

TECHNIKA CIEPLNA

Czasopismo Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie.

Oficjalny Organ Polskiego Komitetu Normalizacyjnego dla Spraw Kotłowych.

Redaktor: Inż. techn. JAN KOMARNICKI.

Wydawca: Stowarzyszenie Dozoru Kotłów w Warszawie.

REDAKCJA i ADMINISTRACJA: Warszawa, Chmielna 2, m. 6. Tel. 275-45.

GODZINY BIUROWE: Redakcji—piątki, od 18 do 20, Administracji—codziennie, od 9 do 15.

TREŚĆ: Prof. Dr. W. Chrzanowski. Nowoczesne turbiny parowe. — R. Biedrzycki, inż. Badania odbiorcze turbiny parowej. — Prof. ten Bosch. Obliczenie koła zamachowego. — Prof. E. Hauswald. Naprężenia w kołach zamachowych. — Prof. M. T. Huber. Rozważania nad eksplozją koła. — Selikowski, inż. W sprawie eksplozji koła zamachowego. — W. Seeberger, inż. W sprawie eksplozji koła zamachowego. — Uroczystość wykonania 10000-go kotła.

SOMMAIRE: W. Chrzanowski, prof. dr. Les turbines à vapeur d'aujourd'hui. — R. Biedrzycki, ing. Les essais de garantie d'une turbine à vapeur. — ten Bosch. Le calcul du volant. — E. Hauswald, prof. Les tensions des volants. — M. T. Huber, prof. Réflexions sur une explosion du volant. — Selikowski, ing. Sur l'explosion d'un volant. — W. Seeberger, ing. Sur l'explosion d'un volant. — La 10000-me chaudière. — Errata.

Prof. Dr. inż. WIESŁAW CHRZANOWSKI

NOWOCZESNE TURBINY PAROWE.

(por. Technika Ciepła, 1928, str. 81).

I. TURBINY KONDENSACYJNE.

A. Turbiny jednokadłubowe.

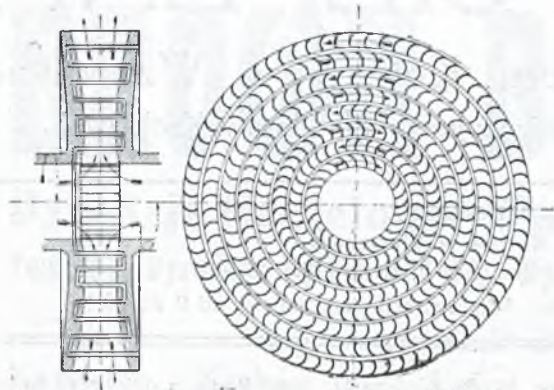
Jak poprzednio zaznaczyłem, buduje się obecnie jednokadłubowe osiowe turbiny parowe naogół przy $n = 3000 \text{ obr/min}$ i ciśnieniu dolotowym aż do 22 atn i 350°C o mocy aż do około 12000 kW . Jedynie fabryka Zoelly'ego, budująca wielostopniowe osiowe turbiny akcyjne o małej liczbie stopni ciśnienia przy dużych średnicach wirników stosuje jednokadłubowe wykonanie przy $n = 3000 \text{ obr/min}$ o mocy aż do 20000 kW , a przy $n = 1500 \text{ obr/min}$ o mocy aż do 40000 kW i to przy ciśnieniu pary dolotowej aż do 35 atn i 400°C . Osobiście mam w tym względzie poważne wątpliwości, a to tem więcej, że dziesięciostopniowe jednokadłubowe osiowe turbiny kondensacyjne systemu akcyjnego o mocy 40000 kW przy $n = 1500 \text{ obr/min}$ i przy ciśnieniu dolotowym 23 atn , 375°C zawiodły w ruchu także pod względem trwałości kadłuba, podlegającego przy dużej średnicy a niewielkiej długości bardzo znacznej różnicy temperatur. Co do poprzednio wspomnianej liczby obrotów 3000 na minutę, to zaznaczyć należy, że przy wyższym ciśnieniu pary dolotowej, a mocy niewielkiej (poniżej około

1000 kW) trzeba ze względu na uzyskanie nie zbyt niskich łopatek stosować większą liczbę obrotów turbiny i trzeba z konieczności umieścić przekładnię zębatą pomiędzy turbiną i generatorem elektrycznym. Jeśli przekładnia nie jest duża, a jest prawidłowo i starannie wykonana, to nie można mieć żadnych wątpliwości co do niezawodności ruchu takiego turbozespołu.

Jednokadłubowe turbiny promieniowe systemu Ljungstroem'a zostały już zbudowane dla ciśnienia dolotowego 28 atn , 450°C , a projektuje się je dla ciśnień do 50 atn . Turbiny Ljungstroem'a zdobywają coraz większe zastosowanie, choć dotychczas rynek zbytu, zwłaszcza przy wyższych ciśnieniach dolotowych opanowany jest prawie wyłącznie przez turbiny osiowe, wykonywane przeważnie jako turbiny kombinowane, akcyjno-reakcyjne. System wyłącznie reakcyjny i system wyłącznie akcyjny są w turbinach parowych obecnie rzadziej używane.

