BIBLIOTEKA
DNIA DZISIEJSZEGO

J. HARRISON

SERCA MASZYN

TRZASKA, EVERT I MICHALSKI
WARSZAWA

S. 59

BIBLIOTEKA DNIA DZISIEJSZEGO

zawiera szereg książek o charakterze informacyjnym, tak pomyślanych, by każda z nich pobudzała do rozmyślań i rozważań na najciekawsze tematy nauki współczesnej. Autorami tych prac są uczeni, którzy omijając techniczne trudności, w wykładzie jasnym i przystępnym tłumaczą najzawilsze tajniki zagadnień dnia dzisiejszego.

Tom 1. J. HARRISON
SERCA MASZYN

Tom 2.
A. ALLCOTT i H. S. BOLTON
CHEMIA i TY

Tom 3. E. H. CHAPMAN
RADIO
USTA XX WIEKU

Tom 4. E. CRESSY
CUDA BUDOWNICTWA

Tom 5. J. L. NAYLER i E. OWER
LOTNICTWO
ZISZCZONE MARZENIA IKARA

Tom 6. J. W. WILLIAMSON
NA STALOWYCH SZYNACH

DALSZE TOMY W DRUKU

NAKŁADEM KSIĘGARNI WYDAWNICZEJ
TRZASKA, EVERT i MICHALSKI S. A.
WARSZAWA, KRAKOWSKIE PRZEDMIEŚCIE 13

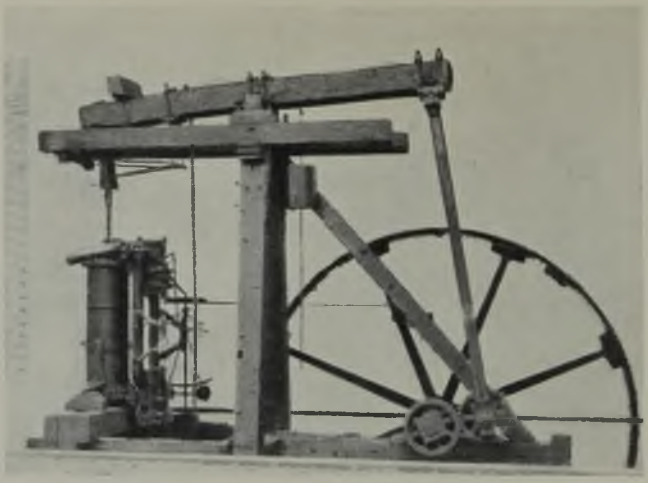
BIBLIOTEKA
DNIA DZISIEJSZEGO

TOM 1

SERCA MASZYN

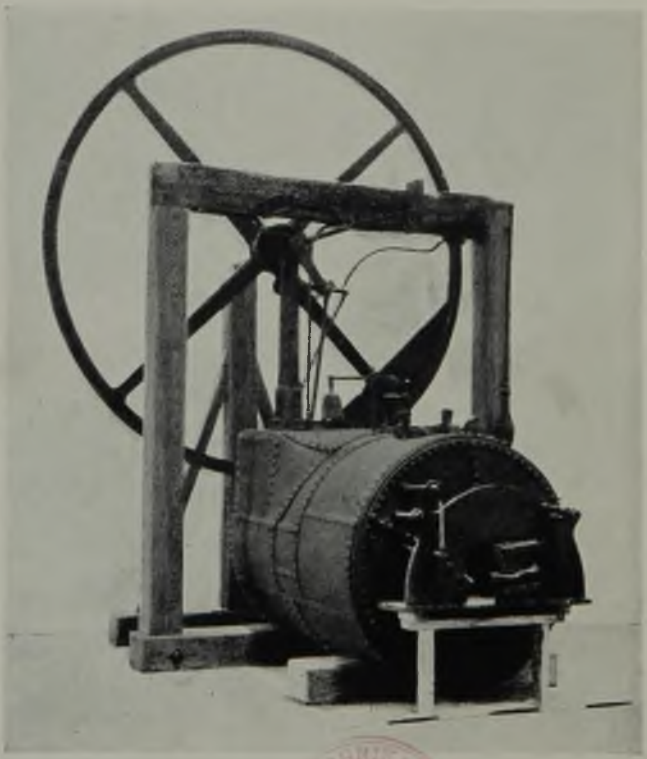
BIBL. GŁ. POL. ŚL.
SKASOWANO

TABLICA 1.



Wahadłowa maszyna Watta z r. 1778.

Maszyna znajduje się w Muzeum Naukowym (Science Museum) w Anglii. Maszyna posiada moc indikowaną $13^3/_4$ K. M. Warto zauważyć dziwaczną przekładnię zębatą zamiast korby.



Maszyna parowa Trevithicka z kotłem wysokiego ciśnienia z r. 1811.

Ciśnienie dopuszczalne w kotle dochodziło do 3 atm.

J. HARRISON, A.M.I.Mech.E., A.M.I.A.E.

SERCA MASZYN

PRZEŁOŻYŁ
Inż. EUGENIUSZ PORĘBSKI

Z 23 TABLICAMI I 53 RYSUNKAMI

NAKŁADEM TRZASKI, EVERTA i MICHALSKIEGO
WARSZAWA, KRAK. PRZED. 13. GMACH HOTELU EUROPEJSKIEGO

S. 69
S. 97
S.05

7729

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

621.11 + 621.4

126446

230/57

Zakłady Drukarskie F. Wyszyński i S-ka, Warszawa

D 1946109

Wstęp

Co należy rozumieć przez słowo motor, albo silnik? W większości wypadków mamy na myśli tego rodzaju maszynę, która przetwarza ciepło w energię mechaniczną. Takie maszyny nazywamy silnikami cieplnymi lub motorami cieplikowymi. Mogą więc to być maszyny parowe, silniki wybuchowe (benzynowe lub gazowe) wreszcie silniki spalinowe, powszechnie zwane silnikami Diesla od imienia ich twórcy. W tym rozumieniu będziemy używać wyrazu silnik w tej książce. Pominiemy natomiast koła wodne i wiatraki młyńskie oraz armaty (które też można by zaliczyć do silników cieplikowych), ponieważ we wszystkich tych maszynach przetwarzanie energii jest prymitywne.

Nie ma też mowy w tej książce o motorach elektrycznych i dynamomaszynach. Są one raczej odmianą transmisji energii mechanicznej ze źródła do miejsca odbioru. Dynamo zamienia energię wytworzoną przez silnik na prąd elektryczny, dopływający w odległe miejsce, gdzie ponownie silnik elektryczny zamienia wytworzony prąd na energię mechaniczną.

Książka ta omawia więc wyłącznie silniki cieplikowe, a więc motory spalinowe i wybuchowe oraz maszyny parowe od pierwszego momentu ich pojawienia się.

ROZDZIAŁ I

PIERWSZE KROKI

Istotę wszystkich maszyn cieplikowych stanowi zamiana ciepła powstającego przez spalanie jakiegokolwiek paliwa na energię mechaniczną.

Maszyna parowa daje więc swą moc zaczerpniętą z ciepła wytworzonego przy spalaniu węgla w palenisku kotłowym. W silniku wybuchowym spalająca się mieszanka par benzyny i powietrza w stanie sprężonym, ściśnięta w cylindrze i zapalona, wywołuje nagły wzrost ciśnienia na tłok, który pchnięty porusza korbowód i wprawia w ruch obrotowy wał korbowy, dając także w rezultacie zamianę ciepła na energię mechaniczną.

Patrząc na te niezliczone ilości silników, jakimi posługują się ludzie współcześni, trudno pojąć, jak ludzkość mogła przez setki i tysiące lat obchodzić się bez sztucznych źródeł energii mechanicznej. Zaledwie 250 lat dzieli nas od chwili, gdy w ogóle zaczęto się poważnie interesować ciepłem i domyślono się, że można w nim poszukać źródła mocy.

Przeszło 50.000 lat minęło od chwili, gdy nasi przodkowie w okresie czwartej epoki lodowej, kryjąc się przed zimnem w jaskiniach — osłaniając się skórami wełnistymi nosorożców, mamutów i całkowicie wybitych tygrysów, zrozumieli, że żar ogniska nie tylko może ich ogrzać, lecz nadto może stanowić zaporę przed dzikimi zwierzętami, wieczyście na nich czyhających i pragnącymi ich napaść. W jaki sposób wpadł pierwotny człowiek na sposób wzniecenia ognia, trudno dziś powiedzieć. Możliwe że przy krzesaniu lub obróbce pirytu twardym krzemieniem sypiące się na suche liście iskry same wznieciły tak pożądany ogień.

Zanim nastał okres, w którym narodziny pierwszej maszyny parowej mogły stać się aktualne, musiała ludzkość przebyć długi etap cywilizacyjny. Dziś wiemy z całą pewnością, że jeszcze w epoce budowy piramid na 3.700 lat przed naszą erą znane już były bite gościńce i proste maszyny pociągowe i dźwigowe. Starożytne Imperium Rzymskie posiadało wspaniałą sieć dróg bitych, ciągnących się

od Szkocji do Palestyny. Wzdłuż tych traktów cesarz Tyberiusz, przenosił się szybciej z Rzymu do brzegów Kanału, niż później podróżowano w połowie XIX stulecia.

W dziedzinie techniki wojskowej poczyniono w ubiegłych wiekach poważne postępy w budowie potężnych katapult i stalowych łuków, zastąpionych później muszkietami i armatami. Na sześć stuleci przed pojawieniem się maszyny parowej zdołali Wikingowie przeciąć Atlantyk, a więc wpierw nim nastąpiło właściwe odkrycie drogi na drugą półkulę przez Krzysztofa Kolumba (1492). W sześć lat później Vasco da Gama okrążywszy Przylądek Dobrej Nadziei wyznaczył nową drogę do Indyj.

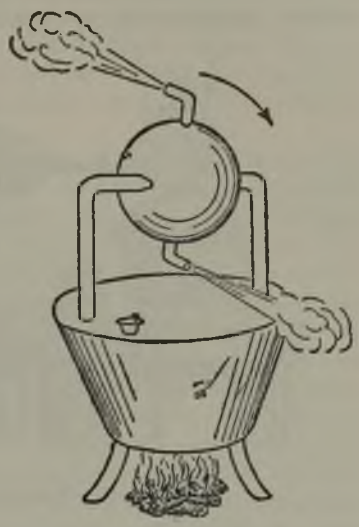
W ten sposób poczynania techników, bez względu na to czy szły po linii marynarki cywilnej, czy były natury militarnej — miały zawsze charakter zdobywczy. Rzymianie budowali swe słynne drogi w tym celu, by utrzymać w karbach Imperium, zdobywcy mórz — by powiększyć nowymi odkryciami rozmiary państwa. Codzienną pracę wykonywali na całym świecie bądź to niewolnicy, bądź ludzie żyjący w warunkach mało różniących się od niewoli. Nawet załogi statków potężnej Anglii do niedawna były obsadzane zniewolonymi do służby marynarzami.

Dopiero w siedemnastym stuleciu zaczęli uczeni zajmować się zagadnieniami naukowymi dla własnej satysfakcji. Na początku tego stulecia pojawia się mikroskop — później rtęciowy barometr. Newton zajmuje się prawami ciążenia a Harvey odkrywa istotę krążenia krwi. Logarytmy Napiera znajdują praktyczne zastosowanie do obliczeń nawigacyjnych. Rozpoczyna się wielka emigracja do Ameryki i budowa nowej ojczyzny. Pojawia się prasa codzienna, powstają wielkie banki państwowe. Słowem zaczyna się nowe, niezmiernie aktywne życie.

W roku 1698 zamyka się ten pierwszy okres uzyskaniem patentu przez Tomasza Savery'ego a zaczyna się nowa era zwana wiekiem pary. Początkowo nie zdawano sobie sprawy z doniosłości tego wydarzenia, zajmując się raczej fantastycznymi domysłami na temat, czy na Marsie żyją ludzie i czy rakietą można by się dostać na księżyc. Niemniej jednak można by to uznawać za oznakę, że maszyna parowa spełni w przyszłości nowe zadanie, ułatwi i ulży pracy.

Savery był na wskroś nowoczesnym człowiekiem. Zarówno jego przewidywania jak i jego następców: Newcom-

mena, Watta i Stephensona sięgały daleko w przyszłość. W kręgu zainteresowań tych pionierów leżały również zagadnienia natury gospodarczej. Oni właśnie budowali hale targowe, zakłady fabryczne, zajmowali się nawadnianiem pól, doprowadzali wodę do picia do miast, wreszcie umożliwiali transport towarów i pasażerów po błyszczących szynach. W odkryciu „parowego konia" przez Jamesa Watta kryje się także jego cały pogląd na świat. Zdaje on sobie dobrze z tego sprawę, że jego maszyna ma wyręczyć człowieka i zastąpić żywe konie i żagle na lądzie i na morzu.



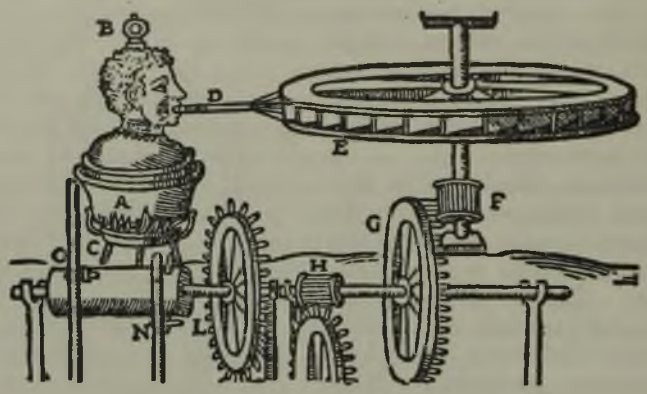
Rys. 1. Herona „Aeolipile".

Pierwsza wzmianka o możliwości zastosowania pary do wykonania pracy znajduje się w dziele Herona p. t. „Pneumatica". Heron, filozof żyjący w Aleksandrii w okresie narodzin Chrystusa, opisał kilka maszyn parowych. Najprostszą z nich miała być kula obracająca się na dwóch poziomych czopach, przez które dopływała para z poniżej ustawionego na ogniu kociołka. Para uchodziła przez dwie wygięte rurki, umocowane na obwodzie kuli w jednakowym odstępie, i powodowała ruch obrotowy. Maszynę tę nazwał on „aeolipile" rys. 1 wyobraża ją w chwili działania. Nie ulega kwestii, że maszyna tego rodzaju może działać i to tym silniej, im większe będzie ciśnienie w kotle. Czy jednak Heron zbudował choć jeden taki model, jak przedstawiono obok na rysunku — nic nie jest nam wiadome.

Przez następnych 14 stuleci nie słychać ani o pomysłach budowy maszyn parowych, ani nawet o jakiejkolwiek możliwości wyzyskania pary. Dopiero w r. 1615 architekt francuski Salomon de Caus proponuje sposób podnoszenia wody siłą pary. Miał to być kocioł z wstawioną do jego wnętrza rurą, sięgającą możliwie do dna i zakończoną za-

worem. Po napełnieniu kotła wodą i ustawieniu go na ogniu należało oczekiwać chwili, gdy ciśnienie pary wyraźnie wzrośnie. Pod wpływem tego wzrostu ciśnienia miał się zawór otworzyć i cała zawartość kotła unieść się przez rurę do góry.

W cztery lata później Giovanni Branka skonstruował turbinę parową, którą dziś nazwalibyśmy akcyjną. Koło tej turbiny przypomina w zupełności koło wodne, lecz umie-



Rys. 2. Turbina akcyjna Branca.

szczone na osi pionowej. Obok znajduje się kocioł, z którego strumień pary skierowany przez odpowiednio nastawioną rurkę uderza w łopatki koła. Ciekawą jest rzeczą, że od tej pory nie pojawiły się dalsze pomysły ani nowe odkrycia rozwijające ten temat i wszystko poszło w zapomnienie aż do 1884 r., kiedy słynny inżynier i konstruktor turbin parowych Charles Parsons wystąpił ze swą nową koncepcją.

Był jeszcze jeden wynalazca w tych dawnych czasach, a mianowicie: Edward Somerset, markiz of Worcester, który w roku 1655 napisał książkę pod tytułem „Wiek wynalazków". W książce tej opisał „wodno-ogniową maszynę". Z opisu tego wynikałoby, że mógłby on pretendować do pierwszeństwa w pomyśle podnoszenia wody na sposób opatentowany znacznie później przez uznanego za wynalazcę Tomasza Savery'ego, który uzyskał patent na swą

maszynę w 1698 r. Markiz of Worcester prowadził na dużą skalę swe doświadczenia w Vauxhall a w r. 1663 wystąpił z memoriałem do parlamentu, celem zabezpieczenia swych praw do wynalezionej przez się „maszyny napędzanej wodą". Z nikłych śladów dających pojęcie o tym wynalazku można raczej wywnioskować, że nie chodziło tu o maszynę parową a raczej o rodzaj perpetuum mobile.

Istotną zasługę stworzenia pierwszej maszyny, która jest wstępem do właściwych konstrukcyj, trzeba przypisać Tomaszowi Savery'emu, który w r. 1698 otrzymał patent na urządzenie do podnoszenia wody, przy pomocy energii czerpanej z ognia.

Chcąc mieć właściwy pogląd na usiłowania Savery'ego trzeba się cofnąć o pół stulecia wstecz, kiedy to jeszcze nie znano właściwości atmosfery i kiedy szereg badaczy dopiero starało się odkryć jej istotę. W tym to czasie Torricelli wynalazł i zbudował swój barometr rtęciowy, stwierdziwszy a następnie udowodniwszy, że atmosfera ziemska ma pokaźny ciężar. Otto von Guericke w jedenaście lat później mógł przeprowadzić szereg zdumiewających doświadczeń wykazując potężne działanie próżni. Wykonawszy cylinder o średnicy 15 cali i wysokości 20 cali, zaopatrzył go w szczelny tłok i pompkę do wypompowania powietrza. Po wypompowaniu powietrza 20 ludzi nie mogło ruszyć tłoka z miejsca. Inne doświadczenie zademonstrowane zgromadzonym jeszcze lepiej podziałało na wyobraźnię widzów; oto do tłoka przywieszono ciężar wagi 1200 kg a po wypompowaniu powietrza z cylindra przez małego chłopczynę, tłok wraz z ciężarem uniósł się do góry.

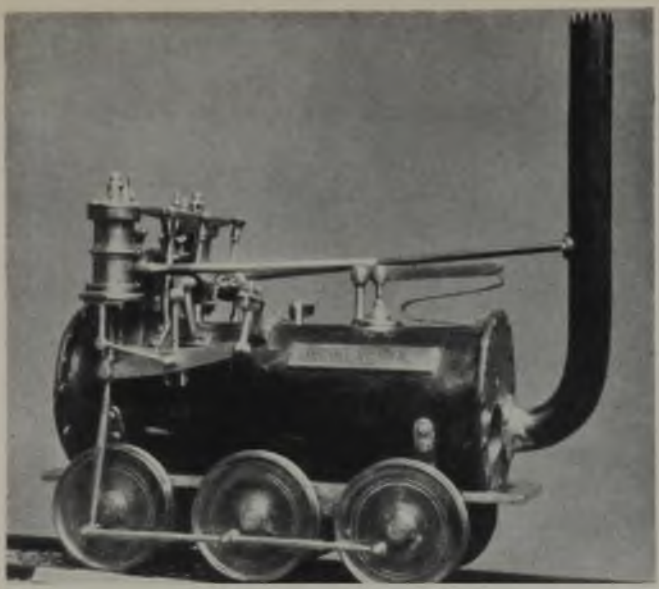
Te i inne odkrycia pobudziły Denisa Papina do opublikowania w r. 1690 pomysłu podnoszenia ciężarów przy pomocy próżni wytwarzanej przez skroploną parę. Papin używał cylindra odwróconego dnem na dół, w którym tkwił tłok obciążony przez blok ciężarem. Wpuszczał on przez mały korek umieszczony w tłoku nieznaczną ilość wody, nagrzewanej następnie na dnie cylindra żarem ogniska. Gdy para wytworzona przez ciepło cylindra zaczęła się wydobywać otworkiem w tłoku — Papin zamykał otworek korkiem metalowym i odsuwał ognisko od cylindra. Po jakimś czasie para wodna ostygała, skraplała się, w cylindrze powstawała próżnia i tłok opadał na dno ciągnąc za sobą pokaźny ciężar. Maszyna Papina nie była jednak użytecz-

ną z powodu niezmiernie wolnej kolejności ruchów. Mimo wszystko pomysł Papina jak i usiłowania jego poprzedników przyczyniły się wybitnie do rozwoju maszyny parowej i wytyczyły drogę przyszłym konstruktorom: Savery'emu, Nevcomenowi i Wattowi. Nie posiadając ani należytego doświadczenia, ani odpowiednich materiałów, pierwsi dwaj woleli budować swe maszyny opierając się na zjawisku próżni wytwarzanej przez parę, niż ryzykować wyższe ciśnienie pary jako źródło mocy. Papin swoimi doświadczeniami nad parą i klasycznym kociołkiem przyczynił się walnie do przyszłej budowy kotłów parowych, dzięki wymyślonej przez siebie konstrukcji zaworu bezpieczeństwa.

Na rys. 3 mamy przedstawiony schemat pompy opatentowanej przez Tomasza Savery'ego w r. 1698. Para wytwarza się w kotle i może być skierowana do umieszczonego obok zbiornika pełnego wody. Maszynista otwierając kurek parowy wpuszcza parę do zbiornika, która dzięki swemu ciśnieniu wypycha wodę przez górny odcinek rury. Dwa zawory samoczynne, otwierające się w jednym kierunku, zmuszają wodę nagromadzoną w zbiorniku i w rurze do ruchu wzwyż. W ten sposób część wody zostaje wyparta górą na zewnątrz. Gdy to się już stało, maszynista zamyka kurek parowy a otwiera kurek z zimną wodą, która strumieniem oblewa zbiornik i energicznie go chłodzi. W zbiorniku powstaje próżnia, wskutek skondensowania się resztek zawartej w nim pary. Ponieważ zawór zwrotny umieszczony w górnej rurze jest zamknięty, może się otworzyć tylko dolny zawór i nowy zapas wody wypełnia dolną część rury i zbiornik. W ten sposób przy pomocy działania pary można pompować wodę na znaczną wysokość.

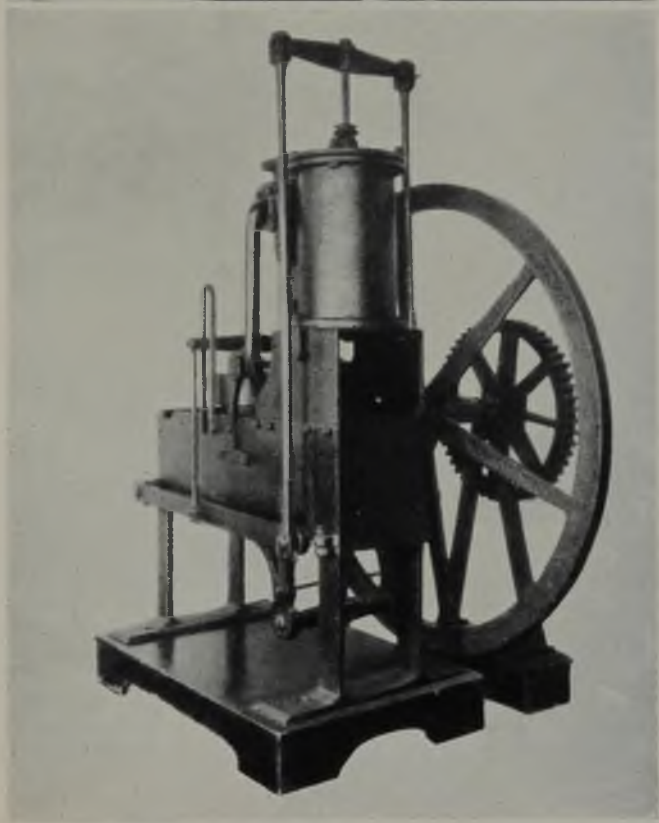
Savery po wykonaniu wielu pomp tego rodzaju wpadł w r. 1702 na nowy pomysł, polegający na zastosowaniu dwu zbiorników. Przy pomocy zaworu obrotowego można było na zmianę raz w jednym, to znowu w drugim wywoływać kolejno próżnie albo wytłaczać wodę. W ten sposób powstała pompa działająca bez przerw. Savery nie używał zaworów bezpieczeństwa i miał wiele trudności wskutek niedostatecznej wytrzymałości materiału, jakim się posługiwał.

Kotły jego były wyrabiane z miedzi a lutowane łatwo



The Royal George, 1826.

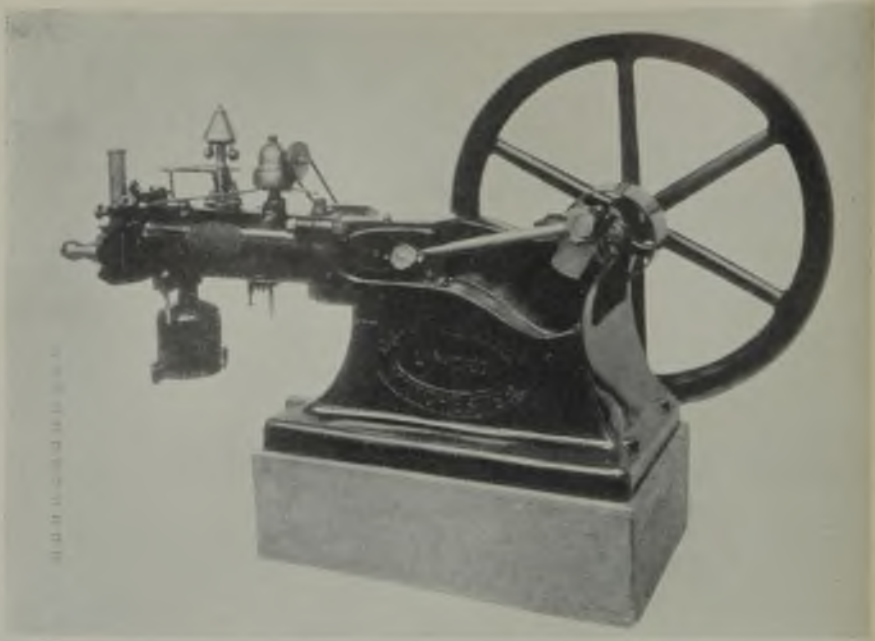
Model tego parowozu przechowywany jest w Science Museum. Ciekawe są sprzężenia trzech kół z każdej strony.

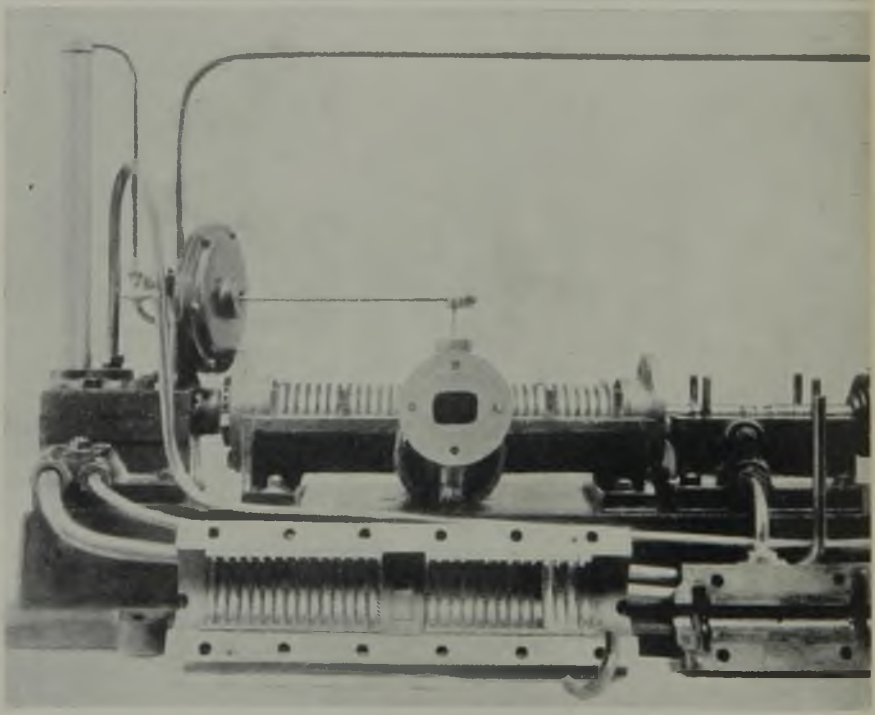


Maszyna parowa z parowozu „Comet" z r. 1812.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

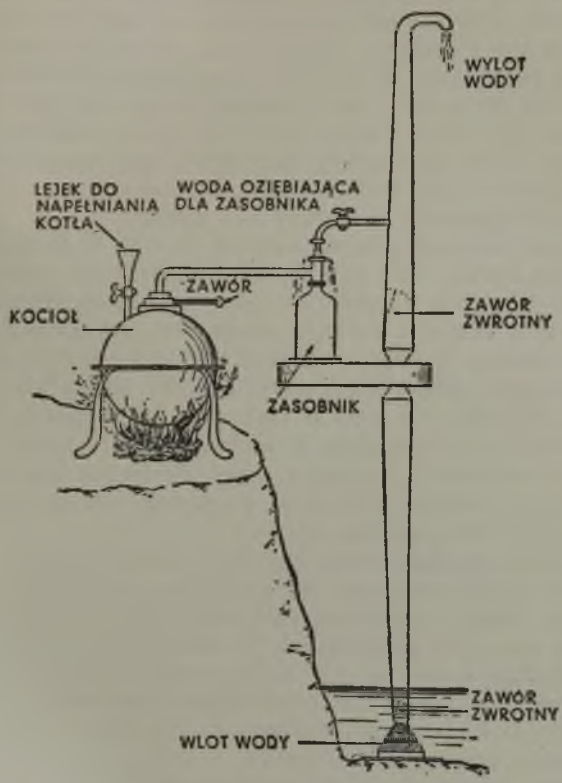
TABLICA 3.





U góry: Silnik Otto z r. 1888.
Na dole: Oryginalna turbina parowa Parsonsa z r. 1884.
Turbina ta pracowała w ciągu kilku lat. Posiada ona moc 5 K. M. przy 18.000 obrotów na minutę. Pokrywę zdjęto, by pokazać koła łopatkowe.

topliwą cyną. Zawory były wykonane z brązu a rury z drzewa. W ten sposób jego maszyna mogła jeszcze działać na małą skalę, gdy poziom na jaką podnoszono wodę nie przekraczał 60 stóp (około 18 metrów). Natomiast dwie próby



Rys. 3. Pompa Savery'ego.

zbudowania większych pomp, jednej dla pompowania wody z Tamizy a drugiej do osuszania kopalni skończyły się sprzedaniem maszyn na złom, zanim doszło do połączenia ich z kotłem.

Warto zaznaczyć, że w r. 1872 została wynaleziona przez C. H. Halla niezależnie od istniejącego już pomysłu nowa

pompa parowa, do dziś używana pod nazwą pulsometru, działająca również na podobnej zasadzie.

Następnym wynalazcą z szeregu twórców maszyny parowej jest Tomasz Newcomen, handlarz żelazem z Dartmouth, i szklarz wiejski John Cawley. Zbudowali oni maszynę parową atmosferyczną, nazwaną tak z tego powodu, że ciśnienie pary nie było wyższe od ciśnienia atmosferycznego a nadto i dlatego, że moc swą rozwijała ona dzięki ciśnieniu powietrza. W cylindrze wytwarzano bowiem próżnię przez skroplenie pary, wobec czego na tłok cisnęło powietrze wywołując jego ruch. Nie jest całkiem pewne, w którym roku Newcomen zbudował swą maszynę, jedni twierdzą, że był to rok 1705, inni, że dopiero w r. 1712 pojawił się ostatecznie pierwszy jej model.

Maszynę tę mamy przedstawioną na rys. 4. Znalazła ona też zastosowanie jako pompa do podnoszenia wody. Widzimy tu dźwignię wahadłową, posiadającą po stronie pompy pokaźny ciężar, którego zadaniem jest utrzymać tłok parowy zawsze w pozycji górnej. W tej pozycji maszynista wpuszcza pewną ilość pary z kotła do cylindra. Gdy cylinder wypełni się parą a tłok jest już w górze, maszynista zamyka dopływ pary a wtryskuje mały zasób zimnej wody, która oziębia i skrapla parę. Wskutek wytworzenia próżni pod tłokiem ciśnienie powietrza atmosferycznego spycha go w dół z wielką siłą.

Jak widać na załączonej ilustracji, zawór parowy i wodny musiał być poruszany ręcznie przez maszynistę. Wymagało to dużej zręczności, jeśli sobie uświadomimy, że ta pierwsza maszyna osiągała do 50 obrotów na minutę.

Opowiadają sobie, że w r. 1713 pewien chłopak imieniem Humphrey Potter, któremu powierzono operowanie zaworami, wymyślił konstrukcję złożoną ze sznurków i bloczków, poruszającą samoczynnie zawory.

Pierwszą rzeczą, na którą zwrócił uwagę Watt, było zauważenie strat pary na ogrzanie zimnego cylindra po poprzednim okresie ochłodzenia go do takiego stopnia, by para mogła podnieść tłok do góry. Te straty postanowił Watt usunąć i w tym celu cylinder okrył warstwą izolacyjną, zapobiegając w ten sposób ostyganiu, a następnie urządził osobny kondensator dla pary i dodatkową pompę do wypompowywania skroplonej pary i powietrza, które pojawiało się w kondensatorze po skropleniu pary. Wypró-

bował dwa typy kondensatorów. Jeden był tak urządzony, że parę oziębiał strumieniem zimnej wody, wtryskiwanym wprost na strumień pary, drugi składał się z rurek, do których dochodziła para z cylindra, lecz rurki te były zanurzone w wodzie. Woda nagrzewała się oziębiając parę, tę gorącą wodę z powrotem tłoczył Watt do kotła, zaoszczędzając uzyskane z powrotem ciepło.

Ten system obiegu pary, a więc z cylindra do oziębialnika czyli kondensatora i z powrotem do kotła, oraz zastosowanie pompy powietrznej, która usuwała powietrze, zachował się do dnia dzisiejszego w wielkich nawet urządzeniach parowych. Powierzchniowy kondensator, tak jak go wymyślił Watt w r. 1765, pozostał do dziś niemal w niezmienionej postaci we wszystkich instalacjach maszyn parowych okrętowych.

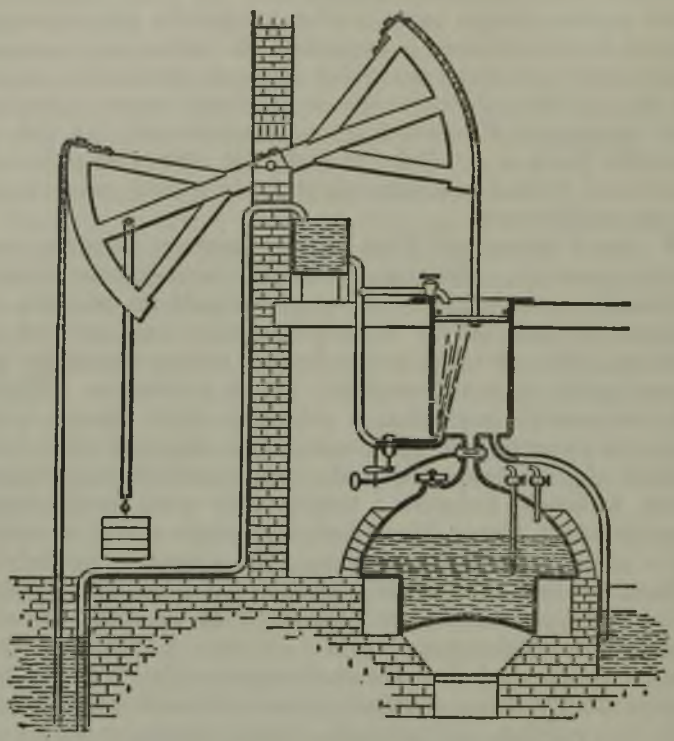
W roku 1769 wpadł Watt na inny jeszcze, bardziej znakomity pomysł. Obserwując stale zjawiska zachodzące w trakcie pracy maszyny parowej doszedł do wniosku, że błędem jest poruszanie tłoka przez cały czas pełnym ciśnieniem, jakie otrzymuje się z kotła, i wypuszczanie tej pary następnie do kondensatora lub w powietrze. Wpadł tedy na pomysł wyzyskania ukrytej mocy pary w jej zdolności rozprężania się. Zaczął więc dozować ilość pary i starał się, by para podnosiła tłok możliwie najmniejszą ilością świeżego ładunku i traciła cały swój zasób ciepła i energii aż do granic, kiedy będzie musiała ulecić w powietrze z siłą prężności nie większą niż ciśnienie powietrza.

Rezultat rachunkowy tej zmiany był wprost niewiarogodny. Gdy pierwsze jego maszyny (jak zresztą i Newcomena) były zjadaczami węgla i dawały 3,140 kilogramometrów pracy na jednostkę spalonego węgla — to ostatnie dawały 28,600 kgm, a zatem prawie dziesięć razy więcej. Było to wynikiem zastosowania pełnej ekspansji pary i oddzielnego kondensatora.

Pierwsze maszyny Watta były wyłącznie zastosowane do pompowania wody. Dopiero w r. 1781 opatentował on maszynę parową, w której praca tłoka przenosiła się na korbowód i koło zamachowe. Zamiast korby używał Watt przekładni zębatej planetowej. Ten skomplikowany mechanizm był wynikiem konieczności obejścia się bez korby, gdyż niejaki Pickard na parę lat przed tym opatentował przekładnię korbową i Watt nie mógł z nim dojść do

porozumienia. W tych czasach takie elementy jak tłok, korba, łącznik korbowy mogły podlegać opatentowaniu, gdyż nie były jeszcze tak powszechnie używane jak dziś.

W roku 1782 Watt zastosował w swych maszynach parowych dwustronne działanie, a więc para naciskała tłok tak z jednej jak z drugiej strony. Zaletą tego nowego pomysłu



Rys. 4. Maszyna parowa Newcomen'a.

było osiągnięcie większej równomierności w ruchu obrotowym maszyny, a nadto maszyna tej samej wielkości jako podwójnie działająca dawała dwa razy większą moc. Nie można odmówić także zasług pomocnikowi Watta, Murdockowi, który był twórcą suwaka parowego. Trzeba także dodać, że Watt zdawał sobie sprawę z wartości wysokiego ciśnienia pary, o czym wspomina w swych patentach, nie

mniej jednak nie odważył się posunąć wyżej jednej atm. w obawie o całość swych maszyn a jeszcze bardziej swych kotłów. W tych czasach nie umiano jeszcze wytwarzać tak mocnych materiałów ani spawać kotłów tak jak dziś i może to było słuszne, że Watt nie chciał narazić ludzi na katastrofy, co mogło nastąpić wskutek eksplozji. Wolał raczej pozostać przy niskich ciśnieniach niż zepsuć opinię maszynom parowym.

Inni historycy techniki twierdzą, że właściwie sam Newcomen wraz ze swymi pomocnikami wpadł na myśl zautomatyzowania ruchów zaworów i że historia o chłopcu została wymyślona, by pomniejszyć zasługi Newcomena. Ostatecznie samoczynne sterowanie maszyny parowej atmosferycznej zostało uproszczone i ulepszone w r. 1718 przez Henryka Beightona.

W chwili gdy James Watt opatentował w r. 1765 nową konstrukcję swej maszyny parowej, postęp w budowie maszyn, — chociaż już istniał niewątpliwie był tak nieznaczny, że Watt niewiele mógł skorzystać z doświadczeń swych poprzedników. Co prawda pierwsze maszyny parowe były wykonane z materiałów bardzo mało odpornych, cylindry były z brązu, kotły z blach miedzianych z pokrywami cynowymi. Pod koniec okresu maszyny atmosferycznej umiano już robić kotły z blach żelaznych, należycie łączonych nitami, a cylindry odlewano z żelaza.

Dalszym postępem na tej drodze było zastosowanie wiertarki do wytaczania wewnętrznych ścianek cylindra, dzięki pomysłowości Johna Smeatona, który w warsztatach Carron Ironwork wprowadził tę nową metodę. Dotychczasowe wykańczanie cylindrów przy pomocy pilników i skrobania ścianek dalekie było od dokładności niezbędnej. Wykańczanie cylindrów na wiertarce, przy użyciu wirującego ostrza, dawało tę przynajmniej gwarancję, że cały cylinder wewnątrz będzie jednakowo okrągły. Maszyny parowe Watta zawdzięczają również swe powodzenie fabryce Johna Wilkinsona, u niego bowiem były już odpowiednie maszyny z pomocą których zarówno dobrze można było wytoczyć cylinder od wewnątrz jak i obtoczyć tłok. możliwie szczelnie dopasowany do otworu cylindra.

Nie ulega wątpliwości, że James Watt był największym w szeregu wynalazców, którym zawdzięczamy powstanie maszyny parowej. Był on przyjęty jako wytrawny mecha-

nik przez uniwersytet w Glasgow, gdzie powierzono mu pieczę nad przyrządami doświadczalnymi, które miał naprawiać i konserwować.

W roku 1763 dostaje się do jego rąk model maszyny parowej Newcomena. Watt jest wprost zdumiony niezmierną ilością pary, jaką ta maszyna pochłania, jak i tą stratą ciepła, wywołaną koniecznością ostudzenia pary, dla osiągnięcia efektu pracy.

ROZDZIAŁ II

NASTĘPCY JAMESA WATTA

Z wygaśnięciem patentów Watta rozwój maszyn parowych poszedł szybko naprzód, gdyż w warunkach ówczesnych, bez naruszenia praw patentowych nie można było myśleć o zupełnie odmiennej konstrukcji.

W roku 1800 równocześnie dwaj budowniczowie maszyn parowych a mianowicie: Ryszard Trevithick w Anglii i Oliver Evans w Ameryce zaczęli stosować wysokie ciśnienie pary. Trevithick był współpracownikiem Bulla i pracował w Cornwall, a ponieważ Bull znał dobrze Watta i Boultona, nie były mu obce dotychczasowe wyniki usiłowań Watta. Bull skonstruował pompę parową, której cechą charakterystyczną był cylinder parowy umieszczony pionowo, nad pompą wodną. Wspólny trzon tłokowy stał się z czasem wzorem dla wielu starszych konstrukcji. Trevithick skonstruował nowy typ kotła parowego o zewnętrznej ściance cylindrycznej i umieszczonym wewnątrz palenisku. Ten typ kotła pod nazwą kotła Cornwalijskiego przetrwał wraz ze starymi maszynami parowymi do naszych czasów.

Do jakiego stopnia myśl twórcza u dwu różnych ludzi mogła iść równolegle, świadczy fakt zwrócenia przez obu budowniczych uwagi na możliwość użycia maszyny parowej do napędu wehikułów. W r. 1803 Trevithick buduje parowóz do przesuwania wagonów na trakcji konnej z huty Merthyr do portu w pobliżu Abercynon. Ten parowóz mógł pociągnąć ładunek 13 ton z szybkością 5 mil. ang. na godzinę, nie nadawał się jednak do eksploatacji w istniejących warunkach, gdyż szyny konnej kolei, były za słabe. Nieco później wynalazca wystawił na pokaz swój parowóz na niewielkim placu, tam gdzie dziś znajduje się dworzec Euston. Zwiedzający mogli za niewielką opłatą przejechać się tym parowozem po zamkniętym kole szyn.

Wspominając o parowozie Trevithicka musimy przypomnieć, że nie jest to pierwsza próba zastosowania pary do popędu wehikułów. W roku 1767, a więc w dwa lata po wybudowaniu pierwszej maszyny parowej przez Watta, Mikołaj Józef Cugnot w Paryżu wyzyskał ten po-

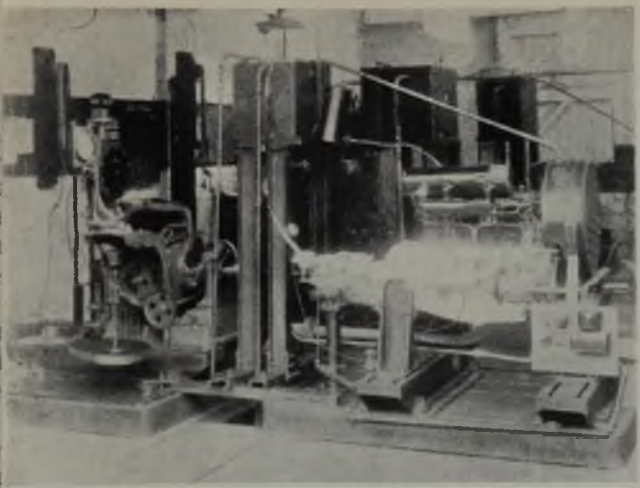
myśl w zastosowaniu go do napędu wozu. Był to zwyczajny wóz trójkołowy z wmontowanym na nim kotłem i maszyną parową, która wprost za pomocą korbowodu połączona była z kołem. Wóz ten w czasie próby uderzył w budynek i rozbił ścianę ulegając zniszczeniu. Następnie wynalazca poparty przez władze wojskowe zbudował jeszcze jeden typ wozu parowego, a mianowicie do transportu dział, wagi $4^1/_2$ tony. Typ ten przechował się do dziś w Paryżu.

Dotychczas opisane maszyny parowe działały na bardzo prostej zasadzie. Para uchodząca z kotła poruszała tłok w zamkniętym cylindrze i uchodziła albo wprost w powietrze, albo do kondensatora.

W r. 1781 Jonatan Hornblower zrealizował ideę „sprzężenia" czyli z angielska „compouding", polegającą na wielokrotnym a raczej stopniowym rozprężaniu pary w kilku cylindrach. Maszyna sprzężona dwustopniowa działa pod wpływem pary o wysokim ciśnieniu, wpływającej najpierw do mniejszego cylindra. Opuszczając ten cylinder przechodzi ona do drugiego cylindra przy ciśnieniu zmniejszonym do 1/6 pierwotnego ciśnienia, jakie panuje w kotle, i tu, w drugim znacznie większym cylindrze wykonując pracę, traci swe ciśnienie do granicy ciśnienia atmosferycznego, względnie do jeszcze niższego, o ile przechodzi do kondensatora. Tego rodzaju maszyny parowe mają dwie zasadnicze zalety: 1) siły działają nieustannie, 2) nadto nie ma zbyt wielkich przeskoków w temperaturze, gdyż praca odbywa się w dwu cylindrach, gdy w jednym cylindrze jest stale wyższa temperatura to w drugim niższa do panującego wewnątrz ciśnienia, co ma duży wpływ na ekonomię pracy.

Hornblower został zaatakowany przez Boultona i Watta za naruszenie ich praw patentowych dotyczących kondensacji, lecz zanim uzyskali oni legalną drogą należną im satysfakcję, tymczasem ich maszyna niskiego ciśnienia zdobyła sobie całkowicie rynek zbytu. Wolf w roku 1814 powrócił do konstrukcji maszyny dwustopniowej i stwierdził ponad wszelką wątpliwość jej wyższość i zalety.

Cała ta rzecz w praktyce nie miała na razie znaczenia. W tych bowiem czasach wyżej ceniono sobie maszyny parowe o wysokim ciśnieniu jednostopniowe niż dwustopniowe z tej prostej przyczyny, że zwiększenie się części mechanicznych pociągało za sobą komplikację konstrukcji,

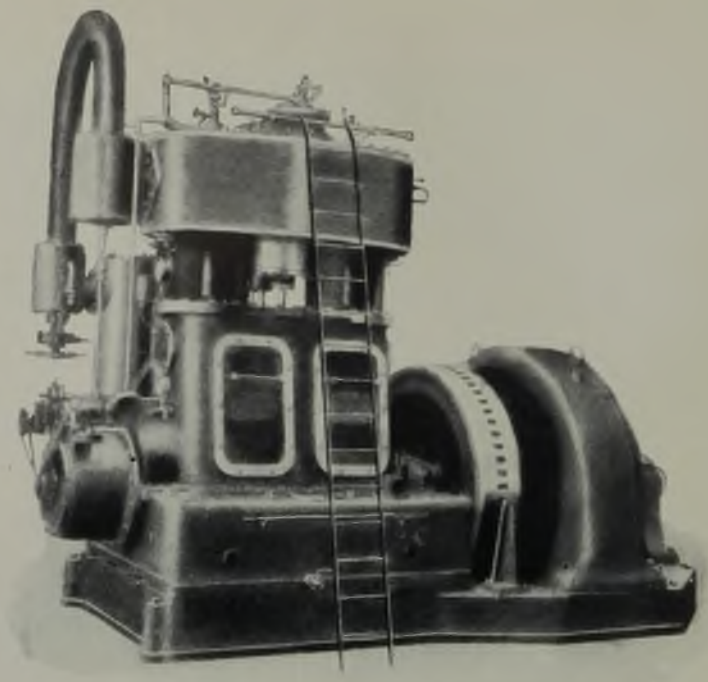


Hydrauliczny dynamometr Froude'a

Po prawej ręce widoczny silnik poddany badaniu, z lewej strony dynamometr włączony do motoru.

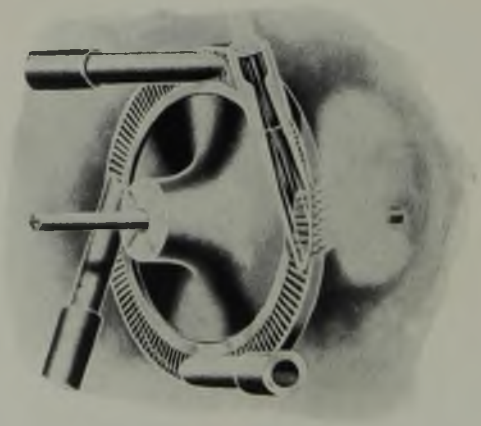
Wagon kolejowy przystosowany do badań dynamometrycznych.

Siłę pociągową parowozu notuje samoczynnie przyrząd piszący na taśmie papieru.



Sprzężona maszyna parowa stojąca.

Typ współczesnej maszyny parowej, używanej do napędu elektrycznego. Maszyny tego typu są stosowane w małych elektrowniach.



Działanie koła łopatkowego turbiny de Lavala.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA GIW

symplicyzm jej natomiast zapewniał większą sprawność ruchu. Niezwykłym pomysłem w roku 1845 obudził na nowo zainteresowanie do maszyn o podwójnej ekspansji wynalazca imieniem M'Naught. Podał on mianowicie sposób, w jaki należy przerabiać stare maszyny parowe o pojedynczej ekspansji na znacznie mocniejsze. Sposób jego polegał na tym, że M'Naught wstawiał kocioł o wyższej wytrzymałości na ciśnienie i dodawał cylinder wysokiego ciśnienia na tym samym wale korbowym, lecz po przeciwnej stronie już istniejącego cylindra o poprzednim niskim ciśnieniu. Para z cylindra o wysokim ciśnieniu po oddaniu części swej energii przepływała do cylindra o niskim ciśnieniu. Tego rodzaju przeróbka w wielu wypadkach mogła okazać się pożyteczną i nie tylko wzmagała moc maszyny parowej, lecz dawała i większą ekonomię pary.

W pięć lat później stosowano już maszyny parowe o podwójnej ekspansji do pomp wodociągowych a w r. 1854 John Elder odważył się zastosować tego rodzaju maszyny parowe na statkach i okrętach. Dalszym postępem na tej drodze było zastosowanie przez E. A. Cowpera w trzy lata później tak zwanego „resiwera" (receiver), tj. zbiornika parowego między obu cylindrami. Rola tego naczynia polegała na tym, że para uchodząc z jednego cylindra, zanim przejdzie do cylindra o niskim ciśnieniu, mogła przeczekać w tym zbiorniku. Pozwalało to na odmienne położenie korb obu cylindrów, co znowu miało tę zaletę, że maszyna parowa ma bieg spokojniejszy.

W miarę zwiększania ciśnienia pary w kotłach, co stało się możliwe dzięki coraz większej umiejętności budowy kotłów wytrzymujących bez ryzyka wysokie ciśnienia, zaczęto od r. 1875 stosować wielokrotną ekspansję a więc trzy i czterokrotną. Tego rodzaju maszyny parowe znalazły uznanie w marynarce.

