

Wybrane zagadnienia z historii techniki

Podręczniki – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 LUBLIN

Zbigniew Pater

Wybrane zagadnienia z historii techniki



Politechnika Lubelska
Lublin 2011

Recenzent:

dr hab. inż. Krzysztof Łukasik, prof. Politechniki Lubelskiej

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2011

ISBN: 978-83-62596-58-4

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59, email: wydawca@pollub.pl

www.biblioteka.pollub.pl

Druk: ESUS Agencja Reklamowo-Wydawnicza Tomasz Przybylak

www.esus.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 100 egz.

Spis treści

1. Wprowadzenie.....	9
2. Pozyskiwanie energii.....	11
2.1. Energia spalania (ogień).....	12
2.2. Energia sprężystości.....	13
2.3. Energia odzwierzęca	13
2.4. Energia wiatrowa.....	14
2.5. Energia wody	16
2.6. Energia pary	18
2.7. Energia elektryczna.....	25
2.8. Silnik spalinowy	27
2.9. Energia słoneczna.....	34
2.10. Energia jądrowa	34
2.11. Inne rodzaje energii.....	38
2.11.1. Energia geotermalna	38
2.11.2. Energia fal morskich	39
2.11.3. Energia z biomasy	39
2.11.4. Energia z biogazu	40
2.11.5. Energia cieplna z oceanu	40
3. Metalurgia	41
3.1. Metalurgia żelaza	42
3.2. Metalurgia metali nieżelaznych.....	57
3.3. Metalurgia proszków	60
3.4. Metalurgia w Polsce.....	62
4. Techniki wytwarzania	67
4.1. Odlewnictwo	67
4.2. Obróbka plastyczna	72
4.2.1. Kuźnictwo	72
4.2.2. Walcownictwo.....	79
4.3. Obróbka skrawaniem.....	84
4.3.1. Toczenie	84
4.3.2. Struganie i frezowanie.....	87
4.3.3. Wiercenie	88

4.3.4.	Szlifowanie.....	89
4.4.	Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych	90
4.5.	Połączenia mechaniczne.....	93
4.5.1.	Połączenia nitowe.....	93
4.5.2.	Połączenia zgrzewane i spawane	94
4.5.3.	Połączenia gwintowe.....	97
5.	Pojazdy parowe.....	101
5.1.	Samochody parowe	102
5.2.	Parowozy.....	106
5.3.	Lokomobila	112
5.4.	Linie kolejowe.....	113
6.	Pojazdy spalinowe.....	117
6.1.	Samochody	117
6.1.1.	Prekursorzy.....	117
6.1.2.	Pierwsze wyścigi	119
6.1.3.	Europejskie koncerny	121
6.1.4.	Początki przemysłu samochodowego w USA	122
6.1.5.	Kalendarium rozwoju motoryzacji	123
6.1.6.	Rozwój samochodów ciężarowych	129
6.1.7.	Samochody w Polsce.....	131
6.2.	Jednoślady	134
6.2.1.	Rower	134
6.2.2.	Motocykl	137
7.	Statki, łodzie i okręty.....	141
7.1.	Statki egipskie	141
7.2.	Statki Fenicjan.....	143
7.3.	Statki greckie.....	144
7.4.	Statki Rzymian.....	145
7.5.	Statki Wikingów.....	147
7.6.	Statki żaglowe	149
7.6.1.	Koga	149
7.6.2.	Holk.....	149
7.6.3.	Karawela.....	149
7.6.4.	Karaka	150
7.6.5.	Galeon	151
7.6.6.	Fregata wojenna	152
7.6.7.	Żaglowiec wielorybiczny	153
7.6.8.	Kliper.....	154
7.6.9.	Szkuner.....	154
7.7.	Parowce.....	155
7.8.	Pancerniki.....	157

7.9. Lotniskowce	159
7.10. Łodzie podwodne	161
8. Lotnictwo i astronautyka	167
8.1. Lotnictwo	167
8.1.1. Balon	167
8.1.2. Sterowiec	169
8.1.3. Latawiec	171
8.1.4. Lotnia	172
8.1.5. Szybowiec	172
8.1.6. Skrzydłowiec	175
8.1.7. Samolot	177
8.1.8. Spadochron	195
8.1.9. Śmigłowiec	197
8.2. Astronautyka	207
8.2.1. Rakieta	208
8.2.2. Pierwsze sztuczne satelity	211
8.2.3. Człowiek na orbicie	211
8.2.4. Program Apollo	213
8.2.5. Wahadłowiec	213
8.2.6. Samolot kosmiczny	214
8.2.7. Sonda kosmiczna	215
9. Ludzie techniki	217
Źródła ilustracji	239
Bibliografia	247
Adresy stron internetowych	249

1. Wprowadzenie

Przez **technikę** rozumiemy całokształt środków i czynności wchodzących w zakres działalności ludzkiej, które związane są z wytwarzaniem dóbr materialnych oraz umiejętnością posługiwania się nimi. Technika jest zatem nierozdzielnie związana z produkcją, a wiedza która jej dotyczy kryje się pod pojęciem inżynierii.

Działalnością badawczą w zakresie techniki zajmują się nauki techniczne, na które składa się szereg dyscyplin naukowych. Są to:

- ☐ architektura i urbanistyka,
- ☐ automatyka i robotyka,
- ☐ biocybernetyka i inżynieria biomedyczna,
- ☐ biotechnologia,
- ☐ budowa i eksploatacja maszyn,
- ☐ budownictwo,
- ☐ elektronika,
- ☐ elektrotechnika,
- ☐ geodezja i kartografia,
- ☐ górnictwo i geologia inżynierska,
- ☐ informatyka,
- ☐ inżynieria chemiczna,
- ☐ inżynieria materiałowa,
- ☐ inżynieria środowiska,
- ☐ mechanika,
- ☐ metalurgia,
- ☐ technologia chemiczna,
- ☐ telekomunikacja,
- ☐ transport,
- ☐ włókiennictwo.

Zakres wiedzy dotyczący poszczególnych dyscyplin został wypracowany przez ludzkość na przestrzeni wieków. O tym jak się to stało mówi nam **historia**, czyli dziedzina nauki zajmująca się dochodzeniem do wiedzy o zdarzeniach minionych na podstawie świadków bezpośrednich, źródeł pisanych oraz wyników badań nauk pomocniczych historii. Wynikiem badań historycznych jest opis dziejów, czyli historiografia.

W ramach bieżącego opracowania starano się przedstawić wybrane zagadnienia z historii techniki w zakresie: metalurgii, inżynierii materiałowej, budowy i eksploatacji maszyn i transportu. Dobór zakresu materiału wynikał z faktu, iż był on przygotowany na potrzeby wykładu z przedmiotu „*Historia techniki*”, adresowanego dla studentów kierunku „*Mechanika i budowa maszyn*”, kształcących się w Politechnice Lubelskiej oraz w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Chełmie.

Ze względu na obszerność poruszanych tematów, w opracowaniu ograniczono się tylko do podania wybranych zagadnień (każdy z rozdziałów książki można bowiem bez problemów rozwinąć do rozmiaru oddzielnego opracowania), które powinny być interesujące dla Czytelnika, a jednocześnie skłaniać Go do rozszerzenia wiedzy we własnym zakresie. Pomocne może być tutaj sięgnięcie do literatury specjalistycznej, zamieszczonej w bibliografii opracowania.

W tym miejscu należy zauważyć, że Autor opracowania jest profesorem nauk technicznych, a nie historykiem. Historia sta-

nowi tylko jego hobby. Z tego względu podczas przygotowywania materiału do druku stosowano metodykę właściwą dla opracowań technicznych, a nie historycznych. W konsekwencji wiele z przytaczanych faktów nie zostało zweryfikowanych w sposób właściwy historykom. Dlatego też, zdaniem Autora, prezentowane opracowanie powinno być traktowane raczej jako pozycja popularnonaukowa niż rzetelne źródło historiograficzne.

Przy opracowywaniu podręcznika szeroko korzystano z informacji zamieszczonych w Internecie. Wykaz wziętych pod uwagę adresów stron internetowych zamieszczono na końcu opracowania. W przypadku korzystania z wiadomości podawanych w Wikimediach przytaczano je kierując się wytycznymi podanymi na stronie http://wikimediafoundation.org/wiki/Warunki_korzystania. W tym

miejscu należy wyrazić uznanie dla wszystkich, na ogół anonimowych, Autorów rozwijających ideę wspólnej wolnej wiedzy, którzy godzą się na swobodną redystrybucję i ponowne wykorzystanie ich twórczości.

Na zakończenie Autor kieruje słowa podziękowania do tych wszystkich, którzy przyczynili się do powstania opracowania. Szczególny wkład w tym zakresie wnieśli studenci Politechniki Lubelskiej i Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Chełmie, którzy w ramach prowadzonych zajęć dydaktycznych przygotowali setki prezentacji na temat historii konkretnych wynalazków. Szereg z nich zostało wykorzystanych przy pisaniu opracowania. Oddzielne podziękowania skierowane są do recenzenta dra hab. inż. Krzysztofa Łukasika, którego cenne uwagi miały znaczący wpływ na ostateczną, prezentowaną Państwu formę opracowania.

2. Pozyskiwanie energii

Energia to podstawowa wielkość fizyczna, opisująca potencjalną zdolność danego ciała do wykonania określonej pracy. W efekcie wykonanej pracy energia układu fizycznego ulega obniżeniu i jest zawsze ograniczona od dołu. Brak takiego ograniczenia mógłby oznaczać możliwość czerpania energii i wykonywania pracy bez końca (*perpetum mobile*). Jednostką energii w układzie SI jest dżul (J). Inne spotykane jednostki energii to: kGm, kWh, cal, eV.

W zależności od rodzaju energii można wyróżnić:

- energię mechaniczną,
 - kinetyczną,
 - potencjalną,
- energię cieplną,
- energię elektryczną,
- energię chemiczną,
- energię jądrową.

Energia mechaniczna to suma energii kinetycznej i potencjalnej. Jest to energia związana z ruchem i położeniem obiektu fizycznego (układ punktów materialnych, ośrodek ciągły itp.) względem pewnego układu odniesienia. W sensie technicznym termin energia mechaniczna oznacza zdolność do wytworzenia oraz przekazania napędu (np. moment na wale, siła na ciągnie) przez maszynę.

Energia kinetyczna to energia ciała wynikająca z jego ruchu. Dla ciała o masie m poruszającego się z prędkością v energię kinetyczną E_k w ruchu postępowym można obliczyć z równania:

$$E_k = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1 \right), \quad (2.1)$$

gdzie: c – prędkość światła w próżni.

W przypadkach, gdy prędkość v jest dużo mniejsza od prędkości światła ($v \ll c$) energię kinetyczną oblicza się z zależności:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2. \quad (2.2)$$

Energia potencjalna to energia elementu umieszczonego w polu potencjalnym (np. ciężkości). Energię tę zawsze definiuje się względem jakiegoś poziomu zerowego.

Energia termiczna (czasami nazywana energią cieplną) jest to część energii wewnętrznej układu, która może być przekazana innemu układowi w formie ciepła.

Wszystkie ciała mają określoną energię wewnętrzną, związaną z ruchem chaotycznym i drganiami cząstek tworzących to ciało. Energia wewnętrzna jest wprost proporcjonalna do temperatury ciała. Część energii wewnętrznej, która może być bezpośrednio w sposób spontaniczny wymieniona między ciałami nazywana jest energią termiczną. W przypadku odpowiedniego kontaktu między ciałami o różnej temperaturze część energii wewnętrznej ciała o temperaturze wyższej przepływa do ciała o temperaturze niższej, aż do wyrównania się temperatur obu ciał. Ilość energii, która przepływa w ramach procesu równoważna jest ilości ciepła jaką oba ciała wymieniły między sobą.

Energia elektryczna to energia prądu elektrycznego przekazywana odbiornikowi wykonującemu pracę lub zmieniającemu ją na inną formę energii. Energię elektryczną W przepływającą lub pobieraną przez urządzenie określa iloczyn natężenia prądu I przepływającego przez odbiornik, napięcia U na odbiorniku i czasu t przepływu prądu przez odbiornik:

$$W = U I t. \quad (2.3)$$

Zużycie energii elektrycznej w technice mierzone jest w kilowatogodzinach (kWh).

Energia chemiczna (energia wiązania chemicznego) to najmniejsza energia potrzebna do rozerwania wiązania chemicznego. Ten rodzaj energii najczęściej wyraża się w jednostkach kJ/mol.

Energia jądrowa to energia uzyskiwana w drodze kontrolowanych przemian jądrowych. Otrzymywana jest głównie w wyniku rozszczepiania ciężkich jąder atomowych oraz w niewielkim stopniu w wyniku rozpadów promieniotwórczych (trwają prace nad przeprowadzeniem kontrolowanej fuzji lekkich jąder atomowych).

Reakcje rozszczepiania ciężkich jąder atomowych (głównie uranu-235) przeprowadza się w reaktorach atomowych, gdzie energia jądrowa zamieniana jest na energię wewnętrzną (ciepłą). Energia ta jest następnie wykorzystywana do napędzania turbin generatorów energii elektrycznej, jak również do napędu lotniskowców i okrętów podwodnych. Obecnie około 7% energii zużywanej przez ludzkość (w tym 15,7% energii elektrycznej) jest produkowana z energii z jąder atomowych.

Wraz z rozwojem cywilizacji ludzie nabywali umiejętności pozyskiwania kolejnych rodzajów energii. Uogólniając można podać następujący porządek źródeł energii pozyskanych przez człowieka:

- ❑ energia spalania (ogień) (600.000 p.n.e),
- ❑ energia sprężystości (60.000 p.n.e),
- ❑ energia odzwierzęca (4.000 p.n.e),
- ❑ energia wiatrowa (3.500 p.n.e),

- ❑ energia wody (I w. p.n.e),
- ❑ energia pary (XVII w.),
- ❑ energia elektryczna (XIX w.),
- ❑ energia słoneczna (XX w.),
- ❑ energia jądrowa (XX w.).

Poniżej w sposób bardziej szczegółowy opisano historie pozyskiwania przez człowieka wymienionych rodzajów energii.

2.1. Energia spalania (ogień)

Początkowo człowiek posługiwał się ogniem pochodzenia naturalnego (prawdopodobnie od wybuchu wulkanu lub uderzenia pioruna). Przekonawszy się o jego licznych zaletach (światło, ciepło, przyrządzanie potraw itd.) nauczył się go podtrzymywać. To istotne z punktu cywilizacji odkrycie (zdaniem niektórych badaczy najważniejsze na drodze „uczłowiecznienia się” małpoluta) datowane jest w sposób rozmaity, nawet na 600.000 lat temu. Całkowicie pewnych dowodów posługiwania się ogniem dostarczają jednakże znaleziska a Czoukoutien (Chiny) pochodzące sprzed 300 tysięcy lat.

W okresie późniejszym człowiek nabył umiejętność niecenia ognia (prawdopodobnie około 100 tysięcy lat temu). Przypuszcza się, że ogień po raz pierwszy skrzesano przypadkowo w trakcie obróbki kamienia. Nieliczne społeczności będące na etapie epoki kamiennej, które przetrwały po dziś dzień rozniecają ogień różnymi metodami. Sprowadzają się one na ogół do szybkiego pocierania o siebie kawałków twardego i miękkiego wysuszonego drewna. Z czasem zastosowano do niecenia ognia ruch obrotowy. W tym celu „wiercono” w miękkim kawałku drewna twardym kijem (rys. 2.1) obracany przez pocieranie między złożonymi dłońmi. Ta metoda została udoskonalona w epoce neolitu, gdy kijek zaczęto napędzać odpowiednio założoną nań cięciwą łuku przesuwaną tam i z powrotem (tzw. świder smyczkowy).

W starożytnym Egipcie do rozpalać ognia stosowano także soczewki szklane skupiające promienie słoneczne, które w postaci



Rys. 2.1. Oprzyrządowanie do niecenia ognia przez pocieranie o siebie miękkiego i twardego kawałka drewna

silnej wiązki światła wywoływały ogień w materiale łatwopalnym. Ta metoda niecenia ognia wykorzystywana była jeszcze w XVII i XVIII wieku.

W okresie późniejszym ogień zaczęto niecić stosując rozmaite krzesiwa, od których był już tylko jeden krok do obecnie wykorzystywanych zapalek. Ważniejsze wydarzenia związane z produkcją zapalek podano poniżej w formie kalendarium:

- 507 – w Chinach wynaleziono pierwsze zapalki. Zwano je „ognistym calowym patykiem” i składały się one z patyka sosnowego z główką z siarki;
- 1805 – w Paryżu Chancel, asystent francuskiego chemika Louis Jacques Thenharda (1777-1857), wyprodukował pierwsze europejskie zapalki. Ich zapalenie następowało przez zanurzenie końca specjalnie spreparowanej drewnianej drzazgi w stężonym kwasie siarkowym;
- 1826 – angielski aptekarz John Walker (1781-1859) wynalazł zapalki składające się z chloranu potasowego, siarczku antymonu i krochmalu. Zapalały się przez potarcie o papier ścierny (o powierzchni ściernej z mielonego szkła);
- 1833 – Anglik Samuel Jones (1801-1859) zaczął produkować w Londynie zapalki fosforowe;

- 1836 – w USA w stanie Massachusetts uruchomiono pierwszą fabrykę zapalek z łebkami fosforowymi;
- 1845 – austriacki chemik Anton von Schrotter (1802-1875) uzyskał czerwony fosfor;
- 1855 – Szwed Johan Edvard Lundström (1815-1888) uruchamia fabryczną produkcję zapalek bezpiecznych tzw. zapalek szwedzkich.

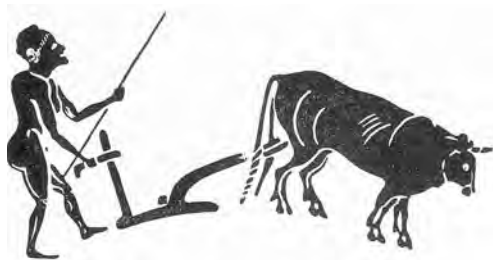
W późniejszych latach energię spalania wykorzystano, w opracowywanych począwszy od XIX wieku, silnikach spalinowych. Jednakże ze względu na powszechność stosowania napędów tego rodzaju, zagadnieniu temu poświęcono jeden z kolejnych rozdziałów opracowania.

2.2. Energia sprężystości

W oparciu o znajomość tego rodzaju energii powstała ponad 60.000 lata temu pierwsza maszyna – łuk, która uwolniła niewielkie gromady koczowników od widma śmierci głodowej. W starożytności budowano rozmaite maszyny do miotania pocisków, wykorzystujące energię sprężystości (patrz rozdział 10). Wykorzystywano w tym celu energię skręcanych lin oraz sprężystość belek. W wieku XVI zastosowano sprężynę do napędu zegarków.

2.3. Energia odzwierzęca

Zwierzęta (poza psem, którego znali już myśliwi koczujący) zaczęto oswajać i hodować w okresie przechodzenia przez człowieka w osiadły tryb życia, co miało miejsce około 6.000 lat p.n.e. Kolejno oswojono krowę, konia, świnie i kurę. Co najmniej od 4.000 lat p.n.e. używano zwierząt jucznych (osioł), a od 3.500 lat p.n.e. zwierząt pociągowych (wół) – rys. 2.2. Natomiast począwszy od V wieku p.n.e. zaczęto wykorzystywać także siłę zwierząt do celów produkcyjnych (kierat).



Rys. 2.2. Orka radłem drewnianym (Grecja, VI w. p.n.e.)

Kierat to zespół przekładni zębatych, najczęściej składających się z dwóch par kół przymocowanych do ramy. Największe z kół jest połączone z dyszlem służącym do zaprzęgania zwierząt pociągowych. Zwierzęta obracają przekładnię chodząc po okręgu o średnicy około 10 m.

Pierwsze kieraty budowane były całkowicie z drewna, łącznie z kołami zębatymi. W wieku XIX w Polsce zaczęto budować kieraty ze stali i z żeliwa (rys. 2.3). Elektryfikacja wsi oraz upowszechnienie silników elektrycznych (począwszy od lat 60-tych XX wieku) spowodowały, iż kieraty praktycznie znikły z życia wsi polskiej.



Rys. 2.3. Młockarnia z roku 1881, napędzana kieratem

2.4. Energia wiatrowa

Okolo 3.500 lat p.n.e. ludy wschodniej części Morza Śródziemnego rozpoczęły wyposażanie swych statków w żagle. Dowodem tego jest prymitywny model z gliny wykopany w Eridu w Mezopotamii, który ma gniazdo na maszt i otwory na liny. Szerzej



Rys. 2.4. Wiatraki typu: kozłowego (po prawej) oraz holenderskiego (po lewej)

zagadnienie wykorzystania energii wiatrowej do napędu statków opisano w rozdziale 7.

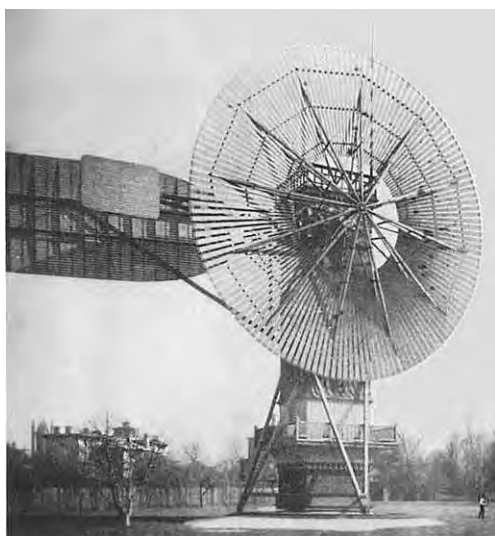
Energia wiatrowa wykorzystywana była także do napędu maszyn lokalizowanych na lądzie. Pierwsze wiatraki stosowane były przez ludzi do mielenia ziarna oraz pompowania wody. Pierwszy opis wiatraków powstał w Indiach i pochodzi z około 400 roku p.n.e. W Chinach oraz w krajach basenu Morza Śródziemnego wiatraki pojawiły się na początku naszej ery. Stosowane były one głównie do przepompowywania wody (nawadnianie i osuszanie pól) oraz do mielenia zboża. W VIII wieku w Europie pojawiły się wiatraki napędzane czterema skrzydłami. Specjalistami w budowie urządzeń tego typu byli Holendrzy.

Najstarszym typem wiatraka występującego na ziemiach polskich jest wiatrak kozłowy, czyli tzw. kozłak (rys. 2.4). Konstrukcje tego typu powstawały już w pierwszej połowie XIV wieku (głównie na Kujawach i w Wielkopolsce) i dotrwały bez większych zmian aż do wieku XX. Ich cechą charakterystyczną jest to, iż cały budynek wiatraka wraz ze skrzydłami obracany jest wokół pionowego drewnianego słupa tzw. sztembra. Słup ten podparty jest najczęściej czterema zastrzalami, a jego dolna część tkwi w dwóch krzyżujących się podwalinach. Z tylnej (przeciwnej do skrzydeł) ściany wiatraka wystawał specjalny dyszel współpracujący z kołowrotem, który ustawiał budynek skrzydłami do kierunku wiatru.

W wieku XVII w Europie wprowadzono nowy typ wiatraka o bryle zasadniczo nieruchomej z dachem na podstawie kołowej, obracającym się na łożysku posadowionym na oczeple wieńczącym ściany u góry. Zdolność obrotu „czapy” dachu o 360° pozwalała na ustawienie powierzchni skrzydeł prostopadle do kierunku wiatru. Pozostała część budynku założona na rzucie ośmioboku (holendry drewniane) – rys. 2.4 – lub koła (holendry murowane) nie zmieniała nigdy swego położenia. Ojczyznę wiatraków holenderskich jak sama nazwa wskazuje jest Holandia. Wiatraki tego typu przyjęły się głównie na zachodnich i północnych rubieżach Polski (począwszy od XVIII wieku), ale nigdy nie wyparły wiatraków typu starszego, czyli koźlaków.

Pod koniec wieku XIX rozwój maszyny parowej spowodował wyparcie napędu wiatrowego z wielu dziedzin życia. Równocześnie zaczęto stosować wiatraki do wytwarzania energii elektrycznej.

Podczas zimy 1887/88 Charles F. Brush (1849-1929) zbudował pierwszą samoczynnie działającą siłownię wiatrową, produkującą energię elektryczną. Człowiek ten był

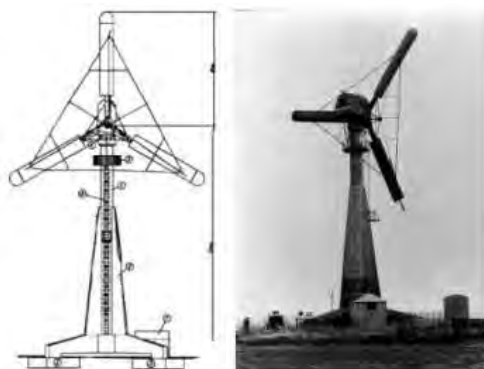


Rys. 2.5. Pierwsza siłownia wiatrowa zbudowana przez Charlesa F. Brusha, 1887/88 r.

jednym z pionierów amerykańskiego przemysłu elektrotechnicznego. Jego firma Brush Electric połączyła się w 1892 roku z Edison General Electric Company tworząc General Electric, będący dzisiaj jednym z największych w świecie koncernów. Jak na owe czasy turbina Brush’a (rys. 2.5) była imponująca: wirnik miał średnicę 17 metrów i składał się ze 144 łopat zrobionych z drewna cedrowego. Siłownia pracowała przez 20 lat ładując akumulatory znajdujące się w piwnicy posiadłości Brush’a. Moc jak na rozmiary urządzenia nie była imponująca i wynosiła 12 kW.

Zasadniczy rozwój siłowni wiatrowych nastąpił w okresie po II wojnie światowej. W 1950 roku inżynier Johannes Juul (1887-1969) skonstruował pierwszą siłownię wiatrową z generatorem prądu przemiennego. Siedem lat później na wybrzeżu Gedser w Danii zbudował on elektrownię wiatrową do dzisiaj uważaną za nowoczesną (rys. 2.6). Siłownia o mocy 200 kW napędzana była trójłopatowym wirnikiem zwróconym przodem do wiatru, miała generator asynchroniczny, mechanizm ustawiania kierunku, hamulce aerodynamiczne oraz regulację masy przez zmianę kąta natarcia łopat.

Siłownie wiatrowe ulegały w latach późniejszych stopniowej rozbudowie (zgodnie z tab. 2.1), w wyniku której sukcesywnie zwiększano moc produkcyjną prądu elektrycznego.



Rys. 2.6. Nowoczesna siłownia wiatrowa skonstruowana przez Johanesa Juul’a, 1957 r.

Tab. 2.1. Umowne etapy rozwoju współczesnych siłowni (elektrowni) wiatrowych

1955 – 1985	1985 – 1989	1989 – 1994	po 1994
– Średnica wirnika do 15 m; – małe siłownie domowe, – poszukiwanie rozwiązań problemów teoretycznych; – brak standardów międzynarodowych.	– Średnica wirnika do 30 m; – pierwsze seryjne siłownie wiatrowe; – początki tworzenia standardów przemysłowych.	– Średnica wirnika od 30 do 50 m; – produkcja masowa siłowni o mocy 600 kW.	– Średnica wirnika ponad 50 m; – przyspieszenie rozwoju technologicznego; – powstają siłownie o mocy 850 kW, 1 MW, 1,5 MW, 2 MW i więcej.

2.5. Energia wody

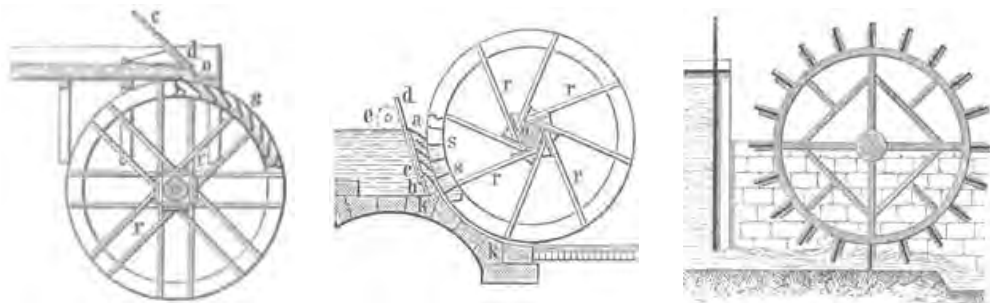
Energia wytwarzana przez nurt płynącej rzeki została po raz pierwszy wykorzystana do napędu koła wodnego już w I wieku p.n.e.

Koło wodne (będące zapewne najstarszą maszyną poruszaną siłą wody) składa się z dużego koła o średnicy do 20 m, do którego przymocowane są drewniane lub gliniane czerpaki (podnoszące wodę w górę). Koła takie do tej pory czerpią wodę z rzeki Asi w Syrii, przelewając ją do akweduktów, którymi jest ona rozprowadzana na pola. Stosuje się je również w innych krajach Bliskiego Wschodu oraz używa się w Hercegowinie, gdzie wprowadzili je jeszcze Turcy. W Wietnamie stosowane są koła wodne, o średnicach 10÷15 m, zbudowane całkowicie z bambusa.

W zależności od sposobu oddziaływania wody na koło wodne wyróżnia się następujące jego rodzaje (rys. 2.7):

- ❑ nasiębiejne (wykorzystuje głównie energię potencjalną wody) o największej wydajności;
- ❑ śródsiębiejne (wykorzystuje energię potencjalną i kinetyczną wody);
- ❑ podsiębiejne (wykorzystuje głównie energię kinetyczną wody).

Pierwsza informacja o kole wodnym zastosowanym w Polsce do napędu młyna w Łęczycy pochodzi z 1145 roku. W następnych latach za przykładem Zachodu urządzenie to rozpowszechnia się w naszym kraju. W XIII wieku stosowane jest już nie tylko do przemiału zboża, ale także do napędu foluszy, kuźnic (rys. 2.8) i tartaków. W XVI wieku na terenach etnicznych ziem Rzeczypospolitej znajduje się już około 3000 kół wodnych o łącznej mocy 6000 KM. Służą one do napędu około 1000 młynów zbożowych, 200 kuźnic i zakładów metalowych, 100 tartaków, 30 papierni oraz licznych olejarni i innych zakładów. Znaczną część tych

**Rys. 2.7.** Rodzaje kół wodnych (kolejno od lewej): nasiębiejne, śródsiębiejne i podsiębiejne



Rys. 2.8. Koło wodne w kuźnicy w Oliwie

kół stanowią koła nasiębiernie. W roku 1752 rotmistrz Walenty Hendell z Wrocławia stosuje koło wodne do podnoszenia wody w wodociągu miejskim we Fromborku. Była to jedna z pierwszych tego typu konstrukcji zbudowanych w dobie odrodzenia.

Na bazie koła wodnego opracowano turbinę wodną, czyli silnik wodny przetwarzający energię mechaniczną wody na ruch obrotowy za pomocą wirnika z łopatkami. Obecnie stosowana jest ona głównie do napędu prądnic w elektrowniach wodnych.

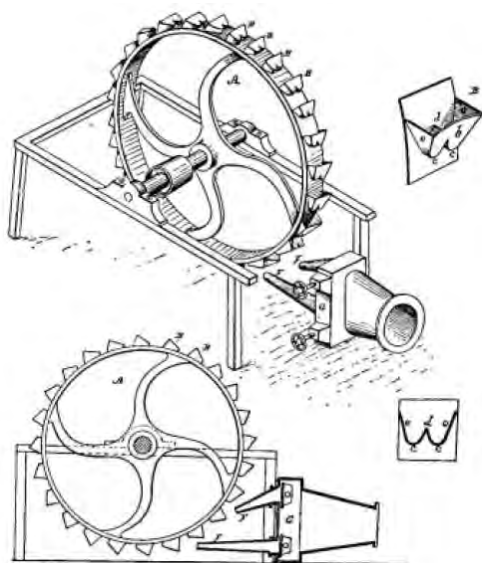
Prymitywna turbina wodna, będąca kołem wodnym wyposażonym w krzywoliniowe łopatki, na które kierowano osiowo wodę używana była początkowo do napędu młynów wodnych. Pierwszy opis takiego urządzenia pochodzi już z IX wieku.

W połowie wieku XVIII Słowak, matematyk, Ján Andrej Segner (1704-1777) buduje turbinę reakcyjną, czyli taką w której woda doprowadzana jest do wirnika pod ciśnieniem większym od atmosferycznego. Następnie wspólnie z Leonhardem Eulerem (1707-1783) opracowuje elementy teorii projektowania turbin. W roku 1827 Benoit Fourneyron (1802-1867), w wieku 25 lat, buduje turbinę z wirnikiem ułożonym poziomo (w odróżnieniu od pionowo ustawianego koła wodnego) o mocy 6 KM. Następnie intensywnie rozwija swoje urządzenie, które w roku 1837 ma już moc 60 KM i pracuje z prędkością obrotową 2300 obr./min. Przy tym ma małe rozmiary (średnica wirnika 30 cm, masa 16 kg) i bardzo dużą sprawność (ok. 80%).

W roku 1848 James B. Francis (1815-1892) udoskonala konstrukcję turbiny reakcyjnej, dzięki czemu osiąga ona już sprawność rzędu 90%. Ten inżynier amerykański przeprowadza wiele eksperymentów oraz opracowuje szereg technik obliczeniowych, umożliwiających następcom lepiej zrozumieć zjawiska związane z przepływem wody na łopatkach. Kolejny rodzaj turbiny reakcyjnej opracowuje w roku 1913 Viktor Kaplan (1876-1934) – jest to turbina śmigłowa, w której łopatki mają kształt podobny do śrub okrętowych.

Inny rodzaj turbiny, zwany akcyjnym (natryskowym), w którym woda zostaje doprowadzona do wirnika pod ciśnieniem atmosferycznym, konstruuje w 1879 roku Lester Pelton (1829-1908). W turbinie tej dla zwiększenia sprawności, dochodzącej w rozwiązaniach współczesnych do 92%, stosuje się specjalnie wyprofilowane łopatki w kształcie dwóch połączonych czarek (rys. 2.9), na których strumień wody dużo łagodniej zmienia kierunek.

Turbiny wodne wykorzystane zostały do napędu generatorów prądu w elektrowniach wodnych (hydroelektrowniach). Pierwsza



Rys. 2.9. Turbina Peltona - rysunek z patentu, z roku 1880

elektrownia tego typu została zbudowana w roku 1882 w Appleton (Wisconsin, USA) na rzece Fox. Dostarczała ona energię do produkcji papieru. Na przełomie wieku XIX i XX zaczęto budować wiele elektrowni tego typu, między innymi w Szwajcarii przy wielkim udziale przyszłego polskiego prezydenta Gabriela Narutowicza (1865-1922). Obecnie hydroelektrownie są bardzo rozpowszechnione i odpowiadają za produkcję około 20% energii elektrycznej.

2.6. Energia pary

Opanowanie energii pary było już marzeniem starożytnych. Grecki wynalazca Heron (ok. 10 – ok. 70) zaprojektował około 60 roku prymitywną turbinę parową, mającą kształt kuli z dołączoną parą dysz (rys. 2.10). Doprowadzenie pary (ze znajdującego się na dole paleniska) do wnętrza kuli powodowało jej obrót w momencie gdy wydostawała się ona przez dysze. Heron uważał swój wynalazek raczej za nowinkę techniczną (zabawkę) niż użyteczne źródło energii. Na skuteczne wykorzystanie pary do napędu maszyn trzeba było poczekać jeszcze ponad 1,5 tysiąca lat.

W wieku XVII dokonano szeregu eksperymentów, w wyniku których stwier-



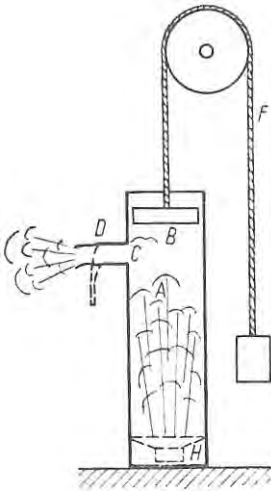
Rys. 2.10. Replika bani Herona z 60 roku



Rys. 2.11. Ilustracja Gaspara Schotta przedstawiająca doświadczenie z półkulami magdeburskimi, 1654 r.

dzono, że ciśnienie atmosferyczne może wykonać pracę. Warto tutaj wspomnieć o doświadczeniach wykonanych przez Otto von Guericke (1602-1686). W jednym z nich, które miało miejsce w roku 1654 w Magdeburgu wykorzystano dwie półkule metalowe o średnicy 42 cm każda o skrajnie zeszlifowanych krawędziach. Półkule te zostały połączone ze sobą i uszczelnione, a następnie wypompowano z nich powietrze. Okazało się, że do rozerwania półkul potrzeba było zastosować dwa zaprzęgi po osiem koni każdy – rys. 2.11.

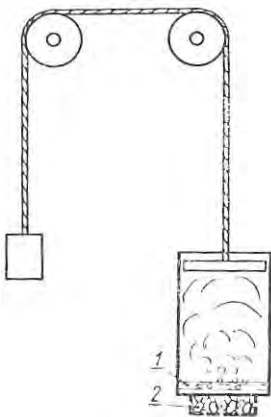
Odkrycie Guericke skłoniło wielu ludzi do poszukiwania silnika wykorzystującego ciśnienie atmosferyczne. Wspomnimy o kilku z nich. W roku 1682 Cristiaan Huygens (1629-1695), bazując na pomysły księdza Jeana de Hautefeuille (1647-1724), przeprowadził próby z prochową maszyną atmosferyczną – pokazaną na rys. 2.12. W cylindrze H umieszczano nieco prochu armatniego, który w trakcie nagłego spalania usuwał powietrze przez skórzaną wężę D. Te z kolei pod wpływem ciśnienia atmosferycznego ulegały zaciśnięciu i w ten sposób w cylindrze powstawało podciśnienie. Następnie tłok B pod wpływem ciśnienia atmosferycznego ulegał przesunięciu w dół i mógł wykonać pracę. Na genialny pomysł ulepszenia maszyny prochowej przez zastąpienie płomienia prochu parą wodną wpadł Denis Papin (1647-



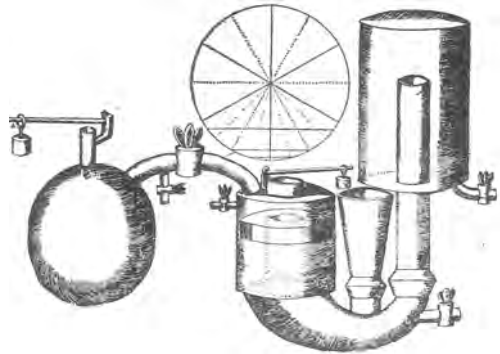
Rys. 2.12. Maszyna prochowa Huygensa

ok. 1712), który w roku 1690 ogłosił swój wynalazek w rozprawie „*Nowa metoda otrzymywania znacznych sił napędowych małym kosztem*”. Rok ten przyjmuje się obecnie za rok narodzin maszyny parowej.

Maszyna Papina (rys. 2.13) była cylindrem z tłokiem zawierającym na dnie niewielką ilość wody. Podgrzanie dna naczynia powodowało, że woda zamieniała się w parę i tłok unosił się do góry. Po usunięciu źródła ciepła (koszyk z żarzącymi się węglami) następowało skroplenie pary i w konsekwencji ruch tłoka w dół (pod wpływem ciśnienia at-



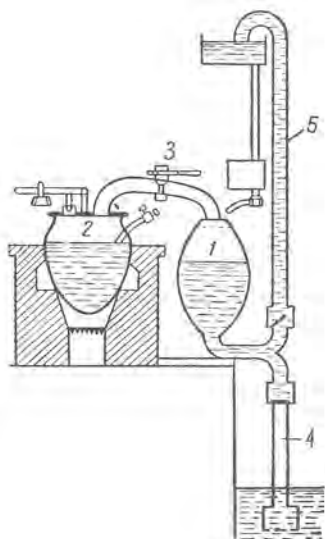
Rys. 2.13. Maszyna atmosferyczna Papina: 1 – woda, 2 - żar



Rys. 2.14. Pompa Papina – rysunek z 1704 r.

mosferycznego). Pomimo entuzjazmu odkrywców jego wynalazek nie znalazł zastosowania ze względu na liczne wady: powolność (zaledwie 1 skok tłoka na minutę), kłopotliwe manipulowanie paleniskiem oraz działanie ognia na cylinder powodujące jego szybkie niszczenie. Niezrażony Papin pracuje nad ulepszeniem swojej maszyny i po kilku latach czyni wielki krok naprzód przechodząc od maszyny atmosferycznej do właściwej maszyny parowej. W nowej wersji (rys. 2.14) kocioł jest odseparowany od cylindra, a rozprężająca się para nadaje tłokowi ruch (skok) roboczy. Jednakże Papin nie potrafił zainteresować swoim wynalazkiem przedstawicieli przemysłu i zmarł w nędzy w roku 1712.