W osiowych turbinach jednokadłubowych system reakcyjny jest stosowany tylko przez fabrykę Parsons'a w Anglii, co można tłumaczyć sobie pewnym konserwatyzmem i używaniem niezbyt wysokiego ciśnienia pary dolotowej, skutkiem czego otrzymuje się już przy mocy około

5000 kW łopatki niezbyt krótkie. W turbinie promieniowej łopatki ułożone są równolegle do osi geometrycznej wału, a pierwszy wieniec



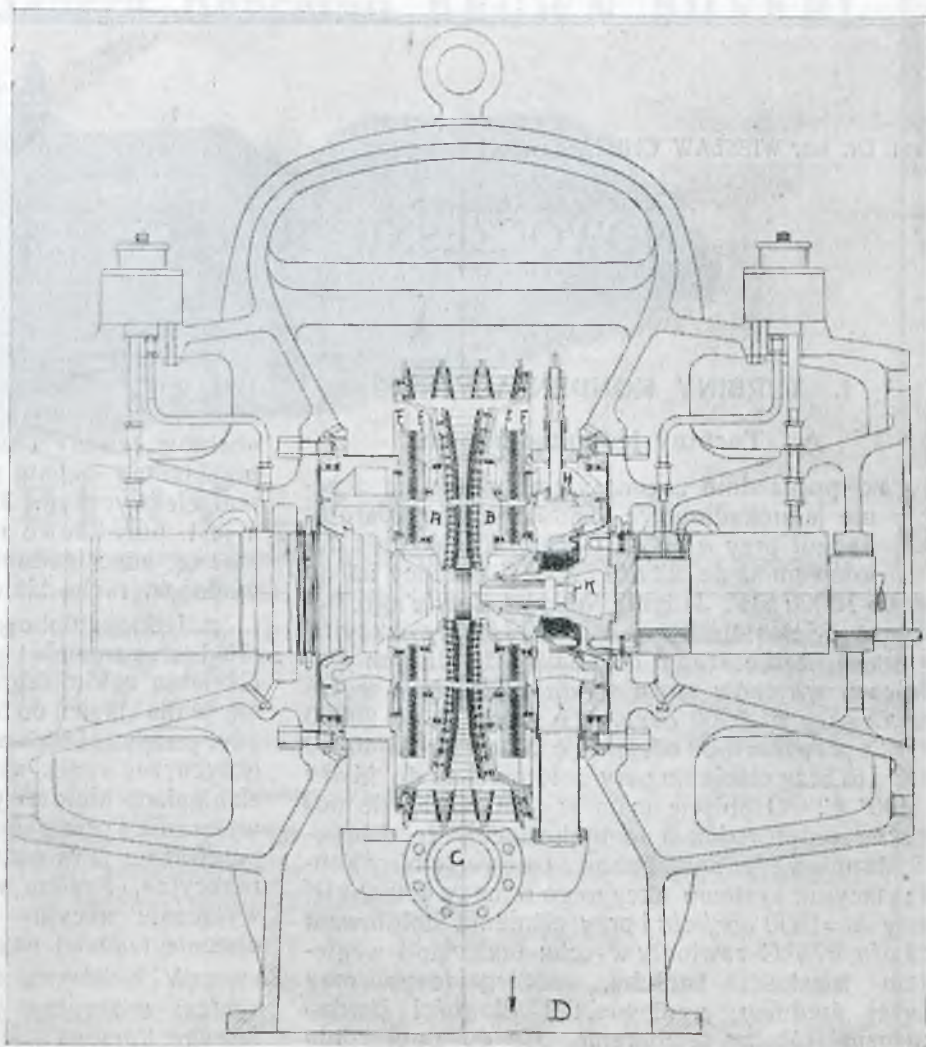
Rys. 17.

łopatkowy posiada małą średnicę, skutkiem czego nawet przy mniejszej mocy turbiny łopátka posiada dostateczną długość przy systemie reakcyjnym. Ostatni może być więc, nawet przy mniejszej mocy (ok. 700 kW) turbiny, zastosowany z powodzeniem w turbinach promieniowych.

