

## ROZDZIAŁ VIII.

### BUDOWA TRANSFORMATORA.

Przechodzimy teraz do opisu budowy transformatora. Poprzez-  
staniami na typie rdzeniowym, jako przeważnie spotykanym.

#### 1. Obwód magnetyczny.

Na obwód magnetyczny transformatora składają się słupy i jarzma. Są one, jak wiemy, zbierane (o samem zbieraniu później) z pasów wysztancowanych, względnie wyciętych z blachy. Dane co do blach — patrz I—3—*a*.

Arkusze blach, z których otrzymujemy potrzebne dla budowy paski, są zazwyczaj jednostronnie pokryte warstwą izolującą — bądź przez naklejenie cieniutkiej bibułki (to jest sposób najczęstszy), bądź przez pociągnięcie jednej strony arkusza cienką warstwą lakieru.

Na rys. 127, *a* oznacza grubość blachy, *b* — warstwy papierowej, stosunek  $\frac{a}{a+b}$  oznaczamy przez  $k_2$

$$k_2 = \frac{a}{a+b}$$

Spółczynnik  $k_2$  będzie nam potrzebny do wyznaczenia przekroju czystego żelaza w słupie wzgl. jarzmie. Przy izolacji papierowej dla blach

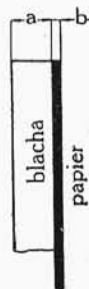
o grubości  $\Delta = 0,5$  mm.  $k_2 = 0,9 \div 0,92$

dla  $\Delta = 0,35$  mm.  $k_2 = 0,86 \div 0,88$ .

Wartość tego współczynnika zależy od stopnia sprasowania blach.

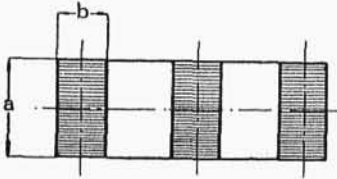
Słup transf. rdzeniowego może posiadać poprzeczny przekrój bądź prostokątny, bądź t. zw. kołowy.

Z przekrojem prostokątnym spotykamy się stosunkowo rzadko. Vidmar ustalił na podstawie przeprowadzonego rachunku, że go-



Rys. 127.

spodarczo najkorzystniejszym będzie taki przekrój prostokątny (rys. 128), w którym stosunek wymiarów

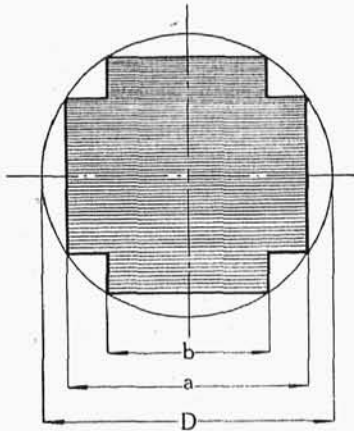


Rys. 128.

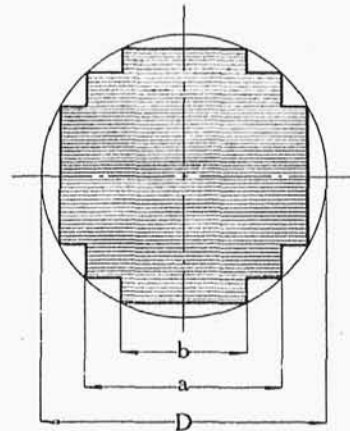
$$\frac{a}{b} = 2 \div 2,2.$$

Najczęściej używanym jest przekrój t. zw. kołowy (patrz rys. 129, 130 i 131).

Przy takim przekroju cewki osadzone na słupach otrzymują kształt kołowy, co z wielu względów (budowa, zachowanie się przy zwarcu i t. p.) jest wygodniejsze.