Niezależnie od tych osiągnięć pracowano nad ulepszeniem maszyn zwrotnych, mogących działać w obie strony, maszyn niezbędnych zarówno na parowozach, okrętach jak i w windach kopalnianych. Tu zależało na szybkości obrotów, pewności ruchu, wytrzymałości na przegrzanie, wobec stosowania coraz wyższych ciśnień i temperatur pary. Od r. 1880 maszyny parowe szybkobieżne stają się niezbędne w elektrowniach do napędu dynamomaszyn, ma to ten wpływ, że obok budowniczych maszyn parowych zaczyna-

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

ją się zagadnieniami termodynamiki interesować teoretycy, których prace wiele przyczyniły się do praktycznych rozwiązań. W związku ze zwiększeniem obrotów maszyn parowych wyłoniły się nowe zagadnienia a mianowicie: zrównoważenie szybko wirujących mas i należyte smarowanie pod wysokim ciśnieniem, zapewniające dopływ oliwy do najbardziej narażonych na tarcie części maszyny. Duże zasługi na tym polu położył Piotr William Willans.

Omawiając przegląd postępu samej maszyny parowej wrócimy do skreślenia usiłowań w dziedzinie budowy parowozów. Po pierwszych próbach Trevithicka zjawia się na horyzoncie Blenkinsop, którego parowóz został zaopatrzony w koło zębate, czepiające się szyny zazębionej, a to celem osiągnięcia posuwu. Blenkinsop wyobrażał sobie, że gładkie koła nie będą mogły posuwać parowozu po wypolerowanych szynach, mniemając, że cała praca tych kół zamieni się na poślizg. Parowóz wykonany przez niego znalazł zastosowanie w r. 1812 w Leeds i woził tam węgiel przez kilka lat, był więc naprawdę pierwszym parowozem zastosowanym w regularnej pracy. W następnych latach pojawiło się jeszcze kilka parowozów, przy czym jeden z oryginalniejszych, zwany „Puffing Billy", zachował się do dziś w muzeum w South Kensington. Wreszcie na widownię występuje w roku 1814 z pierwszym modelem swego parowozu Georg Stephenson.

Po Stephensonie wymienić należy Tymoteusza Hackwortha, którego konstrukcja parowozu z r. 1827 nadała już zdecydowany kierunek budowniczym lokomotyw. Hackworth jest twórcą właściwego rozmieszczenia cylindrów po obu stronach kotła a zarazem twórcą sprzężenia trzech par kół w sposób, jaki zachował się do dziś. Jego konstrukcja, nazwana „The Royal George", jest już zwiastunem nowej ery (patrz ilustr. na tablicy 2).

W czasie słynnej próby parowozów w roku 1829 w październiku w miejscowości Redhill pokazało się, że jest już wiele parowozów czynnych od lat kilku. Posiadały one jednak małą stosunkową szybkość, maszyny parowe wolnoobrotowe dostosowane były wyłącznie do transportu węgla i minerałów. Parowozy te były brudne, hałaśliwe a moc ich była stosunkowo nieznaczna. Natomiast wagony przeznaczone do transportu osób były wygodne, nadające się całkiem dobrze do podróży. Warto też zaznaczyć, że pa-

rowóz Stephensona „Rakieta" był tak urządzony, by parę wydmuchową można było zużytkować do ogrzewania wagonów. Cylindry tego parowozu były ukośnie ustawione, co było nowym eksperymentem. Była to pierwsza maszyna parowa z kotłem o wielu rurkach a to znacznie wpłynęło na podniesienie jej wydajności. W późniejszym czasie dorobiono do niej urządzenie zwrotne, pozwalające na wygodne manewrowanie parowozem w obie strony. W czasie próby oficjalnej parowóz Stephensona osiągnął szybkość 29 mil na godzinę (46,4 km na godz.), co było już znacznym postępem w stosunku do trakcji konnej. W czasie uroczystego otwarcia pierwszej linii kolejowej Liverpool — Manchester parowóz ten osiągnął na krótkiej co prawda przestrzeni 11 mil ang. szybkość wynoszącą 36 mil na godz. (57,6 km/godz). Była to smutna konieczność, która jednak miała tę dobrą stronę, że zwróciła uwagę na dalsze możliwości wyzyskania pary. Słynna „Rakieta" pracowała do roku 1844 i w ciągu swego długiego żywota osiągnęła jeszcze szybkość dochodzącą do 53 mil na godz. (84,8 km/godz.)

Postępy maszyny parowej w służbie na wodzie nie są tak szybkie jak na lądzie. Można było użyć do napędu statków już w tych czasach maszyn parowych stałych, takich jakich się używało na lądzie do napędu fabryk, łącząc je bezpośrednio od wału korbowego z kołami łopatkowymi. Jeziora i rzeki dzięki swej gładkiej powierzchni i możliwości wytknięcia prostej drogi nie wymagają kosztownych wkładów na niwelację i nawierzchnię, tak jak drogi lądowe. A jednak odwieczne i niczym nie zwalczone zamiłowanie do trakcji konnej na drogach stało się nieprzezwyciężoną przeszkodą już przy pierwszych konstrukcjach i pomysłach trakcji mechanicznej.

W r. 1801 Wiliam Symigton, zatrudniony jako inżynier u lorda Dundasa, gubernatora Clyde Canal Company, zaproponował budowę parowca do holowania statków przez kanał. Ten parowczyk, nazwany imieniem „Charlotte Dundas", został wykończony w r. 1802. Posiadał on leżącą maszynę parową bezpośrednio złączoną z kołami łopatkowymi a umieszczoną w pośrodku korpusu.

Jak się okazało, ten mały holownik mógł pociągnąć dwie barki o wyporności po 70 ton każda i to z szybkością $19^1/_2$ mili morskiej na godzinę przy wietrze czołowym. Jakkolwiek próba wypadła dobrze, wskutek obaw, że fale wodne,

od łopatkowych kół idące, mogą naruszyć brzegi kanału, zaniechano dalszych prób. Wielki budowniczy kanału Duke of Gridkewater który był obecny przy tych próbach, zachwycony wynikiem polecił wynalazcy zbudować osiem podobnych łodzi parowych. Niestety z wielką szkodą dla Symingtona Duke zmarł przed rozpoczęciem budowy tej pierwszej serii statków parowych.

Przy tej historycznej próbie był też obecny Robert Fulton, Amerykanin z pochodzenia, który postanowił znakomity pomysł przeszczepić w rodzinnym kraju, mając na oku potężne i niemiernie długie rzeki amerykańskie. Rozpoczął swe doświadczenia na Sekwanie w Paryżu w r. 1803 i zaofiarował swój pomysł Napoleonowi I, lecz ten nie sądził, by tego rodzaju pomysł parowego statku mógł się na coś przydać. Nie zrażony tym Fulton powróciwszy do Ameryki zamówił maszynę parową u Watta a resztę sam skonstruował i tak zbudował łódź parową, ochrzczoną imieniem „Clermont". Łódź była wiosną roku 1807 gotową. Parowiec ten posiadał 139 stóp długości (około 42 m), był wyposażony w łopatkowe koła po obu stronach korpusu a niezależnie od tego posiadał jak dawne okręty olinowanie i żagle.

Pierwszą podróż, którą odbył ten statek po rzece z Nowego Jorku do Albany, trwała 32 godziny na przestrzeni 150 mil a tylko trzydzieści godzin z powrotem z biegiem rzeki. Od września tegoż roku statek zaczął pełnić regularną służbę między tymi dwoma miastami, osiągając pełne powodzenie finansowe. Powodzenie tego pierwszego eksperymentu stało się fundamentem parowej marynarki amerykańskiej.

W Europie dopiero w roku 1812 wznowił próby i osiągnął powodzenie ze statkami parowymi Henry Bell, budując statek nazwany „Comet", przeznaczony do podróży po rzece Clyde. Statek ten posiadał długość 40 stóp i szerokość 10 stóp a był przeznaczony do transportu podróżnych między miastami Glasgow i Greenock. Moc jego maszyny parowej wynosiła zaledwie 4 konie parowe. Od tej chwili budowa statków postępowała nieustannie i niezmienne, Wystarczy uświadomić sobie, że współczesna „Queen Mary" ma długość 1018 stóp (305 m), szerokość 118 a moc maszyn parowych przeszło 200.000.

W roku 1815 został zbudowany wreszcie większy statek

parowy „Caledonia", który odważył się przekroczyć Atlantyk. W dwa lata później James Watt (junior) zakupił go i wstawił mu dwie nowe maszyny parowe po 14 koni. Statek ten kursował stale do Holandii osiągając szybkość $7^1/_2$ węzła na godzinę.

Ostatnie dziesiątki lat ubiegłego wieku przyniosły ludzkości dwa doniosłe wynalazki, które gruntownie zmieniły sposób podróżowania człowieka. Jednym z nich jest wynalezienie silnika spalinowego, drugim — udoskonalenie maszyny parowej, a przypadło ono w okresie lat 50 ubiegłego stulecia.

Silnik spalinowy mimo wszystko góruje nad maszyną parową, dzięki swym właściwościom. Nie potrzebuje on kotła, nie posiada paleniska, które zawsze jest groźnym źródłem pożarów, szczególnie na okrętach, a co równie bardzo jest ważne przy tych silnikach, nie ma się do czynienia z wiecznie smolącym węglem i sadzą kominową.

Największą jednak zaletą silników spalinowych jest całkowity ich automatyzm. Wybuchy i płomień w cylindrach następują same bez pomocy palacza. Nie potrzebują one też maszynisty i mogą całymi godzinami pracować bez najmniejszego dozoru a nawet w nieobecności człowieka, mogą się same wprawić w ruch i w razie potrzeby zatrzymać.

Nieustanny postęp, trwający od pół wieku w budowie tych silników spalinowych doprowadził do tego, że silnik ten opanował wszelkie dziedziny życia, wszedł do wszystkich środków komunikacyjnych i spełnia pracę na wszystkich polach produkcji i przetwórstwa.

Począwszy od najmniejszego silniczka jednokonnego, przeczepianego do kajaka, aż do potężnych kolosów napędzających transatlantyckie statki („Batory", „Piłsudski") zawładnął komunikacją wodną. Od najmniejszego silniczka wbudowanego w koło rowerowe aż do potężnych ciągówek wlokących 20-tonowe wozy, traktory i najszybsze samochody wyścigowe, silnik spalinowy zapanował na wszystkich bitych szlakach. W różnych częściach świata bezustannie krąży przeszło 24 miliony wehikułów wyposażonych w silniki wybuchowe. Rolnik w Ameryce i w Europie posiłkuje się bądź to traktorem do orki, bądź małym przenośnym silnikiem benzynowym do młócenia zboża i innych robót gospodarskich. Wreszcie silnik spalinowy umożliwił narodzenie się lotnictwa i pojawienie się łodzi podwod-

nych. Zarówno w pokoju jak i w czasie wojny silnik spalinowy podniósł aktywność ludzką w nieznany dotychczas sposób. Stał się on największym czynnikiem oddziaływującym na nasze życie, trudno nam jednak dotychczas z całą pewnością powiedzieć, czy stał się czynnikiem dobrym czy złym.

Turbiny parowe weszły w użycie dzięki odmiennym właściwościom. Posiadają one znaczną szybkość obrotową, wolne są od wahań, nie dających się usunąć przy maszynach zwrotnych z tłokiem i korbowodem, nie posiadają wibracyj, co razem wziąwszy przesądziło ich wysoką użyteczność dla wytwarzania prądu elektrycznego. Okazało się, że mogą one być budowane w jednostkach tak wielkich, na jakie już nie można zdobyć się przy konstruowaniu maszyn parowych ze względu na wymiary tłoków i wewnętrznych oporów. Ujemną ich stroną jest natomiast niemożliwość przestawienia ich na wsteczny kierunek i zmniejszenia ich szybkości obrotowej.

Dzięki swej olbrzymiej lecz stałej szybkości turbiny parowe znajdują zastosowanie niemal wyłącznie w dużych elektrowniach. W połączeniu z generatorami elektrycznymi, jako tzw. turbogeneratory, mogą być budowane do rozmiarów sięgających jak dotychczas do 105,000 kilowatów (140.700 koni mechanicznych).

Powoli turbiny parowe zaczynają wchodzić w użycie na bardzo wielkich transatlantykach. Wielki statek „Normandie" posiada turbiny parowe o łącznej mocy wynoszącej 160.000 koni przeniesionych na śruby okrętowe.

Pojawienie się silnika spalinowego nastąpiło w chwili, gdy świat cały tonął w zawierusze politycznej i wojennej. W r. 1860 Francuz J. Lenoir zgłosił swój patent na silnik spalinowy. Chcąc mieć pojęcie, w jak nie sprzyjających warunkach dokonały się narodziny wynalazku, który opanował naszą erę, dość wspomnieć, że Anglia toczyła wojnę o Krym z Rosją, że w tych czasach staczano boje o panowanie nad Indiami przed włączeniem ich do Imperium Brytyjskiego. We Włoszech Garibaldi opanował Neapol i osadził na tronie zjednoczonych Włoch Wiktora Emanuela. W Stanach Zjednoczonych toczyła się bratobójcza walka o zniesienie niewolnictwa.

A jednak poprzez tę zawieruchę polityczną przedarła się wiadomość kablowa o zwycięskim pokonaniu oceanu przez

ówczesny potężny okręt pasażerski, „Great Eastern". Świat zaczynał pojmować, że osiągnięcia techniczne znaczą nie mniej niż wielkie zmagania polityczne. W tych smutnych czasach narodził się silnik Lenoira, niczym nie zapowiadający narodzin samochodu i samolotu.

Silnik Lenoira różnił się znacznie od dzisiejszego, przypominał raczej przerobioną maszynę parową niż silnik spalinowy. Zamiast zaworów posiadał on suwak jak w maszynie parowej, przez który dostawała się mieszanina gazu świetlnego i powietrza, zapalana zaraz na wstępie od iskry elektrycznej. Ponieważ silnik ten nie posiadał wstępnej kompresji, moc jego była nikła. Niemniej jednak wynalazek był realny.

Silnik Lenoira działał jako dwutakt. Właściwe odkrycie współczesnego silnika czterotaktowego przypada w udziale Beau de Rochas, który w roku 1862 ustalił teorię działania czterotaktu. Zdawał on sobie dokładnie sprawę z tego że najkorzystniejszą moc otrzyma się, gdy w silniku odbędą się następujące cztery cykle: 1) nassanie mieszanki, 2) sprężenie mieszanki gazu i powietrza, 3) powstanie wybuchu i okresu pracy pod wpływem rozprężających się gorących gazów spalenia i wreszcie 4) wydech spalin dla oczyszczenia cylindra.

Niezależnie od teoretycznego odkrycia praw, pod jakimi silnik spalinowy może pracować, ciągle jeszcze budowano różne małe silniki spalinowe według wzorów Lenoira. Dopiero w roku 1878 zasada działania silnika według teorii Beau de Rochas weszła praktycznie w użycie. W tym bowiem roku opatentował dr N. A. Otto swój silnik istotnie oparty na zasadzie czterotaktu. Jakkolwiek silnik ten bardzo różnił się swą budową od dzisiejszych silników spalinowych, niemniej jednak pracował na tej samej zasadzie tak że de Rochas miał rację proponując czterotakt, dający znacznie mniejsze zużycie gazu świetlnego na konia i godzinę. Gdy w silniku Lenoira zużycie dochodziło do 96 stóp ang. gazu, w silniku Otta zużycie spadło na konia i godzinę do 25 stóp.

W r. 1884 Gotlieb Daimler wbudował silnik benzynowy do roweru. Później zastosował silnik benzynowy do czterokołowego wozu. W roku 1881 Dugald Clerk wpadł na pomysł zbudowania silnika dwutaktowego a raczej dwusuwowego, z zachowaniem zasady czterotaktu. Dwa cykle

odbywały się w silniku i cylindrze po górnej stronie tłoka a osobna pompa dostarczała mieszanki. Silnik dwusuwowy w ostatnich latach, po licznych poprawkach i udoskonaleniach, zaczyna wchodzić w użycie na równi z silnikiem czterosuwowym, nie tylko dla małych mocy, lecz, co ciekawsze, jako wielkie jednostki dla napędu statków morskich. Modernizację silnika dwusuwowego w którym sprężanie wstępne i przygotowanie mieszanki odbywa się po stronie karteru, zawdzięczamy pomysłowi dwu wynalazców J. Dayowi i F. W. C. Cockowi, którzy tę nową myśl konstrukcyjną wprowadzili w czyn w r. 1891. Tego typu silniki, jako dające się wykonać w najmniejszej postaci i w najmniejszych rozmiarach znajdują dziś powszechne zastosowanie w małych motocyklach a także jako motorki do napędu kajaków. Największym jednak konstruktorem w dziedzinie silników spalinowych jest bezsprzecznie dr R. Diesel, twórca motoru noszącego jego nazwisko. W r. 1892 Diesel postanowił skonstruować według swego projektu silnik mogący pracować pyłem węgla, doprowadzanym do wnętrza cylindra i zapalanym od ciepła rozgrzanego powietrza do takiego stopnia, by węgiel mógł zapłonąć. Gdy jednak w praktyce ten pomysł nie dał się zrealizować, Diesel zwrócił uwagę na tańsze ciężkie paliwa, nie mające zastosowania do napędu silników. Silniki spalinowe oparte na zasadzie Diesla są dziś budowane w możliwie największych rozmiarach. Tak np. w elektrowni miejskiej w Kopenhadze znajduje się silnik wykonany przez firmę Burmeister & Wain o mocy 22.500 koni. Jest to największy jak dotychczas silnik pracujący według zasady Diesla. Największy silnik spalinowy typu Diesla zbudowany w Anglii znajduje się na okręcie motorowym „Stirling Castle". Moc jego wynosi 12.000 koni i dwa takie silniki razem sprzężone napędzają śruby okrętu.

Największą zdobyczą w historii rozwoju silników wybuchowych było zastosowanie silnika czterocylindrowego według własnego projektu do pierwszego samolotu Orville Wright i jego brata. W dniu 17 grudnia 1903 r. dokonany został pierwszy lot dzięki temu silnikowi.

W roku 1911 W. S. Still podjął się doświadczeń nad nowym silnikiem; jest on kombinacją maszyny parowej i silnika wybuchowego. Silnik jego jest przeznaczony zarówno do stałej pracy fabrycznej jak i do napędu statków. Jest to dwutaktowy Diesel działający po jednej stronie tłoka,

po drugiej zaś stronie tłoka odbywa się działanie maszyny parowej. Jak wiadomo, w silnikach spalinowych olbrzymie ilości ciepła muszą być usuwane przez krążącą i specjalnie chłodzoną wodę. W tym silniku ciepło krążącej wody wyzyskano do nagrzewania wody aż do wrzenia, która następnie pod wpływem ciepła rury wylotowej zamienia się ostatecznie na parę niezbędną do napędu drugiej strony silnika.

Wspominaliśmy już, że Heron Aleksandryjski marzył już o czymś, co można by nazwać turbiną parową sprzed 2000 lat. Branca w roku 1628 podał konstrukcję maszyny wydmuchującej parę na łopatki, lecz o tak małej mocy, że mogła ledwie służyć do obracania rożna. Prawdziwe jednak odkrycie turbiny parowej nastąpiło na innej drodze i to dopiero pod koniec ubiegłego stulecia. Wielkość tego odkrycia polega na całkiem rewolucyjnej myśli konstruktora, który pozbywa się tłoka, łączników korbowych i wału wykorbionego a przechodzi do typu maszyny wyraźnie rotacyjnej, bez wstępnych ruchów posuwistych.

Największą trudność, jaką mieli konstruktorzy turbin parowych do pokonania, była niesamowita ilość obrotów, która uniemożliwiała praktyczne zastosowanie takiej maszyny parowej.

W roku 1884 Charles Parsons zbudował pierwszą turbinę parową, przechowaną obecnie w muzeum South Kensington jako cenny zabytek historyczny. Dawała ona moc 5 koni parowych przy 18.000 obrotów na minutę i była bezpośrednio sprzęgniętą z dynamomaszyną do wytwarzania prądu. W trzy lata później Parsons zademonstrował swój wynalazek publicznie na wystawie z okazji królewskiego jubileuszu w Newcastle-on-Tyne. Z powodu swej niezwykłej ilości obrotów, pokaźnych rozmiarów i nadmiernego zużycia pary, mimo niewątpliwego powodzenia turbina ta uważana była wówczas za techniczną zabawkę, bez wartości praktycznej.

W roku 1892 Parsons wystąpił z nową konstrukcją turbiny z kondensatorem a w dwa lata później seria jego turbin parowych zaczęła poważnie konkurować z normalnymi maszynami parowymi. Szybkoobrotowe turbiny wywołały konieczność budowy szybko wirujących dynamomaszyn. Od tej pory zespoły turbogeneratorowe weszły w użycie na stałe tam, gdzie chodzi o największe jednostki.

Opanowawszy trudności przy budowie turbin lądowych, postanowił Parsons zdobyć dla swych maszyn morza. W tym celu buduje w r. 1897 statek eksperymentalny „Turbina". Ten mały stateczek o długości zaledwie 100 stóp i szerokości 9 został wyposażony w potężną turbinę o mocy 2.100 koni. Statek zdobywa dziesięć rekordów szybkości, osiągając 34 węzłów na godzinę. Zaczyna się stosowanie turbin do okrętów wojennych. Otrzymują więc turbiny okręty Viper i Cobra. W roku 1905 odbywa się sławna próba wyścigu między krążownikami „Ametyst" wyposażonym w turbiny i „Topaz" posiadającym maszyny parowe. Próba ta decyduje o przewadze turbin na okrętach wojennych. Następują lata eksperymentowania z zastosowaniem przekładni zębatej pomiędzy turbiną a śrubą okrętową. Turbina pracuje dobrze tylko przy najwyższych swych obrotach, śruba natomiast okrętowa musi zachować swoiste swe obroty ściśle w związku z właściwościami oporu wody. Wprowadzenie pośrednika w postaci przekładni zębatej daje możność dostosowania najlepszych obrotów tak dla turbiny jak i dla śruby okrętowej.

W następnych latach wchodzi w użycie zamiast przekładni zębatej prąd elektryczny. Turbina sprzężona z dynamomaszyną zajmuje się wyłącznie wytwarzaniem prądu, który dostawszy się do motorów elektrycznych bezpośrednio sprzężonych z śrubami okrętowymi, nadaje tym śrubom bieg i obroty właściwe. Taki właśnie system przekładni pośredniej przez prąd zastosowano do napędu francuskiej „Normandie". Transatlantyk „Queen Mary" posiada napęd z przekładnią zębatą.

Niezależnie i w niedługim czasie po pierwszych poczynaniach Parsonsa występuje inny konstruktor na widownie. Jest to dr Gustaw de Laval, budujący w roku 1889 swą turbinę akcyjną. Wskutek tej zasady działania bezpośredniego uderzenia pary na łopatki, posiada ta turbina fantastyczną ilość obrotów powyżej 30.000 na minutę. Z tego powodu nie znalazła ona szerszego zastosowania, a zakres jej działania nie przekroczył małych jednostek z zastosowaniem do nielicznych wypadków.

ROZDZIAŁ III

CIEPŁO, PARA I SIŁA

Chcąc się zaznajomić z maszyną parową lub chcąc mieć z nią do czynienia trzeba coś niecoś wiedzieć o istocie ciepła, pary i mocy.

Ciepło i energia mogą się wzajemnie zastępować z zachowaniem stałego niezmiennego wzajemnego stosunku. Ciepło można zamienić na energię i odwrotnie energię można zamienić na ciepło. Wiadomą jest rzeczą, że ilość ciepła niezbędna do nagrzania jednego kilograma wody o jeden stopień Celsjusza nazwana została jedna kalorią. Natomiast jednostką siły jest taka siła, przy pomocy której możemy podnieść jeden kilogram na wysokość jednego metra. Otóż jedna kaloria równa się 427 kilogramometrom.

Istnieje długi szereg sposobów, by zademonstrować zamianę energii na ciepło i odwrotnie. Pierwotny człowiek pocierając dwa kawałki drzewa doprowadza je do takiego nagrzania, że następuje zapalenie drzewa. Jest to przykład zamiany energii na ciepło. W maszynie parowej mamy do czynienia odwrotnie z zamianą ciepła na pracę. W silniku spalinowym benzyna a w silniku Diesla olej spalając się dają pracę.

W elektrowniach spalany węgiel pod kotłami dostarcza ciepła do wytwarzania pary, para w turbinach daje siłę, zamienianą w generatorze elektrycznym na prąd. W ten sposób energia cieplna zostaje zamieniona na energię elektryczną. W bardzo wielu domach prąd elektryczny zamienia się z powrotem na ciepło bądź to w kuchenkach elektrycznych, bądź w piecykach do nagrzewania mieszkania.

Zastanawiając się nad działaniem ciepła w maszynie parowej czy w silniku dochodzimy do przekonania, że para czy rozgrzane powietrze dając moc mechaniczną tracą swe ciepło nabyte w chwili spalania. Wysoka temperatura, jaką otrzymała para, lub spalone gazy w silniku wskutek wykonania pracy gwałtownie spadają i w stanie ochłodzonym opuszczają maszynę.

Ogrzewana w kotle woda zamienia się na parę a para unosi się i dąży do maszyny. Punkt wrzenia wody w kotle

jest ściśle zależny od ciśnienia, jaki, w nim panuje. Przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym woda wrze w temperaturze 100° C. Gdy w kotle panuje ciśnienie 10 atmosfer, woda wrze przy temperaturze 179° C, gdy jest 20 atmosfer temperatura wrzenia wody dochodzi do 211,4° C.

W ten sposób para wchodząca do cylindrów maszyny parowej czy do łopatek turbiny posiada wysoką temperaturę i wysokie ciśnienie. Gdy odda swą energię, ciśnienie jej spada do normalnego ciśnienia atmosferycznego a jej temperatura wynosi tyle ile wrzącej wody w naszym otoczeniu, tj. około 100°C. W silniku benzynowym powietrze i pary benzyny posiadają w chwili wlotu temperaturę otoczenia. Po sprężeniu mieszanki w cylindrze temperatura się podnosi, a gdy iskra elektryczna rozpłomieni mieszankę, następuje nagły wzrost temperatury i nagły wzrost ciśnienia, mocą którego tłok zostaje zepchnięty z ogromną energią. W chwili otwarcia zaworu wylotowego ciśnienie w cylindrze już jest bardzo małe a temperatura gazów opuszczających rurę wylotową niewiele wyższa od otoczenia.

Niestety te wszystkie zamiany ciepła na pracę, nie odbywają się bez strat i nie ma praktycznego sposobu, by straty te usunąć całkowicie. Jeżeli ustawimy garnek na płomieniu gazowym, widzimy, że duża część ciepła unosi się dokoła garnka bezużytecznie. Nawet najlepiej obmurowany kocioł i najlepiej izolowane rury wypromieniowują znaczne ilości ciepła, przepadłe na zawsze, nie dające się nigdy już zamienić na energię mechaniczną. W samej maszynie parowej zachodzi też wiele możliwości rozpraszania energii. Tak np. tarcie w łożyskach, które trzeba usuwać przez obfite smarowanie i studzenie łożyska, pochłania pokaźne ilości energii. Energia potrzebna do napędzania mechanizmów pomocniczych, jak suwaków, zaworów, wreszcie wiry powietrzne wywołane szprychami koła zamachowego, wszystko to umniejsza już uzyskaną energię maszyny.

W silnikach wybuchowych i spalinowych ostudzanie ścianek cylindra staje się koniecznością, by uchronić je od przegrzania do takiego stopnia, że może stopić się metal, z którego są wykonane. Bardzo poważny procent ciepła, który mógłby być zamieniony na energię mechaniczną, idzie w ten sposób na marne, duży też procent ciepła uchodzi przez rurę wylotową. W ten sposób zwyczajna maszyna parowa bez konsendacji, jak np. w lokomotywach lub traktorach

rolniczych, daje zaledwie 8% energii użytecznej na kołach, reszta marnieje bezpowrotnie. W największych elektrowniach, stosujących najnowsze turbiny parowe z kondensacją zaledwie 27% energii cieplnej zostaje zamienione na pracę użyteczną ze 100% spalanego paliwa pod kotłami. Niewięcej energii otrzymuje się ze spalanej benzyny w silniku samochodowym i to pod warunkiem, że pracuje on pełną mocą przy największych obrotach. W normalnych warunkach, przy jeździe zwolnionej samochodem w ruchu wielkomiejskim nie wyzyskuje się nawet połowy wyżej wymienionej liczby. Maszyny parowe tłokowe w najlepszych warunkach przy zastosowaniu kondensacji i pełnym obciążeniu dają zaledwie 22% energii uzyskiwanej przy spalaniu paliw pod kotłami.

Największą wydajność jak dotychczas osiąga się w silnikach Diesla, które mogą 37% energii wydobyć ze spalanego paliwa. Oczywiście i ta cyfra dotyczy wyjątkowo korzystnych warunków pracy silników Diesla. W normalnych warunkach wydajność jest znacznie mniejsza, szczególnie jeśli opieka nad silnikiem nie jest wzorowa.

Wobec tych faktów i wobec niemożliwości podnoszenia ciśnień i temperatury poza granice wytrzymałości materiałów, z jakich buduje się maszyny parowe i silniki spalinowe, stworzenie silnika o wydajności 100% jest niedościgłym marzeniem. Najlepsze, niemal bez tarcia pracujące łożyska kulkowe pochłaniają jednakże poważny procent energii. Jest to znowu inny powód, dlaczego nie można zbudować stuprocentowej maszyny. Wobec tego staje się jasne, że każdy ułamek procentu w osiągnięciu lepszych rezultatów jest walką z niezmiennymi prawami strat nieuchronnych.

Patrząc na parę wytwarzającą się w kociołku nie zdajemy sobie sprawy, że w ścisłym znaczeniu słowa, to co unosi się nad wrzącą wodą na zwyczajnej kuchni, nie jest jeszcze właściwą parę. Zawiera ona bowiem miniaturowe, lecz nie naruszone kropelki czystej wody, a więc pary już skondensowanej. Właściwa para jest niewidoczną, tak jak gaz, jak powietrze. Gdy zajrzymy do garnka przykrytego pokrywą w chwili gotowania się wody, zauważymy, że między brzegiem, dokoła którego kłębi się para, a powierzchnią wody istnieje jakby pustka. Tę właśnie pozorną pustkę, zupełnie przezroczystą wypełnia para. Jeśli w tę przestrzeń wsunąć

zimną płytkę, natychmiast na niej pojawiają się kropelki skondensowanej wody.

Taką parę wydobywającą się z kociołka kuchennego nazywamy parą nasyconą. Zapamiętaliśmy sobie z poprzedniego rozważania, że wrzenie wody w kotle zamkniętym zależy od ciśnienia.

Rys. 5. Przyrząd do demonstracji pary nasyconej i przegrzanej.

Gdy para z kotła dostaje się do maszyny parowej, zaledwie nieco poruszy z krańcowego położenia tłok, już zamyka się jej dalszy dopływ i w czasie reszty ruchu tłoka musi ona rozprężać się czyli ekspandować do następnego krańcowego położenia tłoka. W miarę rozprężania się pary spada jej temperatura. Ostatecznie więc w chwili otwarcia zaworu wydechowego para ma znacznie niższe ciśnienie niż na początku a tak samo i jej temperatura jest o wiele niższa niż była w chwili wlotu.

Pragnąc uniknąć skraplania się pary o wysokiej temperaturze i wysokim ciśnieniu przy zetknięciu z chłodnymi ściankami cylindra czy tłoka, trzeba by para ta posiadała temperaturę wyższą niż w chwili, gdy odrywała się od powierzchni wody w kotle przy wysokim ciśnieniu. Parę taką nazywamy przegrzaną.

Wszystkie nowoczesne maszyny parowe posiadają parę przegrzaną. Na rys. 5 mamy przedstawiony sposób przegrzewania pary nasyconej.

Jak widzimy jest tu małe naczynie szklane, zastępujące w tym wypadku kocioł, w którym wrze woda ogrzewana gazem. Para uchodząca lewym otworem jest nasycona. Ma ona więc charakter tej pary, jaka unosi się z garnków w czasie gotowania. Z prawej strony widzimy rurkę wężykowato zgiętą, dodatkowo podgrzewaną płomieniem palnika bunsenowskiego. Temperatura pary opuszczającej tę rurkę jest oczywiście wyższa niż była w chwili oderwania się od wody. Tej pary przegrzanej nie widzimy. Gdy w jej strumień wstawimy bibułkę papierosową, skręci się ona i zeschnie jak od zetknięcia z gorącym żelazem.

Wydawałoby się, że właściwie powinno się otrzymać ten sam rezultat, gdyby się ten dodatkowy palnik wstawiło pod kocioł. A jednak tak nie będzie, dwa palniki wytworzą dwa razy więcej pary, lecz pary nasyconej, która przy zetknięciu w chłodniejszym otoczeniem zaraz zacznie się skraplać.

Co to jest moc i jak ją wymierzyć?

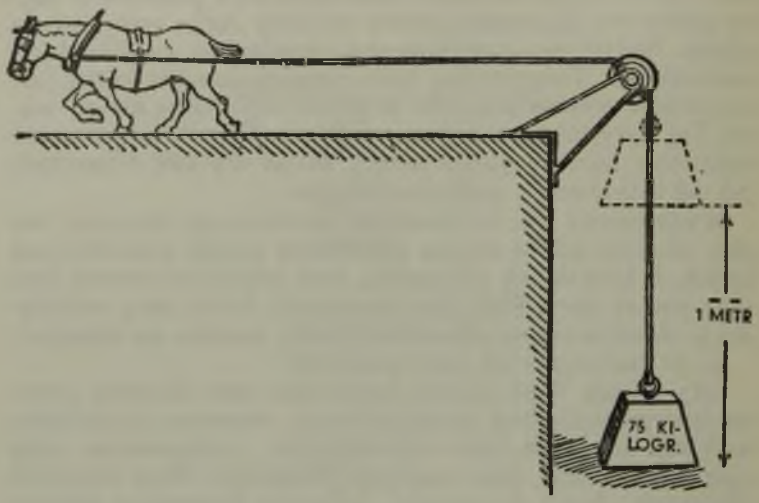
Gdy James Watt zaczął dostarczać swe maszyny parowe licznym zakładom przemysłowym, stawiano mu pytanie, na które nie łatwo było odpowiedzieć, a mianowicie, jaką moc reprezentuje dana maszyna. Wówczas Watt wymyślił określenie „konia parowego", najlepiej ilustrujące nabywcom moc danej maszyny parowej. Określeniem „konia parowego" chciał Watt wyrazić moc maszyny pracującej stale przez szereg godzin tak jak zaprzężony koń. Dla porównania służyły mu doświadczenia z żywymi końmi pełnej mocy, pracującymi przez krótki okres doświadczalny.

W dzisiejszym technicznym pojęciu koń parowy a raczej jak my nazywamy koń mechaniczny (KM), jest jednostką mocy tak wielkiej, że przy jej działaniu można podnieść 75 kg na wysokość jednego metra w ciągu jednej sekundy. Ta sama moc będzie odpowiadała podniesieniu 7,5 kg w jednej sekundzie na wysokość 10 metrów. Innymi słowy w ciągu minuty mocą jednego konia będzie można podnieść $75 \times 60 = 4500$ kg na wysokość jednego metra.

W ten sposób dowiedzieliśmy się, że moc jednego konia, jest rezultatem pomnożenia siły wyrażonej w kilogramach, przez wysokość w metrach równającą się 75 kgm/sek. a więc w ciągu jednej sekundy.

Obojętne więc będzie, czy liną będziemy podnosili 75 kg na wysokość jednego metra, czy 1 kg na wysokość 75 metrów, jeśli ta praca zostanie wykonana w jednej sekundzie, będzie się ona równała mocy jednego konia.

Oczywiście, że nawet wielki ciężar może podnieść jeden niezbyt mocny człowiek, jeśli mu na to damy stosunkowo



Rys. 6.

dużo czasu. Gdy więc zachodzi potrzeba podwindowania ciężkiego autobusu, może to uczynić jeden człowiek przy pomocy windy.

Będzie on do tego potrzebował jednak znacznie więcej czasu niż dźwig mechaniczny wyposażony w kilkokonny silnik. Każdą więc pracę wykonaną przez jednego czy kilka koni mechanicznych może wykonać i człowiek, lecz potrzebuje na to bez porównania więcej czasu. Moc człowieka da się określić jako jedna dziesiąta część mocy konia mechanicznego. Stąd prosty rachunek, że tam gdzie jest czynny jednokonny silnik, praca człowieka będzie trwała dziesięć razy dłużej.

Istnieje kilka sposobów mierzenia mocy maszyn parowych i silników wybuchowych. Jednym z najstarszych jest posiłkowanie się indikatorem, specjalnie dogodnym przy

Na zdjęciu doskonale widać mechanizm stawidła według pomysłu Walschaertsa.

TABLICA 6.

Rotor turbiny parowej Parsonsa dla części niskiego ciśnienia. Moc turbiny 50.000 K. M.

Widok rotoru umieszczonego w dolnej części osłony.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA

pomiarach mocy maszyn parowych tłokowych. Na kartce papieru owiniętej dookoła bębna indikatora kreśli ołówek linię krzywą, odpowiadającą zmianom ciśnienia zachodzącym wewnątrz cylindra maszyny parowej w czasie jej pracy. W tym celu trzeba połączyć mechanizm ołówka z wnętrzem cylindra, by ciśnienie pary oddziaływało na mały tłoczek poruszający ołówek. Bęben zaś trzeba połączyć z korbowodem lub krzyżulcem (wodzikiem), by wywołać ruch obrotowy bębna zgodny z ruchem tłoka w przód i wstecz.

Na rysunku 7 widzimy typowy indikator i możemy łatwo rozpoznać jego najważniejsze części. U góry widzimy wałek, na który napina się kartkę papieru. Wałek ten będzie się obracać tam i z powrotem w zależności od ruchów linki umocowanej do korbowodu maszyny parowej. Z prawej strony widzimy tę część mechanizmu indikatora, w której kryje się mały tłok, naciskający na sprężynę i wprawiający w ruch mechanizm dźwigniowy, zapisujący kartkę papieru.

Rys. 7.

Skoki ołówka z dołu do góry powodują wyznaczanie granic ciśnienia górnego i dolnego, kreski poziome odpowiadają długości skoku tłoka, czyli drogi odbywanej za każdym razem przez tłok. Z wymiarów tak otrzymanego wykresu można bardzo łatwo wyliczyć moc maszyny parowej. Znając średnicę cylindra, jego długość a raczej skok tłoka oraz ilość obrotów, ustala się po otrzymaniu wykresu, który informuje nas o istniejącym wewnątrz ciśnieniu, jaka jest moc indikowana maszyny parowej. Moc maszyny parowej wymierzona indikatorem jest zawsze większa od mocy zmierzonej na hamulcu, o którym będzie dalej mowa. Stąd otrzymany wynik oznacza się symbolem K.M. (ind.).

Jakkolwiek indikator jest znakomitym środkiem pomiarowym, nadaje się on wyłącznie do wolnobieżnych maszyn

parowych tłokowych, których ilość obrotów nie przekracza 1500 na minutę. Powyżej tych obrotów działanie indikatora wskutek drgań tłoczka i mechanizmu piszącego są niepewne. Toteż silniki wybuchowe i silniki Diesla muszą być mierzone innymi przyrządami.

Profesor B. Hopkinson wynalazł indikator optyczny, oparty na tej zasadzie, że wiązka światła pada na drgające zwierciadło, które odbijając promienie świetlne na matówkę dają obraz krzywej ciśnień, łatwy do zaobserwowania. Można na matówce w ślad za przebiegającym promieniem światła nakreślić krzywą ciśnień lub też metodą fotograficzną wywołać na kliszy. Dalszym rozwojem tego pomysłu jest mikroindikator W. G. Collinsa, utrwalający na filmie miniaturowy obraz krzywej ciśnień. Obraz ten powiększa się następnie metodą fotograficzną.

Badanie mocy maszyn parowych tłokowych zachodzi w praktyce rzadko, jedynie w chwili gdy są gotowe do oddania lub gdy zachodzą wątpliwości co do ich należytego działania. Badający ma możność przy pomocy wykresów indikatora ustalić wady, jakie mogły się pojawić wskutek zużycia lub wskutek wadliwego montażu. Częściej natomiast w celach pomiarowych używa się hamulców lub dynamometrów.

Hamulce nakłada się na koła zamachowe lub koła pasowe badanej maszyny parowej czy innego silnika. Przy pomocy hamulca mierzy się więc efektywną moc silnika a wyniki zaopatruje się symbolem K.M.e

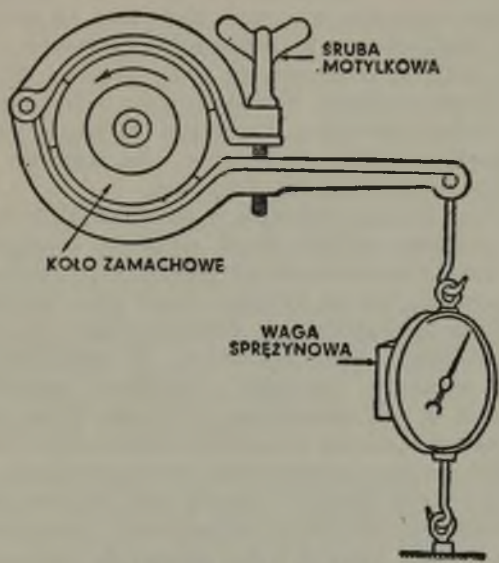
Na rys. 8 widzimy najprostszy hamulec systemu Prony'ego. Jak widzimy, są tu dwie szczęki hamulcowe obejmujące koło zamachowe lub inny bęben połączony z silnikiem. Mogą one być w miarę potrzeby dociskane do bębna śrubą motylkową. Jedna ze szczęk jest połączona przez wydłużone ramię dźwigniowe z dynamometrem sprężynowym. Gdy silnik obraca się w kierunku oznaczonym strzałką, szczęki hamulcowe przylegając do niego porywają ramię dźwigniowe i naciągają sprężynę dynamometru. Na dynamometrze możemy odczytać siłę skręcającą dokładnie w kilogramach.

Odczytawszy siłę skręcającą mnożymy ją przez drogę jaką mogłoby ramię wykonać, gdyby się zwolniło, a więc przez $2\pi R$, gdzie jako R przyjmujemy długość ramienia dolnej dźwigni. W ten sposób otrzymujemy wprost wynik

w kilogramometrach na jeden obrót maszyny parowej. Znając zaś ilość obrotów maszyny na minutę względnie na sekundę, możemy łatwo obliczyć moc sekundową silnika.

Ponieważ jeden koń mechaniczny wynosi 75 kgm/sek, więc podzieliwszy ilość otrzymanych kilogramów w sekundzie przez 75 otrzymamy moc w koniach mechanicznych.

Zamiana całkowitej pracy maszyny badanej przy pomocy hamulca Prony'ego na ciepło wskutek tarcia szczęk hamul-



Rys. 8. Hamulec Prony'ego.

cowych o koło zamachowe wywołuje znaczne ilości ciepła wywiązującego się na obwodzie koła. By więc usunąć to ciepło, umieszcza się żłobek wzdłuż szczęk hamulcowych i doprowadza się do tego żłobka wodę, chłodzącą nagrzane koło. Jeżeli próba ma trwać bardzo krótko, można się obejść bez chłodzenia, szczególnie jeśli badany silnik nie jest zbyt wielkiej mocy. Badania mocy silników hamulcem dają na ogół zupełnie zadowalające wyniki.

Czasami gdy fabryka wypuszcza nowy, jeszcze nie wypróbowany model silnika, poddaje się go dłuższej próbie

hamowania. Próby takie trwają nie więcej niż cztery godziny z rzędu, lecz zachodzą i takie wypadki, że o ile odbiorcą jest marynarka lub lotnictwo, mogą się one domagać, by silnik był bez przerwy w ruchu przez szereg dni.

Do tego rodzaju prób nadaje się znacznie lepiej hamulec hydrauliczny Frouda, którego działanie polega na pochłanianiu pracy silnika przez wodę wprawioną w ruch wirowy kołami podobnymi do łopatkowych kół turbinowych. (Tablica 4).

Gdy oś tych kół łopatkowych łączy się z osią badanego silnika, który wprawia je w ruch obrotowy, to osłonę całego przyrządu, umieszczoną w łożyskach kulkowych i wahającą się dokoła nich, umocowuje się przy pomocy długiego ramienia z dynamometrem. Powstaje więc układ zupełnie podobny do układu hamulca Prony'ego. Krążąca zimna woda między łopatkami daje gwarancję, że warunki pomiaru przez długie godziny są niezmienione.

W ostatnich latach wchodzą w użycie elektryczne dynamometry, ulubione w fabrykach silników samochodowych. Jest to rodzaj dynamomaszyny zawieszonej wolno w łożyskach kulkowych. Oś tej dynamo łączy się z badanym silnikiem a osłonę zaopatrzoną w dźwignię łączy się jak w hamulcu Prony'ego z dynamometrem. W większości wypadków przy masowej produkcji silników samochodowych urządzenia te są tak pomyślane, że przez łatwe połączenia można dynamo zamienić na motor elektryczny i odwrotnie. Trzeba sobie bowiem uświadomić, że nowe silniki samochodowe jeszcze „nie dotarte" muszą być wpierw wprawione w ruch obrotowy, by gładź cylindrowa i panewki dotarły się gładko, zanim jeszcze będą naprawdę pracować. Gdybyśmy przez mikroskop obejrzeli ścianki cylindra i panewki przed ich stopniowym dotarciem, przekonalibyśmy się, jak jeszcze są nierówne i chropowate, choć nam wydaje się, że są idealnie gładkie.

Połączywszy silnik nowo wykonany z takim urządzeniem, wprawia się go najpierw przez 5 minut w wolne obroty, a zarazem mierzy za pomocą dynamometru, ile też pochłania on energii na luźny, jałowy bieg. Następnie zwiększa się ilość obrotów i wreszcie gdy nastąpi częściowe dotarcie, można zauważyć, jak nagle spada opór wewnętrzny silnika doprowadzonego już do normy.

Gdy ta część próby została zakończona, przestawia się

motor elektryczny na dynamo i otworzywszy dopływ benzyny do silnika wprawia się go w ruch. Teraz jest odwrotnie, silnik benzynowy napędza dynamo i wytwarza prąd elektryczny. Zamieniwszy pracę silnika na prąd elektryczny, który może być wyzyskany do jakichś celów praktycznych, mierzy się na woltomierzu i amperometrze moc wytwarzanego prądu. Pomnożywszy ilość woltów przez ampery otrzymamy waty a wiedząc, że jeden KM równa się 735 watom, bez trudu dowiadujemy się, ile koni posiada badany silnik.

Ten typ dynamometrów jest nie tylko dobrym przyrządem laboratoryjnym, lecz nadto posiada dwie ważne zalety. Po pierwsze za jednym zamachem dociera się nowy silnik i bada się jego mechaniczne właściwości, a następnie w tym samym stoisku fabrycznym bez potrzeby przenoszenia silnika do innego działu bada się jego moc. Nadto wytwarzany prąd elektryczny może być skierowany do centrali fabrycznej i wyzyskany do napędu własnych maszyn, przez co osiąga się przy dużej ilości badanych dziennie silników poważne oszczędności.

Dynamometr jako urządzenie stałe, zresztą bardzo kosztowne i ciężkie, stał się wyłącznie środkiem pomiarowym nieodzownym dla fabryk. Toteż nie można go używać w miejscu stałego postoju silnika lub maszyny, lecz trzeba by maszynę czy silnik dostarczyć w celach próby do fabryki.

Natomiast indikator jako przyrząd mały, przenośny, jest nieocenionym narzędziem pomiarowym uniwersalnym, dającym się wmontować na miejscu, bez względu na to czy dana maszyna będzie służyła do napędu młyna czy okrętu.

Chcąc zbadać moc turbiny parowej lub szybkobieżnego Diesla okrętowego, nie możemy skorzystać ani z dynamometru wyżej opisanego ani z indikatora. W tych wypadkach oddaje nam nieocenione usługi dynamometr torsyjny. Mierzy on moc wału w chwili skręcania i przenoszenia siły na śrubę okrętową.

Istnieje szereg typów dynamometrów torsyjnych, działających na zasadzie optycznej lub elektrycznej. Chcąc zrozumieć istotę ich działania trzeba sobie wyobrazić, że między dwoma końcami wałów wstawiono dynamometr, a więc, dwa ramiona dźwigniowe, jedno zmontowane na jednym końcu a drugie na drugim końcu wału. Pomiędzy końce

dźwigni wstawiono potężne sprężyny, które pod naciskiem siły skręcającej będą się zgniatały między dźwigniami. Już łatwo zrozumieć, że im większa będzie siła skręcająca wał, tym silniej zostaną zgniecione sprężyny. Jeżeli dla ułatwienia sobie pomiarów umieścimy bądź to urządzenie zwierciadłowe, bądź inne, ułatwiające nam odczytywanie wielkości zgniotu sprężyn, możemy dowiedzieć się, jak wielkie są siły działające na drodze między turbiną a śrubą okrętową.

Nabywcy traktorów i parowozów nie interesują się mocą samej maszyny, lecz siłą pociągową tych maszyn. Pragną oni wiedzieć, jaką mogą te maszyny osiągnąć szybkość i ile mogą pociągnąć. Ponieważ pomiar taki jest bardzo łatwy, więc z obliczenia szybkości w metrach na sekundę i wielkości ciągnionego ciężaru otrzymujemy kilogramometry na sekundę wzdłuż poziomej drogi. A to możemy przez podzielenie na 75 zamienić na konie mechaniczne.

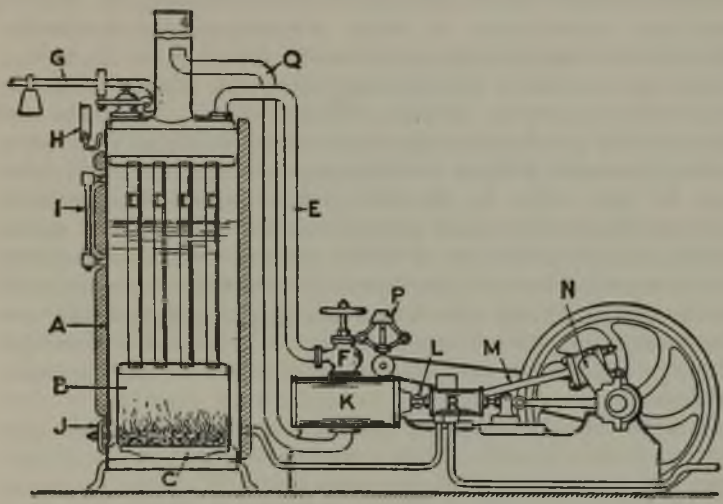
Przy tego rodzaju pomiarach umieszcza się dynamometr między wóz ciągniony i traktor. Mierząc siłę pociągową a równocześnie szybkość koła toczącego się po ziemi otrzymamy pożądany wynik. Pomiar siły pociągowej i szybkości parowozów przeprowadza się w specjalnych wagonach doczepianych między parowozem a zespołem ciągnionych wagonów. Na samoczynnie obracającej się taśmie licznik obrotów notuje szybkość posuwającego się wagonu a dynamometr uczepiony do łańcuchów i haków notuje siłę pociągową.

ROZDZIAŁ IV

SPOSÓB DZIAŁANIA MASZYNY PAROWEJ

Część 1

Na rys. 9 mamy przedstawioną najprostszą maszynę bez kondensacji, dwustronnie działającą. Rysunek jest schematyczny i nie ma pretensji do należytej dokładności. Z konieczności rozmieszczono na nim poszczególne części tak, by łatwiej można było zrozumieć działanie maszyny parowej.



Rys. 9. Najprostsza maszyna parowa.

Zewnętrzna powłoka kotła parowego A, wykonana z blachy, kryje pod sobą masę korkową lub azbestową, chroniącą kocioł od nadmiernych strat ciepła przez promieniowanie. W miejscu B znajduje się skrzynia ogniowa, w której spala się węgiel na rusztach C. Palenisko to, tworzące zamkniętą skrzynię ogniową, jest ze wszystkich stron otoczone wodą z wyjątkiem wolnego spodu, by tędy między rusztami mógł zesypywać się popiół i mogło dostawać się powietrze nie-

zbędne do spalania. Gazy płomienne wydostają się z paleniska przez rurki płomienne D do komina.

Z kotła para dostaje się do maszyny parowej przez rurę. Zawór dławikowy F, zaopatrzony w kółko do wygodniejszego przekręcania ręką, służy do puszczania i zatrzymywania maszyny parowej.