Prace Papina pobudziły inwencję innych wynalazców, m.in. Thomasa Savery'ego (1650-1715), kapitana żeglugi i inżyniera górnika. Wynalazł on pompę parowo-atmosferyczną, która wreszcie znalazła zastosowanie praktyczne. Po poddaniu maszyny odpowiednim próbom Savery opatentował ją w roku 1698, a w roku 1702 założył fabrykę pomp parowych. Praca pompy (rys. 2.15), zwanej też „*przyjacielem górników*”, przebiegała w sposób następujący. Parę z kotła 2 doprowadzano rurą, zaopatrzoną w zawór 3, do owalnego zbiornika 1. Zbierająca się w zbiorniku para wypierała z niego wodę do góry. Gdy zbiornik wypełniony był parą polewano go z zewnątrz wodą, co doprowadzało do skroplenia pary. W wyniku tego w zbiorniku powstawało podciśnienie, które



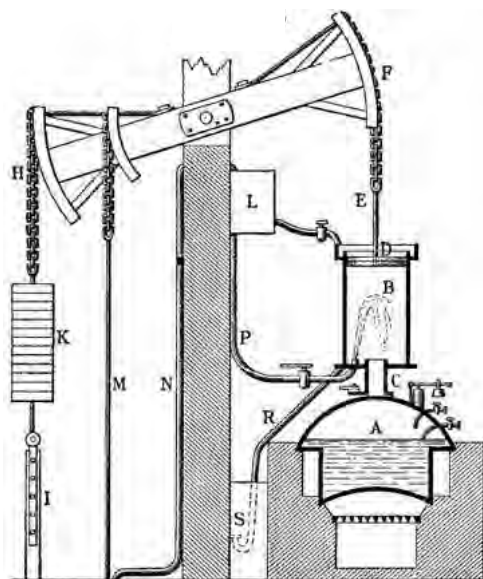
Rys. 2.15. Pompa Savery'ego, tzw. „Miners friend”: 1 – zbiornik wody, 2 – kocioł, 3 – kurek, 4 – rura ssąca, 5 – rura tłocząca

umożliwiało zassanie rurą 4 wody ze zbiornika dolnego. Przeciętnie można było wykonać około 5 cykli pracy pompy na minutę. Jak na owe czasy maszyna Savery'ego miała wiele zalet. Za wyjątkiem zaworów i kurków nie było w niej części ruchomych co ułatwiało budowę i upraszczało obsługę. Niemniej jednak nie czyniła zadość potrzebom górnictwa. Głębokość ssania tej pompy nie przekraczała 10 m, zaś wysokość słupa wody wypieranego do góry zależała od ciśnienia pary. Savery ze względu na ograniczenia techniczne nie był w stanie osiągnąć w kotle ciśnienia większego niż trzykrotne ciśnienie atmosferyczne (3 at.), dzięki czemu można było tłoczyć wodę tylko do wysokości 30 m, a i przy tym ciśnieniu dochodziło do rozsądzania zbiorników.

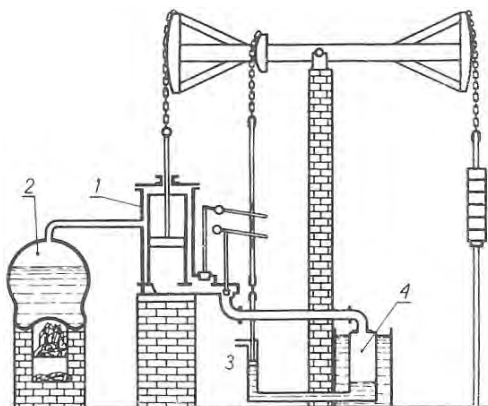
Dalszy rozwój maszyny parowej związany jest z osobą angielskiego kowala Thomasa Newcomena (1664-1729). Opracował on nowy typ maszyny parowej do odwadniania kopalń, na którą uzyskał patent w 1705 r. Zasada pracy tej maszyny była następująca (rys. 2.16). Palenisko podgrzewało wodę w kotle a powstająca para zbierała się w cylin-

drze pod tłokiem. Wzrost ciśnienia pary powodował ruch tłoka do góry. Kiedy osiągał on położenie najwyższe w cylindrze rozpylano wodę, doprowadzaną ze zbiornika znajdującego się w górnej części urządzenia. Rozpylona woda powodowała gwałtowne obniżenie ciśnienia w cylindrze i w następstwie ruch tłoka do pozycji wyjściowej. Ilość cykli roboczych maszyny wynosiła do 15 na minutę.

Początkowo Newcoman nie mógł znaleźć chętnych do zastosowania swej maszyny. Sytuacja zmieniła się po zawiązaniu przez niego spółki z Saverym. Wspólnicy uruchomili w roku 1712 pierwszą maszynę w kopalni węgla w Dudley Castle. Miała ona moc około 5,5 KM i pompowała w jednym ruchu roboczym 10 galonów (45,5 l) wody na wysokość 153 stóp (46,7 m). Po kilku latach maszyna rozpowszechniła się w całej Anglii, a w roku 1722 miało miejsce jej pierwsze uruchomienie poza Anglią, tj. w kopalni srebra w Bańskiej Bystrzycy na terenie dzisiejszej Słowacji. W roku śmierci Thomasa Newcomena (1729) na terenie Europy pracowało już ponad 100 silników parowych tego typu, a rozwiązanie to przetrwało aż do



Rys. 2.16. Maszyna atmosferyczna Newcomena



Rys. 2.17. Maszyna Watta jednostronnego działania: 1 – koszulka parowa, 2 – kocioł, 3 – pompa powietrzna, 4 - kondensator

XX wieku. Ostatni pracujący silnik parowy tego typu wyłączono w Barnsley dopiero w roku 1934.

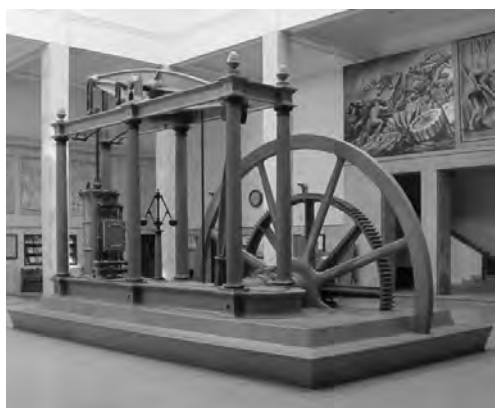
Maszyna Newcomena zużywała mnóstwo paliwa, a jej sprawność wynosiła zaledwie 0,5÷1%. Mimo tego wszędzie przyjmowana była z entuzjazmem, gdyż dawała wielkie oszczędności w stosunku do pracy ludzi i zwierząt. Przykładowo w jednej z kopalń francuskich (1739 r.), pracując tylko przez 48 godzin w tygodniu, zastąpiła pracę aż 50 ludzi i 20 koni.

Największym mankamentem maszyny był system chłodzenia pary, gdyż grube ścianki cylindra (wykonywanego początkowo z mosiądzu a później z żeliwa) na przemian (co 4 sekundy) nagrzewano i chłodzono, co prowadziło do ogromnych strat ciepłych. Rozwiązanie tego problemu znalazł dopiero wybitny szkocki wynalazca James Watt (1736-1819). Wpadł on na pomysł (1765 r.) by zastosować osobny stale chłodzony zbiornik (kondensator), specjalnie przeznaczony do skraplania pary. W efekcie cylinder, w którym poruszał się tłok był cały czas gorący (rys. 2.17). Ponadto, zastosował on małą pompę powietrzną do utrzymywania w kondensatorze właściwego podciśnienia przez wypompowywanie resztek wody, powietrza i skroplonej pary. Drugą innowacją była rezygnacja z usług atmosfery do napędu robo-

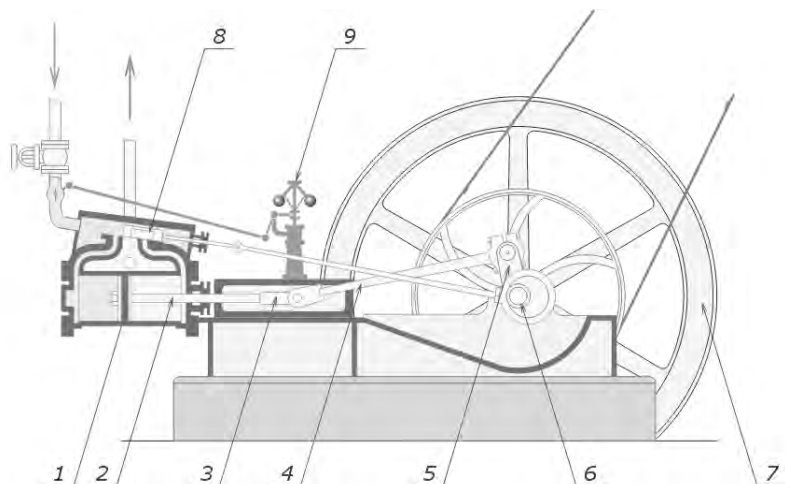
czego tłoka, jej rolę spełniała teraz para wodna; gdy u dołu pojawiało się podciśnienie, od góry naciskała para wodna. Zastosowanie tych ulepszeń zwiększyło sprawność urządzenia do 4% i pozwoliło zaoszczędzić do 75% paliwa używanego w silnikach Newcomena. Maszyna ta nadal była jednostronnego działania, tylko co drugi ruch tłoka (w dół) był ruchem roboczym i można ją było stosować tylko do pompowania wody. Przytoczone rozwiązania (ulepszenia) zostały opatentowane przez Watta w roku 1769.

W roku 1774 lub 1775 Watt zakłada, wspólnie z przemysłowcem Matthew Boultonem (1728-1809), w Soho pod Birmingham pierwszą w świecie wytwórnię maszyn parowych. Do roku 1800 zbudowano w niej około 250 maszyn. Równocześnie Watt cały czas udoskonala maszynę parową. W efekcie tych prac w roku 1782 patentuje maszynę dwustronnego działania (rys. 2.18), w której para wodna działa na tłok raz z jednej raz z drugiej strony.

Maszyna dwustronnego działania nadawała się do wszelkich prac m.in. dzięki możliwości zamiany ruchu postępowego tłoka na ruch obrotowy. Jej działanie wyjaśnić można na schemacie pokazanym na rys. 2.19. Para wytwarzana w kotle doprowadzana jest do cylindra. Tłok wprawiany jest w ruch poprzez naprzemienne wpuszczanie pary pod ciśnieniem do przedniej i tylnej części cylindra. Następnie za pomocą korbowodu wytwor-



Rys. 2.18. Maszyna Watta dwustronnego działania



Rys. 2.19. Przekrój przez silnik parowy dwustronnego działania: 1 – tłok, 2 – tłoczysko, 3 – krzyżulec, 4 – korbowód, 5 – wykorbienie wału korbowego, 6 – wał korbowy, 7 – koło zamachowe, 8 – suwak, 9 – regulator odśrodkowy

rzona energia przekazywana jest na wał korbowy i koło zamachowe. Dla stabilizowania prędkości obrotowej w maszynach parowych stosowano regulator odśrodkowy.

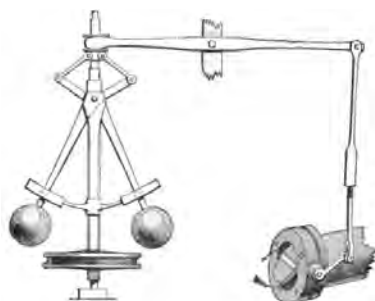
Regulator odśrodkowy obrotów (rys. 2.20), zastosowany po raz pierwszy przez Watt'a w roku 1788, wykorzystywał siłę odśrodkową do dławienia (za pomocą przepustnicy) dopływu pary do cylindra. Wraz ze zwiększaniem obrotów silnika (mogącym doprowadzić do jego przegrzania) następowało automatyczne zmniejszanie dopływu pary.

Początkowo maszyny parowe pracowały przy niewielkich ciśnieniach (do 1,3 at.). Powodowało to, że w silnikach o większej mocy cylindry musiały mieć olbrzymie rozmiary. Podwyższanie ciśnienia następowało stopniowo wraz z rozwojem techniki, osiągając pod koniec XIX wieku wartość 15 at.

Silnik parowy stał się symbolem rewolucji przemysłowej, zapoczątkowanej w Anglii na przełomie XVIII i XIX wieku, związanej z przejściem od produkcji manufakturowej bądź rzemieślniczej towarów do produkcji fabrycznej na dużą skalę. Niemożliwe jest podanie wszystkich sposobów wykorzystania maszyny parowej, pewne wy-

obrażenie na ten temat można sobie wyrobić studiując kalendarium (podane poniżej) ujmujące jej ważniejsze zastosowania:

- ❑ 1712 - maszyna parowa zastosowana do napędu maszyn o ruchu posuwisto-zwrotnym (pompy odwadniające kopalnie);
- ❑ 1732 - maszyna parowa użyta do napędu maszyn o ruchu jałowym;
- ❑ 1766 - maszyna parowa użyta do napędu miechów hutniczych;
- ❑ 1770 - pierwszy pojazd parowy – ciągnik dział – Nicolas-Joseph Cugnot (1725-1804), Paryż;

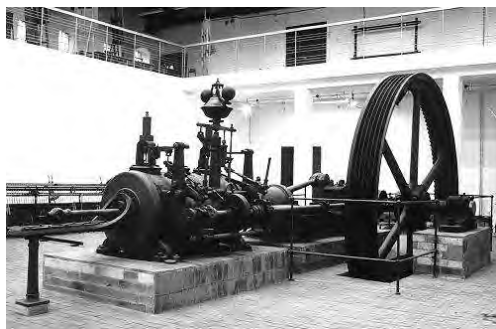


Rys. 2.20. Regulator odśrodkowy obrotów stosowany w maszynach parowych

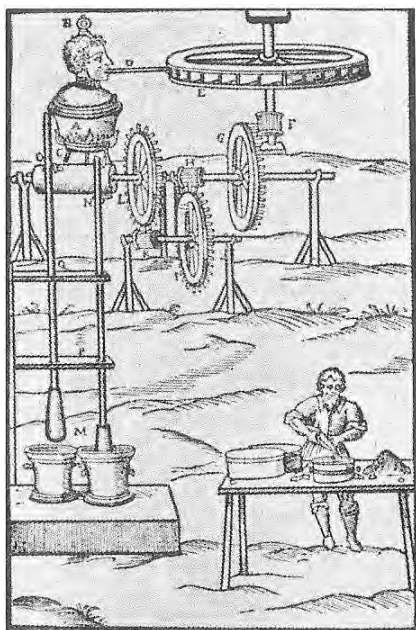
- ❑ 1783 - pierwsza walcownia z walcarkami i innymi maszynami napędzanymi parą – John Wilkinson (1728-1808), Anglia;
- ❑ 1802 - parowy holownik rzeczny „Charlotte Dundas” – William Symington (1784-1831), Wielka Brytania;
- ❑ 1805 - koparka z silnikiem parowym – Oliver Evans (1755-1819), USA;
- ❑ 1807 - pierwszy udany parostatek;
- ❑ 1811 - szybkobieżna maszyna drukarska – Friedrich Gottlob Koenig (1774-1833), Londyn;
- ❑ 1814 - druk gazet przy użyciu maszyny parowej Koeniga;
- ❑ 1819 - pierwszy rejs przez Atlantyk parostatku „Savannah” na trasie Nowy Jork – Liverpool;
- ❑ 1828 - pierwszy eksploatowany dyliżans parowy – Goldsworthy Gurney (1793–1875), Anglia;
- ❑ 1829 - lokomotywa „Rocket” – George Stephenson (1781-1848), Anglia;
- ❑ 1830 - pierwsza linia kolei żelaznej – Stephenson, Anglia;
- ❑ 1839 - pierwsza maszyna parowa w Królestwie Polskim – została uruchomiona na terenie zakładów tekstylnych Ludwika Geyera (1805-1869). Urządzenie to miało moc 60 KM, a uzyskana moc była przenoszona do urządzeń tkackich za pomocą systemu pasów transmisyjnych (rys. 2.21);
- ❑ 1842 - młot parowy do kucia metali – James Nasmyth (1808-1890), Anglia;
- ❑ 1845 - przemysłowa produkcja ciągników parowych, Anglia;
- ❑ 1850 - orka za pomocą dwóch lokomotyli parowych, Anglia;
- ❑ 1852 - prototyp sterowca – balon ze śmigłem napędzanym silnikiem parowym – Henri Jules Giffard (1825–1882), Francja;
- ❑ 1857 - pierwsza winda osobowa z napędem parowym – Elisha Graves Otis (1811-1861), Nowy Jork.

Innym rodzajem silnika cieplnego jest turbina parowa. W urządzeniu tym podobnie jak w tłokowym silniku parowym odbywa się przetwarzanie energii pary wodnej dopływającej z kotła na pracę mechaniczną. Zasada działania obu tych urządzeń jest jednak zupełnie inna. Odmienne niż w silniku tłokowym w turbinie parowej zachodzi podwójna przemiana energii: 1) przez rozprężenie pary następuje zamiana energii cieplnej pary na energię kinetyczną strumienia pary; 2) przetwarzanie energii kinetycznej na pracę mechaniczną w kanałach międzyłopatkowych wirnika.

Pierwszą turbiną parową była opisana we wstępie niniejszego rozdziału bania Herona. O budowie takiego urządzenia myślał także James Watt, który jednak uznał, że trudności natury konstrukcyjnej uniemożliwiają budowę turbiny w warunkach przełomu wieków XVIII i XIX. Na początku wieku XVII w książce (1629 r.) architekta Giovanni Branca (1571-1645) pokazano urządzenie do rozcierania prochu mózdzierzowego, napędzane czymś co przypominało koło wodne, ale zasilane było parą (rys. 2.22). Obecnie przypuszcza się, iż była to tylko idea, która nie została zrealizowana praktycznie. Z pomysłu tego skorzystał szwedzki inżynier Karl Gustaf Patrik de Laval (1845-1913), który w roku 1883 opracował projekt turbiny małej mocy, ze specjalnym kształtem dyszy gwarantującym dużą prędkość wylotową pary (rys. 2.23). Wirnik turbiny miał tylko jeden wieniec łopatek umieszczonych gęsto jedna za drugą. Po zbudowaniu tej turbiny (1889 r.)



Rys. 2.21. Maszyna parowa Ludwika Geyera (1839 r.)

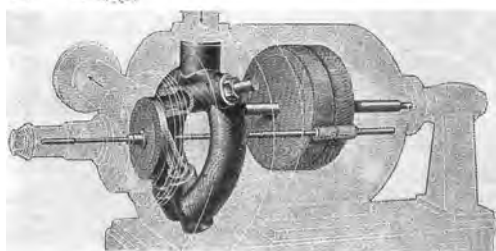


Rys. 2.22. Turbina wg pomysłu Giovanni Branca, 1629 r.

okazało się, że przy małej mocy (ok. 5,5 KM) miała ona ogromną liczbę obrotów (do 40.000 obr./min.) co wymuszało stosowanie wirników o małych średnicach (ze względu na siły odśrodkowe). Zastosowanie tej turbiny do napędu generatorów prądu elektrycznego wymagało opracowania przez Lavalą skomplikowanej przekładni (o uzębieniu daszkowym – rys. 2.23) redukującej prędkość

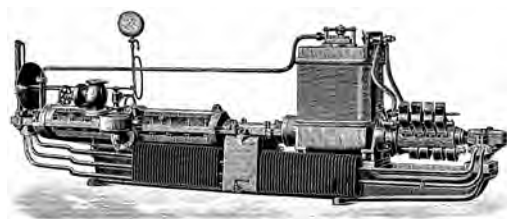


Rys. 2.23. Turbina Laval: schemat (obok), obudowa (poniżej)



obrotową turbiny. Po 10 latach Lavalowi udało się zwiększyć moc turbiny do 500 KM, przy jednoczesnym zmniejszeniu prędkości obrotowej (do 10.000 obr./min.). Jednak i przy tych parametrach występowała tak duża siła odśrodkowa, że w dalszym ciągu stosowano przekładnie zębate do redukcji obrotów. Około roku 1900 inni wynalazcy zaczęli osadzać szereg kół Lavalą jedno za drugim na wspólnym wale. Pomiedzy koła te wstawili koła nieruchome zwane kierownicami. Rozwiązanie takie sprawiło, że rozprężenie pary zachodziło wiele razy w sposób stopniowy, a nie jednorazowo (w dyszach). W efekcie zmniejszona została prędkość obrotowa turbiny i można ją było sprząć bezpośrednio z generatorem prądu.

Niezależnie od Lavalą w tym samym czasie (1884 r.) swoją pierwszą turbinę buduje brytyjski inżynier Charles Algernon Parsons (1854-1931). Ma ona moc 6 KM, a na jej wale od razu umieszczonych jest kilka kół roboczych. Strumienie pary w tej turbinie uderzały bezpośrednio w łopatki, a wychodząc z nich odpychały je wstecz. Stąd też nazwa urządzenia, która przyjęła się w praktyce: „turbina akcyjno – reakcyjna Parsonsa” – rys. 2.24. Ten właśnie typ turbiny wywołał rewolucję w energetyce (był on powszechnie stosowany w elektrowniach). Parsons konsekwentnie udoskonalał urządzenie i ciągle zwiększał jego moc, która wynosiła: w roku 1900 – 1.000 kW, w roku 1912 – 25.000 kW, a pod koniec życia wynalazcy nawet 200.000 kW.



Rys. 2.24. Turbina Parsonsa, ok. 1887 r.

2.7. Energia elektryczna

Tales z Miletu (ok. 625 p.n.e.-ok. 545 p.n.e.) około 550 roku p.n.e. jako pierwszy zaobserwował zjawiska elektrostatyczne. Zauważył on, że potarty bursztyn nabiera zdolności przyciągania skrawków pewnych materiałów. Jego odkrycia wykorzystał William Gilbert (1540-1603) dopiero w drugiej połowie XVI wieku, wykazując, że nie tylko bursztyn (po grecku nazywa się elektron), ale wiele innych substancji można naelektryzować przez tarcie. Jego badania kontynuował Otto von Guericke (1602-1686), który około 1663 roku wynalazł prostą maszynę elektrostatyczną, dzięki której zauważył, że stan naelektryzowania można przenosić na inne przedmioty.

W roku 1729 Anglik Stephen Gray (1666-1736) stwierdził, że fluid elektryczny umie przenieść się ze szklanej rury na jej zatyczkę, oraz zauważył, że istnieją dobre i złe przewodniki prądu elektrycznego. Używając metalowych przewodów odkrył, że osoba połączona drutem z ciałem silnie naelektryzowanym doznawała silnego wstrząsu. Od tego momentu elektryczność stała się „modna”. Nieco później dokonano odkrycia, że istnieją dwa rodzaje naelektryzowania ciał w efekcie czego wprowadzono nazwy: elektryczność żywiczna i elektryczność szklana. W 1734 r. Francuz Charles-François de Cisternay Du Fay (1698-1739) stwierdził istnienie dwóch rodzajów ładunków elektrycznych: dodatnich (powstają w pocieranym szkłe) i ujemnych (powstają w pocieranym ebonicie).

Znaczny postęp w badaniach doświadczalnych spowodowało wynalezienie butelki lejdejskiej (rys. 2.25) czyli najstarszej postaci kondensatora elektrycznego - urządzenia do przechowywania elektryczności. Właściwości butelki odkrył przypadkowo w 1745 roku w Lejdzie (stąd nazwa), Pieter van Musschenbroek (1692-1761), profesor tamtejszego uniwersytetu oraz niezależnie od niego Ewald Jürgen von Kleist (1700-1748). Obaj ogłosili swój wynalazek w roku 1740. Pierwotnie

było to naczynie ze szkła wypełnione wodą i zatkane korkiem, który był przebity na wylot miedzianym drutem. Butelkę można było naładować elektrycznie stykając pręt z naładowanym ciałem. Poprzez drut i wodę prąd dostawał się do środka naczynia i ładował dodatnio lub ujemnie jego wewnętrzne ścianki. Pojemność elektryczną można było znacznie zwiększyć, pokrywając szkło od zewnątrz i wewnątrz folią przewodzącą prąd. Po połączeniu obu folii przewodnikiem można było uzyskać wyraźne efekty rozładowania butelki lejdejskiej.

Wkrótce po wynalezieniu tego przyrządu, francuski ksiądz Jean-Antoine Nollet (1700-1770), zapalony eksperymentator, na dziedzińcu królewskiego pałacu w Wersalu, w obecności króla i całego dworu, rozładował butelkę lejdejską, używszy zamiast przewodnika łańcucha trzymających się za ręce 240 królewskich gwardzistów. Zgromadzona w butelce elektryczność pokazała, jak potężną jest siłą. Ku wielkiemu podziwowi, ale i wielkiej ucieście widzów, porażeni wyładowaniem gwardziści równocześnie podskoczyli do góry. Innym razem ten sam eksperymentator rozładował butelkę łańcuchem niemal trzykilometrowej długości utworzonym z zakonników opactwa w Chartreux,

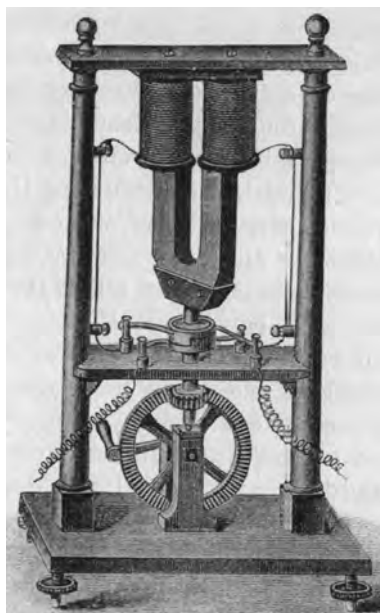


Rys. 2.25. Butelka lejdejska, muzeum w Lejdzie

połączonych ze sobą odcinkami drutu. I w tym doświadczeniu jego uczestnicy wyraźnie odczuli wstrząs.

Wielkie znaczenie dla rozwoju elektrostatyki miały prace doświadczalne Benjamina Franklina, który w roku 1752 złapał prąd z błyskawicy do butelki lejdeckiej i dowiódł, że w piorunach jest elektryczność. W 1752 r. Benjamin Franklin (1706-1790) zbudował pierwszy piorunochron, wypuszczając swojego latawca na metalowej linie podczas burzy.

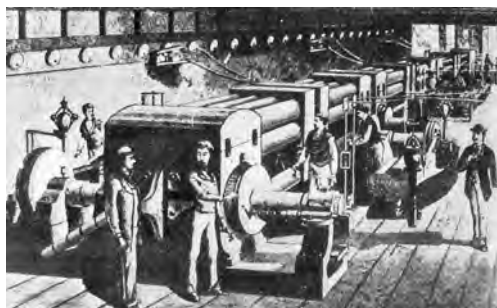
W 1785 r. Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) sformułował prawo opisujące oddziaływanie spoczywających ładunków elektrycznych. Duże znaczenie praktyczne miały wynalazki Alessandro Volty (1745-1827): kondensator (1782 r.) i ogniwo elektryczne (1800 r.). Gwałtowny rozwój badań zjawisk elektrycznych nastąpił w pierwszej połowie XIX w.: w 1820 r. Hans Christian Ørsted (1777-1851) odkrył wzajemny wpływ zjawisk elektrycznych i magnetycznych, w 1821 Andre Marie Ampere (1775-1836) odkrył wzajemne oddziaływanie magnetyczne obwodów elektrycznych, przez które płynie prąd, w 1826 r. Georg Simon Ohm (1787-1854) określił związek pomiędzy natężeniem prądu a napięciem w obwodzie elektrycznym. W 1831 roku Michael Faraday (1791-1867) odkrył indukcję elektromagnetyczną i samoindukcję. Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) sformułował podstawowe prawa dotyczące prądów elektrycznych w obwodach (prawa Kirchhoffa). Ścisłe sformułowanie fundamentalnych praw elektrodynamiki klasycznej podał w 1864 r. James Clerk Maxwell (1831-1879), a w 1888 r. Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) odkrył przewidziane przez Maxwella fale elektromagnetyczne. W 1897 r. Joseph John Thomson (1856-1940) odkrył elektron, w 1909 r. Robert Andrews Millikan (1868-1953) wyznaczył wielkość ładunku elementarnego. W 1905 roku Albert Einstein (1879-1955) wyjaśnił zjawiska magnetyczne jako efekty relatywistyczne wywołane ruchem ładunków elektrycznych (teoria względności).



Rys. 2.26. Generator Pixii'ego, 1832 r.

Pierwszy w dziejach generator prądu elektrycznego, pracujący na stałych magnesach, (rys. 2.26) zbudował w roku 1832 Francuz Hippolyte Pixii (1808-1835). Maszynę tego typu nazwano magnetoelektryczną (w skrócie magneto). Dawała ona stosunkowo słaby prąd, gdyż pole magnetyczne wytwarzane przez magnesy stałe nie jest zbyt silne. Przełomem w produkcji energii elektrycznej było wynalezienie w 1866 roku przez Ernsta Wernera von Simensa (1816-1892) generatora dynamoelektrycznego (w skrócie dynamo). W urządzeniu tym pole magnetyczne wytwarzają elektromagnesy zasilane prądem produkowanym przez nie same. Generator tego typu pozwala wytwarzać prąd elektryczny w dowolnych ilościach pod warunkiem, że jest dostateczna ilość energii do jego napędu.

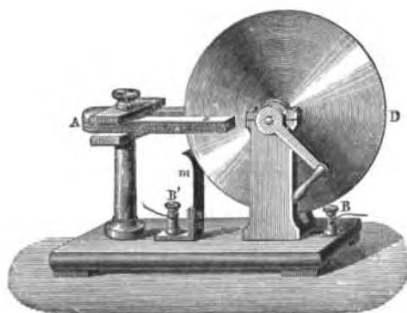
Po pokonaniu problemów związanych z przesyłaniem energii elektrycznej na duże odległości, przy znaczącym udziale Polaka Michała Doliwo - Dobrowolskiego (1862-1919), który wynalazł prąd trójfazowy rozpoczęto elektryfikację świata. Pierwszą elektrownią mógł się poszczycić Nowy Jork



Rys. 2.27. Pierwsza elektrownia w świecie - Nowy Jork, 1882 r.

(1882 r.). W zakładzie tym (rys. 2.27) prąd stały wytwarzało 6 dynamomaszyn systemu Thomasa Edisona (1847-1931). Każda z nich zasilana była silnikiem parowym o mocy 125 KM. W rok później powstały elektrownie w Petersburgu i Mediolanie, a w roku 1884 w Berlinie. Od tego czasu energia elektryczna zaczęła sukcesywnie zdobywać świat. W Polsce pierwsze siłownie ciepłe (parowe) powstały jeszcze w XIX wieku. Dostarczały one energii poszczególnym zakładom przemysłu mechanicznego, włókienniczego, hutom, kopalniom itp. Natomiast pierwszą elektrownię miejską w Królestwie Polskim oddano do użycia w 1900 r. w Radomiu, kolejną dwa lata później w Warszawie. Po pierwszej wojnie światowej planowano w Polsce budowę wielu elektrowni, ale zadania tego nie zrealizowano. Dopiero po II wojnie światowej miało miejsce gwałtowny rozwój elektroenergetyki w oparciu o rodzime zasoby surowców – węgla kamiennego i brunatnego.

Odnosnie dziejów silnika elektrycznego należy podać, że pierwszym z nich był tak zwany „dysk Faradaya”, wynaleziony w roku 1831 – rys. 2.28. Trzy lata później Moritz Hermann von Jacobi (1801-1874), fizyk i elektrotechnik pochodzenia niemieckiego, zbudował komutatorowy silnik elektryczny i zastosował go w praktyce do napędzania łódki. Pierwszy silnik elektryczny zastosowany w obrabiarce zbudował w roku 1837 amerykański konstruktor Thomas Davenport (1802-1851). Użył go następnie do napędu wiertarki i tokarki do drewna. Silnik ten osią-

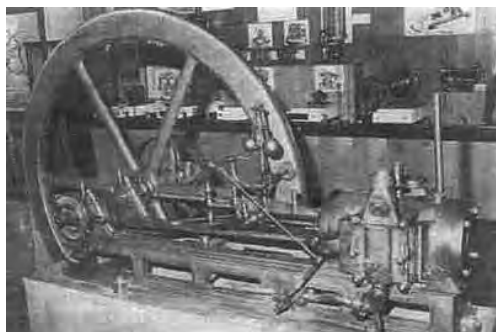


Rys. 2.28. Dysk Faradaya, 1831 r.

gał prędkość 450 obr./min. Dwa lata później Davenport zbudował większy silnik, napędzający rotacyjną prasę drukarską. Drukował na niej czasopismo poświęcone elektryczności. Jako pierwsze zastosowanie silnika elektrycznego do napędzania dużego obiektu można przyjąć elektrowóz zasilany prądem o napięciu 150 V, zbudowany w roku 1879 przez von Siemens. W roku 1881 zbudował on w Berlinie pierwszy elektryczny tramwaj. Warto jeszcze dodać, że dwufazowy silnik indukcyjny wynalazł w roku 1887 Nikola Tesla (1856-1943), elektryk amerykański pochodzenia chorwackiego. W dwa lata później Doliwo-Dobrowolski, zbudował trójfazowy silnik indukcyjny z wirnikiem klatkowym. Wkrótce potem, bo w roku 1902, niemiecki inżynier Ernst Danielson (1866-1907) zbudował silnik synchroniczny.

2.8. Silnik spalinowy

Początków silnika spalinowego można dopatrywać się w maszynie prochowej Huygensa – rys. 2.12. Pomimo tego, że maszyna ta nie była wykorzystana praktycznie to urzeczywistniała zasadniczą cechę silnika spalinowego tłokowego, jaką jest spalanie paliwa w powietrzu wewnątrz zamkniętego cylindra mieszczącego tłok. Wywołuje to powstanie w cylindrze dużego ciśnienia działającego na tłok i wprawiającego silnik w ruch. Jednakże proch nie nadaje się do skutecznego napędu silnika.



Rys. 2.29. Dwusuwowy, gazowy silnik Lenoira, ok. 1860 r.

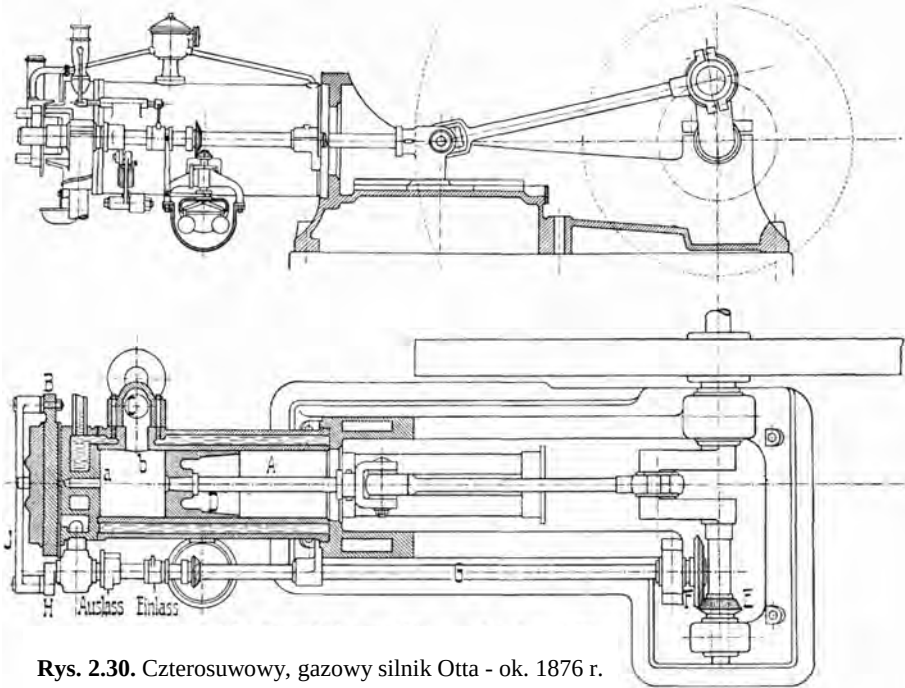
W roku 1783 rozpoczęto produkcję gazu świetlnego, w następstwie czego wielu ludzi zaczęło się zastanawiać, czy nie można wykorzystać tego paliwa do napędu maszyn. W ciągu pierwszych 60 lat XIX wieku wykonano wiele prac w tym zakresie. Warto tutaj wymienić następujące osoby, działające na tym polu: Philippe Lebon (1801 r.), Samuel Brown (1825 r.), L. W. Wright (1833 r.), Nicolo Barsanti i Felice Mateucci (1857 r.), Christian Reithman (1858 r.) i William Siemens (1860 r.). Silniki wymienionych twórców (patentowane lub wykonane w latach podanych w nawiasach) nie znalazły zastosowania praktycznego ze względu na liczne usterki, ale pozwoliły na skrytalizowanie zasad określających dość jednoznacznie, jak powinien być zbudowany silnik spalinowy.

Osobą, która wykorzystała rezultaty dotychczasowych prób budowy silników spalinowych był Etienne Lenoir (1822-1900). W roku 1859 konstruuje on swój pierwszy, ciężki, wolnobieżny, gazowy silnik (uznany za pierwszy silnik dwusuwowy) – będący właściwie imitacją maszyny parowej (rys. 2.29). Silnik ten miał niewielką moc 0,5 KM przy prędkości 50 obr./min., był prymitywny i niskosprawny oraz stale gał (rzadko kiedy pracował ponad 10 min.). Z powodu tych wad bardzo szybko został zastąpiony przez silnik dwusuwowy, opracowany przez Nikolausa Otto (1832-1891) i Eugena Langena (1833-1895), zaprezentowany na wystawie światowej w Paryżu w 1867 r., który zużywał

trzy razy mniej gazu. W ciągu 10 lat sprzedano 5.000 tych silników, których moc zawierała się w przedziale 0,25÷3 KM (większych mocy nie udało się uzyskać). Jednakże i ten silnik był powolny, hałaśliwy, pracował nieregularnie i dlatego też zniknął momentalnie, gdy tylko ukazał się nowy (opatentowany w 1876 r.) czterotaktowy silnik Otto – rys. 2.30. Tego rodzaju maszyn, tzw. cichych silników Otto wyprodukowano ok. 30.000.

Cykl pracy silnika czterosuwowego składa się z czterech suwów – rys. 2.31. Na początku, w suwie ssania tłok porusza się ku dołowi zasysając mieszankę poprzez jeden lub kilka otwartych zaworów wlotowych bezpośrednio do górnej części cylindra. Przestrzeń pod tłokiem nie jest tu wykorzystywana, w przeciwieństwie do silnika dwusuwowego. Następnie, po zamknięciu zaworów wlotowych, tłok porusza się do góry sprężając mieszankę w suwie sprężania. Sprężona mieszanka jest zapalana przez iskrę elektryczną, a tłok popychany przez rozprężające się gazy wędruje w dół w suwie pracy. W ostatniej fazie, w suwie wydechu, tłok poruszając się ku górze wypycha spaliny przez otwarte w tym czasie zawory wydechowe. Potem cały cykl pracy powtarza się. Pomimo tego, że silnik czterosuwowy jest znacznie sprawniejszy od dwusuwowego, to zaledwie jedna trzecia energii spalonego paliwa przekształcana jest w efektywną energię mechaniczną. Reszta, ponad 60%, jest tracona ponieważ rozprężone tłoki zatrzymywane są w skrajnych położeniach, po czym rozprężane są w stronę przeciwną.

Otto wraz z Langenem założyli (1864 r.) pierwszą w świecie fabrykę silników spalinowych „N. A. Otto & Cie”, przekształconą w 1869 r. w „Gasmotorenfabrik Deutz” (dzisiejsze Deutz AG). W roku 1872 członkiem dykcji tej fabryki został Gottlieb Daimler (1834-1900), który sprowadził do firmy wybitnego konstruktora Wilhelma Maybacha (1846-1929). Daimler w sposób znaczący unowocześnił silnik Otto – obniżył jego ciężar z 1000 kg do 100 kg na 1 KM mocy. Udało mu się również zwiększyć moc silni-

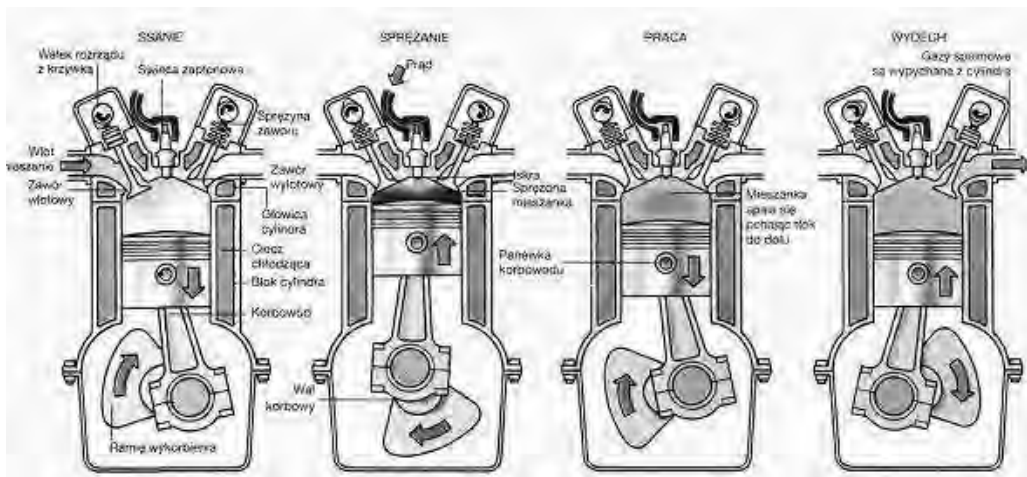


Rys. 2.30. Czterosuwowy, gazowy silnik Otta - ok. 1876 r.

