

IV. Paraboliczne obciążenie 1-go rodzaju.

Przyjmując za podstawę naszych obliczeń dla węgłowia łuku:

$$\sigma_{d,g} = \frac{H \sec^2 \alpha}{b h_A} \pm \frac{6 M_A}{b h_A^2},$$

otrzymamy, po uwzględnieniu wzorów (16) i (18):

$$\sigma_{d,g} = \frac{1}{56} \frac{\gamma_1 b l^2 \sec^2 \alpha \cdot v}{b h_A} \pm \frac{6}{60} \frac{\gamma_1 b f l^2}{b h^2} \mp \frac{6}{84} \frac{\gamma_1 b f l^2 \cdot v}{b h^2},$$

lub też po pewnych przestawieniach:

$$\sigma_{d,g} = \frac{\gamma_1 l^2}{f} \pm \frac{1}{35} + \frac{1}{56} \frac{h_A}{f} \sec^2 \alpha \pm \frac{3}{32} \left(\frac{h_A}{f} \right)^2, \quad (32)$$

V. Paraboliczne obciążenie 2-go rodzaju.

Wprowadzając wzory (23) i (24), otrzymamy dla naprężenia:

$$\pi_{d,g}^1 = \gamma_1 f_1 \left(\frac{l}{f} \right)^2 \pm \frac{1}{35} + \frac{3}{28} \frac{h_A}{f} \sec^2 \alpha \pm \frac{3}{8} \left(\frac{h_A}{f} \right)^2, \quad (33)$$

Dla kontroli stwierdzić można, że suma wzorów (32) i (33) daje wzór (28) jeżeli się podstawia $\gamma_1 b f_1 = q$.

(d. n.)

SPÓŁCZESNE WIELKIE TURBINY PAROWE.

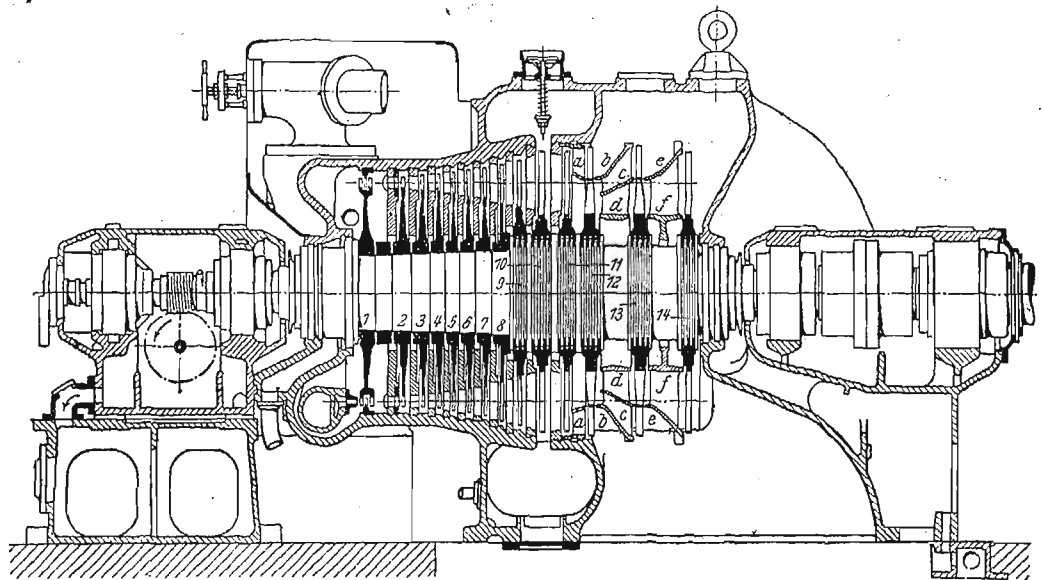
Napisał Dr. inż. Wiesław Chrzanowski.

(Ciąg dalszy do strony 319, w № 42 r. b.)