Zanim przejdziemy do szczegółowego opisu samej maszyny parowej, musimy się dokładnie zaznajomić ze wszystkimi szczegółami uzbrojenia kotła. Zaczniemy więc od zaworu bezpieczeństwa G. Jak już sama nazwa świadczy, służy on do tego, by uchronić kocioł od eksplozji. W razie wzrostu ciśnienia ponad dopuszczalną normę zawór ten, obciążany ciężarem, otwiera się i wypuszcza nadmiar pary. Do stwierdzenia stanu ciśnienia służy manometr H. Manometr jest zaopatrzony w skalę wskazującą na podziałce ciśnienie w atmosferach, przy czym górna granica, której palacz nie powinien przekroczyć, jest dla odrożnienia namalowana czerwoną kreską. Wodowskaz I pozwala na sprawdzenie każdoczesnego stanu wody w kotle. Pomiędzy wodowskazem a kotłem znajdują się zawory lub kurki służące do tego celu, by w razie pęknięcia szkiełka, można było zamknąć ubywającą parę i wrzątek. Dla całości opisu trzeba jeszcze dodać, że w kotle znajduje się szereg otworów zwanych włazami, zamkniętych szczelnie w normalnym czasie pracy. Przez nie można się dostać do wnętrza celem przemycia kotła i oczyszczenia od kamienia kotłowego. Otwory takie są zastawione płytkami i ześrubowane kotwami J.

W cylindrze K maszyny parowej porusza się tłok niewidoczny na rysunku. Tłok połączony wrzecionem tłokowym L z korbowodem M napędza korbę N, która wprawia w ruch koło zamachowe. Koło to o dużej średnicy i pokaźnej wadze, służy do nadania maszynie parowej równomiernego ruchu obrotowego. Bez koła zamachowego działanie maszyny parowej byłoby gwałtowne, nierównomierne, odbywałoby się skokami w zależności od zmiennego ciśnienia wywieranego na tłok. Celem nadania maszynie parowej jednakowej ilości obrotów przy zmiennym obciążeniu służy do pomocy regulator odśrodkowy P. Obraca on się dzięki napędowi z wału głównego i może regulować dopływ pary, oddziaływując na dodatkowy zawór umieszczony przy wlocie pary do cylindra.

Para zużyta uchodzi rurą Q do komina. Wreszcie pompa R zasila kocioł świeżą wodą, uzupełniając ubytek jej wywołany pracą maszyny parowej.

Jest to najprostszy typ maszyny parowej, masowo produkowanej dla potrzeb pospolitych, o małej mocy. Nie jest ona zbyt ekonomiczna, wskutek braku kondensacji. W ostatnich czasach tego rodzaju maszyny o niewielkiej mocy coraz częściej zastępuje się małymi silnikami benzynowymi.

W większych maszynach parowych kotły posiadają przegrzewacze pary, a więc rury doprowadzające parę do maszyny, umieszczone w komorze dymowej lub w przestrzeni, gdzie jeszcze ogień ma dostęp, by parę uchronić od skraplania na drodze do cylindra. Wreszcie większe jednostki parowe najczęściej pracują na zasadzie podwójnej lub potrójnej ekspansji pary.

Przejdziemy teraz do omówienia istoty kondensacji. Skraplanie pary wylotowej może być wywołane oszczędnością wody używanej do zasilania kotła, co ma ogromne znaczenie w żegludze morskiej, lecz stosowane jest przede wszystkim dlatego, by wyzyskać moc pary doprowadzonej aż do próżni sztucznie wytworzonej.

Jak wiadomo, ciśnienie atmosferyczne wynosi około 1 kg, na cm.^{2} Prężność pary wylotowej wprowadzonej do kondensatora może spaść do $^1/_7$ atm. W ten sposób nacisk po stronie ekspansyjnej tłoka automatycznie wzrasta o dodatkowych $^6/_7$ atm. Na tym polega cała istota kondensacji. Para wylotowa, chcąc się wydostać w powietrze w zwykłych maszynach parowych wydmuchowych, musi ulatniać się z cylindra z ciśnieniem nieco jeszcze wyższym od ciśnienia atmosferycznego, inaczej bowiem nie wyleciałaby z maszyny parowej. Gdy natomiast w chwili wylotu zamiast napotkać na opór powietrza wpada do kondensatora, gdzie panuje ciśnienie niższe od atmosferycznego, może wykonać większą pracę.

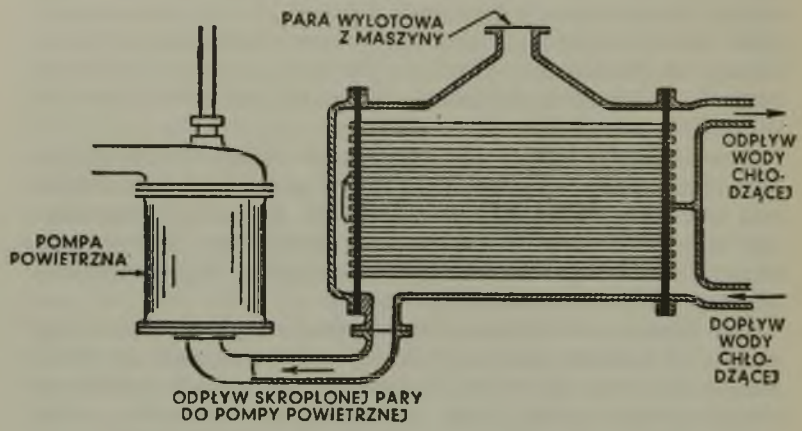
Kondensatory mogą być dwojakiego rodzaju: natryskowe i powierzchniowe.

Kondensator przedstawiony na rys. 10 jest typu powierzchniowego. Jest to skrzynia żelazna o podwójnych dnach. Wewnątrz znajdują się liczne rurki, przez które przepływa woda zimna. Para wylotowa dostaje się od góry w sam środek kondensatora i tu napotyka na zimne rurki, na których skrapla się spływając na dno. Woda chłodząca

system rurek wpływa z prawej strony od góry a odpływa dołem, obiegłszy wszystkie rury żelazne w dwu kierunkach.

Woda skondensowana wraz z nieznaczną domieszką powietrza zawsze znajdującego się w parze wodnej spływa do pompy kondensacyjnej, która poruszana od maszyny parowej odprowadza ją na zewnątrz. Stąd może ona z powrotem dostać się do kotła.

Na statkach parowych i okrętach do ostudzania kondensatora używa się wody morskiej, wylewanej następnie, po

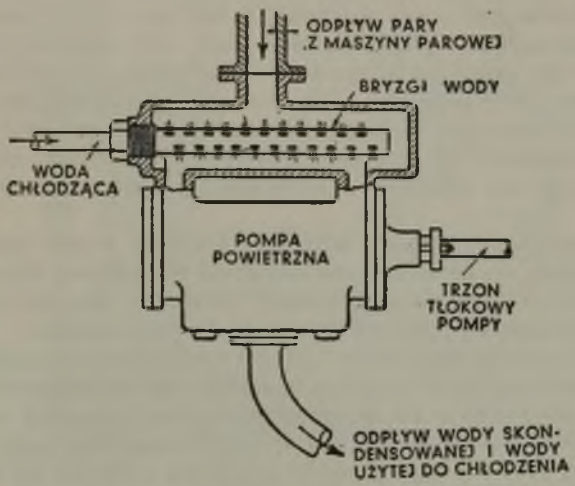


Rys. 10. Kondensator powierzchniowy.

użyciu, z powrotem do morza. Patrząc na parowce zawsze możemy zauważyć potężny strumień wody wypływającej z boku okrętu, jest to właśnie woda odpływająca z kondensatora. Zakłady przemysłowe umieszczone nad rzeką korzystają do celów kondensacji z wody rzecznej. Gdy jednak zakład przemysłowy znajduje się w głębi kraju, gdzie wody źródlanej jest mało, nie można nią szafować dla celów ostudzania kondensatora. W tym wypadku wodę ciepłą po ostudzeniu kondensatora odprowadza się do wysokich drewnianych wież i rozpyla, dając jej ściekać powoli z góry na dół po szczebelkach drewnianych. Pusta wewnątrz wieża działa jak komin, przez który dzięki nieco wyższej wewnątrz panującej temperaturze powstaje silny naturalny ciąg, podobnie jak w kominie. W ten sposób spadająca

woda całkowicie się ostudza, oczywiście częściowo parując i ulatniając się bezpowrotnie.

Na rys. 11 widzimy schematycznie przedstawiony kondensator natryskowy. Górną rurą dopływa para z maszyny parowej i napotyka na dziurkowaną rurę wodną. Z tej wytryskują liczne strumienie zimnej wody, mieszające się z parą i oziębiające ją gwałtownie. Pompa powietrzna zabiera kondensat i wodę natryskową wraz z resztkami powietrza. Ponieważ woda studząca miesza się z wodą skro-



Rys. 11. Kondensator natryskowy.

ploną, chcąc jej użyć ponownie do zasilania kotła musi być woda studząca idealnie czysta.

Do dzisiejszych maszyn parowych używamy pary o tak wysokim ciśnieniu, że nie mogłaby jej całkowita prężność być wyzyskaną w jednym cylindrze. Używając takiej pary częściowo w jednym cylindrze można po zmniejszeniu ciśnienia w dalszym ciągu tę samą parę zużyć w drugim cylindrze.

Najpierw więc para o wysokim ciśnieniu dostaje się do małego cylindra i tu częściowo ekspanduje, a następnie po otwarciu się zaworu wylotowego dostaje się do cylindra niskiego ciśnienia o większych znacznie wymiarach. W tym

cylindrze odbywa się dalsza ekspansja aż do granic poniżej ciśnienia atmosferycznego, gdyż cylinder niskiego ciśnienia jest z reguły połączony z kondensatorem.

Budowa maszyn dwuekspansyjnych, a więc o dwu cylindrach, przyjęła się pod dwoma postaciami. Stojące maszyny parowe posiadają dwa obok siebie cylindry, z dwoma mechanizmami korbowymi i podwójnie wykorbionym wałem. Natomiast maszyny leżące posiadają najczęściej cylindry w jednej osi, jeden za drugim, w ten sposób na wspólnym trzonie tłokowym znajdują się dwa tłoki, nadto jeden jest tylko korbowód i wał korbowy tylko raz wykorbiony.

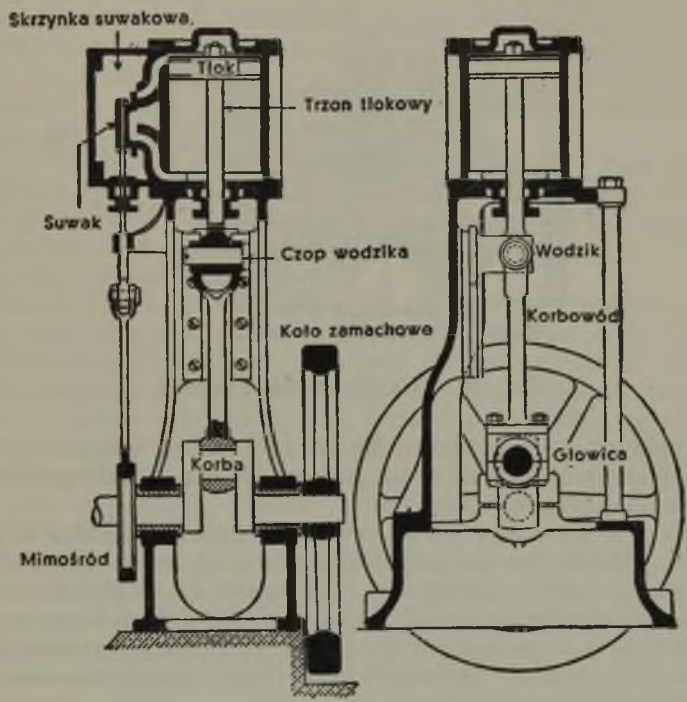
W wypadkach gdy ciśnienie pary jest jeszcze większe, stosuje się potrójną ekspansję i maszyna parowa posiada wówczas trzy cylindry. Ten trzeci jest największy. Para wchodzi wówczas najpierw do cylindra wysokiego ciśnienia, następnie do większego cylindra średniego ciśnienia i wreszcie do cylindra o największej średnicy, zwanego niskim.

Do rzadkości należą maszyny parowe o tak wysokich ciśnieniach, że musi być zastosowana poczwórna ekspansja. Są to bardzo już skomplikowane maszyny parowe, znajdujące najczęściej zastosowanie w żegludze morskiej.

Nie możemy przeoczyć zalety wieloekspansyjnych maszyn, bez względu na to, czy będą to trój- czy czteroekspansyjne, wyrażające się w niezmiernie regularnym i spokojnym ruchu. Maszyny parowe w ogóle mają bieg spokojniejszy już choćby z tego powodu, że praca odbywa się po obu stronach tłoka raz z jednej strony para spycha tłok w dół, by za chwilę para napływająca po drugiej stronie popychała ten sam tłok do góry. W maszynach o poczwórnej czy potrójnej ekspansji mechanizm korbowy znajduje się w spokojnym obiegu, gdyż we wszystkich punktach części wirujące znajdują się pod wpływem sił równomiernie działających. By to zrozumieć, należałoby dla porównania powiedzieć, że trójekspansyjną maszynę może zastąpić dopiero dwunastocylindrowy silnik benzynowy, by dorównać mu w równomierności biegu.

Na rys. 12 widzimy w przekroju jednocylindrową maszynę parową najprostszego systemu. Tłok umocowany jest na tłoczysku czyli wrzecionie, przechodzącym przez dolne denko cylindra na drugą stronę. Między tłoczyskiem a denkiem znajduje się dławnica uszczelniająca w tym miejscu

denko. Dolny koniec tłoczyska umocowany jest w krzyżulcu lub tak zw. wodziku, który ślizga się po płozach umożliwiających ruch wodzika tylko z góry do dołu. Ponieważ wodzik jest też połączony przy pomocy sworznia przebiegającego przez jego korpus z korbowodem, który wykonuje silne i wahadłowe ruchy, więc rola wodzika nie ogranicza

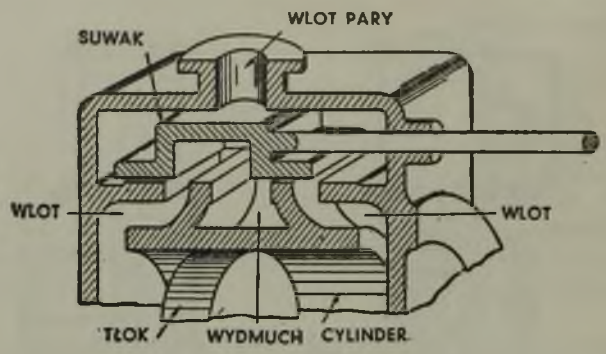


Rys. 12. Jednocylindrowa maszyna parowa dwustronnie działająca.

się wyłącznie do prowadzenia trzona tłokowego z dołu do góry i z powrotem. Ma on jeszcze przenosić siły ukośne, działające na niego ze strony korbowodu, na płozy, po których się posuwa, i ma uchronić cały mechanizm od wyrwania z prowadnicy. Najniebezpieczniejsze dla wodzika są skośne siły występujące w położeniu korby po obu stronach w krańcowych punktach bocznych, a więc gdy kąt między tłoczyskiem a korbowodem jest największy. Korbowód

powoduje ruch obrotowy wału korbowego. Na jednym końcu wału korbowego znajduje się koło zamachowe.

Po przeciwnej stronie wału korbowego znajduje się mimośród, to jest nieosiowo osadzona tarcza okrągła, która w czasie obrotu wału wykonywa ruchy oscylacyjne z dołu do góry. Ten mimośród przesuwa suwak sterujący dopływ



Rys. 13. Przekrój cylindra i suwaka.

i wypływ pary z cylindra. Za każdym razem z jednej strony cylindra odprowadza się parę wylotową — z drugiej doprowadza parę świeżą.

Na rys. 13 mamy przedstawiony przekrój cylindra i suwaka. Suwak ten jest najprostszy w swej konstrukcji, tzw. muszlowy, pełni on swą rolę jako zawór dla dopływu pary, ściśle dolegając do gładzi suwakowej. Do dziś dnia ten najprostszy typ suwaka utrzymał się w wielu konstrukcjach maszyn parowych lądowych i morskich, panuje on równie powszechnie w parowozach.

Para znajdująca się nad nim w przestrzeni, którą nazywamy skrzynką suwakową, może się tylko wówczas dostać do cylindra—gdy suwak odsłoni szczelinę wlotową, tak jak to widzimy po prawej stronie rys. 13. Krawędź sterującą może prędzej lub później tę szczelinę otworzyć, może też zależnie od jej konstrukcji i wielkości przez dłuższy okres parę doprowadzać, czasem tylko tyle, by wypełnić cylinder częściowo.

Dopływ pary odbywa się przez dwie szczeliny znajdujące się w skrzynce suwakowej. Gdy przez jedną szczelinę

para dopływa, przez drugą może odpływać do wgłębienia pod suwakiem a stąd do rury wydechowej.

Sytuacja przedstawiona na rys. 13 podaje nam właśnie takie położenie suwaka, że gdy z prawej strony zaledwie częściowo para wpada do cylindra, z lewej uchodzi wypracowana i zużyta para do rury wylotowej. W tej właśnie sytuacji ruch tłoka odbywa się z prawej strony na lewą. Gdy w następnej chwili tłok przesunie się całkowicie na lewo i zacznie swą wędrówkę od lewej ręki ku prawej, suwak będzie już przesunięty na prawą stronę i świeża para będzie dochodziła przez lewą szczelinę do cylindra a uchodziła przez prawą do rury wylotowej.

We wszystkich maszynach parowych wlot pary trwa stosunkowo krótko i to zawsze na początku ruchu tłoka. Gdy już para dostała się do cylindra, dalsza jej praca polega na ekspansji i popychaniu tłoka siłą ciśnienia własnego, które szybko spada i maleje.

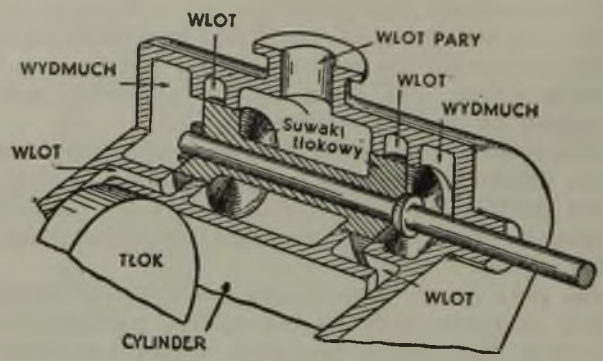
Suwak przylega do zwierciadła suwakowego bardzo silnie, gdyż ciśnienie pary na tak wielką powierzchnię jest bardzo duże. Ten nacisk zapewnia wielką szczelność między suwakiem a cylindrem. Jednakże w maszynach parowych o dużym ciśnieniu nacisk dochodzi do takich rozmiarów, że suwak dociera zbyt silnie, zużywa gładź suwakową a siła potrzebna na jego przesuwanie jest zbyt wielka. W tych wypadkach zamiast suwaków płaskich używa się suwaków tłokowych.

Suwak taki mamy przedstawiony na rys. 14. Są to dwa tłoki umocowane na wspólnym wrzecionie, z wolną przestrzenią między nimi. Para dochodzi do wnętrza cylindra, gdy krawędź tłoka przesunie się od środka ku denku. Wówczas para, która mieści się w pośródku skrzynki suwakowej, przedostaje się do szczelin a stąd do cylindra. Gdy z jednej strony para wpada do cylindra, drugi tłok otwiera szczelinę prowadzącą z cylindra i łączy ją z kanałem wylotowym. Są też suwaki tłokowe tak skonstruowane, że para wchodzi na końcach a wychodzi środkiem, a więc odwrotnie niż tutaj.

Istnieje jeszcze wiele innych sposobów rozrządu pary, lecz nie możemy wszystkich podawać.

Na rys. 12, do którego musimy jeszcze powrócić, przedstawiony jest ten moment, gdy tłok znajduje się u szczytu maszyny parowej. Suwak w tej samej chwili znajduje się

jednak w położeniu pośrednim, para bowiem wchodzi niekrępowanie do wnętrza cylindra. Dzięki temu może ona z całą energią pchnąć tłok w dół. Gdy tłok zacznie opuszczać się w dół, suwak natychmiast domknie dalszy dopływ pary, zasłoniwszy wlot. Ponieważ suwak jest poruszany mimośrodem i wykonuje swe ruchy podłużne dzięki obro-

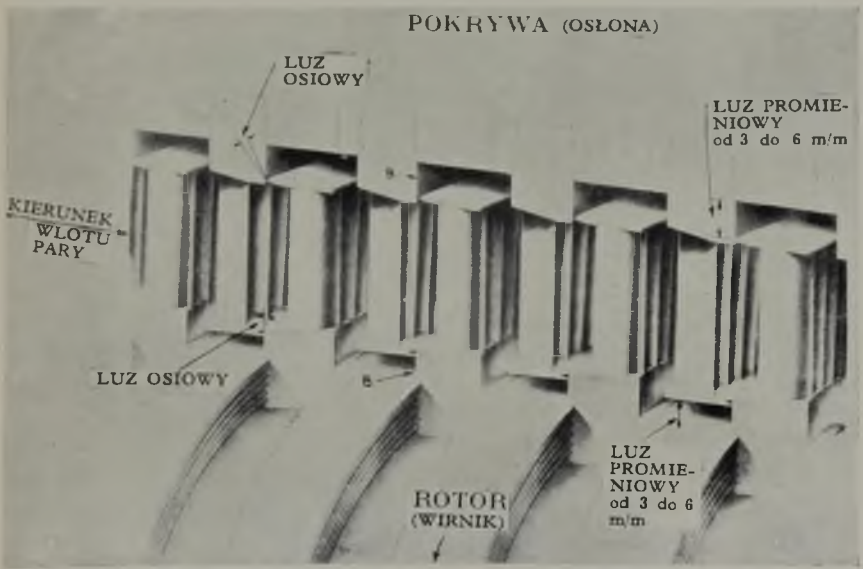


Rys. 14. Suwak tłokowy.

towi wału korbowego, na którym jest mimośród zmontowany, więc łatwo się domyśleć, że pozycja mimośrodu jest inna niż korby. Jeżeli bowiem tłok zastaje już otwartą szczelinę wlotową dla świeżej pary, gdy tylko pojawi się w górnej pozycji, jasne jest, że mimośród został ustawiony w ten sposób, że kąt między korbą wału korbowego a mimośrodem wyprzedza na prawo ruch suwaka. To wyprzedzanie jest tak obrane, że suwak wcześniej idzie w dół, zanim tłok dojdzie do góry i otwiera szczelinę wlotową dla pary nieco wcześniej, nim tłok osiągnie ostatecznie najwyższe położenie. Gdy w chwilę później tłok zacznie wędrować w dół, dzięki temu wcześniejszemu odsłonięciu szczeliny będzie mógł suwak całkowicie otworzyć dopływ pary, zanim jeszcze tłok zdąży zbytnio oddalić się od górnego denka.

Tego rodzaju sterowanie suwaka jest możliwe wyłącznie w maszynach parowych stałych, nie potrzebujących zmieniać kierunku obrotu. Natomiast maszyny parowe przeznaczone do napędu okrętów, traktorów, walców parowych i pa-

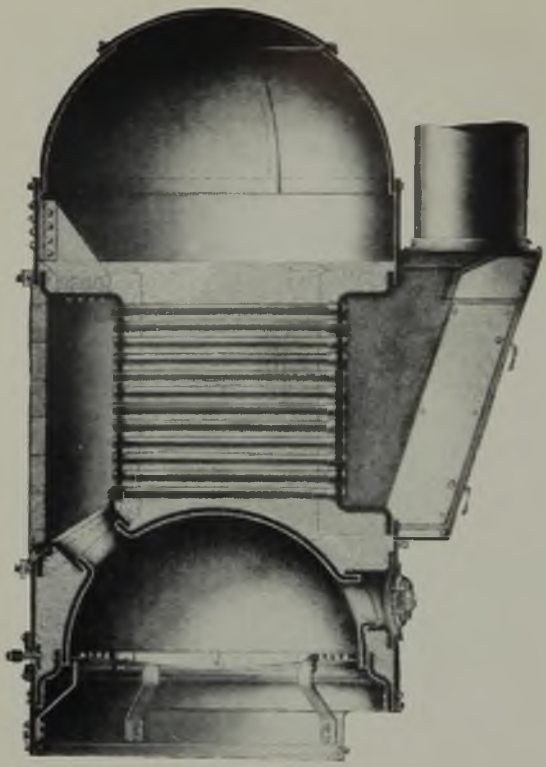
Widok współczesnej elektrowni z trzema turbinami o mocy 50.000 K. M. każda.



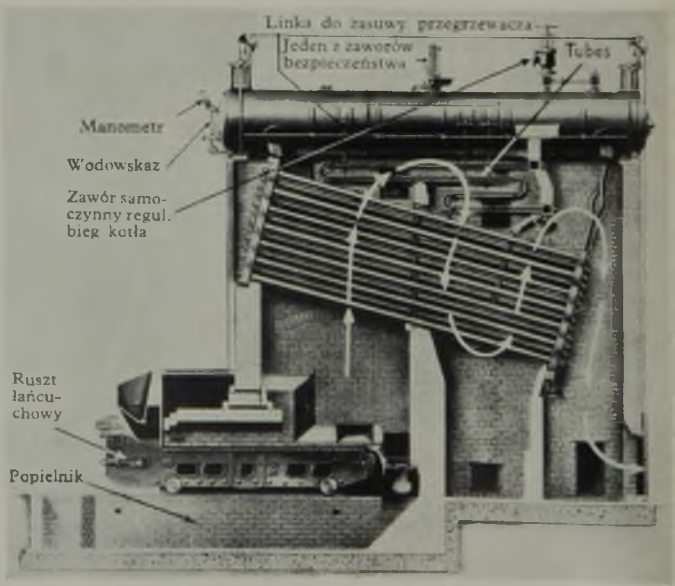
Łopatki turbiny parowej Parsonsa.

Widoczne [illegible] łopatki turbiny parowej w części końcowej ekspansji. Ciekawy jest niezmiernie kierującym. Wynosi on ułamek milimetra.

TABLICA 9.



Przekrój stojącego kociołka Cochrana.



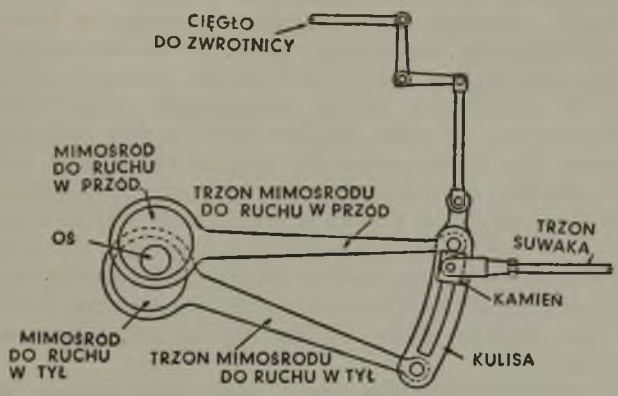
Kocioł wodnorurowy Babcock & Wilcox.

Strzałki wskazują kierunek gazów gorących, nagrzewających rury wodne.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

rowozów muszą być inaczej urządzone, by mogły zmieniać swój kierunek ruchu w zależności od potrzeby.

Chcąc osiągnąć taką możliwość trzeba jakoś urządzić tak to nastawianie mimośrodu, by raz było możliwe wyprzedzanie ruchu suwaka w prawą stronę a raz w lewą. Demontowanie za każdym razem zaklinowanego mimośrodu nie by-



Rys. 15. Stawidło Stephensona.

łoby rzeczą wygodną, potrzebne jest więc takie łatwe przestawienie z jednej pozycji na drugą, by nie nastręczało to ani trudności ani nie zabierało wiele czasu.

Jednym z najstarszych sposobów przestawiania suwaka jest wyżej podana konstrukcja Stephensona (rys. 15), utrzymująca się do dziś w wielu maszynach parowych, lądowych, okrętowych i w większości parowozów. Są tu czynne dwa mimośrody na stałe zaklinowane w taki sposób, że jeden ma kąt wyprzedzenia na prawo, a drugi taki sam kąt wyprzedzenia na lewo. Każdy z tych mimośrodów może być połączony bezpośrednio z trzonem suwaka, tak że w krańcowym położeniu do cylindra będzie zawsze napływać największa ilość pary, gdyż otwarcie szczeliny wlotowej będzie trwało najdłużej.

Zarówno krańcowe położenie kulisy umieszczonej między końcem dźwigni mimośrodów, czy to będzie w położeniu dolnym czy w górnym, wywoła największy skok suwaka i największy dopływ pary. Kulisa więc widoczna na rysun-

ku jako podwójny łuk spełnia rolę nie tylko pośrednika w łączeniu końca trzonka suwakowego, lecz także jako pośrednika w ilości doprowadzanej pary. Pozycja, jaką widzimy na rys. 15, wyraźnie ilustruje nam chwilę największego napełnienia cylindra parą, przy czym kierunek ruchu maszyny parowej będzie prawy.

Gdy kulisa zostanie podniesiona do góry i dolna dźwignia mimośrodu zostanie połączona z końcem trzonka suwakowego, nastąpi obrót maszyny parowej w lewo i to przy największym napełnieniu parą. W takich wypadkach parowóz np. będzie się cofać wstecz zamiast jechać na przód. We wszystkich innych położeniach kulisy, obojętne czy od góry czy od dołu, dopływ pary będzie zmniejszany i wreszcie gdy kulisę ustawimy tak, że będzie ona dokładnie w pośrodku, suwak przestanie się poruszać zamknąwszy całkowicie dopływ pary ze skrzynki suwakowej do cylindra.

W tej pośredniej pozycji maszyna parowa nie mogłaby ruszyć ani naprzód, ani wstecz. Możliwość regulowania dopływu pary przez zwiększenie czasu napełniania lub skrócenie ma bardzo duży wpływ na sposób prowadzenia parowozu.

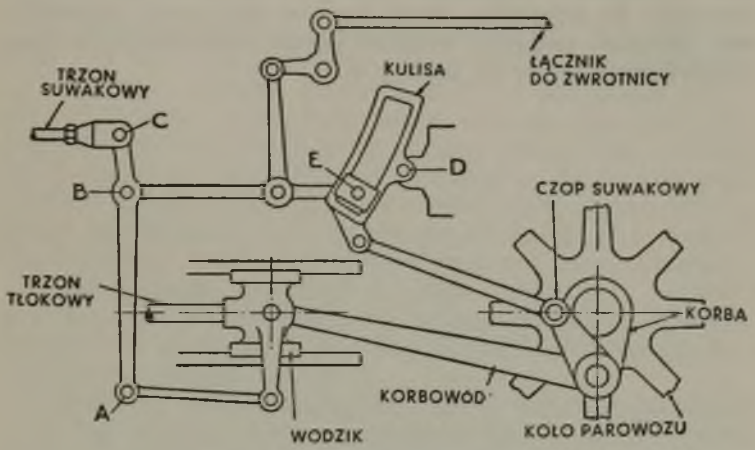
Gdy zachodzi potrzeba pracy przy największym napełnieniu, jak dajmy na to przy pokonywaniu wielkich wzniesień, maszynista nastawia kulisę na skrajne położenie i doprowadza największe ilości pary do cylindra i tak duże, że para nie może całkowicie ekspandować, wylatując przez komin w dużym stopniu nie zużyta. Lecz za to przez cały czas ruchu tłoka, na tłok było wywarte możliwie największe ciśnienie pary. W wypadkach, gdy parowóz nie musi pokonywać wzniesień ani ciągnąć nadmiernej ilości wagonów, wówczas maszynista przesuwa kulisę w położenie najbardziej zbliżone do środka. Wtedy do cylindra wpływają minimalne ilości świeżej pary wprost z kotła i para ta ma czas i możność całkowicie się rozprężyć czyli ekspandować. W takim pośrednim położeniu suwak wykonuje najkrótszą drogę. Otwarcie dopływu pary trwa bardzo krótko i zaraz potem następuje przysłonięcie szczeliny wlotowej.

Minimalne porcje pary doprowadzane do cylindra powodują naturalnie wielką oszczędność w zużyciu pary a tym samym w zużyciu paliwa.

Stawidło Stephensona uległo z biegiem czasu licznym przeróbkom. Na rys. 16 widzimy konstrukcję Walschaerta,

stosowaną w angielskich parowozach pospiesznych. Powstała ona w r. 1844. Walschaert był mechanikiem w belgijskich zakładach parowozowych i jego konstrukcja niebawem rozpowszechniła się na cały kontynent europejski i Amerykę.

Zaletą konstrukcji Walschaerta jest uproszczenie w tym sensie, że nie potrzeba odtąd wmontowywać na osi dwukrotnie wykorbionej dla pomieszczenia korbowodów jesz-



Rys. 16. Stawidło Walschaerta.

cze dodatkowych czterech mimośrodów do napędu dwu suwaków po obu stronach parowozu. W jego konstrukcji zamiast mimośrodu wystarcza jedna mała korba wmontowana na czopie korbowym.

Przedstawione na rys. 16 stawidło ma następujące połączenia. Koniec trzonka suwaka oznaczony literą C jest połączony z dźwignią A—B odbywającą ruchy wahadłowe zgodnie z ruchem wodzika. Punkt B a więc obrotu tej dźwigni ulega jednak stałym ruchom w zależności od obrotów czopa korbowego. Czop małej korby jest bowiem połączony z kulisą wahającą się około punktu D. W tej kulisie przesuwa się kamień E do góry lub na dół w zależności, czy parowóz ma posuwać się na przód, czy wstecz. Warto tu zauważyć, że czop wprawiający w ruch suwak jest dokładnie o 90 stopni przesunięty przed czopem wału korbowego.

Pozycja, którą widzimy na rys. 16, daje nam pojęcie, w jakiej sytuacji znajduje się tłok co łatwo poznać po położeniu korby, że będzie on w pośrodku skoku w cylindrze, a z położenia kulisy, że suwak jest już w pozycji po zamknięciu dopływu pary.

Podobnie jak w poprzedniej konstrukcji skrajne położenia kulisy i kamienia w niej umieszczonego powodują jak największe napełnienie parą cylindra. Gdy kamień znajduje się pośrodku drogi dopływ pary jest najmniejszy. Sytuację podobną widzimy bardzo dokładnie na zdjęciu fotograficznym, na tablicy 6.

ROZDZIAŁ V

W JAKI SPOSÓB DZIAŁA MASZYNA PAROWA

Część 2

W dotychczasowych opisach omawialiśmy maszyny parowe tłokowe. Dowiedzieliśmy się, w jaki sposób działa para z jednej i z drugiej strony na tłok i w jaki sposób odbywa się zamiana ruchu postępowego tłoka na ruch obrotowy mechanizmu korbowego, przy pomocy korbowodu i korby. Teraz zajmiemy się turbinami parowymi. Są to maszyny, w których para wywołuje bezpośrednio ruch wirowy osi, na której są osadzone koła łopatkowe na przemian z kołami łopatkowymi, osadzonymi nieruchomo na osłonie turbiny.

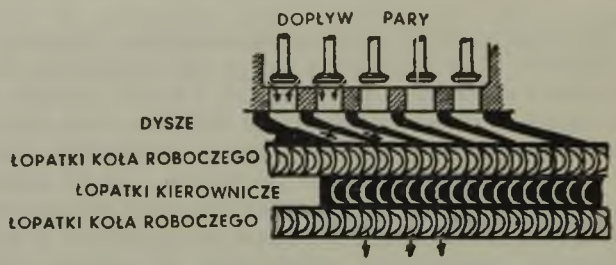
Turbiny można podzielić na dwa zasadnicze systemy według istoty ich działania: na turbiny reakcyjne i turbiny akcyjne. W rozdziale 1 na str. 5 widzieliśmy wirującą banię Herona sprzed 2000 lat.

Byłaby to turbina reakcyjna, gdyż jej ruch obrotowy wywołuje reakcję pary ulatniającej się z kociołka przez rurki wygięte. Z doświadczeń szkolnych znamy też wirujące kółka wodne, wprawione w ruch obrotowy przez wylewającą się wodę. Podobne urządzenia istnieją też w wielu miejscach w ogrodach jako wirujące wodotryski. Wszystkie te kółka obracają się w kierunku przeciwnym wypływowi strumienia wody, a więc działają na zasadzie reakcji.

W turbinie akcyjnie, para skierowana wprost na łopatki uderza w nie i odpycha je wywołując ruch wirowy, podobnie jak wiatr obracający śmigła wiatraka. Najstarszym przedstawicielem takiej turbiny może być konstrukcja przytoczona przez Branca, pokazana na rysunku 2. Impuls pary na łopatki wywołuje ruch obrotowy.

Turbina parowa de Lavala była pierwszą realizacją turbiny akcyjnej. Istotę jej działania wyjaśnia doskonale rysunek zamieszczony na tablicy V. W tej turbinie na kole wirnikowym znajduje się szereg łopatek w kształcie litery U. Parę doprowadzają dmuchawy skierowane stycznie do tych łopatek. Uderzająca para w te łopatki wywołuje ich ruch a tym samym obrót koła. Zużyta para wylatuje

w kierunku przeciwnym, zmieniwszy między łopatkami kierunek biegu. Dalej trzeba zauważyć, że w turbinie de Lavala para wpada przez stożkowe, stale rozszerzające się dmuchawy. W ten sposób ciśnienie pary spada gwałtownie, lecz za to szybkość jej wzrasta do niezwykłych granic: istny huragan pędzącej na łopatki pary.



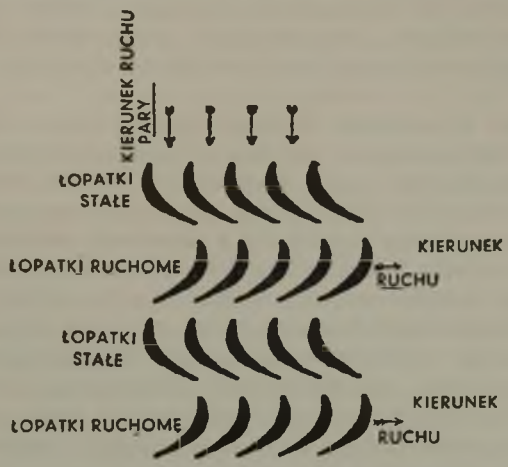
Rys. 17. Działanie turbiny akcyjnej Curtisa.

W turbinach tej konstrukcji musi oczywiście koło łopatkowe wirować z niezwykłą szybkością, gdyż w przeciwnym razie, gdyby poruszało się wolniej, para wylatywałaby z drugiej strony, nie oddawszy całkowitej swej energii, a więc marnowałaby się bezużytecznie. Najwłaściwsza szybkość dla koła turbiny de Lavala wynosi około połowy wylotu pary. W turbinie 3-konnej koło łopatkowe wykonuje 30.000 obrotów, w 300 konnej przy większej swej średnicy ma jeszcze 10.600 obrotów na minutę.

Tak wielkie szybkości są jednak niedopuszczalne dla kół o większych średnicach, gdyż łatwo mogą one doprowadzić do zupełnego rozerwania i zniszczenia koła. A nadto tak szybko wirujące koło nie może być praktycznie zastosowane do napędu maszyn bez redukowania obrotów. Toteż turbiny tego sytemu mają już w swym korpusie na stałe wbudowane przekładnie zębate w znacznym stopniu redukujące ilość pierwotną obrotów koła łopatkowego.

Na rys. 17 widzimy przekrój turbiny parowej Curtisa. Para dochodzi tu do szeregu dysz czyli dmuchawek o kształcie podobnym jak w turbinie de Lavala i uderza na wirujące koło łopatkowe. Wspominaliśmy, że para dostawszy się do wirującego koła łopatkowego zmienia swój kierunek i opuszcza koło w odwrotnym kierunku. W tur-

binie Curtisa para po opuszczeniu pierwszego wirnika wpada na stałe nieruchome koło łopatkowe, w którym następuje przestawienie kierunku jej wylotu na taki, jaki był poprzednio, i ponowne skierowanie jej na następne koło wirnikowe. Po opuszczeniu tego koła ponownie para dostaje się do koła łopatkowego stałego, które zmienia jej kie-



Rys. 18. Działanie turbiny parowej Parsonsa.

runek i rzuca ją ponownie na trzecie z rzędu koło wirujące. Wszystkie koła wirujące są połączone razem na wspólnej osi.

Na przykładzie turbiny de Lavala widzieliśmy, że para wpadająca uchodziła z zupełnie zredukowanym ciśnieniem i zmniejszoną szybkością. Istnieje więc możliwość stopniowego zmniejszania szybkości wylotowej pary przez stopniowe rozprężanie pary, przy czym każdy następny stopień może mieć niższe ciśnienie niż poprzedni. Można więc parę z dysz wysokiego ciśnienia przepuścić na koło pracujące tracąc tylko część jej ciśnienia, w pierwszym stopniu, następnie w drugim kole kierowniczym, dalej rozprężyć ją częściowo i tak aż do końca, posiłkując się następnymi rzędami kół kierowniczych i wirnikowych.

Koła kierownicze nieruchome są wspólnie umocowane w osłonie. Para może przedostać się z jednego rzędu kół kierowniczych do następnego jedynie po przejściu prze-

koło pracujące. W ten sposób uzyskuje się redukcję ciśnienia na całą kolekcję kół wirnikowych i kierowniczych. Każdy stopień będzie więc odpowiadał jakby jednemu stopniowi ekspansji w maszynie tłokowej.

Prawdziwym postępem w budowie turbin było pojawienie się reakcyjnej turbiny Parsonsa, noszącej od jego imienie tę nazwę. W turbinach de Lavala i Curtisa ruch łopatek był wywołany bezpośrednią akcją czyli uderzeniem pary skierowanej przez koło kierujące lub dysze nieruchome.

Na rys. 18 widzimy szereg łopatek nieco odmiennego kształtu, używanych w turbinie reakcyjnej Parsonsa. Jak łatwo zauważyć, mają one kształt bardzo podobny do skrzydeł samolotu. Gdybyśmy dokładnie zmierzyli szerokość wlotu między łopatkami a szerokość wylotu, zauważyliśmy, że wlot jest większy a wylot mniejszy. Toteż para wpada na łopatki szybciej a opuszcza je wolniej.

Para wpada najpierw do pierwszego koła kierowniczego nieruchomego i po opuszczeniu go wchodzi do drugiego koła wirującego, uderzenie pary odbywa się pod prostym kątem. Po wyjściu z koła wirnikowego para przechodzi ponownie przez drugie koło kierownicze i uderza na następny pierścień łopatek zmontowanych na ruchomej osi. Stale umocowane łopatki w kołach kierowniczych, biegnących dokoła pierścieni kół wirujących, przejmują na siebie reakcję pary, zmuszając ją do zmiany kierunku przed weiściem do kół wirujących. Stąd nazwano tę turbinę reakcyjną.

W tym systemie turbin pierścienie kół łopatkowych są bardzo wąskie i małe przy wstępie pary a następnie rozszerzają się, to jest łopatki są coraz dłuższe przy zachowaniu tej samej szerokości. Po przejściu przez wszystkie koła łopatkowe para stopniowo ekspanduje przyjmując coraz większą objętość.

Ponieważ różnica spadku ciśnienia między kotłem a kondensatorem jest bardzo duża, więc turbiny Parsonsa dzieli się na dwie lub trzy części. Para wchodzi najpierw do części wysokoprężnej, następnie do części o średnim ciśnieniu i wreszcie do ostatniej, — o niskiej prężności. Ten podział i ten rodzaj konstrukcji ma te same zalety co rozdział pracy pary w maszynach tłokowych wieloeks-

pansyjnych. Rozdział na stopnie daje w rezultacie wyższą wydajność.

Turbina, jakkolwiek jest podzielona na stopnie, musi być uważana za całość, a podział jej na stopnie jest tylko wewnętrzną formą konstrukcyjną. Nawet gigantyczne turbiny o wielkiej mocy są budowane jako całe zespoły. Największa z nich, obsługująca siłownię Battersa, jest mimo swych 67.200 kilowatów zmontowana z trzech „cylindrów" w jedną całość. Wielki statek transatlantycki Cunarda „Queen Mary" posiada czterostopniową turbinę. Para o ciśnieniu 32 atmosfer przechodzi do pierwszego stopnia, następnie oddawszy część swej energii, dostaje się do części pierwszej a następnie drugiej średniego ciśnienia i wreszcie oddawszy resztę w części niskiego ciśnienia skrapla się w kondensatorach. Każdy stopień ma oddzielną przekładnię zębatą, przenoszącą napęd na śruby okrętowe. Ta przekładnia zębata jest konieczną, by zmniejszyć ilość obrotów osi turbiny do niezbędnych a mniejszych obrotów śruby okrętowej. Parowiec ten posiada więc cztery zespoły turbinowe i cztery śruby napędowe.

Bywa jednak i tak, że rozdziela się jedną właściwie turbinę na trzy oddzielne zespoły. Taka konstrukcja, wykonana przez firmę C. A. Parsons & Ltd. dla wielkiej elektrowni w Chicago o mocy 50.000 kilowatów, posiada trzy osobne turbogeneratory. Do pierwszego dopływa para pod ciśnieniem 42 atmosfer i napędza dynamomaszynę dostarczającą 16.000 KW.

Para z tej turbiny przechodzi następnie do drugiej przy ciśnieniu 8,3 atm. i napędza dynamomaszynę dającą 29.000 KW. Para uchodząca z tej turbiny ma już bardzo niskie ciśnienie, wynoszące tylko około 0.86 atm. poniżej ciśnienia atmosferycznego. Para w tym stanie nie zdołałaby w normalnych warunkach opuścić turbiny, a jeśli to się tak dzieje, to jest to możliwe tylko dlatego, że wchodzi ona do trzeciej turbiny, gdzie na drugim końcu panuje niemal absolutna próżnia. Gdybyśmy więc wstawili barometr rtęciowy do rury wylotowej, łączącej wylot pary z drugiej turbiny z wlotem trzeciej turbiny, znaleźlibyśmy spadek ciśnienia i rtęć opadłaby do poziomu 725 mm.

Z tej mało wartościowej pary, która o własnej sile jużby nie opuściła rury wylotowej, wydobywa się w trzeciej

turbinie 6.000 KW. Teraz dopiero rozumiemy, dla czego zachodzi konieczność rozdzielenia tak wielkiej turbiny na trzy odrębne zespoły. Ostatni zespół jest bowiem największy, wirnik tej turbiny waży 54 tony, a łopatki w ostatnim kole mają długość jednego metra.

Tego rodzaju potężna i kosztowna konstrukcja, ma uzasadnienie jedynie wówczas, gdy staje się możliwe wyzyskanie potężnej jeszcze ilości energii (około 8.000 K. M.) z pary, w normalnych warunkach przeznaczonej właściwie do wylotu. Nawet w maszynach parowych tłokowych osiągnięcie takiego efektu z pary wylotowej nie byłoby możliwe. Jeśli osiągnięto w tym wypadku tak dobry rezultat, to dzięki bardzo wielkiej próżni w kondensatorze. Przyjmując jednak, że i to by się udało, wymiary ostatniego cylindra maszyny tłokowej byłyby niemożliwie wielkie. Nadto nie byłoby możliwe rozdzielanie pary suwakiem, wskutek jej znacznego rozrzedzenia. Wymiary szczelin wlotowych i suwaka musiałyby być nadmiernie wielkie.

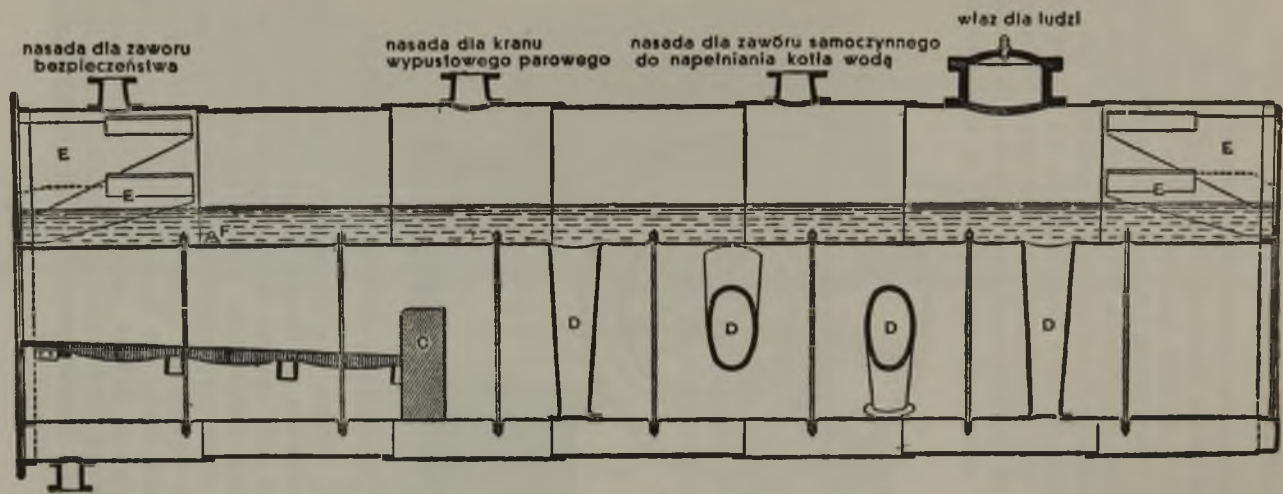
Toteż wobec tych trudności może być mowa o wyzyskaniu wielkich ilości pary wylotowej jedynie przy użyciu turbin parowych o niskim ciśnieniu. Stosuje się więc umyślnie turbiny na tak niskie ciśnienia dla pary odlotowej — jako jednostki uzupełniające instalację siłowni. Tak np. na pasażerskich statkach „Olimpic" i „Titanic" były używane równocześnie maszyny tłokowe i turbiny. Turbiny pracowały parą odlotową.

Kocioł i armatura kotłowa

Kotły służące do wytwarzania pary dadzą się podzielić na dwa zasadnicze typy: ognio- i wodno-rurowe. Mogą to być kotły pionowe, jakich używamy przy dźwigach, lub poziome — jak w parowozach.

Systemów kotłów jest tak dużo, że trudno byłoby wszystkie je opisać, wystarczy jeśli poznamy najważniejsze z nich, reprezentujące poszczególne typy. Najprostsze a zarazem najstarsze kotły, używane w stałych instalacjach, były angielskiego pochodzenia i stąd pochodzi ich nazwa, kotłów kornwalijskich.

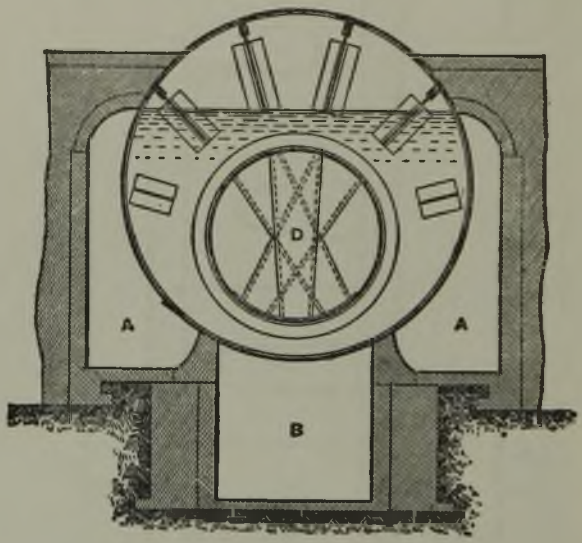
Na rys. 19 widzimy w przekroju kocioł kornwalijski charakterystyczny tym, że palenisko, jest wewnątrz. Przez całą długość tego kotła biegnie pozioma rura płomienicowa,



Rys. 19. Kocioł kornwalijski, przedstawiony w przekroju podłużnym.

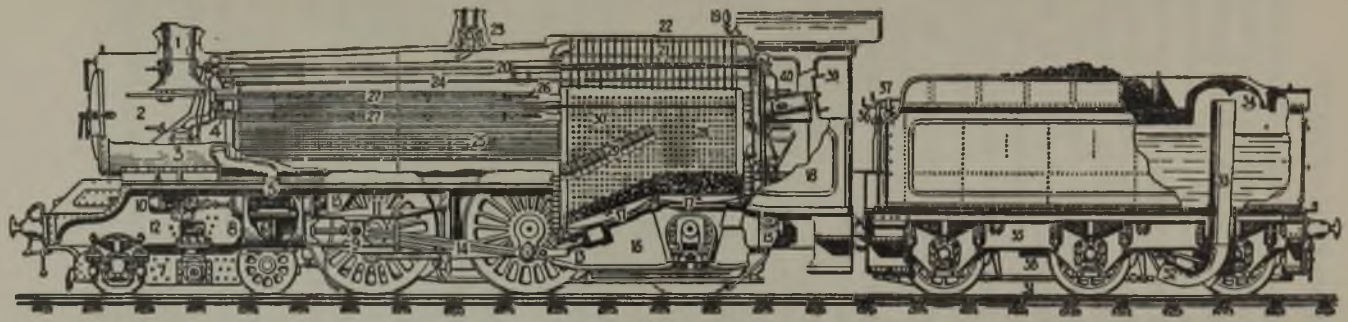
wykonana z fragmentów znitowanych razem, o takiej wielkości, na jaką pozwala poszczególny arkusz blachy.