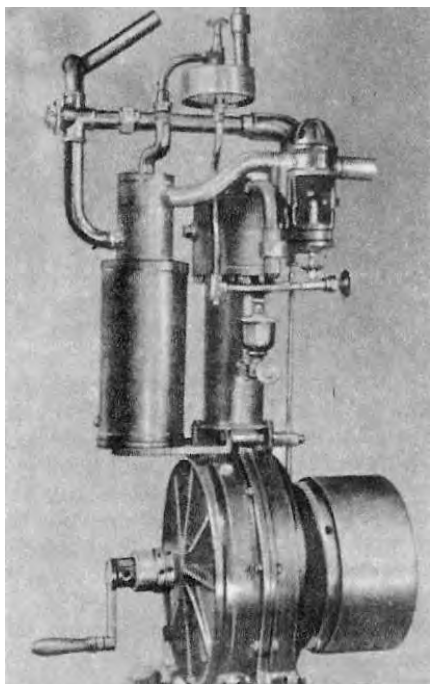
ków jednocylindrowych do 8 KM (z wartości początkowej 3 KM). W roku 1882 zakłady opuścił pierwszy silnik dwucylindrowy o mocy 80 KM.

Po 10 latach współpracy Daimler rozstał się z Otto i postanowił zbudować własny silnik na paliwo ciekłe. Daimler w 1882 roku

założył własny warsztat doświadczalny w Cannstatt celem opracowania projektu małego silnika benzynowego dużej mocy, który by zastąpił powszechnie stosowane silniki na gaz miejski, o dużych gabarytach i odpowiednio znacznym ciężarze. Po roku prac rozwojowych prowadzonych wspólnie z



Rys. 2.31. Schematyczne przedstawienie cyklu pracy silnika czterosuwowego



Rys. 2.32. Pierwszy szybkobieżny silnik benzynowy Daimlera z 1885 roku. Wyposażony on był w gaźnik oraz regulator obrotów.

Maybachem mieli gotowy czterosuwowy silnik jednocylindrowy (rys. 2.32), jako paliwo zastosowali benzynę, co wówczas nie było oczywiste (mieli do wyboru różne frakcje ropy naftowej oraz olej z oliwek, ten ostatni zapewne był wówczas łatwiej dostępny niż benzyna).

Najważniejszą zasługą Daimlera było to, że stworzył silnik o znacznej mocy przy stosunkowo niewielkich wymiarach (dzięki dużej liczbie obrotów, wynoszącej 800÷900 obr./min.). Małe wymiary silnika umożliwiały jego łatwe zabudowanie w pojazdach mechanicznych. Uruchomienie silnika trwało kilka minut, gdyż mieszanka paliwowa zapalana była za pomocą rurki żarowej, którą należało rozpalić do czerwoności. Wówczas nie stosowano zapłonu elektrycznego, który został upowszechniony przez Karla Benz (1844-1929), dopiero pod koniec wieku XIX.

Daimler postanowił sprawdzić swój silnik w dwukołowym, drewnianym wehikule, przypominającym z wyglądu motocykl, któremu po bokach dodano 2 małe kółka (zabezpieczenie przed wywrotką). Ten pierwszy motocykl świata poruszał się z prędkością 12 km/h – rys. 2.33.

Rozwój silników spalinowych związany jest nieodwracalnie z osobą Rudolfa Diesla (1858-1913), który skonstruował silnik o nieco zmienionej konstrukcji i zasadzie działania, niż silniki spalinowe znane dotychczas. Przyświecającym mu celem było stworzenie maszyny jeszcze wydajniejszej, a opierającej się na ogólnej koncepcji silnika spalinowego.

W roku 1893 zdobył patent na swą konstrukcję „silnika o zapłonie samoczynnym” – 2.34. W roku 1897 Diesel zbudował pierwszy dwucylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym, który otrzymał nagrodę Grand Prix na wystawie w Paryżu. Silnik ten bezpośrednio z wystawy został przewieziony do Warszawy, gdzie był zastosowany do napędu prądnicy w elektrowni hotelu „BRISTOL”.

Zasada pracy czterosuwowego silnika Diesla jest następująca (rys. 2.35). W suwessania tłok porusza się w dół, zasysając do cylindra powietrze przez zawór wlotowy.



Rys. 2.33. Pierwszy motocykl Daimlera z 1885 roku, nazywany „wstrząsaczem kości”



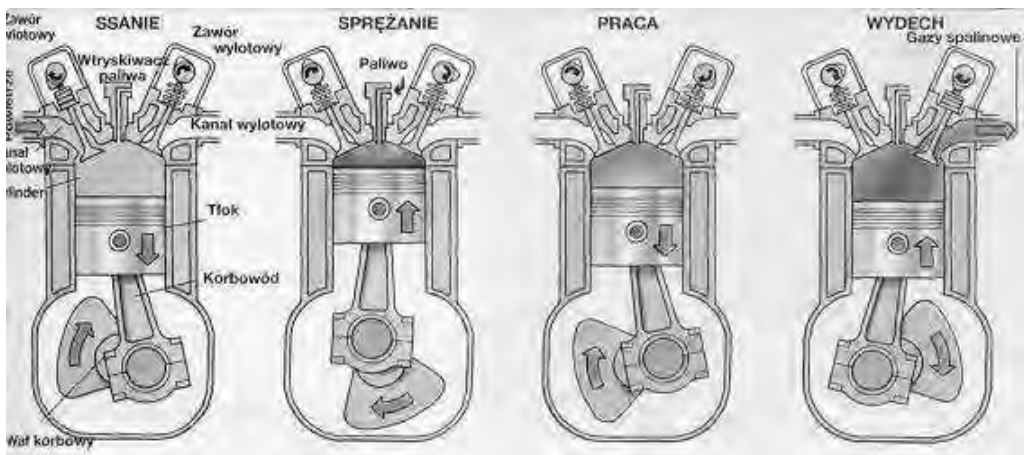
Rys. 2.34. Świadczenie patentowe Rudolfa Diesla z dnia 23.02.1893 r.

W suwie sprężania tłok porusza się ku górze przy zamkniętych zaworach, przez co wzrasta ciśnienie i temperatura powietrza w cylindrze. Pod koniec tego suwu następuje wtrysk

paliwa. W suwie pracy eksplodująca mieszanka przesuwa tłok ku dołowi. Tłok wędruje następnie ku górze podczas suwu wydechu.

Konstrukcja silnika, którą opracował Diesel była bardzo zawodną i trudną w eksploatacji poprzez zastosowanie wtrysku paliwa do cylindra za pomocą sprężonego powietrza. Układ wtryskowy wymagał wielostopniowej sprężarki, aby uzyskać wystarczająco wysokie ciśnienie powietrza za pomocą którego wtryskiwana i rozpylana była dawka paliwa. Przy ówczesnej technologii materiałowej zapewnienie odpowiedniej trwałości i niezawodności sprężarki było trudne, powiększało to gabaryty i ciężar niewielkiego silnika, oraz zwiększało ilość części ruchomych wymagających okresowego serwisowania. Dopiero opracowanie hydraulicznego wtrysku paliwa (1908 r.) pozwoliło na szeroki rozwój silników wysokoprężnych pracujących na oleju napędowym.

Pierwszy pojazd dieslowski produkcji firmy MAN był jednocyldrowym gigantem o pojemności niemal 20 litrów, który przy prędkości 172 obrotów na minutę rozwinął moc 15 kW. W 1936 roku Mercedes zastosował diesla po raz pierwszy w seryjnym aucie osobowym. Nieco więcej światła na temat zastosowania silnika wysokoprężnego daje przedstawione poniżej kalendarium, zawie-

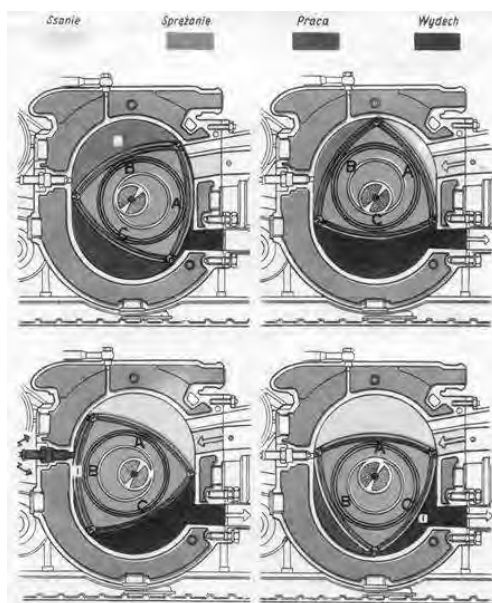


Rys. 2.35. Schematyczne przedstawienie cyklu prac silnika wysokoprężnego Diesla

rające najważniejsze wydarzenia związane z jego rozwojem:

- ❑ 1897 – prace rozwojowe silnika doprowadzają do uzyskania konstrukcji o stosunkowo dobrych własnościach eksploatacyjnych;
- ❑ 1902 – 1910 firma MAN wyprodukowała 82 stacjonarne silniki wysokoprężne DM12;
- ❑ 1908 – uzyskanie wystarczająco precyzyjnej pompy wtryskowej oraz zastosowanie komory wstępnej;
- ❑ 1910 – zastosowanie pierwszego silnika wysokoprężnego do napędu statków, i rozpoczęcie powolnego wypierania napędu parowego;
- ❑ 1923 – pierwszy ciągnik i ciężarówka napędzana silnikiem wysokoprężnym;
- ❑ 1936 – pierwsze zastosowania w samochodach osobowych;
- ❑ 1937 – pierwsze zastosowania do napędu samolotów (Junkers);
- ❑ 1968 – zastosowanie silnika wysokoprężnego ustawionego poprzecznie przez Peugeot w modelu 204;
- ❑ 1978 – uruchomienie produkcji VW Golf Diesel;
- ❑ 1985 – FIAT jako pierwszy prezentuje samochód z doładowanym silnikiem wysokoprężnym z bezpośrednim wtryskiem (Croma TDI), i tym samym narzuca kierunek rozwoju silników wysokoprężnych;
- ❑ 1993 – FIAT patentuje i wprowadza na rynek technologię common rail (nowoczesna wersja systemu bezpośredniego wtrysku paliwa);
- ❑ 2004 – w krajach Europy zachodniej udział nowo rejestrowanych samochodów z silnikiem wysokoprężnym przekracza 50 %.

Stosunkowo nowym rozwiązaniem jest silnik spalinowy, w którym tłok obraca się wewnątrz cylindra. Konstrukcje takiego silnika wynalazł i opatentował w roku 1960 Felix Wankel (1902-1988). W maszynie tej



Rys. 2.36. Schematyczne przedstawienie cyklu pracy silnika Wankla

zmianę objętości mieszanki paliwowej uzyskuje się przez: 1) mimośrodkowe umieszczenie najczęściej mimośrodkowego tłoka w cylindrze eliptycznym; 2) zastosowanie kilku tłoków o nierównej prędkości lub zazębiających się wzajemnie.

W silniku Wankla (rys. 2.36) wirnik obraca się na mimośrodku wewnątrz komory spalania. W sytuacji, gdy któraś z trzech ścian wirnika przechodzi naprzeciw zaworu wlotowego następuje zassanie mieszanki paliwowo – powietrznej. Mieszanka ta jest następnie sprężana i zapalana iskrą elektryczną. Gazy spalinowe rozprężając się pchają wirnik, a następnie uchodzą przez zawór wlotowy.

Silnik Wankla, mimo swych zalet jakimi są zwarta i prosta konstrukcja, wysoka moc jednostkowa oraz równomierność pracy, napotkał przeszkody dla szerokiego zastosowania. Stanowiły je problemy konstrukcyjne oraz technologiczne. Do produkcji rotorów oraz bloku silnika używano stopów na tyle słabych że silniki zużywały się dość szybko. Były nawet sytuacje gdy bloki nie wytrzy-

mywały i pękały. W dodatku konstrukcja silnika była bardzo trudna do uszczelnienia a silnik zużywał dużo paliwa.

Wraz z rozwojem techniki firma Mazda pokonała te problemy i zastosowała silnik Wankla w samochodzie Mazda RX-7 (produkcja 1978 r.). Obecnie już nie produkuje się tego modelu. Zastąpił go nowszy Mazda RX-8. Zastosowany w tym modelu silnik Wankla nazwano Renesis. Kilkakrotnie zdobył nagrody za najlepszy silnik roku. Konstrukcja silnika jest na tyle uniwersalna że firma Mazda testuje silnik Wankla – Renesis używający jako paliwa wodoru (RX-8 Hydrogen RE concept car).

Kolejną odmianę silnika spalinowego stanowi silnik odrzutowy, działający na zasadzie wyrzucania z dużą prędkością strumienia gazów, co zapewnia ciąg do przodu na podstawie trzeciego prawa dynamiki Newtona. Silniki odrzutowe podzielić można na przełotowe, w których utleniaczem niezbędnym do procesu spalania jest zasysane z otoczenia powietrze, oraz raketowe, używające do tego celu różnego rodzaju utleniaczy przewożonych wraz z paliwem. Potocznie przez silnik odrzutowy rozumie się najczęściej silniki turboodrzutowe i turbowentylatorowe.

Silniki raketowe (używane do XX wieku jedynie do zastosowań militarnych oraz napędu fajerwerków) stosowano przynajmniej od wieku XII. Wynaleziono je w Chinach. Pierwszy odrzutowy silnik lotniczy, tzw. motojet powstał w 1910. Jego konstruktorem był Henri Coanda (1886-1972). Silnik ten bazował na zainstalowanym w jego przedniej części silniku tłokowym, który sprężał powietrze jednocześnie je tłocząc do komory spalania, gdzie pod ciśnieniem mieszało się ono z olejem napędowym i wybuchало. Wysoka temperatura powodowała rozszerzenie gazu, który wydostając się z silnika napędzał samolot na zasadzie odrzutu. Silniki tego typu były znacznie mniej wydajne od silników turboodrzutowych.

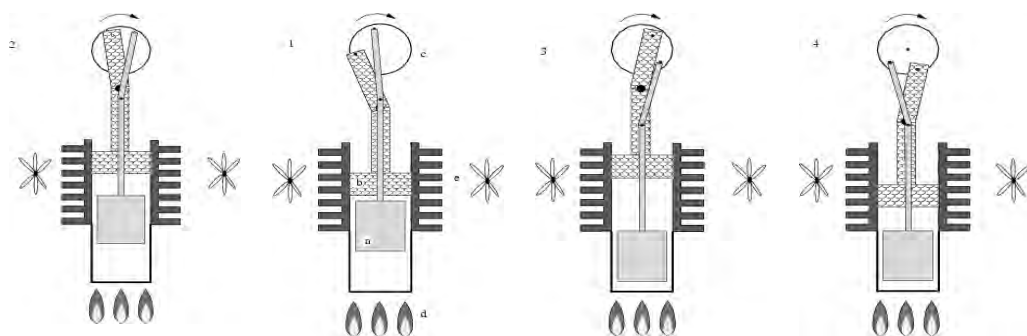
Pierwszy nowoczesny silnik turboodrzutowy opatentował w 1930 roku Anglik Frank Whittle (1907-1996). Natomiast 27

sierpnia 1939 odbył swój pierwszy lot Heinkel He 178, był to pierwszy samolot napędzany silnikiem turboodrzutowym.

Omawiając silniki spalinowe nie sposób nie wspomnieć o silniku cieplnym Stirlinga, który przetwarza energię cieplną w energię mechaniczną, jednak bez procesu wewnętrznego spalania paliwa, a na skutek dostarczania ciepła z zewnątrz. Dzięki temu możliwe jest zasilanie silnika z dowolnego źródła ciepła, którym może być spalanie jakiegoś paliwa, ale nie koniecznie. W małych modelach (zabawkach) wykorzystuje się np. ciepło ludzkiego ciała (najczęściej dłoni).

Silnik ten wynalazł szkocki duchowny Robert Stirling (1790-1878) i opatentował go w 1816 roku (patent angielski nr 4081). W XIX i XX wieku używano go do napędu niewielkich maszyn. Silnik emituje bardzo mało zanieczyszczeń i jest bardzo wydajny. Zbudowane dotychczas prototypy silnika osiągały moc do 500 KM i dobre współczynniki wydajności 35-40% (klasyczne silniki spalinowe mają ten współczynnik na poziomie ok. 20-25%). Silnik Stirlinga nie ma rozrządu, nie korzysta ze spalania wybuchowego i nie ma wydechu, czyli nie ma źródeł hałasu - dzięki temu jest niemal bezgłośny. Podstawową zaletą silnika jest to, że cykl Stirlinga jest bardzo zbliżony do cyklu Carnota co zapewnia mu dużą sprawność. Wadą są natomiast niskie obroty kompensowane w dużym stopniu możliwością dokładnej kontroli procesu spalania paliwa, znacznie lepszej, niż w przypadku silnika tłokowego, co umożliwia utrzymanie niskiej toksyczności spalin.

W cyklu pracy silnika Stirlinga (rys. 2.37) czynnik roboczy (jest nim zazwyczaj gaz np. tlen lub wodór) sprężany jest i oziębiany w zimnej komorze. Następnie przenoszony jest do komory gorącej, gdzie ulega rozprężeniu, a powstająca w ten sposób energia napędza tłok. Ponieważ rozszerzanie gazu w wysokiej temperaturze daje więcej energii, niż wymaga sprężenie gazu w niskiej temperaturze, silnik wykorzystuje różnicę i zamienia energię cieplną na mechaniczną. Niezbędne w pracy silnika ciepło pochodzi ze



Rys. 2.37. Schematyczne przedstawianie pracy poszczególnych etapów silnika cieplnego Stirlinga

spalania dowolnej nadającej się do tego celu substancji. Może to być np. benzyna, olej napędowy, gaz ziemny itp.

Silnik Stirlinga jest wykorzystywany np. do napędzania szwedzkich okrętów podwodnych typu Gottland, jako ciche źródło napędu do „pełzania” w zanurzeniu. Rozważa się także stosowanie tego silnika do wytwarzania energii elektrycznej przy wykorzystaniu geotermalnych źródeł ciepła.

2.9. Energia słoneczna

Początki wykorzystania energii słonecznej do celów produkcyjnych są bardzo wcześnie. Pierwsze eksperymenty w tej dziedzinie przeprowadził chemik francuski Antoine Lavoisier (1743-1794) budując specjalny piec słoneczny, w którym przy użyciu wielkich

soczewek osiągnął temperaturę pozwalającą na szybkie topienie żelaza. W XIX wieku badania te zaniedbano

Obecnie zastosowanie energii słonecznej przeżywa swój renesans. Poniżej podaje się niektóre, ważniejsze zastosowania (mające miejsce w drugiej połowie XX w.) tego rodzaju źródła energii:

- ❑ baterie słoneczne – używane na szeroką skalę w kalkulatorach, lampach słonecznych, zegarkach, automatach telefonicznych, kolektorach do ogrzewania wody (rys. 2.38), itp.;
- ❑ lotnictwo i kosmonautyka – w roku 1981 samolot Solar Challenger przeleciał nad kanałem La Manche wykorzystując jako źródło zasilania tylko energię słoneczną (skrzydła tego samolotu były bateriami słonecznymi zasilającymi jego silnik elektryczny);
- ❑ karawaning – baterie na dachu wozu kempingowego są używane do zasilania różnych, przenośnych odbiorników energii wykorzystywanych przez turystów;
- ❑ żeglarstwo - ogólnie stosowane do doładowania akumulatora jachtu, co jest szczególnie istotne w związku z wymogiem posiadania radia (krótkofalówki) na pokładzie jednostek pełnomorskich.



Rys. 2.38. Kolektory słoneczne do podgrzewania wody (Grecja, czasy obecne)

2.10. Energia jądrowa

Jeszcze w XIX wieku uczeni byli przekonani, że cały wszechświat zbudowany jest

z niepodzielnych i niezniszczalnych atomów. Pogląd ten został podważony dopiero w 1896 roku przez Henri Becquerela (1852-1908), który odkrył zjawisko promieniotwórczości badając fluorescencję rud uranu. W roku 1895 Phillip Lenard (1862-1947) stwierdził, że z pierwiastka promieniotwórczego wyrzucane są jakieś naładowane cząstki ujemne. Cząstki te zostały dokładnie określone dwa lata później przez Anglika Johna Josepha Thomsona (1856-1940) i od tej pory nazywane są elektronami.

Maria Curie Skłodowska (1867-1934) - rys. 2.39 - i Piotr Curie (1859-1906) odkrywcy radu (1898 r.) ogłosili na początku wieku XX (1903 r.), że 1 gram tego pierwiastka w ciągu godziny wydziela ok. 100 kalorii ciepła. Ustalono zatem, iż całkowita ilość ciepła wytworzona przez rozpadający się pierwiastek jest 20.000 do 1.000.000 razy większa niż przy reakcjach chemicznych. Około roku 1911 odkryto, iż atom składa się z jądra zawierającego protony i elektrony (przy czym stwierdzono, iż jądra tych samych pierwiastków mogą mieć różne ciężary atomowe, co potwierdzało istnienie różnych odmian tego samego pierwiastka – zwanych izotopami). Około roku 1930 w różnych laboratoriach prowadzono próby polegające na bombardowaniu jąder atomowych sztucznie rozpędzonymi jądrami wodoru, oraz cząstkami nowego typu, o których nie miano jeszcze dokładnych wiadomości. Cząstki te zba-

dane zostały w roku 1932 przez Jamesa Chadwicka (1891-1974), który nazwał je neutronami.

W roku 1932 John Cockroft (1897-1967) z Anglii i Ernst Walton (1903-1995) z Irlandii zbudowali pierwszy akcelerator cząstek, który został wykorzystany do bombardowania protonami atomów litu. Wywołali w ten sposób po raz pierwszy rozbitcie jądra przy użyciu sztucznie przyspieszonych cząstek. Kilka lat później to samo zrobiono z uranem: Otto Hahn (1879-1968) i Fritz Strassmann (1902-1980) w Niemczech – 1938 r., Enrico Fermi (1901-1954) we Włoszech – 1939 r. oraz Frederick Joliot-Curie (1900-1958) we Francji – 1939 r. Stwierdzono wówczas, że podczas rozszczepiania jąder uranu tworzą się swobodne neutrony, które mają prędkość wystarczającą do rozbitcia kolejnych jąder uranu. W ten sposób odkryto reakcję łańcuchową.

W czasie II wojny światowej skoncentrowano się na pracach związanych z budową bomby atomowej. Wyścig zbrojeń w tym zakresie wygrali Amerykanie realizując tzw. projekt Manhattan. Został on opracowany na polecenie prezydenta Franklina Delano Roosevelta (1882-1945) i był realizowany od 1942 roku. Start Projektu Manhattan był możliwy dzięki dostarczeniu w 1940 r. z Kongo do USA 1250 ton bogatej rudy uranu. Badania prowadzono w 3 ośrodkach: w Columbia University w Nowym Jorku, uniwersytecie w Chicago i uniwersytecie stanu Kalifornia. Konstrukcję bomby opracowano w Los Alamos; w 1945 roku w ramach Projektu Manhattan wyprodukowano pierwszą amerykańską bombę atomową, a 16 lipca przeprowadzono jej próbny wybuch na poligonie wojskowym w stanie Nowy Meksyk, 340 kilometrów od Los Alamos, około 100 kilometrów od Alamogordo. Eksperyment którego podstawą była detonacja ładunku otrzymał kryptonim Trinity, bombę zaś nazwano Gadget. Według szacunków siła wybuchu ładunku plutonu wykorzystanego w bombie nie miała przekroczyć 500 ton trotylu (inaczej TNT). W trakcie eksplozji odnotowano siłę



Rys. 2.39. Maria Skłodowska - Curie wśród największych uczonych początku XX wieku (m.in. Wien, Einstein, Maurice de Broglie, Nernst, Planck, Poincare, Rutherford)



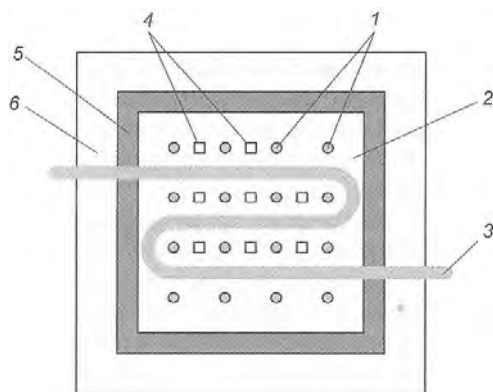
Rys. 2.40. Skutki wybuchu bomby atomowej w Nagasaki 9.08.1945 r. (odległości od epicentrum podane są w stopach)

odpowiadającą wybuchowi 18.600 TNT. W sierpniu tego samego roku podobna konstrukcja została wykorzystana przeciwko Japonii (6 sierpnia Hiroshima, 9 sierpnia Nagasaki – rys. 2.40).

Dla pokojowego wykorzystania energii należało spowolnić reakcję łańcuchową, tak by przebiegała w sposób kontrolowany. Dokonano tego budując reaktor jądrowy. Pierwszy reaktor (uranowo-grafitowy) zwany CP-1



Rys. 2.41. Pierwszy reaktor jądrowy CP-1, uruchomiony 2 grudnia 1942 r.



Rys. 2.42. Uproszczony schemat reaktora jądrowego; 1 – kanały paliwowe, 2 – moderator, 3 – system chłodzenia, 4 – pręty sterujące i pręty bezpieczeństwa, 5 – reflektor neutronów, 6 – osłona biologiczna i bezpieczeństwa

(ang. Chicago Pile no. 1 – rys. 2.41), zbudowany został na Uniwersytecie w Chicago pod kierunkiem Fermiego. Pierwsza kontrolowana reakcja łańcuchowa została w nim zapoczątkowana 2 grudnia 1942.

Uproszczony schemat reaktora jądrowego pokazany został na rys. 2.42. Typowy reaktor zbudowany jest z następujących elementów:

□ Rdzenia, który tworzą:

- pręty paliwowe (zwykle granulowany tlenek uranu);
- pręty sterujące i pręty bezpieczeństwa - zbudowane z substancji pochłaniających neutrony (np. bor, kadm), przy czym pręty sterujące służą do precyzyjnej zmiany strumienia neutronów, natomiast pręty bezpieczeństwa mają za zadanie całkowite przerwanie reakcji łańcuchowej w sytuacji awaryjnej - oba te rodzaje prętów wsuwa się i wysuwa z rdzenia w miarę potrzeby;
- chłodziwa - reaktory trzeba chłodzić, by odbierać produkowaną w nich energię. Chłodziwo w wymiennikach ciepła grzeje wodę w drugim obiegu, nie stykając się bezpośrednio z reaktorem. Chłodziwem może

być zarówno zwykła jak i ciężka woda. Niekiedy buduje się reaktory, w których ciśnienie wody chłodzącej dobrano w ten sposób, że wrze ona, gdy przechodzi przez rdzeń reaktora. W innych woda pod ciśnieniem 100-140 atmosfer ogrzewa się nawet do 3000°C, co pozwala na znaczne podniesienie sprawności urządzenia. Chłodziwem może być również powietrze, gazy (wodór, hel), lub ciekły metal - sód, potas bądź bismut;

- o kanały badawcze służące do kontrolowania poziomu strumienia neutronów, wykonywania naświetlań, itp.;
 - o moderator (grafit, woda, ciężka woda), którego zadaniem jest spowolnianie neutronów. Jeżeli szybkie neutrony zderzą się z jądrami lekkich pierwiastków, następuje ich spowolnienie. Reaktory w których rolę moderatora pełni ciężka woda, charakteryzują się najmniejszymi stratami neutronów.
- Reflektora neutronów, którego zadaniem jest zwiększenie strumienia neutronów w zewnętrznych częściach rdzenia lub ładunku jądrowego, dzięki rozpraszaniu neutronów wstecz, do obszaru zachodzenia reakcji łańcuchowej.
- Ośłon biologicznych, które zabezpieczają by promieniowanie nie wydostało się na zewnątrz.

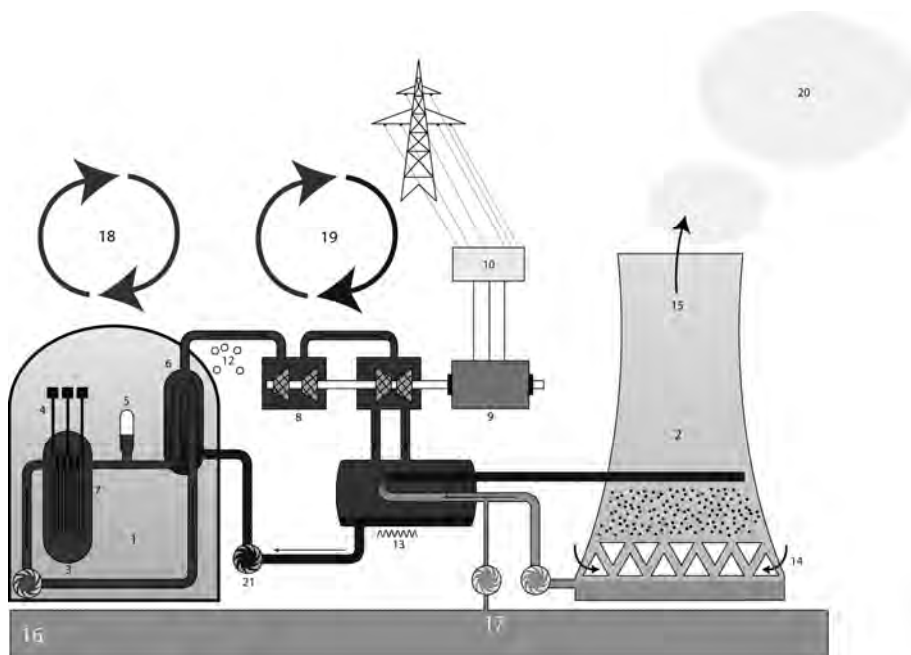
Reaktory jądrowe można podzielić ze względu na ich zastosowanie na: energetyczne, napędowe (do napędu statków i łodzi podwodnych), militarne (wytwarzające materiał do produkcji broni jądrowej) oraz badawcze. Pod koniec 2004 roku w świecie funkcjonowały 442 reaktory jądrowe.

Na kolejnym rysunku 2.43 przedstawiono schemat elektrowni jądrowej. W reaktorze jądrowym w wyniku reakcji rozszczepienia jąder atomowych wydzielają się duże ilości ciepła, które jest odbierane przez czynnik roboczy (najczęściej wodę pod wysokim ciśnieniem w tak zwanym obiegu

pierwotnym). Czynnik przepływa do wytwornicy pary, gdzie oddaje ciepło wrzącej wodzie z obiegu wtórnego o niższym ciśnieniu, a następnie powraca do reaktora. Para wodna (mokra) napędza następnie turbinę parową połączoną z generatorem. Separacja obiegów zapewnia większe bezpieczeństwo w przypadku wycieku pary z turbiny.

Pierwsza elektrownia jądrowa, o mocy 5 MW powstała w 1954 r. w Obnińsku (były ZSRR). Produkcja prądu nie była jednak w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych głównym zadaniem elektrowni jądrowych. Pierwszoplanowym celem ich budowy była produkcja wzbogaconego materiału rozszczepialnego do produkcji broni atomowej. W latach siedemdziesiątych XX wieku zaczęło gwałtownie przybywać bloków energetycznych z reaktorami atomowymi. Na świecie uruchamiano kilkanaście reaktorów rocznie (dla porównania w latach 1980-1989 średnio 22, a 1990-2004 tylko 5). Te gwałtowne zmiany były spowodowane prawie bezawaryjną pracą pierwszych elektrowni w tamtym czasie, co doprowadziło do zwiększenia zainteresowania tym rozwiązaniem. Natomiast spadek zainteresowania tym rodzajem energii wynikał z dwóch poważnych awarii (w Three Mile Island w 1979 r. i w Czarnobylu w 1986 r.) oraz ze zwiększenia wymagań dotyczących bezpieczeństwa bloków jądrowych. Cykl projektowania i budowy elektrowni atomowej trwa około 10 lat, na liczbę reaktorów uruchamianych w latach 80 ubiegłego wieku wpływ miały decyzje podjęte 10 lat wcześniej, a więc jeszcze przed awarią w elektrowni Three Mile Island.

W latach 80 i 90 XX wieku, wiele krajów wstrzymało się z podejmowaniem decyzji o budowie kolejnych bloków jądrowych. W Stanach Zjednoczonych nie rozpoczęto budowy żadnego nowego bloku od 1977. Obywatele Szwecji w referendum w 1979 roku zdecydowali o pełnym wycofaniu się z energetyki jądrowej. Buduje się natomiast dużo reaktorów w Azji (Chiny, Indie, Japonia, Korea Południowa i Korea Północna, Iran, Pakistan). Jednak po roku 2000 wiele



Rys. 2.43. Schemat ciepłny elektrowni jądrowej z reaktorem wodnym ciśnieniowym: 1 - blok reaktora, 2 - komin chłodzący, 3 – reaktor, 4 - pręty kontrolne, 5 - zbiornik wyrównawczy ciśnienia, 6 - generator pary, 7 - zbiornik paliwa, 8 – turbina, 9 – prądnica, 10 – transformator, 11 – skraplacz, 12 - stan gazowy, 13 - stan ciekły, 14 – powietrze, 15 - wilgotne powietrze, 16 – rzeka, 17 - układ chłodzenia, 18 - I obieg, 19 - II obieg, 20 - para wodna, 21 - pompa

krajów zaczęło ponownie rozpatrywać możliwość budowy elektrowni jądrowych. Jest to spowodowane, głównie zobowiązaniami dotyczącymi ograniczenia emisji dwutlenku węgla, prognozami wzrostu cen paliw kopalnych, ciągłego wzrostu zużycia energii elektrycznej oraz chęcią dywersyfikacji jej źródeł. Energia jądrowa jest najbardziej skondensowanym źródłem energii z jakiego obecnie korzysta człowiek. Uważa się, że przy rozsądnym gospodarowaniu jest to także jedna z najczystszych obecnie znanych form produkcji energii, znacząco pod tym względem przewyższająca np. technologie oparte o paliwa kopalne. Szacuje się, że występujące na Ziemi zasoby uranu wystarczą na pokrycie zapotrzebowania energetycznego ludzkości na wiele tysięcy lat. Dla porównania, przy obecnym poziomie wykorzystania, paliwa kopalne wyczerpią się prawdopodobnie już za lat kilkadziesiąt.

2.11. Inne rodzaje energii

Przedstawione w niniejszym rozdziale źródła energii, z których korzystał człowiek na przestrzeni dziejów nie wyczerpują zagadnienia. W ostatnich latach szczególny nacisk kładzie się na stosowanie odnawialnych źródeł energii, to znaczy takich których używanie nie wiąże się z ich długim deficytem. Do źródeł takich (oprócz omówionej wcześniej energii wiatrowej, słonecznej) zalicza się także energię geotermalną, biomasę i inne. Poniżej przytacza się trochę informacji na temat historii ich stosowania.

2.11.1. Energia geotermalna

Energia geotermalna (energia wnętrza Ziemi) jest to naturalne ciepło wnętrza naszej planety zgromadzone w skałach i wypełniają-

cych je wodach. Jest to stosunkowo młoda metoda pozyskiwania energii gdyż, po raz pierwszy energię geotermalną zastosowano do produkcji elektryczności dopiero w 1904 r. w Larderello (Włochy). Eksploatacje tzw. wodno-dominujących studni geotermalnych rozpoczęto uruchomieniem (w 1958 r.) siłowni o mocy 50 MW w Nowej Zelandii. Większość obecnie pracujących studni geotermalnych pochodzi z lat 70 i 80 ubiegłego stulecia. Najbardziej znanym miejscem wykorzystania jest sztuczny geologiczny zbiornik ciepła w Los Alamos (Kalifornia, USA), utworzony w skałach o temperaturze 200°C, na głębokości 2000 m – rys. 2.44. Obecnie coraz powszechniej stosowane są pompy ciepłe umożliwiające korzystanie z energii geotermalnej niskotemperaturowej. Energia geotermalna niskotemperaturowa występuje poniżej głębokości 1 do 1,5 m w skałach i wodach je wypełniających. Pompy ciepłe uruchamiane energią elektryczną lub gazową pozwalają na zamianę niskich temperatur uzyskiwanych z ziemi (10°C - 30°C) na temperatury przydatne w ciepłownictwie (45°C - 80°C). Powszechność występowania energii geotermalnej pozwala żywić nadzieje, że w przyszłości stanie się ona głównym źródłem ogrzewania budynków wolnostojących, oddległych od scentralizowanych systemów ciepłowniczych, tak jak to jest obecnie w USA, Szwajcarii, Szwecji i w wielu innych rozwiniętych krajach świata.

2.11.2. Energia fal morskich

Istnieją dwa rozwiązania wykorzystania energii fal morskich napędzających turbinę wodną lub powietrzną. W pierwszym rozwiązaniu woda morska pchana kolejnymi falami wpływa zwiężającą się sztolnią do położonego na górze zbiornika. Gdy w zbiorniku tym jest wystarczająca ilość wody, wówczas przelewa się ona przez upust i napędza turbinę rurową Kaplana, sprzężoną z generatorem. Po przepłynięciu przez turbinę woda wraca do morza. Wykorzystana jest więc przemiana energii kinetycznej fal morskich w energię potencjalną spad. Instalacja taka pracuje od 1986



Rys. 2.44. Instalacje geotermalne w Kalifornii, USA

r. na norweskiej wyspie Toftestallen koło Bergen dając moc 350 kW. W drugim rozwiązaniu zbiornik jest zbudowany na platformach na brzegu morza. Fale wlewają się na podstawę platformy i wypychają powietrze do górnej części zbiornika. Sprężone przez fale powietrze wprawia w ruch turbinę, która napędza generator.

2.11.3. Energia z biomasy

Biomasa to masa materii organicznej, zawartej w organizmach zwierzęcych lub roślinnych. Wyrażana jest w jednostkach tzw. świeżej masy (naturalna masa organizmów) oraz masy suchej (masa bezwodna). Termin biomasa dotyczy całego szeregu odnawialnych technologii energetycznych, obejmujących:

- ❑ spalanie biomasy roślinnej (np. drewno opałowe z lasów, odpady drzewne z tartaków, zakładów meblarskich i in.);
- ❑ spalanie śmieci komunalnych (wstępna gazyfikacja lub metoda bezpośrednia);
- ❑ wytwarzanie oleju opałowego z roślin oleistych (np. rzepak), specjalnie uprawianych dla celów energetycznych;
- ❑ fermentację alkoholową trzciny cukrowej, ziemniaków lub dowolnego materiału organicznego poddającego się takiej fermentacji, celem wytworzenia alkoholu etylowego do paliw silnikowych;
- ❑ beztlenową fermentację metanową odpadowej masy organicznej (np. odpady z produkcji rolnej lub przemysłu spożywczego) w celu wytworzenia biogazu,

a następnie spalanie biogazu w paleniskach kotłowych lub zasilanie nim silników spalinowych, napędzających np. generatory prądu elektrycznego;

- energetyczne wykorzystanie gazu wysypiskowego (stosowana jest technologia odmienna niż w poprzedniej kategorii).

Obecnie w Polsce biomasa wykorzystywana w przemyśle energetycznym pochodzi z dwóch gałęzi gospodarki: z rolnictwa i leśnictwa. W roku 1984 biomasa roślinna pokrywała 13% światowej produkcji energii, w tym Kanada pokrywała biomasą 7% potrzeb energetycznych, a USA 4% potrzeb. W roku 1990 udział biomasy w światowej produkcji energii wynosił 12%. Ogólnie z 1 ha użytków rolnych zbiera się rocznie 10-20 t biomasy, czyli równowartość 5 - 10 ton węgla. Rolnictwo i leśnictwo zbierają w Polsce biomasę równoważną pod względem kalorycznym 150 mln ton węgla. Szczególnie cenne energetycznie są słomy rzepakowa, bobikowa i słonecznikowa, zupełnie nieprzydatne rolnictwie. Jeśli zaś chodzi o całkowitą biomasę drzew, to jest ona dwukrotnie większa niż produkcja drewna użytkowego. Można zatem stwierdzić, że najpoważniejszym źródłem biomasy jako źródła energii odnawialnej w Polsce są słoma i odpady drzewne.