Jedyną parową turbiną promieniową, która jako silnik o mocy średniej odgrywa na rynku zbytu poważną rolę, jest turbina Ljungstroem'a, pracująca z reakcją i z regulacją przez dławienie pary dolotowej. Przepływ pary w tej turbinie widzimy na rys. 17. Cechą jej charakterystyczną jest to, że *nie posiada żadnych kierownic*, tylko dwa wirniki, zaopatrzone w większą liczbę wieńców łopatkowych; — w ostatnich para rozpręża się stopniowo, nadając wirnikom ruch przeciwbieżny. Wirniki te *A* i *B* (rys. 18) osadzone są na końcach dwóch wałów, skutkiem czego turbozespół musi posiadać dwa generatory elektryczne. Parę świeżą doprowadza się do pierwszego wieńca łopatkowego o najmniejszej średnicy rurą *C*, rozdzielającą się w kilka rur, a przechodzącą przez przestrzeń wylotową; — para wylotowa płynie rurą *D* do kondensatora. Wynika z tego, że uszczelnienia grzebieniaste, znajdujące się pomiędzy

wirującymi razem z wirnikami tarczami *E* i nieruchomymi tarczami *F* muszą uszczelniać pomiędzy ciśnieniem pary dolotowej i próżnią. Co do rys. 18 to nadmienić można jeszcze, że *H* oznacza zawór służący do przeciążenia turbiny, a *K* jest korkiem, dzięki któremu czop, na którym osadzony jest wirnik, ogrzewany jest tylko na długości piasty wirnika.

Całość instalacji turbozespołu Ljungstroem'a widzimy na rys. 19, w którym oznacza: 8—turbina, 2—generatory elektryczne, 11—kondensator powierzchniowy, na którym spoczywa turbozespół, 14—pompę do wody chłodzącej, 18—pompę do kondensatu, 35 — eiektory do odciągania powietrza rurą 16 z kondensatora, do których doprowadza się parę świeżą rurkami 38 i 39, a z których odpływa ona do kondensatora, 3—główny zawór rozruchowy i bezpieczeństwa, 4 — samoczynny zawór regulacyjny, 29 — zawór (z uszczelnieniem wodnym) dla pracy z wydmuchem. Z rysunku tego widzimy, że turbina zabiera mało miejsca, natomiast cała długość turbozespołu



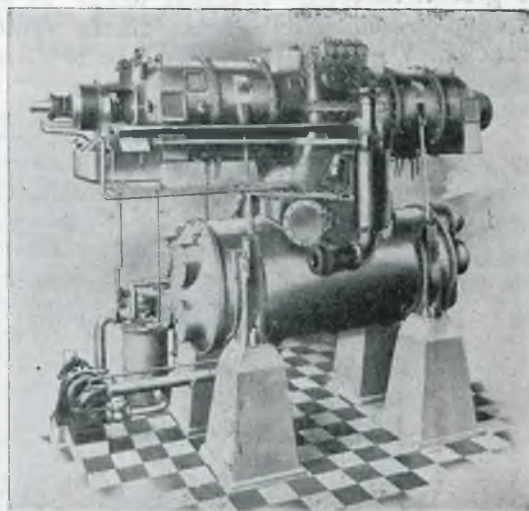
Rys. 18. Turbina Ljungstroem'a o mocy 1700 kW , przy $n = 3000 \text{ obr/min}$, $p_1 = 13 \text{ atn}$, $350^\circ C$, $p_2 = 0,05 \text{ ata}$.

jest większa niż turbospółów osiowych z powodu konieczności stosowania dwóch generatorów elektrycznych. Ponieważ cały turbospół spoczywa na kondensatorze, a tenże na fundamencie (rys. 20), przeto ostatni jest bardzo prosty, tak że turbospół tego rodzaju może być łatwiej przenoszony z jednego miejsca na drugie niż turbospół z osiowym przepływem pary.

Przy mocy większej od około 3000 kW przy $n=3000 \text{ obr/min}$ nie można ze względów wytrzymałościowych stosować ostatnich wieńców łopatkowych o układzie promieniowym, a celem uzyskania krótszych łopatek używają w ostatnich osiowych wieńcach (rys. 21) dwukierunkowego przepływu pary. Na rys. 21 oznacza:

3 — rurę dla dopływu pary świeżej, rozdzielającą się w rurze wylotowej 2 na kilka rur 4, 5 — zawór do przeciążenia turbiny (największa moc stała 6250 kW), 7 — osiowe łopatki kierownicze, przytwierdzone do kadłuba turbiny, 8 — osiowe łopatki wirnikowe systemu reakcyjnego, 10 i 11 — rurki służące do odprowadzania pary z dławnic, 17 — generatory elektryczne. Wirnik 9 składa się z kilku części, połączonych ze sobą zapomocą sworzni stożkowych. Umocowanie łopatek w wirniku uwidocznione jest na rys. 22. Łopátka 11, tworząca jedną całość z ogonami jaskółczymi 10, połączona jest zapomocą zawalcowania ze wzmacniającymi pierścieniami cylindrycznymi 9, a jeden z tychże zapomocą pierścienia cylindrycznego 4

całość budowy jest tego rodzaju, że daje dużą elastyczność przy nierównym wydłużaniu się poszczególnych części.