Z jednej strony i drugiej dna są płaskie, by więc nie uległy wygięciu, są wzmocnione kotwami E. Rura płomienicowa jest ze stali, przyczem główna rura jest przeniknięta kilkoma rurami stożkowymi mniejszych wymiarów (D). Poszczególne segmenty tej rury mają wygięte na zewnątrz kołnierze. Rola tych kołnierzy jest trojaka. Po pierwsze w tych miejscach istnieje możliwość zgniotu, co chroni całą rurę od tak znacznego wydłużenia, że mogłoby to za-



Rys. 20. Poprzeczny przekrój kotła kornwalijskiego.

szkodzić dnom, które w przeciwnym wypadku uległyby wygięciu na zewnątrz; po drugie, brzegi kołnierzy doskonale usztywniają cały system rury płomienicowej; po trzecie wreszcie dzięki kołnierzom jest lepsze przenikanie ciepła do wody. Cztery rury poprzeczne stożkowego kształtu, nazwane od ich wynalazcy „rurami Gallowaya", pomagają w nagrzewaniu wody i w lepszym jej krążeniu. Są one szersze ku górze, co znowu sprzyja wywiązywaniu się w nich pary; gdyby były walcowe, para wytwarzałaby się w nich gwałtownie i wywoływałaby niepotrzebne pulsacje.

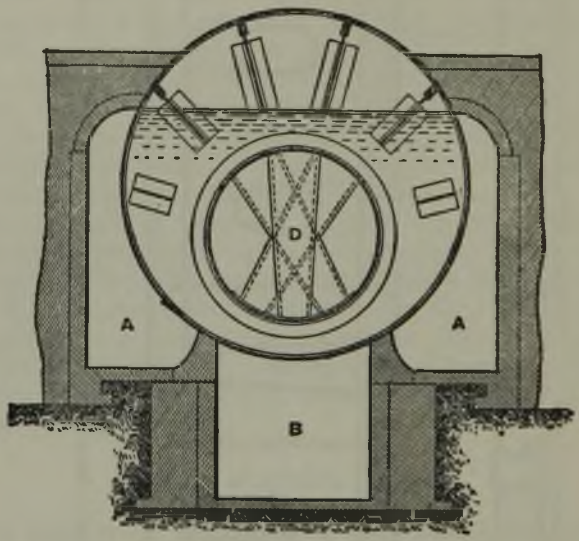


Rys. 21. Parowóz nowoczesny w przekroju.

1. Komin
2. Dymnica
3. Rura wydechowa
4. Przegrzewacz
5. Dopływ pary
6. Tłok
7. Rama podwozia przedniego
8. Cylinder
9. Wodzik
10. Dopływ pary do wewnętrznego cylindra
11. Prowadnica
12. Główna rama podwozia
13. Koło sprzężone
14. Korbowód
15. Skrzynka z piaskiem
16. Popielnik
17. Ruszta
18. Stanowisko maszynisty
19. Syrena (gwizdek)
20. Cięgło regulatora
21. Kotwy pionowe
22. Ogniowa osłona kotła
23. Zawory bezpieczeństwa
24. Kotwy podłużne
25. Rurki ogniowe
26. Przegrzewacz
27. Rury przegrzewacza
28. Skrzynia ogniowa
29. Omurowanie z cegieł
30. Sworznie usztywniające skrzynię ogniową
31. Cięgło hamulcowe
32. Czerpak do wody (opuszczany w czasie jazdy do kanału z wodą)
33. Rura wlotowa dla wody
34. Pokrywa
35. Rama tendra
36. Rękojeść hamulca
37. Zawór wodny
38. Zbiornik próżniowy dla hamulca
39. Rękojeść do zmiany kierunku ruchu parowozu
40. Regulator

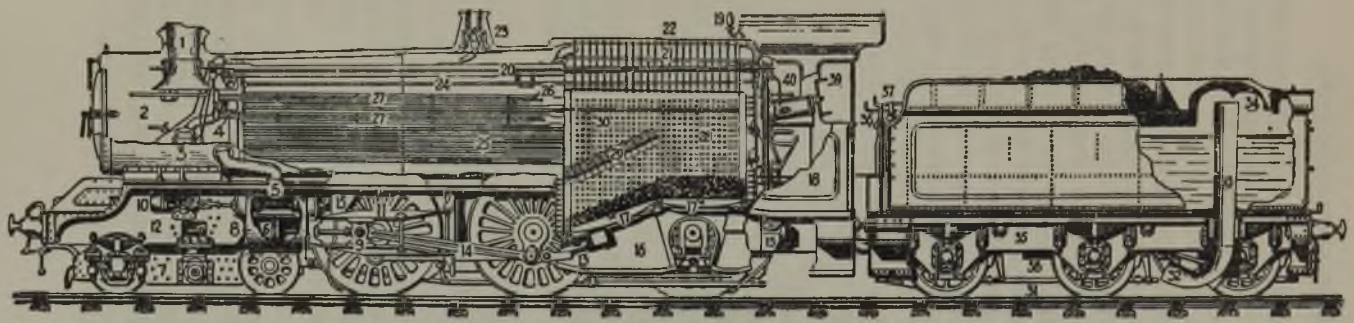
wykonana z fragmentów znitowanych razem, o takiej wielkości, na jaką pozwala poszczególny arkusz blachy.

Z jednej strony i drugiej dna są płaskie, by więc nie uległy wygięciu, są wzmocnione kotwami E. Rura płomienicowa jest ze stali, przyczem główna rura jest przeniknięta kilkoma rurami stożkowymi mniejszych wymiarów (D). Poszczególne segmenty tej rury mają wygięte na zewnątrz kołnierze. Rola tych kołnierzy jest trojaka. Po pierwsze w tych miejscach istnieje możliwość zgniotu, co chroni całą rurę od tak znacznego wydłużenia, że mogłoby to za-



Rys. 20. Poprzeczny przekrój kotła kornwalijskiego.

szkodzić dnom, które w przeciwnym wypadku uległyby wygięciu na zewnątrz; po drugie, brzegi kołnierzy doskonale usztywniają cały system rury płomienicowej; po trzecie wreszcie dzięki kołnierzom jest lepsze przenikanie ciepła do wody. Cztery rury poprzeczne stożkowego kształtu, nazwane od ich wynalazcy „rurami Gallowaya", pomagają w nagrzewaniu wody i w lepszym jej krążeniu. Są one szersze ku górze, co znowu sprzyja wywiązywaniu się w nich pary; gdyby były walcowe, para wytwarzałaby się w nich gwałtownie i wywoływałaby niepotrzebne pulsacje.



Rys. 21. Parowóz nowoczesny w przekroju.

1. Komin
2. Dymnica
3. Rura wydechowa
4. Przegrzewacz
5. Dopływ pary
6. Tłok
7. Rama podwozia przedniego
8. Cylinder
9. Wodzik
10. Dopływ pary do wewnętrznego cylindra
11. Prowadnica
12. Główna rama podwozia
13. Koło sprzężone
14. Korbowód
15. Skrzynka z piaskiem
16. Popielnik
17. Ruszta
18. Stanowisko maszynisty
19. Syrena (gwizdek)
20. Cięgło regulatora
21. Kotwy pionowe
22. Ogniowa osłona kotła
23. Zawory bezpieczeństwa
24. Kotwy podłużne
25. Rurki ogniowe
26. Przegrzewacz
27. Rury przegrzewacza
28. Skrzynia ogniowa
29. Omurowanie z cegieł
30. Sworznie usztywniające skrzynię ogniową
31. Cięgło hamulcowe
32. Czerpak do wody (opuszczany w czasie jazdy do kanału z wodą)
33. Rura wlotowa dla wody
34. Pokrywa
35. Rama tendra
36. Rękojeść hamulca
37. Zawór wodny
38. Zbiornik próżniowy dla hamulca
39. Rękojeść do zmiany kierunku ruchu parowozu
40. Regulator

Z lewej strony rysunku widzimy palenisko. Mamy tu zatem ukośnie ułożone ruszta i obmurowanie na końcu rusztu zatrzymujące nagromadzony węgiel. Na ilustracji nie widać w przednim denku drzwiczek paleniskowych. Popiół pada na dolną część rury pod rusztem. W górnej części rury płomienicowej, w miejscu oznaczonym literą (F) znajduje się korek z łatwo topliwego metalu. Na wypadek gdyby palacz przeoczył dopływ wody i doprowadził kocioł do tego stanu, że nad paleniskiem nie byłoby już wody i blacha mogłaby się rozgrzać do czerwoności, korek stapia się. Przez powstały otwór może wówczas wniknąć woda z parą i stłumić ogień, ratując kocioł przed eksplozją.

Przekrój poprzeczny kotła mamy przedstawiony na rys. 20. Widzimy tu wyraźnie rurki Gallowaya w przekroju rury płomienicowej. Widzimy też wyraźnie kotwy wzmacniające dno kotła. Płomień i gazy spalenia ogrzewają rurę płomienicową i rurki Gallowaya. Przeszedłszy przez całą długość płomienicy gazy spalenia skierowują się do podłużnej komory B podgrzewając kocioł od zewnątrz przez całą długość. Gazy doszedłszy do dna frontowego, skręcają na obie strony i wpadają do dwu równoległych bocznych kanałów (A A), ogrzewając już oczywiście znacznie łagodniej obie boczne ściany kotła od zewnątrz.

Dalszym ulepszeniem kotła kornwalijskiego był kocioł Lancashire, tak nazwany od prowincji angielskiej, w której najpierw się pojawił. Posiadał on dwie rury płomienicowe zamiast jednej po środku.

Na rys. 21 mamy przedstawiony przekrój kotła parowozowego. Posiada on liczne rurki ogniowe i nazywa się ogniorurkowym, ponieważ ogień przeciąga przez te rury wzdłuż całego kotła. Na przedzie przy stanowisku maszynisty i palacza znajduje się wykonana z blach miedzianych skrzynia ogniowa. Ze wszech stron otacza ją woda. Dla wzmocnienia jej ścianek są wkręcone bardzo liczne śruby usztywniające (21).

Żar wydziela się z płonącego węgla na rusztach 17, pod którymi znajduje się popielnik. Płomień uderza w most z materiału ogniotrwałego 29 i dopiero po przekroczeniu tego sklepienia dostaje się do licznych rurek 26 i 27. Są one różnej średnicy. W tych większych znajdują się rurki przegrzewacza 26.

Między zewnętrzną blachą kotła a okryciem istnieje wolna przestrzeń, której zadaniem jest odizolowanie kotła i jego zewnętrznych ścian od zimna otaczającego parowóz.

W miejscu oznaczonym cyfrą 23 widzimy zawór bezpieczeństwa, w miejscu 19 syrenę. Dym po przejściu przez rurki płomienne dostaje się do dymnicy w kształcie okrągłej skrzyni, zanim wyjdzie do komina 1. Tu dym napotyka na wylot pary z rur wydmuchowych. Para wylotowa uchodzi z taką energią, że wywołuje w kominie potężny sztuczny ciąg, niezbędny by w palenisku podtrzymać żar. Na samym przodzie parowozu znajdują się drzwiczki, konieczne dla wstępu do skrzyni dymowej celem oczyszczenia rurek płomienicowych.

Na małych statkach, holownikach, trawlerach bardzo rozpowszechniły się kotły okrętowe, tak zw. „Szkoty".

Charakterystyczną cechą tych kotłów są potrójne paleniska tak rozmieszczone, by zwiększyć powierzchnię ogrzewalną, gdyż kotły te są bardzo krótkie. Ponieważ całą niemal rurę płomienicową zajmuje ruszt, więc gazy spalenia zawracają górą ku przedniemu denku i ogrzewają parę. Potężny ciąg zmusza gazy spalenia do przedarcia się przez rurki ogniowe, zanim dostaną się do komina. Są one całkowicie okryte wodą, stąd wyzyskanie ciepła jest bardzo dobre, a wytwarzanie pary bardzo intensywne.

Kotły te są wzmocnione śrubami usztywniającymi. Na froncie nad paleniskiem znajdują się drzwiczki prowadzące do komory dymowej, tędy więc można czyścić rurki pokryte sadzą. Intensywne spalanie pod tymi kotłami, konieczne i możliwe wówczas, gdy dym uchodzi jeszcze bardzo gorący, nie zawsze wystarcza przy naturalnym ciągu. Gdy zachodzi potrzeba wzmożenia ciągu w kominie, stosuje się tłoczenie powietrza wentylatorami pod ruszta palenisk.

Pionowe kotły ogniorurkowe, najczęściej małej pojemności, znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie chodzi o zajmowanie najmniejszej przestrzeni.

Na rys. w tablicy 9 — widzimy przekrój podłużny kotła pionowego znanej firmy angielskiej Cochran.

Szczyt paleniska i góra tego kotła mają denka półkuliste. Gazy płomienne przechodzą z paleniska przez poziome

rurki ogniowe do komory dymowej. W ten sposób wyzyskana jest duża powierzchnia ogrzewalna, otaczająca wodę żarem ze wszech stron. Oczyszczanie rurek jest również bardzo wygodne, odbywa się ono po otwarciu drzwiczek w komorze dymnicy.

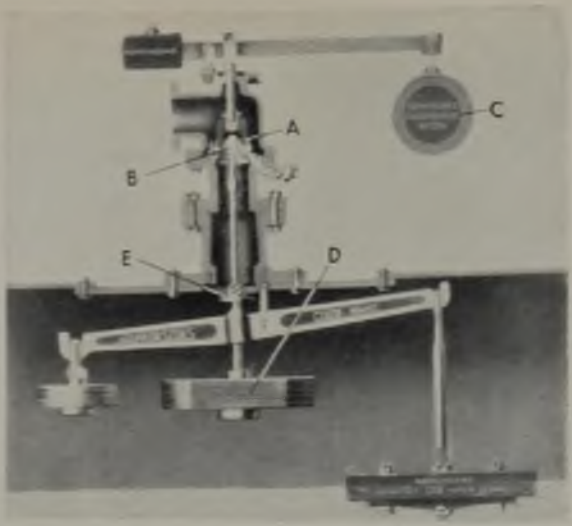
Kotły wodnorurkowe wchodzą coraz bardziej w użycie nie tylko w wielkich elektrowniach, lecz i w marynarce. Można śmiało powiedzieć, że tego rodzaju kotły znalazły zastosowanie na większości okrętów bojowych i na wielkich statkach handlowych. Największe elektrownie i zakłady wytwarzające energię dla celów fabrycznych również stosują kotły wodnorurkowe.

Jest rzeczą znaną, że woda nagrzana staje się lżejszą. W kotłach wodnorurowych wyzyskano tę właściwość do tego celu, by zwiększywszy szybkość cyrkulacji wody spowodować szybkie wytwarzanie się pary. Dzięki temu kotły zawierające stosunkowo małe ilości wody mogą bardzo szybko zamienić na parę i mogą znaczne ilości wody w stosunkowo krótkim czasie przerobić na parę. To właśnie jest główną ich zaletą i z tego powodu są one bardzo cenione w marynarce wojennej. Tam bowiem często zachodzi potrzeba nagłego i szybkiego uruchomienia okrętu, jak również forsownego zwiększenia ilości pary, szczególnie gdy musi być zwiększona szybkość.

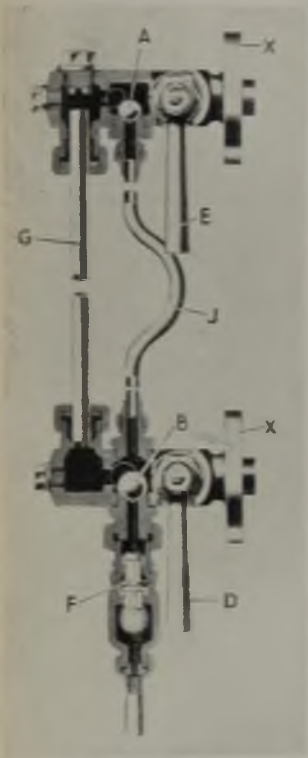
Dalszą zaletą kotłów wodnorurkowych jest to, że składają się one z wielu lecz stosunkowo małych i lekkich części, fakt ten dla montażu i budowy ma duże znaczenie. Nadto wobec tego że rurki i inne elementy kotłów są małych rozmiarów, można stosować wysokie ciśnienia, z reguły groźne dla kotłów o wielkich średnicach.

Na tablicy 9 widzimy w przekroju kocioł Babcock & Wilcox. U góry mamy parnik a więc zbiornik kształtu walcowatego dla pomieszczenia wytworzonej pary wraz z całą najważniejszą armaturą: zaworem parowym i zaworem bezpieczeństwa. Z frontu znajduje się manometr i wodowskaz. Woda zimna, doprowadzona w najniższym punkcie rur, w miarę ogrzewania unosi się do góry, zamieniając się po drodze na parę wodną. Para ta zbiera się w przedniej części zbiornika parowego.

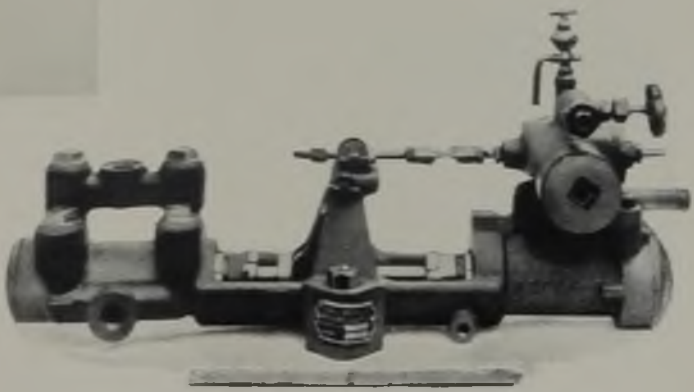
Należy zauważyć, że gazy płomienne, chcąc się przedostać przez zaporę wymurowaną w palenisku, muszą naj-



Zawór bezpieczeństwa Hopkinsona, regulujący dopływ wody i ciśnienie pary.



Wodowskaz Hopkinsona.



Pompa parowa do zasilania kotła wodą

TABLICA II.

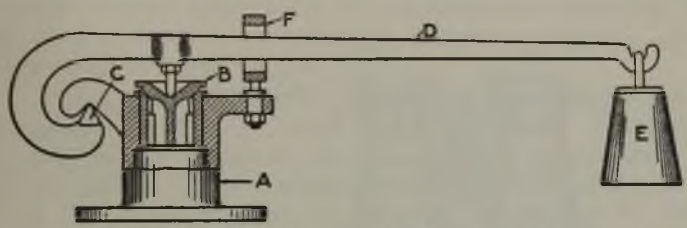
Współczesna lokomobila parowa.

Przekrój paleniska i skrzynki ogniowej.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA Gliwice

wyższą swą temperaturę udzielić tej części rur, w których już zaczyna się wytwarzanie pary. Nadto pod samym parnikiem napotykają one wężownicę przegrzewacza i tu nagrzewają dodatkowo już wytworzoną parę. Następnie zakręcając do komina nagrzewają ciągle rury wodne, znajdując stopniowo coraz zimniejsze partie wody. W ten sposób następuje najlepsze wyzyskanie gorących gazów. Kotły tego typu używane w wielkich elektrowniach posiadają paleniska z ruchomymi łańcuchowymi rusztami, poruszanymi mechanicznie.

W każdym kraju przepisy ustawowe wymagają, by kocioł był zaopatrzony w zawór bezpieczeństwa. Ma to za-



Rys. 22. Dźwigniowy zawór bezpieczeństwa.

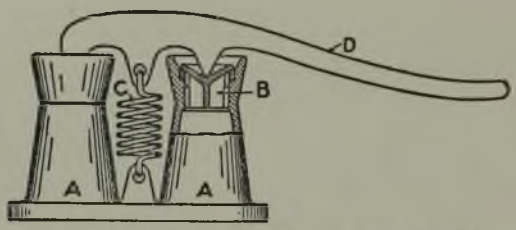
bezpieczyć kocioł przed eksplozją a to przez samoczynne otwarcie się i wypuszczenie nadmiaru pary, w razie gdy granica dozwolonego ciśnienia byłaby przekroczona. Według angielskich przepisów każdy kocioł musi być zaopatrzony w dwa zawory bezpieczeństwa, przy czym mogą one być jednakowe lub różne co do swej konstrukcji. Istota tej konstrukcji polega na tym, że w razie podniesienia się ciśnienia pary zostaje pokonany albo ciężar, albo nacisk sprężyny i zawór się otwiera wypuszczając tak długo nadmiar pary, aż ciśnienie spadnie.

Na rys. 22 widzimy zawór bezpieczeństwa najprostszego typu z długą dźwignią obciążoną na końcu ciężarkiem (E). Korpus zaworu (A), wykonany najczęściej ze stali lub odlewu stalowego, przynitowany jest do kotła. Wewnątrz znajduje się gniazdo na którym spoczywa grzybek zaworu (B). Dźwignia zaworu może się obracać około punktu (C), lecz unieść się nie może wyżej, niż na to pozwoli strzemię (F).

Przy małych ciśnieniach mogą być też użyte zawory

bezpieczeństwa bez dźwigni, obciążone ciężarkami umieszczonymi wprost na zaworze. W tych wypadkach ciężarki składają się z tarczek okrągłych, otaczających właściwy zawór.

Zaleca się powszechnie zawór bezpieczeństwa systemu Hopkinsa. Jest to kombinacja dwu przyrządów ostrzegawczych, jednego właściwego zaworu bezpieczeństwa z przyrządem do nadzoru poziomu wody w kotle. Gdy woda w kotle opadnie poniżej dopuszczalnej granicy i gdy palacz tego nie zauważy, zawór sam daje o tym znać. Na tablicy 10 przedstawiono zawór Hopkinsa w przekroju. Są tu właściwie dwa zawory (A i B), przyczym (B) działa



Rys. 23. Zawór bezpieczeństwa konstrukcji Ramsbottoma.

spoczywając na gnieździe (A). Zawór A jest naciskany ciężarem (D). Gdy ciśnienie pary wzrośnie ponad dozwoloną miarę, otwiera się zawór. (A) i para uchodzi. Gdy natomiast woda opadnie poniżej poziomu, otwiera się zawór (G) a para ulatując wydaje przenikliwy gwizd, dając znać o braku wody.

Zawory dźwigniowe mogą być używane jedynie na kotłach nieruchomo umiejscowionych. Na parowozach, lokomobilach przewoźnych, parostatkach stosuje się zawory dociskane sprężyną. Na rys. 23 widzimy w przekroju taki zawór.

Typ ten był od wielu lat niemal powszechnie używany na parowozach. Właściwie były to dwa wzajemnie połączone zawory dociśnięte sprężyną. Przy pomocy dźwigni mógł maszynista każdej chwili sprawdzić, czy jeden lub drugi zawór działa bez zarzutu. W ten sposób zabezpieczał się maszynista przed ewentualnością zacięcia się zaworu lub zatarcia osadem.

Celowość w tej konstrukcji wyraża się tym, że maszynista nie może takiego zaworu w żaden sposób obciążyć, co nieraz zdarzało się przy zwyczajnych zaworach dźwigniowych i kończyło się nierzadko eksplozją kotła.

Wszystkie zawory bezpieczeństwa, bez względu na to czy będą one dźwigniowe, czy sprężynowe, powinny posiadać dwie bardzo ważne cechy. Nie powinny się zbyt gwałtownie otwierać a natomiast powinny się wolno zamykać. Jest to niezmiernie ważne dla kotłów wysokiego ciśnienia szybko wytwarzających parę. Jeżeli więc zawór otworzył się przy jakimś określonym ciśnieniu, nie powinien zaraz zamykać się, lecz dopiero po obniżeniu ciśnienia choćby o jakiś ułamek atmosfery. W przeciwnym wypadku mamy do czynienia z nadmiernym marnotrawstwem pary a tym samym i węgla.

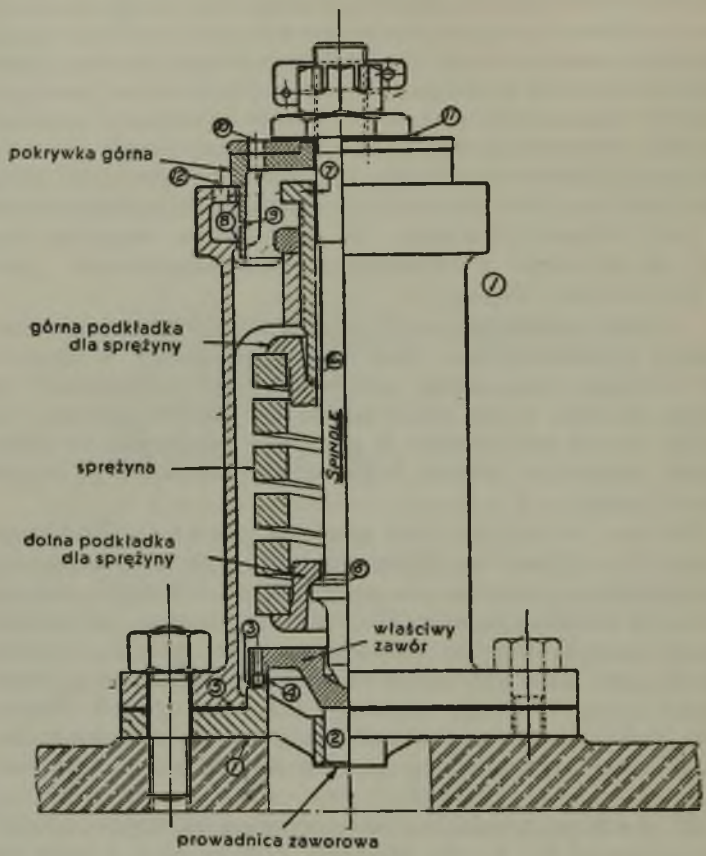
Celem uniknięcia tych trudności został wynaleziony zawór sygnalizacyjny. Jest on bardzo czuły. Wystarczy, by ciśnienie nieznacznie wzrosło, zawór natychmiast zaczyna działać, a gdy ciśnienie spadnie poniżej granicy, zamyka się też gwałtownie. A ponieważ gwałtowne to zamykanie wywołuje dobitny hałas, stąd przezwano go sygnalizacyjnym.

Na rys. 24 widzimy taki zawór w przekroju. Budowany przez firmę Roos Pop Valve, znajduje dziś powszechne zastosowanie w parowozach pośpiesznych i kotłach obliczonych na wielkie ciśnienie. Gniazdo tego zaworu, jest podobne do innych, grzybek zamykający jest płaski (rys. 24 lit. 4) i ma dwie krawędzie styku z gniazdem: jedną oznaczoną cyfrą 4 i drugą większą, oznaczoną cyfrą 3. Między obu tymi krawędziami znajduje się szereg otworków, którymi może wydostać się para w chwilę po podniesieniu zaworu.

W chwili podniesienia zaworu otwiera się szpara między krawędziami 3 i 4. Po otwarciu zaworu para z całą siłą przedostaje się do górnej części i uchodzi otworkami 9 — 12 a częściowo przez otwory 10. Obecność pary we wnętrzu korpusu zaworu sprzyja jeszcze silniejszemu otwarciu zaworu dzięki ciśnieniu wywartemu na pokrywkę górną. Dzięki bowiem naciskowi na pokrywkę zmiejsza się siła działającej sprężyny o tyle, o ile zostanie odciążone wrzeciono i podciągnięte do góry. Powstaje więc większa luka

między krawędziami 3 i 4 i strumień pary z większą energią wypływa z kotła.

Zjawisko to zachodzi tak szybko, że praktycznie biorąc kolejności ruchów zauważyć nie podobna. Gdy ciśnienie



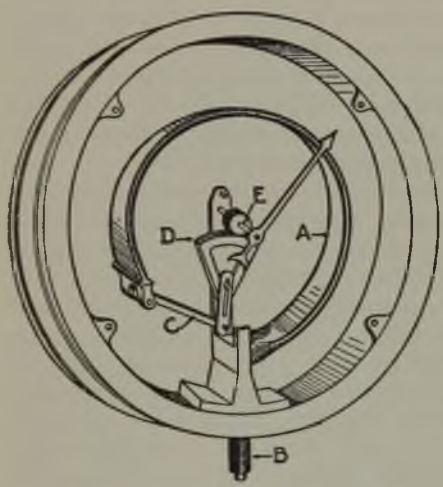
Rys. 24. Zawór bezpieczeństwa Rossa.

kotła zmniejszy się do granic dopuszczalnych, zamknięcie zaworu następuje natychmiast.

Celem kontroli ciśnienia pary w kotle posiłkujemy się manometrami. Na rys. 25 widzimy klasyczny typ takiego manometru, zbudowanego według pomysłu Bourdona.

Chcąc mieć stały poziom wody używają wodowskazów typu Hopkinsona. Urządzenie to mamy przedstawione na tablicy 10.

Jest on umocowany do ścian kotłowych kołnierzami X—X. Dolny kołnierz znajduje się zawsze poniżej normalnego stanu wody, górny w przestrzeni parowej. Poziom wody wypada w ten sposób w połowie szkiełka wodnego (G) i tu może być dobrze obserwowany. Dwa kurki (D) i (E) służą do tego celu, by można było wodowskaz zamknąć i oddzielić od kotła, co czasami może okazać się potrzebne, gdy zajdzie okazja naprawy lub wymiany rurki szkla-



Rys. 25. Manometr. B=dopływ pary, A=płaska rurka rozprężająca się pod wpływem ciśnienia. D, E=kółka zębate poruszające wskazówkę.

nej. By palacza nie poparzyć w razie niespodziewanego pęknięcia rurki szklanej, przewidział tu konstruktor dwa kulkowe zawory samoczynne. Pod naporem wody i pary kulki te ruszają się z miejsca i zamykają wyloty pary i wody prowadzące do szkiełka. W miejscu (F) znajduje się jeszcze jeden zawór służący do przedmuchiwania rurki szklanej.

Szkiełka wodne są rozmaitej konstrukcji, by ułatwić widzenie poziomu wody i pary. Są więc płaskie o nacięciach trapezowych, by wywołać takie załamanie światła, że woda wydaje się czarna jak tusz, a para srebrzysta — jak rtęć. Są też stosowane rurki ze spiralnymi czerwonymi kreska-

mi, przez co wskutek załamania światła wyraźnie występuje poziom wody i pary wobec różnego nachylenia kątów kresek.

Celem utrzymania stałego poziomu wody w kotłach używamy pomp lub injektorów do wtłaczania wody pod ciśnieniem. Najczęściej używa się obu rodzai pomp do zasilania osobno injektora, osobno pompy tłokowej, lub w każdym razie dwóch pomp tłokowych, albo jak na parowozach, dwóch injektorów. Chodzi o to, by w razie zepsucia się jednego aparatu był w rezerwie drugi. Działanie injektora jest bardzo interesujące. Jest to system stożkowych rurek wpędzających wodę pod wpływem pary do kotła. Woda dopływająca do injektora wpada w strumień pary pędzącej jak w dyszy turbiny z niesłychanie wielką szybkością i porywającej swą olbrzymią energią cząstki wody. Rozpęd, z jaką wodą płynie po przejściu injektora, jest tak wielki, że strumień jej może otworzyć zawór kotłowy i pokonać opory i ciśnienie panujące wewnątrz kotła.

Pompy tłokowe mogą być ręczne lub parowe. Ręczne posiadają mały tłok poruszany dźwignią lub mimośrodem w wypadku doczepienia do maszyny, tak jak to bywa przy lokomobilach rolniczych. Parowe pompy posiadają na jednym wrzecionie z jednej strony tłok parowy, z drugiej nur wodny. Przedstawiona na tablicy 10 pompa tłokowa posiada z prawej strony cylinder parowy, z lewej wodny. Suwak widoczny jest od góry po stronie prawej i jest poruszany dźwignią zaczepioną o trzon tłokowy. Skok tłoka tej pompy wynosi 3 cale (około 75 mm), średnica tłoka parowego wynosi 63 mm, a tłoka (nura) wodnego 37 mm. Pompa taka, choć niewielka, może na minutę dostarczyć ponad 600 litrów wody.

W większości krajów europejskich, nie wyłączając Polski, używa się do opału kotłów maszyn parowych na lądzie czy na morzu przeważnie węgla kamiennego w kostkach lub w miale. Do wyjątków należy elektrownia lwowska, opalana gazem ziemnym. Na statkach handlowych głównym paliwem jest również węgiel kamienny w dobrym gatunku, posiadamy go pod dostatkiem. W marynarce wojennej i na bardzo wielkich statkach transatlantyckich zamiast węgla kamiennego używa się do opału kotłów ropy naftowej. Ropa choć droższa ma tak wiele zalet, że okręty wojenne i statki handlowe, o ile tylko mogą mieć zapewnio-

ną dostawę ropy, wybierają to paliwo zamiast węgla. Przede wszystkim wyższa wartość opałowa ropy naftowej pozwala na zmniejszenie ładunku o 30% wagi netto. Ropę pomieścić można w najbardziej fantastycznych pod względem kształtu zakątkach okrętu, gdy dla węgla trzeba rezerwować względnie cenniejsze miejsca, łatwo dostępne dla załogi i palaczy. Dalej przy opale ropą naftową nie potrzeba otwierać drzwiczek paleniskowych, co znacznie zmniejsza stratę ciepła. Praca palaczy jest bardzo lekka, gdy przy węglu zarówno załadowanie paleniska jak i ciągłe czyszczenie go ze szlaki i popiołu jest niezmiernie uciążliwe. Ładowanie węgla na statki pasażerskie jest czynnością brudną, zaśmiecającą okręt i pomieszczenia pasażerów, gdy tymczasem napełnianie zbiorników ropą naftową jest bardzo szybkie i czyste. Przed wojną zaczęło się też rozpowszechniać opalanie ropą naftową parowozów, wskutek jednak ciągle wzrastającej konsumpcji benzyny i ciężkich olejów dla celów automobilizmu i lotnictwa powrócono do opału parowozów węglem. Jedynie jeszcze w niektórych okolicach Ameryki, gdzie ropy jest poddostatkiem, niektóre przedsiębiorstwa opalają swe parowozy ropą naftową.

Małe zakłady przemysłowe o niewielkich kotłach, podobnie jak parowozy, mogą być zasilane węglem przez palaczy ręcznie zasypujących ruszta. Praca ta jest jednak tak ciężka, że przy większych kotłach stosuje się mechaniczne podawanie węgla bez użycia łopat.

W takich zakładach podnosi się windami węgiel ponad poziom kotłów do specjalnych zbiorników i doprowadza się go do rusztów. Ruszta są ruchome, systemu łańcuchowego, posuwające się w głąb paleniska bardzo wolno. Wzdłuż całej szerokości łańcucha rozsypuje się węgiel ze zbiorników, który w ten sposób powoli wstępuje w głąb rozpalonego ogniska.

Ruszt łańcuchowy posuwając się z szybkością dostosowaną do charakteru paliwa i ciągu powietrza, unosi ze sobą płonący węgiel, który po drodze stopniowo spala się i w chwili gdy łańcuch zakręca w dół pod popielnik, nie ma na nim nic więcej prócz popiołu. W drodze powrotnej ruszt łańcuchowy ostudza się i pojawia na froncie ponownie gotowy do przyjęcia następnego ładunku.

Sposób spalania się węgla na rusztach jest następujący. Gdy świeży ładunek spadnie na płonącą partię poprzednią, zaczyna się energiczne wytwarzanie gazów, które w wyższych partiach pieca płoną przy zetknięciu się z powietrzem bardzo żywo. Węgiel pozbawiony gazu zamienia się na koks i żarzy się w dalszym ciągu, wydzielając znaczne ilości ciepła. Wreszcie spalony koks rozpada się na drobne cząstki i ostatecznie spopiela całkowicie. Na rusztach kolejność spalania się węgla jest ciągła i nieprzerwana.

Do systemów samoczynnego rozrzucania paliwa na ruszta należy łopatkowy zasilacz Proctor. Jest to coś w rodzaju wolno wirującej łopaty. Węgiel mieści się w skrzyni, w której są łopatki dzielące go na poszczególne ładunki. W chwili uruchomienia łopatki nowa porcja węgla zostaje wyrzucona siłą na ruszta.

Wreszcie istnieją systemy opalania pyłem węglowym. Tu drobno wysiany lub nawet specjalnie mielony węgiel jest rozpylany dmuchawką i rzucany do paleniska. Pył zapala się w locie, tak że spalanie odbywa się raczej podobnie do spalania gazu niż ciała stałego.

Opalanie ropą odbywa się po wstępnym przefiltrowaniu i nagrzaniu płynnego paliwa. Nagrzewanie jest konieczne, by tę gęstą maź zamienić na rzadkopłynną ciecz. Paliwo doprowadza się do palników pod znacznym ciśnieniem 3 do 9 atm., dzięki czemu po przejściu przez wąskie otwory palnika daje się ono doskonale rozpylić. Na końcu palnika dzięki spiralce paliwo wpada w ruch wirowy i wylatuje wirując i rozpylając się. Płomień ogarnia całą miotłę rozpylonej masy, tak że zanim krople mogłyby spaść na ruszt lub dosięgnąć rurek płomiennych, wszystko jest już spalone.

Wiele okrętów posiada paleniska dwojakiego rodzaju: na węgiel i na ropę. Jeśli znajdą się one w portach, gdzie nie można dostać płynnego paliwa, bez trudu przechodzą na paliwo węglowe.

ROZDZIAŁ VI

NOWOCZESNE MASZYNY PAROWE I MASZYNY PRZYSZŁOŚCI

W tym rozdziale omówimy parę ciekawszych konstrukcyj współczesnych maszyn parowych. W ten sposób zilustrujemy dzisiejszy stan rozwoju maszyn parowych i dalsze jeszcze możliwości konstrukcyjne.

Przenośne maszyny parowe małej mocy buduje się ciągle jeszcze dla pospolitych robót; pracują one nieraz w najgorszych warunkach. Przewozi się je z jednej budowy na drugą, z jednej młocki po najgorszych drogach wiejskich na następną. Mogą one pracować na wolnym powietrzu, bez dachu lub pod ziemią przy budowach tuneli, pompowaniu wody itp. Opalanie ich jest rzeczą drugorzędną, gdy braknie węgla, mogą pracować na paliwie najgorszym, zużywają dobrze odpadki drzewne, jak trociny, torf itp.

Jako przykład przeciwieństwa tych pospolitych i tanich maszyn parowych niech posłuży zespół maszyny parowej i pompy do czerpania wody w zakładach wodociągów londyńskich. Para takich potrójnych maszyn parowych znajduje się w budynku wysokim na 5 pięter (patrz tablica 12). Każda z tych pomp posiada napęd 1.000—konnej maszyny parowej. Cała instalacja budynku maszyn i kotłowni wraz z urządzeniami do transportu węgla kosztowała 164.000 ang. funtów. Do zasilenia tych potężnych maszyn parowych służy 6 kotłów wodnorurowych typu Babcock Wilcox o łącznej powierzchni ogrzewalnej około 1.500 metrów kwadratowych. Kotły posiadają ruszta łańcuchowe każdy o powierzchni ok. 7 m^2. Para przegrzana ma ciśnienie 14 atm. Węgiel dochodzi do paleniska wprost ze składów bez najmniejszej pomocy ręki ludzkiej.

Każda stanowi całość ze swą maszyną. Maszyny są pionowe i na ich osi pionowej z jednej strony są korbowody połączone z tłokiem maszyny parowej, po przeciwległej zaś stronie korbowody tłoków wodnych. Cylindry pomp posiadają po zewnętrznej stronie komory zaworowe. Są one dużych rozmiarów, gdyż przekrój strumienia wody wypły-

wającej przez zawory i rury jest znaczny. Niezmiernie ciekawe jest urządzenie samych pomp, które są przeznaczone do pompowania wody na różne wysokości. Gdy wodę trzeba pompować na niższe poziomy, mogą oczywiście tłoki być znaczniejszych wymiarów, niż gdy zajdzie potrzeba pompowania na wyższe. W tym celu w pompach wodnych znajduje się tuleja dodatkowa, którą można na zmianę albo unieruchomić przez przykręcenie jej do cylindra i wówczas tłok w niej poruszający się jest mniejszej średnicy, albo łączy się tę brązową tuleję z tłokiem i wówczas tłok porusza się wraz z tuleją tworząc średnicę wiekszą a tym samym przetłaczając większe ilości wody.

Średnica nura wodnego wynosi 25½ cala, średnica cylindra 30 ½ cala. Tuleja ma więc średnicę większą i może być zaklinowana do nura lub przymocowana do cylindra, a wówczas działa w niej nur węższy. Gdy więc pompuje się wodę na znaczną wysokość, gdy potrzeba większego ciśnienia wody, wówczas pracuje mniejszy tłok, jeśli zaś pompuje się wielkie ilości wody, pompuje nur powiększony o grubość dodatkowej tulei. Skok nura jest oczywiście tak samo wielki jak skok maszyny parowej.

Maszyna parowa jest trzystopniowa, trójekspansyjna. Najmniejszy tłok wysokiego ciśnienia posiada średnicę 730 mm, tłok cylindra średniego ciśnienia posiada średnicę 1.370 mm, największy zaś niskiego ciśnienia ma średnicę 2.180 mm. Jak z tych wymiarów wynika, jest to olbrzym, słusznie zaliczany przez samych Anglików do cudów świata. Skok tej potężnej maszyny parowej wynosi 165 cm. Natomiast ta wielka maszyna parowa obraca się chyba najwolniej ze wszystkich znanych maszyn parowych, gdyż robi zaledwie 25 obrotów na minutę. Dopływ pary do cylindrów uskuteczniają zawory parowe, otwierane krzywikami zmontowanymi na wale obracającym się nad głowicami cylindrów.

Chcąc dać wreszcie całkowite pojęcie o tym gigancie trzeba dodać, że posiada on dwa koła zamachowe każde o średnicy 510 cm i wagi 32 ton. Wał korbowy posiada średnicę 380 mm a główne łożyska, w których się obraca, mają 770 mm średnicy. Ten potężny wał korbowy waży 30 ton. Całkowita ta wysokość maszyny wraz z pompami wynosi prawie 19 metrów. Pompa ta tłoczy wodę do dwu zbiorników. Do jednego położonego na wysokości 60 me-

trów może dziennie dostarczyć około 100 milionów litrów, do drugiego wyższego, położonego na wzniesieniu 120 m, około 50 milionów litrów.

Inny cud świata, jeszcze nie wykończony, to wielka elektrownia londyńska, która znajduje się nad brzegami Tamizy. Dopiero połowa jej jest czynna i ta jeszcze nie pracuje pełną mocą. Po ukończeniu stacja ta będzie dawała od 400.000 do 500.000 kilowatów na godzinę. Zajmuje ona przestrzeń 15 hektarów, przy czym obetonowany brzeg rzeki ma długość przeszło 200 m. Składy węgla będą mogły pomieścić jednorazowy ładunek wynoszący 75.000 ton. Węgiel jest oczywiście sprowadzany drogą wodną.

Do wyładunku węgla służą żórawie mogące w ciągu godziny przeładować 240 do 400 ton. Pełny statek węgla można w ten sposób wyładować w ciągu jednej zmiany. Hala kotłowa, dopiero częściowo wykończona, ma długość 160 metrów, szerokość 30 metrów i wysokość 500 metrów. Mieści się w niej 9 kotłów potężnych rozmiarów. Są one systemu Babcock & Wilcox a każdy z nich może zamienić 120,000 litrów wody przez godzinę na parę o ciśnieniu 46 atm. Na to niezwykle wysokie ciśnienie należy zwrócić uwagę jako na wyjątkowo śmiałe, świadczące o niezwykłej mocy i wytrzymałości materiału, z jakiego są zbudowane kotły. Każdy kocioł posiada olbrzymią powierzchnię ogrzewalną. Wynosi ona 2900 metrów kwadratowych w części wodnoparowej, 1200 m^2 w części przegrzewacza i prawie 2000 m^2 w sześci „ekonomaisera", to jest tam gdzie się nagrzewa zimną wodę resztkami ciepła uchodzącymi do komina. Nadto osobno są urządzone podgrzewacze do powietrza, by nie tłoczyć zimnego powietrza do paleniska o potężnej powierzchni 6300 m^2. Zasilanie kotła oczywiście węglem odbywa się samoczynnie przy napędzie maszynowym i wynosi 18 ton na godzinę.

Celem kontroli tego co się dzieje w kotłach jest urządzone centralne stoisko obserwacyjne, zbierające informacje z każdego kotła. Poziom wody sygnalizują czerwone światełka wskazujące, do jakiej wysokości dopuszczalny jest stan wody, i zielone światełka informujące, na jakiej wysokości znajduje się istotny stan wody. Oba te punkty powinny się stale pokrywać.

W elektrowni tej są czynne cztery zespoły turbogeneratorów. Pierwsze trzy mają po 69.000 KW, ostatni niedawno

dostarczony posiada 105.000 KW. Jest to jak w danej chwili największy w Europie turbogenerator, uwidoczniony na tablicy 13. Ponieważ kilowat jest o wiele większy od konia mechanicznego, więc po przeliczenin na konie moc tej turbiny wynosi 143.000 KM.

Cała turbina, podzielona na trzy stopnie, posiada olbrzymi ostatni cylinder niskiego ciśnienia z potężnymi podwójnymi wylotami dla pary. Ze względu na ogrom tej turbiny osłona jej wykonana jest ze stali molibdenowej. Dysze a raczej koła kierownicze posiadają łopatki molibdenowe, gdy natomiast łopatki koła roboczego, a tych jest w pierwszym stopniu 16, są wykonane ze stali uszlachetnionej. Inne koła łopatkowe są wykonane z nierdzewnej stali niklowej. Ostatni cylinder niskiego ciśnienia jest już odlany ze zwyczajnego żeliwa. Pomiędzy poszczególnymi stopniami turbin połączenia wałów są sprzężone elastycznymi sprzęgłami.

Turbina ta posiada 1500 obrotów na minutę, przy czym ciśnienie w kondensatorze wynosi 30 mm słupka rtęci. Do studzenia wody w kondensatorze natryskowym używa się wody destylowanej, jak w ogóle do napędu turbin i wytwarzania pary tej samej wody, a to w tym celu, by uniknąć kamienia kotłowego.

Na końcach turbiny jest z jednej strony zmontowany generator elektryczny dający 110.000 KW, na drugim pomocniczy generator o mocy 6.250 KW, a nadto trzy mniejsze maszyny do wzbudzania prądu. Jak wielka jest ta cała maszyna, świadczy i to, że całość jest długa na 30 metrów.

W końcu września 1935 r. wykończono w Anglii parowóz i cały pociąg o liniach opływowych nazwany „Silver Jubilee" na pamiątkę jubileuszu 25-lecia panowania już dziś nieżyjącego króla Jerzego. Ten specjalny pociąg postanowiono eksploatować na linii London-Newcastle. Miasta te są od siebie odległe o 268 mil ang. czyli 431 km i przestrzeń tą pociąg jubileuszowy przebywa w czasie 4 godzin a więc średnio osiąga po 108 km na godzinę, co jak dla pociągów jest szybkością niezmiernie wielką. Na innej trasie a mianowicie na linii Londyn — Darlington wynoszącej 271 km długości posiąg ten osiągnął szybkość 112,4 km na godzinę przebywając tę przestrzeń w ciągu 198 minut.

Pociąg stanowi odrębną całość i posiada 7 wagonów tak samo o kształcie aerodynamicznym jak parowóz. Składa

się on z dwu kompletów dwuwagonowych zespołów spiętych krótkim miechem i w tych wozach znajdują miejsca podróżni. W pośrodku znajduje się komplet potrójny, tworzący wozy restauracyjne i kuchnię. Ten system wpłynął na znaczne zmniejszenie ciężaru wagonów. Nadto wybudowano te wozy z aluminium (glinu) i lekkich stali stopowych używanych w lotnictwie. W ten sposób obniżono ciężar o 200 ton. Do wzrostu szybkości, w wielkiej mierze przyczynił się kształt opływowy (aerodynamiczny) samego parowozu jak i wszystkich wagonów.

W tym celu zmniejszono znacznie wymiary czołowe parowozu, zwrócono uwagę na wszystkie wystające części szczególniej podwozia i okryto wszystko tak by uniknąć wirów powietrza. Zamiast falistych miechów między wagonami zastosowano gładkie gumowe, tworzące jednolite powierzchnie bez tarć. Dalszą wielką zaletą przekonstruwania frontu parowozu było zmniejszenie komina i takie jego osadzenie że dym i para nie zasłaniają widoku maszyniście. Gwizdek parowy jest osadzony przed kominem by i jego strumień pary nie zasłaniał widoku maszyniście. W ten sposób dzięki ukośnej powierzchni czołowej parowozu, pęd powietrza porywa z dołu do góry parę i dym i unosi go ponad linię widzenia.

Konstrukcję tego parowozu zawdzięcza Anglia H. N. Gresley'owi szefowi biura technicznego zakładów parowozowych w Doncaster. Parowóz nazwano „The Silver Link" (srebrną wstęgą). Posiada on trzy cylindry o pojedyńczej ekspanzji, ma trzy pary kół (sprzężone i dwie pary na froncie, przyczem zbiornik węgla i wody posiada 4 osie. Kocioł wytwarza parę o ciśnieniu 17 $^1/_2$ atm. Każdy tłok posiada średnicę 18$^1/_2$ cala (457 mm) i skok 26 cali (660 mm). Suwaki są okrągłe o średnicy 9 cali (228 mm). Palacz i maszynista mają dla wygody obrotowe krzesełka. Ciężar tego parowozu wynosi wraz z węglarką 165 ton.

Zużycie węgla na małych czy większych parowcach jest z reguły dość znaczne, choć nowoczesne maszyny parowe są bardzo oszczędne. Dla przykładu przytoczymy tu pomiar dokonany na nowym statku transportowym „Arcwear", posiadającym maszyny parowe tłokowe o mocy 1417 K.M. indikowanych. Statek ten wiózł ładunek 5.586 ton węgla oraz własny węgiel do napędu w ilości 1.100 ton, był więc dobrze obciążony. W ciągu doby pomiarowej przebył

on drogę 301 mil morskich i zużył 20 ton węgla. Na godzinę więc zużywał 830 kg węgla a na konia godzinę około 0,52 kg. Pomimo tak doskonałej wydajności maszyny parowej łatwo sobie wyobrazić, jak wielkie ilości węgla zużywa się w marynarce handlowej przy wielkich jednostkach i dłuższych podróżach.

Wzrastające ceny węgla a tym samym koszta transportu pasażerów na kolejach zmusiły odpowiednie sfery techniczne do rewizji konstrukcyj używanych parowozów. Okazało się, że jest jeszcze bardzo wiele nowych dróg, które pozwolą uzyskać ulepszenia dotychczasowej konstrukcji. Tylko pozornie wydawało się, że budowa parowozów osiągnęła swój szczyt i już nic tam nie da się poprawić.

Taką ciekawą próbę ulepszenia parowozu podjęto na małej serii wypróbowanych typów w Anglii na linii kolejowej Midland i Scottish Railway. Postanowiono zamiast maszyny tłokowej zastosować turbinę parową. Do przeróbki użyto popularnego typu parowozu i oznaczono go Nr. 2002, gdy już następny 2003 pozostał niezmienionym seryjnym parowozem tłokowym. Patrząc na te dwa zdjęcia najlepiej można sobie wyrobić pojęcie o różnicach zewnętrznych, jakie pojawiły się w turbinowym parowozie (tablica 15 i 16). Parowóz ten posiada turbinę bez kondensacji, gdyż wbudowanie jeszcze kondensatora znacznie podniosłoby wagę parowozu i skomplikowało konstrukcję. Para doprowadzona do turbiny opuszcza ją pod ciśnieniem zaledwie o jedną dziesiątą atmosfery wyższym od otoczenia. Oszczędność osiągnięta przez lepsze wyzyskanie pary daje w rezultacie zmniejszenie paliwa o 15%. Inną zaletą zastosowania napędu turbinowego na koła pracującego parowozu jest uniknięcie uderzeń w szyny, wywoływanych mechanizmem korbowym uderzającym jak młot, a to wskutek energii kinetycznej, skierowanej w dół. Zmniejszenie tych uderzeń nawet przez dobre zbalansowanie kół jeszcze nie jest tak znaczne jak zastosowanie napędu turbinowego. W ten sposób parowozy turbinowe oszczędzają nawierzchnię i mosty kolejowe. Parowóz ten wraz z tendrem waży 163 tony. Koła napędowe są ze sobą sprzężone w trzy pary, nadto są 2 pary kół na przodzie parowozu i 4 pod tendrem. Celem zmniejszenia ciężaru kotła zastosowano tu 2% stal niklową. Ciśnienie pary w kotle wynosi około 18 atm. Ponieważ ciśnienie pary wylotowej zosta-

ło przez pracę turbiny zredukowane do bardzo nieznacznego stanu, zastosowano tu dwa kominy obok siebie w jednej wspólnej osłonie.