2.11.4. Energia z biogazu

Bardzo korzystna dla środowiska naturalnego jest energia uzyskiwana z biogazu (głównie metanu), wytwarzanego głównie z roślin i odchodów zwierzęcych. Gaz ten powstaje podczas rozkładu substancji organicznych (roślinnych i zwierzęcych), gdy proces ten przebiega bez dostępu powietrza.

Gospodarstwa rolne mogą wykorzystać odpady (np. nawóz naturalny, kompost, słomę), by wytwarzać w specjalnych urządzeniach metan, a następnie spalając go, ogrzewać pomieszczenia i napędzać, odpowiednio w tym celu przebudowane, maszyny gospodarcze. Tego typu urządzenia nie zagrażają środowisku, a ich eksploatacja jest stosunkowo tania.

Metan powstaje również samoczynnie podczas gnicia szczątków organicznych (nawozu naturalnego, kompostu). Nazywamy go gazem szklarniowym, gdyż wraz z dwutlenkiem węgla jest odpowiedzialny za efekt cieplarniany. Wobec tego zużywanie wyżej wymienionych odpadów w celu otrzymania biogazu jest dodatkowo korzystne, gdyż przynajmniej w minimalnym stopniu zmniejsza się możliwość powstawania efektu cieplarnianego.

W Indiach wykorzystuje się wysuszone odchody zwierzęce, które służą zamiast drewna za opał w piecach kuchennych i do ogrzewania domów. Spalając je w odpowiednich warunkach, uzyskuje się biogaz celem wytworzenia energii elektrycznej. Również rośliny stanowią źródło energii, nie tylko służąc za pożywienie dla ludzi i zwierząt, ale także jako źródła biogazu. Hodowla wodorostów (alg morskich, morskich) daje możliwości wykorzystania ogromnych powierzchni wód. Na przykład na nadmorskich farmach u wybrzeży Kalifornii uprawia się pewien gatunek morskich, który przyrasta 0,5 metra dziennie. Z roślin tych po ich wysuszeniu i poddaniu procesowi fermentacji, uzyskuje się biogaz. Nadaje się on do wykorzystania w elektrowniach.

2.11.5. Energia ciepła oceanu

Przemiana energii ciepłej oceanu to wykorzystanie różnicy temperatury wody na powierzchni i w głębi morza lub oceanu. Jest to możliwe na obszarach równikowych. Woda morska ma tam na powierzchni temperaturę ok. 30 °C, a na głębokości 300 – 500 m temperaturę ok. 7 °C. Wykorzystanie tej różnicy polega na zastosowaniu czynnika roboczego, który paruje w temperaturze wody powierzchniowej i jest skraplany za pomocą wody czerpanej z głębokości 300 – 500 m. Czynnikiem takim jest amoniak, freon lub propan. Cała instalacja wraz z generatorem znajduje się na platformie pływającej.

3. Metalurgia

Metalurgia jest nauką, która bada i opisuje sposoby otrzymywania metali oraz metody przeróbki otrzymanych metali w celu otrzymania odpowiednich własności. Dzieli się ją na metalurgię:

- ❑ żelaza,
- ❑ metali nieżelaznych.

Metalurgia wykorzystywana do otrzymywania przedmiotów z metali o wymaganym kształcie i wymiarach znana jest człowiekowi już od tysiącleci. Z danych literaturowych wynika, że początki stosowania metali nieżelaznych do wytwarzania przedmiotów użytkowych sięgają następujących lat:

- ❑ ok. 7.000 p.n.e. – przetapianie samorodków złota, odlewanie, kucie;
- ❑ ok. 7.000 p.n.e. – przetapianie samorodków miedzi, odlewanie, kucie;
- ❑ ok. 6.000 p.n.e. – wytapianie ołowiu z rudy, odlewanie;
- ❑ ok. 5.000 p.n.e. – wytapianie miedzi z rudy, odlewanie, kucie;
- ❑ ok. 4.000 p.n.e. – wytapianie miedzi stopowej z rud mieszanych, zawierających As, Pb, odlewanie, kucie;
- ❑ ok. 3.000 p.n.e. – wytapianie cyny z rudy, odlewanie;
- ❑ ok. 2.500 p.n.e. – otrzymywanie brązu przez stapianie miedzi z cyną, odlewanie, kucie;
- ❑ ok. 1.000 p.n.e. – otrzymywanie mosiądzu przez stapianie miedzi z rudą cynku.

Rozpowszechnienie metali i ich stopów na tyle zdominowało życie człowieka, że zaczęto wyróżniać epoki (w dziejach ludzko-

ści), których nazwy uzależnione były od materiału dominującego. Powszechnie znane i stosowane są takie nazwy jak epoka brązu i epoka żelaza.

Epoka brązu zastąpiła epokę kamienia i poprzedzała epokę żelaza. Jej okres przypada na różne lata, w zależności od terenu występowania. I tak najwcześniej (w III tysiącleciu p.n.e) występuje ona na Kaukazie i w okolicach Morza Egejskiego, gdzie wykształciły się wczesne ośrodki metalurgiczne. Na terenie Egiptu i Bliskiego Wschodu za początek epoki brązu przyjmuje się (umownie) rok 2.500 p.n.e., natomiast w Europie Południowej rok 2.000 p.n.e. (dla porównania na terenach odpowiadających naszemu krajowi dopiero rok 1.800 p.n.e.). Koniec epoki brązu przypada na lata 1.000÷700 p.n.e.

Nazwa epoki pochodzi od używanych wówczas powszechnie narzędzi z nowo wprowadzonego surowca - brązu (czyli stopu miedzi z cyną, w stosunku 9:1). Przykładem przedmiotów z brązów są: siekiery, dłuta, młoty, motyki, sierpy, noże, ozdoby, broń (miecze, topory, ostrza do włóczyń, groty, części pancerzy) – rys. 3.1. Czasem zamiast cyny do produkcji stopu stosowano ołów lub antymon (tereny dzisiejszych Węgier). Brąz antyczny był stopem miedzi z cynkiem (mosiądz). Brąz jest znacznie twardszy od miedzi, dlatego zastąpił ją w okresie eneolitu. Jednakże nadal jest materiałem na tyle miękkim, że jeszcze w ciągu jednej bitwy wykuta z niego broń wyginała się, przez co była niezdadna do dalszego użytku. Potrzebną do jego produkcji miedź i cynę uzyskiwano w kopalniach odkrywkowych.



Rys. 3.1. Broń i ozdoby z okresu epoki brązu

Epoka żelaza to okres dziejów ludzkości następujący po epoce brązu (ok. 1.000÷700 p.n.e.), w którym żelazo stało się głównym surowcem w wytwarzaniu narzędzi. Ramy czasowe epoki żelaza są różne i uzależnione od stref geograficznych, zróżnicowania kulturowego i rozwoju społeczno - gospodarczego.

Najstarsze wyroby z kutego żelaza (głównie przetwarzanego z meteorytów), pochodzą z XV i XIV wieku p.n.e. z terenów państwa Hetytów (obszary dzisiejszej Turcji). Stąd żelazo przez Palestynę dociera do Egiptu, i dalej do Mezopotamii i Iranu. Następnie na Kaukaz, w XII w p.n.e. do Grecji oraz w XI-X w. p.n.e. do Italii. Do Europy centralnej żelazo dotarło przez tereny półwyspu Bałkańskiego oraz Kaukaz.

3.1. Metalurgia żelaza

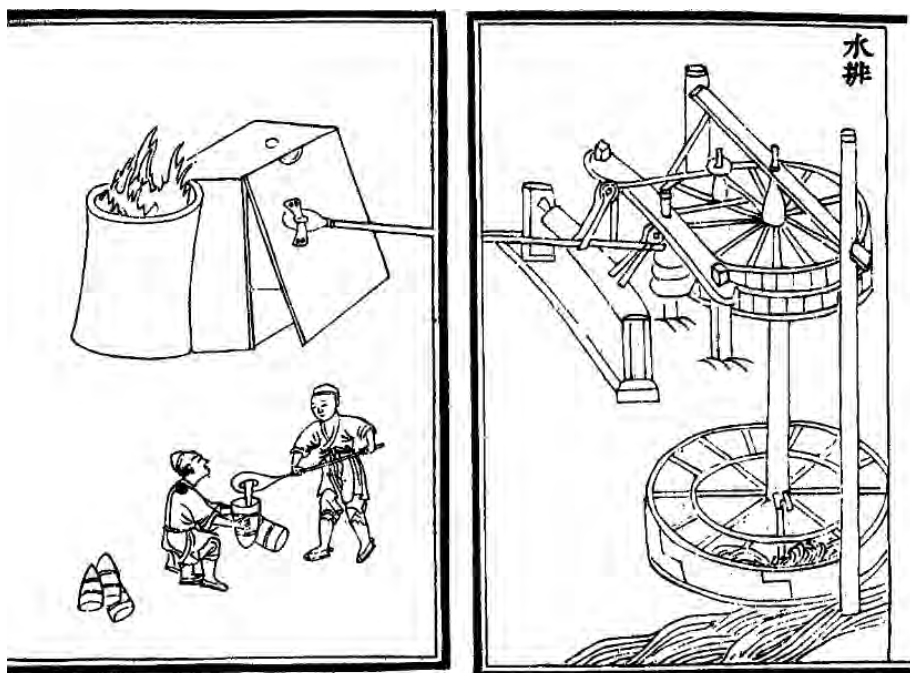
Pierwsze sygnały o wykorzystaniu żelaza pochodzą ze starożytnego Egiptu i się-

gają okresu około 4000 lat p.n.e. Wykorzystywano wówczas drobne wyroby, głównie w celach rytualnych, wykonywane z żelaza odzyskiwanego z meteorytów (rys. 3.2). Ogólnie można stwierdzić, że około 6% meteorytów zbudowanych jest z żelaza i z niklu. Cena żelaza była wówczas większa od ceny złota.

Najstarsze zachowane do dzisiaj zabytki z żelaza (wytworzonego z rudy) pochodzą z lat 3.000÷2.700 p.n.e (n.p. ostrze sztyletu znalezione koło Bagdadu). Były one prawdopodobnie wykonane w Anatolii, należącej do państwa Hetytów, gdzie produkowano żelazo w znikomej ilości. Po upadku państwa Hetytów (ok. 1200 r. p.n.e.) część jego ludności wyemigrowała w różnych kierunkach i rozniosła po świecie wiedzę dotyczącą metalurgii żelaza. Prawdopodobnie tą drogą powstały najdawniejsze ośrodki metalurgii żelaza w Mezopotamii i Armenii. W kolejnych wiekach (między 1200÷800 r. p.n.e.) umiejętność ta przeniknęła na cały Bliski Wschód, do Indii, Chin, Grecji, Italii oraz na tereny



Rys. 3.2. Meteoryt Willamette (masa 14 t), zbudowany głównie z żelaza i z niklu



Rys. 3.3. Ilustracja przedstawiająca zastosowanie koła wodnego do napędu miechów, co po raz pierwszy miało miejsce w Chinach, około roku 31

Europy Środkowej.

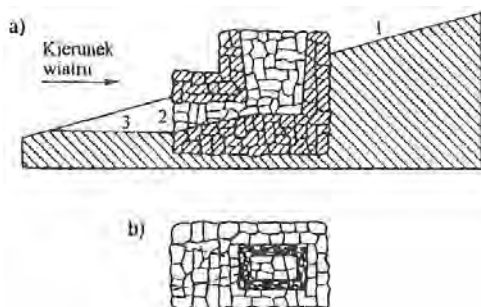
Obecnie za kolebkę światowej metalurgii i odlewnictwa stopów żelaza uważa się Chiny, gdzie już w X w. p.n.e. znany był sposób otrzymywania z rud żelaza ciekłej surówki o dużej zawartości fosforu (ok. 7% P). Było to możliwe dzięki zastosowaniu w piecach hutniczych bardzo wydajnych miechów tłokowych, dzięki którym można było wprowadzić większe ilości powietrza do spalania paliwa, uzyskiwać wyższe temperatury, zwiększać stopień nawęglania i w ten sposób zwiększać lejność surówki. Chińczycy także jako pierwsi zastosowali do wzmocnienia dmuchu w piecu do wytapiania surówki napęd hydrauliczny (koło wodne) – rys. 3.3. Miało to miejsce w roku 31.

W czasach najdawniejszych do otrzymywania żelaza służyły **piece dymarskie**, zwane też dymarkami (rys. 3.4), pracujące na węglu drzewnym. Dymarka to dawny piec hutniczy, w którym przez redukcję tlenkowych rud żelaza za pomocą węgla

drzewnego otrzymywano żelazo w postaci gąbczastej, zawierającej żużel. Żelazo nadające się do wyrobu narzędzi, broni itp. uzyskiwano przez usunięcie z łupki żużla na dro-



Rys. 3.4. Rekonstrukcja dymarki, Biskupin



Rys. 3.5. Schemat dymarki na zboczu pagórka: a) przekrój pionowy, b) widok z góry; 1 - nachylenie pagórka, 2 - otwór doprowadzenia powietrza, 3 - miejsce robocze

dze wielokrotnego przekuwania. Tak zwany proces dymarkowy znany był od bardzo dawna (w Egipcie ok. 3.000 r. p.n.e., w Europie od ok. 1.000 r. p.n.e., na ziemiach polskich od ok. IV w. p.n.e.).

W początkowym okresie dymarki były wyłożonymi gliną zagłębieniami w ziemi (tzw. ogniska dymarskie), później piecami jednorazowego użytku, częściowo zagłębionymi w ziemi (rys. 3.5). Po zakończeniu pro-

cesu część nadziemna była niszczona, część zagłębioną wraz z żużlem pozostawiano - pozostałości te stanowią dzisiaj cenne źródło informacji o ówczesnej metalurgii żelaza. Na przełomie XII i XIII w. dymarka przekształciła się w stały piec hutniczy z otworem spustowym dla żużla i sztucznym ciągiem powietrza.

Bardzo ciekawym zabytkiem z tego okresu jest słup w Qutub (Indie) – rys. 3.6, o wysokości 7,25 m. Został on zbudowany prawdopodobnie około 415 r. i jest nie-
rdzewny.

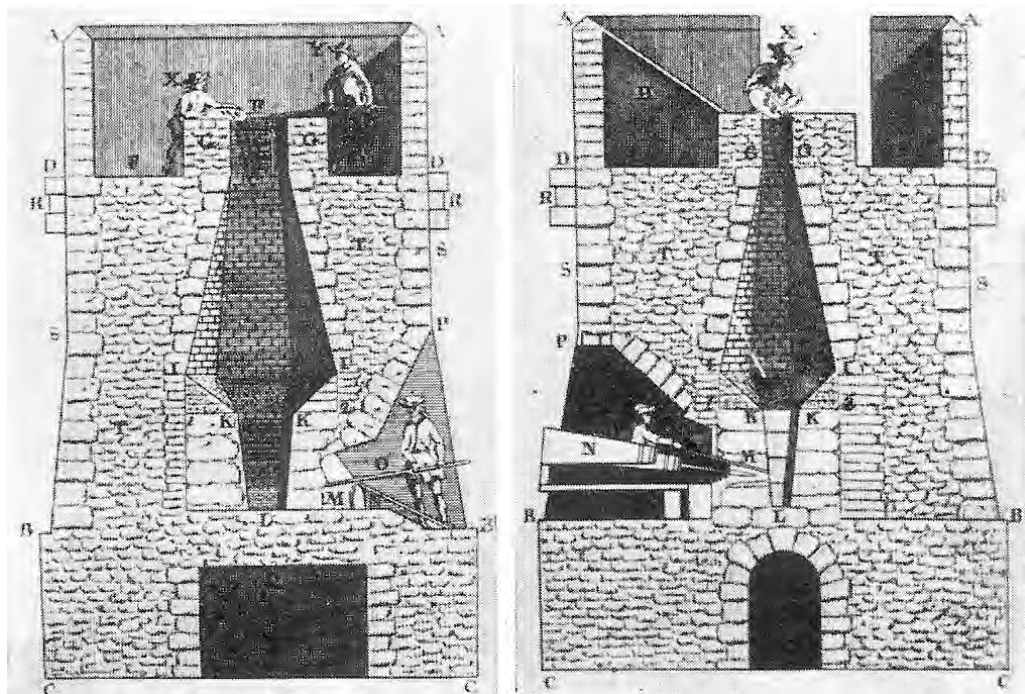
W ciągu lat następnych, aż do wieku XIV w hutnictwie miały miejsce tylko powolne zmiany ilościowe, polegające na polepszeniu siły dmuchu i zwiększeniu wymiarów pieca do wysokości 3 m – rys. 3.7.



Rys. 3.6. Kolumna w Qutub (Indie), wykonana prawdopodobnie ok. 415 r., która nie rdzewieje



Rys. 3.7. Piec sztukowy z XVI wieku (wg Agri-coli), przednia dolna część pieca zrobiona jest z gliny, by można było ją rozbić w celu wyjęcia bochna (stąd też nazwa piec sztukowy)



Rys. 3.8. Wielki piec na węgiel drzewny z połowy XVIII wieku (pokazano dwa wzajemnie prostopadłe do siebie przekroje pieca)

Dzięki tym rozwiązaniom hutnicy uzyskiwali w piecach co raz to wyższe temperatury robocze. W momencie, gdy osiągnięto temperaturę rzędu 1400°C proces metalurgiczny został zmieniony w sposób radykalny. Zamiast stali w stanie stałym otrzymywano płynną surówkę. W ten sposób narodziły się **wielkie piece**.

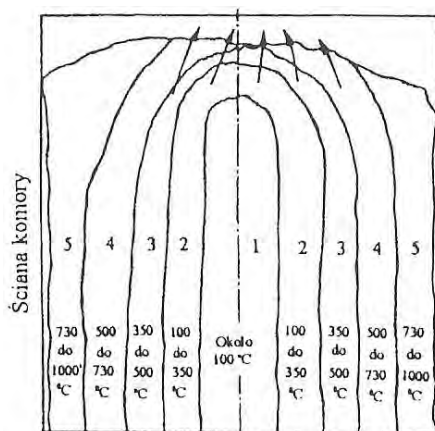
Na podstawie danych historycznych można wnioskować, że początek metalurgii i odlewnictwa żeliwa sięga w Europie zaledwie XIV w. (ok. 1380), kiedy to w dorzeczu Renu oraz w okolicy Leodium w Belgii powstał pierwszy „wielki piec”, w którym można było otrzymywać ciekłą surówkę, nadającą się do odlewania. Nazwa pieca wynikała z jego rozmiarów, które ciągle ulegały zwiększeniu (presja na coraz większą wydajność). Na rys. 3.8 pokazano rysunek pieca z połowy XVIII wieku, którego szerokość u podstawy wynosiła około 7,5 m, a wysokość od punktu L do F ok. 7 m.

Główną bolączką ówczesnych zakładów metalurgicznych był notoryczny brak węgla drzewnego. Zaczęto więc stosować węgiel kamienny, który był znany od dawna. Jednakże materiał ten zawiera w stanie naturalnym różne pierwiastki szkodliwe, takie jak siarka (przy czym wiadome jest, że w drodze prażenia można usunąć siarkę z rud metali).

Przyjmuje się, że zamianę węgla na koks wprowadził hutnik angielski Dudd Dudley (1600-1684), około 1630 roku. Jednakże ze względu na fakt, iż poszczególne gatunki węgla należy prażyć różnymi metodami przyjmuje się, że koks o jakości zadowalającej został uzyskany (1709 r.) dopiero przez Abrahama Darby’ego I (1678-1717). W tym czasie panowało powszechne przekonanie, iż surówka wytopiona na koksie jest znacznie gorsza od uzyskanej na węglu drzewnym. Obawy te są oczywiście bezpodstawne. Na Śląsku zaczęto używać koksu do wytapiania surówki już w 1777 r.

Koks, to paliwo uzyskiwane poprzez przemysłowe wygrzewanie węgla kamiennego w temperaturze 600-1200 °C w specjalnie w tym celu skonstruowanym piecu koksowniczym, za pomocą gazów spalinowych (bez dostępu tlenu). Jest to paliwo o wyższej kaloryczności od zwykłego węgla kopalnego, gdyż zawiera co najmniej 90-95% czystego pierwiastka węgla, zaś specjalne gatunki węgla przy odpowiedniej technologii mogą dawać nawet czystość rzędu 98%. W procesie koksowania z surowego węgla usuwane są gazy, ciecze, substancje łatwotopliwe (np. siarka) oraz inne substancje (głównie organiczne) ulegające rozkładowi w tych temperaturach. Materiał ten można uzyskać w wyniku suchej destylacji węgla kamiennego.

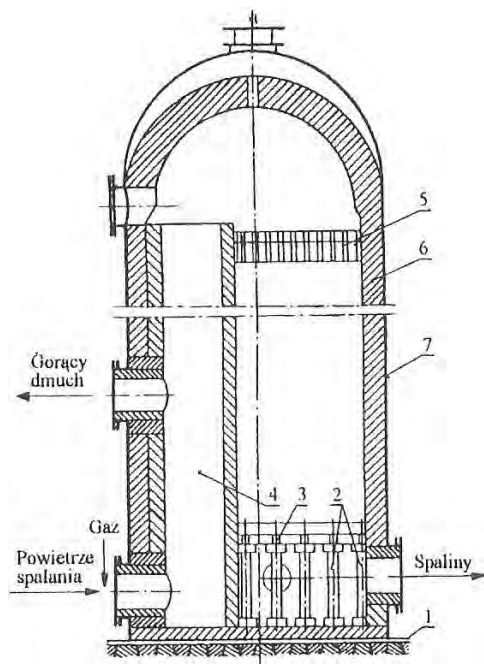
Na rys. 3.9 pokazano przekrój wsadu węglowego podczas koksowania. Można tutaj wydzielić 5 stref. W strefie 1 zachodzi odparowanie wody, temperatura węgla wynosi tu tylko 100°C. W strefie 2 węgiel nie zawiera już wody, ale także nie jest jeszcze w stanie plastycznym. Temperatura w tej strefie wynosi 100÷350°C i następuje w niej częściowe wydzielenie składników lotnych węgla. Przy temperaturze 350÷500°C węgiel przechodzi w stan plastyczny (strefa 3) i wydziela się znaczna ilość części lotnych. W strefie tej zachodzi podstawowy proces koksowania. W strefie 4 ciastowata masa węgla zestala się, a zawarte w niej pęcherzyki gazowe nadają jej charakter porowaty. Jest to tzw. strefa półkoku, który zawiera jeszcze pewną ilość części lotnych, a temperatura jego waha się w zakresie 500 ÷ 730 °C. W zakresie temperatur 730 ÷ 1000 °C (strefa 5) półkoks przechodzi w koks, a zawartość części lotnych w nim zmniejsza się do około 1 ÷ 2%. Na granicy stref 3 i 4 półkoks kurczy się i w bryle węgla powstają szczeliny. Proces koksowania kończy się, gdy temperatura w środku wsadu osiągnie 900÷950 °C. Koks wypycha się z komór specjalnym drągiem. Dostaje się on na wóz przelotowy, z którego spada do wozu gaśniczego – służącego do przewozu koksu pod wieżę gaśniczą, a po jego zgaszeniu do przewozu nad zrzutnię koksu.



Rys. 3.9. Przekrój wsadu węglowego podczas koksowania

Wracając do historii, dalsze udoskonalenie procesu wielkopiecowego związane było z wynalezieniem maszyny parowej, co uniezależniło huty od lokalizacji przy rzekach zapewniających potrzebną energię (na terenach obecnej Polski pierwszą taką hutę zbudowano w 1802 r.). W tym samym okresie rozpowszechniły się dmuchawy tłokowe, wynalezione w 1760 r. przez Johna Smeaton'a (1724-1792). Jednakże największy efekt przyniosło wykorzystanie do wytwarzania surówki dmuchu gorącego. Pierwsze pomyślne próby w tym zakresie wykonał w roku 1828 Szkot James Beaumont Nelson (1792-1865). Pomimo, że to podgrzanie dmuchu było stosunkowo słabe, to dało ono bardzo duże oszczędności na koksie spalonym w procesie metalurgicznym. Wkrótce potem w hucie Wasseraalphen zbudowano urządzenie, w którym płomień wydobywający się z pieca podgrzewał w węzownicy powietrze dmuchu. W ten sposób potwierdzono, iż gaz wielkopiecowy (jeden z głównych produktów wielkiego pieca oprócz surówki, żużla i pyłu wielkopiecowego) można wykorzystać do podgrzania dmuchu.

Przyjętą powszechnie metodę podgrzewania dmuchu, opracowaną w 1857 r., zawdzięczamy Edwardowi Cowper'owi (1819-1893). Urządzenie (rys. 3.10) opracowane przez niego pracuje w sposób okresowy. Gaz



Rys. 3.10. Nagrzewnica dmuchu: 1 - fundament, 2 - kolumny podtrzymujące kratę, 3 – doprowadzenie dmuchu zimnego, 4 - komora spalania, 5 - kratownica, 6 - wykładzina, 7 - pancierz stalowy

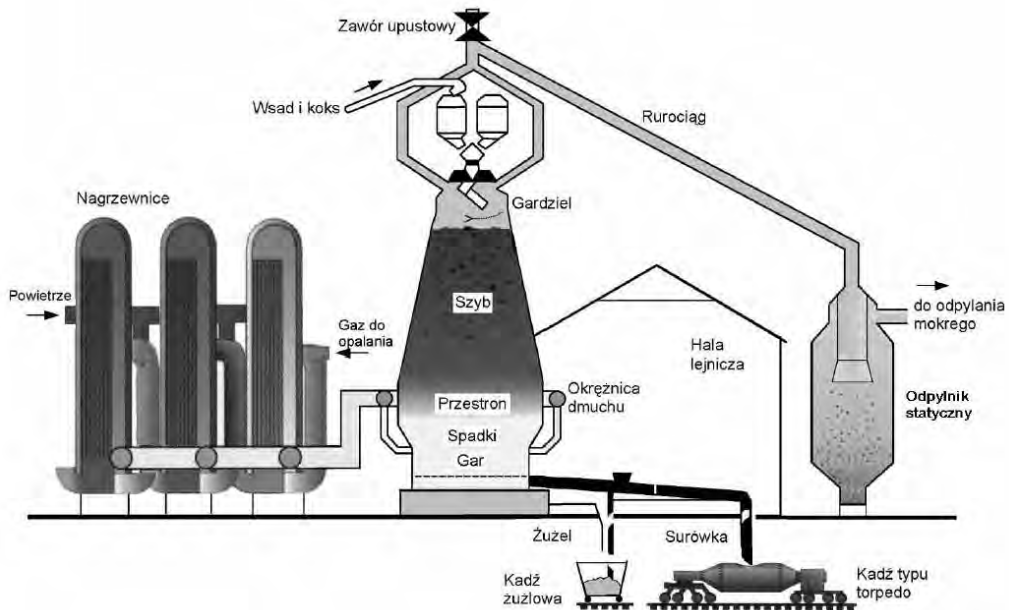
wielkopiecowy wprowadzany jest do dolnej części szybu, gdzie spala się wytwarzając spaliny o temperaturze do 1300 °C. Spaliny te wznoszą się do góry, a następnie przepływają przez kratownice (które z upływem czasu nagrzewane są do temperatury dochodzącej do 1000 °C), a następnie wchodzi do komina. Czas nagrzewania kratownicy wynosi 2÷4 godzin. Po nagrzaniu tego urządzenia wprowadza się do niego powietrze zimne, które przepływając przez kratownice ulega nagrzewaniu. Czas odbierania ciepła w nagrzewnicy jest około dwóch razy krótszy od czasu jej nagrzania. Zatem zapewnienie ciągłości dostawy powietrza gorącego do wielkiego pieca wymaga zastosowania przynajmniej trzech nagrzewnic, z których jedna dostarcza powietrze do wielkiego pieca a dwie są nagrzewane.

Na rys. 3.11 pokazano schemat technologiczny wielkiego pieca, wykorzystywanego

obecnie. Ma on kształt gruszkowaty, w postaci dwóch ściętych stożków połączonych podstawami. Wsad (ruda żelaza, topniki, koks) zasypywany jest od góry przez otwór zamykany, zwany gardzielą. Następna część pieca (szyb) jest zasobnikiem surowca. Koks pełni rolę paliwa oraz reduktora tlenków żelaza. Proces spalania koksu podtrzymywany jest powietrzem (podgrzanym wcześniej w nagrzewnicach), które wtłaczane jest przez szereg dysz usytuowanych na poziomie złączenia podstaw stożków. Topniki dostarczane do pieca ułatwiają oddzielenie od żelaza zawartych w rudzie zanieczyszczeń i tzw. skały płonnej. Główny produkt, tzw. surówka, wytwarzany w procesie wielkopiecowym zbiera się w dolnej części walcowej, zwanej garem. Natomiast składniki niepożądane (powstające w wyniku reakcji z tlenem i topnikami) tworzą żużel, który (jako lżejszy) utrzymuje się na powierzchni surówki. Co pewien czas żużel i surówka odprowadzane są z wielkiego pieca przez oddzielne otwory spustowe. Produktami wielkiego pieca oprócz surówki i żużla są: gaz wielkopiecowy i pył wielkopiecowy. Wydajność obecnie stosowanych wielkich pieców jest duża i wynosi od 2 do 10 tysięcy ton.

Surówka wytwarzana w wielkim piecu zawiera przeważnie 3÷4,5 % węgla oraz inne pierwiastki takie jak krzem, mangan, fosfor i siarka. Z uwagi na dużą zawartość węgla jest to stop kruchy, nie nadaje się do bezpośredniego zastosowania (stąd nazwa) i jest przerabiana na stal, staliwo lub żeliwo.

Stal jest to stop żelaza z węglem plastycznie obrobiony i plastycznie obrabialny o zawartości węgla nieprzekraczającej 2,11%, co odpowiada granicznej rozpuszczalności węgla w żelazie (dla stali stopowych zawartość węgla może być dużo wyższa). Stal obok żelaza i węgla zawiera zwykle również inne składniki. Do pożądanых – składników stopowych – zalicza się głównie metale (chrom, nikiel, mangan, wolfram, miedź, molibden, tytan). Pierwiastki takie jak tlen, azot, siarka oraz wtrącenia niemetaliczne, głównie tlen-



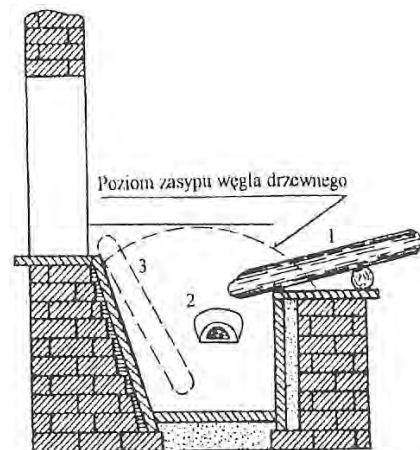
Rys. 3.11. Schemat technologiczny wielkiego pieca

ków siarki, fosforu, zwane są zanieczyszczeniami.

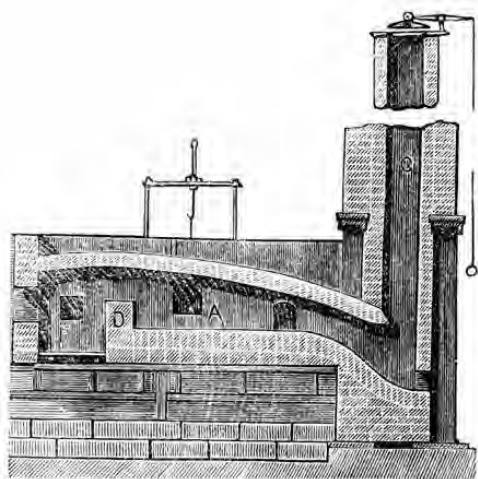
Stal produkowana była początkowo przez wielokrotne przekuwanie produktów dymarek (zwanymi bochnami, lupami, wilkami). Jednakże ze względu na niewielki jednorazowy rozmiar wytopu (z dymarki uzyskiwano zaledwie kilka kilogramów stali) stop ten był bardzo drogi. Wytworzenie wyrobów o większych gabarytach wymagało łączenia wytopów z kilku lub więcej dymarek (w drodze zgrzewania).

Zwiększenie wydajności produkcji stali nastąpiło w wieku XII w efekcie wprowadzenia **ogniska fryszerskiego** (fryszarka), będącego następstwem mechanizacji dmuchu. Proces fryszerski polegał na świeżeniu surówki, czyli oczyszczaniu jej z domieszek poprzez ich utlenienie. W ognisku fryszerskim (rys. 3.12) następowało utlenienie zawartego w surówce węgla, krzemu oraz manganu. Pierwsze fryszarki z wyglądu przypominały dymarki. W późniejszym okresie miały kształt skrzyni, która wyłożona była płytami z lanego żelaza. Po bokach umiesz-

czone były dysze, którymi doprowadzano powietrze. Jako paliwo używany był wyłącznie węgiel drzewny, którym częściowo napełniano skrzynię przed rozpoczęciem procesu. Po rozpaleniu ognia, do skrzyni dostar-



Rys. 3.12. Fryszarka: 1 - sztaba roztopionej surówki, 2 - dysza powietrza, 3 - położenie bryły żelaza zgrzewnego wsadzonej do rozżarzonego węgla drzewnego, w celu powtórnego nagrzania do przekucia wielkiego pieca



Rys. 3.13. Piec pudlarski

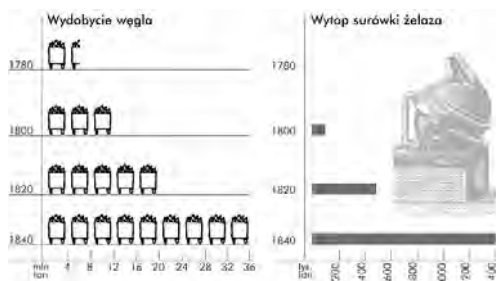
czano powietrze. Proces trwał około 2 godzin. Wydajność jednej fryszerki wynosiła zwykle ok. 500 kg żelaza zgrzewnego na dobę.

Wydajność fryszerki była nadal niezadowalająca, a ponadto pracowała ona na węglu drzewnym, o który było coraz trudniej. Z tego też powodu ciągle pracowano nad poprawą stosowanego rozwiązania. Jednak dopiero w roku 1783, wprowadzono nowy rodzaj produkcji żelaza kujnego (stali), wytwarzanego w tzw. **piecu pudlarskim** (rys. 3.13), opracowanym przez Henry'ego Cort'a (1740-1800). W piecu tym surówka w stanie stałym była ogrzewana spalinami, a do wytwarzania atmosfery utleniającej dodawano do niej rudy. Produkt świeżenia (utleniania węgla i innych pierwiastków) w piecu pudlarskim podobnie jak we fryszerce znajdował się w stanie stałym. Zastosowanie tego rodzaju urządzeń pozwoliło jednak znacząco zwiększyć ilość wytwarzanej stali, która dochodziła do 2÷4 ton stopu na dobę w jednym piecu.

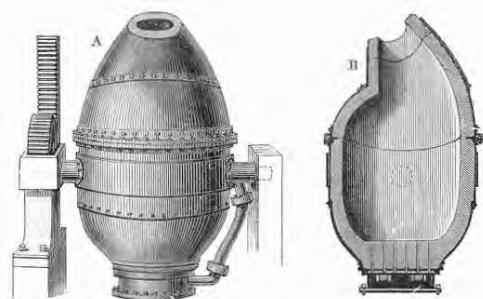
Rewolucja przemysłowa zapoczątkowana w Anglii (na przełomie wieków XVIII i XIX) pochłaniała coraz to większe ilości węgla (stosowanego głównie w metalurgii oraz do napędu maszyn parowych) oraz żelaza (stającego się głównym materiałem kon-

strukcyjnym) – rys. 3.14. Jednakże tylko niewielki procent produkowanej wówczas surówki żelaza mógł być przetworzony na stal, w drodze czasochłonnego procesu pudlarskiego (stosowanego do połowy XIX w.). Rozwiązaniem tego problemu stał się nowy **konwertorowy proces świeżenia surówki** w stanie ciekłym, opracowany (1856 r.) przez brytyjskiego wynalazcę Henry'ego Bessemera (1813-1898).

Ten wybitny wynalazca o rozlicznych zainteresowaniach w czasie wojny krymskiej (1853-1856) skupił swą uwagę na broni. Wynalazł on pocisk cylindryczny, który po wystrzeleniu wprawiany był w ruch obrotowy, przez co był znacznie celniejszy od stosowanych do tej pory pocisków w kształcie kul. Skutecznie zainteresował swym wynalazkiem samego cesarza Francuzów Napoleona III (1808-1873), ale okazało się, że stosowane wówczas armaty żeliwne są zbyt słabe do miotania pocisków nowego typu. W związku z tym Bessemer podjął się próby wytworzenia żeliwa o większej wytrzymałości (mimo tego, że miał niewiele wiadomości w zakresie metalurgii). Kierując się niezwykłą intuicją już po trzech tygodniach odkrył, że przedmuchiwana powietrzem surówka (świeżenie) nie stygnie, a wręcz przeciwnie ulega podgrzaniu, w trakcie którego dochodzi do usunięcia nadmiaru węgla (podobnie jak w procesie pudlarskim). Występujący wzrost temperatury stopu umożliwiał jego swobodne odlewanie do form (na wyroby gotowe – staliwo, lub półwyroby poddawane dalszej obróbce plastycznej – stal). Dzięki tej technice stało



Rys. 3.14. Wydobycie węgla i wytop surówki żelaza w Wielkiej Brytanii



Rys. 3.15. Konwertyor Bessemera, 1856 r.

się możliwe wytwarzanie w stosunkowo krótkim czasie dużych ilości stali (co spowodowało spadek ceny tego materiału). Cały proces świeżenia odbywał się bez udziału dodatkowego paliwa w specjalnym konwerterze pokazanym na rys. 3.15 – 3.16.

Ogłoszenie technologii przez Bessemera nastąpiło 24 sierpnia 1856 r. w Cheltenham. Spotkała się ona z dużym zainteresowaniem przemysłu, który chętnie wykupywał licencje na wdrożenie procesu konwerterowego. Jednak wynalazek Bessemera miał poważną wadę, mianowicie stop otrzymywany jego metodą zawierał duże ilości siarki i fosforu, powodujące kruchość stali. Bessemer podczas swoich doświadczeń nieświadomie używał rudy pozbawionej fosforu (do 0,1%), takiego surowca natomiast nie mieli hutnicy, którzy zakupili u niego licencje. Ich ruda świetnie nadawała się do procesu pudlowania, w którym to procesie fosfor jest usuwany ze względu na niewysoką temperaturę natomiast do technologii Bessemera ruda taka była nieprzydatna. Dlatego też został zmuszony do odkupienia swoich licencji. Wtedy też zdecydował się na wejście na rynek stali na własną rękę, co umożliwiło mu zdobycie zaopatrzenia w rudę bezfosforową z północno-zachodniej Anglii.

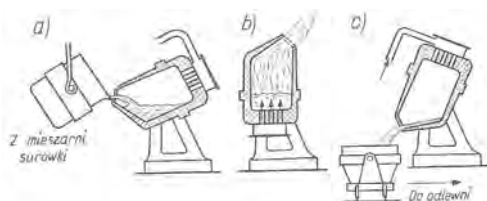
Ze stali produkowanej metodą Bessemera wybudowano pierwszy stalowy most w 1874 roku w St. Louis na Missisipi, a w 1889 roku pierwszy wysokościowiec o szkieletie stalowym, 10-piętrowy Tower Building - zwiastun drapaczy chmur.

Proces besemerowski zaczyna się od wlewania surówki do konwertyora w jego ułożeniu poziomym (rys. 3.17), następnie uruchamia się dmuch i konwertyor ustawia się w położeniu pionowym. Wskutek energicznego mieszania się powietrza, metalu i żużła, proces przebiega bardzo szybko. Czas trwania jednego wytopu wynosi 12-18 min. W procesie Bessemera wyróżnia się trzy następujące okresy:

- pierwszy (iskrowy), w którym utleniają się przede wszystkim Fe, Si i Mn (mające duże powinowactwo z tlenem) oraz rozpoczyna się nieznaczne utlenianie węgla. Temperatura kąpieli systematycznie wzrasta. Nad gardzielą konwertyora unoszą się krótki płomień oraz snop iskier, wywołane spalaniem się krzemu i odpryskami metalu w powietrzu. Okres pierwszy trwa od 3 do 5 minut
- drugi (płomienny), w którym następuje intensywne utlenianie węgla. Nad gardzielą, w wyniku spalania się CO tlenem otaczającego powietrza na CO₂, tworzy się coraz większy płomień, którego długość może przekroczyć 10 m. W tym okresie kończy się utlenianie Si i Mn.



Rys. 3.16. Konwertyor Bessemera, Kelham Island Museum, Sheffield, UK



Rys. 3.17. Położenie konwertora podczas: a) wlewania surowki, b) przedmuchiwania, c) spustu

Pod koniec tego okresu spada zawartość węgla w kąpieli, a więc i ilość powstającego tlenku węgla, co powoduje skrócenie płomienia. Czas drugiego okresu wynosi 10-12 minut.