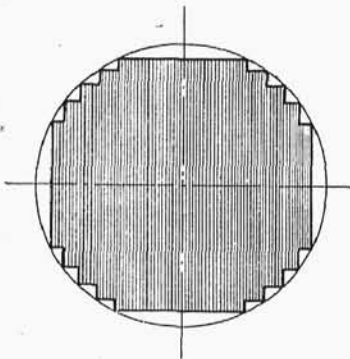
Rys. 129.



Rys. 130.

Przekroje tu mogą być dwu (rys. 129), trzy (rys. 130) lub wielosłupkowe (rys. 131).

Ważną jest rzeczą, by przy danej średnicy koła opisanego na przekroju słupa (a zatem przy danej długości zwoju uzwojenia), przekrój żelaza był największy — SEM bowiem wzniecona w tym zwoju będzie tem większa, im jest większy strumień, czyli, zakładając niezmienną indukcję, im będzie większy przekrój żelaza. Najlepszy pod tym względem wynik uzyskalibyśmy, dając słup okrągły (rys. 132), pociągając to jednakże za sobą konieczność posiadania dużej ilości pasków blaszanych o różnych szerokościach — względy



Rys. 131.

dy chłodzenia zresztą również przemawiają przeciwko temu.

Ograniczamy się zazwyczaj do użycia kilku szerokości: przy małych transf. (do jakich 30 kVA) — dwóch (patrz rys. 129), przy większych — trzech, czterech i t. d.

Przy przekroju dwusiodkowym (rys. 129) przy zadanej średnicy koła opisanego  $D$ , powierzchnia figury przekroju blach w to koło wpisanej, osiągnie swe maksimum, jak wykazuje prosty rachunek różniczkowy, gdy

$$a = 0,851 D; \quad b = 0,526 D \quad \dots (1)$$

Przy przekroju trójsiodkowym (rys. 130) mamy maksimum przekroju, gdy

$$a = 0,707 D \quad b = 0,423 D \quad \dots (2)$$

Przy większej liczbie siodków najlepiej na papierze milimetrowym narysować kilka prawdopodobnych kształtów wpisanych w koło o tej samej średnicy — obliczyć powierzchnię każdej figury — i wziąć największą. —

Niekiedy zachodzi potrzeba pewnego odchylenia się od kształtu, który matematycznie wypada jako najkorzystniejszy, np. gdy chodzi o umieszczenie łba i nakrętki śruby ściągającej słup (rys. 133).

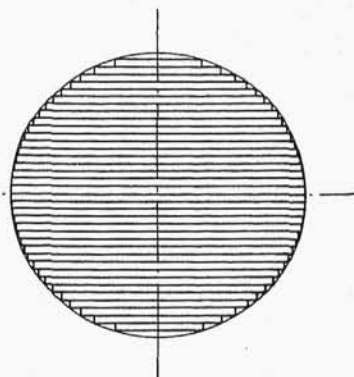
Przy projektowaniu transformatora będziemy korzystali z pewnego współczynnika — t. zw. współczynnika wypełnienia  $f_z$  (dokładniej współczynnika wypełnienia przekroju kołowego czystym żelazem).

Jest to stosunek powierzchni siodkowej do powierzchni koła, pomnożony jeszcze przez współczynnik  $k_2$

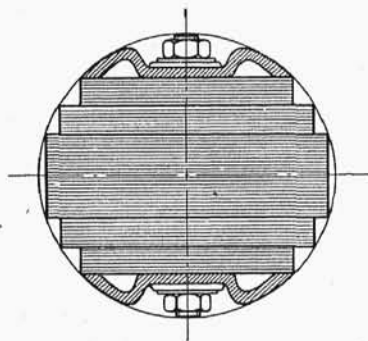
$$f_z = \frac{\text{Powierzchnia siodkowa}}{\text{Powierzchnia koła}} \cdot k_2 \quad \dots (3)$$

W każdym poszczególnym wypadku współczynnik ten może być obliczony.