Do jednego skierowano gazy spalenia, do drugiego parę wylotową.

Ponieważ turbina może obracać się tylko w jedną stronę, zastosowano tu dwie turbiny. Główna i właściwa, oczywiście większa, posiada moc 2000 K.M. Jest to turbina Curtisa o kilku stopniach ekspansji. Kół kierowniczych jest 6. Również turbina dla ruchu wstecz jest konstrukcji Curtisa, lecz posiada tylko trzy koła kierujące. Zasadniczo parowóz może pracować pełną mocą tylko w przód. Dodatkowa turbina służy wyłącznie do manewrowania.

Gdy turbina do jazdy wstecz ma działać, zamyka się dopływ pary do turbiny głównej. Celem włączenia turbiny wstecznej służy sprzęgło, które się włącza na ten czas pomiędzy turbiną a napędem kół. W czasie jazdy wstecz, główna turbina obraca się w swej osłonie wolno w tył. Główny napęd na oś odbywa się przy pośrednictwie kół zębatych ślimakowych bardzo silnej konstrukcji. Koło ślimakowe jest zmontowane na przedniej osi w pośrodku. Dwie następne osie są ze sobą sprzężone łącznikami korbowymi. Wszystkie osie są osadzone na potężnych łożyskach rolkowych, co także przyczynia się do zmniejszenia strat energii.

Siostrzany typ parowozu tej samej klasy, noszący Nr. 6203 i imię „Princess Margaret Rose", posiada 4 koła przednie wolne, następne 6 sprzężonych i 2 tylne wolne. Maszyna jest tłokowa czterocylindrowa, lecz o pojedynczej ekspansji. Para więc w każdym cylindrze ekspanduje całkowicie. Dwa cylindry znajdują się po zewnętrznej stronie ramy, dwa pod kotłem od wewnętrznej strony. Tłoki posiadają 400 mm średnicę. Suwaki są tłokowe o 200 mm średnicy i 190 mm skoku. Łożyska w mechanizmie korbowym są rolkowe. Łączniki korbowe i trzony wykonano ze stali molibdenowej dla zmniejszenia ich ciężaru.

ROZDZIAŁ VII

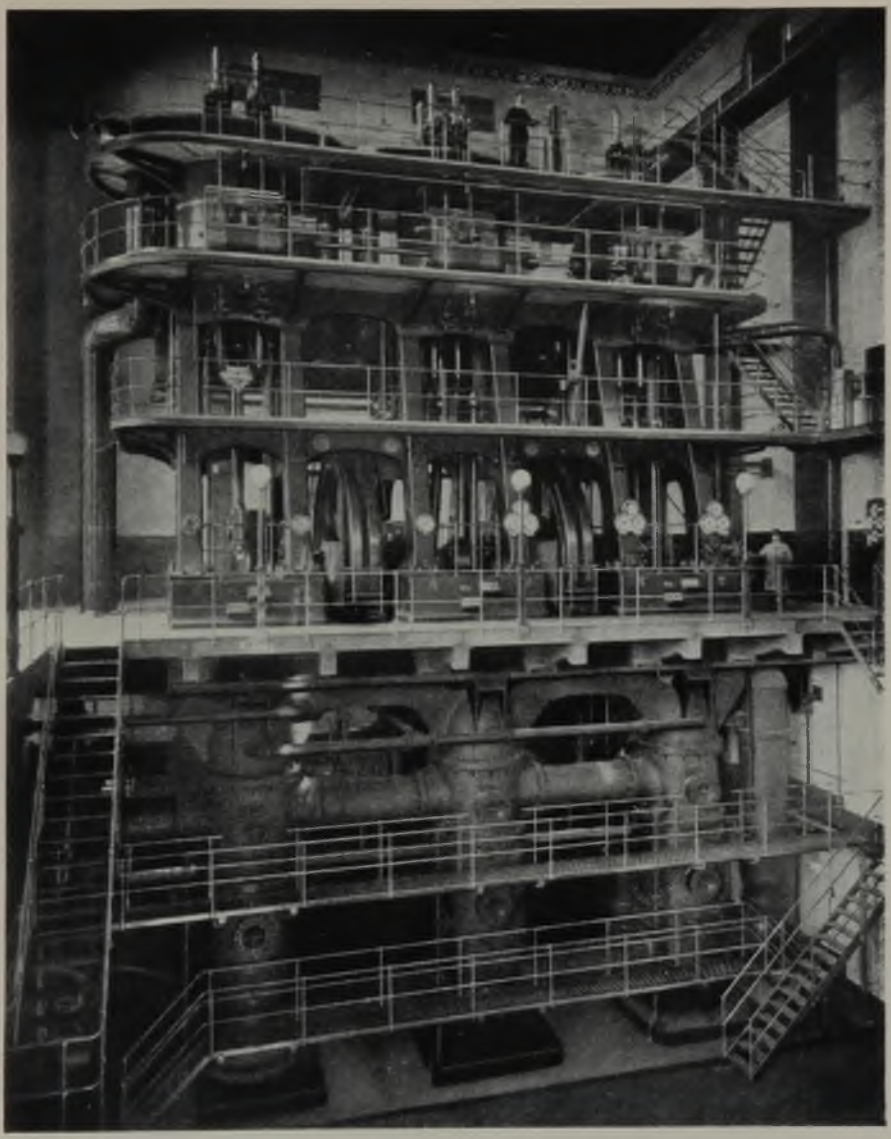
SILNIKI SPALINOWE I WYBUCHOWE

Z dotychczasowych opisów poznaliśmy maszyny, których źródło ciepła leżało w palenisku kotłowym. Kotły wytwarzając parę dawały to medium, które umożliwiało zamianę ciepła na pracę. W silnikach spalinowych palenisko jest zbędne, paliwo doprowadzone do wnętrza cylindra spala się bezpośrednio w atmosferze powietrza. Silniki spalinowe dadzą się podzielić na dwa zasadnicze typy: na silniki wybuchowe, w których zapalenie mieszanki następuje od iskry, i silniki Diesla, w których zapalenie paliwa następuje przez bardzo duże sprężenie powietrza. W tych silnikach spalinowych, powietrze spręża się do takiego stopnia, by wytworzona temperatura mogła wystarczyć na rozpłomienienie paliwa ciężkiego, trudno palnego, wtryskiwanego w chwili gdy sprężenie dosięgnie szczytu.

Silniki wybuchowe, zapalające mieszankę powietrza z paliwem, zasilane są łatwo palnym materiałem, jak benzyna, spirytus, benzol lub różne mieszanki wytworzone z tych paliw. Istnieją też silniki pracujące gazem świetlnym lub innymi gazami łatwo palnymi.

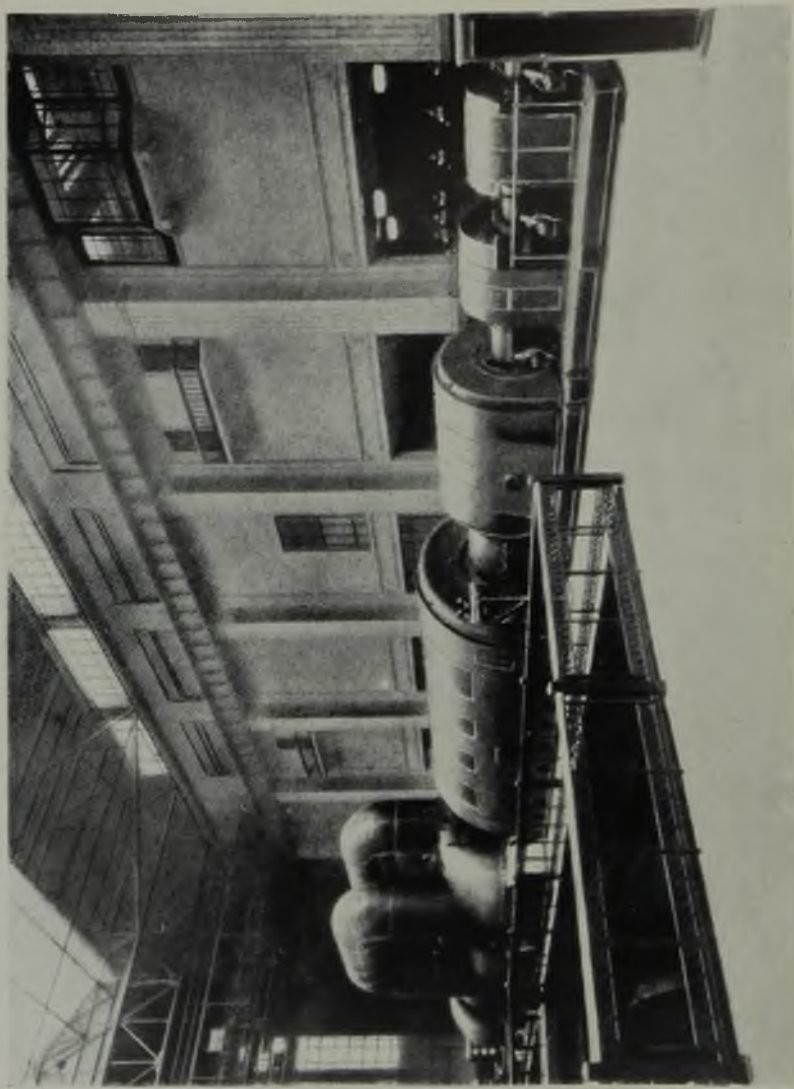
Paliwa płynne przed wprowadzeniem ich do wnętrza cylindra muszą być najpierw zamienione na parę, rozpylone i dokładnie wymieszane z powietrzem, które jest wsysane do cylindra. Toteż w każdym silniku wybuchowym dla paliw łatwo palnych i łatwo parujących znajduje się gaźnik, a więc przyrząd, w którym płyn zostaje zamieniony na parę i dokładnie wymieszany. Taka mieszanina palna po wypełnieniu cylindra i należytym sprężeniu zapala się od iskry elektrycznej wywołując wybuch. Sposób spalania nazwano powszechnie dlatego wybuchem, że czas spalania jest bardzo krótki a sam sposób zapalenia przypomina wybuch. Mocą tego wybuchu tłok zostaje wprawiony w ruch.

Trudniejsze paliwa, jak np. nafta, mogą być również użyte do napędu silników wybuchowych, lecz w tym wypadku w gaźniku musi się najpierw przez wstępne nagrzewanie paliwa zamienić je na parę. Nagrzewanie tego typu gaźników uskutecznia się przy pomocy ciepła gazów wylotowych.



Pompa parowa o mocy 1.000 K. M.

Pompa ta, zbudowana przez firmę Worthington, należy do największych modeli na świecie.



Turbogenerator o mocy 105.000 K. M.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA GLIWICE

Nagrzanie musi być tak silne, by po zmieszaniu z powietrzem pary ciężkiego paliwa zachowały się jak gaz palny i nie ulegały skraplaniu.

Mamy wiele paliw gazowych, którymi można zasilać silniki wybuchowe. Przede wszystkim gaz świetlny dobrze nadaje się do tego celu, następnie może to być gaz wytwarzany z antracytu, węgla kamiennego, koksu lub w specjalnych gazogeneratorach gaz z odpadków drzewnych, torfu itp. W hutach używają także do napędu gazowych silników gazu uchodzącego z wysokich pieców. Gazy z pieców hutniczych chwyta się do rur, oczyszcza od pyłów, chłodzi i po dokładnym zmieszaniu z powietrzem doprowadza do cylindra silnika. Po sprężeniu mieszanka gazu i powietrza zostaje zapalona od iskry elektrycznej oraz doprowadzona do wybuchu.

Silniki spalinowe, pędzone paliwem ciężkim, noszą z reguły nazwę Diesla od imienia ich wynalazcy dra R. Diesla. Te silniki nie potrzebują ani gaźnika, ani rozrządu elektrycznego i świec do wytwarzania iskier. Wystarcza samo sprężenie powietrza, którego ciepło sprężenia jest tak wielkie, że może zapalić najcięższe paliwa. Wobec tego każdy silnik musi mieć pompkę paliwową, doprowadzającą paliwo do cylindra. Konstrukcja tych pompek paliwowych jest tak pomyślana, że wstrzykują one tę nieznaczną ilość paliwa, jaka jest niezbędna dla każdego skoku, rozpylając je na mgłę o niezmiernie małych kropelkach. Zastrzyk następuje z reguły w okolicy głowicy cylindra nad tłokiem, gdzie paliwo napotyka na sprężone gorące powietrze. Oczywiście w chwili zapalenia następuje potężny wzrost ciśnienia i tak już gorącego i mocno sprężonego powietrza a tym samym tłok rozpoczyna swój okres pracy.

Jak widać z tego opisu, różnice między maszyną parową a silnikami spalinowymi są olbrzymie zarówno w konstrukcji jak i w sposobie działania. W maszynie parowej na tłok działa para z obu stron, sam tłok jest stosunkowo cienkim krążkiem umocowanym na wrzecionie tłokowym, przechodzącym przez dolne denko cylindra.

Silniki wybuchowe i spalinowe są z reguły niemal jednostronnie działające, to znaczy wybuchy działają na tłok z jednej tylko strony, spychając tłok w dół. Tłoki silników wybuchowych są bardzo długie, pełnią bowiem rolę wodzika i mają z tego powodu sworznie, dokoła których wa-

hają się korbowody. Najczęściej silniki mniejsze mają bardzo wielkie ilości obrotów, choć są i wielkie silniki, wolnobieżne o całkiem małej ilości obrotów w minucie.

Do rzadkości należą silniki dwustronnie działające, są to najczęściej silniki wielkiej mocy, nie mniejszej niż 1000 K.M. Jeżeli dwustronne działanie znajduje zastosowanie w wielkich silnikach, to dlatego że budowa bardzo wielkich i długich cylindrów oraz zastosowanie wodzika stają się możliwe tylko w konstrukcjach dużej mocy. Małe silniki, jak np. samochodowe, nie mogą z braku miejsca posiadać wodzików. Chłodzenie tłoków w wielkich maszynach dwustronnie działających może być wówczas skuteczne, gdy maszyna pracuje wolno a system chłodzenia cylindrów jest odpowiednio skonstruowany.

W bardzo wielkich silnikach Diesla chłodzenie tłoków dużych rozmiarów musi się odbywać od wewnątrz, wodą krążącą ściankami, przy czym smarowanie tłoka i ścianek cylindra musi być wzorowe.

Okresy pracy

Wszystkie silniki, zarówno spalinowe jak i wybuchowe, działają na dwa sposoby: albo jako silniki czterotaktowe, albo jako dwutaktowe.

Czterotaktowe silniki znalazły zastosowanie niemal wyłącznie w budowie samochodów. Zaledwie ułamek procentu spośród wyprodukowanych na świecie samochodów jest wyposażony w silniki dwutaktowe. Silniki dwutaktowe używane są przeważnie dla małej mocy i to w granicach od 4 do 150 K.M., używanych dla napędu łodzi motorowych. W lotnictwie nie spotyka się silników dwutaktowych dla mocy większej niż 150 koni, a tam przecież używa się jednostek dochodzących do 1000 K. M. Najmniejsze silniki dwutaktowe znajdują powszechne zastosowanie w małych motocyklach i rowerach zmotoryzowanych.

Silniki pędzone naftą buduje się przeważnie dla mocy od 4 koni w górę do 150 i to jako jednocylindrowe. Większe silniki naftowe znajdują zastosowanie dla traktorów, łodzi rybackich lub małych stacyj elektrycznych do oświetlenia gospodarstw wiejskich.

Silniki naftowe są jednak coraz bardziej wypierane przez ropowe systemu Diesla. Silniki gazowe natomiast są nie-

zmiennie budowane jako silniki czterotaktowe i żadnych zmian ani ulepszeń w tej kategorii, jak dotychczas, nie widać.

Dwutaktowe silniki benzynowe są przeważnie małej mocy. Znajdują one zastosowanie jako małe motorki napędowe do maszyn, rowerów, motocykli i łodzi motorowych. Używane też bywają do wytwarzania prądu na jachtach lub w osobno stojących willach, pozbawionych dopływu prądu z centrali wielkomiejskich. Są one bardzo łatwe do wykonania, lecz w większości wypadków nie przekraczają mocy powyżej 8 K. W. w jednym cylindrze. Najmniejsze z nich o średnicy cylindra nie większej niż 25 mm mają moc minimalną 1 lub $1^1/_4$ konia.

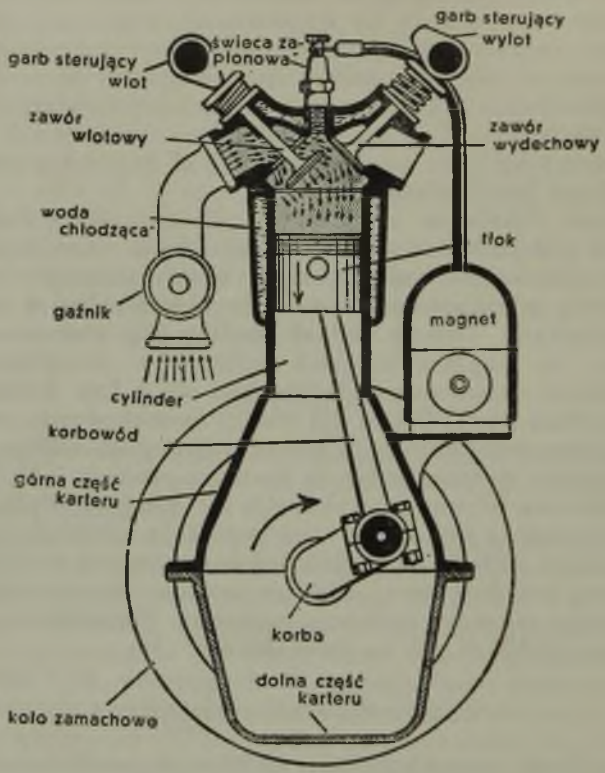
Silniki Diesla ze względu na ich charakter działania trudno jest budować w małych rozmiarach. Dlatego do napędu samochodów osobowych nie weszły jeszcze w użycie, znajdują natomiast zastosowanie w ciągówkach i w małych ciężarówkach. Dobrze jednak nadają się większe silniki Diesla do napędu wielkich autobusów dwupiętrowych i wielkich ciężarówek o ładowności do 5 ton. Buduje się przeważnie silniki Diesla dla trakcji samochodowej, najczęściej jako czterotaktowe. Większe jednak jednostki używane do napędu motowagonów są bardziej cenione jako silniki dwutaktowe. Słynne amerykańskie motowagony błyskawicznych pociągów linii opływowej posiadają silniki dwutaktowe o mocy 3000 K. M. Podobnie i w marynarce silniki dwutaktowe znajdują coraz większe uznanie, nawet zaczynają poważnie zagrażać turbinom parowym. Największe z nich o mocy 22.500 K. M. są dwutaktowe.

Zasada działania czterotaktu

Kolejność czterech suwów, od których poszła nazwa silników czterotaktowych lub jeszcze lepiej nazywanych czterosuwowych, jest następująca: 1) okres ssania, 2) okres sprężania, 3) okres pracy i 4) okres wydechu. Kolejność działania silnika czterosuwowego mamy zilustrowaną na rys. 26—29.

Na rys. 26 widzimy przekrój silnika 4-rotaktowego szybkobieżnego, typu używanego do napędu samochodów. W głowicy tego silnika znajdują się dwa zawory naciskane sprężynami i napędzane przy pomocy tarczek nieokrągłych.

Te tarczki nieokrągłe wykonane są z jednej sztuki wraz z wałkami noskowymi, które obracają się dwa razy wolniej niż wał korbowy. Krótka rura wlotowa łączy gaźnik z otworem wlotowym, przez który przepływa mieszanka benzynowa i powietrze w chwili, gdy zawór jest otwarty. Osobno



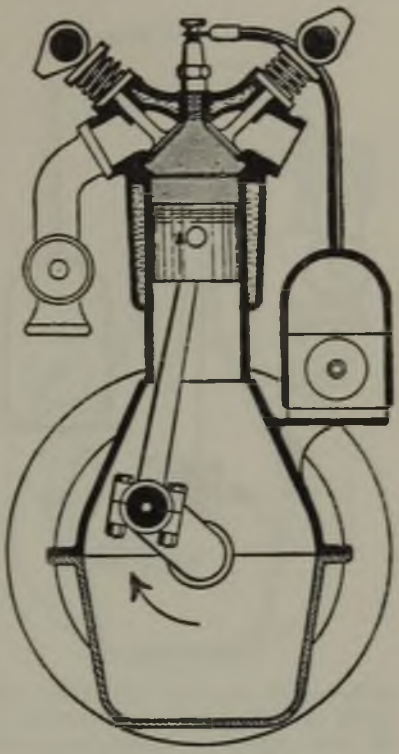
Rys. 26. Okres ssania. W chwili ruchu tłoka w dół przez rurę ssącą wpada powietrze nasycone mieszanką benzynową.

będzie omówiony gaźnik, stanowiący nieodłączną całość z rurą wlotową, w którym odbywa się ciekawy proces zmiany paliwa płynnego na parę ulatniającą się łatwo i mieszającą się dokładnie z powietrzem.

Z drugiej strony widoczny jest magnet; jest on źródłem prądu o bardzo wysokim napięciu, którego dopływ do świe-

cy wzbudza iskrę elektryczną dość mocną, by zapalić mieszankę. W licznych nowszych konstrukcjach zamiast magneta istnieje nieco inny system zamiany prądu o niskim napięciu na prąd o wysokim napięciu, niezbędny do wywołania iskry. (Sposób ten będzie opisany poniżej). Z prawej strony widzimy także zawór wylotowy, wprawiany w ruch podobnie jak wlotowy, wałem noskowym. Wylot z głowicy cylindra łączy się rurą z tłumikiem, tłumiącym hałas wydawany przez gazy spalenia.

Rysunek 26 podaje nam sytuację wewnątrz silnika w chwili okresu ssania. Zawór ssący jest otwarty, zawór zaś wydechowy zamknięty. Łącznik korbowy rozpoczyna swą wędrówkę w kierunku oznaczonym strzałką, ciągnąc za sobą tłok. Ruch tłoka w dół powoduje powstanie rozrzedzenia i następuje wessanie mieszanki do cylindra. Stąd też ten okres, lub inaczej nazywając suw, nazywamy okresem ssania.

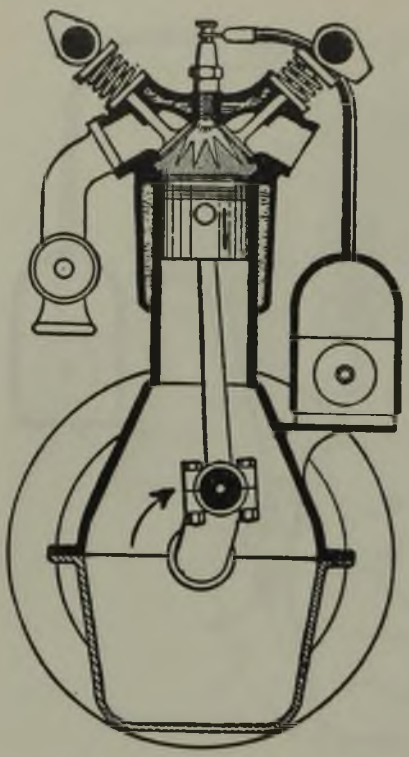


Rys. 27. Okres sprężania. Oba zawory są zamknięte, wobec czego mieszanka zostaje sprężona.

Drugi okres pracy silnika jest przedstawiony na rys. 27. Korba wykonała pół obrotu i tłok zaczyna podnosić się do góry. W tym czasie wał rozrządczy wykonał ćwierć obrotu, nosek naciskający sprężynę zaworową usunął się i zawór ssący jest już zamknięty. Wobec tego, że oba zawory są szczelnie zamknięte, następuje silne sprężenie wessanej mieszanki.

Gdy tłok osiągnie swe najwyższe położenie, pojawia się

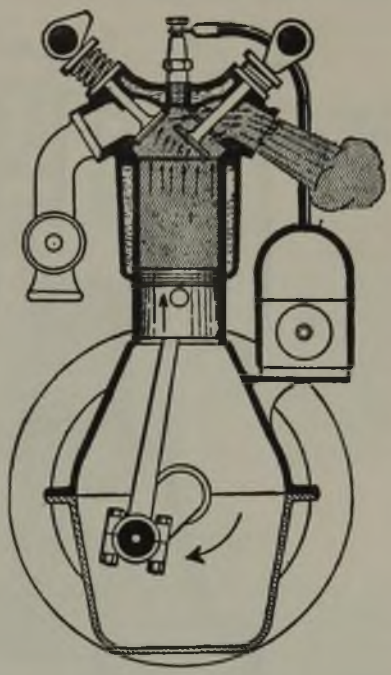
iskra elektryczna, która wywołuje wybuch mieszanki i pchnięcie tłoka w dół. W ten sposób zaczyna się trzeci okres, zwany okresem wybuchu lub lepiej okresem pracy. Ściśle biorąc moment zapalenia mieszanki, względnie moment pojawienia się iskry elektrycznej następuje nieco wcześniej, niż tłok osiągnie swe najwyższe położenie. Jest w tym pewna racja. Na wywołanie całkowitego rozpłonienia się mieszanki potrzeba nieco czasu, a ponieważ wszystko tu odbywa się w bardzo krótkich ułamkach sekundy, wcześniejsze zapalenie mieszanki jest uzasadnione. Mimo wszystko najwyższe ciśnienie zapalonej mieszanki pojawia się dopiero w chwili, gdy tłok osiągnie szczytowe położenie.



Rys. 28. Okres pracy. Iskra elektryczna zapala mieszankę.

Gdy przyjrzymy się rys. 28, zauważymy, że oba zawory są w tej chwili także zamknięte, lecz w czasie, gdy tłok zacznie się zbliżać do dolnego martwego punktu, zawór wydechowy zacznie się otwierać. Następny okres (patrz rys. 29) jest ostatnim okresem wydechu lub wydmuchu. Zawór wydechowy jest tu teraz szeroko otwarty, a gazy spalenia uchodzą zarówno własną siłą, jak i przy poparciu tłoka wypychającego je w górę. Gdy tłok dojdzie do górnego martwego punktu, zawór wydechowy będzie już bliski całkowitego zamknięcia, zawór ssący będzie przygotowany do otwarcia i cały cykl powtórzy się na nowo.

Ta kolejność zjawisk będzie wszędzie jednakowa bez względu na to, jakim paliwem silnik będzie pędzony. Dla silników naftowych trzeba będzie zamiast zwyczajnego gaźnika dostosować urządzenie do podgrzewania nafty, lecz sam silnik może być ten, który był używany do napędu benzyną. Silnik gazowy nie będzie posiadać gaźnika, za to otrzyma zawór mieszankowy do mieszania dwu gazów: palnego i powietrza. Gaz bez zmieszania z powietrzem nie zapaliłby się w cylindrze, nie chcąc zaś mieszać powietrza i gazu przed silnikiem w obawie eksplozji, doprowadzamy oba gazy do samej rury ssącej i tu je dopiero mieszamy przed wlotem. Jest to jednak nieznaczna i małoważna czynność, nie mająca wpływu na sposób pracy silnika.



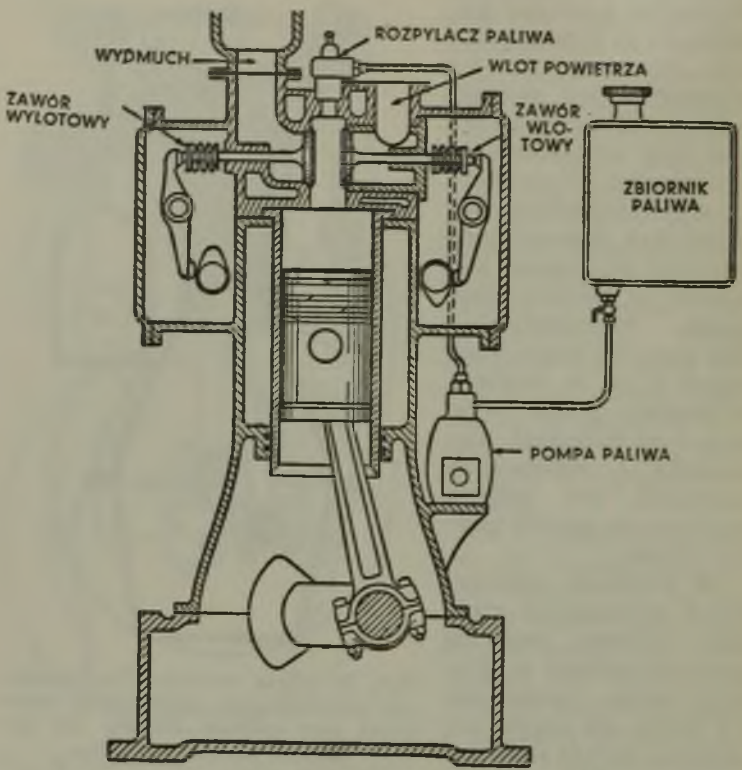
Rys. 29. Okres wydechu. Na rysunku nie pokazano rury wydechowej, przez którą gazy spalone dostają się do tłumika dławiącego hałas.

W silnikach spalinowych pracujących ciężkim paliwem zachodzi poważna różnica w okresach ssania i zapalania. Tu wsysa się czyste powietrze i sprężą samo powietrze. (W silnikach wybuchowych zawsze z powietrzem jest sprężane paliwo. Nawet w silnikach naftowych spręża się pary nafty z powietrzem razem przed zapaleniem od iskry elektrycznej.

Każdy gaz gwałtownie ściskany silnie się nagrzewa, wiemy o tym choćby z doświadczenia przy pompowaniu opon rowerowych czy samochodowych, że pompka powietrzna nagrzewa się. Ale nawet pompując powoli powietrze do opon zauważymy, że w okolicy wentyla i na końcu pom-

py pojawi się ciepło. Jeżeli natomiast będziemy sprężali powietrze bardzo silnie do 35 atm., to temperatura jego wzrośnie do tego stopnia, że płynne paliwa zapalą się od tego nagrzania.

Na rys. 30 widzimy czterotaktowy silnik Diesla, zwany także silnikiem spalinowym. W zasadzie budowa tego sil-



Rys. 30. Przekrój przeciętnego silnika Diesla małej mocy.

nika jest podobna do zwyczajnych silników wybuchowych, lecz jest znacznie masywniejsza, ze względu na większe ciśnienia, jakie w nim panują. Zawór ssący otwiera się tak samo przez okres ssania, lecz przez niego wpływa samo powietrze. Sprężanie dosięga granicy 35 atm. (i wyżej). Gdy tłok znajduje się u szczytu, pompka paliwowa wstrzy-

kuje porcję paliwa przez rozpylacz, który je rozpyla na delikatną mgłę wypełniającą całą komorę nad tłokiem.

Tak rozpylone paliwo zapala się w całej przestrzeni naraz, prawie równie gwałtownie jak w silnikach wybuchowych. W każdym razie można stwierdzić nagły wzrost ciśnienia. Normalnie wzrost ciśnienia dochodzi do 50 atm., lecz w specjalnych silnikach nierzadko sięga 80 atm. Jasne jest, że tak wielkie ciśnienia z należytą energią spychają tłok w dół.

Na chwilę przed opadnięciem tłoka w dół otwiera się zawór wylotowy i gazy spalenia uchodzą na zewnątrz płonąc jeszcze chwilę, zanim zostaną zdławione i stłumione w tłumiku.

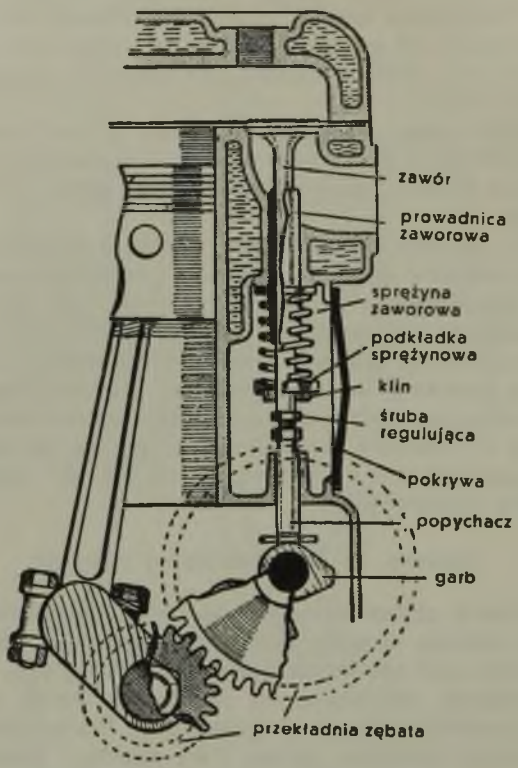
Na tych opisach wyjaśniliśmy sobie dokładnie zasadę działania silników czterotaktowych i poznaliśmy podobieństwo ich bez względu na to, czy pracują jako wybuchowe przez zapalenie mieszanki od iskry elektrycznej, czy jako spalinowe. Jedyną różnicą między nimi jest to, że silniki spalinowe nasysają czyste powietrze i zaczynają działać dopiero wówczas, gdy paliwo zostanie zastrzyknięte, gdy natomiast w silnikach wybuchowych nasysa się mieszanką paliwa i powietrza i doprowadza się je do zapłonienia przez iskrę elektryczną.

Zawory, wał rozdzielczy i rozrząd

W silnikach czterotaktowych ssaniem, sprężaniem i wydmuchem kierują zawory napędzane mechanicznie. Otwierają się one pod naciskiem tarczek nieokrągłych, zwanych także noskami, zamykają się natomiast dzięki naciskom sprężyn osadzających je w gniazdach. Normalnie do obsługi każdego cylindra należą dwa zawory: jeden wlotowy i jeden wylotowy. W silnikach samochodów wyścigowych i w ogóle w silnikach szybkobieżnych zdarzają się po dwa zawory ssące i po dwa zawory wydechowe. Najczęściej używane są zawory stożkowe (grzybkowe), rzadziej tłoczkowe, rotacyjne i suwakowe. W tej chwili nie będziemy się nimi zajmowali.

Na rys. 31 widzimy dokładnie konstrukcję typowego zaworu grzybkowego, najczęściej spotykanego we wszystkich silnikach roboczych. Również w silnikach popularnych samochodów prawie zawsze spotyka się taką konstrukcję

zaworów. Wałek rozrządczy, na którym znajduje się tarczka nieokrągła, obraca się przy pośrednictwie dwu kół zębatych z szybkością dwukrotnie mniejszą niż szybkość wału korbowego.



Rys. 31. Konstrukcja wału rozdzielczego i mechanizm zaworu w normalnym silniku benzynowym.

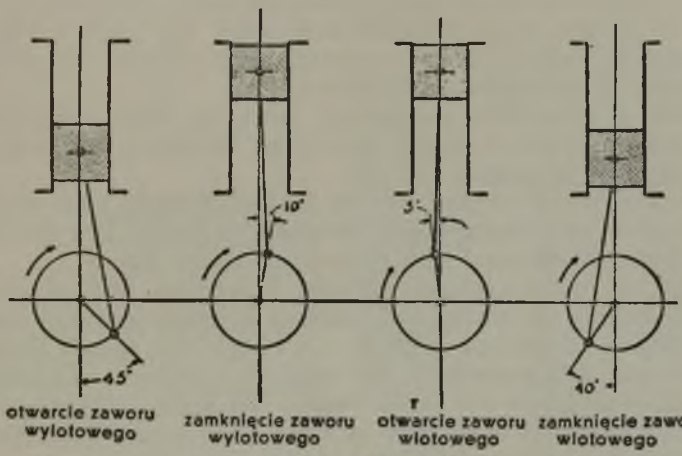
Jak widzimy, wałek rozdzielczy posiada garbek (nosek), który po wykonaniu częściowego obrotu wałka dosięga podstawy zaworu i podnosi go do góry. Każdy zawór posiada własny nosek, od którego kształtu i wymiarów zależy dokładność działania silnika.

Położenie noska takie jak na rys. 31 wskazuje na to, że przy nieznacznym obrocie wałka rozdzielczego w kierun-

ku na lewo już spowoduje się ruch zaworu do góry. W dalszym ruchu zawór zostanie podniesiony do samego szczytu a następnie zacznie opadać aż osiądzie w swym gnieździe.

Dlaczego wał rozdzielczy obraca się dwa razy wolniej niż wał korbowy, wynika z prostego wyliczenia: na każde cztery cykle potrzebny jest tylko jeden ruch każdego zaworu.

Momenty otwarcia i zamknięcia zaworów nie wpadają dokładnie w skrajne położenia tłoka w górze czy w dole. Na rys. 32 widzimy właściwe położenia korby, korbowodu



Rys. 32.

i tłoka w chwilach, gdy zawory są otwarte lub zamknięte. Ten wykres rozrządu odpowiada nowoczesnym silnikom szybkobieżnym, używanym np. w samochodach. Na pierwszym wykresie mamy moment w którym następuje otwarcie zaworu wydechowego a kończy się okres pracy.

Na pierwszy rzut oka może się to wydawać marnotrawstwem, by otwierać zawór wylotowy jeszcze w chwili, gdy gazy płoną, gdy mają dużą moc a tłok jeszcze nie dobiegł do końca swej drogi. W istocie trzeba uprzytomnić sobie, że zawór otwiera się stopniowo i powoli, że właśnie w momencie gdy tłok będzie na samym dole, zawór już będzie otwarty dokładnie i szeroko. Trzeba sobie także uświadomić, że czas potrzebny na otwieranie zaworu jest zniko-

mo mały i wynosi ułamek sekundy. Można więc być spokojnym o to, że zanim zawór całkowicie się otworzy, cała moc wybuchu zostanie wyzyskana przy dojściu tłoka w dół. Wreszcie ma to jeszcze i tę zaletę, że powracający do góry tłok nie będzie musiał pokonywać oporu gazów spalinowych, gdyż te zaczęły tracić swą prężność przez wcześniejsze otwarcie zaworu wylotowego.

Trzeba tu także wyjaśnić ciekawe zjawisko ruchu gazów w rurze. Gaz pchnięty w jednym kierunku pędzi dalej, nawet gdy ustanie siła, która go pchnęła. O tym zjawisku wie każdy rowerzysta używający wolnego biegu. Rozpędziwszy rower po wstrzymaniu pracy nóg jedzie się jeszcze wiele metrów wraz ze słupem powietrza, które pomaga do ruchu zamiast go hamować natychmiast.

Nad słupem gazu ruchomego powstaje więc częściowa próżnia i jej istnienie ma wpływ na ustalenie momentów sterowania zaworami.

A więc zawór wydechowy jest jeszcze otwarty, choć okres wydechu i ruch tłoka w górę doszedł do końca. Zamyka się on dopiero wówczas, gdy zacznie się okres ssania.

Spaliny opuszczające cylinder i pędzące wzdłuż rury wydechowej wywołują nad tłokiem pewnego rodzaju rozrzedzenie — jeśli nie próżnię — i zanim tłok zajmie górne położenie, one pomagają do nassania świeżej mieszanki przez otwierający się zawór ssący. Ich ssące działanie nie jest groźne, gdyż w głowicy cylindra nie ma już ich samych, płonących i mogących zapalić świeżą mieszankę.

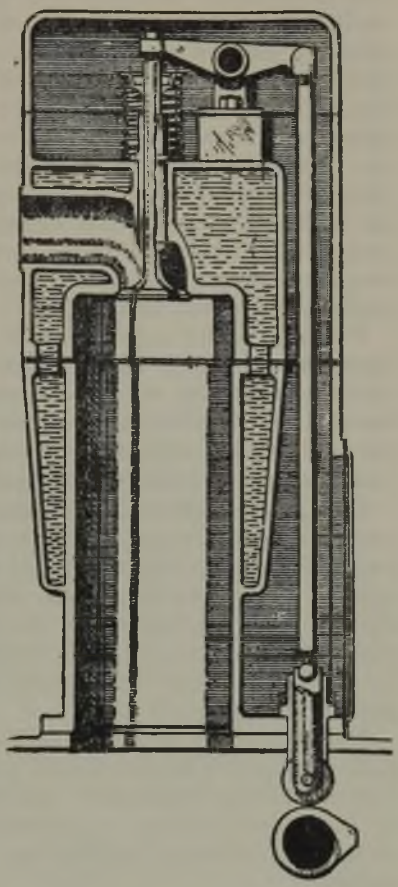
Gdy już mieszanka gazów zacznie wpływać do cylindra i nabiera tak wielkiej szybkości, że może nadążyć za ustępującym w dół tłokiem, wtedy już cząsteczki gazu nie wykazują inklinacji do zajmowania tego pędu w cylindrze. Dopóki więc zawór będzie otwarty strumień mieszanki nie ustanie napływać i napełniać cylindra nawet wówczas, gdy już tłok zacznie swą wędrówkę do góry i zacznie już popychać przed sobą pierwsze warstwy gazu.

Najczęściej spotykane ustawienie zaworów w głowicy cylindra jest takie jak na rys. 31. Jest to boczny układ zaworów. Ten system znajduje zastosowanie przy większości samochodów i ciężarówek. Również często spotyka się ten układ w silnikach łodzi motorowych i maszynach stałych pracujących na jednym miejscu. Podobnie i silniki naftowe, które pracują przy niższym sprężeniu, mają za-

wory boczne. Silniki o większej mocy i wyższym sprężeniu mają zawory wbudowane w górnym denku cylindra.

Na rys. 33 widzimy układ i mechanizm zaworu sterowanego z góry. Taki układ zaworów spotyka się również w motocyklach, a to z tego powodu, że łatwiej ostudzić głowicę i cylinder powietrzem, gdy zawory nie pogrubiają konstrukcji z boków.

Sposób sterowania zaworów przedstawiony na rys. 33 znajduje też najczęściej zastosowanie w silnikach Diesla, średniej mocy, używanych do napędu ciężarowych samochodów lub motowagonów. Dla silników Diesla ten górny mechanizm zaworowy jest lepszy z tego względu, że komora nad tłokiem jest mniejsza, a od nich zależy właśnie najwyższa dopuszczalna kompresja. W bardzo dużych silnikach Diesla unika się popychaczy podnoszących zawory od wałka sterującego na dole, a raczej umieszcza się wałek sterujący nad głowicą cylindra, by uniknąć zbyt długich pionowych wrzecion.



Rys. 33. Górne sterowanie zaworu w motocyklach nowoczesnych.

Boczne rozmieszczenie zaworów można uważać nie tylko za najprostsze, lecz za najbardziej klasyczne. Światowej sławy fabryki samochodów, jak Rolls Royce, Daimler, Talbot, Fiat, używają bocznych zaworów. Również w silnikach

lotniczych chłodzonych powietrzem spotyka się ten typ rozmieszczenia z tego względu lubiany, że jest bardziej prosty i lżejszy.

Natomiast silniki chłodzone wodą większej mocy, zarówno używane w lotnictwie jak i do innych celów, skoro mają już zawory sterowane od góry, wówczas wałek rozrządczy biegnie wzdłuż głowic cylindrów. Sterowanie zaworów przy pomocy dwu wałków rozrządczych mieliśmy już na ilustr. 26. Górne sterowanie oraz mechanizm zrównoważony o najmniejszej bezwładności cechuje współczesne doskonałe silniki motocyklowe. W stosunkowo małych silnikach, nie przekraczających 12 koni używanych do motocykli, nie można osiągnąć większej ilości obrotów ponad 4500 na minutę, jeśli zawory będą boczne. Przy zaworach z góry sterowanych ilość obrotów może być doprowadzona do 6000 na minutę.

Powód, dla którego górne sterowanie zaworów nie znajduje powszechnego zastosowania i ogranicza się do nielicznych modeli, leży w tym, że ten system jest znacznie kosztowniejszy w wykonaniu. Przeniesienie wału sterowniczego nad głowicą cylindrów komplikuje smarowanie a nadto jest znacznie trudniejsze w demontażu.

Chcąc zdjąć głowicę z silnika o sterowaniu dolnym, obojętne czy dwustronnym czy przy pomocy popychaczy, nie napotyka się na większe trudności. Demontaż głowicy jest często potrzebny w celach usunięcia osadów wytworzonych z koksujących paliw. Po zdjęciu głowicy w tych silnikach uzyskuje się łatwy dodstęp do zaworów i tej części silnika, która potrzebuje oczyszczenia oraz dotarcia gniazd zaworowych.

Inny sposób ustawienia zaworów używany w ciężkich silnikach Diesla, mamy przedstawiony na tablicy 21. Zawory leżą tu poziomo i sterowane są z góry. Zawór ssący jest zmontowany w prowadnicy wykręcalnej. Gdy ta zostanie rozebrana, można bez trudu wyjąć zawór wydechowy.

Takie zbliżenie do siebie zaworów wywołała konieczność zwężenia komory kompresyjnej, co dla silników Diesla ma duże znaczenie. W małych silnikach Diesla, używanych do napędu ciężarowych samochodów, zdemontowanie głowicy nie przedstawia dla poszczególnego człowieka większej trudności. Może on sam ją udźwignąć i zdjąć z cy-

lindrów. W dużych silnikach trzeba posiłkować się albo całą brygadą ludzi, albo podnośnikami mechanicznymi. Ta trudność nasunęła myśl konstruowania takich zaworów, by nie było konieczne zdejmowanie całej głowicy.

Niezależnie od zaworów grzybkowych stosowane są w znacznie mniejszym stopniu zawory suwakowe i tłokoke. Zamknięcia dopływu i wylotu gazów przy pomocy suwaków znajdują przeważnie zastosowanie w silnikach czterotaktowych, luksusowych, gdzie tego rodzaju skomplikowana konstrukcja ma uzasadnienie w chęci usunięcia hałasu, jakie dają zawory grzybkowe.

Zawory tłokowe w nielicznych egzemplarzach występują również w silnikach Diesla dużej mocy, dwutaktowych, używanych do napędu statków motorowych.

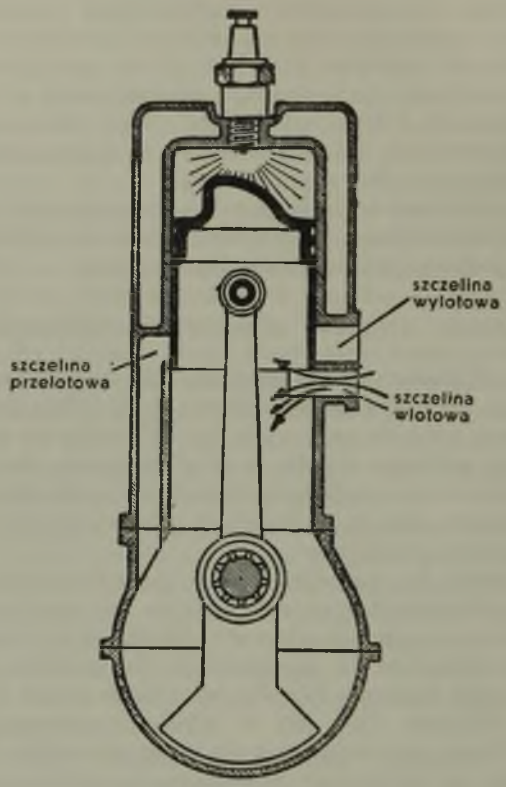
Zasada działania silników dwutaktowych

Nazwa silników dwutaktowych lub dwuosobowych pochodzi stąd, że nad tłokiem odbywają się tylko dwa zasadnicze okresy oraz że cały cykl zjawisk odbywa się w czasie jednego pełnego obrotu, a więc w czasie dwu skoków tłoka. Silniki te nie posiadają zaworów a nadto tym się różnią, że dopływ świeżej mieszanki odbywa się przy użyciu osobnej pompy zasilającej.

Najprostszy typ takiego silnika, przedstawiony na rys. 34 i 35, posiada karter uformowany w ten sposób, że znajdują się tu trzy specjalne kanały. Silniki takiej konstrukcji jak na rys. 34 służą do napędu łodzi lub pracują jako małe 2 KM. stałe motorki. Przede wszystkim rzuca się w oczy znacznie dłuższy tłok niż w silnikach czterotaktowych. Dno tego tłoka jest wygięte z ważnych powodów. Tłok bowiem pełni nie tylko rolę przenoszenia nacisku gazów na korbę, lecz jest jeszcze suwakiem sterującym dopływ i wylot gazów. Zastępuje więc zawory.

Na rys. 34 widzimy tłok w pozycji najwyższej, a zatem w danej chwili zapalona mieszanina powietrza i benzyny spycha go w dół. Każdy cylinder względnie każdy korbowód posiada własny karter szczelnie oddzielony od innych. Gdy więc tłok znajduje się w najwyższym punkcie, należy przyjąć, że pod tłokiem w karterze nastąpiło poważne rozrzedzenie powietrza. W ten właśnie sposób i w tej właśnie chwili świeża porcja powietrza i paliwa dostaje się

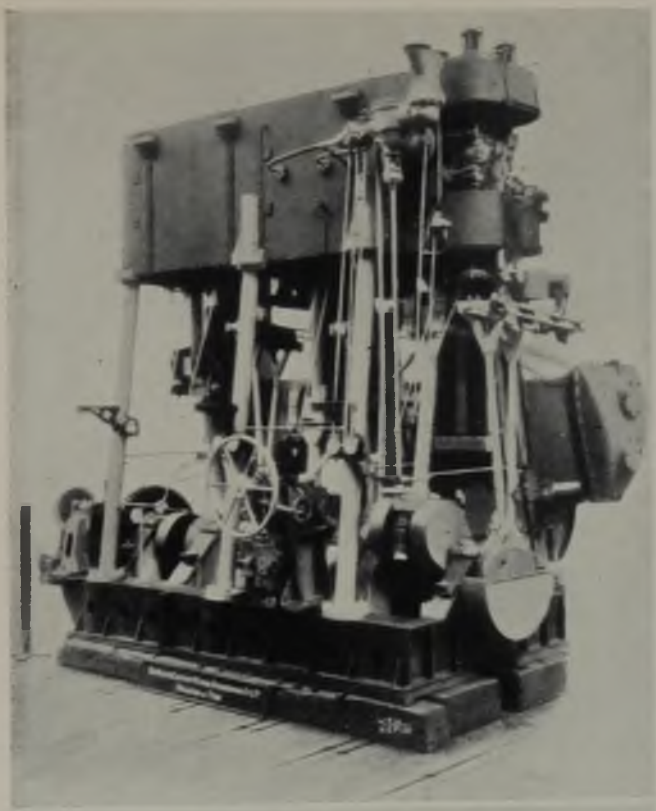
do wnętrza karteru, dzięki temu że krawędź tłoka zupełnie otwiera szczelinę, przez którą gazy mogą się dostać. Gdy następnie tłok obsunie się na dół, zamknie swą kra-



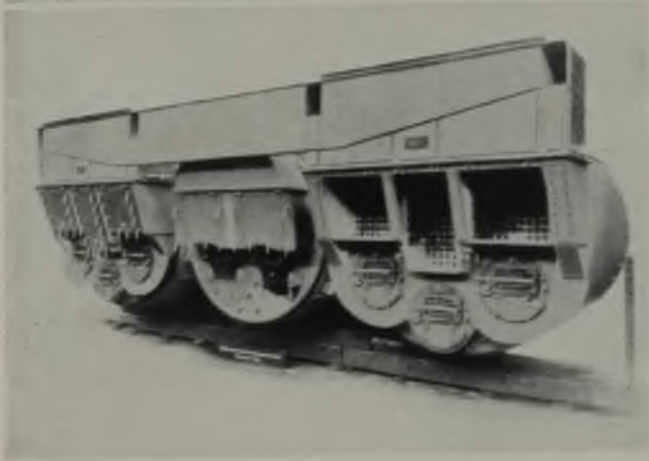
Rys. 34. Przekrój silnika dwutaktowego w górnej pozycji tłoka.

wędzią wlot i zacznie sprężać mieszankę palną w karterze do granicy około 1/2 atm.