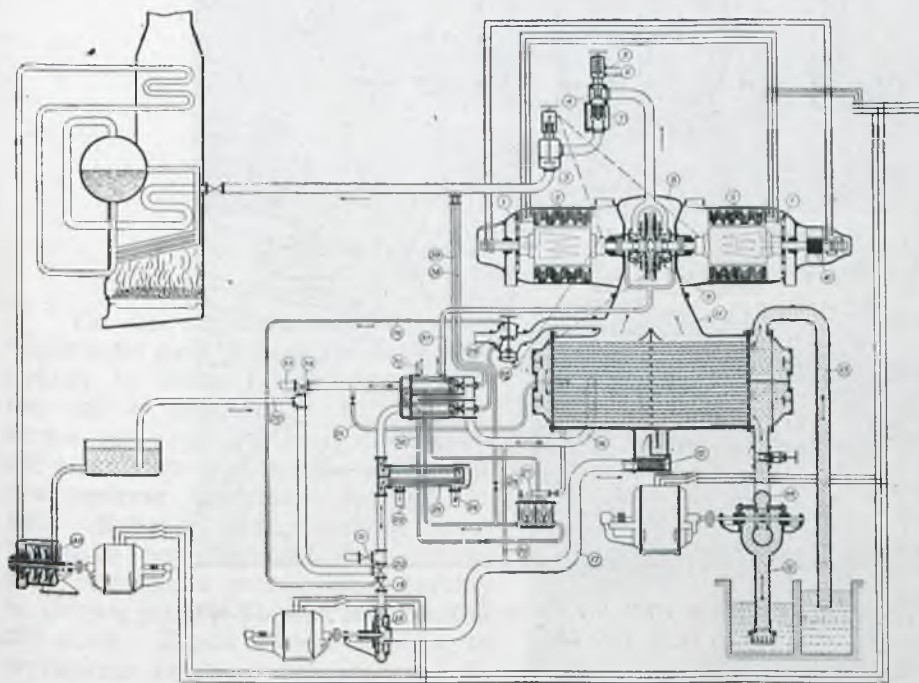
Rys. 20.

Uchodzeniu pary pomiędzy dwoma wieńcami wirnikowymi zapobiega ostre pierścieniowe obrzeże 7, które jest przytwierdzone do pierścienia 9 przez zabicie pierścieniem 8.

Przy jeszcze większej mocy stosuje Ljungstroem, jak to widzimy na rys. 23, dwa reakcyjne osiowe stopnie ciśnienia o przeciwnokierunkowym przepływie pary.

Zewnętrzny widok turbiny Ljungstroem'a przedstawia rys. 24.

Turbiny Ljungstroem'a o mocy mniejszej, pracujące przy ciśnieniu dolotowym 16 atn, 350° C wykazały także u nas w Polsce dobre wyniki w ruchu pod względem zużycia pary i niezawodności ruchu, natomiast zagranicą zostały już uruchomione dla wyższych ciśnień (aż do 28 atn) i wyższych temperatur (aż do 450° C). Jeśli ostatnie dadzą w pracy kilkoletniej wyniki zadowalniające w szczególności pod względem niezawodności biegu, to spodziewać się należy, że rozpowszechnienie tego genialnym pomysłem zbudowanego silnika znacznie



Rys. 19.

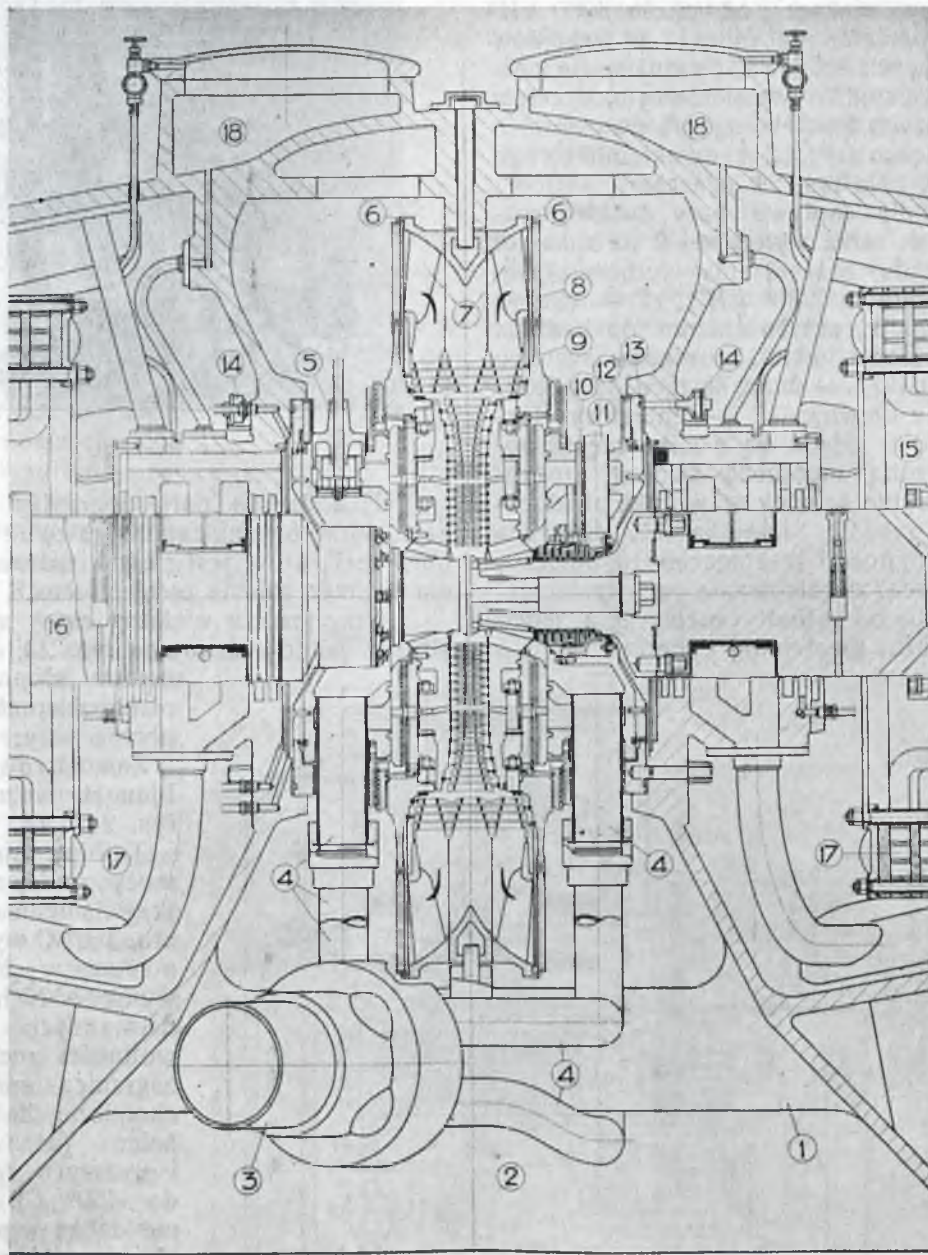
z pierścieniem 2, połączonym przez zabicie drutem 3 z wirnikiem 1. Wymiana wieńców łopatkowych jest więc bardzo prosta. Pierścień 4 jest cienki, a połączony jest z pierścieniami 2 i 9 zapomocą zawalcowania, skutkiem czego