Przy transformatorach większej mocy — gdzie chłodzenie rdzenia żelaznego nasuwa trudności — mogą być stosowane kanały chłodzące (patrz rys. 134), przyczem szerokość kanału wynosi 10—12 mm. Wskazaniem jest by ułożenie blach było prostopadłe do

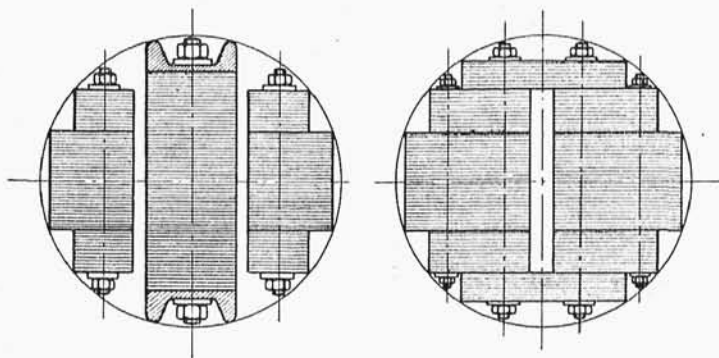


Rys. 132.



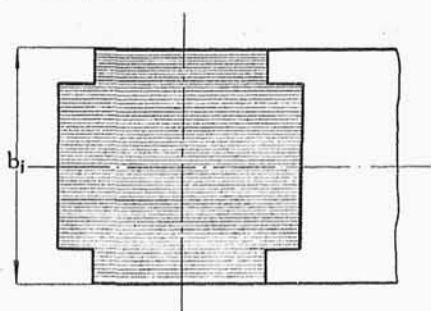
Rys. 133.

kanalów (jak na rysunku) — wtedy bowiem na drodze do odprowadzenia ciepła z poszczególnych pakietów do kanałów nie stają warstwy izolujące między blachami.



Rys. 134.

Jarzmo najczęściej ma przekrój prostokątny, przyczem szerokość jarzma  $b_j$  równa się grubości słupa, mierzanej w kierunku prostopadłym do uwarstwienia. (rys. 135).

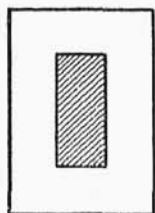


Rys. 135.

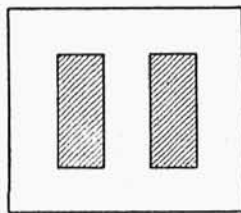
Po omówieniu kształtu przekroju słupa i jarzma, przechodzimy do budowy (zbierania) samego obwodu magnetycznego,

Przy transformatorze trójfazowym będziemy rozpatrywali tylko wypadek rdzenia niesymetrycznego, gdy wszystkie 3 słupy leżą w jednej płaszczyźnie, gdyż właściwie tylko z tym wykonaniem spotykamy się w praktyce.

Pod względem magnetycznym najlepszym rozwiązaniem (gdyż w obwodzie nie mamy szczelin powietrznych) byłoby zbieranie obwodu magnetycznego z blach wysztancowanych, jak na rys. 136 (dla jednofazowego transformatora) i 137 (dla trójfazowego transformatora).



Rys. 136.



Rys. 137.

Ten sposób wykonania obwodu magnetycznego posiada jednakże 2 duże wady:

1) wymaga ręcznego nawijania uzwojeń, co podraża konstrukcję, oraz czyni ją mniej pewną (zwłaszcza przy wyższych napięciach) niż w przypadku szablonowego wykonania cewek.

2) daje dużo nieużytecznych odpadków (pola zakreskowane) blachy żelaznej.

Pierwszej wadzie możemy zapobiec, nadając kształt blachom, jak na rys. 138 i 139.

Przy takim rozwiązaniu transformator jednofazowy będzie miał w swoim obwodzie magnet. 2 szczeliny powietrzne, trójfazowy w każdej fazie po jednej. Wykonanie cewek może być szablonowe.