Gdy tłok w swej wędrówce na dół zacznie się zniżać do dolnego martwego punktu, następuje otwarcie wylotu i gazy spalenia mają wolną drogę na zewnątrz. Schodząc jeszcze trochę niżej tłok odsłania nową szczelinę, widoczną po lewej stronie i tu nagromadzona mieszanka może dostać się do wnętrza cylindra. Powracający do góry tłok w od-



Trójekspansyjna maszyna parowa do napędu śruby okrętowej.



Kocioł parowy typu okrętowego, stanowiący z powyższą maszyną zespół.

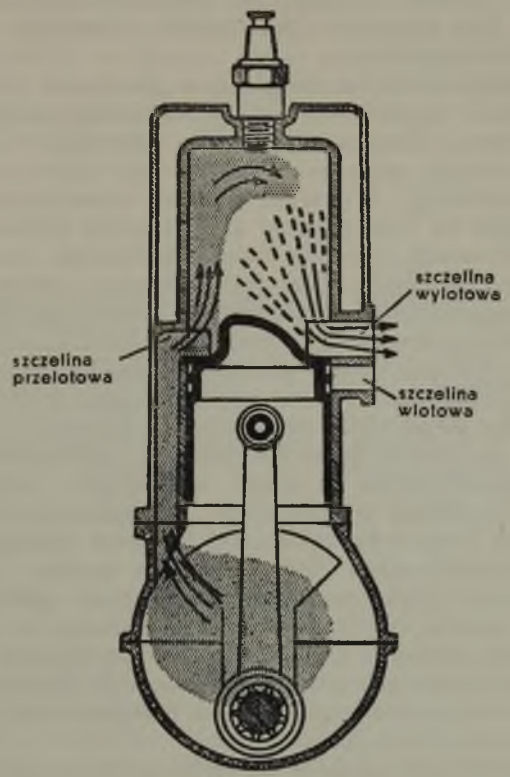
Parowóz turbinowy.

„Srebrna wstęga".
Parowóz pośpieszny, osiągający 180 km na godzinę.

POLITECHNIKA ŁÓDZKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA

wrotnej kolejności najpierw zamyka dopływ świeżej mieszanki z karteru do cylindra a następnie zamyka całkowicie szczelinę wylotową.

Ładunek palnej mieszaniny, który się dostał ponad tłok,



Rys. 35. Przekrój silnika dwutaktowego z tłokiem pokazanym na dolnym martwym punkcie. Świeży gaz wciska się do cylindra wypierając resztkę spalin.

będzie teraz sprężany i po dojściu tłoka do górnego martwego punktu nastąpi wybuch. Równocześnie podnoszący się do góry tłok wytworzył dostateczą próżnię w karterze, by go ponownie napełnić mieszanką wybuchową. Ponieważ na każdy obrót wypada jeden wybuch, nic dziwnego, że silnik dwucylindrowy dwutaktowy posiada taką samą moc

jak silnik czterocylindrowy czterotaktowy o tych samych wymiarach cylindra i tej samej ilości obrotów.

Prosty sposób napełniania cylindra mieszanką, w chwili gdy jeszcze uchodzą spaliny z cylindra, musi być tak obliczony, by istotnie cylinder był wolny od spalin. Również trzeba o tym pomyśleć, by świeża mieszanka nie uszła przez otwór wylotowy.

W praktyce jest to osiągalne w granicach dopuszczalnych, mimo wszystko silniki dwutaktowe są nieco mniej ekonomiczne. Zawsze nieco spalin pozostaje w cylindrze, który w innych warunkach mógłby być lepiej napełniony świeżą mieszanką. Wyższość silników czterotaktowych polega jeszcze na tym, że przy zmniejszonej szybkości obrotów naładowanie cylindra świeżą mieszanką nawet przy wolniejszych ruchach tłoka jest dokładne i wolne od spalin. Dlatego silniki dwutaktowe są mniej elastyczne i dobrze pracują na wielkich obrotach. Przy wolnych obrotach tłok zbyt leniwie usuwa gazy spalenia napływającą mieszanką świeżą, jak również część ładunku doprowadzonego do tłoka może ujść z powrotem do karteru.

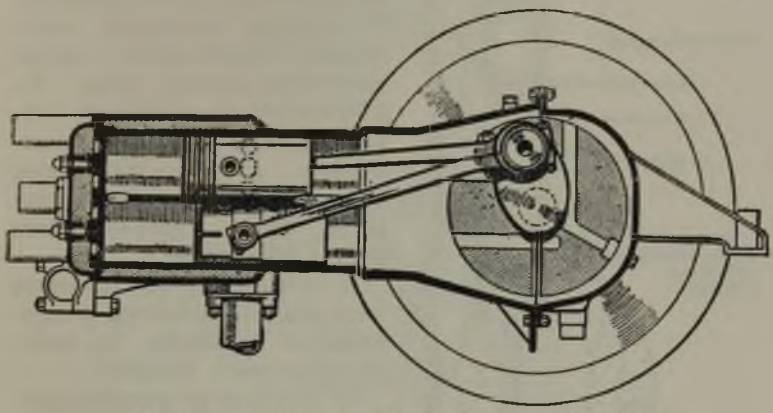
Mimo tych wad silniki dwutaktowe średniej i wielkiej mocy znalazły sobie w wielu wypadkach zastosowanie. Przede wszystkim w rolnictwie, w konstrukcjach tanich wehikułów i dla łodzi rybackich. Prostota obsługi, taniość, mniej skomplikowana budowa a tym samym łatwiejsza naprawa czy dozór przewyższają te małe niedogodności. Zresztą ostatnie silniki dwutaktowe, używane w tanich samochodach, okazały się nie mniej ekonomiczne od silników czterotaktowych przez to, że w tych klasycznych silnikach duża część energii idzie na uruchomienie mechanizmu zaworowego, czego tu nie ma.

Pojawienie się silników dwutaktowych wywarło bardzo doniosły wpływ na budowę innych silników. Przede wszystkim myśl wyzyskania karteru jako miejsce sprężania powietrza doprowadziła do ulepszenia Dieslów bezkompresorowych itd.

Do nowych pomysłów należy dwutaktowy silnik Trojana, przedstawiony na rys. 36, wyrabiany w Anglii. Silnik ten posiada w zasadzie tak samo trzy kanały i pracuje zgodnie z teoretycznym cyklem dwutaktu, lecz ma dwa tłoki i dwa cylindry. Jeden z tłoków zamyka i steruje wylot gazów, drugi wlot. Górna część cylindrów ma przejście,

tak że oba tłoki oddziaływują na siebie. Natomiast żaden tłok nie posiada grzebienia dzielącego komorę sprężania na miejsce dla wylotu gazów i wlotu.

Zastanówmy się nad zjawiskami zachodzącymi w tym silniku, jeśli uświadomimy sobie, że wlot świeżej mieszanki odbywa się przez szczeliny w górnym cylindrze a wydech przez szczeliny w dolnym. Tłoki są tak ustawione, że dolny porusza się nieco później w stosunku do górnego. Tym samym wylot gazów jest prędzej otwarty od wlotu świeżej mieszanki. Gdy tłoki poruszają się ku karterowi, spaliny

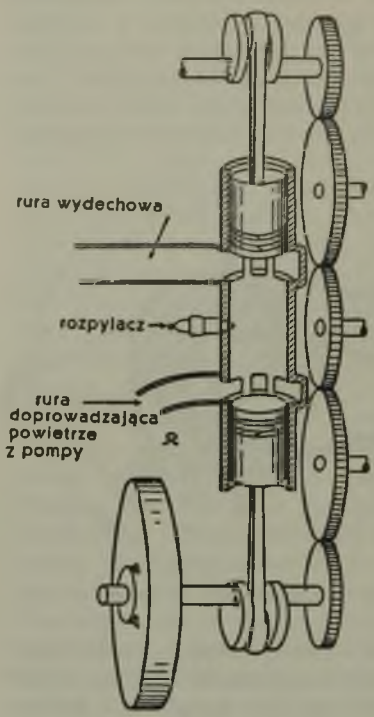


Rys. 36. Przekrój silnika dwutaktowego Trojana.

prędzej mogą zacząć opuszczać cylinder dolny, zanim jeszcze do górnego dostanie się świeża mieszanka. Potem wchodząca świeża mieszanka wypiera spaliny najpierw z górnego cylindra, wypełnia go całkowicie i gdy tłoki powracają do góry, ku głowicy, po zamknięciu dopływu mieszanki w górnym cylindrze jeszcze jakiś czas mogą uchodzić resztki spalin z dolnego przez mały otwór między cylindrami. Przy sprężaniu w obu cylindrach następuje wyrównanie ciśnień przed zapłonem. Jakkolwiek silnik ten nie jest zbyt elastyczny, znalazł on pełne uznanie i dobrze się rozpowszechnia.

Sławny stał się silnik prof. Junkersa, posiadający dwa tłoki w jednym cylindrze, poruszające się ku sobie. Schemat tego silnika mamy przedstawiony na rys. 37. Na szkicu wskazana jest pozycja, gdy oba tłoki są najbardziej od

siebie oddalone. Zarówno górny tłok osłonił szczelinę wylotową, jak dolny odsłonił wlotową. Silnik ten jest pomyślany jako odmiana Diesla i pracuje przy dużym sprężeniu powietrza, które w chwili największego rozgrzania otrzymuje zastrzyk z rozpylacza umieszczonego w pośrodku cylindra. Świeże powietrze, osobno lekko sprężone za pomocą pompy lub wentylatora, dostaje się do wnętrza cylindra i gdy już wypełni go do szczytu, następuje ruch tłoków, sprężających czyste powietrze między sobą. Po pojawieniu się zastrzyku ropy i wybuchu tłoki się rozchodzą, przy czym górną szczeliną uchodzą gazy spalenia, dolną napływa nowa porcja powietrza.



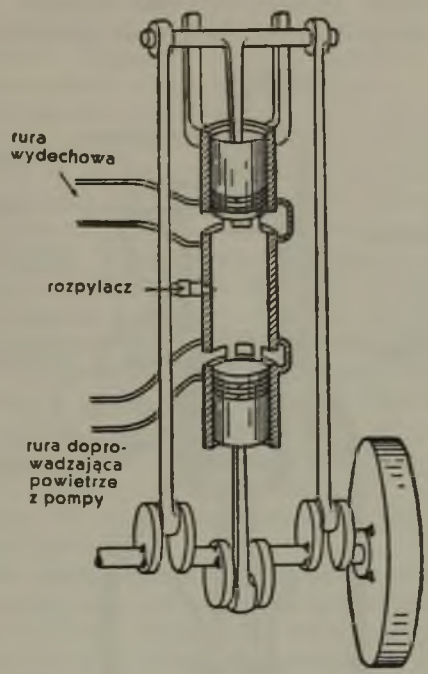
Rys. 37. Silnik dwutaktowy o dwu tłokach. Jest to system prof. Junkersa, polegający na tym, że dwa tłoki poruszane na dwu wałach korbowych zbliżają się i oddalają. Dla połączenia obu wałów korbowych w celu zgodnej współpracy służy system kół zębatych.

Z patentów prof. Junkersa korzysta kilka fabryk produkujących te silniki ku zadowoleniu swej klienteli.

W konstrukcji przedstawionej na rys. 37 oba wały korbowe połączone były ze sobą systemem kół zębatych. Na rys. 38 widzimy inne rozwiązanie, przy użyciu potrójnie wygiętego wału korbowego i dwu długich łączników przenoszących napęd z dołu do góry. Oba te systemy są bardziej szczegółowo opisane w rozdziale IX.

Na rys. 39 widzimy jeszcze jedną odmianę silnika dwutaktowego syst. Diesla. Tu dopływ świeżego powietrza odbywa się przy pomocy dmuchawy lub wirującego małego kompresora. Powietrze dostaje się na tłok w chwili, gdy

ten zajmuje najniższą pozycję i odsłania sobą szczeliny wlotowe. Po skończonym sprężaniu następuje w górnym martwym punkcie zastrzyk paliwa i wybuch. Gazy spalinowe opuszczają cylinder przez jedyny zawór grzybkowy,



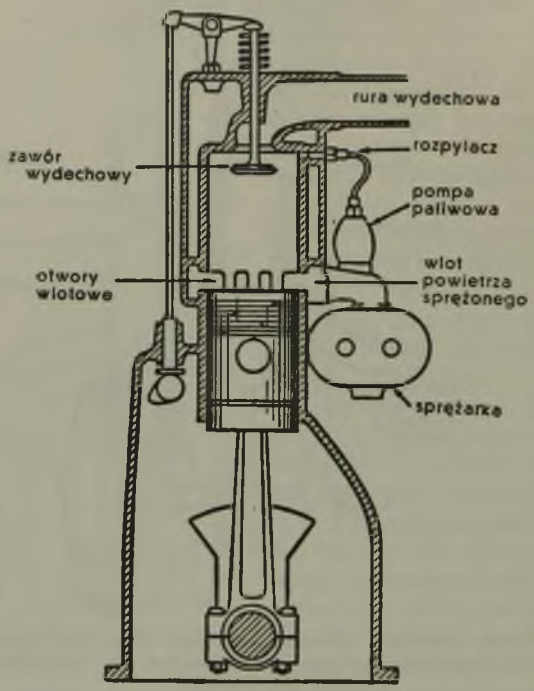
Rys. 38. Silnik Junkersa systemu Doxford. Oba tłoki poruszają się przy pomocy łączników przenoszących napęd ze wspólnego dolnego wału korbowego.

umieszczony w głowicy. Zalety tego silnika znajdziemy opisane w rozdz. IX.

Ilości cylindrów. Ilość cylindrów w maszynach parowych miała bardzo doniosłe znaczenie z tego względu, że po ilości cylindrów określało się stopnie ekspansji pary. W silnikach spalinowych i wybuchowych fakt ten nie zachodzi i gazy raz zapalone muszą cylinder opuścić. Ilość cylindrów w silnikach spalinowych ma raczej wpływ na równomierność pracy.

Małe jednostki do 10 koni najczęściej budowane są jako

jednocylindrowe. Silniki stałe, ustawione na fundamentach, mogą posiadać jeden lub dwa cylindry przy małych i średnich mocach. W trakcji motorowej niepożądane są małe ilości cylindrów nawet przy średnich i małych mocach. Im kosztowniejsze samochody, tym większe ilości cylindrów; sześć, osiem a nawet dwanaście posiadają ich moto-



Rys. 39. Silnik dwutaktowy z jednym zaworem wylotowym.

ry. Ze względu na dokładne zrównoważenie samochodu pożądane jest stosowanie silników o parzystej ilości cylindrów.

Wielkie silniki fabryczne, umiejscowione na fundamentach, są budowane z cylindrami leżącymi. Tam jednak gdzie zależy na oszczędzaniu przestrzeni, a więc w marynarce lub w innych podobnych sytuacjach, stosowane są silniki stojące.

Silnik o pojedynczym cylindrze czterotaktowym ma tyl-

ko jeden wybuch czy jeden okres pracy na dwa obroty wału, silnik o dwu cylindrach ma okres pracy na każdy obrót, a dopiero silnik o czterech cylindrach lub dwutaktowy dwucylindrowy ma okres pracy na każde półobrotu wału. Celem wyrównania tych wahań musi się stosować przy małocylindrowych silnikach bardzo wielkie i ciężkie koła zamachowe. Zupełnie inaczej, znacznie równomierniej będzie pracować silnik trójcylindrowy dwutaktowy lub sześciocylindrowy czterotaktowy. W tym bowiem wypadku następują wybuchy i praca w okresach między położeniami korby w martwym punkcie. Oczywiście, jeśli silnik jest dwutaktowy, mamy do czynienia z dwukrotnie liczniejszymi impulsami pracy.

Chłodzenie. W rozprawce naukowej, opublikowanej na podstawie doświadczeń inż. Brozyna w angiel. Instytucie Samochodowym, podano ciekawe wyniki dotyczące pomiarów temperatury w cylindrze silnika wybuchowego. Otóż w chwili wybuchu temperatura wynosi 2400° C wewnątrz komory spalania. Pod koniec okresu roboczego temperatura gazów jeszcze wynosi 1670° C a pod koniec wydmuchu 900° C. Ponieważ żeliwo, z którego wyrabia się cylindry, topi się przy temperaturze 1200° C i ponieważ najlepsze smary w tych temperaturach koksują, chłodzenie silnika jest konieczne.

W silnikach motocyklowych rolę ostudzania przyjmują na siebie pierścienie i żeberka rozmieszczone dokoła cylindra i reszty odlewu. Strumienie powietrza przepływające między metalowymi żeberkami ostudzają cylinder i jego wnętrze. Oczywiście silnik motocyklowy nie mógłby pracować na fundamencie, nie mając tak silnego przewiewu powietrza jak w czasie jazdy. Silniki lotnicze pod tym względem znajdują się w najlepszej sytuacji i dzięki bliskości śmigła oraz pędowi powietrza są najintensywniej studzone. Taki silnik lotniczy chłodzony powietrzem mamy przedstawiony na tablicy 19.

Małe nieruchome silniki mogą być też studzone wentylatorem. Takie małe silniki, nie wyżej 5 koni, są najczęściej zmontowane wraz z wentylatorem pędzącym na żeberka cylindrowe zimne powietrze.

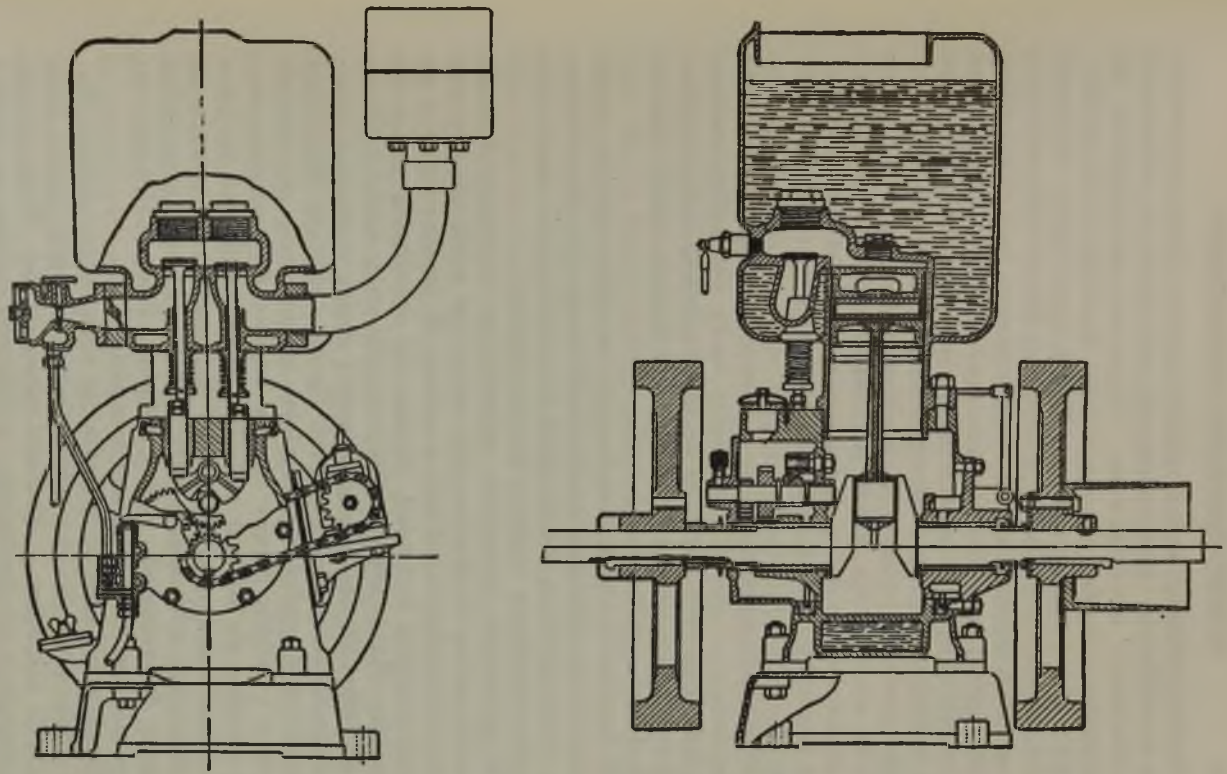
Większość jednak silników ze względów na obawy zatarcia są przez fabryki zaopatrywane w urządzenia do chłodzenia wodnego. Najprostszy system chłodzenia wodnego

mamy przedstawiony na rys. 40. Jest to zbiornik wodny wprost namontowany na głowicę i ścianki cylindra. Zimną wodę nalewa się przed uruchomieniem silnika.

Po paru minutach woda się ogrzewa i jeśli silnik ma dłużej pracować, zaczyna wrzeć. W miarę jej ubywania przez parowanie uzupełnia się zbiornik. Jeśli jakiś silnik ma stale pracować dzień i noc, to ten typ chłodzenia nie nadaje się. Lecz dla silników wykonywujących pracę krótką tego rodzaju urządzenie jest dogodne, gdyż jest najbardziej uproszczone i nie zabierające wiele miejsca. Ten typ silników chłodzonych bez specjalnych chłodnic lub rurociągów znalazł zastosowanie przy robotach drogowych, przy kruszeniu kamienia, betonu, wreszcie w gospodarstwach rolnych.

Omawiając ten sposób chłodzenia trzeba zaznaczyć, że najlepszą dla silnika temperaturą jest właśnie temperatura wrzącej wody. Gdy cylindry są zbyt silnie ochładzane, np. strumieniem wody wodociągowej, traci się więcej paliwa, część jego bowiem osiada na ściankach cylindra nie biorąc udziału w eksplozji lub spalaniu.

Silniki zmontowane na stałe w zakładach przemysłowych posiadają najczęściej chłodnice wodne. Taki zbiornik wodny łączy się dwoma rurami w ten sposób, że jedna mająca wlot wmontowany do dna zbiornika prowadzi wodę do najniższego punktu w cylindrze. Druga zmontowana na najwyższym punkcie cylindra powinna kończyć się w zbiorniku na wysokości ¾ poziomu wody. W ten sposób powstaje obieg zwany termosyfonicznym. Wiadomo, że woda gorąca jest lżejsza, więc nagrzawszy się w cylindrze najcieplejsze jej cząstki uchodzić będą rurą do górnego poziomu zbiornika. Na miejsce ubywającej wody z cylindra napływać będzie chłodna z dna zbiornika. Powstaje więc zamknięty obieg wody działający samoczynnie, tak jakby w rurach była wmontowana pompa. Woda gorąca ma dość czasu, by w szerokim zbiorniku ostygnąć, a wówczas jej zimniejsze cząstki opadają w dół i ponownie wędrują do koszulek cylindra. Rozmiary zbiornika powinny być tak dobrane, by temperatura wody w czasie normalnej pracy silnika była bliska wrzenia, lecz zawsze o kilka lub kilkanaście stopni niższa. Poziom wody w zbiorniku powinien być stale utrzymywany samoczynnym wentylem, który by uzupełniał brak wywołany parowaniem.



Rys. 40. Chłodzenie silnika. Zbiornik wodny umieszczony nad głowicą cylindra, częściowo oziębiający ścianki cylindra, jest od góry otwarty, by umożliwić parowanie wody.

System opisany wyżej znalazł bardzo duże zastosowania w silnikach samochodowych, oczywiście w połączeniu z chłodnicą i wentylatorem. Chłodnice samochodowe są budowane z bardzo znacznej ilości cienkich rurek mosiężnych o małej średnicy, by rozdzielić zapas wody na liczne małe strumienie i łatwiej ją ostudzić. Wentylator wirujący ze znaczną szybkością wywołuje przewiew i oziębia gorącą wodę. Jedną rurą, której ujście znajduje się u szczytu głowicy cylindra, odprowadza się wodę gorącą do górnej części radiatora, drugą nisko położoną łączy się najniższy punkt silnika z najniższym punktem chłodnicy.

Gdy woda ostyga, zimne jej i cięższe strumienie spływają przez rurki w dół a stąd dostają się do przestrzeni między koszulką wodną a ściankami cylindra (patrz tablica 17).

W dużych samochodach osobowych i ciężarowych termosyfoniczny sposób ostudzania wody nie byłby wystarczający. Dla tych silników są konstruowane centryfugalne (odśrodkowe) pompy wodne, wprawiające wodę między cylindrami a chłodnicą w ruch.

W bardzo wielkich instalacjach, w elektrowniach posiłkujących się silnikami spalinowymi mogą być do chłodzenia wody używane wieże chłodnicze, takie jakie znamy już z opisu studzenia wody z kondensatorów.

W opisanych systemach zależało na wprawieniu wody w ruch, co jest konieczne, gdy wody jest mało lub gdy ona wraz z pojazdem musi być wieziona. W lepszej sytuacji są silniki morskie i rzeczne, mające do chłodzenia wody, ile potrzeba. Małe pompki tłokowe nabierają wodę i tłoczą ją do cylindrów, ostudzają ścianki i ciepłą wyrzucają z powrotem do morza lub do rzeki. By nie ostudzać zbyt silnie silnika, wprowadza się najpierw zimną wodę do ścianek karteru i oziębia gorący olej, a dopiero tą cieplejszą wodą ostudza się ścianki cylindra. Przy wypływie powinna mieć ona temperaturę około 90° C. Również skierowuje się wodę celem ochłodzenia rury wylotowej, by nie wywołać pożaru drewnianych części statków. Rury wylotowe nagrzewają się nieraz do czerwoności.

Bywają też inne urządzenia do chłodzenia wielkich ilości wody, przy pomocy umyślnie urządzonego stawu obok wielkich zakładów z silnikami spalinowymi. Wodę gorącą odprowadza się do fontan, w których rozbita na drobne

strumyki oziębia się w powietrzu, zanim opadnie do stawu. Ze stawu czerpie się świeże porcje wody do hali maszyn dla chłodzenia silników.

W wielu wypadkach wyzyskuje się ciepło wydmuchu dla celów praktycznych. Wówczas umieszcza się kocioł z zimną wodą w otoczeniu rury wylotowej. Gorące gazy spalin nagrzewają wodę, która może być doprowadzona do wrzenia i może następnie służyć w łazienkach, pralniach fabrycznych lub do innych celów technicznych.

Zastosowanie silników. Dziś budowa silników jest tak rozmaita, że dla wszelkich potrzeb właściwy silnik najracjonalniej można obrać.

Małe stacje silnikowe do wytwarzania prądu mogą wybierać silniki typu leżącego lub stojącego. Silnikom leżącym czynią zarzut, że wymagają one dużych fundamentów i znacznej przestrzeni, nieraz w okręgach przemysłowych bardzo kosztownej.

Silniki pionowej lub stojącej budowy oczywiście zajmują mniej powierzchni, lecz wymagają wysokich pomieszczeń. Nadto fundamenty pod stojące silniki muszą być głębokie i oparte na dobrym, pewnym gruncie. W ten sposób wybór między typem silnika leżącego czy stojącego zawsze w praktyce znajdzie swych zwolenników. W pomieszczeniach starych już wykończonych, nieraz o niezbyt wysokich stropach, zawsze wygodniejszy okaże się silnik leżący, łatwiej go bowiem wtransportować i ułożyć na fundamencie. W nowobudujących się zakładach o przewidzianym miejscu na silnik, a przy tym gdy grunty są drogie, wygodniej będzie postawić silnik stojący. W obu wypadkach trzeba zaznajomić się z rozmiarami poszczególnych części i ich wagą, by zdecydować, w jaki sposób je wprowadzić do bydunku i czy będzie można je udźwignąć wyciągami lub w inny sposób.

Silniki dwucylindrowe o kształcie litery V są najbardziej dostosowane do motocykli. Ich kształt nadaje się do pomieszczenia w wąskiej ramie. Wstawienie i wyjęcie takiego silnika z ramy motocyklowej nie powinno być trudne, co jednak nie zawsze się da uniknąć.

Silniki okrętowe są z reguły budowy stojącej ze względu na ciasnotę miejsca, a nadto łatwiej taki silnik demontować dla naprawy i oczyszczenia.

Dla samochodów osobowych i ciężarowych wypracowały

już fabryki typ silnika stojącego jednorzędowego, jako najbardziej łatwy do obsługi i naprawy. W silnikach tych starają się konstruktorzy możliwie wszystko osłonić przed szkodliwym działaniem kurzu drogowego. Mechanizm zaworowy, urządzenie do smarowania, gaźnik itp. powinny być dobrze osłonięte i zabezpieczone przed pyłem. Wobec szczupłości miejsca kształt tych zespołów jest taki, by mógł się pomieścić w wąskiej ramie. Silniki ośmio- lub dwunastocylindrowe buduje się dla samochodów w postaci litery V. Wówczas są dwa rzędy po cztery lub po sześć cylindrów.

Silniki lotnicze mają całkiem odmienne kształty. Odpada tu koło zamachowe jako zbędne, a natomiast mamy do czynienia z większą ilością cylindrów studzonych najczęściej powietrzem. Tylko małe awionetki zachowały jeszcze silniki typu samochodowego jako znacznie tańsze. W silnikach gwiaździstych karter jest wieloboczny lub okrągły a dokoła niego są rozmieszczone cylindry.

W budowie silników lotniczych zwraca się uwagę nie tylko na lekkość i oszczędność miejsca, lecz trzeba jeszcze pamiętać, by silnik nie zasłaniał pola widzenia pilotowi lub pasażerom.

W silnikach gwiaździstych jest mały wał korbowy z jedną korbą, dokoła której wirują wszystkie łączniki korbowe. Silniki awionetkowe typu samochodowego bywają w kształcie litery V i mogą mieć dwa rzędy po 4 lub po 6 cylindrów. W tym wypadku są one chłodzone wodą a dzięki zwartej budowie nie przedstawiają większego oporu powietrza.

ROZDZIAŁ VIII

SILNIKI NAFTOWE I BENZYNOWE

System zapalania

Wspominaliśmy już o tym, że silniki benzynowe mają świece do wyładowywania iskier, od których rozpłomienia się mieszanka. Bardzo wiele silników w marynarce, w lotnictwie oraz stałe silniki fabryczne posiadają do wytwarzania prądu magneta. Samochody natomiast posiadają przeważnie własne dynamomaszyny ładujące akumulatory, z których czerpie się następnie prąd do zapalania. Ten prąd jednak zbyt słaby, by wywołać iskrę, musi przejść przez cewkę indukcyjną, w której powstaje prąd wtórny o wysokim napięciu. Reszta instalacji samochodowej posiada prąd o niskim napięciu, niezbędny dla rozrusznika i oświetlenia, sygnalizacji akustycznej i świetlnej, wreszcie do uruchomiania wycieraczek lub nagrzewania szyb, wnętrza i powietrza wpędzanego wentylatorem.

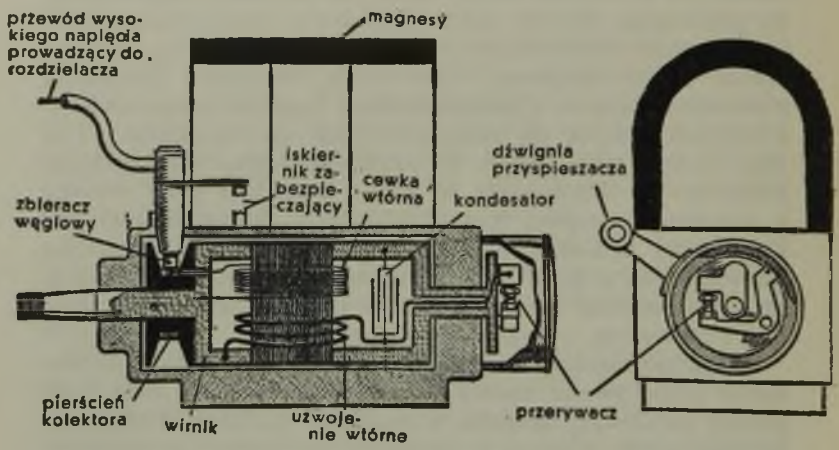
Chcąc zaznajomić się z działaniem magneta trzeba uświadomić sobie pewne szczegóły z elektrotechniki. Jeśli weźmiemy zwyczajny magnes w kształcie podkowy i ułożymy na nim kartkę papieru a następnie posypiemy ją opiłkami żelaznymi, pojawią się linie sił przebiegające najwyraźniej od jednego bieguna do drugiego w kształcie łuków. Te linie sił uwidocznione takim doświadczeniem istnieją zawsze, choć są niewidzialne. Jeżeli teraz między biegunami magnesu umieścimy zwój drutu na osi, by go można było wprawić w ruch obrotowy, to na końcach drutów wychodzących z cewki będziemy mogli stwierdzić istnienie prądu.

Prąd ten jest zmienny, jego moc wzrasta i opada w zależności od pozycji, jaką cewka zajmuje.

W magnetach przy powolnych obrotach cewki pojawia się prąd o mocy 6 do 12 wolt. Chcąc jednak ten słaby prąd zamienić na prąd o wysokim napięciu trzeba jeszcze skorzystać ze zjawiska zwanego indukcją. W tym celu posiłkujemy się cewką o podwójnym uzwojeniu. Jedna ma zwoje z drutu grubego, do którego doprowadzamy prąd niskiego napięcia — druga nawinięta dokoła pierwszej o bardzo

licznych zwojach z cienkiego drutu izolowanego ma wolne końce nie dotykające uzwojenia pierwotnego. Z chwilą przerwania prądu pierwotnego pojawia się na końcach cienkiego drutu potężna iskra elektryczna. Za każdym razem gdy nastąpi zetknięcie i rozerwanie drutów pierwotnego uzwojenia zawsze pojawi się w uzwojeniach wtórnych z cienkiego drutu prąd wysokiego napięcia.

Pomiędzy podkowiastymi magnesami znajduje się, jak widać na rys. 41, wirnik wykonany z żelaza w kształcie li-



Rys. 41. Przekrój typowego magneta.

tery H, owiniętego uzwojeniem z grubego drutu w głębi i z cienkiego drutu po wierzchu. Jeden koniec uzwojenia grubego jest połączony z korpusem magneta czyli, jak to mówimy, uziemiony — drugi doprowadzony do przerywacza. Uzwojenie wysokiego napięcia ma również jeden koniec połączony z korpusem magneta a drugi odprowadzony do pierścienia zbiorczego, który obraca się razem z całym wirnikiem. Obie cewki stanowią nierozdzielną całość.

Dla wyjaśnienia działania magneta na rys. 41 schematycznie osobno oznaczono jedno uzwojenie a osobno drugie. Przerywacz jest wirujący i kontakty odrywające się od siebie w chwili napotkania garbu, który podnosi młoteczek, są wykonane z wolframu, jako metalu bardzo odpornego na działanie iskier. Teraz już wiemy, że przy każdym obro-

cie magneta, gdy przerywacz napotka na garb, następuje przerwa w prądzie pierwotnym a tym samym wytwarza się prąd wtórny. Przewód z pierścieniowego kolektora prowadzi do kabli a te są połączone z poszczególnymi świecami. Magnesy wyrabia się ze stali kobaltowej, zachowującej trwały magnetyzm. Do podków są przymocowane kawałki żalaza miękkiego w kształcie półksiężyców; otaczają one wirującą cewkę tak, by linie sił koncentrowały się na biegunach.

Magnet tego typu może dać na każdy obrót dwa silne impulsy a więc i dwie iskry.

Wielocylindrowy silnik musi posiadać rozdzielacz o tylu kontaktach, ile jest świec i cylindrów. Ponieważ każdy cylinder wymaga w czterotaktowym silniku jednego zapłonu na dwa obroty a magnet może dać dwie iskry na każdy obrót, więc jasne stąd, że ilość obrotów magneta będzie zależna od ilości cylindrów. Dla czterocylindrowego silnika magnet powinien się obracać dwa razy wolniej niż wał korbowy silnika. Wobec tego między wałem korbowym a magnetem wstawia się koło zębate redukujące ilość obrotów w dwójnasób.

Celem ochrony magneta od uszkodzenia wskutek krótkiego spięcia, wewnątrz jego konstrukcji znajduje się iskiernik, który iskrzy, gdy w świecy powstanie mimowolny kontakt z ułamka osadu węglowego lub gdy świeca się zaoliwi.

Przerywacz jest otoczony pierścieniem, na którym znajduje się garbek. Ten garbek można przesuwać w lewo lub na prawo o parę stopni kątowych. Chcąc zmienić moment zapalania na wcześniejszy lub późniejszy przesuwa się w odpowiednim kierunku garbek i osiąga się pożądany wynik. Przy większych obrotach silnika powinno się moment zapalania przyspieszyć, przy wolnych obrotach — opóźnić.

W lotnictwie używa się magnet, w których częścią nieruchomą jest cewka a częścią ruchomą wirujące magnesy.

Świece, do których doprowadza się prąd wysokiego napięcia, posiadają dwie końcówki z bardzo odpornego materiału i na nich pojawia się iskra. Wnętrze świecy jest wykonane z izolacyjnej masy porcelany lub miki i dopiero przez taki izolator przeprowadza się przewód doprowadzający prąd do jednej z elektrod. Izolacja świecy musi być wytrzymała na wysoką temperaturę i duże ciśnienie. Tym

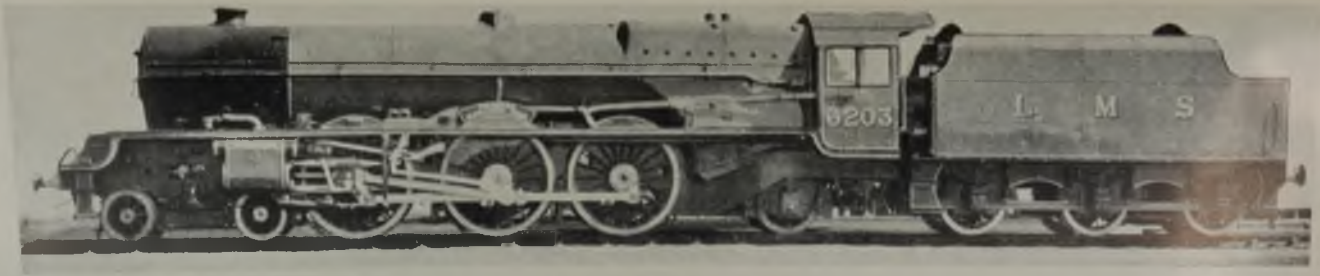
warunkom odpowiada tylko mika lub odpowiednie gatunki porcelany.

Dynamomaszyny wytwarzające prąd w samochodach otrzymują napęd z wału głównego najczęściej przez pasek gumowy lub z tkaniny. Nie będziemy tu opisywać konstrukcji dynamomaszyny, lecz zajmiemy się resztą instalacji elektycznej. Dynama wirują z szybkością półtorakrotnie większą niż silnik i wytwarzają prąd o napięciu 6 albo 12 wolt. Między dynamo a akumulatorem musi istnieć samoczynny przełącznik, którego rola jest bardzo ważna. Gdy dynamo wytwarza prąd i ten prąd jest tak mocny, że może ładować dynamo, wszystko jest w porządku. W wypadku jednak postoju samochodu, mogłoby się zdarzyć, że dynamo otrzymawszy prąd z akumulatora zacznie obracać silnik. By więc taka ewentualność nie mogła zajść, musi działać wyłącznik samoczynny, który przy spadku napięcia prądu w dynamo wyłącza je od wpływu z akumulatorem.

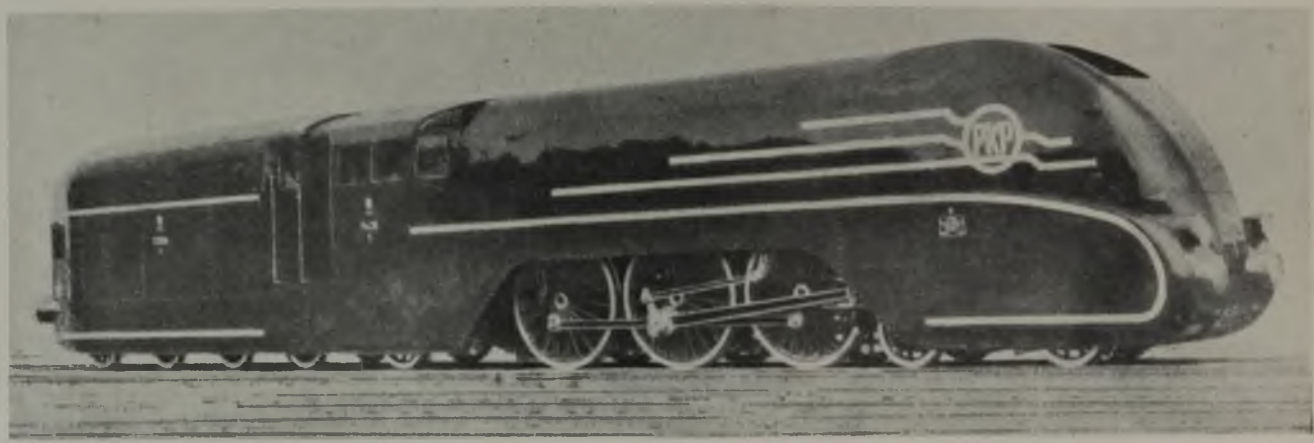
System zapalania w takiej instalacji samochodowej składa się tylko z cewek, przerywacza i rozdzielacza. Po włączeniu prądu z akumulatora pojawia się przy każdym ruchu przerywacza jeden impuls skierowany przez rozdzielacz do odpowiedniej świecy. Rola cewki indukcyjnej jest podobna do podwójnego uzwojenia w magnecie. Prąd o napięciu 6 lub 12 wolt zamienia się na prąd o napięciu 6000 wolt i wywołuje iskry na świecach.

Cewka posiada rdzeń z miękkiego żelaza, dokoła którego najpierw nawinięto przewody grube a następnie nasadzono na nie cewkę z uzwojeniem cienkiego drutu. Prąd dopływający do cewki przechodzi przez przerywacz i w chwili przerw wytwarza we wtórnym uzwojeniu prąd wysokiego napięcia, który przechodzi przez odpowiedni kontakt rozdzielacza do odpowiedniej świecy. Rozdzielacz jest wirujący i posiada płytkę stykową, łącząc się w czasie obrotu z poszczególnymi przewodami biegnącymi do świec. Na tablicy 19 mamy przedstawioną cewkę i przerywacz oraz rozdzielacz. W większości konstrukcyj tego rodzaju na wirującym wałku równocześnie znajduje się przerywacz i rozdzielacz.

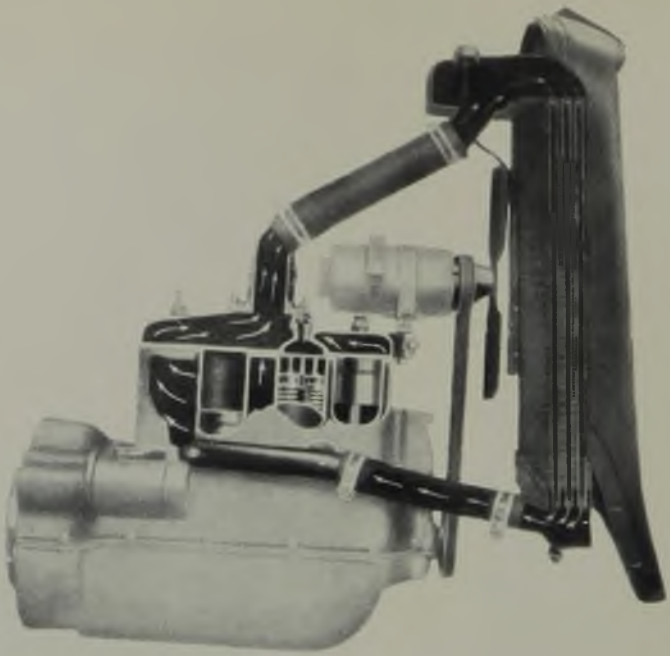
Bardzo wiele samochodów posiada samoczynne nastawianie czasu zapłonu. Mechanizm ten działa zgodnie z wzrastającą ilością obrotów silnika. Istotą tego urządze-



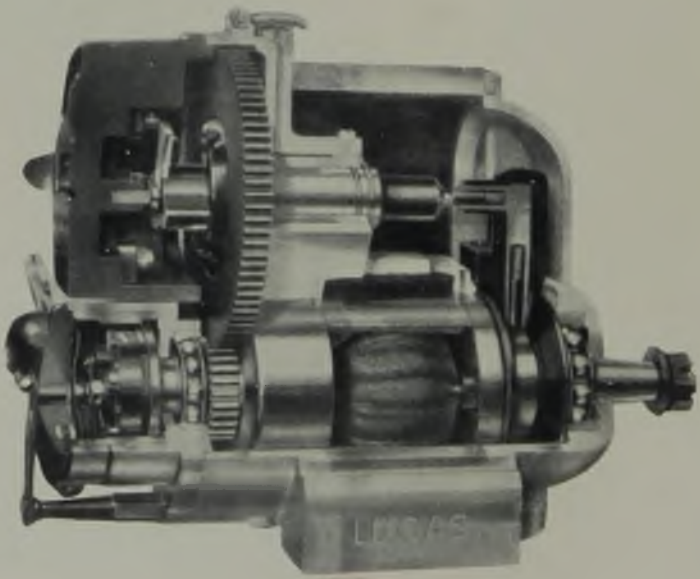
Parowóz pośpieszny.



Polski parowóz „Pacyfik" o liniach aerodynamicznych, zbudowany z okazji wystawy światowej w Paryżu.



Termosyfoniczny system chłodzenia
stosowany w popularnych samochodach Forda, Polskiego Fiata i wielu innych.



Przekrój magneta.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

nia jest system ciężarków przesuwających się wskutek wzrastającej siły odśrodkowej o pewien nieznaczny kąt rozdzielacza. Z reguły ze wzrostem ilości obrotów silnika rozdzielacz przyspiesza zapalanie w silniku.

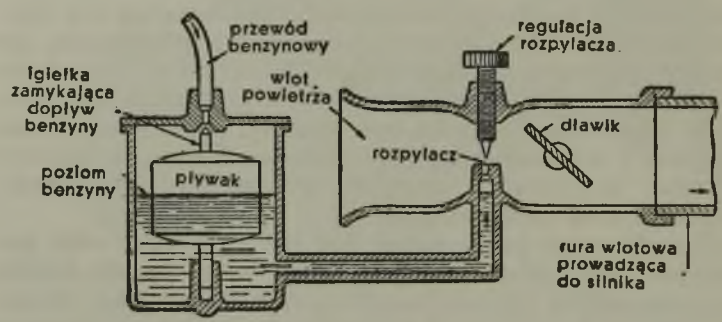
Sposób działania gaźnika

Zadaniem gaźnika, zwanego u nas także karburatorem, jest zamiana paliwa płynnego na gaz. Działanie jego polega na tym, że wąski strumień cieczy zostaje wessany przez powietrze wciągane do cylindra i po rozpyleniu dokładnie wymieszany. Łatwo palne materiały, jak benzyna czy benzol, parują szybko i łatwo mieszają się z powietrzem, po drodze ogrzewają się przy wstępie do cylindra i tu już pozostają do końca okresu sprężania. Przy użyciu nafty strumień płynu musi ponadto być ogrzany, by zechciał łatwo parować i wymieszać się z powietrzem. Stosunek wagowy benzyny do powietrza powinien wynosić 16 części powietrza na każdą część benzyny.

Gaźniki mogą być poziome lub też mogą mieć wlot powietrza z góry albo z dołu. Można je w ten sposób dzielić na poszczególne rodzaje konstrukcyjne, lecz ogólnie biorąc, niezależnie do sposobu doprowadzenia powietrza, działają one według tej samej zasady. Każdy gaźnik musi posiadać komorę wlotową, komorę pływakową, rozpylacze i dysze, wreszcie dławik. Zadaniem komory pływakowej jest zachowanie stałego poziomu benzyny. W tym celu pływak unoszący się na powierzchni benzyny dozoruje ruchy wentylka, który może być przez pływak zamknięty, gdy dopływ benzyny jest większy, niż tego wymaga poziom. Z komory pływakowej benzyna dochodzi do rozpylacza i wypełnia go do należytego poziomu. Poziom ten powinien być o 1 do półtora mm niższy niż szczyt rozpylacza. W przeciwnym bowiem razie benzyna w czasie postoju wylewałaby się i sączyła bezużytecznie.

Gdy silnik zostanie wprawiony w ruch korbą lub starterem, powietrze wpada do gaźnika i z dużą szybkością pędzi nad końcem rozpylacza. Powstaje więc nad rozpylaczem depresja (obniżenie ciśnienia powietrza), co naturalnie wywołuje wytrysk benzyny. Ten niezmiernie delikatny strumień cieczy, łatwo paruje i miesza się w dalszym swym biegu z powietrzem. Dzieje się to tym łatwiej, że powietrze

nad rozpylaczem nabiera wielkiej szybkości wskutek sztucznego zwężenia wlotu przez wstawienie pierścienia zwanego dyszą. Tu też następuje dokładne wymieszanie. Dławik wstawiony w ujście gaźnika reguluje dopływ wsysanego powierza. Im większy przekrój strumienia powietrza, tym większe obroty silnika. Na rys. 42 widzimy najprostszy system gaźnika. Ten rodzaj znajduje zastosowanie w silnikach bardzo małej mocy. Poszczególne części łatwo rozpoznać z opisu. Nad rozpylaczem widzimy tu igiełkę regulującą dopływ benzyny. Przy puszczaniu silnika w ruch



Rys. 42. Przekrój najprostszego gaźnika.

odkręca się igiełkę do góry, by większy strumień paliwa na początek mógł dostać się do silnika. Gdy silnik ruszy i po paru minutach nagrzeje się, skręca się igiełkę w dół i doregulowuje dopływ benzyny tak, by silnik pracował oszczędnie.

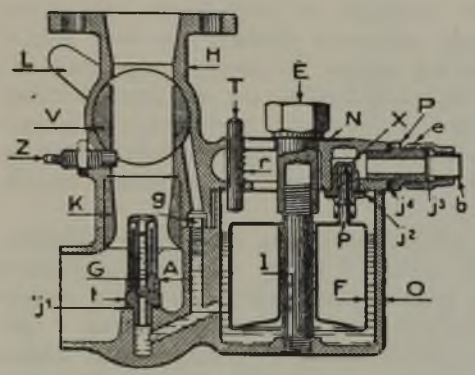
Gaźniki samochodowe są o wiele precyzyjniejsze. Muszą one być dostosowane do trzech możliwości. Przy rozruszaniu muszą dostarczać samoczynnie większej ilości benzyny, w czasie pracy na dużych obrotach muszą działać oszczędnie i nie marnować paliwa, w czasie wolnych obrotów, na postojach nie wolno im dopuścić do tego, by silnik stanął, a wreszcie nie powinny zużywać zbyt wiele benzyny. Tym warunkom odpowiadają gaźniki Zenith, wyrabiane we wszystkich kulturalnych krajach i gaźniki Solex, bardzo rozpowszechnione w Polsce, używane w polskich samochodach.

Gaźnik Solex wyrabiany w Polsce dla samochodów Fiat

i innych spełnia zasadniczy warunek obowiązujący wszystkie gaźniki nowoczesne, a mianowicie dostarczania strumienia benzyny w ścisłej zależności od zmiennej ilości zasysanego powietrza.

Gaźniki o pojedynczym rozpylaczu, jak na rys. 42, nie mogą spełnić tego warunku i jeśli pracują dobrze, to tylko dlatego że są nastawione na stałe obroty maszyny.

Gaźnik Solex, jak widać z rys. 43, posiada trzy rozpylacze. Zaczniemy od rozruchowego. Rozpylacz rozruchowy ma wlot mieszanki powietrza i benzyny umieszczony nad



G rozpylacz główny
A rozpylacz rozruchowy
g rozpylacz wolnych obrotów
O komora pływakowa
F pływak
P iglica
T tłoczek do naciskania pływaka
E śruba do demontażu gaźnika
L—V przepustnica
K kominek
r sprężynka
j uszczelki
Z śruba do regulowania dławnicy

Rys. 43. Gaźnik Solex.

przepustnicą. Można więc po otwarciu tarczy rozruchowej wessać do silnika bogatą mieszankę, która wywoła zapłon. Drugi rozpylacz dla wolnych obrotów umieszczony jest w studzience zawierającej pewien nieznaczny zapas benzyny (porównaj podobną kostrukcję z dalej opisanym gaźnikiem Zenith). W chwili całkowitego zamknięcia przepustnicy, gdy gaźnik jest czynny i motor jest w ruchu, ustaje dopływ powietrza przez główny wlot a jedynie nieznaczna jego ilość dostaje się do silnika przez mały otworek obok przepustnicy. Tędy właśnie wdziera się mały strumień powietrza zmieszanego z benzyną.