wzrośnie. Nie ulega jednak wątpliwości, że przy wysokim ciśnieniu pary dolotowej duże trudności sprawia uszczelnienie pomiędzy tym ciśnieniem i próżnią (patrz rys. 18 uszczelnienie pomiędzy tarczami E i F), a przede wszystkim także opa-

nowanie wody w wilgotnej parze części nisko-
prężnej.

Uszczelnienie pomiędzy tarczami *E* i *F* wykonane jest podług rys. 25 za pomocą uszczelnienia grzebieniastego. Blaszane tarcze ze stali niklowej tego uszczelnienia są zabite drutem, w tarczach *E* i *F*, posiadają grubość 0,12 do 0,2 mm,

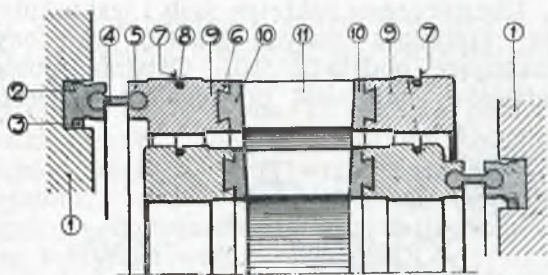
nienie wskazane na rys. 25 jest tego rodzaju, że nie trzeba stosować łoża sztorcowego. Osiowe przesunięcie tarczy wirującej wpływa bowiem odmiennie na zmianę wielkości szczeliny w dwóch grupach uszczelnienia grzebieniastego. Mianowicie przesunięcie tarczy w jednym kierunku zwiększa szczeliny w grupie zewnętrznej,



Rys. 21. Turbina Ljungstroem'a o mocy 5000 kW, $n = 3000 \text{ obr/min}$, $p_1 = 19 \text{ atn}$, 375°C , $p_2 = 0,06 \text{ ata}$.

a końce ich są ostro ścięte. Zatarcie się uszczelnienia nie jest niebezpieczne, bo masa blachy jest bardzo mała. Ponieważ tarcze *E* i *F* są z wirnikami względnie kadłubem turbiny połączone za pomocą pierścieni cienkich sposobem nawalcowania, przeto całość tego szczegółu konstrukcyjnego posiada dużą elastyczność. Uszczel-

ecz nie zmienia ich w grupie wewnętrznej, natomiast przesunięcie tarczy w drugim kierunku zwiększa szczeliny tylko w wewnętrznej grupie. Dzięki temu zmienia się nacisk pary na tarczę w ten sposób, że tarcza ruchoma wraz z wirnikiem ustawia się częściowo samoczynnie w położenie właściwe, przy którym nacisk pary na