Z powodu obawy o nadmierne zdzieranie się łopatek przy wielkiej prędkości pary oraz celem zmniejszenia naprężeń w częściach wirujących i umożliwienia używania niezbyt kosztownych materiałów, niektóre fabryki używają jeszcze obecnie większej liczby stopni ciśnienia i wprowadzają dzielenie wieńców łopatkowych nie tylko w ostatnim, lecz i w kilku poprzednich stopniach. Fabryka angielska *Metropolitan-Vickers Electrical Co.* w Manchester buduje turbiny konstrukcji inż. Baumanna; — wykonanie takiej turbiny o mocy 12500 kW przy $n=3000$ obr./min. widzimy na rys. 14. Składa się ona z koła Curtis'a o dwóch stopniach prędkości, dziesięciu jednostopniowych kół akcyjnych Rateau'a i trzech równolegle pracujących stopni wypustowych, dzięki którym wolny przekrój wylotowy zostaje powiększony o blisko 22%, a straty wylotowe w turbinie zostają odpowiednio zmniejszone; — średnia średnica wieńców łopatkowych wynosi 1070 mm, a przy mniejszym ciśnieniu admi-syjnym fabryka zastępuje koło Curtis'a jednym kołem Rateau'a.

Po opuszczeniu 11-go wirnika strumień pary jest tutaj dzielony na dwie części. Część pary płynie przez wieńiec łopatkowy kierownicy *a*, ograniczony wewnątrz, na rysunku niewidocznym, pierścieniem (kierownica kończy się na tym pierścieniu, nie dochodzi więc do wału turbinowego), rozpręża się w tejże kierownicy na przeciwpaprężność, panującą w kondensatorze, wykonywa pracę w zewnętrznym akcyjnym wieńcu łopatkowym wirnika 12-go i odpływa do kondensatora; — cały wieńiec łopatkowy jest tutaj bowiem promieniowo podzielony. Reszta pary przechodzi swobodnie z 11-go wirnika do wewnętrznej części wieńca łopatkowego 12-go wirnika, zaopatrzonej w łopatki o kształcie, dającym reakcję i bardzo mały spadek ciśnienia, a zatem i małą zmianę prędkości pary przepływającej; — praca, wykonana w tejże wewnętrznej części wieńca 12-go, jest więc nieduża. Para, wychodząca z wewnętrznego wieńca łopatkowego wirnika 12-go, dzieli się powtórnie na dwa strumienie; — jeden rozpręża się w kierowniczych łopatkach *c* na ciśnienie w kondensatorze, oddaje pracę w zewnętrznym wieńcu łopatkowym wirnika 13-go i odpływa do skraplacza, drugi natomiast rozpręża się nieznacznie w kierownicy *d* i wykonywa przy równoczesnej nieznacznej ekspansji niewielką pracę w wewnętrznym wieńcu łopatkowym wirnika 13-go, a dopiero w kierownicy *f* rozpręża się całkowicie na przeciwpaprężność i odpływa po oddaniu pracy w 14-y wirniku do kondensatora.

Pomimo tego, że para, wykonywująca pracę w 14-y wirniku, zostaje niedostatecznie zużytkowana pod względem oddawania pracy w 12-y i 13-y wirniku, powodując przez to zwiększenie strat przez tarcie, turbina podobnej budowy posiada z powodu dużego wolnego przekroju przepływowego w ostatnim stopniu ciśnienia małe straty wylotowe i daje moc około 2,2 razy większą. Co do podobnej budowy można mieć natomiast pewne wątpliwości praktyczne, mianowicie wykonanie łopatek, podzielonych ścianką w swej wysokości na dwie części, musi być kosztowne (kosztowne frezowanie), z powodu zaś konieczności zastosowania b. ważkich szczelin pomiędzy temi ściankami w kierownicy i w wir