Złe wykorzystanie blachy (dużo odpadków — pola zakreskowane) w dalszym ciągu ma miejsce.

Sposoby wykonania obwodu jak na rys. 136, 137, 138, 139 spotykamy przy b. małych transformatorach.

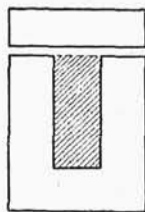
Najlepszym rozwiązaniem zarówno pod względem łatwości wykonania, jak i wykorzystania blachy — aczkolwiek gorszym pod względem magnetycznym (gdyż zwiększa liczbę szczelin powietrznych) — jest zbieranie całego rdzenia magnetycznego z blach w kształcie prostokątnych pasów.

Takie wykonanie obwodu magnetycznego dla transformatora jednofazowego uwidocznione jest na rys. 140.

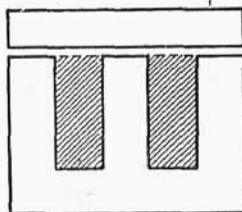
Widzimy tutaj 2 warstwy, które kolejno następują po sobie. Rysunek 141 przedstawia fragment połączenia słupa z jarzmem przy takim przekładaniu blach.

Przy transformatorze trójfazowym mamy kilka sposobów układania blach. Podamy tutaj dwa — z dwoma (rys. 142) i trzema (rys. 143) kolejno po sobie następującymi warstwami.

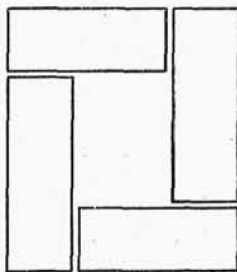
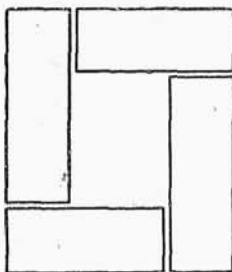
Rysunek 144 przedstawia składanie rdzenia żelaznego transformatora trójfazowego.



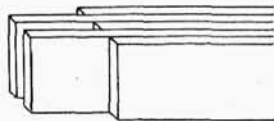
Rys. 138.



Rys. 139.

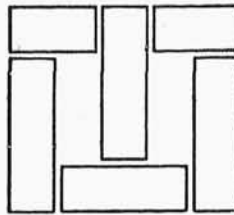
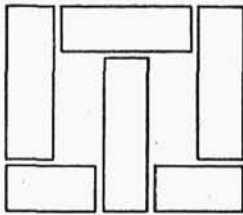


Rys. 140.



Rys. 141.

Warstwy skrajne (rys. 145, a i b) bywają zazwyczaj wykonane

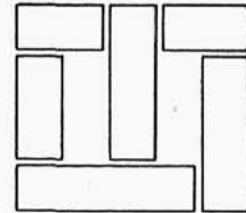
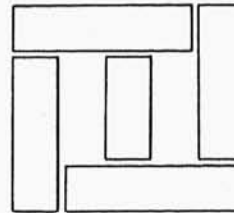
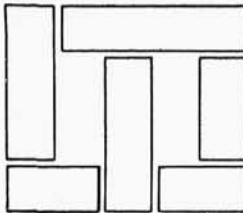


z blachy grubszej (np. 1 mm). Niektóre firmy przy zbieraniu obwodu magnetycznego przekładają pakiety blach o grubości  $20 \div 30$  mm. warstwami preszpanu o grubości  $\sim 0,4$  mm;

Rys. 142.