Główny wreszcie rozpylacz, umieszczony centralnie w rurze wlotowej zasila benzyną silnik w czasie normalnych i większych obrotów. Ten rozpylacz jest tak skonstruowany, że składa się z trzech rureczek nałożonych na siebie

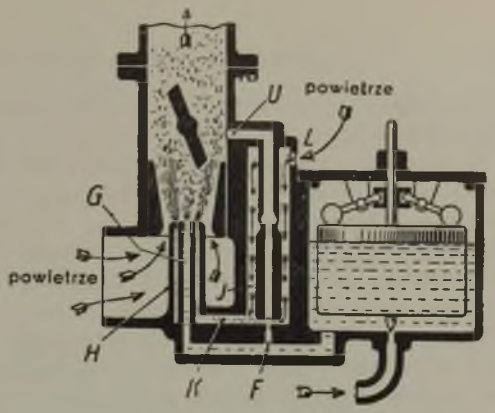
współśrodkowo. Otworem środkowym wpada powietrze, które pomaga do rozbicia strumienia benzyny na drobny pył. Im silniejszy będzie ciąg powietrza w rurze ssącej, tym stosunkowo większe ilości benzyny zostaną rozpylone. Zarówno w gaźniku Solex jak w Zenith dąży się do tego, by przy zbyt szybkich obrotach silnika ilość benzyny konsumowanej przez silnik nie była ponad procentowy stosunek wyższa niż dopuszczalne. Chodzi o to, że zwyczajne rozpylacze działają dlatego wadliwie, gdyż przy wzrastającym pędzie powietrza ilość porywanej benzyny jest większa, niż być powinna. Temu zapobiegają w gaźniku Solex umieszczone współśrodkowo otworki w rozpylaczu głównym. Przez wlot wyrównania ciśnienia dostaje się tym więcej powietrza, im większe jest ssanie. To powietrze pomaga do rozpylenia benzyny, lecz wdzierając się do zewnętrznego pierścienia, którędy dopływa benzyna, przeszkadza i hamuje nadmierny dopływ paliwa. To różnicowe działanie rozpylaczy występuje jeszcze wyraźniej w gaźniku Zenith, opisanym dalej.

Schematyczny rysunek 44 wyjaśnia nam zasadę działania gaźnika Zenith a zarazem istotę działania gaźników precyzyjnych. Gdyby gaźnik posiadał jeden tylko rozpylacz działanie jego byłoby bardzo nierównomierne i nieoszczędne. W gaźniku Zenith są aż trzy rozpylacze. Jeden z nich a mianowicie główny służy do zasilania benzyną w czasie dużych i normalnych obrotów roboczych. Drugi działa wówczas, gdy silnik pracuje na wolnych obrotach, wreszcie trzeci ma za zadanie dostarczenie jak największej ilości benzyny w czasie wprawiania silnika w ruch.

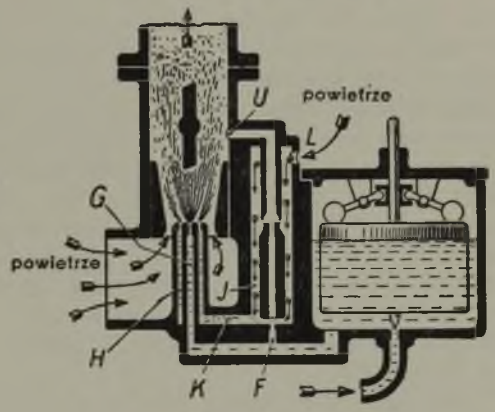
Rozpylacz główny (rys. 44) i rozpylacz pomocniczy działający w czasie rozruchu silnika mieszczą się jeden w drugim i otwór ich wypada w pośrodku najwęższego przekroju dyszy. Rozpylacz dla małych obrotów znajduje się w tak zwanej studzience, a wylot jego wpada nad dławikiem.

W czasie spoczynku w obu rozpylaczach mamy jednakowy poziom benzyny i z obu może ona wyrzucić strumienie benzyny, gdy nastąpi ssanie. Jednakże rozpylacz główny, umieszczony w pośrodku, jest wąski i ma mały przekrój, przez niego niewiele benzyny będzie się mogło wydostać w chwili kręcenia silnika ręką lub rozrusznikiem. Natomiast większy rozpylacz, ten który otacza główny, ma ot-

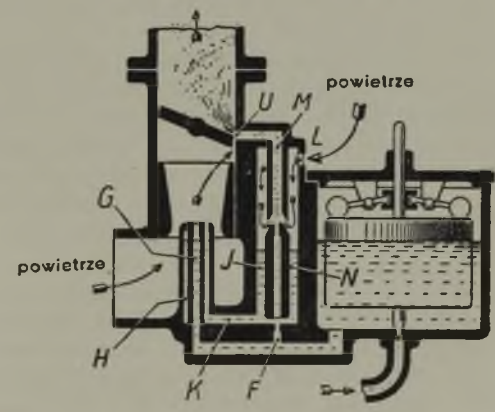
Działanie gaźnika
w czasie rozruchu



Działanie gaźnika
na pełnych obrotach



Działanie gaźnika
przy wolnych obrotach



Rys. 44. Gaźnik Zenith.

wór większy i nawet przy słabym ssaniu potrafi nasycić powietrze gęstą mieszanką benzyny.

Na górnym szkicu rys. 44 widzimy moment, gdy strumień powietrza o niewielkiej szybkości dostaje się do silnika. Rozpylacz pomocniczy może teraz dać znaczną ilość benzyny raz dlatego, że ma większy przekrój, a po drugie z tego powodu, że nagromadzona benzyna w studzience pod naporem powietrza wpadającego przez otworek *L* pomoże do wypędzenia całego nagromadzonego zapasu benzyny. Gdy silnik już ruszy z miejsca i nabierze większych obrotów, zacznie ssać benzynę wyłącznie z rozpylacza głównego, gdyż przez pomocniczy będzie wkradało się powietrze, które wprawdzie bardzo dobrze działa na rozsypanie pyłków benzynowych i dokładne ich wymieszanie, lecz nie powiększa ilości zasysanej benzyny.

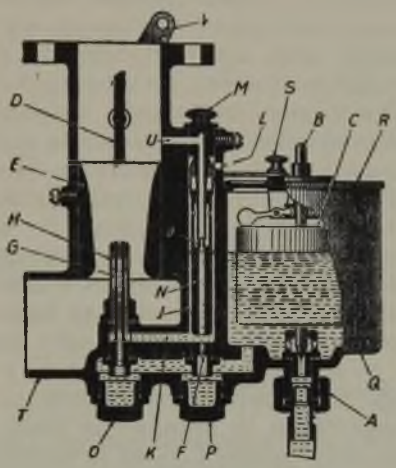
Taka właśnie sytuacja istnieje na rys. środkowym. Trzecia wreszcie możliwość zachodzi wówczas, gdy silnik na postoju pracuje na bardzo małych obrotach. Na rys. 44 u dołu mamy właśnie przedstawiony dławik w pozycji przymknięcia rury wlotowej. Główny ciąg powietrza jest wobec tego nieczynny i z obu rozpylaczy, głównego i pomocniczego benzyna się nie ulatnia. Natomiast cienka struga powietrza wdzierającego się przez otworek L porywa ze sobą benzynę z trzeciego rozpylacza, którego ujście znajduje się nad dławikiem.

Poznawszy teraz istotę działania gaźnika Zenith, możemy przejść do rozpatrzenia jego szczegółów konstrukcyjnych i omówić je na podstawie rys. 45.

Dopływ benzyny ze zbiornika prowadzi przez rurkę umocowaną nakrętką A. Dopływ ten może być w każdej chwili zamknięty iglicą stożkową B, która posiada dwa ciężarki spoczywające na pływaku C. Pływak, ciężarki i iglica działają zgodnie w ten sposób, że gdy ilość benzyny podniesie się do poziomu dopuszczalnego, pływak unosi się do góry, działa na ciężarki i spycha iglicę w dół, powodując zamknięcie.

Nagromadzona benzyna w komorze pływakowej ma ujście prowadzące do otworu F i do głównego rozpylacza G W ten sposób dolny strumień benzyny wprost i stale zasila główny rozpylacz, górny strumień wypełnia kanał K i napełnia rozpylacz pomocniczy H oraz studzienkę J. W tej

studzience zanurzony jest jeszcze jeden rozpylacz, ten właśnie dla małych obrotów, którego wylot znajduje się nad poziomem benzyny a ujście dla jego strumienia w punkcie U. Korki O i P służą w tym celu, by można było przedmu-



A dopływ benzyny
B iglica
C pływak
Q komora pływakowa
R pokrywa komory
L dopływ powietrza do rozpylacza wolnych obrotów
U wlot mieszanki w czasie wolnych obrotów
a koniec rozpylacza wolnych obrotów
N rozpylacz dla wolnych obrotów
J zapas benzyny w studzience
O, P korki do oczyszczania przewodów
F dopływ benzyny do studzienki
K dopływ benzyny do rozpylacza rozruchowego
T wlot powietrza
G rozpylacz główny
H rozpylacz rozruchowy
E dysza
D dławnica

Rys. 45. Przekrój gaźnika Zenith.

chać rozpylacze i oczyścić gaźnik bez zdejmowania go ze samochodu. W tych korkach gromadzi się pył, kropelki wody i nieczyste osady, które mogłyby w normalnych warunkach zanieczyścić gaźnik.

Przejdziemy teraz do rozpatrzenia kierunku ruchu powietrza. Wlot dla powietrza znajduje się w kolanku T. Stąd powietrze zmieniwszy kierunek poziomy na pionowy wpada do dyszy E, która w swej dolnej części ma zwężony otwór. Wskutek tego zwężenia następuje silny pęd powietrza, pewna depresja, wyraźne ssanie, które wywołuje ruch strumienia benzyny. Chcąc doregulować silnik według własnego życzenia można dyszę powiększać lub pomniejszać przez zwyczajne usunięcie jednej a wstawienie drugiej. Nad dyszą znajduje się dławik D, którym reguluje się dopływ powietrza. Dzieje się to przy pomocy dźwigni V.

W czasie normalnej pracy silnika, gdy dławik jest otwarty, przypomnijmy, w jaki sposób dopływa benzyna do rozpylaczy. Otóż w sytuacji takiej jak na rys. 45 benzyna

będzie się starała dostać do otworu F i do rozpylacza głównego G. Ponieważ w studzience znajduje się otwór L, część powietrza wpadać będzie przez ten otwór, wypełni opróżnioną studzienkę i będzie przeszkadzać napływowi benzyny przez otwór F, porywając co prawda pewne ilości, lecz już jako pary, zmieszane z powietrzem. Wydostaną się one dokoła rozpylacza głównego przy ujściu H. Główny strumień benzyny będzie przepływał przez główny rozpylacz G. Po zatrzymaniu silnika a przed następnym uruchomieniem go benzyna spokojnie wypełni całą studzienkę J i będzie gotowa do intensywnego zasilania rozpylacza H.

Gdy silnik zaczyna działać przy pierwszych obrotach, potrzebuje zawsze bogatszej mieszanki. Pochodzi to stąd, że zimne ścianki cylindra tak działają na pary benzynowe, że ta skrapla się, mieszanka staje się uboższa i silnik nie może zapalić. Pewien nadmiar benzyny jest więc konieczny. By sprostać temu zadaniu, wyzyskuje się cały zapas nagromadzonej benzyny w studzience i w kanale K i dokoła rozpylacza głównego w rozpylaczu pomocniczym H. W chwili rozruchu pomaga także ta nieznaczna ilość powietrza, która wdziera się przez otwór L. Ona to powoduje wytrysk całego zapasu benzyny ze studzienki i nasycenie powietrza gęstą mieszanką.

W czasie pracy silnika na małych obrotach dławik D jest zamknięty i niemal przymyka otworek U. Wskutek tego pęd powietrza przez główny wlot T jest zamknięty, z rozpylaczy G i H nie ulotni się ani jedna kropla benzyny. Natomiast dopływ powietrza będzie możliwy wyłącznie przez otwór L. Strumień tego powietrza musi się załamać i sięgnąć w dół aż do punktu a; tu porywa ze sobą bogatą ilość benzyny, gdyż tej bezyny oczekuje na niego duża ilość w studzience zasilanej przez otwór F. Silnik zatem obraca się wolno ma bowiem mało powietrza, musi na niego czekać, okres ssania jest długi, lecz zato powietrze jest dobrze nasycone parami benzyny.

Regulacja gaźnika, gdy się zna jego konstrukcję, jest bardzo ciekawa i pouczająca. Silnik każdy, a w szczególności samochodowy może być doregulowany albo na szybki zryw, albo na oszczędną pracę przy małych obrotach, albo na oszczędną pracę przy dużych obrotach.

Samochód w wielkim mieście, rzadko kursujący poza rogatki, nie potrzebuje wielkiego rozpylacza głównego. Nig-

dy bowiem nie może rozwinąć swej możliwej największej szybkości. Oszczędny więc kierowca umieści rozpylacz o mniejszym przekroju w punkcie G. Również w wielkich miastach, gdzie często wskutek sygnalizacji na skrzyżowaniach ulic kierowca musi dłużej czekać z silnikiem pracującym, reguluje się rozpylacz M tak, by konsumował jak najmniej benzyny. Przeciwnie, udając się na wyścigi, rajdy itp. wymienia się rozpylacz główny na większy. Wówczas silnik szybko nabiera obrotów, maszyna szybko przyspiesza, choć pracuje mniej ekonomicznie. Udając się natomiast w podróż po dobrych prostych drogach i autostradach, gdzie zależy na oszczędzaniu paliwa i gdzie szybkość i tak będzie wielka, bo opór drogi jest mały, można zmienić dyszę E na większą a rozpylacz zachować ten sam. Wówczas silnik będzie otrzymywał wielkie ładunki powietrza przy oszczędnym konsumowaniu benzyny.

Nowoczesne silniki benzynowe i naftowe.

Bez przesady można powiedzieć, że w dziedzinie silników benzynowych budowanych do wszelkich możliwych celów istnieje tak wielka różnorodność typów, iż nie zliczyłby ich w tysiącach. Każda fabryka silników nie wyłączając polskich, nieustannie bierze udział w postępie, zmienia niemal co roku typy produkowane, ulepszając je albo stopniowo, albo wprost przechodząc do budowy zupełnie odmiennej niż przed laty. To samo można powiedzieć o fabrykach samochodowych.

Typowym silnikiem roboczym do wszelkich celów przemysłowych był przedstawiony na rys. 40 silnik Lister. W Polsce podobne silniki budują Ursus, Perkun, Strański i wiele innych fabryk. Silniki Strańskiego są dwutaktowe trzycylindrowe a więc dają taki efekt, jakby były 6-cio cylindrowe. Ponieważ w Polsce benzyna jest droga, w użyciu są bardziej silniki ropowe z głowicą żarową lub małe silniki Diesla.

Dla młynów, małych fabryczek i przemysłu rolnego buduje się w Polsce silniki ropowe, ciężkie, trwałe, pracujące przy niefachowej obsłudze. Silniki benzynowe jako droższe w użyciu, są natomiast stosowane do pomp strażackich, gdyż tam zależy na natychmiastowym uruchomieniu bez

przygotowań silnika, a nie zależy na kosztach utrzymania, gdyż silniki te stosunkowo rzadko pracują.

Na Podkarpaciu, gdzie jest do dyspozycji gaz ziemny, każdy silnik świetnie nadaje się do ruchu. Nasze motorówki rybackie posiadają wyłącznie silniki ropowe, natomiast sportowe łodzie i silniki kajakowe budowane przez liczne fabryki a nawet szkoły rzemieślnicze, konstruowane są do napędu benzynowego.

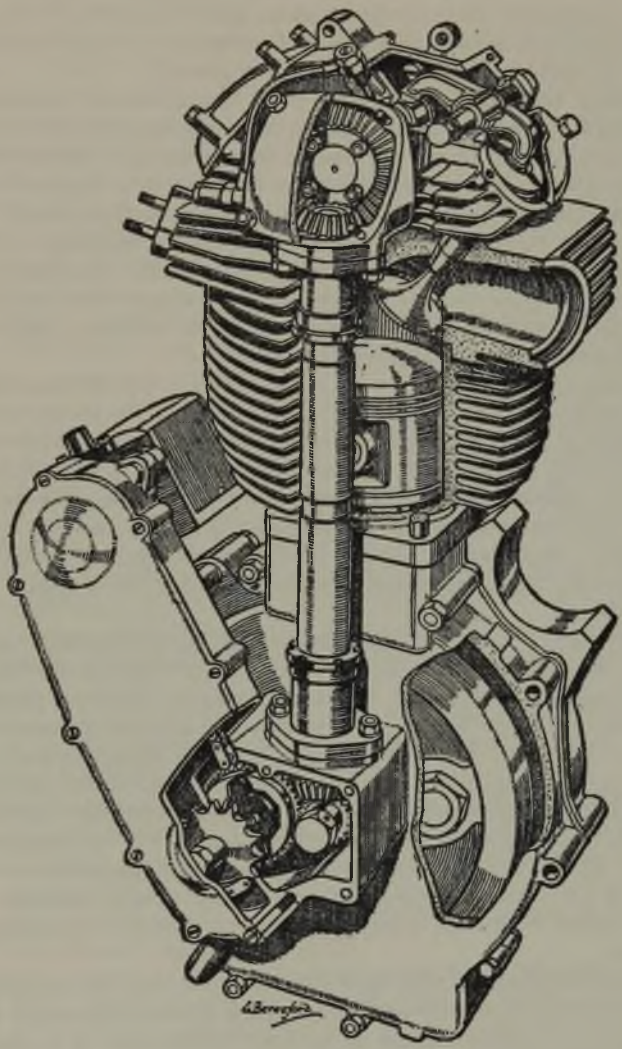
Jeszcze większa różnorodność w dziedzinie budowy silników panuje wśród silników motocyklowych. Zależnie od położenia cylindrów, ilości cylindrów, sposobu chłodzenia i wreszcie cyklów pracy możliwe są najrozmaitsze kombinacje. Do tego przychodzą jeszcze różne systemy sterowania zaworami, zapalania itd.

Na rys. 46 mamy przedstawiony jeden z klasycznych typów silnika motocyklowego. Jest to silnik szybkoobrotowy, bardzo zwartej konstrukcji a przy tym zbudowany całkiem nowocześnie. Wysokość jego jest ograniczona wymiarami ramy, na której musi się jeszcze pomieścić zbiornik z benzyną. Również i szerokość jest ograniczona, gdyż siedzący na motocyklu nie może zbyt niewygodnie rozstawiać nóg. Z tych powodów zadanie dla konstruktora silników motocyklowych, ograniczenie przestrzenią przy równoczesnym domaganiu się jak największej mocy, jest bardzo trudne.

Średnica tłoka tego silnika wynosi 74 mm, skok 81 mm, pojemność zatem wynosi 348 cm^3.

Pomiędzy górną płytą karteru a dolną podstawą cylindra znajdują się dwie podkładki, które ustalają wysokość cylindra nad karterem a tym samym wielkość komory kompresyjnej. Z płytkami sprężenie w komorze kompresyjnej dochodzi do 6,2 atm, po wyjęciu płytek i niższym osadzeniu cylindra sprężenie może wzrosnąć do 6,8 atm. Normalnie więc motocyklista może używać tego silnika do pracy na paliwie gorszym i osiąga szybkość ponad 100 do 120 km. Silnik przy mniejszej kompresji daje 5,500 obrotów i 15 koni na hamulcu. Chcąc jednak użyć motocykla do wyścigów lub rajdów, można wyjąć te dwie płytki, powiększyć stopień sprężenia i osiągnąć większą moc i większą szybkość.

Po takiej przeróbce, trzeba jednak zamiast benzyny używać mieszanek antydetonacyjnych a więc, znacznej ilości



Rys. 46. Przekrój silnika motocyklowego.

spirytusu lub benzolu. U nas takie mieszanki są barwione lub na stacjach benzynowych oznaczane napisem M dla odróżnienia od benzyny, która też zawiera trochę spirytusu, lecz za mało jak na to, by nie detonować.

Chcąc wyjaśnić, dlaczego przy zwiększonej kompresji powinno się używać mieszanek antydetonacyjnych, należy przypomnieć sobie, co się dzieje w silniku pod koniec okresu sprężania. W czasie sprężania temperatura ściskania gazów wzrasta i może dojść do takiego stopnia, że nawet bez świecy nastąpi zapłon. Byłoby to bardzo dogodne, gdyby nie ten fakt, że detonacja następuje o wiele wcześniej, niż tego sobie życzyłby konstruktor. Pojawienie się detonacji słychać wyraźnie jako niemiły stuk w silniku, kończący się przedwczesnym zużyciem panewek.

W opisanym silniku mamy chłodzenie powietrzne. Głowica cylindra i sam cylinder są wykonane z odlewu aluminiowego, całość jest opatrzona w liczne żeberka, więc chłodzenie jest intensywne dzięki doskonałemu przewodnictwu stopów aluminiowych. Gniazda zaworowe są również ze stopów aluminiowych, a mianowicie: gniazdo zaworu ssącego jest z mieszaniny brązu i aluminium, gniazdo zaś wylotowe jest ze stali aluminiowej, odpornej na wysoką temperaturę.

Z rysunku możemy jeszcze zauważyć, że komora spalinowa ma kształt półkolisty. Ten kształt łatwo obrobić na maszynach a nadto jest to bardzo zwarta budowa głowicy. Świeca znajduje się w osi głowicy, w samym geometrycznym jej środku. Ma to tę zaletę, że gazy zapalają się szybko i ciepło rozchodzi się równomiernie po całej głowicy. Ten kształt głowicy pozwala na zastosowanie zaworów o dużej średnicy, położonych blisko siebie i tak nastawionych, że gazy dokładnie wypełniają całą przestrzeń i łatwo ją po wybuchu opuszczają. Umieszczenie gaźnika tuż przy rurze wlotowej zmniejsza straty energii wpadających gazów.

Wał rozdzielczy znajduje się nad głowicą. Do napędu jego prowadzi pionowy wał, połączony kołami zębatymi stożkowymi z jednej strony z wałem korbowym a z drugiej strony u góry z wałkiem noskowym. Noski uderzają w dźwignie wahadłowe, które naciskają na zawory. Ten mechanizm posiada najmniejszą wagę a tym samym najmniejszą bezwładność. Dzięki temu nie należy się obawiać złamania

sprężyny lub zawieszenia zaworu w powietrzu przy bardzo szybkich obrotach.

Tłok wykonany ze stopu glinowego (aluminiowego) posiada 4 wąskie pierścienie uszczelniające. W silnikach motocyklowych mechanizm korbowy składa się z 5 części: z korbowodu, czopa tłokowego, dwu kół zamachowych i czopa korbowego. Są one zrównoważone zgrubieniem na kole zamachowym. Ze względu na bardzo wysokie ilości obrotów stosuje się w tych konstrukcjach głównie łożyska kulkowe lub rolkowe. Wał korbowy spoczywa na podwójnych rolkowych łożyskach gdy natomiast, korbowód posiada łożysko kulkowe.

Osobno przewidziano wałek połączony kołami zębatymi z wałem korbowym do napędu magneta i pompki oliwnej. Pompa ta czerpie oliwę z karteru i tłoczy ją do cylindra oraz na inne części ruchome pod ciśnieniem prawie jednej atmosfery. Pompa jest podwójna i drugi jej tłoczek, znacznie większy, wypompowuje oliwę z karteru oczyszczoną na sitach i przetłacza ją z powrotem do zbiornika oliwnego. W ten sposób oliwa do smarowania jest stale czysta i chłodzona.

Oliwa tłoczona do mechanizmu korbowego przebiega łożyska główne, dostaje się przez wał do korbowodu i smaruje górną część korbowodu w czopie tłokowym. Stąd rozbryzgana po ściankach cylindra spływa z powrotem do karteru.

Do najbardziej rasowych i klasycznych należy bez wątpienia silnik samochodowy Bentley, wyrabiany przez słynną fabrykę Rolls-Royce.

Skonstruowanie tego silnika nastręczało wiele pracy konstruktorom, którym postawiono trudne do spełnienia zadanie. Silnik miał być trwały, niezawodny, długo pracujący bez remontów, cichy w biegu a przy tym nie miał być pozbawiony właściwości silnika sportowego, a więc powinien być elastyczny, mocny i szybki.

Silnik ten posiada 6 cylindrów o średnicy 82 mm i skoku 114 mm. Jego pojemność (litraż) wynosi 3669 cm^3 i moc 25,3 K. M. Blok cylindrowy jest żeliwny, karter aluminiowy. Między obu częściami znajduje się aluminiowe sito. Głowica cylindrowa daje się zdejmować a zawory wiszące są otwierane popychaczami sterowanymi z wału noskowego, umieszczonego w karterze.

Nad głowicą cylindrów znajduje się niezwykłych rozmiarów filtr powietrzny a zarazem tłumik, by nie było słychać szmeru ssania. Do zasilania silnika służą dwa gaźniki, każdy obsługuje trzy cylindry. Rura wydechowa ma bardzo łagodne łuki, ułatwiające wylot gazom bez szmeru.

Silnik jest wyposażony w pompę wodną i pompę oliwną. Smarowanie jest bardzo obfite i staranne. Olej tłoczony pod ciśnieniem powyżej jednej atm. dociera do wszystkich części mechanizmu, przechodząc przez przewód zaopatrzony w zawór kontrolny. Gdy w zimne dni ciśnienie zbyt wzrasta wskutek zgęstnienia oleju, część jego wycieka przez ten otwór. Obieg oleju jest tak pomyślany, że poprzez wał dostaje się on do korbowodów do najwyższego punktu i tu smaruje czopy tłoków.

Osobny przewód oliwny prowadzi do głowicy cylindra. Stąd rozchodzi się smar do dynamo i mechanizmu napędowego. Każdy popychacz zaworowy, każda dźwignia i jej łożysko są starannie smarowane. Smar zużyty wycieka kanałami do karteru, gdzie po przefiltrowaniu i ostudzeniu w chłodnicy wodnej dostaje się z powrotem do przewodów obiegowych. Każdy zawór jest prowadzony w tulejkach pasowanych, chroniących od hałasu. Ten system smarowania choć bardzo kosztowny w wykonaniu — ma jednak jak twierdzi fabryka tę zaletę, że silniki Rolls-Royce są trwałe i pracują cicho.

Obieg wody przy pomocy pompki skrzydełkowej jest kontrolowany samoczynnym termostatem. Temperatura wody jest stale jednakowa, w razie jej wzrostu następuje silniejsze chłodzenie, w razie oziębienia zwalnia się obieg wody. Termostat otwiera i przymyka żaluzje umieszczone przed chłodnicą i reguluje precyzyjnie chłodzenie wody. W ten sposób silnik zimny nie pracuje nigdy dłużej niż potrzeba, by się woda należycie nagrzała. W chwili puszczania silnika w ruch w zimne dni żaluzje są zamknięte i nie wpuszczają zimnego powietrza dopóty, dopóki woda należycie się nie nagrzeje. Po nagrzaniu się wody termostat otwiera żaluzje i reguluje dopływ powietrza zależnie od stopnia nagrzewania się wody.

Do ciekawych rozwiązań należą bezsprzecznie silniki gwiaździste, używane w lotnictwie. Na tablicy 19 widzimy taki silnik używany do aparatów szkolnych sportowych

i lekkich wojskowych. Samoloty sportowe posiadają najczęściej tylko jeden silnik, natomiast komunikacyjne pasażerskie posiadają ich co najmniej dwa dla większego bezpieczeństwa ruchu.

W silnikach lotniczych konstruktor stara się poszczególne części zmniejszyć do możliwych granic i całą budowę sprowadzić do najbardziej zwartej całości, raz ze względu na ciężar, po drugie by zmniejszyć opór powietrza. W danym wypadku wał korbowy w silnikach gwiaździstych jest bardzo krótki, gdyż posiada tylko jedno wykorbienie, mały karter pozwala na zmniejszenie oporu powietrza.

Zauważyć należy, że silniki gwaździste jak ten mają z reguły nieparzystą ilość cylindrów. W naszym wypadku jest ich 7. Taki układ wynika z konieczności stworzenia właściwej kolejności zapłonów. Przy 7 cylindrowym układzie kolejność zapalania jest następująca 1, 3, 5, 7, 2, 4, 6. Na rysunku 47 widzimy tę kolejność zapalania, w której, jak łatwo zauważyć, zawsze co drugi cylinder dostaje impuls, co trwa przez całe zamknięte koło przechodząc z cylindrów nieparzystych na parzyste.

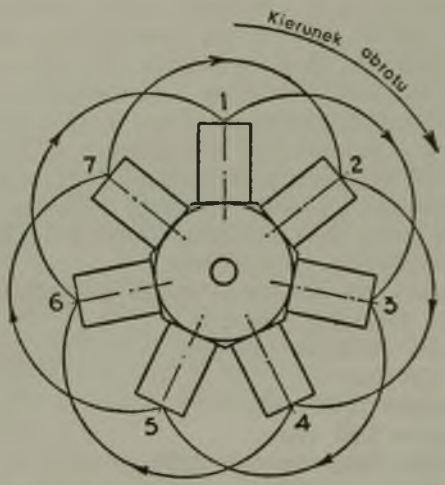
Przedstawiony na ilustracji silnik posiada następujące najważniejsze wymiary i cechy:

Średnica cylindra 116 mm.
Skok 120 mm.
Pojemność 7507 cm^3.
Sprężenie 5,35 atm.
Normalna ilość obrotów 2250 na min.
Maksymalna 2475 na min.
Moc normalna 155 K. M.
Moc maksymalna 170 K. M.
Ciężar 170 kg.
Ciężar silnika przeliczony na jednego konia 1 kg.
Zużycie paliwa na godzinę 39 litrów.
Średnica całego silnika 1022 mm.

Silnik gwiaździsty posiada wał korbowy z jedną tylko korbą, lecz ta musi być zrównoważona przeciwciężarem. Jeden z korbowodów wiruje po czopie korby, inne ślizgają się po panewkach korbowodu głównego. Chcąc osiągnąć jak największą dokładność i jak najmniejszą wagę wykonanych korbowodów obrabia się je maszynowo i usuwa wybrany z nich zbędny materiał. Wał korbowy jest przewiercony i podzielony na dwie części.

Cylindry tego typu silników lotniczych są wykonywane ze stalowych bloków i całkowicie wraz z żeberkami toczone. Głowica cylindrowa jest z odlewu aluminiowego. Z cylindrem jest ona połączona śrubami. W głowicy znajdują się stalowe gniazda dla zaworów, gdyż odlew aluminiowy byłby za miękki.

W każdej głowicy są osadzone po dwie świece i dwa magneta dostarczają one prądu dla zapewnienia zapłonu nawet w wypadku uszkodzenia się przewodów lub innych części mechanizmu. Popychacze poruszające dźwignie za-

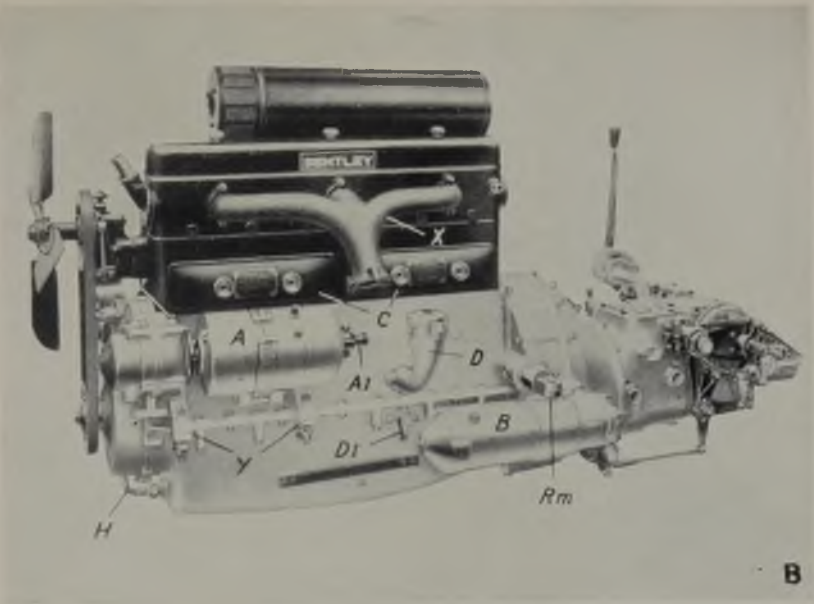


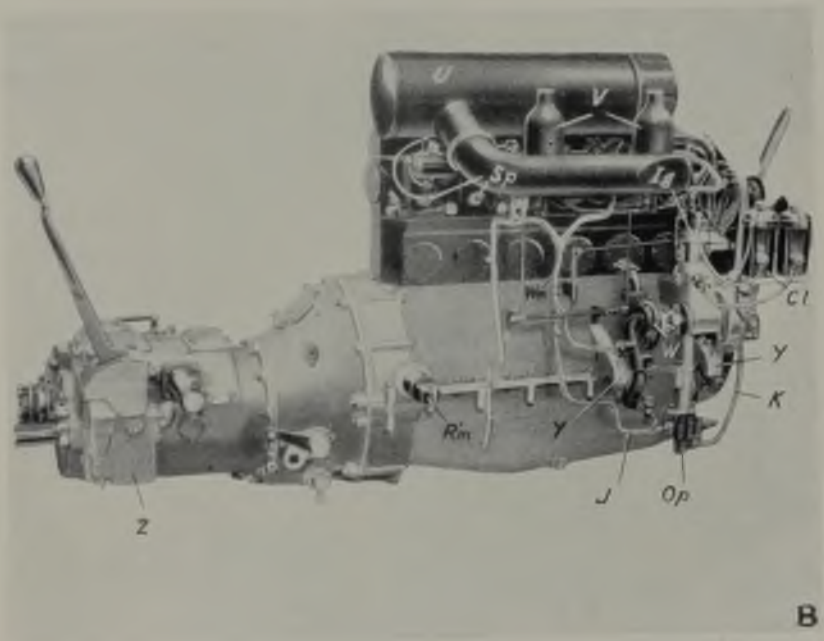
Rys. 47. Kolejność zapalania w silniku 7-cylindrowym.

worowe są okryte aluminiowymi rurkami, podobnie cały mechanizm zaworowy jest osłonięty pokrywami z prasowanej blachy aluminiowej.

Mieszanka benzynowa wraz z powietrzem dostaje się do wnętrza komory przy karterze a stąd rurami do poszczególnych cylindrów. Wewnątrz tej komory znajduje się wentylator, mieszający dokładnie benzynę z powietrzem; wiruje on niemal 4 razy szybciej niż silnik.

Do najciekawszych rozważań w silnikach gwiaździstych należy konstrukcja mechanizmu otwierającego zawory i sterującego popychaczami. Nie można tu założyć wału o siedmiu kompletach nosków do podnoszenia zaworów ssących



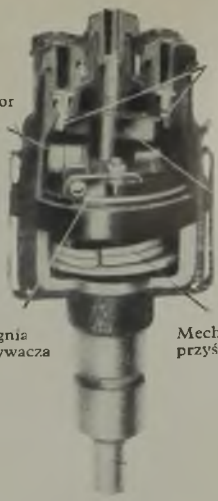


Silnik Bentley.

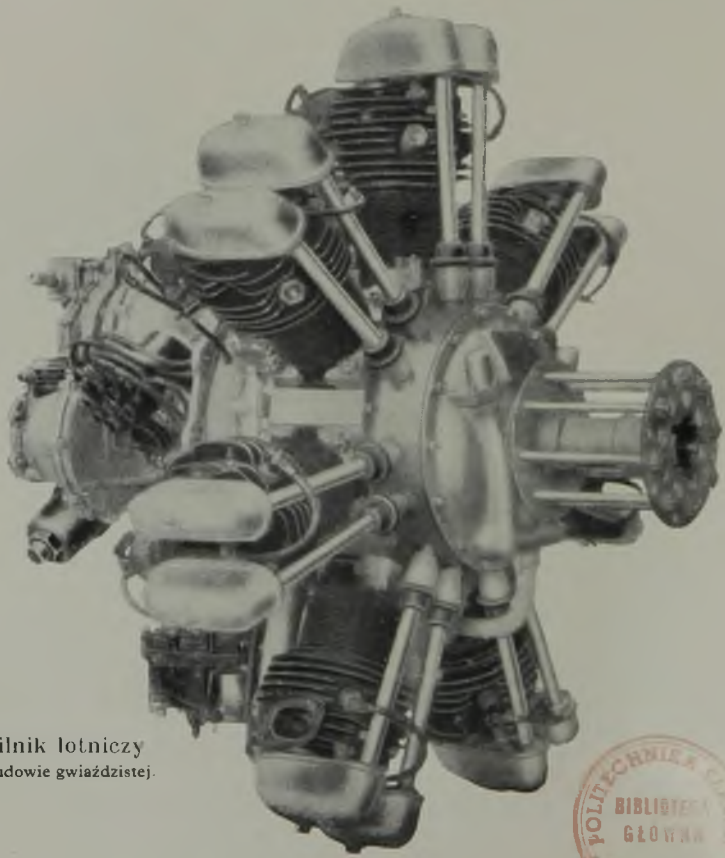
U góry widziany od strony wydmuchu — u dołu od strony rury ssącej.

TABLICA 19.

Cewka indukcyjna.



Rozdzielacz
z automatycznym przyśpieszaniem czasu zapalania



Silnik lotniczy
o budowie gwiaździstej.

POLITECHNIKA ... BIBLIOTEKA GŁÓWNA

i wydechowych. Rozwiązano więc tę sprawę w ten sposób, że jedna tarcza rozdzielcza o czterech noskach otwiera i zamyka wszystkie zawory. W tym celu ma ona przekładnię zębatą poruszającą ją z szybkością 1/8 szybkości silnika. Każdy nosek otwiera na zmianę albo zawór ssący, albo wydechowy. Wobec tego kąty i momenty otwierania zaworów są inne niż w silnikach samochodowych. Mianowicie zawór ssący otwiera się na 12° przed górnym martwym punktem a zamyka się przy 60° po dolnym m. punkcie. Te same kąty obowiązują zawór wydechowy. Ten otwiera się 60° przed dojściem tłoka do dolnego martwego punktu a zamyka 12° po g. m. p. Razem więc rozwartość między otwarciem a zamknięciem zaworu dla obu wynosi jednakowo 252° (suma 60+180+12°).

System smarowania jest ciśnieniowy lub obiegowy, z angielska zwany także „suchym", w odróżnieniu od systemu rozbryzgowego. Oleju dostarcza pompa do wszystkich punktów i części, które mają być smarowane, przez liczne przewody i kanały. Druga pompa oliwna zbiera spływający olej z karteru i po przefiltrowaniu odprowadza go do zbiornika.

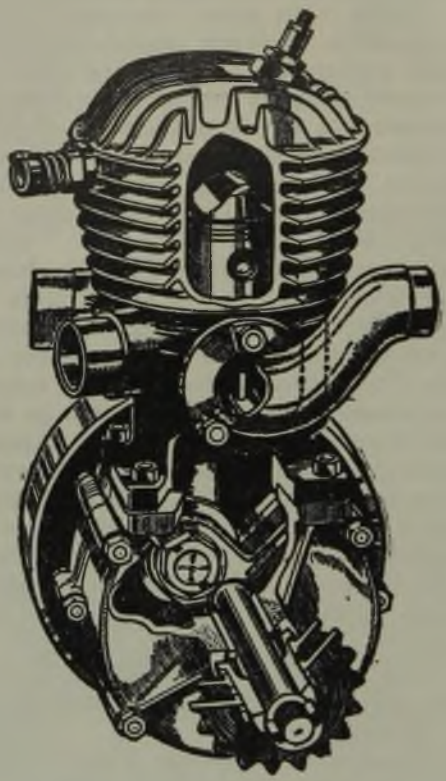
Małe silniki dwutaktowe, używane do napędu rowerów i małych motocykli, należą też do wyjątkowych przykładów precyzyjnej konstrukcji. W Polsce sławne stały się silniki Fichtel & Sachsa, wyrabiane masowo w Niemczech. W Anglii konkurują z nimi silniki Prestwitch. Te drugie są masowo produkowane w dwu podobnych do siebie jednostkach. Jeden od drugiego różni się tylko w średnicy cylindra o 4 mm.

Mniejszy silnik posiada otwór cylindra 53 mm, większy 57 mm. Skok mają oba 67 mm. Pojemność jednego wynosi 150 cm^3, drugiego 175 cm^3.

Silniki te pracują na zasadzie klasycznego dwutaktu z potrójnymi kanałami dla wlotu i wylotu. Mieszanka dostaje się do karteru przez wygiętą rurę, na której umocowany jest gaźnik. Dzięki bardzo zwartej budowie karteru sprężanie wstępne mieszanki jest duże, co ułatwia należyte wypełnienie cylindra, w czasie krótkiego okresu przepłukiwania. Kanał doprowadzający mieszankę z karteru do cylindra jest na rys. 48 oznaczony kreskowaną linią. Wylot jest podwójny dla lepszego opłukania cylindra ze spalin.

W poprzednich rodziałach wspominaliśmy o tym, jak

wyglądają szczeliny wlotowe i wylotowe. Jeżeli silnik ma być dostosowany do wolnych obrotów, szczelina taka musi być dość szeroka. Lecz wówczas zachodzi obawa, że pierścień uszczelniający, umieszczony na tłoku, mógłby



Rys. 48. Dwutaktowy silnik motocyklowy J. A. Prestwich.

po rozprężeniu zaczepić o brzeg szczeliny i złamać się. By temu zapobiec, dzieli się szczeliną na połowę, wstawiając żeberko między połówkami, o które opiera się w czasie ruchu pierścień tłokowy. Rozdzielenie wylotu na dwie rury pozwala na zastosowanie dość szerokiego przedziału, po którym może prześlizgnąć się bez szkody pierścień. Nadto taki podział umożliwia lepsze chłodzenie tłoka, gdyż

między dwoma strumieniami spalin wypada przegroda studzona od żeberek chłodzonych powietrzem.

Mały zawór umieszczony z lewej strony służy do zmniejszenia sprężania (kompresji) w chwili wprawiania silnika w ruch, gdy silnik jest wmontowany do motocykla. Ponieważ przy rozruchu silnika motocyklowego obrót wału odbywa się pedałem — więc dla ulżenia nacisku zmniejsza się przy kilku pierwszych ruchach kompresję w cylindrze. Rozpędziwszy silnik motocyklista zamyka pomocniczy zaworek i wówczas następuje zapłon.

Na denku tłoka widzimy wyraźnie nasadę przegradzającą wlot od wylotu. Rola tego garbu była już wyjaśniona poprzednio. Kształt jego jest rezultatem wielu doświadczeń i jeśli działanie silników dwutaktowych jest bez zarzutu, to zawdzięczamy to właściwej formie garbu, kierującej strumieniem świeżej mieszanki tak, by przepłukanie cylindra odbyło się najlepiej.

Silniki o tak małych karterach i średniej ilości obrotów są smarowane z reguły przez dodanie oliwy do materiału palnego. Oddzielnego systemu smarowania one nie posiadają. Smar rozpuszczony w oliwie w stosunku mniej więcej 1 : 10 skrapla się w karterze i smaruje wszystkie części ruchome. Benzyna wyparowuje i zmieszana z powietrzem spala się w cylindrach.

ROZDZIAŁ IX

SILNIKI SPALINOWE

Silniki spalinowe, pracujące na zasadzie spalania ciężkich olejów pod wpływem wysokiej kompresji powietrza, powszechnie są nazywane w Polsce od ich wynalazcy dra Roberta Diesla — Dieslami. Inne nazwy znane w obcych językach, jak silniki dla ciężkich paliw i silniki o zapłonie kompresyjnym, są u nas obce. W rodz. VII opisaliśmy dokładnie sposób działania tych silników. Przypominamy że najistotniejszym zjawiskiem zachodzącym w tych silnikach jest sprężanie powietrza do ciśnienia najmniej 35 atm. Fakt sprężenia powietrza do tak wysokiej granicy pociąga za sobą rozgrzanie się powietrza do temperatury wystarczającej, by płynne paliwa, jak ropa naftowa, olej gazowy i inne paliwa, zaczęły się spalać. Spalanie jest wówczas bardzo intensywne, postępujące przy bardzo wysokiej temperaturze, wobec czego prężność rozgrzanego powietrza podnosi się tak gwałtownie, że zjawisko to jest podobne do eksplozji.

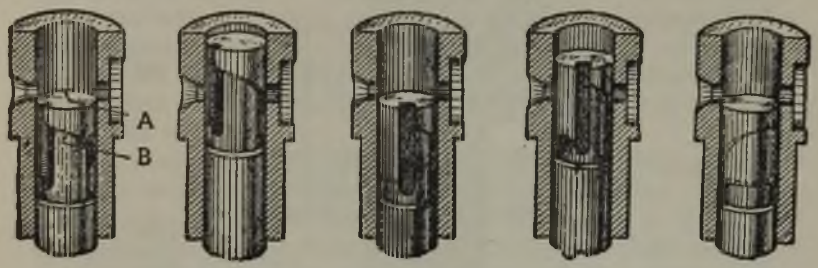
Przeważna część silników tego typu posiada pompki paliwowe i rozpylacze. Wiele wysiłków kosztowało konstruktorów stworzenie szybkobieżnego małego silnika Diesla. Duże wolnobieżne maszyny stosowane w marynarce były już przed 12 laty, lecz małe silniki do autobusów i wozów ciężarowych dopiero teraz weszły w użycie.

Rola pompki paliwowej polega na tym, że trzeba zastrzyknąć nikłą ilość paliwa z niezwykłą precyzją do cylindra przy ciśnieniu dochodzącym do 140 atm. Najtrudniejszym zadaniem w tym zjawisku jest dozowanie płynnego paliwa w taki sposób, by w chwili szybkich obrotów dostarczyć większej a w czasie zwolnienia obrotów mniejszej ilości paliwa.

Silniki naszych Saurerów, używanych przez PKP, posiadają około 3000 obrotów na minutę. Czyli w ciągu minuty należy dokonać przy czterocylindrowym silniku 6000 zastrzyków. Jeśli przyjmiemy zużycie paliwa, wynoszące nawet 25 litrów na godzinę, to w rezultacie na jeden za-

strzyk potrzeba 0,07 cm^3. Jest to wielkość przypominająca swymi rozmiarami zapałkę długości 7 mm. Teraz nie trudno pojąć, jakim cudem współczesnej techniki muszą być pompy rozpylające tak małe ilości paliwa w tak krótkim czasie, by osiągnąć 6000 zastrzyków na minutę czyli 100 na sekundę.

Z pomiędzy licznych fabryk budujących pompy do silników Diesla na czoło wysunęła się fabryka R. Bosch, znana od wielu lat z budowy magnet. Na rys. 49 widzimy tłok i cylinder tej dziwnej pompki w różnych pozycjach.



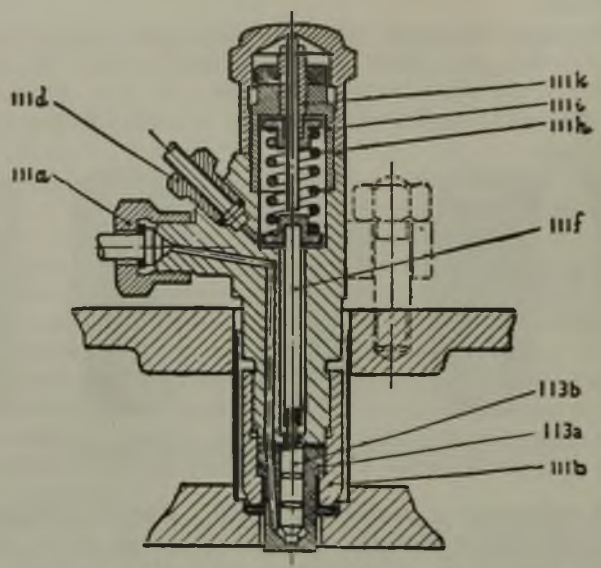
Rys. 49. Działanie pompki paliwowej Boscha.

Są one wykonane z hartowanej stali. Każdy cylinder ma własną pompkę, a wszystkie razem mieszczą się w jednym korpusie wspólnym, napędzanym od wałka rozdzielczego. Każdy tłoczek popycha garbek na wałku a cofa go silna sprężyna. Wszystkie tłoczki pracują pionowo i mają niezmienny skok.

Tłoczek posiada na swej powierzchni nacięcie pionowe i jest w części spiralnie wyżłobiony. To spiralne wgłębienie widzimy na rys. oznaczone literą B.

Olej popychany tym tłoczkiem musi częściowo wypełnić nacięcie pionowe i szczelinę spiralną. W pozycji początkowej przed zastrzykiem tłoczek znajduje się tak nisko, że przez otworki boczne może napłynąć ze zbiornika olej gazowy. Na następnym szkicu widzimy skok do góry, dość krótki, gdyż porcja paliwa, którą można do rozpylacza doprowadzić, wynosi tylko słupek wysokości od otworków do górnej pozycji tłoka. Lecz tłoczek ten w czasie swego ruchu do góry może też wykonać częściowy lub całkowity obrót dokoła swej osi pionowej. A wówczas część paliwa

już nagromadzonego nad tłoczkiem może przedostać się przez spiralną szczelinę z powrotem otworkiem z lewej strony do zbiornika. Im większy będzie skręt, tym mniej paliwa będzie zastrzyknięte. Może być wreszcie sytuacja taka jak na ostatnim szkicu, że mimo ruchu tłoczka do



Rys. 50. Przekrój rozpylacza Boscha.

góry nic paliwa nie dostanie się do rozpylacza w głowicy silnika i silnik musi stanąć.

W taki sposób nawet te małe porcje paliwa mogą być jeszcze zmniejszane zależnie od nacisku pedału, którym reguluje kierowca autobusu szybkość jazdy. Nad tłoczkiem znajduje się mały zaworek stożkowy, który otwiera się pod naciskiem wtłaczanego strumienia paliwa, a zamyka samoczynnie.

Na rys. 50 mamy przedstawiony rozpylacz, zwany także wtryskiwaczem lub injektorem. Jest on też wykonywany w zakładach Boscha. Posiada wąski stożkowy zawór, oznaczony na rys. lit. 111 b. Zawór ten podnosi się dopiero wówczas, gdy może pokonać potężny nacisk sprężyny, wywierany na niego z góry (111 h). Dopływ paliwa do pompki

prowadzi przez rurkę 111 a, potem szczeliną wąską, wzdłuż całego rozpylacza aż do małej przestrzeni pod zaworem w okolicy stożka. Zastrzyk paliwa dokonany przez ruch pompki połączonej z tym przewodem musi wpierw uderzyć o stożek małego zaworu i podnieść do góry, by mógł wtrysnąć do cylindra.

Ciśnienie paliwa musi więc dojść do granic 140 atm. i wyżej, by pokonać nacisk sprężyny. Rozbryzgujący się strumień paliwa przybiera kształt stożka o różnych rozwarciach kąta od 4° do 40°. Pod tak wielkim ciśnieniem i przy umiejętnym doborze wylotu paliwo rozpada się na mgłę o wyraźnym kształcie strumieni mikroskopijnie wąskich i wymieszać się może doskonale z zawartym w cylindrze powietrzu. W niektórych konstrukcjach rozpylacze zamiast mieć jeden, posiadają więcej otworków, lecz o średnicy 0,02 mm.

Rozpowszechnienie się silników Diesla wszelkiego rodzaju i wielkości jest coraz większe, zaczynając od najprostszych robót, jak transport lub orka ziemi, a kończąc na najbardziej wykwintnych samochodach. Jest to najlepszym dowodem, że ewolucja konstrukcji i dostowanie się do wszelkich potrzeb rynku stanęły na odpowiednim poziomie. A więc szybkobieżne silniki wchodzą coraz bardziej w użycie dla wielkich autobusów i wozów ciężarowych. Ciężkie leżące typy Diesla wypierają coraz więcej maszyny parowe i inne silniki z fabryk i młynów. W marynarce silniki Diesla wchodzą tak w modę jak dawniej maszyny parowe i właśnie tam swym kształtem zewnętrznym i sposobem pracy przypominają maszyny tłokowe, które jako mało wydatne zostały wyparte przez turbiny parowe. Oczywiście dla konstruktorów tego rodzaju Dieslów wpływ maszyn parowych miał duże znaczenie. Zresztą wiele bardzo szczegółów znanych obsłudze i maszynistom w maszynach parowych starano się zachować w silnikach Diesla, by ułatwić operowanie nimi.