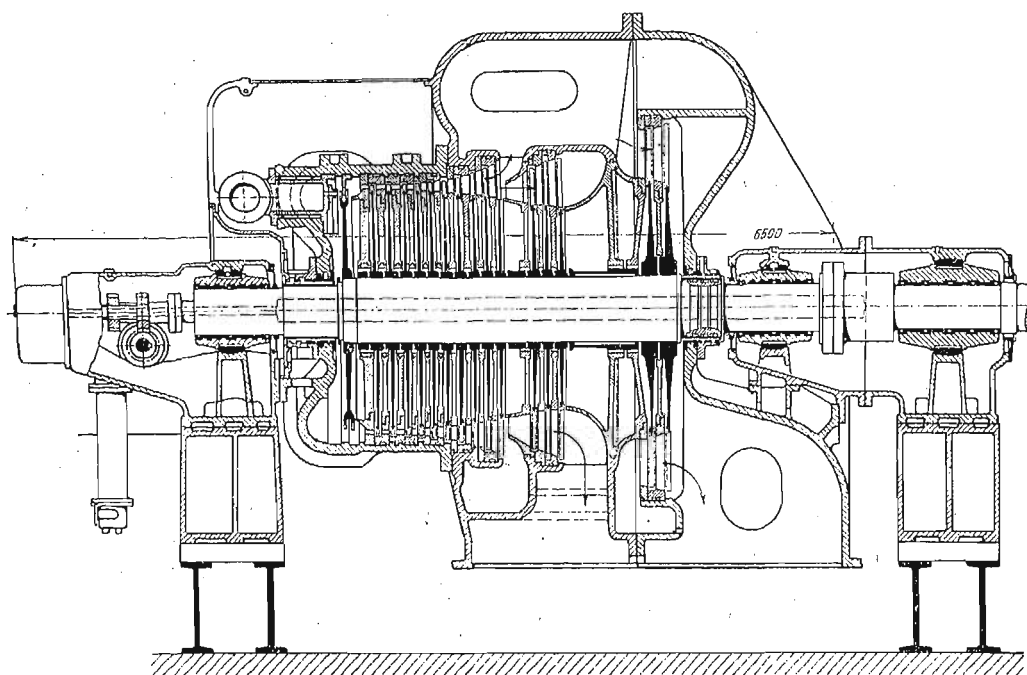


Rys. 14.

niku, celem zapewnienia prawidłowego podziału strumienia pary, łatwo zajęć mogą przy wydłużaniu się poszczególnych części pod wpływem działania wysokich temperatur lub przy niezbyt dokładnem nastawieniu łoża stopowego zatarcia się wirników z dzielonymi wieńcami łopatkowymi o kierownicę. Skutki takich zatarć mogą być przyczyną długich postojów silnika.

W turbinie rys. 14-go oryginalną budowę wykazują wirniki niskoprężne 9 do 14, które są dwudzielne. W piastach wirnika są wytoczone pierścienie, połączone zapomocą śrub z odpowiednimi pierścieniami, wytoczonymi na wale turbinie. Połączenie tego rodzaju tylko wtedy może skutecznie opanować siły odśrodkowe, jeśli otwory na śruby przytwierdzające zostaną wykonane z nadzwyczajną dokładnością, ponieważ zaś wykonanie warsztatowe podobnej konstrukcji jest bez wątpienia kosztowniejsze niż wykonanie kół z jednego kawałka, przeto wątpić należy, czy znajdzie ono naśladowców.

Mysłą przewodnią budowy turbiny według rys. 14, t. j. zastosowanie, ze względu na dążność do uzyskania niezbyt wielkich prędkości pary, dosyć dużej liczby stopni ciśnienia i powiększenie w ostatnich stopniach wolnego przekroju przepływowego przez podział strumienia parowego, — urzeczywistnia w swych turbinach kombinowanych (koło Curtis'a z wielostopniową turbiną akcyjną) o wielkiej mocy także fabryka *Fraser & Chalmers* (rys. 15). Główna konstrukcyjna różnica tej turbiny względem poprzednio opisaną polega na tem, że para, wychodząca z 11-go wirnika, dzieli się na dwa strumienie, z których wewnętrzny wykonywa pracę przed uściem do kondensatora w trzech dalszych wirnikach, a zewnętrzny tylko w dwóch wirnikach o większej średnicy i większej długości łopatek. Skutkiem tego budowa osłony turbiny jest więcej zawiła, lecz wykonanie łopatek jest prostsze i nie zachodzi obawa zatarcia się wieńców łopatkowych o wieńce kierownic.