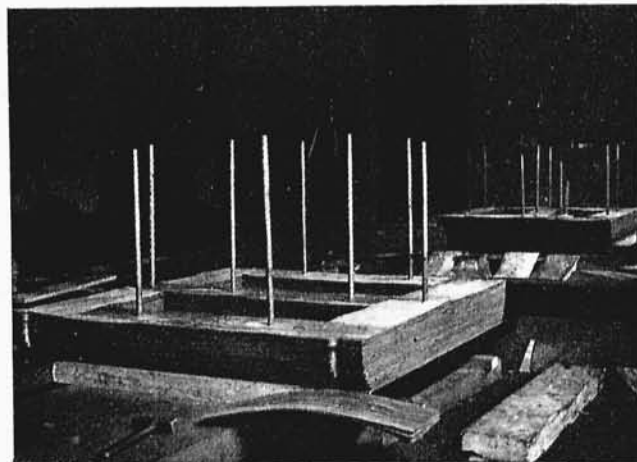
z preszpanu wycina się takie same paski — jak z blachy żelaznej.

Przy transformatorach na znaczne moce, ze względu na trudności przy transporcie i montażu, wykonywuje się oddzielnie



Rys. 143.

słupy, oddzielnie jarzma, montując je później razem. By miejsce styku nie spowodowało zwiększenia się strat na prądy wirowe, daje się tam warstewkę preszpanu. Na rys. 146 widzimy rdzeń że-



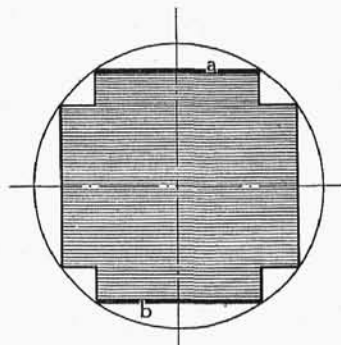
Rys. 144.

lany takiego transformatora ze zdjętem jarzmem górnym. Konieczną jest tutaj dodatkowa konstrukcja wiążąca jarzma i słupy.

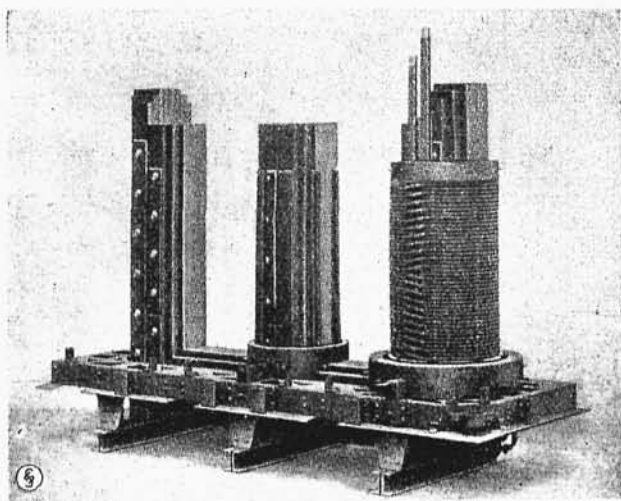
Po odpowiednim ułożeniu blach, które luźno leżą jedna na drugiej, rdzeń żelazny należy zmocować w jedną całość.

*Słupy.* — Istnieje kilka sposobów mocowania słupów: za pośrednictwem bandaży ze sznura konopnego, przez nitowanie, przez ześrubowanie i t. p.

Przy mocach mniejszych (do  $\sim 100$  kVA) możemy z powodzeniem stosować bandaże konopne, używając sznura konopnego o średnicy  $2 \div 3$  mm. Pod bandaż konopny — by sznur się nie przetarł o ostre krawędzie słupa — daje się owinięcie preszpanowe (grubość preszpanu  $\sim 1$  mm).



Rys. 145.



Rys. 146.

Rdzeń żelazny transformatora trójfazowego 6000 kVA. 63/11 kV  $\Delta/\Delta$  S.—S.

Na rys. 147 widzimy słup obandażowany.