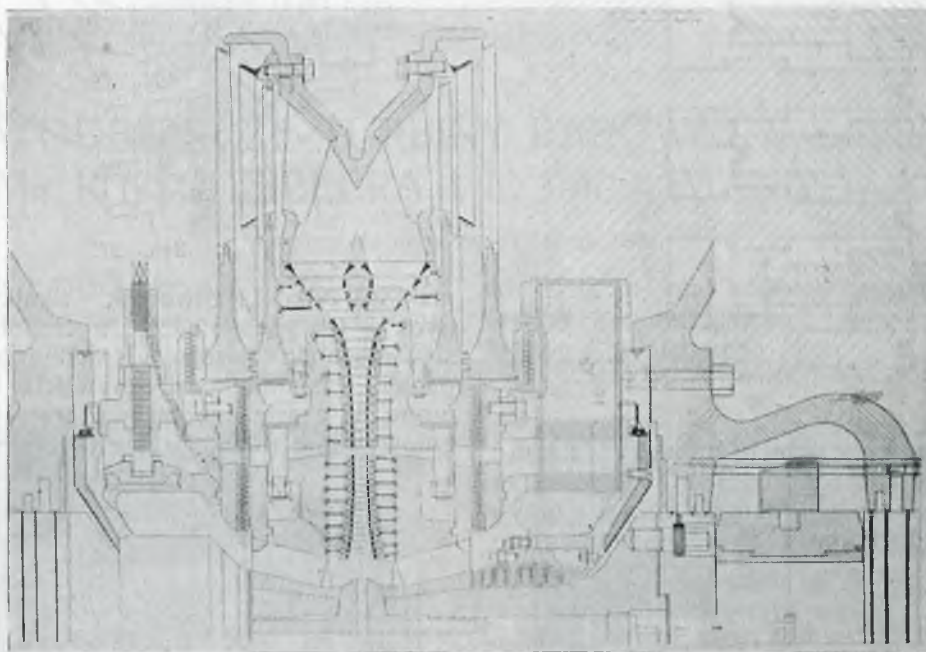
Rys. 22.

tarczę ruchomą równa się w zupełności naciskowi osiowemu pary, przepływającej przez wieniec łopatkowy wirnika.

wewnętrzne *H* przytwierdzone klinem do wału turbiny, a zewnętrzne *F* klinem do kadłuba. Układ powyższy umożliwia zastosowanie wielkiej liczby grzebieni w małej przestrzeni, a wielka liczba grzebieni zapewnia szczelność dławnicy.

Odprowadzanie pary z dławnicy odbywa się rurami *A*, *B* i *C*, — częściowo do dalszych stopni ciśnienia, częściowo do podgrzewacza wody zasilającej kotły.

Jak z rys. 26 i poprzednich widać, właściwe krótkie wały turbiny są przewiercone i posiadają niewielką grubość ścianek, tak że przenikanie ciepła z turbiny do generatorów jest stosunkowo niewielkie, zwłaszcza że czoł łożyska jest dobrze chłodzony przepływającym smarem. Budowa



Rys. 23. Kondensacyjna turbina Ljungstroem'a o mocy norm. 12000 kW, stałej mocy maks. 14000 kW, 25 atn 450° C, $n = 3000$ obr/min.

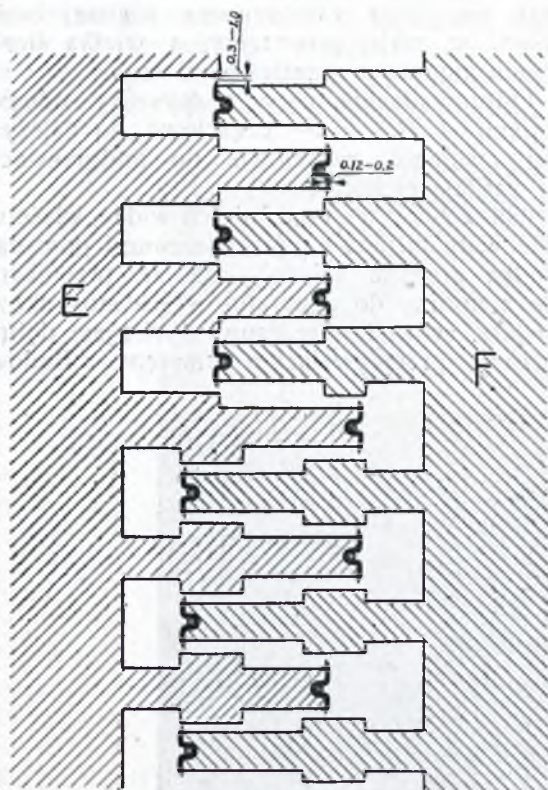
Co do zagadnienia opanowania wilgotności pary w części niskoprężnej turbiny, to firma Ljungstroem twierdzi, że w turbinach promieniowych krople wody rozdzielają się równomiernie i skutkiem tego musi następować równomierne zdzieranie łopatek na całej długości, oraz zaznacza, że w turbinach powyżej 3000 kW można przy przejściu z promieniowej turbiny w osiową jej część skutecznie odwozić silnik. Z powyższego wynika, że wytwórnia zamierza poruszonemu zagadnieniu poświęcić przy wyższych ciśnieniach pary szczególną uwagę.