- trzeci (dymny), w którym zaczyna się intensywne utlenianie żelaza na tlenek żelazowy Fe_2O_3 , będący oznaką zakończenia procesu. Z chwilą jego ukazania się przechyla się konwertyr do spustu i przerywa dmuch. Okres ten powinien trwać jak najkrócej.

W roku 1877 Sidney Gilchrist Thomas (1850-1885) opatentował sposób świeżenia surowki zawierającej duże ilości siarki i fosforu, których nie można było usunąć w procesie besemerowskim.

Proces konwertorowy tomasowski polega na wytapianiu stali w konwertorze o wyłożeniu zasadowym (dolomitowym) z doprowadzeniem powietrza dmuchu od dołu. Proces przebiega pod zasadowym żużlem, a do konwertora dodaje się do 150 kg CaO /t surowki. Głównym źródłem ciepła jest reakcja wypalania fosforu P, dlatego surowka powinna zawierać 1,8-2,2% P. Większe niż ok. 0,8% Si zawartości w surowce są niepożądane. Żużel z tego procesu, zawierający 16-24% P_2O_5 na specjalne zamówienie po zakrzepnięciu i zmieleniu jest przerabiany na nawóz sztuczny zwany tomasyną.

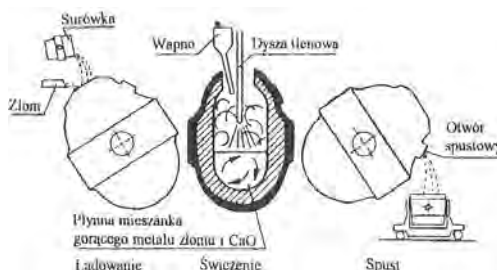
Porównanie procesów tomasowskiego i besemerowskiego wykazuje następujące zasadnicze różnice:

- konwertyr (tomasowski) ma wyłożenie zasadowe (prażony dolomit zmieszany ze smołą węglową);

- przy tej samej wydajności konwertyr tomasowski musi mieć większe wymiary, gdyż wytwarza się w nim duża ilość żużla;
- proces besemerowski przebiega bez zastosowania topników, natomiast w procesie tomasowskim jako topnik stosuje się wapno, które załadowuje się do konwertora przed wlewaniem surowki;
- głównym źródłem ciepła w procesie tomasowskim jest fosfor i dlatego jego zawartość w surowce powinna wynosić 1,8-2,2%; zasadowy wapienny żużel umożliwia odfosforowywanie i odsiarczanie kąpieli, co nie jest możliwe w konwertorze besemerowskim.

Obecnie procesy konwertorowe, w których surowka świeżona jest powietrzem nie są stosowane. Powodem jest niska jakość stali, wynikająca ze zwiększonej zawartości azotu (podstawowy składnik powietrza). Z tego też względu zaczęto stosować różne metody zmniejszenia zawartości azotu w dmuchu, które polegały na wzbogacaniu go w tlen lub dodawaniu pary wodnej, względnie dwutlenku węgla. Powyższe tendencje polepszania procesów konwertorowych doprowadziły w roku 1949 do wprowadzenia konwertora tlenowego LD. Litery LD są pierwszymi literami nazwy miast Linz i Donawitz w Austrii, gdzie przeprowadzano pierwsze doświadczenia w konwertorach tlenowych.

W procesie LD (rys. 3.18) do świeżenia surowki używa się tlenu o zawartości minimum 99,5% O_2 , który jest wdmuchiwany



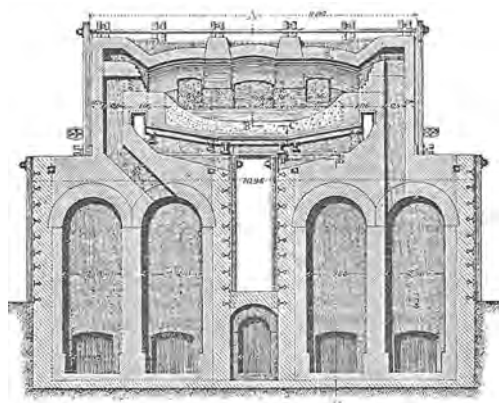
Rys. 3.18. Pozycje konwertora w procesie LD, w zależności od wykonywanych czynności

przez lancę pod ciśnieniem $0,6\pm 1,5$ MPa. W zależności od potrzeb wylot lany ustawiany jest w odległości 300 ± 1800 mm nad kąpielą metalową. Przebieg wytapiania jest następujący. Do ukośnie ustawionego konwertora ładuje się rudę lub złom, a następnie wlewa się ciekłą surówkę. Potem konwertor ustawia się pionowo, dodaje się wapno (topnik), ustawia się lancę i rozpoczyna się dmuch. Strumień tlenu, po przebicciu warstwy żużla, wpada do kąpeli i wchodzi w reakcję z żelazem i z innymi składnikami metalu. Węgiel zaczyna utleniać się bardzo szybko, tworzy się tlenek węgla, który uchodząc do atmosfery utlenia się do dwutlenku węgla (powstaje płomień). Koniec okresu wdmuchiwania tlenu poznaje się po zanikaniu płomienia. Wówczas przerywa się dmuch, wyciąga lancę, a po pochyleniu konwertora ściąga się żużel i zlewa ciekły stop.

Stal z konwertora tlenowego ma dobre właściwości mechaniczne dobrze się spawa, odznacza się znaczną udurowieniem i może być stosowana do głębokiego tłoczenia. Proces tlenowy nadaje się do wytapiania stali do ulepszenia ciepłego, stali prądnicowej i transformatorowej oraz niskostopowej. Znalazł on zastosowanie na całym świecie.

Wprowadzenie w połowie XIX wieku procesu Bessemera nie rozwiązało problemu produkcji stali jakościowych w dużych ilościach. Była ona wówczas (począwszy od ok. 1740 r.) wyrabiana przez stapianie zwykłej stali w niedużych tyglach, wykonanych z glinki ogniotrwałej z dodatkiem do 50% grafitu. W tyglach tych możliwe było również stapianie stali z innymi metalami i otrzymywanie w ten sposób stali stopowej. Dopiero wprowadzenie **procesu martenowskiego** (1865 r.) pozwoliło produkować stale jakościowe w większych ilościach oraz rozwiązało problem gromadzących się odpadów produkcyjnych i złomu stalowego, które można było wykorzystać tylko w niewielkim stopniu w procesach konwertorowych.

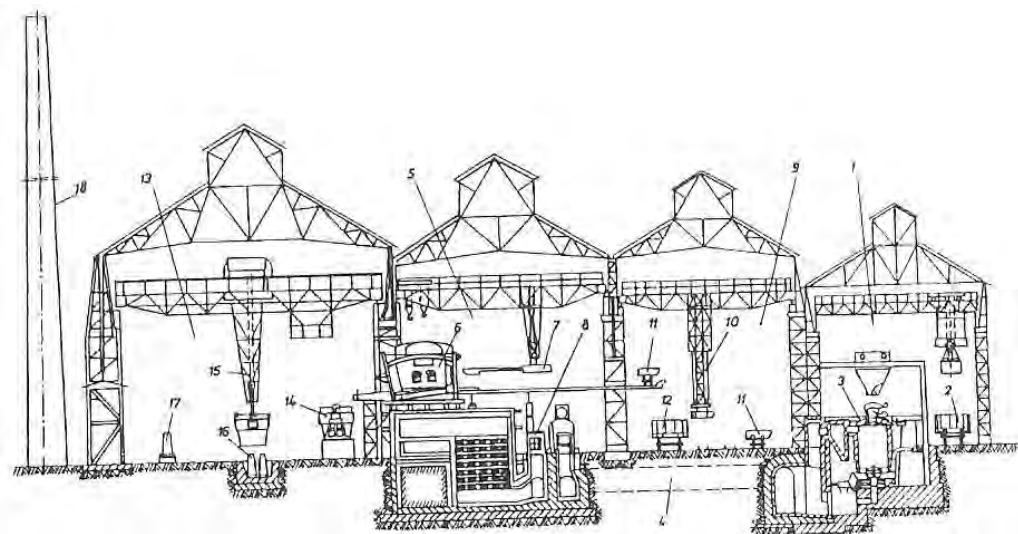
Nowa metoda wytwarzania stali została opracowana przez Francuza Pierre Martin'a (1824-1915); stąd też nazwa proces marte-



Rys. 3.19. Piec martenowski z roku 1895

nowski. W procesie tym w specjalnym piecu (rys. 3.19) spalano gaz węglowy nad ładunkiem surówki i wapienia. Martin zauważył, że w procesie besemerowskim tracone są wielkie ilości energii, gdy przedmuchiwa się chłodne powietrze przez roztopione żelazo. By temu zapobiec, zastosował gorące gazy powstałe po spalaniu gazu węglowego do ogrzewania tego gazu i wdmuchiwanego do pieca powietrza, w którym gaz się spalał. Pozwoliło to osiągnąć na tyle wysoką temperaturę w piecu, że z łatwością topił się w niej złom stalowy dodawany do surówki. W rezultacie koszty produkcyjne znacznie spadły. Proces martenowski wymaga dużo starannejszej kontroli niż besemerowski, jest też znacznie wolniejszy. Jednak metodą Bessemera daje się wytworzyć tylko kilka gatunków stali, a metoda Martina jest bardziej uniwersalna i pozwala na produkcję szerszej gamy stali (w tym jakościowych).

Piece martenowskie posiadają najczęściej zasadowe, a rzadko kwaśne wyłożenie. Piec martenowski należy do najbardziej skomplikowanych urządzeń cieplnych, stosowanych w stalownictwie. Dzieli on się na dwie części: dolną i górną (rys. 3.20). Część górna pieca jest umieszczona nad pomostem roboczym, który służy do obsługi pieca i znajduje się na wysokości 5-7 m nad poziomem zerowym huty. Górna część pieca składa się z przestrzeni roboczej oraz głowic z pionowymi kanałami: gazowym i powietrz-

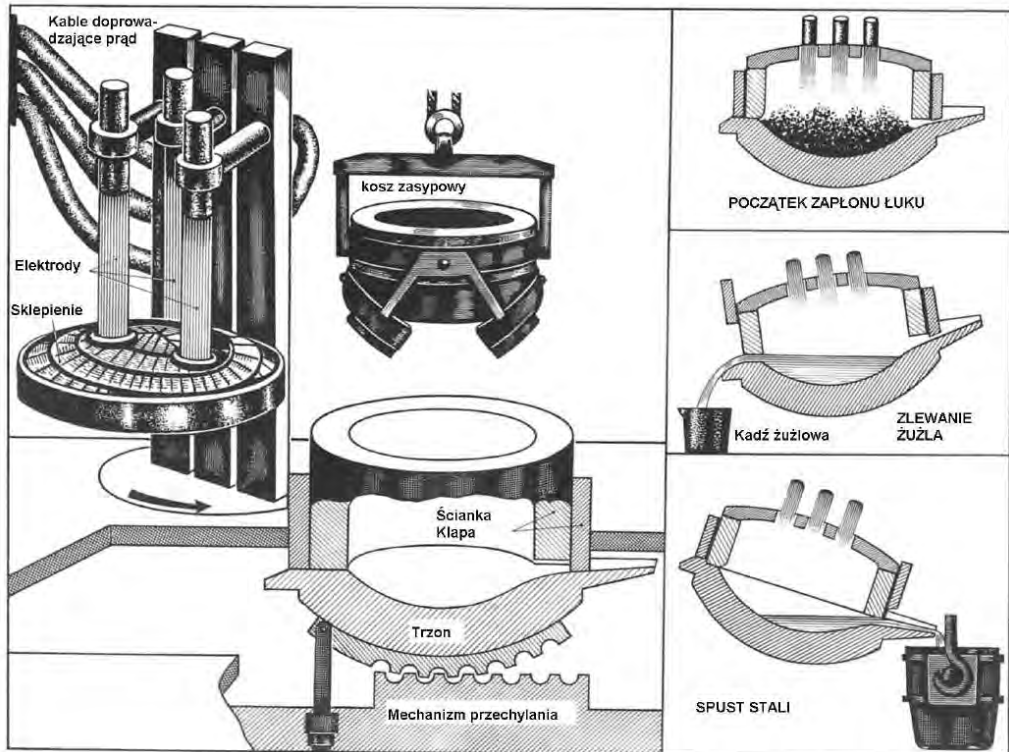


Rys. 3.20. Przekrój poprzeczny stalowni martenowskiej: 1 - hala czadnic, 2 - wagon z węglem, 3 - czadnica, 4 - przewód gazowy, 5 - hala pieców, 6 - piec martenowski, 7 - wsadzarka, 8 - urządzenie rozrządzące, 9 - składowisko złomu, 10 - suwnica do transportu koryt, 11 - koryto wsadowe, 12 - wagon ze złomem, 13 - hala odlewnicza, 14 - kadź odlewnicza, 15 - suwnica odlewnicza, 16 - dół odlewniczy, 17 - wlewnica na wózku, 18 - komin

nym. Część dolna pieca znajduje się pod pomostem roboczym i składa się z komór żużlowych, komór regeneratorowych i kanałów z urządzeniem rozrządowym. Przestrzeń robocza pieca jest ograniczona z przodu i z tyłu ścianami: od dołu - trzonem (topiskiem), od góry - sklepieniem, z boku - głowicami. W ścianie przedniej znajdują się okna wsadowe, w ścianie tylnej otwór do spustu stali z pieca. W przestrzeni roboczej zachodzą procesy spalania paliwa i wytapiania stali. Trzon ma kształt wydłużonej misy. Na trzon pieca ładuje się materiały wsadowe. Paliwo spala się bezpośrednio w przestrzeni roboczej i dlatego w tej części pieca uzyskuje się najwyższą temperaturę. Spaliny opuszczając przestrzeń roboczą mają temperaturę co najmniej 1700°C . Do doprowadzenia paliwa i powietrza, odprowadzania spalin oraz nadawania płomieniowi określonego kierunku służą głowice. Doprowadzanie paliwa i powietrza oraz odprowadzenie spalin zmienia się periodycznie, to znaczy w każdym momencie jedna głowica jest doprowadzająca, a druga odprowadzająca i co pewien, określony

czas następuje zmiana kierunku doprowadzania paliwa i powietrza oraz odprowadzania spalin. Piece martenowskie buduje się o pojemności $20 \div 350$ t. W odlewniach stosuje się (do wytapiania staliwa) piece martenowskie zasadowe o pojemności do 50 t, a najczęściej $10 \div 30$ t (typowy polski piec to piec o pojemności 12 t). Na kolejnym rysunku 3.20 pokazano przekrój obecnie stosowanej stalowni martenowskiej.

Stale wysokojakościowe produkowane są w piecach elektrycznych, wynalezionych pod koniec wieku XIX (**elektrometalurgia stali**). Najbardziej rozpowszechnione z nich to piece łukowe (rys. 3.21), w których ciepło wytwarzane jest przez łuk elektryczny tworzący się między elektrodami a wsadem. Wysoka temperatura łuku topi wsad i umożliwia zajście potrzebnych reakcji chemicznych (podobnych do przebiegających w piecu martenowskim). Praca pieca elektrycznego jest dokładna (można ją w prosty sposób kontrolować i regulować) oraz nie ma w nim zanieczyszczenia metalu przez paliwo. Za

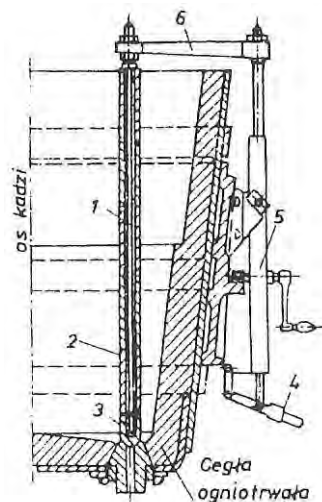


Rys. 3.21. Przebieg procesu wytapiania stali w piecach łukowych typu Heroulta

podstawowe zalety elektrometalurgii stali uznaje się:

- wydzielanie ciepła, które dokonuje się w samym metalu lub w bezpośredniej jego bliskości;
- możliwość stworzenia dowolnej atmosfery i pracy z żużłami utleniającymi i redukującymi.

W zakończeniu wiadomości na temat stalownictwa należy wspomnieć o sposobach odlewania stali. Po zakończeniu procesów metalurgicznych w piecu stal przelewa się do kadzi (rys. 3.22). Kadź z blachy stalowej, wymurowana wewnątrz cegłą szamotową, posiada w dnie otwór, w którym znajduje się wylew kadziowy zamykany korkiem. Korek umocowany jest na końcu żerdzi stalowej, zabezpieczonej szamotowymi rurkami żerdziowymi przed zetknięciem się z ciekłą stalą i żużłem. Za pomocą mechanizmu dźwi-



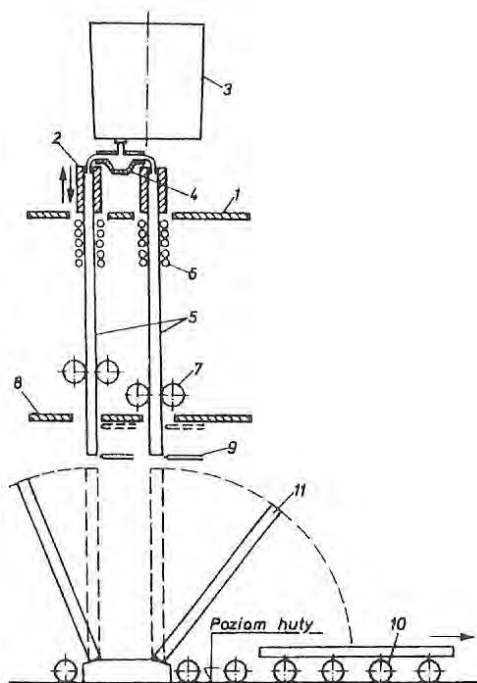
Rys. 3.22. Kadź zatyczkowa: 1 – żerdź, 2 – rurki żerdziowe, 3 – korek, 4 – dźwignia, 5 – przewodnica, 6 – ramię

gniowego żerdź z korkiem można podnieść i opuszczać, otwierając i zamykając otwór wylwu. Korek i wylew wykonane są z szamotu najwyższego gatunku lub mieszaniny grafitu z gliną ogniotrwałą. Kadź posiada na zewnątrz czopy dla zawieszenia jej na hakach suwnicy. Napełnianie wlewnic stałą może odbywać się z góry lub z dołu (sposoby stosowane już w wieku XIX). W pierwszym przypadku z kadzi zawieszonych na suwnicy napełnia się wlewnicę bezpośrednio. W drugim - szereg wlewnic ustawionych na płycie napełnia się za pomocą syfonu (rury stalowej wyłożonej rurami szamotowymi) i kanałów szamotowych mieszczących się w wycięciach płyty. Sposób ten pozwala na lepszą regulację szybkości napełniania wlewnic i daje lepszą powierzchnię wlewków, ponieważ stal nie rozpryskuje się po ściankach wlewnic w początkowym momencie zalewania.

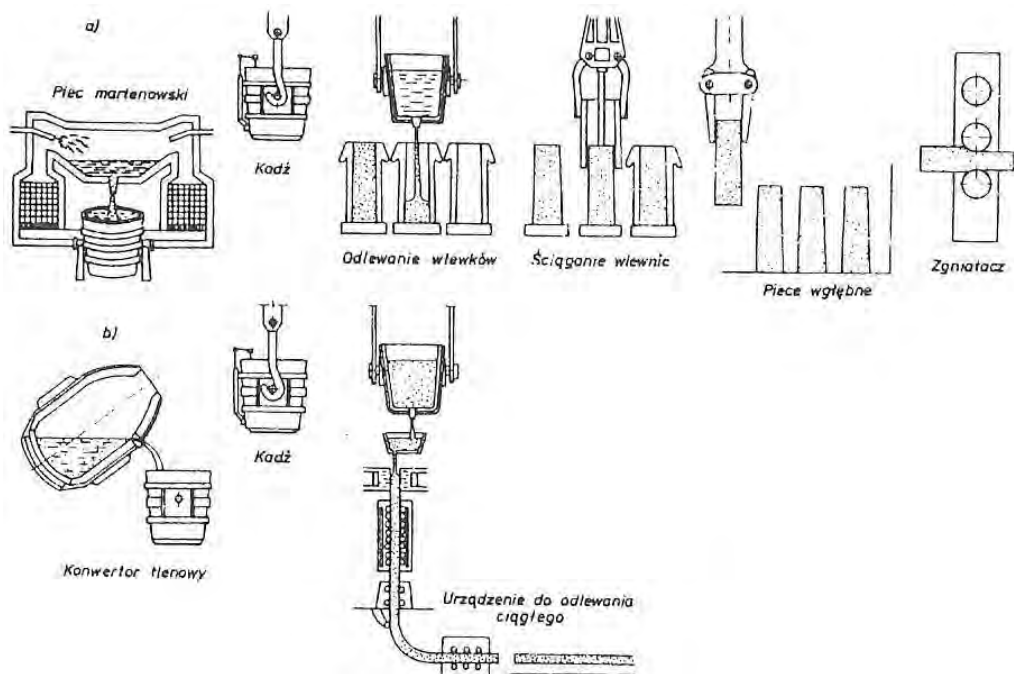
Nowoczesną metodą odlewania stali (opracowaną przez Niemców w czasie II wojny światowej) jest **metoda odlewania ciągłego**. Charakteryzuje ją mechanizacja całego procesu odlewania, duża wydajność oraz dobra jakość otrzymywanych wlewków ciągłych. W porównaniu z tradycyjnymi metodami odlewania wlewków zastosowanie urządzenia do odlewania ciągłego daje również tę korzyść, że pozwala na odlewanie wlewków o dość małym przekroju, które nie wymagają wstępnego przerobu plastycznego.

Na rys. 3.23 przedstawiono schematycznie pracę urządzenia do odlewania ciągłego stali z krystalizatorem stacjonarnym. Na pomoście roboczym 1 ustawione są otwarte z obu stron i chłodzone wodą wlewnice miedziane, tzw. krystalizatory 2. Stałą znajdującą się w kadzi odlewniczej 3 napełnia się dozator 4, a następnie krystalizatory. Stal ciekła zaczyna krzepnąć na ściankach krystalizatora tuż poniżej zwierciadła metalu. Aby przezwyciężyć siły tarcia między wyciąganym wlewkiem ciągłym 5 a krystalizatorem, na jego ścianki doprowadza się nieprzerwanie małe ilości smaru. Z powodu małej szybkości krzepnięcia środek wlewka ciągłego pozostaje przez dłuższy czas w stanie

ciekłym. W związku z tym poniżej zwierciadła metalu tworzy się strefa krzepnięcia, której długość wynosi kilka do kilkunastu metrów i jest proporcjonalna do szybkości przesuwania się wlewka ciągłego w dół. Po wyjściu z krystalizatora wlewek ciągły, mający ciekłą skrzepniętą skorupę zewnętrzną, poddany jest chłodzeniu wtórnemu 6. Wlewek ciągły, prawie w całości skrzepnięty, przesuwa się między wałcami ciągnącymi 7 ustawionymi na pomoście 8. Walce ciągnące regulują szybkość wyciągania wlewka z krystalizatora. Stosownie do szybkości wyciągania wlewka ciągłego dopełnia się krystalizator nieprzerwanie stałą ciekłą. Poniżej wałców ciągnących wlewek ciągły przecina się na potrzebne długości za pomocą urządzenia do cięcia 9. Odcięte części 11 układają się na samotoku 10 i odtransportowuje.



Rys. 3.23. Schemat urządzenia do odlewania ciągłego: 1 - pomost roboczy, 2 - krystalizator, 3 - kadź odlewnicza, 4 - dozator, 5 - wlewek ciągły, 6 - chłodnica, 7 - wałce ciągnące, 8 - pomost, 9 - urządzenie do cięcia, 10 - samotok, 11 - część odcięta



Rys. 3.24. Porównanie metod odlewania stali: a) metoda tradycyjna, b) metoda odlewania ciągłego

Porównanie metody tradycyjnej (odlewanie do wlewnic) z nowoczesną metodą odlewania stali przedstawiono obrazowo na rys. 3.24. Jak wynika z rysunku, przy zastosowaniu odlewania ciągłego odpadają następujące operacje: transport wlewnic i wlewków do oddziału ściągania wlewnic, transport wlewków do pieców wgłębnych, nagrzewanie wlewków w piecach wgłębnych, transport wlewków do zgniatacza i walcowanie w zgniataczu.

Początkowo surówkę z wielkich pieców wykorzystywano do wytwarzania różnych wyrobów metodą odlewania. Struktura materiału uzyskiwanego w ten sposób odpowiadała dzisiejszemu żeliwu.

Żeliwo to stop odlewniczy żelaza z węglem, krzemem, manganem, fosforem, siarką i innymi składnikami zawierającymi od 2% do 3,6% węgla (w postaci cementytu lub grafitu). Występowanie konkretnej fazy węgla zależy od szybkości chłodzenia. Chłodzenie powolne sprzyja wydzielaniu się gra-

fitu. Także i dodatki stopowe odgrywają tu pewną rolę. Krzem powoduje skłonność do wydzielania się grafitu, a mangan przeciwnie, stabilizuje cementyt. Żeliwo otrzymuje się przez przetapianie surówki z dodatkami złomu stalowego lub żeliwnego w piecach zwanych żeliwniakami. Tak powstały materiał stosuje się do wykonywania odlewów. Żeliwo charakteryzuje się niewielkim (1,0% do 2,0%) skurczem odlewniczym, łatwością wypełniania form, a po zastygnięciu obrabialnością.

W roku 1772 wynaleziono we Francji żeliwo ciągliwe białe. Jego wynalazcą opracował również do jego wytapiania małe, przenośne piece szybkie, uważane za pierwowzór żeliwiaka (wykorzystywane także do wyżarzania odlewów i jako pierwsze piece komorowe). W 1826 r. w USA, w wyniku prób nad uruchomieniem produkcji odlewów z żeliwa ciągliwego białego, prowadzonych przez Setha Boydena (1788-1870), zostaje wynaleziona czarna żeliwo ciągliwe.

Wynalezienie stali zlewnej, czyli **staliwa** (stop żelaza z węglem w postaci lanej, nie poddany obróbce plastycznej; w odmianach użytkowych zawartość węgla nie przekracza 1,5%, suma typowych domieszek na metale również nie przekracza 1%; właściwości mechaniczne staliwa są nieco niższe niż własności stali o takim samym składzie po obróbce plastycznej), rozpowszechnionego w latach 1855 - 1865 spowodowało zahamowanie na pewien czas rozwoju metalurgii żeliwa. Dopiero opatentowanie w roku 1922 w USA metody otrzymywania żeliwa modyfikowanego, przyczyniło się do bardzo szerokiego rozpowszechnienia jego zastosowania w budowie maszyn.

Dalsze rozszerzenie zastosowania żeliwa następuje od 1930 r. po wynalezieniu perlitycznego żeliwa ciągliwego, a szczególnie po II wojnie światowej od 1947 r., tj. od czasu wynalezienia przez Hentona Morrogha (1917-2003) w Anglii żeliwa sferoidalnego, które podobnie jak perlityczne żeliwo ciągliwe charakteryzuje się zarówno wysokimi właściwościami plastycznymi, jak i wytrzymałościowymi, nie spotykanymi do tej pory. Lukę pomiędzy żeliwem szarym a sferoidalnym wypełnia wynalezienie w ostatnim okresie żeliwo wermikularne, charakteryzujące się dobrymi właściwościami mechanicznymi i dostateczną ciągliwością (odpornością na nagłe zmiany obciążeń).

3.2. Metalurgia metali nieżelaznych

Do metali nieżelaznych zaliczane są wszystkie metale za wyjątkiem żelaza i półmetali (pierwiastki chemiczne mające własności pośrednie między metalami i niemetalami, np. arsen, astat, bor, german, krzem, selen, tellur, polon). Metale te dzielą się na dwie grupy, tj. ciężkie (o gęstości większej niż 5 g/cm^3) oraz lekkie (o gęstości mniejszej od 5 g/cm^3). Metale nieżelazne ciężkie dzielone są na trzy podstawowe podgrupy: wysokotopliwe (np. wanad, chrom, mangan, ko-

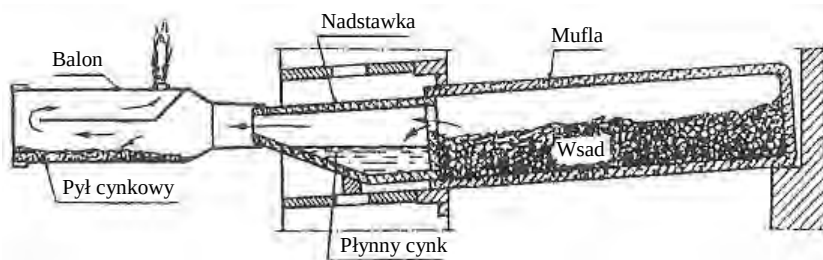
balt, nikiel, miedź, cyrkon, niob, molibden, tantal, wolfram), pośrednie pod względem temperatury topnienia (np. antymon) oraz niskotopliwe (np. cynk, kadm, cyna, rtęć, ołów, bizmut). Przykłady metali nieżelaznych lekkich to aluminium, magnez oraz tytan.

Pierwszym metalem, z którym ludzkość zetknęła się było złoto – znajdowane w stanie rodzimym w postaci łatwo dostrzegalnych blaszek, ziaren itp. Bardzo rzadko (np. podczas kruszenia skał) ludzie starożytni spotykali się również z rodzimym srebrem oraz miedzią. Natomiast pierwszymi metalami, które wytopiono z rud były: miedź, srebro, cyna i ołów (pojawiły się mniej więcej w tym samym czasie na terenie Bliskiego Wschodu).

Miedź zaczęto wytopiać z rud już około 4000 lat p.n.e. Metal ten ze względu na niższą temperaturę topnienia (1084°C) był łatwiejszy do obróbki niż żelazo (1538°C). Wytop prowadzono w prymitywnych piecach, początkowo korzystając wyłącznie z rud tlenkowych. Jednakże ze względu na ich ograniczoną ilość, w 2 tysiącleciu p.n.e., zwrócono uwagę na bardziej rozpowszechnione rudy siarczkowe. Rudy te najpierw prażono w stosach (przy dostępie powietrza) przez co siarczki zamieniały się w tlenki. Następnie korzystając z węgla drzewnego redukowano tlenki i otrzymywano miedź.

W 3 tysiącleciu p.n.e. zaczęto wytwarzać **brąz**, początkowo nieświadomie w efekcie stosowania rud zawierających zarówno miedź jak i cynę. Ten stop ze względu na przypadkowość miał bardzo zmienny skład. Dopiero po upływie około półtora tysiąca lat zaczęto wytwarzać brąz w sposób świadomy stapiając miedź i cynę w odpowiednich proporcjach.

Cyna oraz **ołów** to metale niskotopliwe (ich temperatury topnienia wynoszą odpowiednio 232°C i 327°C). Dzięki temu piece stosowane do ich wytopu miały prostą konstrukcję i nie wymagały nawet dmuchu sztucznego. Produkcja cyny polegała na redukcji rud tlenkowych węglem drzewnym. Natomiast ołów wytwarzano przez prażenie



Rys. 3.25. Schemat mufla, nadstawki i balonu stosowanych obecnie w metalurgii cynku

siarczku ołowiu (galena) na tlenek, z którego w drodze reakcji z siarczkiem ołowiu lub węglem drzewnym otrzymywano ołów metaliczny. W starożytności te dwa metale były bardzo często mylone ze sobą.

Kolejnym ważnym metalem, który zaczął być wytwarzany jest **cynk**. Po raz pierwszy metal ten został otrzymany w Chinach ok. 600 r. Stamtąd poprzez Persję (1100 – 1200 r.) umiejętność wytwarzania cynku dotarła do Europy (XVII w.). Jednakże, należy tutaj zauważyć, że już w starożytności (ok. 1000 r. p.n.e.) wytwarzano **mosiądz** (stop miedzi z cynkiem, zwany także brązem antycznym) w następstwie wytopienia rud miedziowo – cynkowych. Główną przyczyną późnego opanowania technologii wytwarzania cynku były niska temperatura wrzenia tego metalu (907 °C) oraz to, że podczas redukcji wydzielą się on nie w postaci płynnej, ale jako para (podobnie jak kadm i rtęć).

Obecnie cynk wytwarza się metodą ogniową (pirometalurgiczną), polegającą na redukcji tlenku cynkowego w muflach (najczęściej poziomych – rys. 3.25) ogrzewanych zewnętrznie do temperatury około 1200 °C. W efekcie wrzenia cynku wytwarza się para tego metalu, która uchodzi z mufla i skrapla się w specjalnych odbiornikach ceramicznych (tzw. nadstawkach). Część pary, która nie uległa skropleniu przechodzi do blaszanego naczynia (tzw. balonu), gdzie ulega kondensacji w postaci bardzo drobnego pyłu cynkowego. Uzyskany w ten sposób metal zawiera różne zanieczyszczenia (do 2,5%), które zmniejszane są w procesach rafinacji realizowanych różnymi metodami.

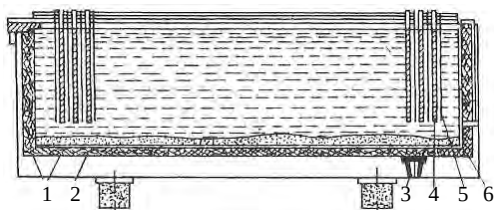
Kolejne trzy ważne metale nieżelazne tj. **nikiel**, **chrom** i **mangan** pojawiły się dopiero na przełomie wieków XVIII i XIX, w następstwie prac realizowanych nie w hutach lecz w pracowniach chemików. I tak istnienie niklu zostało stwierdzone przez szwedzkiego chemika Axela Frederika von Cronstedta (1722-1765) w roku 1751. Jednak dopiero w roku 1804 metal ten został wydzielony w postaci czystej przez innego chemika Richtera. Natomiast chrom został odkryty w roku 1797 przez Louisa Nicolasa Vanquelina (1763-1829) w syberyjskiej rudzie ołowiu $PbCrO_4$ – zwanej krokoitem. Aczkolwiek czysty chrom metaliczny został uzyskany (drogą elektrolizy) dopiero w roku 1854 przez niemieckiego fizyka i chemika Roberta Bunsena (1811-1899). Z kolei istnienie manganu zostało udowodnione (w 1740 r.) przez chemika Johanna Heinricha Potta (1692-1777), który wykazał, iż bursztyn MnO_2 nie zawiera żelaza. Trzydzieści lat później Torben Olof Bergman (1735-1784), profesor chemii w Upsali, opisał piroluzyt (związek manganu MnO_2) jako nowy tlenek. Hipotezę tę potwierdziły badania Carla Wilhelma Scheele (1742-1786), który w roku 1774 przeprowadził redukcję rudy oraz wyodrębnił nowy pierwiastek, któremu nadał nazwę „magnesium”.

Przełomem w metalurgii metali nieżelaznych było zastosowanie do wytwarzania metali hydrometalurgii (metalurgii mokrej). Pozwoliło ono wykorzystać w procesie wytwarzania metali rudy ubogie. Rozwój tej gałęzi metalurgii związany jest ściśle z elektrolizą, za ojca której uważa się Michała Fa-

radaya (1791-1867) - podał on w roku 1834 podstawowe prawa elektrolizy.

Proces elektrolizy polega na wędrówce jonów do obojętnych chemicznie elektrod, zanurzonych w elektrolicie, po przyłożeniu do nich odpowiedniego napięcia prądu elektrycznego. W elektrolizie elektroda naładowana ujemnie jest nazywana katodą, a elektroda naładowana dodatnio anodą. Każda z elektrod przyciąga do siebie przeciwnie naładowane jony. Do katody dążą więc dodatnio naładowane kationy, a do anody ujemnie naładowane aniony. Po dotarciu do elektrod jony przekazują im swój ładunek na skutek czego zamieniają się w obojętne elektrycznie związki chemiczne lub pierwiastki. Powstające w ten sposób substancje zwykle albo osadzają się na elektrodach lub wydzielają się z układu w postaci gazu. Proces elektrolizy wymaga stałego dostarczania energii elektrycznej.

Obecnie proces elektrolizy wykorzystywany jest w rafinacji wielu metali, np. miedzi. Metal ten poddaje się rafinacji przebiegającej w specjalnych wannach elektrolitycznych, żelazobetonowych 1 (rys. 3.26), wyłożonych winiplastem 2 (winidur). W wannach tych zawieszają się kolejno płyty 4 miedzi, otrzymane przez rafinację ogniową oraz cienkie arkusze 5 miedzi elektrolitycznej, służące w procesie elektrolizy jako podkładki. W wannie przemieszcza się elektrolit o temperaturze 50-65°C (wodny roztwór $\text{CuSO}_4 - 10 \div 16\%$ i $\text{H}_2\text{SO}_4 - 10 \div 16\%$). Prąd elektryczny przechodzi od wanny przez elek-



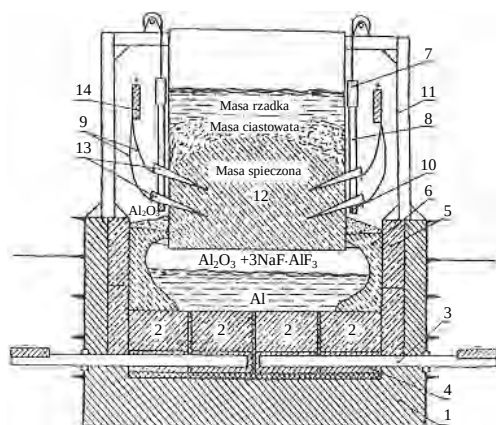
Rys. 3.26. Schemat wanny elektrolitycznej stosowanej w rafinacji miedzi: 1 – wanna żelazobetonowa, 2 – płyty z winiduru, 3 – otwór spustowy, 4 – płyty z miedzi z rafinacji ogniowej, 5 – cienkie arkusze miedzi elektrolitycznej, 6 – szlam

trolit do katody, a miedź rozpuszcza się na anodzie i osadza się na katodzie, a tworzący się szlam 6 wylewa się przez otwór 3.

Metale lekkie, głównie aluminium i magnez, zaczęły być używane stosunkowo późno (dopiero pod koniec wieku XIX). Ze względu na silne powinowactwo do tlenu metalurgia tych metali jest ściśle związana z prądem elektrycznym, bez którego praktycznie nie mogłaby istnieć.

Aluminium (glin) odkrył angielski chemik Humphry Davy (1778-1829) w roku 1807. Podczas badania składu gliny doszedł on do wniosku, iż zawiera ona jakiś nowy metal, który nazwał „aluminium”. Pierwiastek ten w stanie metalicznym został otrzymany 20 lat później, przez chemika niemieckiego Friedricha Wöhlera (1800-1882), w efekcie działania potasu na chlorek aluminium. Jednak ta metoda produkcji była bardzo kosztowna, co sprawiało, że metal ten był początkowo praktycznie niedostępny dla przemysłu. Dopiero opracowanie w roku 1886 nowej metody wytwarzania aluminium (niezależnie od siebie przez Paula Heroult’a (1863-1914) we Francji i Charlesa Halla (1863-1914) w USA, bazującej na elektrolizie pozwoliło na rozpowszechnienie tego metalu. Wywołało to spadek cen aluminium, którego 1 kg kosztował: w 1856 r. 600 zł, 1886 r. – 200 zł, w 1901 r. – 2,30 zł, a roku 1938 – 1,50 zł (ceny podano w zł przedwojennych).

Metodę Halla-Heroult’a – z pewnymi ulepszeniami – stosuje się do otrzymywania aluminium również obecnie. Wykorzystuje się w niej elektrolizę tlenku Al_2O_3 (otrzymywanego z rudy zwanej boksytom), rozpuszczonego w stopionym kriolicie. Elektrolizę przeprowadza się w wannach (rys. 3.27) o pancerzu stalowym, wyłożonych płytami węglowymi, a katodę stanowi trzon wanny. Anody wykonane z koksu pakowego (produkt destylacji wody uzyskanej z węgla kamiennego), zanurzone są swą dolną częścią w elektrolicie. Tlenek glinowy rozkłada się na glin metaliczny i wydziela na katodzie oraz tlen, który stopniowo spala węglowe anody,



Rys. 3.27. Schematyczny przekrój wanny elektrolitycznej z anodą ciągłą i bocznym doprowadzeniem prądu: 1- cegła szamotowa, 2 - bloki katodowe, 3 - pręty katodowe, 4 - żeliwo, 5 - płyty węglowe, 6 - warstwa zakrzepłego elektrolitu, 7 - rama anody, 8 - żebra usztywniające, 9 - przewody, 10 - strzemię oporowe, 11 - wspornik do zawieszania ramy, 12 - anoda, 13 - sworznie white w anodę, 14 - szyna doprowadzająca prąd

w wyniku czego wydziela się CO i CO₂. Proces zachodzi w temperaturze 940-960°C. Do produkcji 1 t aluminium zużywa się 1,90-1,92 t glinu, 0,08-0,09 t kriolitu i 0,50-0,54 t anod węglowych. W celu zmniejszenia ilości domieszek znajdujących się w wyprodukowanym w ten sposób aluminium poddaje się je następnie oczyszczaniu, tj. rafinacji przebiegającej również w wannie elektrolitycznej (tzw. metoda trzech warstw).