Rys. 15.

Turbiny kombinowane typu II, składającego się z koła Curtis'a i wielostopniowej turbiny akcyjnej, są obecnie wykonywane dla bardzo wielkiej mocy mechanicznej w jednym silniku i w jednej osłonie, mianowicie przy $n = 3000$ obr./min. dla mocy do 25 000 kW, przy $n = 1500$ obr./min. dla mocy do 40 000 kW, przy $n = 1000$ obr./min. dla mocy do 60 000 kW.

Podobnie jak w typie I z wielostopniową reakcyjną częścią niskoprężną i w budowie typu II zarysowują się przy pracy z kondensacją dwa zasadnicze kierunki.

A) budowa według rys. 14 i 15, stosowana przez zwolenników mniejszych naprężeń materiałów w wirnikach i w łopatkach oraz mniejszych prędkości pary;

B) budowa według rys. 12 i 13, stosowana przez zwolenników możliwie krótkiej i prostej turbiny, w której poszczególne części są jak najumiejtniej wykonane, z materiałów najlepszych, więc kosztownych.

Oczywiście, że dla mniejszej mocy będzie się używać nadal budowy, podobnej do wskazanej na rys. 12, lecz bez ostatniego wielkiego koła.

Nie ulega wątpliwości, że ostrożny inżynier ruchu, dbający o możliwą niezawodność swych silników, często wybierze silnik, wymieniony pod A), lecz nowoczesny inżynier, wytwarzający silniki, dążyć będzie całą siłą swej woli do opanowania trudności, następujących się przy budowie turbin, wymienionych pod B), w słusznym przekonaniu, że przyszłość należy do tego typu.

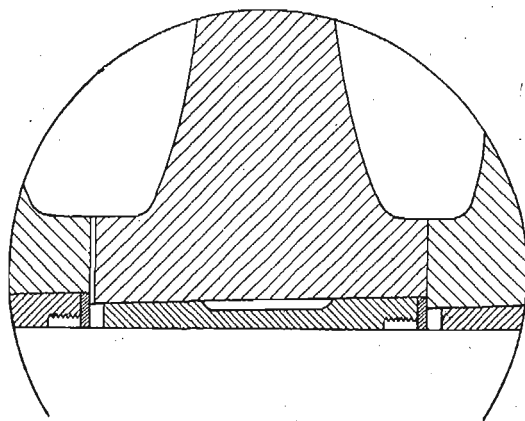
Dążenie tego rodzaju uwydatnia się dobitnie w konstrukcjach fabryki A. E. G. w Berlinie, której turbiny przy $n = 3000$ obr./min. składają się dla mocy aż do 5000 kW z koła Curtis'a i 6 lub 5 kół Zoelly'ego jednakowej, niezbyt wielkiej średnicy (materiał nie potrzebuje być najprzedniejszy) — dla mocy powyżej 5000 kW z koła Curtis'a i tylko

4 kół Zoelly'ego o większej średnicy (materiał wyborowy), — dla bardzo wielkiej zaś mocy aż do 25 000 kW są wykonane według rys. 12 lub zwłaszcza 13. Turbogeneratory tej samej fabryki o mocy 50 000 do 60 000 kW składają się przy $n = 1000$ obr./min. z koła Curtis'a i 9 kół Zoelly'ego o średnicy 3400 do 3800 mm ($u = 180$ do 200 m/sek), są więc w swej budowie znacznie krótsze i znacznie prostsze niż opisane poprzednio turbiny amerykańskie. W turbogeneratorach o mocy powyżej 10 000 kW fabryka A. E. G. stosuje cztery łożyska i sprzęgło elastyczne.