Bardzo ciekawa jest budowa dławnicy w turbinie Ljungstroem'a. Dławnica składa się z szeregu tarcz z grzebieniami pierścieniowymi z ostrymi zakończeniem pod kątem 45° (rys. 26). Tarcze ułożone są osiowo obok siebie,



Rys. 24.

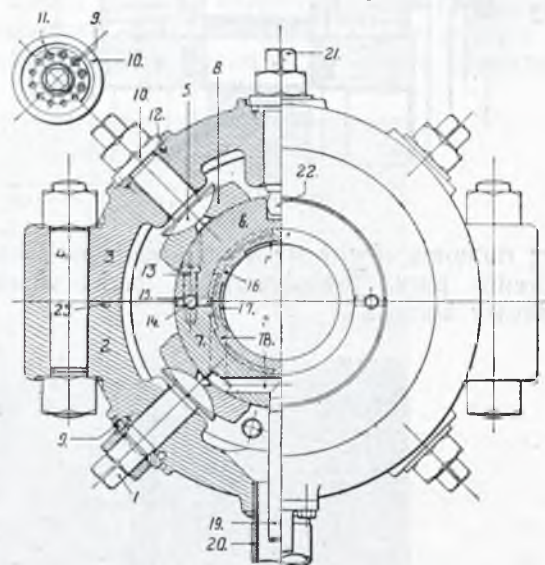
łożyska (rys. 27) jest również pomysłowa. Panwie łożyska 6 i 7, wyłożone białym meta-



Rys. 25.

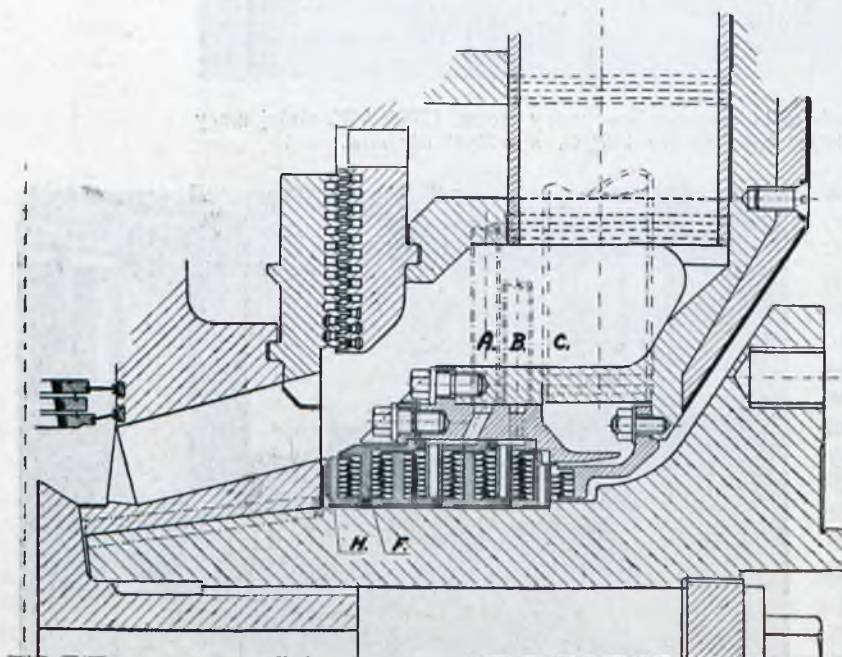
lem, spoczywają na czterech śrubach 1 z kulistymi łbami 5, pomiędzy którymi a panwiami znajdują się dokładki 8. Pokrywa łożyska przytwierdzona jest do korpusu jego zapomocą do-

Ubezpieczenie nakrętek śrub 1 jest uskutecznione zapomocą małych śrubek, wkręconych w hamujące podkładki 10. Ostatnia posiada 12 otworów, natomiast przylegająca powierzch-



Rys. 27.

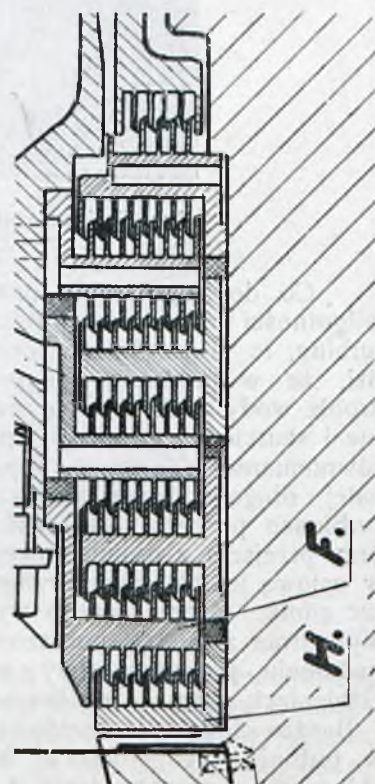
nia łoża tylko 11 otworów. Skutkiem otrzymanych w ten sposób 132 różnych położeń uzyskuje się możliwość bardzo dokładnego nastawienia panwi. Ostatnie musi oczywiście być uskutecznione w czasie montażu w warsztacie, a wyregulowywanie późniejsze jest zbędne. Okręcaniu



Rys. 26.

pasowanych (lekko stożkowych śrub 4, a panwie ze sobą połączone śrubami 13 i ustalone kołkami dopasowanymi 14 i 15.

się panwi zapobiega sworzeń kulisty 22, którego kula toczona jest mimośrodowo względem osi śruby 21, skutkiem czego można przez okręcanie



Rys 26a.

