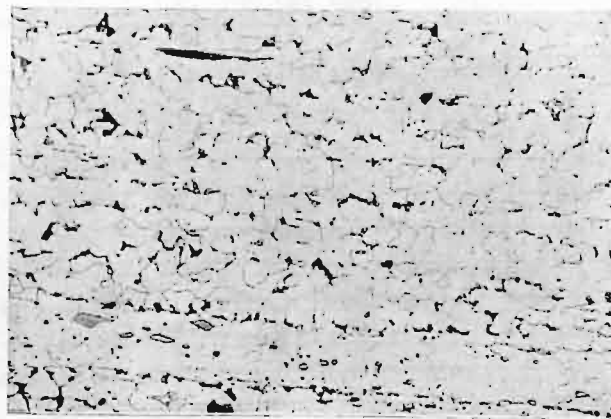
b) Materiał blachy.

Analiza chemiczna (przeciętna z kilku analiz):

$C=0,12\%$ ,  $S=0,037\%$ ,  $P=0,046\%$ ,  $M_n=0,34\%$ ,  $S_i=0,012\%$

Przeciętne zanieczyszczenia niemetaliczne.

Struktura pasemkowa ryc. 22.

Ryc. 22. 100  $\times$  traw. kw. azot. Struktura pasemkowa mat. blachy.

c) Materiał spoiny wykazuje drobne pory. Struktura jak ryc. 23 i 24. Przejście z materiału blachy do spawki stopniowe.

Strukturę blachy w okolicy spawania wskazuje ryc. 25 gdzie uwidocznia się przegrzanie materiału.

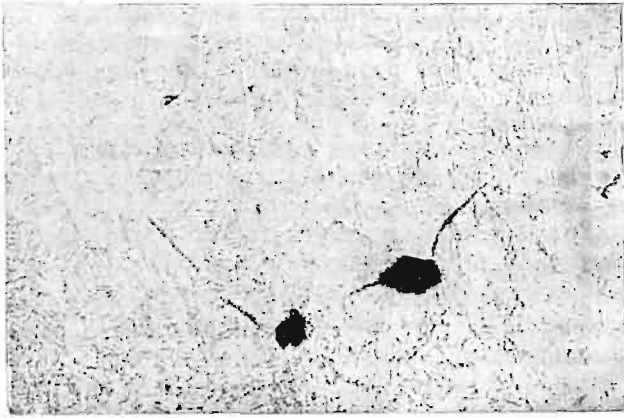
Ostateczne rezultaty badań są następujące:

a) dla szwów czołowych.

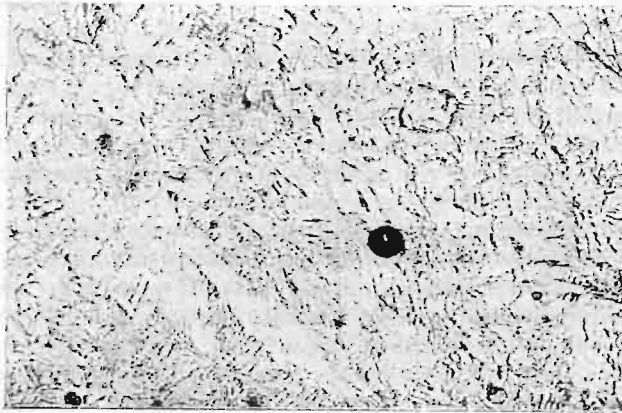
Jak to jest widoczne z przedstawionych wykresów,



do wartości  $\frac{F_s}{F_n} = 0,70$  nie otrzymano wyraźnego wzmocnienia nitów przez spawkę; dla wartości  $\frac{F_s}{F_n} = 0,5$  otrzymano dla nitów  $\phi 14$   $k = 0,4$  dla  $\phi 17$   $k = 0,12$ . Natomiast dla wartości  $\frac{F_s}{F_n} = 0,7$  otrzymano dla  $2\phi 11$   $k = 0,5$ , dla  $2\phi 14$   $k = 0,6$ , dla  $2\phi 17$   $k = 0,5$ , oraz jeszcze znacznie wyższe wartości  $k$ .



Ryc. 23. 100× traw. kw. azot. Struktura w m. spojenia; wid. pory.