Przy budowie turbin, pracujących z wielką prędkością obwodową i małą liczbą stopni ciśnienia, więc wielką prędkością pary, należy poświęcić główną uwagę racjonalnej konstrukcji i umiejętnemu wykonaniu wirników i ich łopatek. Konstruktorowi nie wolno zapominać o tem, że w częściach tych zająć mogą, oprócz zwykłych naprężeń statycznych, dostępnych dla obliczenia na wytrzymałość, i naprężeń z powodu nierównomiernego rozgrzewania się, także zmienne naprężenia dodatkowe, wywołane drganiami tych części (zwłaszcza łopatek) a wywołujące pękanie ich z powodu zmęczenia materiału.

Drgania wirników mogą powstawać z przyczyn różnych, np. z powodu nieznacznych wstrząśnięć turbiny, wywołanego przez choć jeden niedostatecznie zrównoważony wirnik, lub też z powodu nierównomiernego rozdziału strumienia pary przy częściowym zasilaniu wirnika, lub wreszcie z powodu zbyt luźnego biegu łoża stopowego. Ponieważ liczba drgań zależy nie tylko od kształtu i materiału koła wirnikowego, lecz także od naprężeń wewnętrznych i temperatury w poszczególnych częściach wirnika, przeto jest trudno przy obecnym stanie nauki wpływ ich obliczyć i w sposób niezawodny unieszkodliwić przez stosowną budowę; sprawa ta wymaga jeszcze dalszych gruntownych badań.

Z obawy przed niepowodzeniami, następującymi się skutkiem przyczyn powyżej zaznaczonych, lub też z powodu rzeczywiście napotykanych trudności w budowie wirników i ich łopatek przy dużych prędkościach obwodowych i wielkich prędkościach pary, niektóre fabryki stosują jeszcze obecnie dość dużą ilość stopni ciśnienia czyli mniejsze pręd-

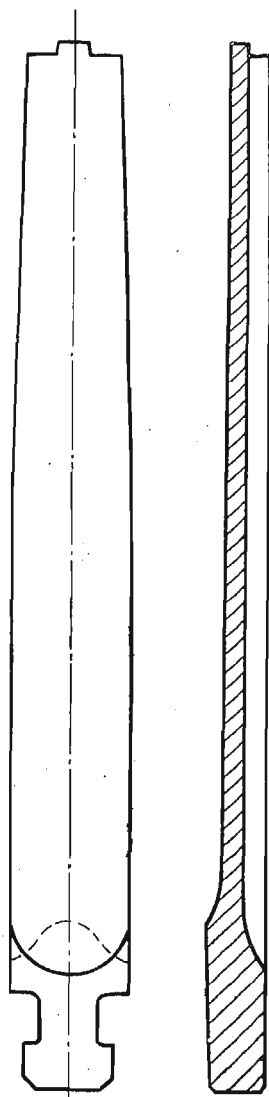


Rys. 16.

kości pary. Jako przykłady w tym względzie mogą posłużyć nie tylko turbiny, przedstawione na rys. 14 i 15, lecz także turbiny parowe amerykańskiej fabryki *General Electric Co.* w Schenectady, która dawniej budowała kombinowany typ II z małą liczbą wirników, obecnie zaś buduje wielkiej mocy wielostopniowe turbiny akcyjne (Rateau wzgl. Zoelly) z dużą liczbą wirników (np. dla mocy 35 000 kW przy $n = 1500$ obr./min. — 22 wirniki). Również turbiny fabryki *La Société Générale de Construction Mécanique* w Paryżu po-

siadają dość dużą ilość stopni ciśnienia, np. turbina o mocy 15 000 kW przy $n=1250$ obr./min. składa się z koła Curtis'a i 11 kół akcyjnych Rateau'a, a o mocy 6000 kW przy $n=3000$ obr./min. z koła Curtis'a i 7 kół Rateau'a.