Ze względu na swoje właściwości, takie jak mała gęstość i odporność na korozję, stopy aluminium z miedzią i molibdenem zwane duraluminium znalazły wiele zastosowań i są używane do wyrobu szerokiej grupy produktów – od puszek do napojów do części statków kosmicznych. Natomiast czysty, krystaliczny glin jest kruchy i łamliwy.

Magnez został wyodrębniony również przez Humphry Davy'ego w roku 1808. Produkcja przemysłowa tego metalu rozpoczęła się we Francji w 1863 r. Nie była ona zbyt wydajna, gdyż polegała na działaniu sodem na chlorek magnezowy i fluorek wapniowy. Począwszy od roku 1883 magnez otrzymuje

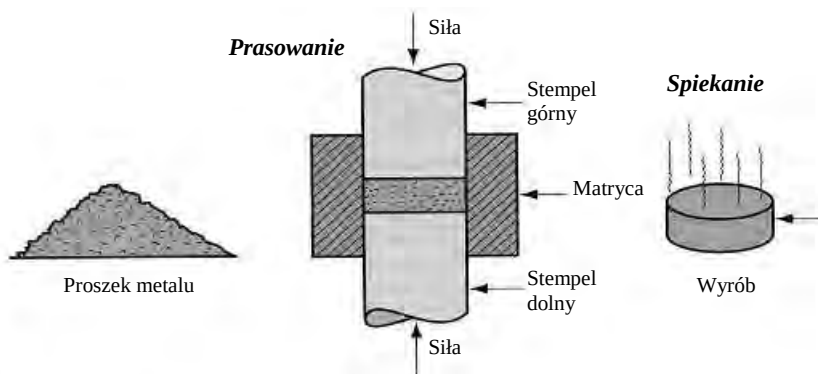
się podobnie jak aluminium, tj. w drodze elektrolizy roztopionej mieszaniny chlorków magnezu, sodu i potasu.

Stopy magnezu z miedzią są wykorzystywane w przemyśle lotniczym i kosmicznym, tam gdzie stopy tytanu i glinu są za ciężkie. W podobnych zastosowaniach wykorzystywane są także magnale (stopy glinu z magnezem) oraz elektrony (stopy magnezu, glinu, cynku, manganu i krzemu). Ze stopów magnezowych coraz częściej wykonuje się także obudowy urządzeń elektronicznych i precyzyjnych, np.: obudowy telefonów komórkowych, notebooków, kamer filmowych i video oraz aparatów fotograficznych.

Kolejny lekki metal nieżelazny, **tytan** został odkryty w Wielkiej Brytanii w 1791 przez amatorskiego geologa i pastora Williama Gregora (1761-1817). Przez wiele lat próbowano otrzymać czysty tytan, jednak nie udało się tego dokonać zwyczajnymi sposobami (stosowanymi w produkcji innych metali). Dopiero w 1910 Matthew A. Hunter (1878-1961) otrzymał czysty (99,9%) metaliczny tytan poprzez ogrzewanie TiCl₄ z sodem w bombie stalowej w temperaturze 700-800°C. Do 1946 tytan nie był używany nigdzie poza laboratorium, dopóki William Justin Kroll (1889-1973) nie opracował opłacalnego sposobu otrzymywania metalicznego tytanu poprzez redukcję czterochlorku tytanu magnezem. Metal ten jest wykorzystywany (począwszy od lat 50-tych XX w.) głównie w lotnictwie, kosmonautyce oraz zastosowaniach militarnych.

3.3. Metalurgia proszków

Metalurgia proszków to metoda wytwarzania wyrobów z proszków metali i niemetali, bez przechodzenia przez stan ciekły (rys. 3.28). Oddzielne cząstki proszków łączą się ze sobą w jednolitą masę podczas wygrzewania silnie sprasowanych kształtek w atmosferze redukującej lub obojętnej. Proces metalurgii proszków jest ekonomiczną metodą wielkoseryjnej produkcji elementów o niewielkich prostych kształtach, w wyniku któ-



Rys. 3.28. Schemat procesu wytwarzania wyrobu w metalurgii proszków

rej uzyskuje się w pełni zwarte sprasowane komponenty. Produkty metalurgii proszków charakteryzują się wyjątkowymi właściwościami mechanicznymi i odpornością na zużycie, dzięki czemu znajdują szerokie zastosowanie w różnych branżach, takich jak m.in. przemysł lotniczy i kosmonautyczny, motoryzacja, przemysł maszynowy i drzewny (zęby pił) itp. Przykładowe wyroby otrzymane tą metodą pokazano na rys. 3.29

Coraz szersze zainteresowanie przemysłu metalurgią proszków wynika z zalet tej metody, z których najważniejsze to:

- ❑ wytwarzanie wyrobów z materiałów trudnotopliwych, bez konieczności roztopiania składników, np. spiekane węgliki tytanu, wolframowe penetratory do pocisków;
- ❑ łączenie materiałów, których nie można połączyć innymi technologiami, np. łą-

czenie ceramiki z metalami; otrzymane cermetale, mają bardzo dobre właściwości żaroodporne i żarowytrzymałe i są stosowane między innym w budowie turbin gazowych i dysz rakiet;

- ❑ łączenie materiałów wzajemnie się nierozpuszczających oraz różniących się znacznie temperaturą topnienia, np. pseudostopy diamentowo-metalowe;
- ❑ uzyskiwanie wyrobów o unikatowych właściwościach wynikających z łączenia składników o bardzo zróżnicowanych właściwościach, np. implanty, samosmarujące łożyska nieporowate o odpowiednim udziale grafitu lub miękkich metali niskostopowych;
- ❑ wytwarzanie materiałów porowatych o objętości porów sięgającej do 50% całkowitej objętości; np. samosmarujące łożyska porowate wykonane ze stali niskowęglowej z dodatkiem miedzi i grafitu lub z brązów cynowych, filtry metaliczne wytwarzane ze stali, mosiądzów niklowych i brązów cynowych;
- ❑ sterowanie składem chemicznym pozwalające regulować w szerokim zakresie przewodnością elektryczną i cieplną oraz rozszerzalnością cieplną produktów, umożliwia wytwarzanie styków elektrycznych oraz przewodników i półprzewodników, np. styki elektryczne W-Cu, szczotki kolektorowe Cu-C;



Rys. 3.29. Przykłady wyrobów otrzymanych w procesach metalurgii proszków

- ❑ wytwarzanie materiałów magnetycznie twardych oraz magnetycznie miękkich.

Mimo powyższych zalet metalurgia proszków ma również pewne ograniczenia. Do najważniejszych z nich zalicza się:

- ❑ trudności w całkowitym wyeliminowaniu porów, które powodują obniżenie wytrzymałości wyrobu gotowego;
- ❑ problem uzyskania równomiernego rozkładu ciśnienia w całej objętości prasowanego proszku podczas wytwarzania wyrobów o złożonych kształtach, co prowadzi do niejednorodnego rozkładu właściwości w gotowym wyrobie;
- ❑ najczęściej stosowane zagęszczanie proszku przez prasowanie w matrycach wiąże się ze znacznymi ograniczeniami odnoszącymi się do kształtu i wielkości wyrobów;
- ❑ proszki metali i stopów o wysokim powinowactwie do tlenu lub o ekstremalnie wysokiej czystości można obrabiać tylko dużym nakładem kosztów;
- ❑ wytwarzanie proszków jest obecnie jeszcze kłopotliwe i drogie, właściwości plastyczne i wytrzymałościowe spieków są z reguły gorsze niż elementów obrobionych plastycznie;
- ❑ metalurgia proszków, w większości przypadków, jest uzasadniona ekonomicznie tylko w produkcji wielkoseryjnej.

Tradycje tej technologii sięgają czasów starożytnych. Już 3000 lat p.n.e. w starożytnym Egipcie wytwarzano w ten sposób proste narzędzia z żelaza. Było to związane z największą wówczas zaletą tej technologii, tj. możliwością wytwarzania wyrobów bez topienia metalu. W średniowieczu Inkowie wytwarzali z proszków metali biżuterię. Wprowadzanie i ciągłe udoskonalanie hutniczych metod topienia zaczęło wypierać metalurgię proszków. Najdłużej stosowano ją do wytwarzania wyrobów z proszków metali mających wysoką temperaturę topnienia (np. iryd – 2466 °C, platyna – 1768 °C), której nie można było uzyskać w ówczesnych piecach.

Jeszcze w 1826 roku w Rosji carskiej wytwarzane były monety platynowe sposobem proszkowym.

Ponowny gwałtowny rozwój wytwarzania wyrobów z proszków metali nastąpił w początkach XX wieku. Technologią tą zaczęto wówczas wytwarzać (z proszków wolframu, tantalu i molibdenu) włókna żarówek. Około roku 1915 uzyskano pierwsze węgliki spiekane (węglik wolframu i węglik molibdenu), które są bardzo twarde i trudnotopliwe. Z tego też powodu są one powszechnie stosowane (również obecnie) na ostrza lub nawet całe narzędzia, wykorzystywane w obróbce metali. W latach 60 i 70 XX w. zaczęto wytwarzać w tej technologii szeroki asortyment części samochodowych. Natomiast w latach 80 ubiegłego stulecia rozpoczęto produkcję części do silników turboodrzutowych, bazującą na metalurgii proszków.

3.4. Metalurgia w Polsce

Żelazo na ziemiach polskich znane było około 750 r. p.n.e., lecz ślady jego produkcji pochodzą dopiero z VI-V wieku p.n.e. Hutnictwo świętokrzyskie w I-V wieku n.e. zalicza się do największych w Europie. Istniały też znacznie mniejsze ośrodki hutnictwa żelaza, min. na terenie Wielkopolski, Śląska i w Karpatach.

W regionie świętokrzyskim eksploatowano (w pierwszych wiekach naszej ery) zalegającą pod powierzchnią ziemi metrową warstwę rudy żelaza w formie tzw. „śmietany hematytowej”. Ośrodek ten był wtedy największym w Europie poza granicami cesarstwa rzymskiego. Już 2000 lat temu w rejonie Nowej Słupi działały pierwsze piece hutnicze tzw. dymarki – rys. 3.30. W Rudkach koło Łysej Góry odkryto, pochodzące z tego okresu szyby (głębokie na 36 m) i obudowany chodnik. O skali ówczesnej produkcji świadczą zwały żużlu u podnóża północnych stoków Łysogór, oceniane nawet na 200 tys. ton. Produkcja żelaza zanikła w V wieku, choć zasoby rudy nie zostały wyczerpane.



Rys. 3.30. Starożytne dymarki świętokrzyskie

Wytwarzanie stali sposobem dymarskim prowadzono w państwie polskim (aż do połowy XVI w.) w kuźnicach, których produkcja roczna wynosiła od kilkunastu do 30 ton. Wykorzystywano tutaj m.in. pochodzące ze Szwecji osmundy, ćwierćkilogramowe placki wytwarzane z magnetytu. W XV wieku w Polsce było około 350 kuźnic: 140 – w woj. sandomierskim, 60 – w Wielkopolsce i na Kujawach, ponad 50 – w woj. Krakowskim oraz 40 na Mazowszu. W drugiej połowie

XVI wieku rozpoczęto produkcję stali we fryszerkach.

W XV wieku w rejonie Olkusza rozwinęła się produkcja ołowiu z miejscowych rud, która w połowie tego wieku przekraczała już 500 ton. 20% tej produkcji zabezpieczało potrzeby kraju, resztę eksportowano.

W drugiej połowie XV wieku huty w Polichnie rozpoczęły produkcję miedzi wydobywanej w Miedziance pod Chęciami. Złóża rudy miedzi zostały tutaj odkryte prawdopodobnie już w wieku XIII, a zamek powstał dla sprawowania nad nimi kontroli.

Okresem szczególnego rozkwitu metalurgii na ziemiach polskich był XVI i pierwsza połowa wieku XVII. Wówczas w Samsonowie (założonym w 1562 r. przez pochodzących ze Szkocji kuźników Jana i Łukasza Samsonów) zbudowano pierwszy w Polsce wielki piec (rys. 3.31). Zawdzięczamy go włoskim specjalistom z Bergamo, braciom Wawrzyńcowi i Janowi Caccia, którzy w latach 1610-1613 stworzyli w Samsonowie nowoczesne zakłady przetwórstwa żelaza. Obejmowały one: wielki piec, trzy fryszerki, kilka kuźnic, dwie wytwórnie broni, odlewnię dział oraz szlifiernię, w której rozwiercano i polerowano lufy armatnie. Kombinat ten korzystał z własnych kopalń rudy żelaza i z okolicznych lasów, będących źródłem węgla drzewnego. Pracowali w nim specjaliści sprowadzeni z zagranicy oraz fachowcy miejscowi. Samsonów w czasach Cacciów stał się



Rys. 3.31. Pozostałe po pożarze w 1866 roku ruiny zakładów przetwórstwa żelaza w Samsonowie (wielki piec to budynek cylindryczny)



Rys. 3.32. Zagłębie Staropolskie w XVII wieku

głównym ośrodkiem tzw. klucza zakładów hutniczych. W okolicznych miejscowościach działały wówczas przerabiające otrzymywaną z huty surówkę kuźnie oraz fryszerki.

W XVII wieku rozwinęło się Zagłębie Staropolskie (rys. 3.32), które pozostało największym polskim okręgiem hutnictwa żelaza aż do połowy XIX wieku. W XVIII stuleciu znajdowało się tam aż 27 wielkich pieców, spośród 35 działających w ówczesnej Rzeczypospolitej. Wytwarzały one około 80% krajowej produkcji żelaza. Pozostałe zlokalizowane były w dobrach magnackich. Najważniejszym z nich był ośrodek w okolicach Końskich stworzony przez Małachowskich. Upadek zagłębia nastąpił w połowie XIX w. i miał wiele przyczyn: od wyczerpania złóż rud, poprzez ustanie dotychczasowej opieki namiastki państwa (Królestwa Polskiego), po rozwój hutnictwa (opartego o tani węgiel kamienny) na Górnym Śląsku i w Zagłębiu Dąbrowskim. Zanik wydobywania żelaza nie oznaczał jednak końca produkcji w tym okręgu. W roku 1837 otwarto bowiem hutę w Ostrowcu Świętokrzyskim, bazującą na pewno na tradycji lokalnej, ale korzystającą już tylko z surowców dostarczanych spoza regionu. Ponadto, w Chlewiskach leżących na pograniczu regionu świętokrzyskiego i Mazowsza pod koniec wieku XIX zbudowano hutę żelaza, będącą ostatnim w Europie zakładem pracującym na archaicznym paliwie – węglu drzewnym (rys. 3.33).

Jak już uprzednio wspomniano w połowie wieku XIX Zagłębie Staropolskie zostaje zdominowane przez Górny Śląsk, który niebawem uzyskuje znaczenie ogólnoeuropejskie. W 1796 roku w Gliwicach konstruktor szkocki John Baildon (1772-1846) uruchomił pierwszy na kontynencie europejskim (poza Wielką Brytanią) wielki piec opalany koksem. W uruchomionej w 1802 roku Hucie Królewskiej (Huta Kościuszko) zastosowano po raz pierwszy do dmuchu maszynę parową. Większość istniejących obecnie w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym hut powstała w XIX wieku, np. huty: „Baildon”, „Florian”, „Jedność”, „Pokój”, „Bobrek”, „Batory”; w Zagłębiu Dąbrowskim (z inicjatywy Banku Polskiego) powstała Huta Bankowa (w okresie PRL Huta im. Feliksa Dzierżyńskiego), pozostałe istniejące tu huty pochodzą z lat 1881-1906. W końcu XIX wieku zbudowano huty: „Częstochowa”, „Katarzyna” i „Zawiercie”. W latach 50-tych XIX wieku powstały liczne nowe walcownie. W Hucie Królewskiej zainstalowano w 1865 roku



Rys. 3.33. Wielki piec w Chlewiskach, uruchomiony w latach 1890 -1892, pracujący do roku 1940. Ostatni w Eurpie piec (o wydajności 13-15 ton surówki na dobę) opalany węglem drzewnym

konwertor besemerowski. W Hucie „Borsing” w Biskupicach Śląskich zbudowano w 1872 roku piec martenowski, a w 1878 wybudowano w Hucie Królewskiej i w Hucie „Pokój” konwertory thomasowskie i fabryki tomasyny.

W okresie międzywojennym hutnictwo polskie rozwijało się w kierunku produkcji stali jakościowych i stopów metali, nie zwiększając ilości wytwarzanych stalowych wyrobów hutniczych. Dużym osiągnięciem walcownictwa było zbudowanie w latach 1933-34 przez Tadeusza Sendzimira (1894-1989) w Hucie „Pokój” walcarki do walcowania blach na zimno.

W latach 1936-1939 w południowo-centralnych dzielnicach Polski powstał ośrodek przemysłu ciężkiego tzw. Centralny Okręg Przemysłowy (COP). Był on jednym z największych przedsięwzięć ekonomicznych II Rzeczypospolitej. Celem COP-u było zwiększenie ekonomicznego potencjału Polski, rozbudowa przemysłu ciężkiego i zbrojeniowego, a także zmniejszenie bezrobocia wywołanego skutkami wielkiego kryzysu. Na rozwój COP-u przeznaczano w latach 1937-1939 około 60% całości wydatków inwestycyjnych. Budowę COP rozpoczęto z inicjatywy wicepremiera i jednocześnie ministra skarbu Eugeniusza Kwiatkowskiego (1888-1974), który wraz z Pawłem Kosieradzkim (1903-1994) i Władysławem Kosieradzkim (1905-1944) opracował czteroletni plan inwestycyjny, obejmujący okres 1 VII 1936 - 30 VI 1940. Przedsięwzięcie dało zatrudnienie dla 100 tys. pracowników. W ramach COP zbudowana została (w latach 1937-1939) huta stali jakościowych w Stalowej Woli. Uroczystego otwarcia nowo wzniesionych Zakładów Południowych w Stalowej Woli dokonał w czerwcu 1939 roku prezydent Ignacy Mościcki. Pierwszymi produktami Huty była stal szlachetna, armaty (rys. 3.34) i sprzęt dla rolnictwa.

W czasie okupacji hitlerowskiej hutnictwo polskie poniosło dotkliwe straty. Po wyzwoleniu nastąpił intensywny rozwój. Odbudowano, rozbudowano i zmodernizowano

wszystkie stare huty, zbudowano (1954 r.) Hutę im. Lenina w Krakowie (obecnie Huta im. Tadeusza Sendzimira), Hutę „Warszawa” (1957 r.) i Hutę „Katowice” (1976 r.). W maju 1976 roku powstało przedsiębiorstwo państwowe Kombinat Metalurgiczny Huta Katowice w Dąbrowie Górniczej, w skład którego włączono nowobudowany zakład hutniczy, Hutę Bankową oraz Zakłady Koksownicze im. Powstańców Śląskich w Zdzieszowicach.

W okresie powojennym nastąpił w Polsce olbrzymi rozwój hutnictwa metali nieżelaznych. Rozbudowano istniejące przed 1939 rokiem huty cynku i ołowiu (zakłady Cynkowe „Szopienice” i Zakłady Cynkowe „Silesja” w Katowicach) oraz zbudowano nowe: Zakłady Górniczo-Hutnicze „Bolesław” w Bukowinie k. Olkusza (1953), Huta Cynku „Miasteczko Śląskie” (1961-1966) i inne.

Hutnictwo miedzi w Polsce (istniejące od około XV wieku) nabrało znaczenia po II wojnie światowej. Odkryto bowiem nowe złoża rud miedzi (1957), co zaowocowało budową nowych ośrodków w utworzonym w 1970 roku Kombinate Górniczo-Hutniczym Miedzi w Lubinie, w skład którego wchodzi: Huta Miedzi „Głogów” w Żukowicach i Huta Miedzi „Legnica” w Legnicy. Technologia wytwarzania jest zależna od poszczególnej huty. Przykładowo w Hucie „Legnica” oparta jest ona na technologii przetopu koncentratów miedzi w piecach szybowych (rys. 3.35). Wsad do pieców szybowych stanowi



Rys. 3.34. Działa wyprodukowane w Hucie Stalowa Wola, 1938 r.



Rys. 3.35. Schemat technologiczny produkcji miedzi w HM „Legnica”

uśredniony i zbrykietowany koncentrat, zawierający ok. 20%÷25% miedzi, oraz żużel konwertorowy i koks. W wyniku przetopu wsadu otrzymuje się kamień miedziowy oraz żużel odpadowy. W efekcie procesu konwertorowania kamienia miedziowego powstaje miedź konwertorowa (miedź blister) o zawartości ok. 98,5% Cu. W procesie rafinacji ogniowej - piec anodowy, zostają usunięte pozostałe zanieczyszczenia. Odlane anody poddawane są elektorafinacji, w trakcie której miedź anodowa rozpuszcza się w elektrolicie i pod wpływem prądu stałego osadza się na podkładkach katodowych, tworząc produkt finalny – miedź katodową o zawartości 99,99% Cu.

Produkcję aluminium podjęto w Polsce dopiero po II wojnie światowej, budując: w

latach 1952-54 Hutę Aluminium w Skawinie i 1961-66 Hutę Aluminium „Konin”.

Oprócz wymienionych wyżej metali produkowany jest w Polsce w niewielkich ilościach magnez metaliczny (huta w Trzebini) i żelazonikel w hucie w Szklarach. Pewne ilości metali nieżelaznych, np. kadmu, tantalu, indu, itp. uzyskuje się w hutach cynku i miedzi. Stopy metali nieżelaznych (mosiądz, brąz, stopy cynku i cyny, ołowiu i niklu) oraz wyroby walcowane z metali nieżelaznych i ich stopów wytwarzane są min. w Hucie „Będzin” w Będzinie, w Zakładach Przetwórczych Metali Nieżelaznych „Hutmen” we Wrocławiu, Zakładach Metali Lekkich w Kętach.

4. Techniki wytwarzania

Wyroby mogą być wytwarzane różnymi metodami. Najważniejsze z nich to: metalurgia proszków, odlewnictwo, obróbka skrawaniem, obróbka plastyczna oraz przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wiele produktów powstaje w wyniku łączenia części w struktury większe, zatem wskazanym jest również omówienie w ramach niniejszego rozdziału historii wybranych połączeń mechanicznych.

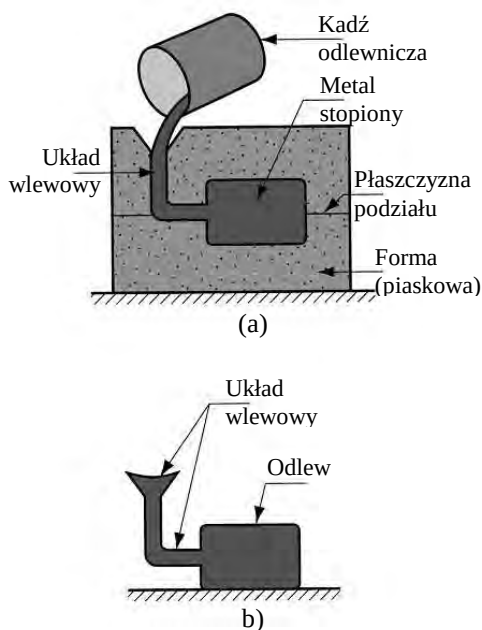
4.1. Odlewnictwo

Odlewnictwo to technika wytwarzania wyrobów metalowych, zwanych odlewami, polegająca na nadaniu im kształtów, wymiarów i struktury, za pomocą doprowadzenia metalu (stopu) do stanu ciekłego, i wypełnieniu nim odpowiednio przygotowanej formy odlewniczej (rys. 4.1).

Technologia odlewania w porównaniu z innymi technologiami wytwarzania ma szereg zalet, mianowicie:

- ❑ wykorzystując technologię odlewania, można wykonywać części z różnych metali i stopów, stosując natomiast obróbkę wiórową wykonuje się wyroby jedynie z materiałów o dobrej skrawalności, a na drodze walcowania i kucia można wykonywać wyroby tylko z materiałów plastycznych;
- ❑ na drodze odlewania - szczególnie stosując specjalne metody tej technologii - można produkować wyroby (odlewy) o bardzo złożonych kształtach i o różnorodnych wymiarach;

- ❑ technologie odlewnicze zapewniają dużą dokładność wymiarową i gładkość powierzchni odlewów - można więc stosować niewielkie naddatki na obróbkę wiórową, co zapewnia znaczne oszczędności materiałów i robocizny (z tego m.in. względu koszt wytwarzania odlewów w porównaniu do kosztów produkcji wyrobów wykonywanych na drodze innych technik wytwarzania jest niższy);
- ❑ wytrzymałość na rozciąganie oraz inne własności mechaniczne odlewów nie ustępują własnościom mechanicznym



Rys. 4.1. Odlewanie: a) schemat procesu, b) wyrób wraz z układem wlewowym



Rys. 4.2. Kolos Rodyjski według wyobrażeń z XVI wieku (sztych Martena van Heemskercka)

części wykonywanych przez kucie czy obróbkę wiórową.

Najwcześniejsze odlewy z brązu archeolodzy znaleźli na obszarze Mezopotamii. Były one wykonane wg metody tzw. traconego wosku, dzisiaj zwanej metodą wytapianych modeli. Ta technologia, w różnych odmianach stosowana była także w dawnym Egipcie, w Indiach i Chinach. Natomiast zmodyfikowana metoda, która przeniesiona została do Europy z Azji Małej, Syrii i Fenicji przez Kretę, umożliwiała wykonywanie dużych posągów, wewnątrz pustych (Grecja, Rzym). Odlewy wykonywano wówczas w formach kamiennych otwartych i dzielonych oraz w formach z gliny. Metal topiono w piecach tyglowych lub szybowych. Technologie te stosowano (z pewnymi zmianami) również w pierwszym tysiącleciu n.e. i później.

Ośrodkami, w których szczególnie rozwijało się starożytne odlewnictwo miedzi, brązu i cyny były kraje Bliskiego Wschodu. Z Fenicji rzemiosło to przenieśli się do Grecji, w której nastąpił wspaniały rozwój odlewnictwa artystycznego. Twórcami rzeźb odlewanych z brązu byli: Poliklet z Argos (V wiek p.n.e.), Fidiasz (ok. 490 p.n.e. - ok. 420 p.n.e.) oraz Praksyteles z Aten (IV wiek p.n.e.). Jednym z dzieł Fidiasza był posąg Ateny Promachos o wysokości 15 m (wykonany jako jeden odlew). Jednak największym osiągnięciem ówczesnej sztuki odlewniczej był posąg Heliosa, tzw. Kolos Rodyjski

uznany za jeden z cudów świata antycznego (rys. 4.2). Ten olbrzymich rozmiarów posąg (wysokość ok. 32 m i waga ok. 70 ton) wybudowany został na wyspie Rodos przez Charesa z Lindos w 292-280 p.n.e. Monument wykonano z brązu i ustawiono u wejścia do portu dla upamiętnienia zwycięstwa Seleukosa I Nikatora (ok. 358 - 281 p.n.e.) nad Demetriuszem Poliorketesem (337 p.n.e. - 283 p.n.e.) w 304 roku p.n.e. Według zapisów kronikarskich do budowy tego posągu zużyto 12,7 tony brązu oraz 7,6 tony żelaza do wykonania szkieletu. Jego budowa trwała 12 lat. Posąg uległ zniszczeniu w 224 roku p.n.e., podczas trzęsienia ziemi. Leżał w wodzie aż do VII wieku, kiedy to został przez Arabów podzielony na części i wywieziony, według legendy, na kilkuset wielbłądach.

Rzymianie bardzo mało wnieśli do technologii odlewnictwa. Po upadku ich państwa rzemiosło to upadło na długie wieki. Aż do średniowiecza odlewnictwo niewiele znaczyło. Metodą tą wyrabiano głównie ozdoby.

Najstarszym zabytkiem średniowiecznej sztuki odlewniczej w Polsce są drzwi Katedry Gnieźnieńskiej (rys. 4.3), odlane z brązu (ok. 1175 r.) za panowania księcia Mieszka III Starego (ok. 1122-1202), na których umieszczono 18 scen z życia św. Wojciecha (ok. 956-997). Każde z obu skrzydeł ma 3250 mm wysokości, 850 mm szerokości i 250 mm grubości. Odlanie tych drzwi w owych czasach było wyczynem dużej klasy, dobrze świadczącym o umiejętnościach ówczesnych odlewników, w trzecim wieku istnienia polskiej państwowości. Co prawda nieco wcześniej powstały brązowe drzwi Katedry w Płocku (odlane w latach 1152-1154 w Magdeburgu na zamówienie ówczesnego biskupa), ale zostały one zrabowane przez Litwinów i od XIV wieku znajdują się w Soborze Mądrości Bożej w Nowogrodzie Wielkim w Rosji.

W średniowieczu zaczęto powszechnie stosować odlewnictwo do wytwarzania dzwonów oraz drobnych ozdób ze złota, srebra itp. W Polsce najlepszym przykładem odlewnictwa jest słynny dzwon Zygmunta



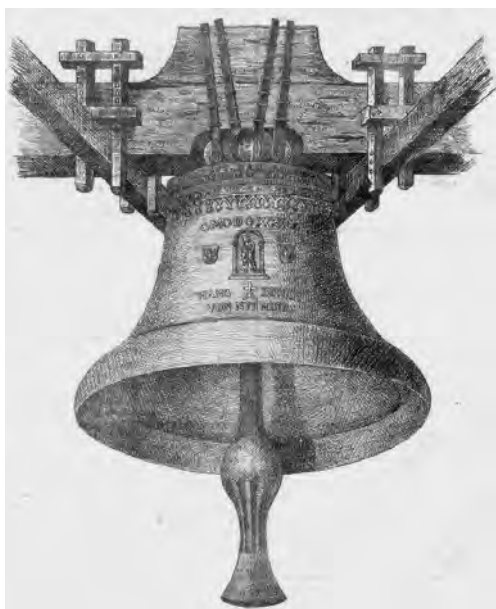
Rys. 4.3. Drzwi Archikatedry gnieźnieńskiej

(rys. 4.4). Ten do niedawna największy polski dzwon, znajduje się w Katedrze Wawelskiej i został ufundowany przez Zygmunta Starego (1467-1548). Dzwon wykonał w krakowskiej ludwisarni ludwisarz Hans Behem z Norymbergi w 1520 roku, a umieszczenie go na wieży miało miejsce 9 lipca 1521 roku. 13 lipca 1521 Kraków po raz pierwszy usłyszał jego głos. Na płaszczu dzwonu widoczne są postacie świętych: Zygmunta i Piotra. Znajduje się tam także herb Polski i Litwy. Cechy charakterystyczne dzwonu Zygmunta to:

- ❑ masa: 10.980 kg; w tym serce dzwonu: 350 kg;
- ❑ średnica u dołu: 2,424 m;
- ❑ wysokość: 1,99 m;
- ❑ grubość ścian: od 7 do 21 cm;
- ❑ objętość: 1,2 m³;
- ❑ stop: brąz (80% miedzi, 20% cyny)
- ❑ płaskorzeźby: św. Zygmunta i św. Stanisława oraz wizerunki orła polskiego i pogoni;
- ❑ napis łaciński, który głosi: Bogu Najlepsze, Największe i Dziewicy Bogu-

rodzicy, świętym patronom swoim, znakomity Zygmunt, król Polski, ten dzwon godny wielkości umysłu i czynów swoich kazał sporządzić Roku Pańskiego 1520.

Dzwon Zygmunta nie jest jednakże największym dzwonem odlanym w świecie. Miano to należy przypisać dzwonowi Car Kołokoł, odlanemu w Rosji carskiej. Ma on wagę 160 ton (wg danych muzeum kremlofskiego - 202 tony), średnicę 6,6 m, wysokość (z uszami) 6,14 m, a odlał go z brązu mistrz ludwisarski Michał Matorin 25 listopada 1735 na Kremlu w Moskwie. Prace przygotowawcze zajęły 1,5 roku (główną rolę w projektowaniu odegrał ojciec Michała, Iwan Matorin, zmarły 3 miesiące przed odlaniem), a samo odlewanie trwało 72 minuty. Późniejsze prace nad napisami i zdobieniami dzwonu ciągnęły się dwa lata. Kilku rzemieślników z Sankt Petersburga pod kierownictwem wykształconego we Włoszech Fiedora Medwediewa wykonało wówczas portrety cara Aleksego (1629-1676) - fundatora poprzednich wielkich dzwonów Kremla, fundatorki obecnego dzwonu - carycy Anny Iwanowny Ro-



Rys. 4.4. Dzwon Zygmunta, znajdujący się na Wawelu w Krakowie



Rys. 4.5. Dzwon Car Kołokoł (największy w świecie)

manow (1693-1740), pięć ikon, napisy i barokowe ornamenty. W maju 1737 w czasie pożaru Kremla ukończony, ale jeszcze nie wydobyty z dołu odlewniczego dzwon pękł, wskutek zalania wodą rozgrzanego metalu przez gaszących pożar (rys. 4.5). Uszkodzony dzwon wraz z ułamanym kawałkiem ważącym 11,5 tony, wydobyto dopiero w 1836 r.

Silnym bodźcem, który pchnął odlewnictwo naprzód było zastosowanie tej technologii do wytwarzania armat. Pierwsza wzmianka o działach odlewanych z brązu (zwanego spiżem) pochodzi z roku 1372. Następnie zaczęto stosować w tym celu żeliwo. Pierwszą armatę żeliwną odlano w Anglii w 1545 r. Nieco później, bo w 1554 r., odlano z brązu największą i do dziś zachowaną armatę (rys. 4.6), zwaną Car Puszka, w Moskwie, o masie 40 t. Masa kuli kamiennej stosowanej w tej armacie wynosiła 800 kg, a średnica wewnętrzna lufy aż 920 mm.

Aż do XVIII stulecia płynną surówkę wlewano do form odlewniczych bezpośred-

nio z wielkiego pieca: Było to kłopotliwe z następujących względów:

- ❑ wstrzymywania prac odlewniczych w czasie okresowych remontów wielkiego pieca;
- ❑ trudności z uzyskaniem wytopu o określonym składzie;
- ❑ braku możliwości wykorzystania metalu pochodzącego z nieudanych odlewów oraz odpadów;
- ❑ lokalizacji odlewni wyłącznie w hutach (często znajdujących w lasach i na odludziu).

Problem ten rozwiązano spustem surówki z wielkiego pieca do form, w których zastygała ona w postaci dużych bloków. Można je było transportować do odlewni i topić w dowolnym czasie, w specjalnych piecach przeznaczonych bezpośrednio do odlewania. Obecnie stosowany w tym celu piec tzw. żeliwiak, został opracowany (ok. 1770 r.) przez Johna Wilkinsona (1728-1808).

W XVIII stuleciu rozpowszechniły się także (wynalezione w wieku poprzednim) formy z masy piaskowej z niewielkim dodatkiem gliny, co miało wpływ na duży wzrost wydajności pracy w odlewnictwie.

W wieku XIX zaczęto wykonywać także odlewy ze staliwa. Po raz pierwszy do-

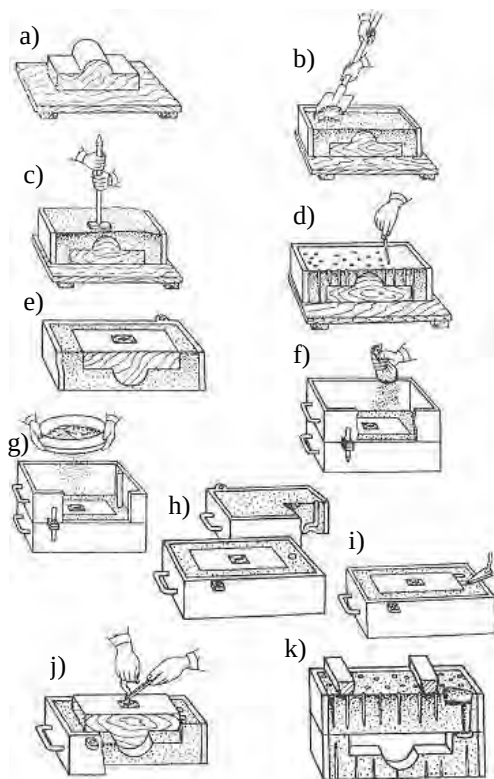


Rys. 4.6. Armata Car Puszka znajdująca się na Kremlu

konał tego Jacob Mayer (1813-1875) w Bochum w roku 1850. Począwszy od lat 80 XIX stulecia zaczęto badać strukturę i skład odlewów wykorzystując do tego mikroskop, metody analizy chemicznej i inne sposoby. Umożliwiło to otrzymywanie wyrobów o ściśle określonych własnościach. W wieku XIX wprowadzono również maszyny do produkcji form odlewniczych, przez co uzyskano ogromny wzrost wydajności.

Obecnie najbardziej rozpowszechnioną metodą produkcji odlewów jest odlewanie w formach piaskowych. Mogą być one wykonywane ręcznie oraz maszynowo. Formy piaskowe wykonywane ręcznie stosuje się najczęściej w produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Odlewy małe i średniej wielkości sporządza się w formach wilgotnych, a odlewy duże i ciężkie najczęściej w formach suchych. Cechą charakterystyczną odlewów produkowanych tą technologią jest ich mała dokładność wymiarowa. Większość czynności w procesie formowania ręcznego (mimo dużej ilości wykonywania form odlewniczych) jest prawie jednakowa we wszystkich sposobach. Zalicza się do nich głównie: zagęszczanie masy w formie (ubijanie masy), odpowietrzanie formy, odbijanie i wyjmowanie modelu z formy, składanie formy i przygotowanie jej do zalewania. Przykład formowania ręcznego pokazano na rys. 4.7.

Formowanie maszynowe stosowane jest przeważnie w produkcji seryjnej i masowej odlewów małych i średniej wielkości. W trakcie tego rodzaju formowania wyróżnia się następujące operacje: dozowanie masy formierskiej do skrzynek, formowanie właściwe obejmujące zagęszczenie masy i wyjęcie modelu z formy, obracanie dolnej części formy, transport części form do stanowisk ich składania, zakładanie rdzeni do form, transport form do stanowisk zalewania ciekłym metalem. Mechanizacja czynności związanych z zagęszczaniem (ubijaniem) masy i wyjęciem modelu z formy powoduje zmniejszenie wysiłku formierza, zwiększa dokładność wymiarową odlewów oraz znacznie podnosi wydajność pracy.



Rys. 4.7. Przebieg formowania ręcznego z modelu niedzielnego: a) ustawienie modelu na płycie podmodelowej, b) wypełnianie skrzynki masą formierską, c) zagęszczanie masy, d) wykonanie kanałów odpowietrzających, e) odwrócenie formy, f) założenie drugiej skrzynki formierskiej i posypanie piaskiem podziałowym, g) wypełnienie drugiej skrzynki, h) rozdzielenie form, i) wykonanie kanałów układu wlewowego, j) wyjęcie modelu, k) ponowne złożenie form i przygotowanie ich do zalewania

Oprócz opisanej powyżej metody odlewania do form piaskowych na przestrzeni ostatnich dwóch stuleci opracowano szereg specjalnych metod odlewania. Należy tutaj w szczególności wymienić odlewanie:

- do form skorupowych;
- metodą wytapianych modeli;
- metodą Shawa;
- w formach półtrwałych;
- kokilowe;
- pod niskim ciśnieniem;

- odśrodkowe;
- pod wysokim ciśnieniem;
- ciągle.

4.2. Obróbka plastyczna

Obróbka plastyczna to metoda obróbki metali polegająca na wywieraniu narzędziem na obrabiany materiał nacisku (wywołującego w metalu naprężenia o wartościach przekraczających granicę jego plastyczności), mającego na celu trwałą zmianę kształtu i wymiarów obrabianego przedmiotu. W technologii tej zawsze uzyskuje się poprawę własności mechanicznych. Proces kształtowania może przebiegać w warunkach: na gorąco, na półgorąco lub na zimno (klasyfikacja ta zależy od temperatury rekrytalizacji metalu wyrobu).

Wyróżnia się następujące podstawowe procesy obróbki plastycznej metali:

- w kształtowaniu brył:
 - kucie (swobodne i matrycowe),
 - walcowanie (wzdłużne, skośne i poprzeczne),
 - ciągnięcie,
 - wyciskanie,
- w kształtowaniu blach:
 - cięcie,
 - gięcie,
 - tłoczenie,
 - walcowanie.