Ryc. 24. 100× traw. kw. azot. Struktura z miejsca spojenia.



Ryc. 25. 100× traw. kw. azot. Struktura mat. przegrzanego; żużel.

Przyjmując  $\frac{F_s}{F_n} = 0,7$ ;  $k = 0,5$ ;  $\frac{F_s}{F_n} = 2,00$ ;  $k = 0,8$  otrzymamy po odpowiednich przekształceniach przy przyjęciu prostoliniowej zmienności współczynnika  $k$

$$k = 0,23 \frac{R_n}{R_{sp}} \cdot \frac{P_s}{P_n} + 0,34 \quad (1)$$

Dla  $R_n = 40 \text{ kg/mm}^2$  otrzymujemy

$$k = 0,23 \frac{40}{R_{sp}} \cdot \frac{P_s}{P_n} + 0,34 \quad (2)$$

Równanie to możemy napisać też w formie:

$$k = 0,23 \frac{F_s}{F_n} + 0,34 \quad (3)$$

W powyższych wzorach oznacza:

$R_n$  = wytrzymałość nitów na ścinanie, zwykle  $40 \text{ kg/mm}^2$ .

$R_{sp}$  = " spawki.

$P_n$  = siła przenoszona przez nity.

$P_s$  = " jaką może przenieść sama spawka.

b) dla szwów bocznych.

Analogicznie otrzymujemy przy przyjęciu zmienności współczynnika „ $k$ ” według paraboli:

$$k = 0,64 \cdot \sqrt{\frac{P_s}{P_n} \cdot \frac{R_n}{R_{sp}}} \quad (4)$$

czyli dla  $R_n = 40 \text{ kg/mm}^2$ .

$$k = 4 \sqrt{\frac{P_s}{P_n} \cdot \frac{1}{R_{sp}}} \quad (5)$$

względnie  $k = 0,64 \sqrt{\frac{F_s}{F_n}} \quad (6)$

z ważnością od  $\frac{F_s}{F_n} = 0,5$  do  $\frac{F_s}{F_n} = 2,5$ .

W powyższych wzorach można przyjmować dla stali zlewnej używanej na nity  $R_n = 40 \text{ kg/mm}^2$ , zaś  $R_{sp}$  należy przyjmować zależnie od wykonania spawki; wynosi ona zwykle  $20-40 \text{ kg/mm}^2$ , średnio  $30 \text{ kg/mm}^2$ . Przy zmontowaniu mostów używać się będzie zazwyczaj dobrych spawaczy i wyborowych materiałów, tak, że wartości mogą być wysokie. Przed wykonaniem wzmocnienia należy oczywiście przeprowadzić próby z tymi samymi spawaczami i materiałami i w tych samych warunkach, jakie będą na budowie.

Przykłady obliczeń:

a) Szwy czołowe:

1. Łączna powierzchnia nitów, utwierdzenia elementu obliczonego na siłę  $P_n = 24,0 \text{ ton}$ , wynosi  $F_n = 30 \text{ cm}^2 = 3000 \text{ mm}^2$ . Należy połączenie to wzmocnić za pomocą szwów czołowych tak, aby przenieść mogło siłę  $P_c = 32,0 \text{ ton}$  przy zachowaniu tego samego współczynnika pewności.

Spawka ma przenieść  $32,0 - 24,0 = 8,0 \text{ ton}$ , czyli ponad 30% (jedną trzecią) siły przenoszonej przez nity. Należy ją zatem obliczyć na obciążenie  $P_s = \frac{8 \text{ ton}}{k}$ . Ponieważ dla szwu czołowego nie otrzymujemy wyraźnego wzmocnienia poniżej stosunku  $\frac{F_s}{F_n} = 0,7$ , przeto przyjmujemy  $\frac{F_s}{F_n} = 0,7$ , a tem samym przynależne  $k = 0,5$ , czyli:

$$P_s = \frac{8 \text{ ton}}{0,5} = 16 \text{ ton}$$

a stąd potrzebna powierzchnia spawki czołowej

$$F_s = \frac{16000}{\sigma_{sp}} = \frac{16000}{8} = 2000 \text{ mm}^2$$

przy przyjęciu naprężenia dopuszczalnego dla spawki  $\sigma_{sp} = 8 \text{ kg/mm}^2$ .