śruby 21, ubezpieczonej w ten sam sposób jak śruby 1, przesunąć trochę panwie współosiowo do wału. Smar pod ciśnieniem dopływa rurą 19 i otworami 18, a liczba 17 oznacza podłużne wpustki oliwne. Odpływ smaru do chłodnicy następuje rurą 20. Ze względu na bliskość generatora trzeba tutaj zwrócić szczególną uwagę na uniemożliwienie przedostawania się smaru z łożyska wzdłuż wału.

Z rysunków przedstawionych wynika, że turbina Ljungstroem'a jest nie tylko pomysłem co do samego zasadniczego układu wirników, lecz także co do różnych szczegółów konstrukcyjnych. Z powodu braku kierownic odpadają straty w kierownicach i koszty ich

budowy, a osiągnięcie dużej liczby jakościowej Parsons'a nie jest zbyt kosztowne z powodu dwóch przeciwbieżnych wirników. Sprawność turbiny może więc być korzystna, zapotrzebowanie materiałów na nią jest mniejsze niż w turbinach osiowych, lecz wykonanie wymaga znacznie większej precyzji.

Rozpowszechnieniu większemu turbin Ljungstroem'a szkodzi natomiast, oprócz poprzednio wspomnianych wątpliwości, zapatrywanie niektórych inżynierów, że turbina osiowa jest prostsza w swej budowie od promieniowej, skutkiem czego w razie jakichkolwiek niedomagań może być łatwiej skontrolowana przez mechanika miejscowego. (d. c. n.)

R. BIEDRZYCKI, inż.

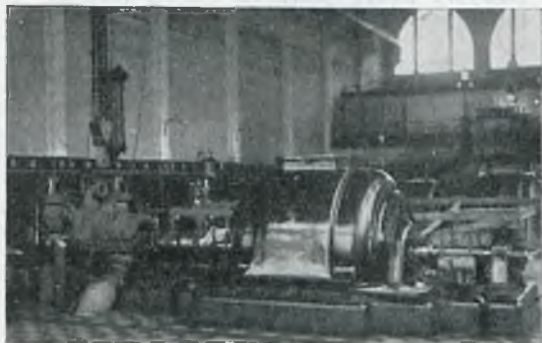
BADANIA ODBIORCZE TURBINY PAROWEJ w ZJEDN. ZAKŁ. PRZEM. K. SCHEIBLERA i L. GROHMANA W ŁODZI.

przeprowadzone w dn. 17 lutego 1928 r.

W zakładach K. Scheiblera i L. Grohmana w Łodzi ustawiono w r. 1926 nową turbinę przeciwpęzną o mocy 1960 KM, budowy Pierwszej Brzeńskiej Fabryki, którą sprzężono z przed-

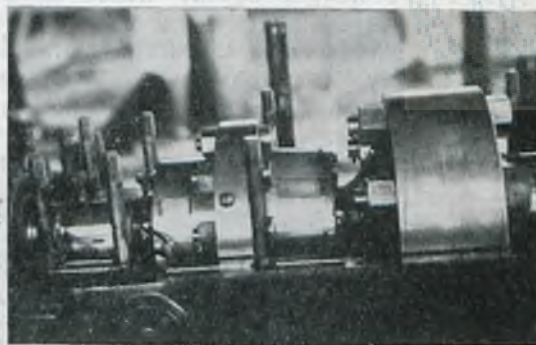
co nastąpić ma kosztem usunięcia następnej turbiny kondensacyjnej i zastąpieniem jej nową turbiną z pobieraniem pary.

Dzięki tej inwestycji elektrownia wytwarzać



Rys. 1.

wojennym generatorem prądu trójfazowego, zwolnionym po dawniejszej turbinie przeciwpęźnej, zdyskwalifikowanej na skutek nadmiernego zużycia pary. Zużycie to wzrosło zwłaszcza niewspół-



Rys. 3.

będzie dwakroć więcej energii elektrycznej, niż dotychczas, naturalnie bez powiększenia kotłowni i jedynie dzięki temu, iż całkowita ilość pary przeznaczonej dla celów grzejnych, zostanie



Rys. 2.

miennie po rewindykacji turbiny z Niemiec, dokąd wywieźli ją okupanci podczas wojny.

Zmiana turbiny na nową pozostaje w związku z projektem elektryfikacji sąsiedniego oddziału,

uprzednio wyzyskana w turbinach. Jakkolwiek razić może, iż usunięto jedynie turbinę, pozostawiając stary generator o napięciu 525 V, podkreślić trzeba, iż cała przebudowa nastąpiła