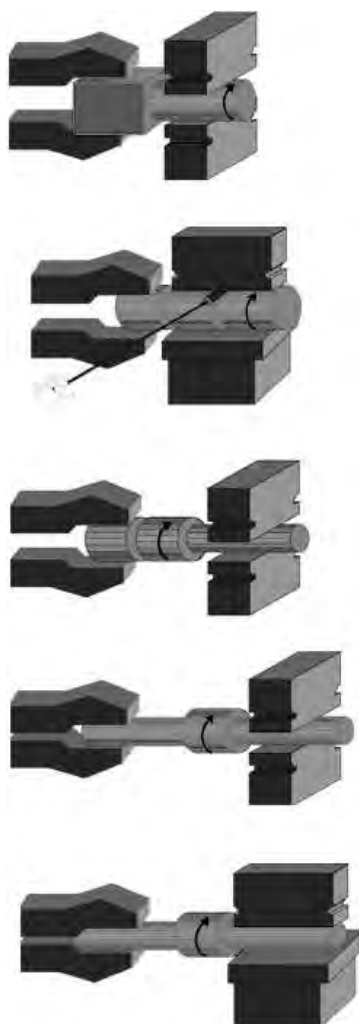
Poniżej zostanie scharakteryzowana historia niektórych z wymienionych powyżej procesów kształtowania plastycznego.

4.2.1. Kuźnictwo

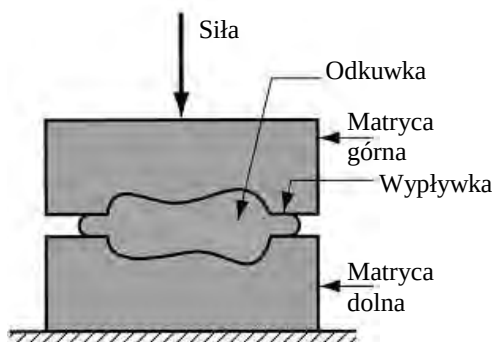
Kuźnictwo to dział obróbki plastycznej metali obejmujący całokształt zagadnień związanych z wytwarzaniem wyrobów kutech za pomocą maszyn i narzędzi kuźniczych.

Przez kucie rozumie się zmianę kształtu obrabianego metalu następującą w wyniku

działania bijaka młota lub suwaka prasy, przy wykorzystaniu własności plastycznych metalu odkształcanego. Jeżeli narzędzia wywierają nacisk tylko na część powierzchni metalu, który może płynąć w kilku dowolnych kierunkach to taki proces kucia lub prasowania nazywa się **swobodnym** (rys. 4.8). Częściowe ograniczenie swobody płynięcia metalu, przy jednoczesnym wywieraniu nacisku na część powierzchni nazywa się kuciem **półswobodnym**, które realizowane jest w



Rys. 4.8. Wykonywanie wału stopniowanego w technologii kucia swobodnego



Rys. 4.9. Schemat procesu kucia matrycowego

przyrządach kuźniczych. Natomiast w procesach kucia **matrycowego** (rys. 4.9) płnięcie metalu na boki ograniczone jest całkowicie przez powierzchnie narzędzi zwanych matrycami.

Kucie swobodne stosuje się przy niedużych seriach lub przy wykonywaniu odkuwek ciężkich. Metodą tą można wykonywać odkuwki o dowolnej masie. Maksymalna masa surowca w postaci wlewków na odkuwki kute swobodnie wynosi 500 ton. Małe odkuwki wykonuje się z wsadu uprzednio walcowanego, duże z wlewków. Metodę tę w szczególności stosuje się w następujących przypadkach:

- przy produkcji jednostkowej, gdzie wykonywanie matryc jest nieopłacalne;
- przy wykonywaniu odkuwek, których masa i wymiary przekraczają możliwości produkcyjne najcięższych dysponowanych zespołów matrycowych;
- przy wstępnej obróbce plastycznej wlewków ze stali stopowych lub stopów o specjalnych własnościach na kęsiska i kęsy kute;
- przy wykonywaniu części zamiennych i do celów remontowych;
- przy szeroko pojętej regeneracji narzędzi i sprzętu warsztatowego.

Kucie matrycowe ma z kolei zastosowanie do wyrobu odkuwek o masie nie przekraczającej kilkuset kilogramów. Zaletami

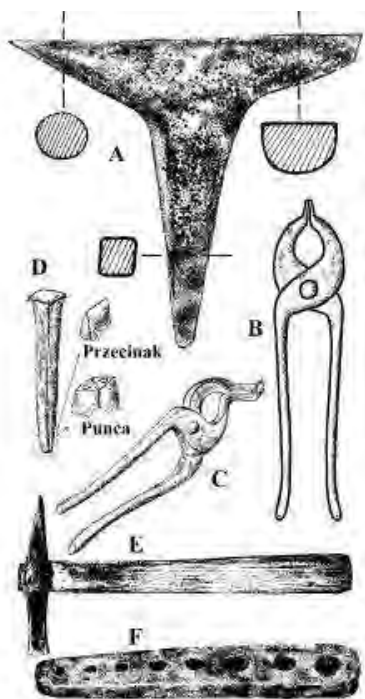
procesu kucia matrycowego są: niewielki czas wykonania wyrobu, możliwość produkowania odkuwek o skomplikowanych kształtach, możliwość zatrudnienia w produkcji pracowników przyuczonych oraz małe straty materiału wskutek stosowania małych naddatków na obróbkę. Ta metoda kształtowania po raz pierwszy została zastosowana dopiero w roku 1853, w produkcji części do rewolweru Colt.

Pierwszym metalem, który poddawano obróbce plastycznej była miedź (ok. 4500 lat p.n.e.). Pierwotnie klepano ją młotkami z wytrzymałych kamieni, później za pomocą narzędzi odlewanych z miedzi i utwardzanych bizmutem. W późniejszych latach zaczęto wykonywać młotki z żelaza (najstarszy znany pochodzi z wykopalisk na terenie byłej Czechosłowacji – ok. 500 r. p.n.e.). Na podstawie licznych opisów wiadomo, że w starożytnym Rzymie znanych było już 10 typów młotów ręcznych o różnych kształtach i przeznaczeniu. O kunszcie pierwszych kowali świadczyć może fakt, iż już w starożytnym Egipcie za pomocą młotkowania (młotkami drewnianymi) umiano wytwarzać z metali szlachetnych (srebra i złota) blaszki o grubości zaledwie 1/100 mm (wykorzystywano je do polichromii wykonywanych na ścianach świątyń i pałaców).

Kowale starożytni oprócz młotków wykorzystywali również inne narzędzia. Można je zaobserwować na malowidłach, które przetrwały do czasów obecnych (rys. 4.10). Zestaw narzędzi stosowanych przez kowali na początku naszej ery pokazano na rys. 4.11.



Rys. 4.10. Malowidło na greckiej wazie z VI wieku p.n.e. przedstawiające kowali przy pracy



Rys. 4.11. Podstawowe narzędzia kowalskie z II - III wieku: A – dwuróg (kowadło), B - kleszcze proste, C - kleszcze obuszne, D - punca i przecinak, E – młotek, F - gwoździownica.

Składały się nań przede wszystkim młotki o wadze do 1 ÷ 1,5 kg, kowadełko (często mające formę tzw. dwurugu, stosowanego obecnie tylko jako kowadło pomocnicze), gwoździownica oraz kilka rodzajów kleszczy i pilników. Z całą pewnością były też używane inne narzędzia jak choćby przecinaki, czy różnego kształtu punce. Za pomocą tych narzędzi można było wykuć w zasadzie wszystkie znane wówczas przedmioty z żelaza.

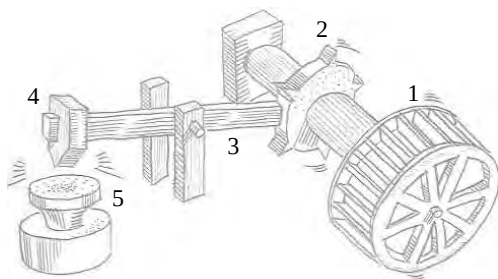
Pierwszymi kutymi seryjnie wyrobami były monety. Wynaleziono je (prawie jednocześnie) w VII w. p.n.e. w kręgu cywilizacji greckiej: w Lidii, położonej na zachodnich wybrzeżach Azji Mniejszej (dziś Turcja), oraz w Argolidzie (Peloponez), państwie Fejdona, do którego należała też bogata w pokłady srebra wyspa Egina. Lidyjskie monety z VII i VI wieku p.n.e. były wykonywane z elektronu (stop złota i srebra), po jednej stro-

nie widać na nich wizerunki byka lub lwa, a po drugiej kwadratowe wgłębienie spowodowane niedoskonałą jeszcze techniką bicia (rys. 4.12). Natomiast w Argolidzie używano monet srebrnych. Miały one wybity symbol państwowy, którym był żółw morski, a kształtem przypominały spłaszczoną baryłkę.

Monety najczęściej wybijano przy użyciu odpowiednich stempli. Moneta składa się z dwóch stron: strony głównej (awers) i strony przeciwnej (rewers). Stempel awersowy najczęściej znajdował się w kowadle, a rewersowy kładziono na kulkę, lub blaszkę, która miała być przekształcona w monetę i uderzano w niego młotem kowalskim. Przyrządem, którym wciskano metal w kowadło były punce (pra-stemple) rewersowe. Pierwsze punce miały szorstką, nieobrobioną powierzchnię i pozostawiały na monecie kwadratowy kształt (patrz rys. 4.12). Dlatego też pierwsze monety określane mianem „kwadratu wklęsłego” były jednostronne. Z biegiem czasu punce ewoluowały w kierunku powierzchni o regularnych kształtach, na których wreszcie zaczęły pojawiać się wizerunki tematyczne. Stempel rewersowy był początkowo mniejszy od awersowego, ale ta różnica stopniowo zaczęła zanikać, by wygasnąć zupełnie ok. V wieku p.n.e. Stemple wykonywano ryjąc na nich wklęsłe wizerunki tych samych wymiarów, jakie zaobserwować można na monetach, po wykonaniu tej czynności stemple hartowano. Stemple niszczyły się nierównomiernie, szybciej zużywały się stemple rewersowe. Z tego też powodu często stemple awersowe widnieje na monetach o różnym rewersie. Średnio na jeden stempel awersowy przypadało siedem rewersowych (rekord wynosi przeszło dwadzieścia).



Rys. 4.12. Moneta z Lidii, ok. VI wieku p.n.e.



Rys. 4.13. Młot naciskowy z napędem wodnym:
1- koło wodne, 2 – pierścień zaczepowy (tzw. żaba), 3 – toporzysko, 4 - bijak (tzw. baba), 5 – kowadło (najczęściej wymienne)

W średniowieczu nastąpił rozwój kuźnictwa, głównie w następstwie upowszechnienia koła wodnego, stosowanego m.in. do napędu miechów kuźniczych i młotów od XIV wieku). Koło wodne poruszało wał, na którym pierścień zaczepowy powodował z kolei ruch młota. Mógł to być młot naciskowy, gdzie wał z pierścieniem był umieszczany prostopadłe do toporzyska (rys. 4.13), albo młot podrzutowy (gdy wał był równoległy). Młot naciskowy miał niewielką energię uderzenia, ale uderzał bardzo szybko (do 250 razy na minutę). Z kolei młot podrzutowy (prawdopodobnie skonstruowany w Polsce, bo w Europie zwany był polakiem) poruszał się wolniej, ale miał znacznie większą ener-

gię uderzenia.

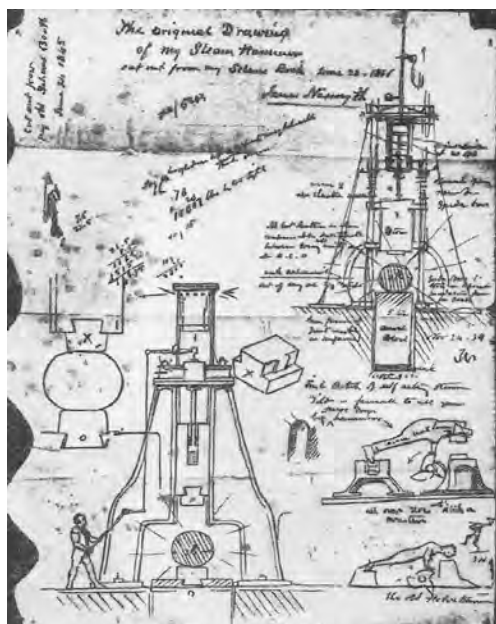
Przykład zabytkowego młota naciskowego, który można oglądać w zabytkowej kuźni wodnej w Starej Kuźnicy pokazano na rys. 4.14. Zakład ten założony był w XVII wieku (pierwsze wzmianki 1662 r.) i działał aż do roku 1957.

Dalszy rozwój kuźnictwa związany jest z wykorzystaniem pary do napędu młotów. Prekursorem w tym zakresie był James Nasmyth (1808-1890). W roku 1838 zwróciło się do niego o radę Great Western Steam Company, które nie mogło znaleźć w całej Wielkiej Brytanii młota zdolnego do odkucia wałka koła łopatkowego, budowanego wówczas największego statku (napędzanego parą) SS Great Britain (zwodowany w 1843 r.). Nasmyth znalazł rozwiązanie, w ciągu zaledwie pół godziny (24 XI 1839 r.) naszkicował projekt nowego młota (rys. 4.15), na którym można było wykonać pożądaną część. Młot wg jego projektu został zbudowany we Francji w Le Creusot w latach 1841-1842.

W młocie Nasmytha (rys. 4.16) do podnoszenia bijaka zastosowano cylinder z tłokiem, który pod działaniem ciśnienia pary wodnej przemieszcza się do góry (jest to tzw. młot jednostronnego działania). Na pełnej wysokości otwiera się wylot pary z cylindra, następuje jej gwałtowne rozprężenie, a bijak



Rys. 4.14. Zabytkowy młot napędzany kołem wodnym położony nad rzeką Młynkówką w Starej Kuźnicy



Rys. 4.15. Oryginalny projekt Nasmytha, naszkicowany zaledwie w ciągu pół godziny, 24 XI 1839 r.

spada pod własnym ciężarem. W celu zwiększenia energii uderzenia należy zwiększyć masę bijaka lub wysokość, na którą jest on podnoszony. Bardzo szybko przemysł zgłosił zapotrzebowanie na młoty o większej mocy. Już w roku 1861 Alfred Krupp (1812-1887) uruchomił w swych zakładach w Essen słynnego „Fritza” – młot parowy, którego bijak miał masę 35 ton. W latach 70-tych XIX wieku w przemyśle powszechnie stosowano młoty, których bijaki miały masę w zakresie 50 do 100 ton.

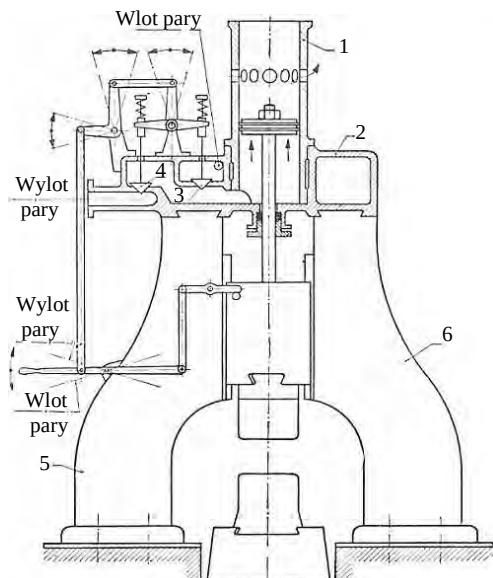
Największy w historii młot jednostronnego działania zbudowano w USA w Zakładach Bethlehem Iron Company w roku 1891. Został on wykonany na podstawie patentu odkupionego od firmy Schneider and Co, która w roku 1877 uruchomiła we francuskim mieście Le Creusot młot o masie części spadających 100 t – rys. 4.17. Maszyna amerykańska była jeszcze potężniejsza. Jej dane techniczne to:

- ❑ masa części spadających 125 t;
- ❑ skok bijaka 4875 mm;

- ❑ średnica cylindra 1930 mm;
- ❑ wysokość cylindra 7300 mm;
- ❑ średnica tłoczyska 405 mm;
- ❑ masa szaboty 1952 t;
- ❑ wysokość ponad podłogą kuźni 27,5 m;
- ❑ rozstaw stojaków 11,6 m.

Jednakże ze względu na trudności z wytłumieniem drgań powstających w momencie uderzenia bijaka o szabotę, młot ten pracował zaledwie kilka lat, po czym został zdemontowany i zastąpiony prasą hydrauliczną.

W roku 1857 zastosowano po raz pierwszy doprowadzenie świeżej pary także i do górnej części cylindra, zapoczątkowując budowę młotów dwustronnego działania. W maszynach tych świeża para działa kolejno na dolną i górną powierzchnię tłoka, wykonując pracę podnoszenia bijaka i dodatkowo przyspieszania jego ruchu przy suwle w dół. Schemat młota parowo - powietrznego takiej konstrukcji pokazano na kolejnym rysunku 4.18.

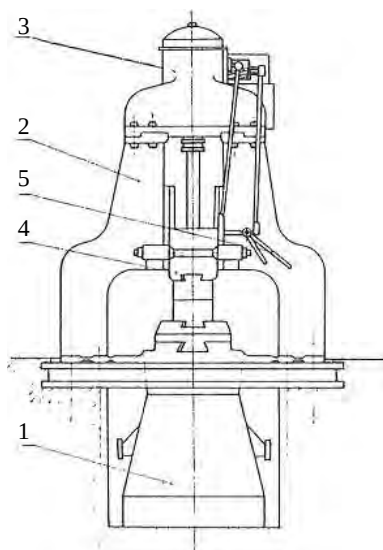


Rys. 4.16. Budowa młota Nasmytha, jednostronnego działania: 1 – cylinder otwarty od góry, 2 – obudowa podstawy cylindra, 3 - zawory wlotowe, 4 – zawór wylotowy, 5 i 6 – stojaki młota



Rys. 4.17. Młot parowy w Le Creusot (masa bijaka ok. 100 t), widok obecny

Na dalsze unowocześnienie młotów stosowanych do kucia trzeba było poczekać kolejne kilkadziesiąt lat. Mianowicie w latach 30-tych XX wieku do produkcji weszły

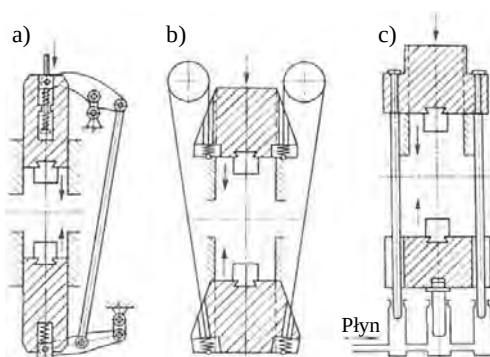


Rys. 4.18. Młot matrycowy parowo - powietrzny podwójnego działania: 1 – szabota, 2 – stojak, 3 – cylinder, 4 – bijak, 5 – sterowanie

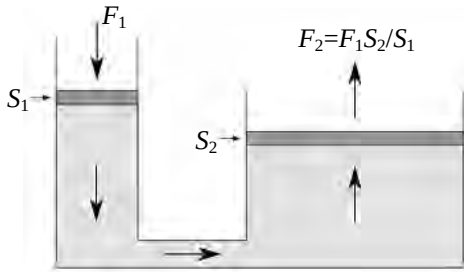
pierwsze modele młotów przeciwbieżnych. Zastosowanie tych maszyn uważa się za jedno z najważniejszych osiągnięć metalurgii w okresie międzywojennym. Charakterystyczną cechą tych maszyn jest brak szaboty. Mają one dwa bijaki, które jednocześnie uderzają w przekuwany materiał, a powstające w czasie kucia siły znoszą się wzajemnie w układzie zamkniętym. Przytoczony fakt powoduje, że młoty te nie wymagają ciężkich fundamentów i są lżejsze od młotów szabotowych o około 35%. Na rys. 4.19 pokazano, stosowane obecnie, sposoby napędu bijaka dolnego młotów przeciwbieżnych.

Inną grupą maszyn stosowanych powszechnie w kuźnictwie są prasy. W odróżnieniu od młotów maszyny te są mniej uniwersalne (nie można na nich wykonywać przedkuwek w szerszym zakresie), ale kształtowanie przebiega podczas jednego suwu suwaka (na młotach wymaga najczęściej kilku uderzeń) i jest bardziej przyjazne dla środowiska (ze względu na hałas i drgania). Ponadto, różna jest charakterystyka płynięcia metalu (na prasach płynie on objętościowo, a na młotach powierzchniowo). Obecnie najszersze zastosowanie przemysłowe znajdują prasy o napędzie hydraulicznym oraz mechanicznym.

Prasa hydrauliczna wynaleziona została w roku 1796. Pomysłodawcą maszyny był angielski stolarz artystyczny Joseph Bramah



Rys. 4.19. Stosowane napędy bijaka dolnego w młotach przeciwbieżnych: a) dźwigniowy, b) taśmowy, c) hydrauliczny



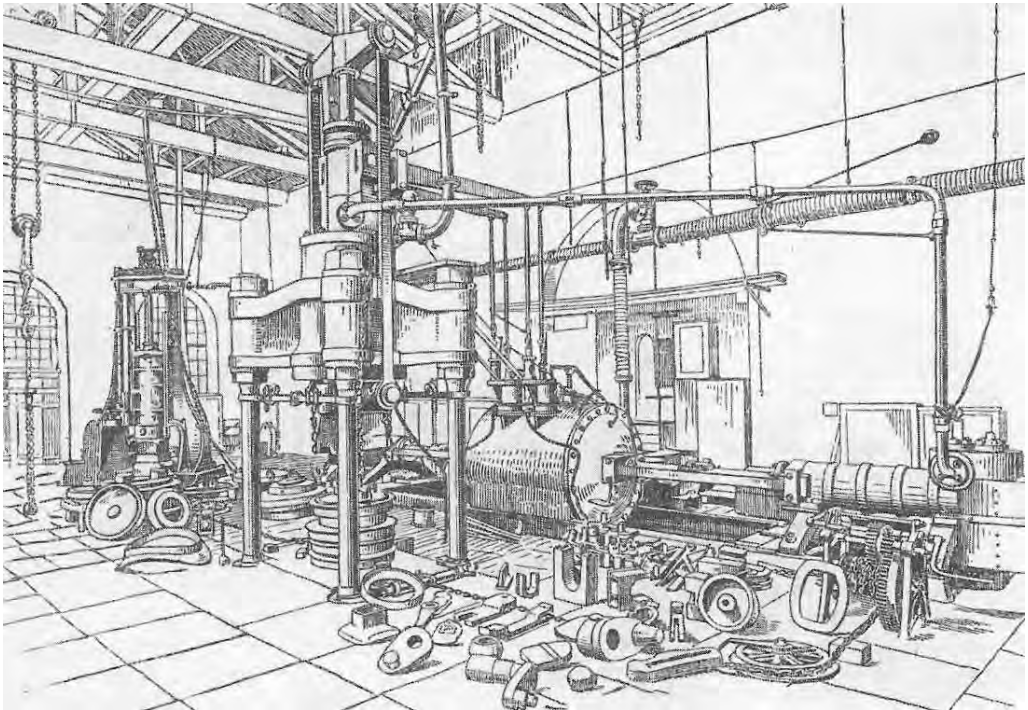
Rys. 4.20. Zasada działania prasy hydraulicznej

(1748-1814), który zrobił praktyczny użytek z urządzenia hydraulicznego (uruchamianego za pomocą płynu pod ciśnieniem). W jego prasie hydraulicznej niewielkie ciśnienie, wywierane na mały tłoczek, przesunęło znacznie większy cylinder na małą odległość, ale z większą siłą. Zasadę działania prasy hydraulicznej, bazującą na zjawisku stałości ciśnienia w stałym układzie hydraulicznym (prawo Pascala), wyjaśnia rys. 4.20.

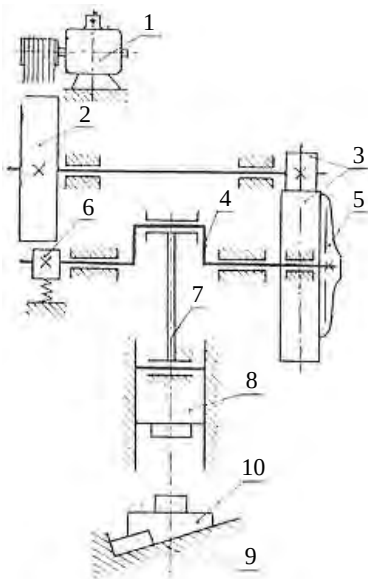
Pierwsza prasa hydrauliczna zastosowana w przeróbce plastycznej metali wyko-

nana została (1820 r.) przez Thomasa Burra, który wykorzystał ją do wyciskania rur z ołowiu. W latach 50-tych XIX stulecia zaczęto wykorzystywać prasy również do kucia matrycowego oraz wytłaczania wyrobów z blach. Natomiast w roku 1894 Alexander Dick rozszerzył zastosowanie pras hydraulicznych na procesy wyciskania rur i profili wykonywanych z miedzi i z brązu.

Jednym z pierwszych przemysłowców, który zaczął wykorzystywać prasy hydrauliczne był zajmujący się produkcją lokomotyw John Haswell (1812-1897). W latach 1859-1861 zbudował on swoją pierwszą prasę, dla kucia części do parowozów (tłok w cylindrze przesuwany był wodą pod ciśnieniem dochodzącym do 400 at.). W następnych latach Haswell uruchomił produkcję komercyjną pras (rys. 4.21) o nacisku: 7, 10 i 12 kN. W następnych latach XIX wieku budowane są prasy hydrauliczne o znacznie większym nacisku (np. w zakładach Kruppa oddano do użytku prasę o nacisku 150 MN).



Rys. 4.21. Prasa Haswella z drugiej połowy XIX wieku (z tyłu młot Nasmyth'a)



Rys. 4.22. Schemat kinematyczny prasy kuźniczej Maxi: 1 – silnik, 2 – koło zamachowe, 3 – przekładnia zębata, 4 – wał korbowy, 5 – sprzęgło pneumatyczne, 6 – hamulec, 7 – korbowód, 8 – suwak, 9 – stół, 10 – przekładka klinowa

W prasach mechanicznych napęd suwaka od źródła energii (początkowo siła mięśni ludzkich, dzisiaj na ogół silnik elektryczny) przekazywany jest za pomocą różnych struktur mechanicznych. Prekursorem takiego rodzaju prasy była gwoździarka (z napędem kolanowym) opracowana ok. 1790 r. przez Jackoba Perkinsa (1766-1849) z Massachusetts w USA. Obecnie do maszyn tego typu zaliczamy prasy:

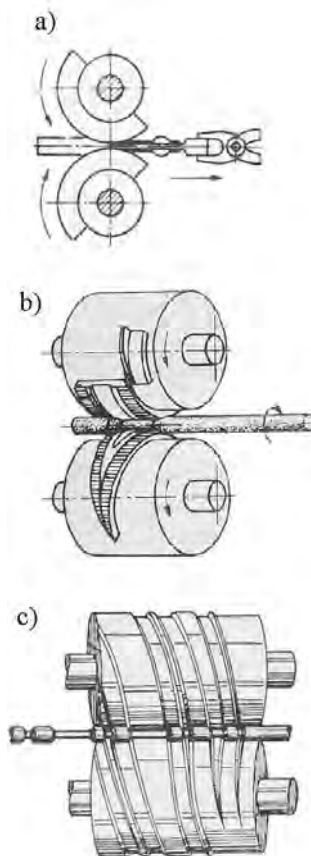
- korbowe kuźnicze (Maxi) – (rys. 4.22);
- mimośrodowe;
- śrubowe i prasomłoty;
- kolanowe.

4.2.2. Walcownictwo

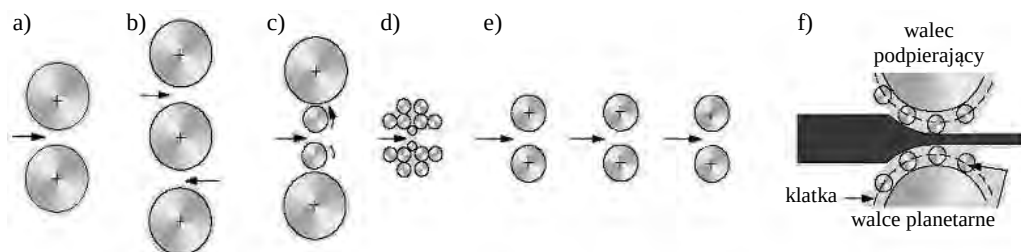
Walcowanie to rodzaj obróbki plastycznej metali wykonywany na walcarkach. Walcowanie polega na kształtowaniu materiału między obracającymi się walcami, tarczami, rołkami lub przemieszczającymi się względem siebie narzędziami płaskimi.

Ze względu na rodzaj ruchu, kształt i ustawienie walców można wyodrębnić następujące metody walcowania (rys. 4.23):

- wzdłużne (rys. 4.23a), w którym: materiał wykonuje ruch postępowy, walce ustawione wzajemnie równolegle obracają się w kierunku przeciwnym, punkty styczności walców z materiałem walcowanym przemieszczają się w kierunku długości materiału walcowanego;
- poprzeczne (rys. 4.23b), w którym: materiał wykonuje ruch obrotowy, walce ustawione równolegle obracają się w jednakowym kierunku, a punkty styczności przemieszczają się po obwodzie materiału w płaszczyźnie prostopadłej do jego osi;



Rys. 4.23. Metody walcowania: a) wzdłużne, b) poprzeczne, c) skośne



Rys. 4.24. Metody walcowania wzdłużnego: a) duo, b) trio, c) kwarto, d) wielowalcowe, e) tandem w trzech przejściach, f) planetarne

- skośne (rys. 4.23c), w którym materiał wykonuje ruch postępowo - obrotowy, walce ustawione skośnie względem siebie obracają się w tym samym kierunku, punkty styczności walców z materiałem przemieszczają się wzdłuż.

Najbardziej rozpowszechniony proces walcowania wzdłużnego można zrealizować na wiele sposobów. Wybrane z nich zostały zamieszczone na rys. 4.24. Należy tutaj zauważyć, że walcowanie można prowadzić wykorzystując walce gładkie (produkcja płaskowników, taśm i arkuszy blach) oraz bruzdowe (wytwarzanie drutów, prętów i kształtowników).

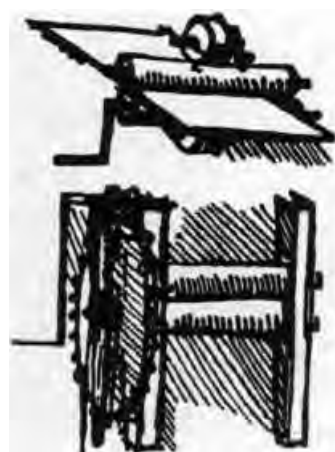
Pierwsze walcarki wzdłużne (budowane w średniowieczu) miały napęd ręczny i używane były w przeróbce metali łatwo odkształcających się, takich jak: ołów i cyna. Przykładem walcarki tego typu może być maszyna zaprojektowana przez Leonarda da Vinci (1452-1519) w 1495 roku – rys. 4.25. Walcarki napędzane ręcznie znajdowały również zastosowanie w złotnictwie do odkształcania metali szlachetnych. Wiadomym jest, że obrabiarkę tego typu miał między innymi polski król Zygmunt III Waza (1566-1632).

Walcowanie zyskało na znaczeniu w wiekach XVII i XVIII, kiedy to zaczęto budować walcarki napędzane kołem wodnym. Początkowo walcarki te znalazły zastosowanie w produkcji blach z ołowiu, używanych prawdopodobnie do obijania den okrętów. W wieku XVIII opanowano stopniowo proces walcowania żelaza na gorąco.

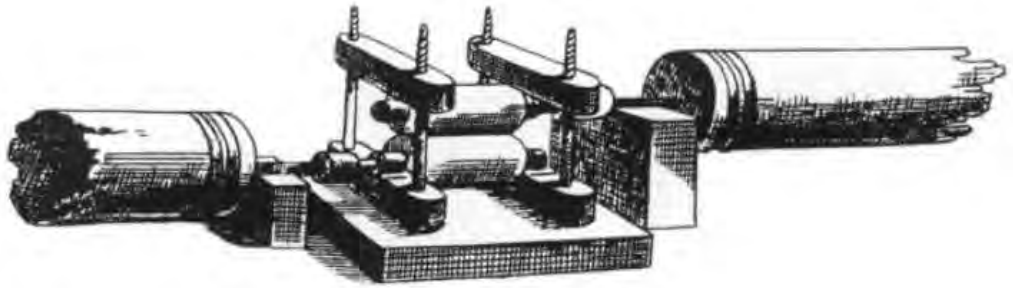
Pierwsze walcarki miały po dwa walce, z których każdy napędzany był osobnym kołem wodnym – rys. 4.26. Stojaki tych maszyn składały się z czterech kolumn (tzw. stojaki filarowe). Ten rodzaj konstrukcji walcarek utrzymał się do połowy XIX wieku. Stojaki używane współcześnie, odlane w całości, były wykonane po raz pierwszy w 1820 roku.

Przykładem walcowni wykorzystywanej w tym okresie są zakłady metalowe w Małeńcu, założone w roku 1784. W ich skład wchodziła walcownia, w której produkowano arkusze blachy już od 1 mm grubości oraz szpadlarnia, gdzie wytwarzano szpadle, gwoździe, nity, sztucce, druty, naczynia gospodarskie i kuchenne. Widok obecny walcarki z Małeńca pokazano na rys. 4.27.

Dalszy rozwój walcarek związany był z zastosowaniem do ich napędu silników paro-



Rys. 4.25. Projekt walcarki wykonany przez Leonarda da Vinci, 1495 r.



Rys. 4.26. Walcarka, z walcami napędzanymi przez oddzielne koła wodne, szkic Angerstein z 1755 r.

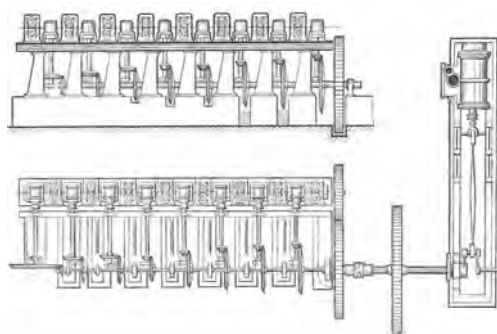
wych. Krótkie kalendarium dotyczące tego zagadnienia obejmuje:

- 1783 - pierwsza walcownia z walcarkami i innymi maszynami napędzanymi parą – John Wilkinson (1728-1808), Anglia;
- 1862 - George Bedson buduje w Anglii szesnastokłatkową linię do walcowania drutu (o wydajności 2 t./godz.), napędzaną silnikiem parowym (rys. 4.28);
- 1871 – Alexander Holley (1832-1882) buduje w USA walcarkę trio do walcowania wlewków ze stali besemerowskiej (walcarki tej konstrukcji używane jeszcze na początku XX wieku miały walce o średnicy do 1300 mm).

W roku 1728 John Payne (Anglia) opatentował walce (rys. 4.29), w których miały być kształtowane pręty okrągłe z wsadu ku-



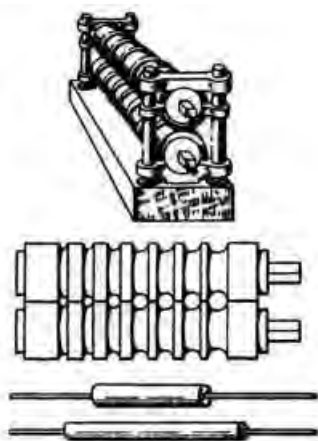
Rys. 4.27. Pochodząca z 1843 roku walcarka w Maleńcu, napędzana energią z koła wodnego, dostarczana z pomocą układu przekładni zębatach z kołem zamachowym.



Rys. 4.28. Walcarka ciągła Bedsona, wyposażona w napęd parowy, 1862 r.

tęgo. Jakkolwiek rozwiązanie to nie zostało praktycznie zastosowane, to koncepcja walcowania w bruzdach specjalnie wytoczonych na walcach z upływem lat stała się podstawowym sposobem wytwarzania różnego rodzaju kształtowników. Właściwy początek walcowaniu prętów i kształtowników dał Henry Cort (1740-1800), który w roku 1783 opatentował metodę walcowania „żelaza okrągłego, kwadratowego i o przekroju prostokątnym”. Przebieg procesu walcowania bruzdowego prętów można prześledzić na podstawie XIX-wiecznej ilustracji, pokazanej na rys. 4.30.

Walcowanie skośne grubościennych tulei rurowych zostało opatentowane w 1885 roku



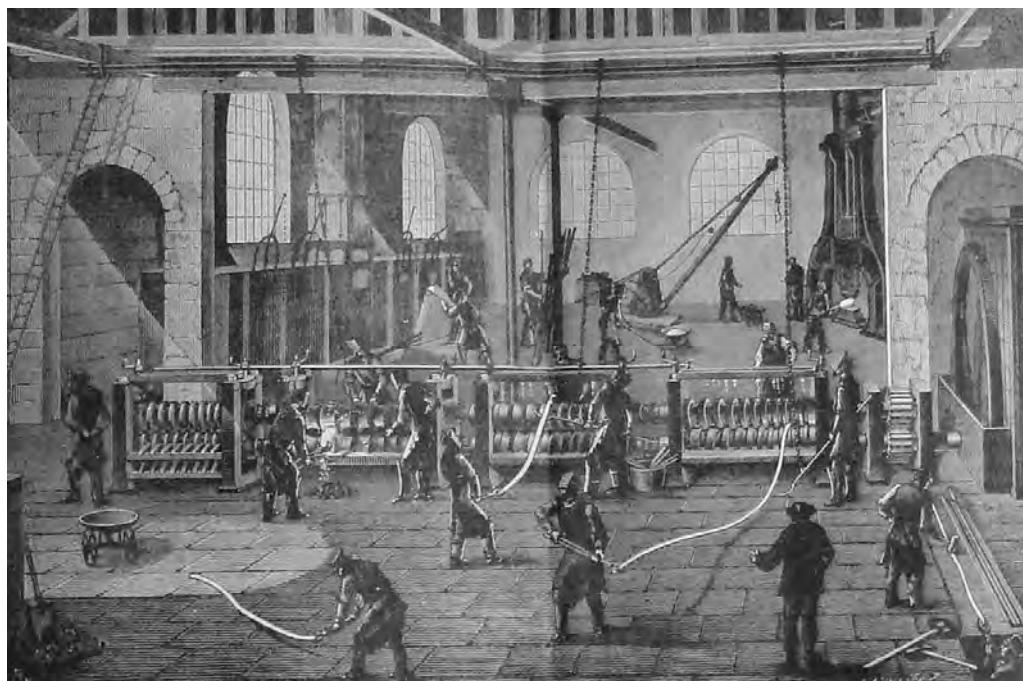
Rys. 4.29. Walce zaprojektowane przez Johna Payne do produkcji prętów okrągłych, 1728 r.

przez braci Maxa (1857-1915) i Reinharda (1856-1922) Mannesmannów. Ta nowa koncepcja kształtowania znalazła liczne zastosowania przemysłowe (po raz pierwszy w roku 1888 w Reimscheid, Niemcy). Obecnie wykorzystywana jest ona w kilku typach skośnych walcerek zarówno dwuwalcowych (rys. 4.31) jak i trójwalcowych. W roku 1891 bracia Mannesmann opatentowali walcarkę pielgrzymową służącą do wydłużania tulei w rury.

Jedną z nowoczesnych metod walcowania poprzecznego jest walcowanie poprzeczno-klinowe (WPK). Polega ono na plastycznym kształtowaniu wyrobów osiowo-symetrycznych za pomocą narzędzi w kształcie klinów. Narzędzia te mocuje się do walców (rys. 4.32) lub płaskich płyt walcerek. Proces walcowania najczęściej realizowany jest na gorąco.

Idea procesu WPK zrodziła się w XIX wieku w Niemczech. Pierwszy patent dotyczący walcarki z klinami płaskimi udzielony został Lebek'owi w roku 1879. Sześć lat później miała miejsce pierwsza próba zastosowania przemysłowego technologii WPK w produkcji wałków stopniowanych, stosowanych w ówczesnych samochodach. Wykorzystano w niej walcarkę dwuwalcową, opatentowaną również w Niemczech, przez Simondsa. Kolejny patent dotyczący walcarki płaskoklinowej z nieruchomą dolną płytą narzędziową został uzyskany przez Erkenzweiga w roku 1893. Jednakże ze względu na fakt, iż WPK wymaga wysokiej kultury technicznej, właściwy rozwój tej technologii przypadł na lata późniejsze (sytuacja taka w historii techniki miała miejsce wielokrotnie, gdy po wielu latach powracano do realizacji pomysłów, które w momencie ich ogłoszenia były niemożliwe do realizacji). Poniżej podano ważniejsze daty pokazujące jak na przestrzeni lat rozwijała się technologia WPK.