2.  $P_n = 24 \text{ ton}$ ,  $P_c$  wynosić ma  $48 \text{ ton}$ , zatem połączenia należy wzmocnić o 100% przy pomocy szwów czołowych.

Z wzoru 3 otrzymujemy dla  $\frac{F_s}{F_n} = 1$   $k = 0,57$ , przyjmujemy okrągło  $k = 0,60$ . Wtedy:

$$P_s = \frac{P_c - P_n}{k} = \frac{48,0 - 24,0}{0,60} = \frac{24,0}{0,60} = 40 \text{ ton}$$

$$F_s = \frac{40000}{8} = 5000 \text{ mm}^2 = 50 \text{ cm}^2$$

Kontrolujemy przy pomocy wzoru 3.

$$\frac{F_s}{F_n} = \frac{5000}{3000} = 1,66$$

a stąd  $k=0,23 \cdot 1,66 + 0,34 = 0,71$ , czyli obrano powierzchnię nieco za dużą. Przerachujemy ją zatem dla  $k=0,65$ .

$$P_s = \frac{24}{0,65} = 37,0 \text{ ton} \quad F_s = \frac{37000}{8} = 4620 \text{ mm}^2$$

$$\frac{F_s}{F_n} = \frac{4620}{3000} = 1,54.$$

Sprawdzając  $k$  wedle równania 3 otrzymujemy  $k=0,69$  co jest dostatecznie zgodne z przyjęciem. Oczywiście można przez dalszą próbę uzyskać zupełną dokładność.

b) Szwy boczne:

Dana siła  $P_n=24,0$  ton; mamy uzyskać  $P_s=50,0$  ton. Spawka ma przenieść ponad 100% (dokładnie 108%) siły  $P_n$ . Przyjmujemy  $k=0,8$ , a stąd:

$$P_s = \frac{P_c - P_n}{k} = \frac{26,0 \text{ t}}{0,8} = 32,5 \text{ ton}.$$

Sprawdzamy wedle wzoru 5:

$$k = 4 \sqrt{\frac{32,5}{24} \cdot \frac{1}{30}} = \sqrt{0,72} = 0,85.$$

Zgodność taką można uważać za dostateczną; liczymy jednakowoż dalej; przyjmujemy mianowicie  $k=0,83$ , czyli

$$P_s = \frac{26,0}{0,83} = 31,4 \text{ ton}$$

i powtórnie wedle wzoru 5,  $k=0,835$  co już jest zgodnością najzupełniej wystarczającą.

Niech spawka ma wytrzymałość 400 kg/cm, to sumaryczna długość szwów:

$$\Sigma a = \frac{31400}{400} = 80 \text{ cm}.$$

Może zająć potrzeba szwów kombinowanych, bocznych i czołowych. Wypadek ten nie ze wszystkim jest wyjaśniony, a doświadczenia odpowiednie są w toku. Zachodzi on jednakowoż przy potrzebnych dużych wartościach wzmożeń, a wtedy współczynnik  $k$  jest wogóle duży dla obu rodzajów szwów i wynosi conajmniej 0,8.

Dr. Czesław Thullie

Inż.-architekt.

## Kościóły i klasztory warowne w dawnej Polsce.

(Wyjątek z pracy p. t.: „Cechy obronne zabytków polskiego budownictwa“).

(Ciąg dalszy).

### II.

U schyłku średniowiecza w epoce gotyckiej widoczne jest już pewne obniżenie stopnia obronności w niektórych zabytkach kościelnego budownictwa. Czy przypisać to należy już zupełnemu ugruntowaniu się wiary i państwa, oraz bardziej unormowanym stosunkom wewnętrznym? Sądzymy, że nie, gdyż inaczej mówią same zabytki. Widzimy najpierw kościoły zamknięte bezpiecznie warownym pierścieniem murów i baszt miejskich; wewnątrz takiego miasta gotyckiego warowność, czy inkastellacja świątyni nie odpowiadała już celowi, conajwyżej wieże kościelne tu i ówdzie przyczyniały się do obrony całości miasta, lecz świątynia nie była narażona na bezpośredni atak. Gorzej już było, gdy świątynia wznosiła się bezpośrednio obok obwarowań miasta lub zamku; wtedy przybytek Boży włączał się z konieczności na czas oblężenia do akcji obronnej w mniejszym, lub znacznie mniejszym stopniu. A na koniec uzyskiwał kościół pełny stopień warowności, gdy stał on odosobniony na zewnątrz miejskich fortyfikacji. Jeśli był on drewniany, wtedy palono go przed nadejściem nieprzyjaciela, gdy zaś miał ściany i wieże murowane, to wtedy, tak, jakby fort obronny, musiał sam stawić opór fali najeźdźców swem warownym założeniem. Jednak świątynie warowne tego typu przeważnie się nie dochowały, zniszczone prędzej lub później ogniem nieprzyjacielskich pocisków.