Koła wirnikowe, pracujące z wielką prędkością obwodową, więc podlegające bardzo wysokim naprężeniom, wykonywa się z specjalnej stali Siemens-Martina o wyborowej jakości lub nisko procentowej stali niklowej o wytrzymałości na złamanie 7000 kg/cm^2 , o granicy płynności 5000 kg/cm^2 , a wydłużeniu 18% przy pięciokrotnej długości. Nie wystarcza jednakże sama jakość materiału, gdyż nie mniej ważną rolę odgrywa umiejętne wykonanie wirników, które powinny

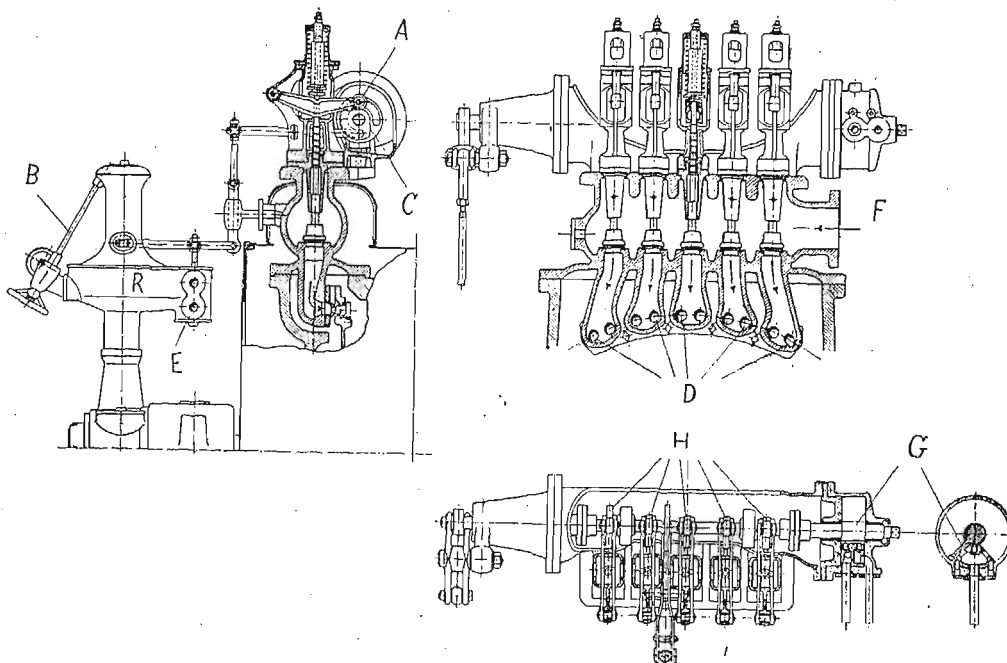


Rys. 17.

posiadać materiał możliwie równomiernie przekuty. Największe trudności w tym względzie sprawia, już ze względu na sam sposób odkuwania wirnika, piasta, ponieważ konstruktor zmuszony jest, ze względu na obliczenie dopuszczalnej wytrzymałości, nagromadzić w niej więcej materiału. Celem otrzymania w piastce, w której zachodzą największe naprężenia, materiału możliwie dobrze przekutego, wbija się w blok stalowy, z którego ma być odkuty wirnik, sworzeń okrągły w miejscu, w którym później wytacza się otwór na wał. Po odkuciu należy wirniki wyżarzyc, aby usunąć naprężenia materiału, powstałe przez odkuwanie, i aby osiągnąć dobre wartości wydłużania;—przytem należy również największą zwrócić uwagę na piastę i wieniec wirnika, gdzie zachodzą największe nagromadzenia materiału. Jeśli przy wyżarzaniu nie osiągnie się równomiernego ogrzania poszczególnych części wirnika, to powstają dodatkowe naprężenia, które mogą przy dalszej obróbce wirnika na tokarce łatwo spowodować jego odkształcenie. W wielu wypadkach stosuje się oprócz tego, w celu osiągnięcia materiału najprzedniejszej jakości, hartowanie wirników w oliwie i powtórne wsadzanie ich do pieca wyżarzającego.