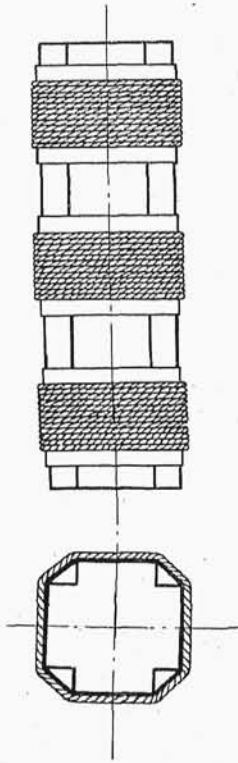
Wysokość poszczególnych bandaży około 50 mm.

Łączna wysokość obandażowania — około połowy (lub nieco więcej) wysokości słupa.

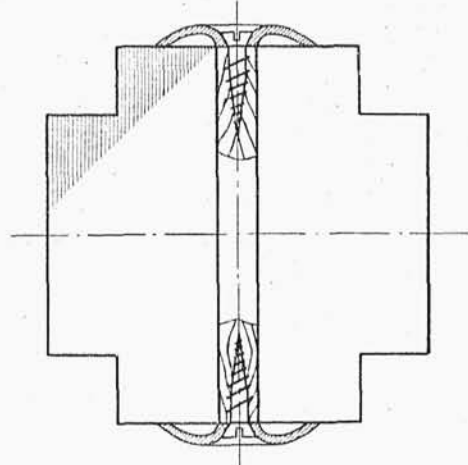
Obandażowanie ma tę zaletę, że nie osłabia czynnego przekroju słupa, co ma miejsce przy wszystkich innych sposobach.

Przy mocach małych i średnich (do  $100 \div 200$  kVA) możliwy jest jeszcze jeden sposób, uwidoczony na rys. 148.

W paskach blach, z których jest wykonany słup, są wysztanowane okrągłe otwory. W kanale, utworzonym przez te otwory, mieści się bolec drewniany ściśle do otworu dopasowany.



Rys. 147.



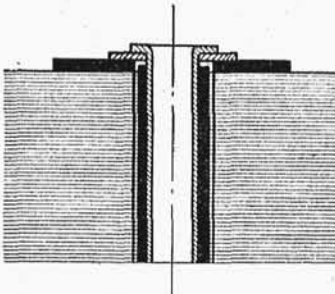
Rys 148.

Słup jest ściskany przez śruby drzewne za pośrednictwem specjalnych podkładek.

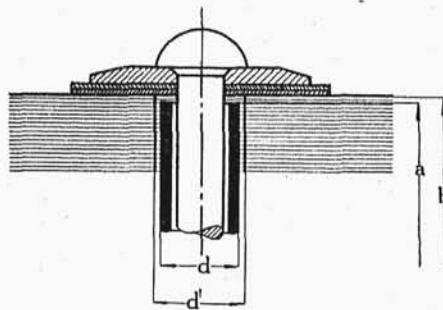
Przy mocach średnich i dużych stosuje się nity, względnie śruby; przy dużych — zazwyczaj śruby (aczkolwiek jest dużo firm, które stosują te sposoby już przy mocach małych).

Na rys. 149 i 150 widzimy słupy znitowane.

Aby nit nie zwierał ze sobą blach, umieszcza się go w rurce preszpanowej lub z papieru bakelizowanego. Grubość ścianki rur-



Rys. 149.

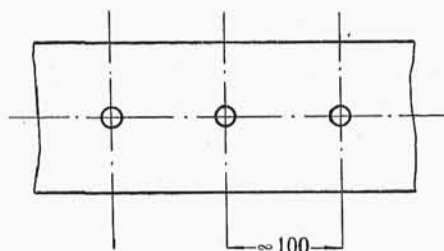


Rys. 150.