Nowoczesne czterotaktowe Diesle

Od szeregu lat polskie silniki typu Saurer budowane w fabryce Ursus, wyrobiły sobie opinię wzorowych maszyn. Setki autobusów P. K. P. oraz firm prywatnych

przebiega polskie drogi i nie słyszy się nigdy utyskiwania, by kiedy te silniki zawiodły. Pracują bez zarzutu.

Silnik polski Saurer zbudowany został po raz pierwszy na podstawie doświadczeń konstrukcyjnych szwajcarskiej fabryki Saurer i na podstawie ich rysunków. Od tej pory setki tych silników wykonano w kraju, dostosowując się do miejscowych potrzeb i warunków demontażu i naprawy.

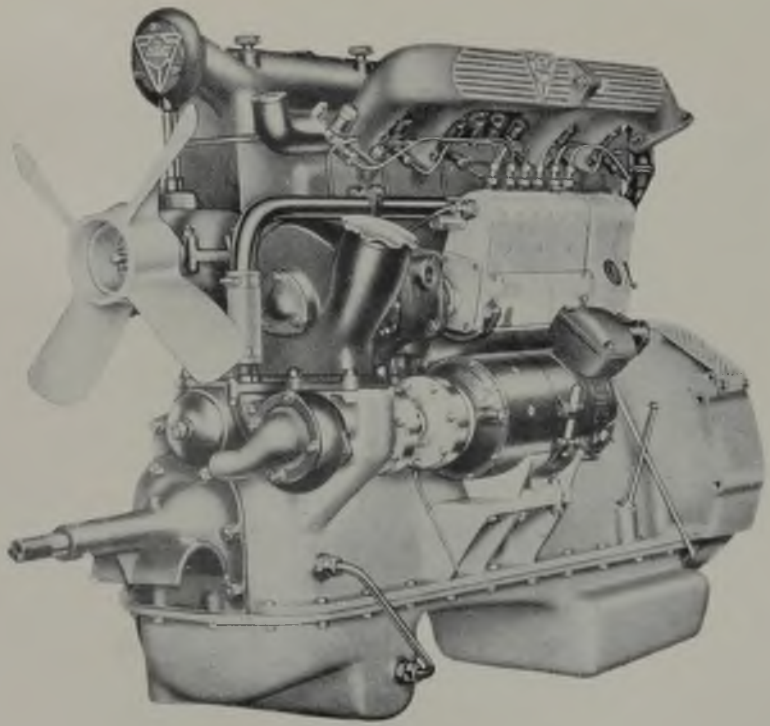
Silnik bardzo mocnej konstrukcji posiada jeden szczegół odmienny od innych typów Diesla, a mianowicie charakterystyczną głowicę. Cylinder kończy się denkiem płaskim, a tłok podnosi się tak wysoko, że prawie dotyka denka. Wobec tego komora spalinowa pomieszczona została obok oddzielnie i to celowo. Jak widzimy z załączonej ilustracji na tablicy 20, sposób ustawienia rozpylacza i kierunek gazów uderzających po zapłonie w denko tłoka są zupełnie odmienne. Mianowicie kształt komory jest tak obrany, by wytryśnięta porcja paliwa mogła wykonać w niej pełen obrót. W kulistej przestrzeni kompresyjnej następują wiry w chwili zastrzyku paliwa, ułatwiające dokładniejsze wymieszanie się paliwa z powietrzem.

Naprzeciw strumienia paliwowego znajduje się pod kątem prostym grzejnik elektryczny, mogący po włączeniu prądu wywołać zapłon paliwa. Grzejniki te są niezbędne w okresie zimowym przy puszczaniu silnika w ruch. Normalnie jednak one nie pracują.

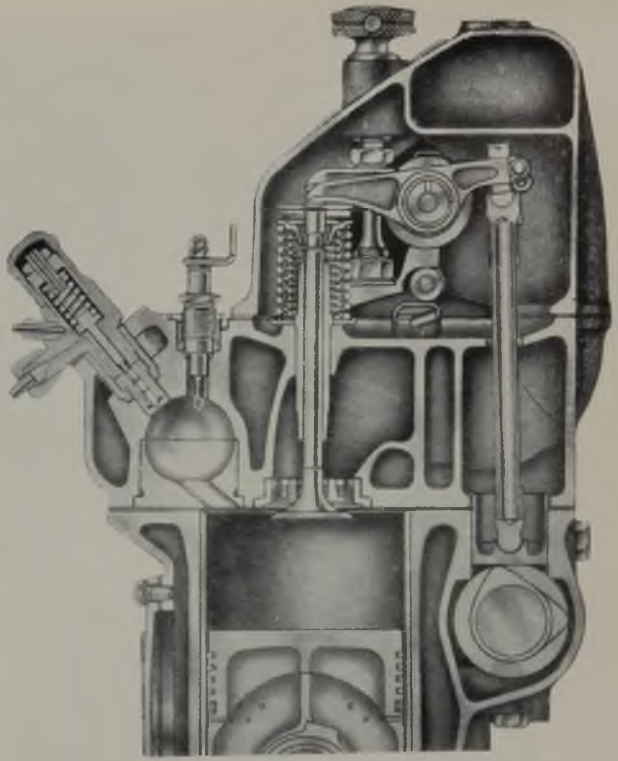
Silniki Diesla dwutaktowe

Dwutaktowy cykl wyjątkowo dobrze nadaje się do silników Diesla z tego względu, że przygotowanie mieszanki jest tu zbędne. Sprężaniu podlega wyłącznie powietrze, które następnie otrzymuje zastrzyk ropy. Wyższość silników dwutaktowych, pracujących według systemu Diesla, w stosunku do Dieslów czterotaktowych, polega na tym, że wysokie sprężanie powietrza i silne wybuchy w silnikach dających pracę raz na cztery okresy jest mniej pożądane ze względu na gwałtowne wyładowania sił. Silnik dwutaktowy pracując raz na każdy obrót ma bieg spokojniejszy i mniej gwałtowny. Ponadto jak wszystkie silniki dwutaktowe przy tych samych wymiarach cylindra i wadze całej maszyny daje dwa razy większą moc.

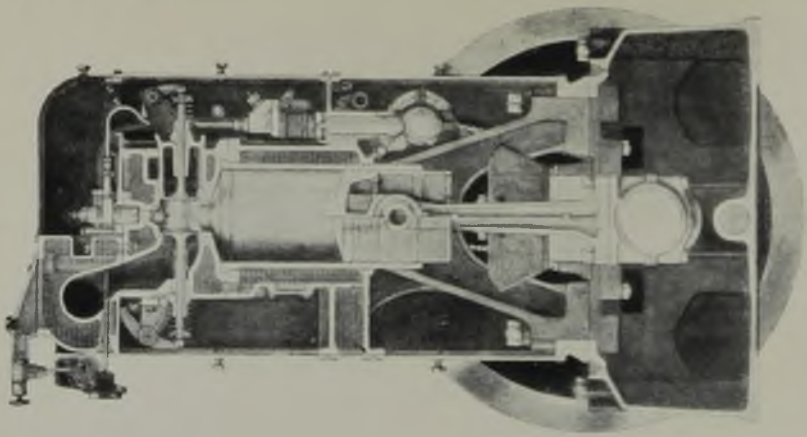
Na rys. 1 mamy przedstawiony silnik Harlanda w prze-

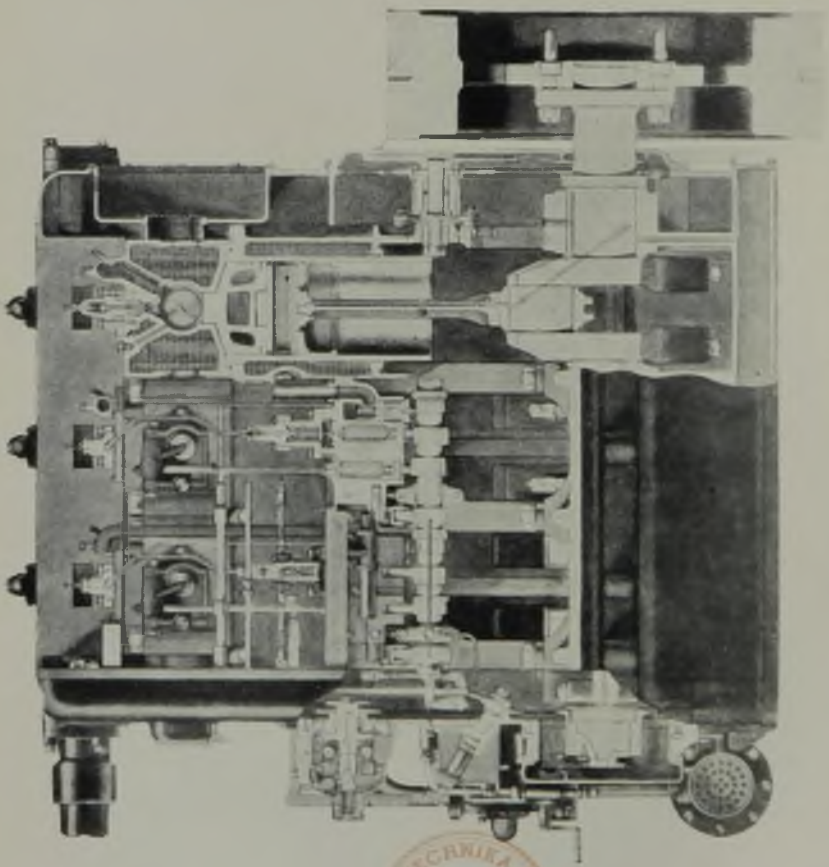


Sześciocylindrowy silnik ropowy.



Przekrój głowicy tegoż silnika.





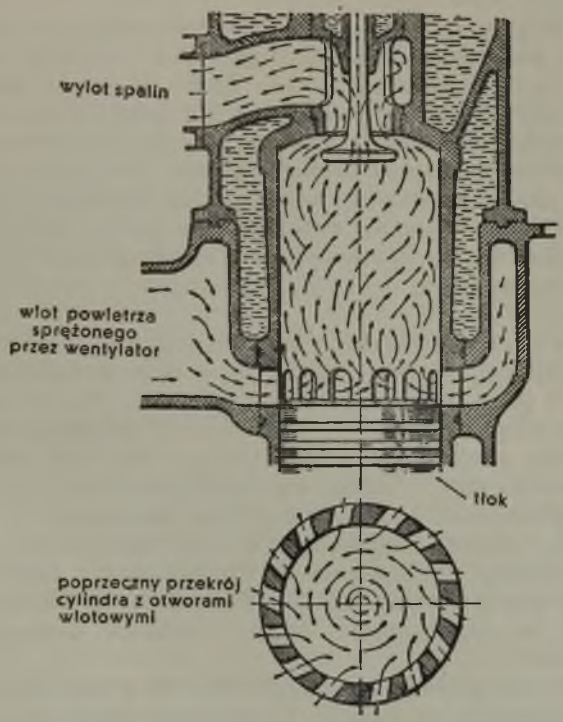
Trójcylindrowy silnik ropowy.

Na przekroju widoczne są części mechanizmu roboczego.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

kroju, działający jako dwutakt z górnym pojedynczym zaworem.

Silniki tego typu znalazły uznanie w marynarce handlowej i motowagonach. Również małe statki luksusowe i łodzie do połowów rybackich używają tych silników. Bu-



Rys. 51. Strzałki wskazują ruch powietrza w silniku dwutaktowym Harlanda.

dują je w różnych wielkościach począwszy od 170 K. M. dla motowagonów, dalej o mocy 210 K. M. dla parowozów manewrowych (do przesuwania wagonów na dworcach) i o mocy 2450 K. M. dla stacyj elektrycznych.

Sposób działania tego silnika jest jasny z rysunku (tablica 22). Należy zauważyć, że ruch powietrza w tych silnikach jest zawsze skierowany w jednym kierunku od dołu ku górze. Świeże powietrze dostarczane wentylato-

rem wpada do cylindra po odsłonięciu szczelin przy najniższym położeniu tłoka.

Wentylator przypomina budowę pompy zębatej. Dwa wirniki zazębiające się ze sobą obracając się porywają powietrze i pod niewielkim ciśnieniem wtłaczają je do cylindra.

Sytuacja, w jakiej się znajduje tłok, wskazuje na górne martwe położenie i moment, gdy tłok zaczyna schodzić w dół, by wykonać pracę. Gdy korba w czasie swego ruchu w dół ustawi się pod kątem 70° przed dolnym martwym punktem, nastąpi otwarcie zaworu wylotowego. Po częściowym ustąpieniu gazów spalenia, tłok sięgnie jeszcze bliżej i odsłania szczeliny wlotowe dla świeżego powietrza. Dopływ z wentylatora świeżego powietrza zwalnia całą przestrzeń. Warto zauważyć, że strumienie napływającego powietrza wpadają do cylindra stycznie i wywołują ruch wirowy.

Jak z tablicy 22 widać, silnik ten jest niezmiernie prosty i mało skomplikowany. Rzuca się w oczy wyjątkowo długi tłok z 9 pierścieniami uszczelniającymi. Ma to zapobiec zużyciu ścianek cylindra, gdyż nacisk jednostkowy przy tak dużej powierzchni styku tłoka i cylindra jest oczywiście minimalny. Całość jest zbudowana tak, by zapewnić długotrwałość i niezawodność tej maszynie.

Trzeba jeszcze wspomnieć o największym na świecie silniku Diesla w elektrowni w Kopenhadze. Jest on zbudowany przez słynną fabrykę Burmaister & Wain, znaną z tego, że zaopatrywała swymi silnikami większe statki motorowe.

Silnik ten posiada moc 22,500 K. M. i jest jak dotychczas największy na świecie. Cały zespół składa się z 8 cylindrów o następujących wymiarach: skok tłoka wynosi 1500 mm, średnica tłoków 840 mm. Jest to silnik dwutaktowy typu morskiego. Dopływ świeżego powietrza ułatwia wentylator jak w silniku Harlanda. Silnik posiada stosunkowo wolne obroty (wobec wielkiego skoku jest to konieczne), wynoszące 115 na minutę, natomiast wentylatory mają 400 obrotów. Jest ich cztery, każdy zasila dwa cylindry.

Zawór górny wylotowy posiada pokaźną średnicę 450 mm i jest ustawiony dokładnie w środku denka cylindra. Potężny sworzeń tłokowy ma średnicę 160 mm. Zawory.

i sworznie są studzone chłodzoną oliwą, przepływającą przez wytoczone wewnątrz otwory.

Cały silnik jest zmontowany na wspólnej płycie fundamentowej. Równolegle do płyty fundamentowej biegnie wał rozdzielczy, poruszający mechanizm zaworowy i zawory. By mieć pojęcie o wielkości tego silnika, trzeba dodać, że na uruchomienie wentylatora używa się 1200 K. M., a na wprawienie w ruch zaworów traci się 2000 K. M. Do wprawienia w ruch wału rozdzielczego służy łańcuch o ogniwach długich na 200 mm i wałkach grubości 150 mm.

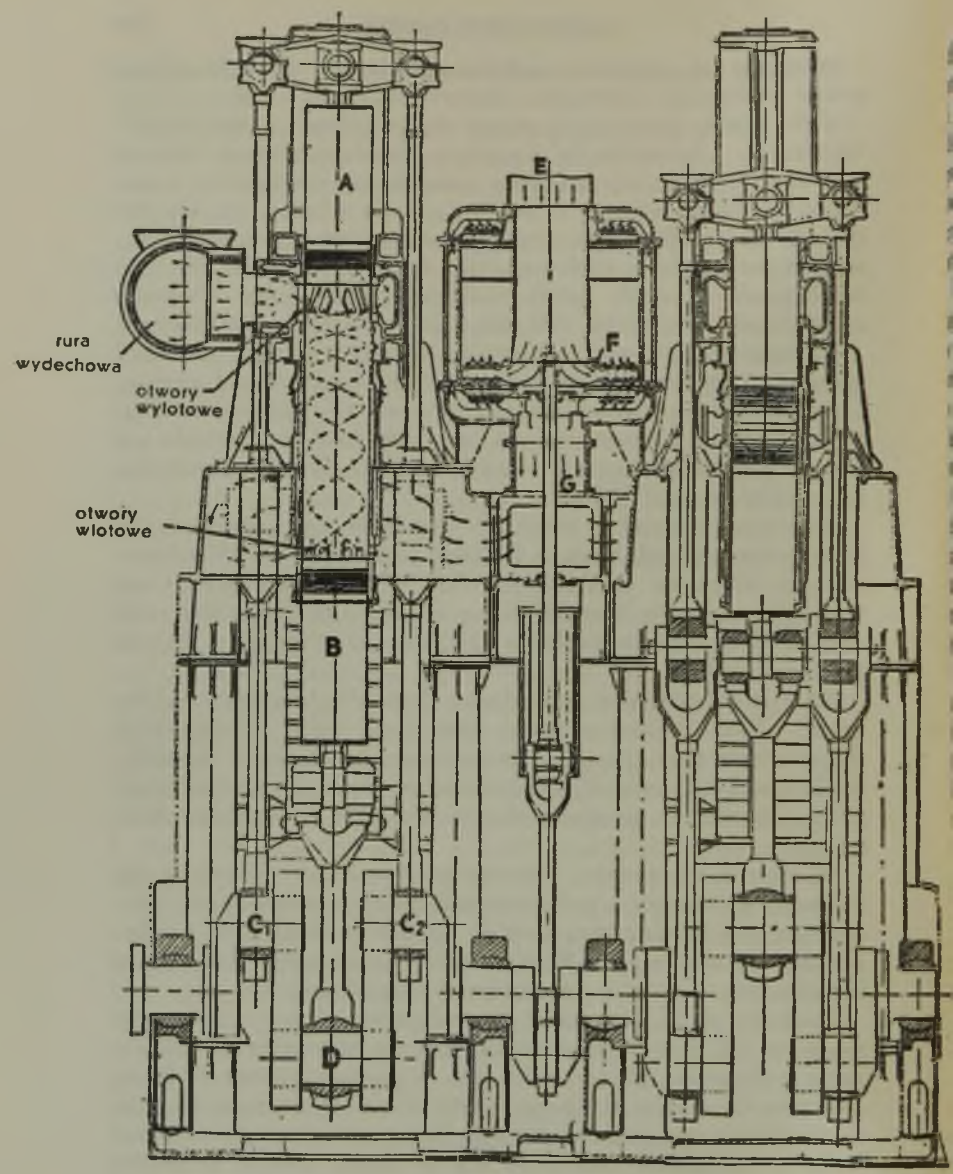
Patrząc na zdjęcie fotograficzne tego silnika możemy zauważyć, że karter znajduje się dość wysoko nad ziemią. Cała wysokość silnika wynosi prawie 12 metrów, a długość płyty fundamentowej 24 m. Wał korbowy składa się z dwu kawałków, każdy o wadze około 60 ton. Średnica tego wału wynosi 725 mm.

Kończąc rozdział o silnikach Diesla trzeba jeszcze kilka słów poświęcić silnikom o tłokach podwójnych. Niezależnie od Niemców budujących te silniki, pionierem ich w Anglii stała się firma William Doxford & Son. Od roku 1912 buduje ona te silniki o podwójnych tłokach z dużym powodzeniem.

Na rys. 52 widzimy typ silnika dwucylindrowego z 4 tłokami. Tłok A jest u góry, tłok B u dołu. Dolny tłok obraca korbę D przy pośrednictwie wodzika i łącznika korbowego. Górny tłok wprawia w ruch dwie korby C_1 i C_2 również za pośrednictwem wodzika i łącznika korbowego.

Między tymi dwoma roboczymi cylindrami znajduje się cylinder powietrzny, pełniący rolę pompy powietrznej. Nasysa on powietrze przez rurę E, spręża je tłokiem F i wtłacza do zbiornika G. Pompa jest dwustronnie działającą i z obu stron spręża powietrze do zasobnika G.

Możemy dalej zauważyć, że cylinder z lewej strony posiada w tej chwili tłoki wysunięte na zewnątrz do skrajnego położenia, gdy w cylindrze z prawej strony tłoki są całkiem do siebie zbliżone. Gdy tłoki są w pozycji, jak to widoczne, po prawej stronie, wówczas powietrze, które było w cylindrze, znajduje się w danej chwili w stanie największego sprężenia i po wtryśnięciu paliwa nastąpi wybuch. Wskutek tego tłoki muszą się oddalić od siebie, aż dojdą do pozycji jak z lewej strony. W chwili gdy



Rys. 52. Przekrój dwucylindrowego silnika o podwójnych tłokach. Konstrukcja Doxford.

tłoki zaczną się zbliżać do swej skrajnej pozycji, najpierw otworzą się szczeliny wylotowe znajdujące się w górze i gazy spalenia mogą zacząć uchodzić, a następnie dolny tłok odsłoni szczeliny wlotowe, przez które dostanie się powietrze świeże przygotowane w zasobniku. Napływ świeżego powietrza wypycha resztę spalin i wypełnia sobą cylinder. Po sprężeniu w następnym skoku nastąpi moment wtrysku paliwa i zacznie się praca.

Denka tłoków są półkoliście wklęsłe. Gdy więc zbliżają się do siebie, zamykają przestrzeń, a tym samym powietrze w postaci kuli. W miejscu ich zbliżenia znajdują się dwa otwory po obu stronach cylindra na przeciwko siebie, tkwią w nich dwa rozpylacze. Zastrzyk paliwa ze stron przeciwległych zamienia się na mgłę wypełniającą całkowicie wolną przestrzeń między tłokami. Ciekawy jest również i ten szczegół, że górny tłok ma skok nieco mniejszy niż dolny, co uczyniono umyślnie, by wyrównać różnice ciężarów korbowodów dłuższych dla górnego tłoka. Dzięki takiemu zrównoważeniu mas i sił silnik Doxford ma obroty zupełnie równomierne i pracujące bez jakichkolwiek wibracyj.

Firma Doxford buduje jeszcze silniki 3-cylindrowe, a wówczas pompa powietrzna znajduje się z tyłu środkowego cylindra. Ten nowy typ silnika różni się jeszcze tym od dotychczasowych, że nie posiada części żeliwnych, lecz znacznie lżejsze części stalowe, łączone ze sobą metodą acetylenowego spawania. Dzięki temu silniki te są bez porównania lżejsze.

Silniki Junkersa tym różnią się od angielskich, że posiadają dwie korby naprzeciwko siebie, a więc i dwa korbowody, jeden w dole a drugi na górze. Oba wały korbowe są ze sobą połączone systemem kół zębatych. Zresztą istota działania tego silnika jest identyczna z poprzednio opisaną.

Silniki Junkersa w ostatnich latach zwróciły na siebie uwagę dzięki usiłowaniom tego słynnego uczonego i konstruktora wprowadzenia ich do lotnictwa. Są to pierwsze silniki Diesla możliwe dla samolotów.

Zalety tych silników są tak niepospolite, że można im rokować wielką przyszłość. Przede wszystkim ciężkie paliwa jak olej gazowy i ropa nie narażają samolotu i pasażerów na częste niebezpieczeństwo pożarów i eksplozyj

w razie katastrofy. Następnie silniki te nie potrzebują magnet a wiadomo, że przy najlepszej konserwacji mechanizmu zapalania zawsze zdarzają się niespodzianki, silnik przestaje pracować nieraz z najbardziej błahych powodów.

Trzecią zaletą tych silników jest mniejsze zużycie paliwa na konia i godzinę lotu, co jest bardzo ważne przy przelotach długich.

Marzeniem techniki współczesnej było wprowadzenie silników Diesla do lotnictwa głównie z wyżej wymienionych powodów bezpieczeństwa. Na przeszkodzie stał dotychczas ciężar tych silników, które, jako znacznie masywniejsze, nie mogły być lekkie, muszą bowiem znosić wielkie ciśnienia wewnętrzne. A jednak udało się doprowadzić do zredukowania lotniczego ciężaru silnika Diesla aż do granicy 1,11 kg na konia. Choć nie jest to najniższą granicą i nie da się porównać z silnikami benzynowymi, postęp jednak jest bardzo wielki. W Anglii budują na zasadzie niemieckich patentów Junkiersa silniki w zakładach Napier, nazywając je „Culverin". Na tablicy 23 mamy przedstawiony taki silnik szeroko dziś stosowany w lotnictwie angielskim.

Jest to silnik 6-cylindrowy dwutaktowy. Wał górny i dolny są połączone systemem kół zębatych. Jedno z tych kół zębatych posiada wspólną oś dla śmigła. Do zasilania silnika powietrzem sprężonym służy wentylator. Dla większego bezpieczeństwa ruchu zastosowano tu dwie pompki paliwowe, mogące pracować na zmianę. Cały silnik jest zbudowany z najlepszych stopów aluminiowych, bardzo lekkich i wytrzymałych. Cylindry są chłodzone wodą wprawianą w obieg pompą.

Silnik pokazany na tablicy 23 posiada następujące ciekawe wymiary i dane:

Średnica cylindra 4¼ cala.

Skok 8¼ cala.

Ilość obrotów 1179 na minutę czopa śmigła i 1700 wału korbowego.

Moc 720 K. M. przy 1700 obrotach wału korbowego.

Ciężar silnika 805 kg.

ROZDZIAŁ X

SILNIKI GAZOWE

Przed dwudziestu jeszcze laty silniki gazowe były bardzo popularne, zarówno w wielkich miastach, gdzie miano do dyspozycji gaz świetlny, jak w miejscowościach dalekich od centrów, gdzie wytwarzano sobie gaz dla silników na miejscu. Silniki gazowe jednego i drugiego typu służyły do poruszania młynów, fabryk, zakładów przemysłowych, a w niektórych miejscowościach, gdzie nie było światła elektrycznego, służyły one do wytwarzania prądu elektrycznego. Obecnie silniki tego rodzaju ponownie wchodzą w użycie, lecz w innym zastosowaniu.

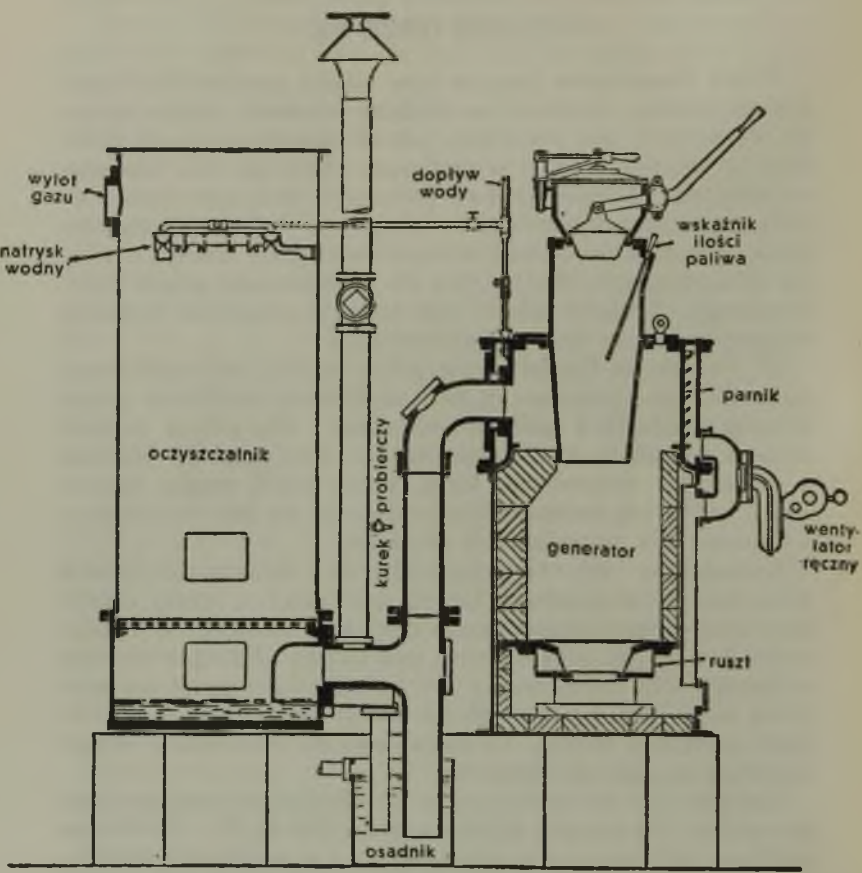
W Polsce, na Podkarpaciu, gdzie można tanio otrzymać naturalny gaz ziemny, są one ulubionym środkiem popędowym średnich i małych zakładów. Na całym zresztą świecie znajdują one zastosowanie, korzysta się bowiem z odpadków drzewnych, torfu, antracytu i węgla drzewnego, z których to surowców wytwarza się gaz na miejscu wyłącznie dla napędu tych silników.

Niezależnie od tych naturalnych i sztucznych źródeł gazu zaczęto w ostatnich latach korzystać z gazu otrzymywanego z produktów gnicia miejskich ścieków. W Niemczech gaz ten po oczyszczeniu pod nazwą „Klärgas" można otrzymać albo załadowany do butel, albo wprost na stacjach gazowych, podobnych do stacyj benzynowych w różnych punktach miasta, załadowywać do zbiorników samochodowych, zamiast benzyny.

Ciekawa jest też instalacja w Birminghamie, produkująca gaz gnilny dla napędu silnika o mocy 540 K. M. W Polsce podobne instalacje są w opracowaniu i w wielkich miastach, jak Warszawa, Kraków itp., mają być w niedługim czasie uruchomione.

Ostatnie próby z samochodami wytwarzającymi sobie gaz generatorowy z odpadków drzewnych dały w Polsce dobre wyniki i należy się spodziewać, że będzie się coraz więcej autobusów i wozów ciężarowych zaopatrywać w gazogeneratory, by zmniejszyć koszta napędu. Gazogeneratory mogą być stałe, w ostatnich latach zdołano jednak

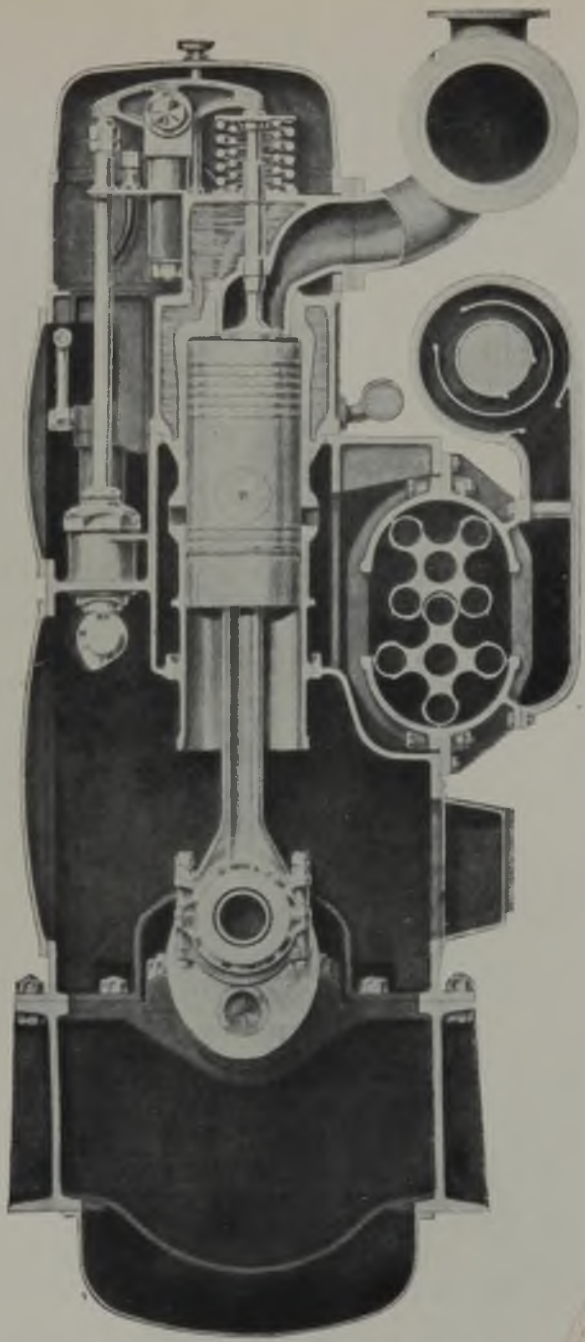
ich konstrukcję tak uprościć i zmniejszyć, że nie obciążają samochodów zbytnio i nie zabierają wiele miejsca. Dziś



Rys. 53. Przekrój gazogeneratora.

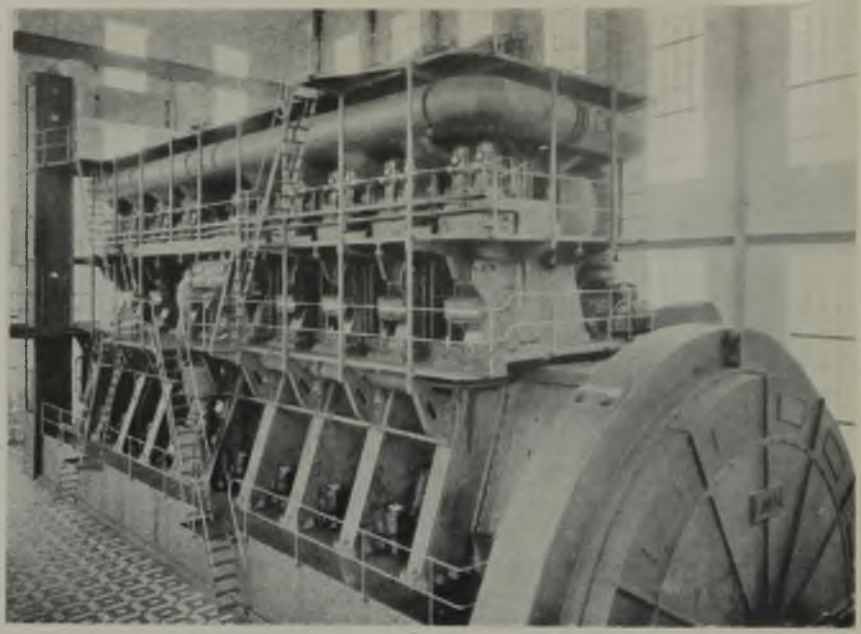
każdy samochód ciężarowy można bez trudu przerobić na gazogeneratorowy.

Gazogenerator w zasadzie składa się z właściwego wytwarzacza gazu (generatora), płuczki i wentylatora. Gaz generatorowy powstaje przez przedmuchiwanie żarzącego

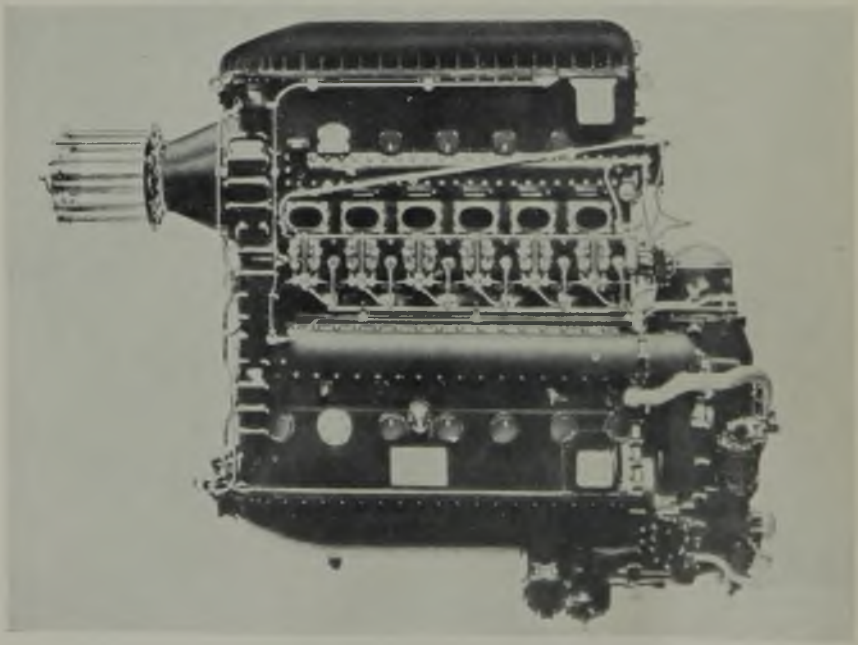


Dwutaktowy silnik ropowy Harlanda.

BIBLIOTEKA ŚLĄSKA w Katowicach



Największy silnik ropowy na świecie.
Moc 22.500 K. M. Wykonany w firmie Burmeister & Wain w Kopenhadze.



Silnik ropowy
Diesla dla celów lotniczych. Wykonany w fabryce Napier.

się węgla mieszaniną powietrza i pary wodnej; żarem generatora doprowadza się parę wodną do stanu wysokiego przegrzania. Para wypędzona na żar rozkłada się i mieszając się z gazami spalania wytwarza mieszaninę palną, składającą się z kilku gazów.

Na rys. 53 widzimy przekrój normalnego gazogeneratora stałego. Z prawej strony mamy generator właściwy, wyłożony ogniotrwałą cegłą z zamknięciem od góry, przez które zasila się palenisko paliwem. Zamknięcie jest podwójne, by umożliwić ładowanie w trakcie funkcjonowania paleniska.

Z lewej strony znajduje się pionowa kolumna blaszana, wypełniona koksem stale zwilżanym deszczem wodnym. W tym naczyniu odbywa się ochładzanie gazu wodą i oczyszczanie go od porwanych pyłów i mazistych części. Rura ssąca silnika jest wmontowana u góry, przy wylocie gazu w naczyniu do oczyszczania. Do puszczenia w ruch generatora służy wentylator ręczny, umieszczony z boku generatora. Strumień powietrza wpędzany przez ten wentylator przebiega obok żeberek napełnionych wodą parującą od gorących ścian generatora. Gdy instalacja jest już w ruchu, wpędzanie powietrza wentylatorem staje się zbędne.

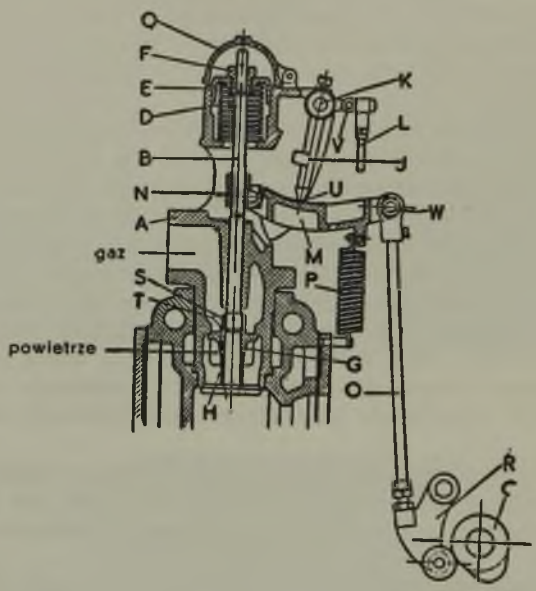
Wytworzony gaz jest tak dalece zanieczyszczony, że zanim zostanie doprowadzony do silnika musi być dokładnie uwolniony od pyłów i szkodliwych związków chemicznych.

Silniki gazowe, które wraz z generatorem zwane są także silnikami ssącogazowymi, z reguły pracują według zasady czterosuwu. Nadto zapalanie musi odbywać się przy pomocy magneta i iskry elektrycznej. Silniki te nie mogą pracować przy dużym sprężaniu, muszą natomiast mieć dokładnie wymieszany gaz z powietrzem.

Gaz świetny i wszelkie inne palne gazy nie zapalą się same od iskry elektrycznej. Dlatego te silniki posiadają oddzielne zawory dla gazu, a oddzielne dla powietrza i to tak pomyślane, by w chwili ssania mogło nastąpić dokładne wymieszanie obu gazów. Przedwstępne zmieszanie tych gazów jest niebezpieczne nawet w rurociągu, gdyż może nastąpić zapłon nieoczekiwany w przewodach doprowadzających, a to mogłoby wywołać zniszczenie instalacji.

Zawory dla silników gazowych mają najczęściej dwa

grzybki zmontowane na wspólnym wrzecionie. Szybkość obrotów silnika może więc być regulowana przez wyższe lub niższe podniesienie grzybków. Na rys. 54 mamy przedstawioną głowicę silnika z dość skomplikowanym mechanizmem zaworowym. Widzimy więc zawór naciskany sprężyną D, którego górny grzybek G otwiera przewód gazowy,



Rys. 54. Konstrukcja zaworu ssącego w silniku gazowym Crossley.

a dolny — powietrzny. W tym też miejscu spotykają się oba gazy i mieszają przy wlocie do cylindra. Powietrze dostaje się do komory H osobnym wlotem.

Otwieranie i zamykanie zaworu odbywa się przy pomocy wirującego wałka sterującego z noskiem C, który podrywa ramię O i wywołuje wahadłowy ruch wygiętej dźwigni M.

Dźwignia M spychając w dół zawór może to uczynić głębiej, zależnie od położenia punktu U, który jest punktem oparcia dla dźwigni. Punkt U może zmieniać położenie w zależności od pozycji dźwigni J, która obraca się na czopie K. Dźwignia J zmienia swe położenie w zależności

od ilości obrotów regulatora odśrodkowego. Gdy maszyna przyspiesza i należałoby zwolnić jej obroty, regulator przesuwa dźwignię J w kierunku na lewo i wówczas zawór mniej się otwiera, gdy natomiast ilość obrotów maszyny spada z powodu jakiegoś przeciążenia, wówczas regulator przesuwa dźwignię J na prawo i grzybki zaworowe otwierają się głębiej, dopuszczając więcej gazu i powietrza.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA Gliwice

SPIS RZECZY

			Str.
Wstęp			1
Rozdział	I.	Pierwsze kroki	3
„	II.	Następcy Jamesa Watta	15
„	III.	Ciepło, para i siła	27
„	IV.	Sposób działania maszyny parowej	39
„	V.	W jaki sposób działa maszyna parowa	53
„	VI.	Nowoczesne maszyny parowe i maszyny przyszłości	73
„	VII.	Silniki spalinowe i wybuchowe	80
„	VIII.	Silniki naftowe i benzynowe	109
„	IX.	Silniki spalinowe	132
„	X.	Silniki gazowe	143

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

BIBLIOTEKA WIEDZY

1 CLARENCE AUGUST CHANT
CUDA WSZECHŚWIATA
łatwy wstęp do poznania nieba,
z 132 ilustr. wydanie drugie str. 193

2 LASSAR-COHN
CHEMIA W ŻYCIU CODZIENNYM
z 28 rysunkami str. 292

3 SIR JAMES JEANS
NOWY ŚWIAT FIZYKI
wydanie drugie z 7 ilustracjami str. 167

4 PAWEŁ DE KRUIF
ŁOWCY MIKROBÓW
z 75 ilustracjami str. 322

5 WILLIAM BEEBE
W GŁĘBINACH OCEANU
Wydanie drugie z 50 ilustr. i mapą str. 180

6 SIR WILLIAM BRAGG
TAJEMNICE ATOMU
z 57 figurami i 32 tablicami zawierającymi 74 ryciny str. 185

7 W. BUDDENBROCK
ŚWIAT ZMYSŁÓW
z 59 rysunkami str. 245

8 Inż. E. PORĘBSKI
WIELCY TWÓRCY NAUKI
wydanie drugie z 58 portretami str. 304

9 Prof. JAN CZEKANOWSKI
CZŁOWIEK W CZASIE I PRZESTRZENI
wydanie drugie z 95 ilustr. i mapami str. 280

10 W. H. BOULTON
WIECZNOŚĆ PIRAMID I TRAGEDIA POMPEI
z nowych badań archeologii
z 75 ilustracjami i tablicą barwną str. 256

11 PAWEŁ DE KRUIF
autor „Łowców mikrobów"
WALKA NAUKI ZE ŚMIERCIĄ
wydanie drugie z 16 ilustracjami str. 394

12 J. WEYSSENHOFF, C. BIAŁOBRZESKI, L. WERTENSTEIN, S. SZCZENIOWSKI
OD GWIAZDY DO ATOMU
wydanie drugie z 46 ilustracjami str. 238

13 JAMES KENDALL
NOWOCZESNA ALCHEMIA
z 62 ilustracjami i 16 tablicami str. 256

14 H. G. WELLS
HISTORIA ŚWIATA
z 40 ilustracjami i 10 mapami str. 346

15 E. HAWKS
DZIWY PRZYRODY
z licznymi ilustracjami str. 250

16 K. FRISCH
ŻYCIE PSZCZÓŁ
wydanie drugie z 96 ilustracjami str. 163

17 H. i M. VOWLES
CZŁOWIEK I SIŁY PRZYRODY
z 25 ilustracjami str. 229

18 Dr ARTUR HAAS
ZASADY FIZYKI
Światło — Elektryczność — Ciepło — Materia, z 76 ilustracjami str. 309

19 E. HAWKS
DZIWY POWIETRZA I WODY
z 83 ilustracjami str. 248

20 WILLIAM BEEBE
923 METRY W GŁĄB OCEANU
z 95 barwnymi i czarnymi ilustr. str. 318

21 Dr LUDWIK GROSS
LUDZKOŚĆ W WALCE O ZDROWIE
z 7 portretami str. 333

22 E. DIMNET
SZTUKA MYŚLENIA
wydanie drugie str. 168

23 WILLIAM BEEBE
KRAINA WÓD NONSUCH
z 55 ilustracjami str. 210

24 H. W. VAN LOON
GEOGRAFIA W KALEJDOSKOPIE
z 16 barwnymi tablicami i 59 rysunkami str. 389

25 Prof. Dr R. GOLDSCHMIDT
WSTĘP DO NAUKI O ŻYCIU
z 161 ilustracjami str. 327

26 A. ZISCHKA
JAPONIA
z 25 ilustracjami i 2 mapami str. 415

27 HENRI DE VIBRAYE
MITOLOGIA
z 32 rotograwiurami str. 212

28 RITCHIE CALDER
NARODZINY PRZYSZŁOŚCI W RETORCIE UCZONYCH
z 8 ilustracjami str. 250

29 M. A. NOURSE
DZIEJE 400,000.000 NARODU
Chiny od czasów najdawniejszych do chwili obecnej.
Z 6 mapami i 47 ilustracjami str. 324

30 SIR ARTHUR EDDINGTON
NAUKA NA NOWYCH DROGACH
z 4 ilustracjami str. 310

31 PAWEŁ DE KRUIF
POGROMCY GŁODU
str. 342

32 Dr ALEXIS CARREL
CZŁOWIEK ISTOTA NIEZNANA
z portretem autora str. 272

33 T. R. GLOVER
ŚWIAT STAROŻYTNY
z 98 ilustracjami i 8 mapami str. 336

34 ALBERT DRYJSKI
MÓZG I DUSZA
z 57 ilustracjami str. 288

35 WILLIAM BEEBE
GALÁPAGOS
Na krańcach świata
z 84 barwnymi i czarnymi ilustr. str. 346

36 M. BOLL
ZAGADKI ZJAWISK FIZYCZNYCH
z 60 ilustracjami str. 176

37 ANTON ZISCHKA
ITALIA DZISIEJSZA
z 25 ilustracjami str. 351

38 Prof. Dr R. GOLDSCHMIDT
NAUKA O DZIEDZICZNOŚCI
z 50 ilustracjami str. 208

39 WITOLD JABŁOŃSKI, JAN PRZYŁUSKI, RUDOLF RANOSZEK, STANISŁAW SCHAYER, ANTONI ŚMIESZEK, TADEUSZ ZIELIŃSKI
RELIGIE WSCHODU
z 44 ilustracjami str. 460

40 Dr A. SOŁTAN, J. MAZUR, Dr W. KAPUŚCIŃSKI, S. SZCZENIOWSKI, Dr L. WERTENSTEIN
TRYUMFY EKSPERYMENTU I JEGO GRANICE
z licznymi ilustracjami str. 239

41 P. SCHMITZ
WSZECHISLAM
z licznymi ilustracjami str. 224

42 F. A. KIRKPATRICK
ZDOBYWCY AMERYKI
z 21 ilustracjami str. 342

43 A. G. MACDONELL
NAPOLEON I JEGO MARSZAŁKOWIE
z 28 portretami str. 282

44 H. GIERSBERG
HORMONY
z ilustracjami

DALSZE TOMY W DRUKU

BIBLIOTEKA PODRÓŻNICZA

1 A. F. TSCHIFFELY
OD KRZYŻA POŁUDNIA DO GWIAZDY POLARNEJ
10.000 MIL KONNO PRZEZ AMERYKĘ OD ARGENTYNY DO WASZYNGTONU

2 BERNHARD KELLERMANN
DROGA BOGÓW
INDIE — MAŁY TYBET — SJAM

3 CARVETH WELLS
ŚWIATŁO NA CZARNYM LĄDZIE
PRZYGODY I PODRÓŻE OD RÓWNIKA DO LAPONII

4 LOWELL J. THOMAS
INDIE KRAJ CZARNEJ PAGODY

5 S. A. ANDRÉE
TRAGEDIA WŚRÓD LODÓW
PAMIĘTNIK WYPRAWY ANDRÉEGO DO BIEGUNA

6 JÓZEF KALMER I LUDWIK HR. HUYN
ABISYNIA
OGNISKO NIEPOKOJU

7 HENRY DE MONFREID
TRĘDOWATY

8 MARIO APPELIUS
KRYZYS BUDDY

9 ROY CH. ANDREWS
NA KRAŃCACH ZIEMI

10 MARTIN JOHNSON
LOT NAD DŻUNGLAMI AFRYKI
100.000 KILOMETRÓW SAMOLOTEM

11 EDMUND DEMAITRE
LUDOŻERCY I POSZUKIWACZE ZŁOTA
NOWA GWINEA

12 HENRY DE MONFREID
DRAMAT ETIOPII

13 EDGAR LAJTHA
KRAJ WSCHODZĄCEGO SŁOŃCA

14 WILLIAM LA VARRE
ZŁOTO DIAMENTY ORCHIDEE

15 A. DAVID-NEEL
MISTYCY I CUDOTWÓRCY TYBETU

16 DAWID IRWIN — JACK O'BRIEN
SAMOTNIE PRZEZ PUSTYNIE LODOWE

17 MARTIN JOHNSON
CONGORILLA

18 H. A. BERNATZIK
MORZA POŁUDNIOWE

19 H. KRIST
BUCHARA
z 40 ilustracjami i mapą

DALSZE TOMY W DRUKU

BIBLIOTEKA DNIA DZISIEJSZEGO

zawiera szereg książek o charakterze informacyjnym, tak pomyślanych, by każda z nich pobudzała do rozmyślań i rozważań na najciekawsze tematy nauki współczesnej. Autorami tych prac są uczeni, którzy omijając techniczne trudności, w wykładzie jasnym i przystępnym tłumaczą najzawilsze tajniki zagadnień dnia dzisiejszego.

Tom 1.

J. HARRISON

SERCA MASZYN

Tom 2.

A. ALLCOTT i H. S. BOLTON

CHEMIA i TY

Tom 3.

E. H. CHAPMAN

RADIO

USTA XX WIEKU

Tom 4.

E. CRESS

CUDA BUDOWNICTWA

Tom 5.

J. L. NAYLER i E. OWER

LOTNICTWO

ZISZCZONE MARZENIA IKARA

Tom 6.

I. W. WILLIAMSON

NA STALOWYCH SZYNACH

DALSZE TOMY W DRUKU

BIBL. GŁ. POL. ŚL.
SKASOWANO

BG Politechniki Śląskiej
nr inw.: 102 - 126446
Dyr.1 126446

BIBLIOTEKA D

zawiera szereg książek o charakterze informacyjnym, tak pomyślanych, by każda z nich pobudzała do rozmyślań i rozważań na najciekawsze tematy nauki współczesnej. Autorami tych prac są uczeni, którzy omijając techniczne trudności, w wykładzie jasnym i przystępnym tłumaczą najzawilsze tajniki zagadnień dnia dzisiejszego.

Tom 1. J. HARRISON
SERCA MASZYN

Tom 2. A. ALLCOTT i H. S. BOLTON
CHEMIA I TY

Tom 3. E. H. CHAPMAN
RADIO
USTA XX WIEKU

Tom 4. E. CRESSY
CUDA BUDOWNICTWA

Tom 5. J. L. NAYLER i E. OWER
LOTNICTWO
ZISZCZONE MARZENIA IKARA

Tom 6. J. W. WILLIAMSON
NA STALOWYCH SZYNACH

DALSZE TOMY W DRUKU

NAKŁADEM KSIĘGARNI WYDAWNICZEJ
TRZASKA, EVERT i MICHALSKI S. A.
WARSZAWA, KRAKOWSKIE PRZEDMIEŚCIE 13