Pomimo wyrobu wirników z największą sumiennością, z materiału wyborowego, dopuszcza się w najbezpieczniejszej ich części, więc w piastce, naprężenia poniżej 1600 kg/m^2 , w celu zaś usunięcia możliwości powstawania maksymalnych naprężeń zmiennych, nasadza się wirnik na wał z pewnym naprężeniem wstępnym. Przy mniejszych naprężeniach wirników stosuje się nasadzanie ogrzanych wirników, więc ze skurczem, na stosunkowo wąskie pierścienie, aby zapewnić łatwy demontaż, — przy większych naprężeniach w piastce i przy większym, obecnie używanym skurczu poleca się używać budowy, przedstawionej na rys. 16. ze stożkową tuleją, umożliwiającą również łatwe zdejmowanie kół.

Nie mniejszą uwagę niż wirnikom należy poświęcić budowie łopatek turbin, pracujących z wielką prędkością obwodową i z małą liczbą stopni ciśnienia, więc z wielką prędkością pary. Ponieważ łopatki, z powodu możliwości ich drgania, powinny móżd opanować naprężenia zmienne, należy materiał ich poddać w osobnym przyrządzie próbom ciągłym, pozwalającym przeprowadzenia po kilka tysięcy



Rys. 18.

na minutę zmian obciążenia. Tylko materiał, który wykaże w próbach tego rodzaju swą dobroć i niezawodność, może być używany. Niezależnie od tego i konstrukcja powinna być odpowiednia. Już przy opisie turbin Brown-Boveri'ego zaznaczono, że przy działaniu wielkich sił odśrodkowych wykonywa się łopatkę i dokładkę z jednego kawała (frezowane), aby wzmocnić dolną część łopatki, umocowanej w wieniec wirnika. Rys. 17 przedstawia konstrukcję łopatek fabryki A. E. G. w Berlinie, która również wykonywa łopatkę z dokładką z jednego kawała, a zwięża w celu zmniejszenia naprężeń jej górną część, skutkiem czego wprowadzenie pary jest w tej części gorsze.

Z innych zmian konstrukcyjnych, wprowadzonych w ostatnim czasie, należy wspomnieć o budowie przez niektóre fabryki (np. Thyssen, A. E. G.) tłoka obrotowego w serwo-motorze;—rys. 18 przedstawia konstrukcję fabryki A. E. G. Bezwątpienia mechanizm jest tutaj prostszy, lecz należy obawiać się o to, czy uszczelnienie tłoka obrotowego da się tak samo skutecznie przeprowadzić jak tłoka posuwistego.

(d. n.)

WIADOMOŚCI TECHNICZNE.

Przemysł lotniczy we Francji. Kryzys powojenny zachwiał przede wszystkim nader rozwiniętą we Francji produkcję aeroplanów. W chwili zawierania rozejmu z Niemcami, produkowano wyłącznie typy aparatów wojskowych. Znaczne ograniczenie zamówień wojskowych i szybki rozwój komunikacji skłonił lotnicze fabryki samolotów (grupujące się przeważnie

na przedmieściach Paryża) do szukania nowych dróg, aby możliwie zadośćuczynić nowym żądaniom co do bezpieczeństwa lotu, wytrzymałości maszyny na dłuższe loty i co do ceny wyrobów. Zwłaszcza ostatni czynnik sprowadza zmianę sytuacji, gdyż dotychczas rząd nie liczył się z ceną, żądając tylko aby aparat dawał możliwie najlepsze wyniki w locie. Konkurujące ze sobą towarzystwa transportowe muszą przywiązywać dużą wagę do ceny maszyny. Mówiąc o wyniku powyższych poszukiwań, należy przede wszystkim zanotować próby stosowania