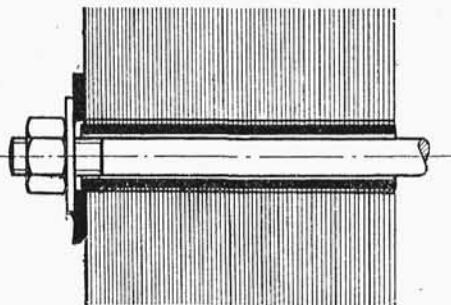
ki 1 ÷ 2 mm. Wskazanem jest, by średnica  $d'$  była nieco większa niż  $d$  (aby rurka izolacyjna nie uległa skaleczeniu przy zakła-



daniu) oraz by rurka była trochę krótsza od szerokości słupa  $a < b$  (aby po znitowaniu nie podlegała siłom poosiowym mogącym ją uszkodzić). Żeby nacisk główki nita rozłożyć równomiernie, daje się stalową podkładkę, oddzieloną od blach słupa warstwą preszpanu o grubości  $1 \div 2$  mm. To izolowanie podkładki ma na celu unikanie zwartych obwodów, któreby się utworzyły z nitów ściągających słup i mogły spowodować dodatkowe straty w żelazie.



Rys. 151.



Rys. 152.

Odległość między poszczególnymi nitami względnie śrubami, ściągającymi słup, wynosi średnio około 100 mm. (rys. 151).

Na rys. 152 widzimy słup, ściągnięty za pomocą śrub. Uwagi co do izolacji — jak przy nitowaniu.

Vidmar podaje wzór, za pomocą którego można obliczyć siłę, z jaką słup należy ścisnąć:

$$F = \frac{L_s^2 D}{30} \text{ kg} \quad \dots (4)$$

gdzie  $L_s$  — wysokość słupa w cm.

$D$  — średnica koła opisanego w cm.

Mając tę siłę  $F$ , liczbę śrub (względnie nitów) oraz, zakładając dopuszczalne naprężenie (ok.  $400 \div 500 \text{ kg/cm}^2$ ), możemy obliczyć przekrój śruby względnie nitu.

*Przykład:* Mamy słup o średnicy  $D = 180 \text{ mm}$ , i wysokości  $L_s = 550 \text{ mm}$ . Dajemy 5 śrub (odstęp między śrubami  $\sim 100 \text{ mm}$ )

$$F = \frac{55^2 \cdot 18}{30} = 1820 \text{ kg}$$

Siła na jedną śrubę:

$$F' = \frac{1820}{5} = 360 \text{ kg}$$

Przekrój bolca śruby:

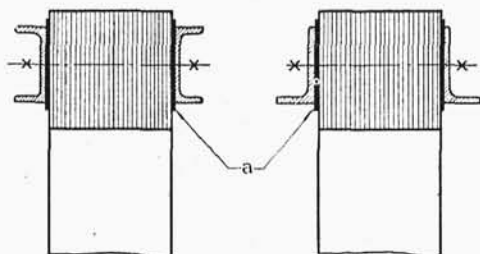
$$q = \frac{360}{450} \cong 0,8 \text{ cm}^2$$

co odpowiada średnicy:

$$d = \sqrt{\frac{0,8 \cdot 4}{\pi}} \approx 1 \text{ cm}$$

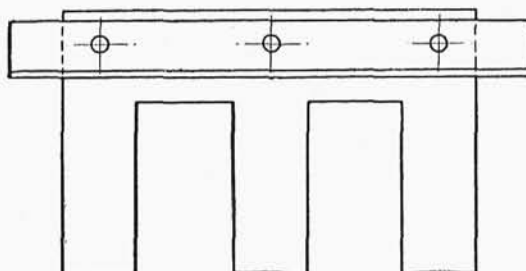
możemy wziąć śrubę 1/2".