Trudno nam dać dziś dokładny obraz obronności świątyni gotyckiej, gdyż wieki już przeszły ponad murami średniowiecznych zabytków kościelnych, zacierając ślady tej warowności, która z czasem stała się nieaktualną i prostoprostu zbędną.

Zatem wnioski, wysnuwane na podstawie dochowanych resztek tych cech obronnych, oraz przy użyciu starych sztychów i rysunków muszą być z konieczności ostrożne i niezbyt daleko idące. Mimoto jednak możemy ustalić, że warowność świątyni była dość znaczna, a stopień jej zależał od położenia budynku; albo zatem warowność była pełna, wzorowana na fortyfikacjach zamkowych, lub też tylko częściowa, gdy polegała ona na współdziałaniu z obroną grodu, czy też miasta.

W pierwszym wypadku cmentarz i kościół otoczony był murem obronnym ze strzelnicami, basztami na naro-

zach i wieżową bramą; obrońcy domu Bożego, ukryci bezpiecznie za murami i w basztach razili obiegających wrogów ogniem broni palnej, która podówczas już weszła w użycie. Strzelano również na dalszą metę przez otwory samej świątyni i z jej wieżyc, które służyły przytem do obserwacji ruchów nieprzyjaciela.

Po zdobyciu pierwszej linii obronnych murów i cmentarza, stawała dalszy opór sama świątynia odpornością swych murów ceglanych; okna kościelne służyły zwykle za strzelnice, lecz częściej do tego celu wykorzystywano strychy, skąd skuteczniej, bo z góry, można było razić nieprzyjaciela. Wtedy ściany parapetowe strychu miały szeregi otworów strzelniczych z wnękami od środka; strzelnice te były raz kierowane wprost do dalekiego strzału, kiedyindziej zaś ukośnie raziły atakujących bezpośrednio mury świątyni. Czy były w użyciu i machikuły, na to nie mamy bezpośrednich dowodów. Niejednokrotnie strychy te umacniały się przez nasadzenie narożnych wieżyczek, które, niby baszty zamkowe, zaopatrzono były w strzelnice i służyły jako punkty obserwacyjne. Te strychy ze strzelnicami i wieżyczki narożne, były to jakby mury i baszty warowne, przeniesione z pierwszej linii obrony na wierzch kościelnego budynku. Lecz główną rolę w obronie brały na siebie, jak i dawniej, wieże, zwyczajnie podwójne, już samo ich zwieńczenie zdradzało ich obronne przeznaczenie. I tak hełmy wieżowe otrzymywały zazwyczaj narożne wieżyczki, upodabniając się przez to widokiem do baszt i wieżyc, które jeżyły się na murach miejskich, czy też zamkowych. Kiedyindziej ściana samej wieży przechodziła u góry w ośmiobok, otrzymując na ściętych narożach kwadratu okrągłe wieżyczki z oddzielnymi hełmami. Później zaś kryły wieże kościelne swe dachy poza ścianami attyk o zębatach blankowaniach i narożnych sterczynach. W tem miejscu zaznaczamy, że trudno zgodzić się ze zdaniem prof. Szyszki-Bohusza, który twierdzi, że nie istniał u nas wyrobiony typ obronnych świątyni, że nie było mowy o wyraźniejszych środkach obrony, o basztach, wykuszach, skomplikowanych otworach strzelniczych itp. Odwrotnie twierdzimy, że na pewno wszystko to było, że budowle kościelne tworzyły wyraźny typ obronny i że stopień ich warowności wzorowanej dość ściśle na budownictwie zamkowym, zależny był od lokalnych warunków.