Po omówieniu z mocowania słupów, przystępujemy do jarzm. Każde z jarzm, jak dolne tak i górne, jest wzięte między dwie bel-

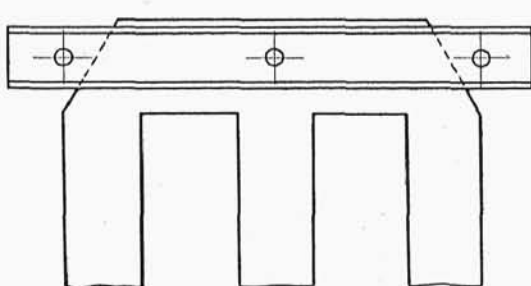


Rys. 153.

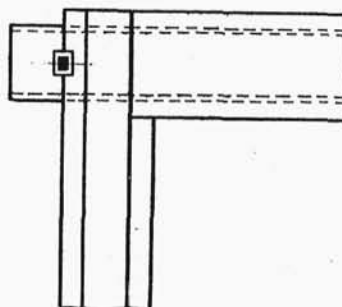
ki i ściągnięte śrubami. Na rys. 153 jako belek użyto kształtowników. Winny być one odizolowane od jarzma paskiem preszpanu (a).



Rys. 154.



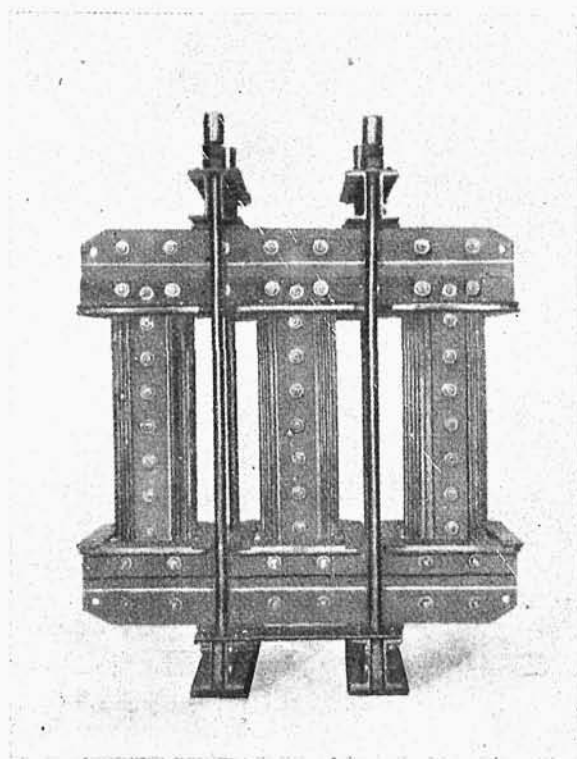
Rys. 155.



Rys. 156.

Na rys. 202, 259, 260 mamy belki drewniane. Do ściągania jarzm używa się często trzech śrub, przyczem przez żelazo jarzma przechodzą albo wszystkie trzy (rys. 154) albo tylko jedna środkowa

wa (rys. 155). Możliwy jest wypadek pośredni, gdy bolce śrub skrajnych przechodzą częściowo w żelazie, częściowo nazewnątrz (rys. 144, 156).



Rdzeń żelazny transformatora trójfazowego 1250 kVA P. T. E.  
Rys. 157.

Omówione sposoby mocowania jarzm są stosowane przy transformatorach mniejszych i średnich mocy. Przy mocach większych umocowanie winno być solidniejsze, jak to jest uwidocznione na rys. 157 i 146.

## 2. Obwód elektryczny.

Po omówieniu obwodu magnetycznego przechodzimy z kolei do elektrycznego. Przed przystąpieniem do opisu budowy cewek transformatora poświęćmy parę słów tak ważnej kwestji, jak

a) *Izolacja przewodów.* Przy budowie każdego uzwojenia staje przed nami pytanie z jakiego materiału ma być wykonana izolacja przewodów i jaką ma otrzymać grubość.

Obecnie najczęściej spotykamy się z izolacją bawełnianą i papierową. Izolacja bawełniana jest używana jako oprzęd, oplecenie, otaśmowanie. Jaki z tych rodzajów izolacji stosować—zależy