- 1949 – Pierwsze zastosowanie przemysłowe do kształtowania przedkuwek korbowodów samochodów GAZ (Gorki, ZSRR);



Rys. 4.30. Walcowanie bruzdowe prętów, około połowy XIX wieku



Rys. 4.31. Dziurowanie tulei rurowej we współczesnej dwuwalcowej walcarni skośnej



Rys. 4.32. Nowoczesny agregat do walcowania poprzeczno – klinowego, serii ULS, produkowany przez firmę Šmeral w Brnie (na walcach widoczne są segmenty klinowe)

- ❑ 1961 – opatentowanie walcarki dwuwalcowej przez Jiri’ego Holuba (Czechosłowacja);
- ❑ 1967 – opatentowanie walcarki płasko-klinowej (NRD);
- ❑ 1968 – prototyp pierwszej walcarki pracującej w układzie trzech walców roboczych;
- ❑ 1971 – Budowa walcarki pracującej w układzie walec – segment wklęsły.

4.3. Obróbka skrawaniem

Obróbka skrawaniem to proces polegający na zdjęciu z obrabianego przedmiotu warstwy materiału, celem uzyskania założonego kształtu, dokładności wymiarowej i gładkości powierzchni.

Zestawienie podstawowych metod obróbki skrawaniem (wraz z ich zastosowaniem) obejmuje:

- ❑ frezowanie – kształtowanie płaszczyzn i rowków;
- ❑ wiercenie – wykonywanie otworów;
- ❑ rozwiercanie – wykańczanie otworów walcowych;
- ❑ szlifowanie – wykańczanie powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych wyrobów;
- ❑ powiercanie – powiększanie otworów walcowych;
- ❑ przeciąganie i przepychanie – wykańczanie otworów niewalcowych;
- ❑ toczenie – obróbka powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych przedmiotów

w kształcie brył obrotowych;

- ❑ struganie – kształtowanie płaszczyzn.

Niektóre z wymienionych metod przedstawiono schematycznie na rys. 4.33.

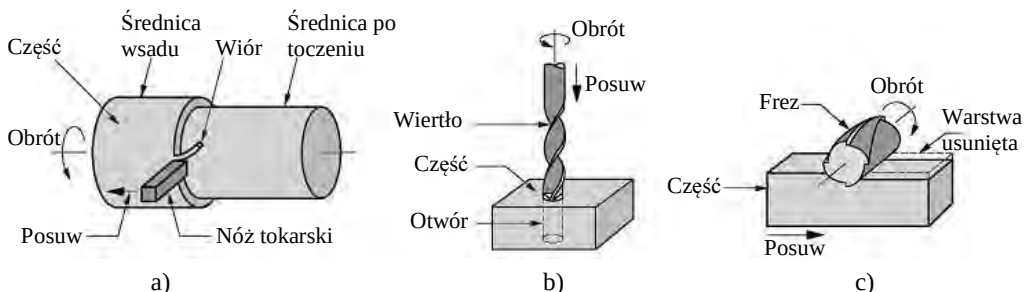
W procesach obróbki skrawaniem wykorzystuje się obrabiarki skrawające. Maszyny te są stosowane do nadawania obrabianemu przedmiotowi wymaganego kształtu przez oddzielenie nadmiaru materiału w postaci wiórów. Do obrabiarek skrawających należą: tokarki, wiertarki, frezarki, strugarki, szlifierki i inne. W zależności od zastosowania rozróżnia się obrabiarki:

- ❑ ogólnego przeznaczenia - umożliwiające wykonywanie różnorodnych prac w produkcji jednostkowej i małoseryjnej;
- ❑ specjalizowane - przewidziane do wykonywania określonych robót w węższym zakresie np.: tokarko-kopiarki, frezarki;
- ❑ specjalne - stosowane w określonych gałęziach przemysłu np. tokarki dla kolejnictwa do obróbki kół wagonowych, tokarki dla przemysłu hutniczego do obróbki walców hutniczych itp.

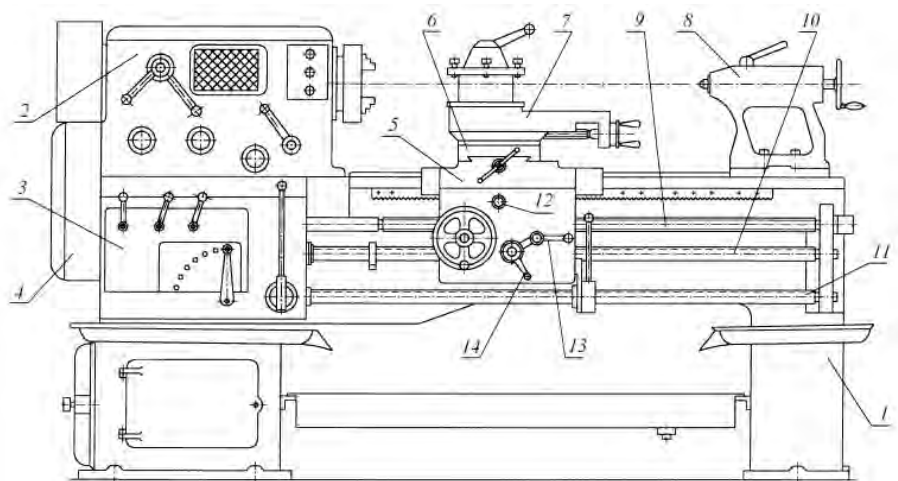
W dalszej części rozdziału podaje się podstawowe fakty z historii wybranych metod obróbki skrawaniem.

4.3.1. Toczenie

Toczenie to rodzaj obróbki skrawaniem (np. metalu, drewna, tworzyw sztucznych) stosowany najczęściej do obrabiania powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych przedmiotów w kształcie brył obrotowych.



Rys. 4.33. Przykłady obróbki skrawaniem: a) toczenie, b) wiercenie, c) frezowanie



Rys. 4.34. Widok ogólny tokarki TUG-48: 1 – łożo, 2 – skrzynka prędkości, 3 – skrzynka posuwów, 4 – przekładnia gitarowa, 5 – suport wzdlużny, 6 – suport poprzeczny, 7 – suport narzędziowy, 8 – konik, 9 – śruba pociągowa, 10 – wałek pociągowy, 11 – wałek sterujący, 12 – wałek wyboru posuwu wzdlużnego lub poprzecznego, 13 – dźwignia włączania posuwów gwintowych, 14 – dźwignia włączania posuwów roboczych

Istnieje możliwość uzyskiwania metodą toczenia również innych kształtów niż obrotowe. Podczas toczenia obrabiany materiał obraca się, a narzędzie (nóż tokarski) wykonuje ruch posuwisty.

Obrabiarka, na której wykonuje się toczenie to **tokarka**. Budowa tokarki, w wer-

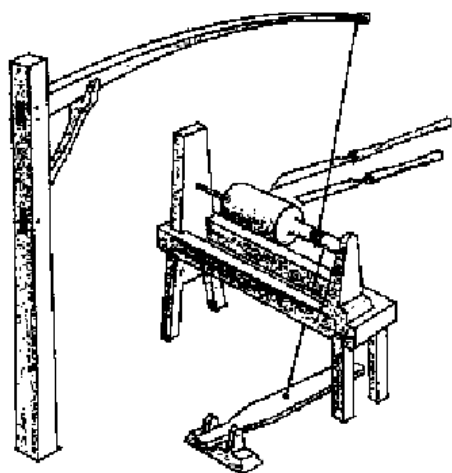
sji obecnie stosowanej, pokazana została na rys. 4.34.

Na podstawie malowideł i rzeźb starożytnych można stwierdzić, że pierwsze tokarki (napędzane ręcznie) stosowane były nie do obróbki drewna a kości słoniowej, bursztynu i metali szlachetnych. W starożytnym Rzymie tokarki stosowane były powszechnie do obróbki części z drewna, w szczególności przeznaczonych na meble.

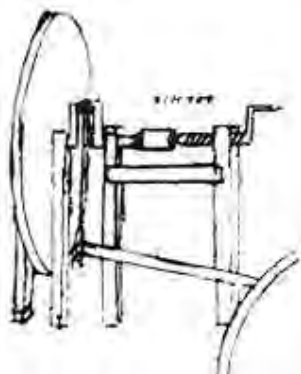
W średniowieczu obróbkę drewna, w tym toczenie, rozwijali Wikingowie. Wykorzystywane były wówczas obrabiarki z napędem strunowym, z których jedną pokazano na rys. 4.35.

W wieku XV zaczęto budować tokarki z wielkim kołem. Prekursorem takiego rozwiązania był Leonardo da Vinci (1452-1519), który w roku 1480 przedstawił projekt tokarki, pokazany na rys. 4.36. Widoczne na nim wielkie koło magazynowało energię, przez co można było zmniejszyć moment obrotowy.

W następnym stuleciu zaczęto stosować inne rozwiązanie, w którym napęd z wielkiego koła (o średnicy dochodzącej do 2 m)



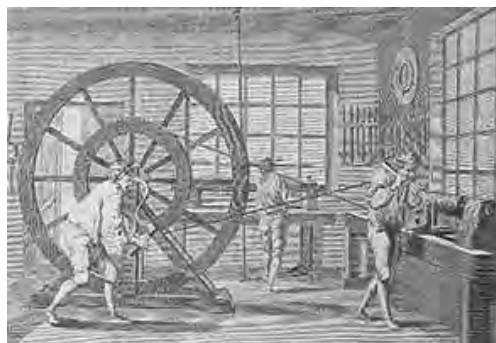
Rys. 4.35. Tokarka z napędem strunowym, ok. 1390 r.



Rys. 4.36. Tokarka wg Leonardo da Vinci, 1480 r.

przekazywany był na tokarkę za pomocą przekładni pasowej – w sposób pokazany na rys. 4.37. Taka konstrukcja obrabiarki pozwalała nie tylko magazynować energię w wielkim kole, ale również zwiększać prędkość obrotową tokarki. Toczenie tego typu po raz pierwszy zostało zilustrowane na drzeworycie pochodzącym z roku 1568.

Przytoczone powyżej rozwiązania pozwalały skutecznie obrabiać części wykonywane z drewna. Natomiast obrabianie metalu wymagało zastosowania obrabiarek większej mocy, np. napędzanych kołem wodnym. Tokarki napędzane w ten sposób wchodziły do użycia w wieku XVIII – Charles Plumier (1636-1704) opisuje zastosowanie obrabiarki tego typu już w roku 1701 – i są powszechnie stosowane do momentu upowszechnienia silnika parowego. Przykład tokarki czołowej,

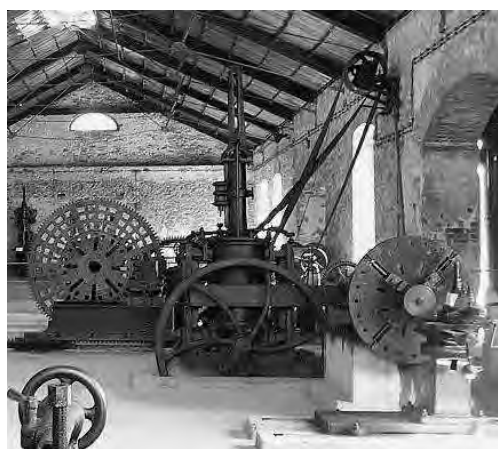


Rys. 4.37. Tokarka napędzana wielkim kołem, połowa XVIII wieku

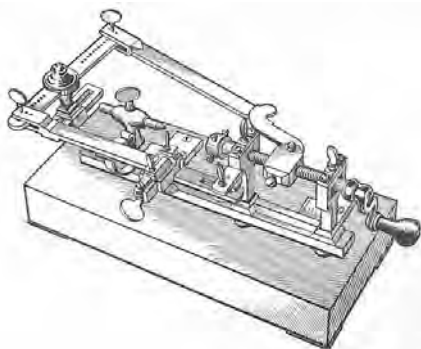
napędzanej kołem wodnym, znajdującej się w Sielpi Wielkiej pokazano na rys. 4.38. Dalszy rozwój tokarek związany był z zastosowaniem napędu parowego, a następnie silników elektrycznych.

Poniżej, w formie kalendarium, podaje się ważniejsze daty związane z rozwojem toczenia oraz maszyn zabezpieczających jego realizację:

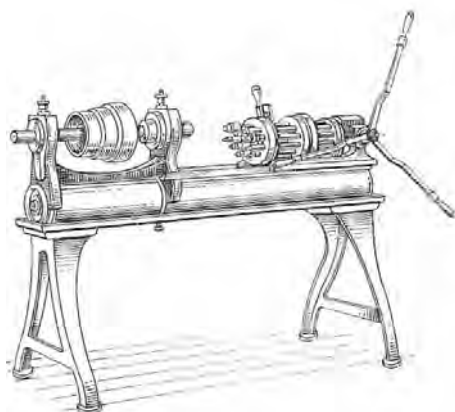
- ❑ XIII wiek – pozioma tokarka stołowa wykorzystująca do obrotu przedmiotu obrabianego napęd od pedału nożnego;
- ❑ 1569 – opublikowanie „*Theatre des instrumentes et machines*”, w której przedstawiono m.in. tokarkę kłową;
- ❑ 1569-1573 – udoskonalenie tokarki wyposażonej w śrubę pociągową, która przesuwa w kierunku osiowym sztywno zamocowane narzędzie – Jacques Besson (ok. 1540-1573), Francja;
- ❑ 1700 – najwcześniejsze doniesienie o użyciu tokarki w obróbce metali;
- ❑ 1750 – tokarka z suportem wzdłużnym (z imakiem narzędziowym) poruszany napędem śrubowym (Antoine Thiout, Europa) – rys. 4.39;
- ❑ 1770 – pierwsze satysfakcjonujące wyniki nacinania gwintu za pomocą tokarki



Rys. 4.38. Tokarka czołowa, napędzana kołem wodnym, produkcji angielskiej z połowy XIX wieku (Sielpia Wielka, widok obecny)



Rys. 4.39. Tokarka wg Thiout'a, 1750 r.



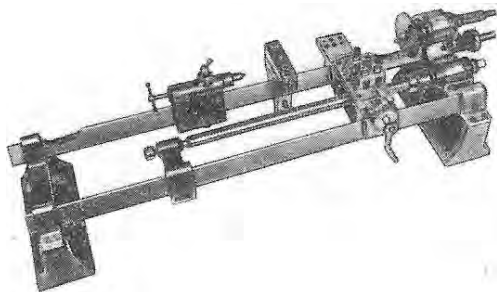
Rys. 4.41. Tokarka rewolwerowa, USA ok. 1854 r.

– Jesse Ramsdon (1735-1800), Wielka Brytania;

- 1775-1776 – wytaczarka pozioma, zastosowana do rozwiercania 57 - calowych cylindrów silników parowych – John Wilkinson (1728-1808), Wielka Brytania;
- 1797 – wprowadzenie tokarek ze śrubami napędowymi będących pierwowzorem obecnie stosowanych obrabiarek (rys. 4.40) – Henry Maudslay (1771-1831), Wielka Brytania;
- ok. 1854 – budowa w USA tokarki rewolwerowej przez Fredericka W. Howe'a i Henry Stone'a (rys. 4.41);
- 1895 – wielowrzecionowa tokarka automatyczna do produkcji małych części;
- ok. 1920 – wprowadzenie na szeroką skalę obrabiarek napędzanych indywidualnymi silnikami elektrycznymi (pierwsze obrabiarki z tym napędem stosowano

począwszy od 1901 r.).

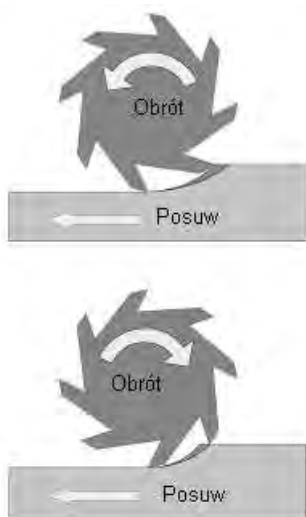
Na zakończenie niniejszego rozdziału należy wspomnieć o automatach tokarskich (tak zaprogramowanych by mogły one wykonywać ściśle określoną procedurę obróbki). Są to tzw. obrabiarki typu NC (Numerical Control). Pierwszą obrabiarkę numeryczną zbudowało i zastosowało US Air Force w roku 1949 (pokazano ją publicznie w roku 1952). Pierwsze wykonanie i zainstalowanie maszyn NC dla firmy prywatnej miało miejsce w roku 1957. Zasada działania tych maszyn była prosta, do zwykłych obrabiarek dodano silniki, którymi sterował specjalny moduł „numeryczny” - program (procedura obróbki) dostarczany w postaci taśmy perforowanej. Sterowanie za pomocą taśm perforowanych nie było szybkie, ale szybsze i bardziej niezawodne niż ręczne sterowanie obrabiarką.



Rys. 4.40. Tokarka Maudslay'ego, 1797 r.

4.3.2. Struganie i frezowanie

Struganie to obróbka skrawaniem stosowana głównie do obróbki płaszczyzn. Ruch skrawający może wykonywać narzędzie (struganie poprzeczne stosowane przy małych obrabianych powierzchniach) lub obrabiany przedmiot (struganie wzdłużne stosowane przy dużych długościach obrabianych powierzchni). Struganie metalu wykonuje się na obrabiarkach zwanych strugarkami.



Rys. 4.42. Stosowane metody frezowania: przeciwbieżne (rys. górny) i współbieżne (rys. dolny)

Struganie otworów o kształtach nieobrotowych, krzywek, uzębienia kół zębatach itp. nosi nazwę **dłutowania**. Do dłutowania służy obrabiarka zwana dłutownicą.

Frezowanie to z kolei obróbka mechaniczna skrawaniem wykonywana za pomocą wirującego narzędzia wieloostrowego zwanego frezem. Cechą charakterystyczną frezowania jest ruch obrotowy narzędzia - freza (prostopadle do osi posuwu) z jednoczesnym ruchem posuwistym przedmiotu obrabianego względem freza lub freza względem

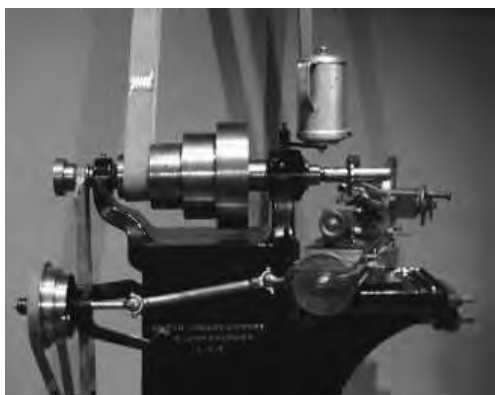
przedmiotu obrabianego.

Frezowanie może być współbieżne kiedy ruch obrabianego przedmiotu jest zgodny z kierunkiem obrotu freza lub przeciwbieżne, kiedy kierunki ruchu przedmiotu i obrotu freza są przeciwne (rys. 4.42). Obrabiarka, na której wykonuje się frezowanie nazywa się frezarką.

Metodą strugania i frezowania można obrabiać metale, tworzywa sztuczne oraz drewno.

Historia strugania i frezowania nie jest tak bogata jak toczenia. O jej rozwoju można wnioskować na podstawie przytoczonego poniżej kalendarium:

- ❑ 1793 – opatentowanie frezarki do drewna z frezem obrotowym – Samuel Bentham (1757-1831), Wielka Brytania;
- ❑ 1817 – strugarka do metalu (Roberts, Wielka Brytania);
- ❑ 1819 – wprowadzenie frezarki metali – Eli Whitney (1765-1825), USA;
- ❑ 1830 – maszyna do nacinania uzębień z frezami ewolwentowymi – Joseph Whitworth (1803-1887), Wielka Brytania;
- ❑ 1836 – strugarka poprzeczna – James Nasmyth (1808-1890), Wielka Brytania;
- ❑ 1842 – obrabiarka kół zębatach o zarysie cykloidalnym (Joseph Sextan, USA);
- ❑ 1850 – projekt komercyjnej, uniwersalnej frezarki (Frederick W Howe, USA) – rys. 4.43;
- ❑ 1856 – wprowadzenie frezowania obwodniowego do produkcji kół zębatach z zębami ewolwentowymi, a od 1880 r. również cykloidalnymi (Christian Schiele, USA).



Rys. 4.43. Frezarka uniwersalna, Brown & Sharpe z 1862 r.

4.3.3. Wiercenie

Wiercenie jest to skrawanie materiału za pomocą narzędzia zwanego wiertłem w wyniku którego otrzymujemy otwór o przekroju najczęściej kołowym. Przy zastosowaniu specjalnych wiertel możliwe jest uzyskanie otworu wielokątnego (np. trójkątnego, czworokątnego). Wiercenie odbywa się



Rys. 4.44. Studium mężczyzny wierzącego otwór, ok. 1496

wówczas gdy wiertło się obraca, a przedmiot obrabiany pozostaje nieruchomy lub gdy wiertło jest nieruchome, a przedmiot obrabiany obraca się.

Najstarszym przykładem urządzenia stosowanego do wiercenia jest wiertło kabłąkowe, wykorzystywane w świecie antycznym do niecenia ognia. Było ono również wykorzystywane do wykonywania prymitywnych otworów w drewnie oraz przez ówczesnych medyków. W średniowieczu powszechnie stosowano świdry ręczne (patrz rys. 4.44) do wykonywania otworów, głównie w drewnie.

Właściwy rozwój technologii wiercenia przypada dopiero na XIX stulecie, w którym dokonano szeregu wynalazków. Ważniejsze z nich wyszczególniono poniżej:

- 1840 – 1844 – wprowadzenie wiertarki obrotowej z wiertłem metalowym (Robt Beart, Francja);
- ok. 1840 – użycie wiertarki słupowej z jednostką napędową i posuwem;
- 1860 – wprowadzenie wiertła krętego zwiększającego szybkość wiercenia;
- 1887 – wprowadzenie przenośnych wiertarek elektrycznych (pierwsze zastosowanie – przemysł stoczniowy);

- ok. 1909 – opatentowanie ostrzarki do wiertel.

4.3.4. Szlifowanie

Szlifowanie to obróbka wykończeniowa powierzchni za pomocą narzędzi ściernych, w wyniku której uzyskuje się duże dokładności wymiarowe i kształtowe oraz małą chropowatość. Szlifowanie można wykonywać na otworach, wałkach i płaszczyznach. Przeprowadza się je w obrabiarkach zwanych szlifierkami przeznaczonych przede wszystkim do obróbki wykańczającej utwardzonych powierzchni przedmiotów, uprzednio obrobionych na innych obrabiarkach. Szlifierki pracują narzędziami wieloostrowymi, zwanymi ściernicami. Cechą charakterystyczną dla szlifierek jest duża szybkość skrawania ($v \approx 30$ m/s). Z tego powodu ściernice, obracające się z dużą prędkością, muszą być dokładnie wyważone i zaopatrzone w osłony. Łoże i korpus szlifierki powinny być sztywne (odporne na drgania). Ściernice wytwarza się z węgla krzemu (karborundu), którego twardość zawiera się pomiędzy twardością diamentu i korundu.

Ważniejsze wydarzenia związane z historią szlifowania wyszczególniono poniżej:

- 1485 – pierwsza wzmianka o pionowym kole szlifierskim napędzanym przez pedał nożny i wykorbień;
- 1783 – szlifowanie narzędzi i noży (Samuel Rehe, Francja);
- 1831 – opatentowanie szlifierki do powierzchni (J. W. Stone, Washington, USA);
- 1845 – wprowadzenie szlifierki dyskowej przez Jamesa Nasmytha (Wielka Brytania);
- 1860 – 1869 – wyprodukowanie w Stanach Zjednoczonych pierwszej szlifierki do otworów;
- 1891 – wynalezienie karborundu, z którego od roku 1892 wytwarzane są ściernice;

- 1915 – wprowadzenie szlifierki bezkłowej do wałków;
- 1944 – wprowadzenie szlifierki bezkłowej do gwintu.

4.4. Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych

Tworzywa wielkocząsteczkowe (sztuczne) to materiały, których podstawowym składnikiem są naturalne lub syntetyczne polimery. Materiały te mogą być otrzymywane z czystego polimeru (np. polimetakrylan metylu, polistyren, polietylen), z kopolimerów lub z mieszanek polimerów. Często otrzymuje się je z polimerów modyfikowanych metodami chemicznymi (np. przez hydrolizę), fizykochemicznymi (np. przez degradację) lub przez dodatek takich substancji, jak: plastyfikatory, wypełniacze, stabilizatory oraz barwniki i pigmenty. Tworzywa sztuczne są potocznie zwane plastikami lub masami plastycznymi. Przykłady wyrobów (półwyrobów) wykonanych z tych materiałów pokazano na rys. 4.45.

Za podstawę klasyfikacji tworzyw wielkocząsteczkowych przyjmuje się zachowanie tworzywa pod wpływem ogrzewania. Rozróżnia się tworzywa termoplastyczne oraz tworzywa termo- i chemoutwardzalne (tzw. duroplasty). Można również zastosować podział wg głównego składnika. W podziale



Rys. 4.45. Przykłady wyrobów (półwyrobów) wykonanych z tworzyw wielkocząsteczkowych

tym rozróżnia się np. tworzywa, w których podstawowym składnikiem są polialkeny (polietylen, polipropylen), polistyren, żywice winylowe itd.

Tworzywa sztuczne są na ogół bardzo lekkie (gęstość najczęściej ok. 1 g/cm^3), mają małą przewodność cieplną, większość z nich jest dielektrykami (izolatorami elektrycznymi), jednak po dodaniu znacznej ilości (ok. 50%) materiałów przewodzących, np. sadzy lub pyłu metalicznego, przewodzą prąd elektryczny, mogą być przezroczyste lub całkowicie nieprzezroczyste. Tworzywa niemodyfikowane, w porównaniu z metalami mają małą wytrzymałość na rozciąganie oraz mały moduł elastyczności. Natomiast bardzo dobrą wytrzymałość na rozciąganie, duży moduł elastyczności mają tworzywa zbrojone np. włóknem szklanym (kompozyt, laminaty). Tworzywa sztuczne są najczęściej odporne na czynniki chemiczne, wilgoć a przy tym nieodporne na działanie czynników silnie utleniających. Wadą większości tworzyw sztucznych jest ich wrażliwość na podwyższoną temperaturę (powyżej 100°C). Jednak już w czasie II wojny światowej uzyskano politetrafluoroetylen, który jest odporny na temperaturę do 250°C .

Najwcześniej otrzymanym tworzywem sztucznym starej generacji była **guma**. Pierwszy otrzymał ją w 1839 roku Amerykanin Charles Goodyear (1800-1860). Wszystkie rodzaje gumy produkuje się z lateksu - lepkiego soku mlecznego drzew kauczukodajnych, będącego w około 30% koloidalnym roztworem kauczuku w wodzie. W celu uzyskania gumy o określonych właściwościach zmienia się strukturę lateksu przez dodanie siarki. Proces ten nosi nazwę wulkanizacji. Atomy siarki tworzą silne wiązania kowalencyjne między cząsteczkami lateksu. Im więcej doda się siarki, tym guma będzie twardsza. Dodatek powyżej 30% siarki w procesie wulkanizacji prowadzi do otrzymania ebonitu. Jest to twarde tworzywo o barwie ciemnobrunatnej lub czarnej i dobrych właściwościach mechanicznych i dielektrycznych (nie przewodzi prądu elektrycznego), o dużej od-

porności plastycznej. Ebonit ma zastosowanie do wyrobu sprzętu elektrotechnicznego, wykładzin i aparatury chemicznej.

W 1862 roku na zorganizowanej wtedy w Londynie wystawie Anglik Alexander Parkes (1813-1890) z Birmingham pokazał przedmioty codziennego użytku zrobione z nieznanego dotychczas materiału. Materiał ten, nazwany parkesiną, wynalazca otrzymywał przez połączenie nitrocelulozy, kamfory i alkoholu. Produkcja parkesiny była kosztowna, rozpoczęto ją jednak w 1866 roku w londyńskiej firmie Parkesine.

Pierwszym udanym i stosunkowo tanim tworzywem sztucznym (podobnym do parkesiny), okazał się materiał, opatentowany 15 czerwca 1869 roku w stanie Nowy Jork pod nazwą **celuloid**, powstały przez połączenie nitrocelulozy z kamforą. Angielski wynalazca mówił o swoim produkcie następująco: „to piękne tworzywo do wyrobu medalionów, tac, naczyń kuchennych, guzików, grzebieni itp.” Przez długi okres czasu celuloid wykorzystywano jako materiał, z którego wykonywano taśmę filmową dla potrzeb kina, pierwszy zastosował taką taśmę Thomas A. Edison (1847-1931). Piłeczka pingpongowa też była wykonywana z tego tworzywa.

Człowiekiem, który wymyślił celuloid był John Wesley Hyatt (1837-1920). Odkrycia dokonał niejako przypadkiem, usiłując wygrać konkurs na najlepszy materiał do produkcji kul bilardowych imitujący kość słoniową. Początkowo zaczął wyrabiać z celulozoidu protezy dentystyczne, co nie było zbyt szczęśliwym pomysłem, bo zęby z tego tworzywa (nazwanego tak w 1870 roku), łatwo się odkształcały podczas picia gorących napojów, a w ustach pozostawał trudny do usunięcia smak kamfory. Wkrótce wynalazca wpadł na pomysł wykorzystania swojego wynalazku do produkcji celulozoidowych kołnierzyków, gorsów i mankietów do koszul, a nawet koloratek dla duchownych. Były sztywne i niezbyt wygodne, ale praktyczne, bo łatwo można je było czyścić. Dzięki temu wynalazkowi Hyatt został milionerem.

Pierwszym syntetycznym tworzywem sztucznym, to znaczy takim, w którym związki wielkocząsteczkowe są również wytworzone sztucznie, a nie czerpane z surowców naturalnych, był **bakelit**. Wynalazł go i opatentował w 1907 roku belgijski chemik Leo H. Baekeland (1863-1944), którego nazwisko zostało upamiętnione w nazwie tworzywa. Jest to proszek, który zestala się po podgrzaniu i sprasowaniu, nie przewodzi ciepła i prądu elektrycznego, przez co jest dobrym materiałem na urządzenia elektryczne.

Produkcję innych powszechnie dzisiaj używanych tworzyw sztucznych rozpoczęto:

- polistyrenu w 1930 roku;
- polichlorku winylu (PCW) w 1931 roku;
- polietylenu w 1939 roku;
- teflonu w 1946 roku;
- żywic epoksydowych w 1950 roku.

Odrębną grupę tworzyw stanowią sztuczne włókna. Pierwszym z nich był **sztuczny jedwab kolodionowy** otrzymany w 1884 roku przez Francuza Hilaire Chardonnet'a (1839-1924). Jednak lepszy okazał się jedwab wiskozowy. Wynaleźli go w 1893 roku chemicy Charles F. Cross (1855-1935) i Edward J. Bevan (1856-1921). Najstarszymi włóknami syntetycznymi są poliamidy. Włókna poliamidowe otrzymał w skali laboratoryjnej amerykański chemik Wallace H. Carothers (1896-1937). Obok poliamidowych wytwarzane są obecnie włókna: poliuretanowe, poliakrylonitrylowe, poliestrowe, propylenowe.

Problem odpadów z plastiku rozwiązał kanadyjski chemik, dr James Guiller, wymyślając w 1971 roku plastik ulegający biodegradacji pod wpływem światła słonecznego. Oczywiście nie od razu. Pierwszym praktycznie stosowanym i w pełni „rozkładającym się” tworzywem sztucznym był biopół wyprodukowany w ICI w Billingham w Cleveland. Jego składnikiem stały się bakterie żyjące w glebie. W 1993 roku japońska korporacja Kai wypuściła na rynek nożyk do golenia, który całkowicie rozkłada się na

wodę i dwutlenek węgla w ciągu dwóch lat od chwili zakopania go w ziemi lub zatopienia w oceanie. Tradycyjny plastik rozkłada się od 50 do 100 lat.

W Polsce początek przetwórstwa tworzyw sztucznych nastąpił w latach 20-tych XX wieku. W 1931 rozpoczęto produkcję folii na opakowania – tofomanu z regenerowanej celulozy. Natomiast w 1934 r. zaczęto wytwarzać tworzywo fenolowo-formaldehadowe (galalit) oraz podjęto próby syntezy styrenu na podstawie opracowania Kazimierza Smoleńskiego. Szybki rozwój produkcji tworzyw sztucznych w Polsce nastąpił dopiero po II wojnie światowej. Wówczas uruchomiono produkcję: tworzywa fenolowo-formaldehadowego, tłoczywa mocznikowego i melaminowego, polimetakrylanu metylu, polichlorku winylu, polistyrenu, polikaprolaktamu, poliakrylonitrylu, poliuretanów, żywic poliestrowych, epoksydowych, silikonowych, polietylenu i polipropylenu.

Na przestrzeni ubiegłego stulecia opracowano szereg metod wytwarzania wyrobów z tworzyw sztucznych. Najważniejsze z nich pokrótce scharakteryzowano poniżej.

Wytlaczanie to proces polegający na wprowadzeniu tworzywa w postaci proszku lub granulatu do lejki zasypowego wytłaczarki, a następnie na jego uplastycznieniu wskutek ciepła generowanego przez ślimak oraz dostarczonego ze źródła zewnętrznego (grzejników). Pod wpływem ruchu obrotowego ślimaka tworzywo przemieszcza się wzdłuż cylindra. W trakcie ruchu tworzyw w cylindrze zachodzą dwa podstawowe procesy, tj. uplastycznianie tworzywa oraz jego mieszanie. Tworzywo na końcu cylindra wtlaczane jest do głowicy, na końcu której znajdują się elementy wymienne zwane dyszą bądź ustnikiem. Elementy te nadają ostateczny kształt wytłoczonemu wytworowi. Maszyny stosowane w tym procesie nazywane są wytłaczarkami – rys. 4.46.

Wtryskiwanie to proces, w którym przetwarza się ponad 30% masy wszystkich tworzyw. Wtryskiwanie ma z jednej strony wiele cech podobnych do wytłaczania, a z

drugiej występuje istotna różnica między tymi dwoma technikami. Podstawowymi różnicami tych dwóch procesów są: a) inny przebieg przemian stanów skupienia (w przypadku wtryskiwania przechodzimy przez fazę ciekłą, w przypadku wytłaczania tylko przez plastyczną); b) wytłaczanie jest procesem ciągłym wtryskiwanie jest procesem periodycznym.

Konstrukcja cylindra i ślimaka wtryskarki jest podobna do konstrukcji jaka występuje w wytłaczarce. Natomiast istotną różnicą jest to, że ślimak w cylindrze wtryskarki oprócz ruchu obrotowego wykonuje również ruch posuwisto zwrotny.

Przebieg procesu wtryskiwania jest następujący:

- ☐ zasyp tworzywa;
- ☐ wymuszony ruch tworzywa pod wpływem obrotów ślimaka, uplastycznianie tworzywa;
- ☐ docisk układu uplastyczniającego do formy;
- ☐ początek ruchu posuwistego ślimaka i następnie otwarcie zaworu wtryskowego;
- ☐ wtrysk;
- ☐ powrót ślimaka do pozycji wyjściowej i proces chłodzenia wyrobu;
- ☐ otwarcie formy i usunięcie wtrysku.

Kalandrowanie to metoda polegająca na przepuszczaniu tworzywa przez ko-



Rys. 4.46. Wytłaczarka

lejne pary walców obracających się współbieżnie. Przy czym między walcami każdej pary występuje na ogół niewielka różnica prędkości obrotowych, taka że tworzywo jest między walcami uciskane, co powoduje jego uplastycznianie. W kolejnych parach walców szczelina między walcami jest coraz mniejsza wálce te są ogrzewane celem ułatwienia uplastycznienia tworzywa. Metodą tą wytwarza się płyty i folie (w tym bardzo cienkie), a także tapety tworzywowe. Metoda kalandrowania wymaga bardzo drogich walców i jest metodą mniej powszechną niż wytłaczanie lub wtryskiwanie.

Spienianie tworzyw jest metodą polegającą na: wprowadzeniu tworzywa do formy, a wraz z nim środka poroforującego (porofora); zamknięciu formy i następnym jej ogrzaniu, co powoduje z jednej strony zlepianie się granulek tworzywa, a z drugiej uwolnienie poroforu do postaci gazowej. Wskutek takiego postępowania otrzymuje się materiał wypełniony kawernami gazowymi. Tą metodą otrzymuje się styropian.

Prasowanie, które polega na wprowadzeniu tworzywa (często w postaci tabletek) do odpowiedniej formy, a następnie poddaniu go działaniu ciepła (ogrzanie) i ciśnienia wywieranego przez tłok prasy. W ten sposób uzyskiwane są elementy odpowiadające kształtowi formy.

4.5. Połączenia mechaniczne

Połączenie stanowi fragment konstrukcji, w którym części łączone są za pomocą łączników. Stosowane w budowie maszyn połączenia można podzielić na:

- nierozłączne (elementy złączone są na stałe, a ich rozłączenie jest związane przynajmniej ze zniszczeniem elementu łączącego):
 - nitowe,
 - spawane,
 - zgrzewane,
 - lutowane,
 - klejone;

- rozłączne (rozłączenie elementów jest możliwe i nie wiąże się z niebezpieczeństwem ich zniszczenia):

- gwintowe,
- kształtowe (wpustowe, wielowypustowe itd.),
- sworzniowe,
- kołkowe.

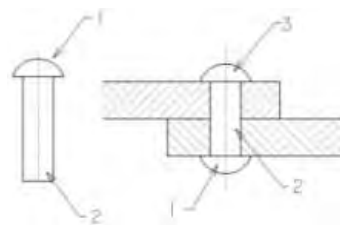
Poniżej pokrótce scharakteryzowano historię rozwoju wybranych połączeń mechanicznych.

4.5.1. Połączenia nitowe

Połączenia nitowe stosowane są najczęściej do łączenia blach lub elementów konstrukcji stalowych (dźwigarów, wsporników, wiązarów itp.) za pomocą łączników zwanych **nitami**. Połączenia tego typu są obecnie wypierane przez połączenia spawane i zgrzewane, z uwagi na prostszą technologię ich wykonywania.

Nit (rys. 4.47) w swej formie wyjściowej składa się z główki 1 i trzonu (szyjki) 2. Umieszczony w otworze w elementach łączonych zostaje zakuty (zamknięty), tworząc zakuwkę 3. Zamykanie nitu może się odbywać ręcznie, przy pomocy młotka ręcznego lub pneumatycznego, ręcznej nitownicy (kształtującej zakuwkę) lub za pomocą nitownicy maszynowej. Nity niewielkich rozmiarów można zakuwać na zimno. Większe i w bardziej odpowiedzialnych konstrukcjach zakuwa się na gorąco.

Spopularyzowanie technologii nitowania zawdzięczamy prawdopodobnie płatnerzom z Augsburga, którzy w średniowieczu doskonalili zbroje dla rycerzy. Łącznikami



Rys. 4.47. Nit i połączenie nitowe (opis w tekście)

tego typu łączyli oni ze sobą zarówno blachy (sztywno lub ruchowo) jak i blachę ze skórą.

Prawdziwy boom nitowanie przeżywa w wiekach XVIII i XIX, kiedy to stanowi podstawową metodę łączenia części metalowych. Ta metoda łączenia stosowana jest wówczas szeroko w: przemyśle ciężkim, stoczniowym i budownictwie.

Doskonałym przykładem konstrukcji (pochodzącej z tego okresu – 1889 r.) wykonanej z elementów z kutego żelaza łączonych nitami jest wieża Eifla (rys. 4.48). Zbudowana jest ona z 18.038 części metalowych połączonych za pomocą ok. 2,5 mln. nitów. Jej całkowita masa, razem z betonowymi filarami wynosi ok. 10.000 ton. Konstrukcja wsparta jest na czterech trapezoidalnych podstawach o boku 25 m każdy. Ma trzy tarasy, pierwszy na wysokości 58 m, drugi na wysokości 116 m a trzeci na wysokości 273 m. Zajmuje obszar o boku 125 m. Na sam szczyt



Rys. 4.48. Wieża Eifla, zbudowana w 1889 r., widok obecny

wieży prowadzi 1665 stopni.

4.5.2. Połączenia zgrzewane i spawane

Połączenia zgrzewane to połączenia metali i tworzyw sztucznych otrzymywane przez miejscowe dociskanie łączonych elementów przy jednoczesnym podgrzewaniu wystarczającym do doprowadzenia łączonych materiałów do stanu plastyczności (ciastowatości). Wyróżnia się zgrzewanie elektryczne oporowe, tarciove, ogniskowe, indukcyjne, ultradźwiękowe i inne.

Złącze spawane jest połączeniem materiałów powstałym przez ich miejscowe stopienie. Występuje w procesie łączenia metali (głównie stali) oraz tworzyw sztucznych. Przy spawaniu zwykle dodaje się spoiwo (materiał dodatkowy) stapiające się wraz z materiałem podstawowym, dla utworzenia spoiny i polepszenia jej własności.

Metody spawania to:

- ❑ spawanie gazowe – najczęściej realizowane przy spalaniu acetylenu w temperaturach do 3200°C, stosowane do spajania blach o grubości od 0,4 mm do 40 mm;
- ❑ spawanie elektryczne: z wykorzystaniem spawarki, czyli urządzenia opierającego swą pracę na zjawisku łuku elektrycznego (rys. 4.49), które stosowane jest do spajania blach o grubości od 1 mm do 80 mm.

Historia spawania i zgrzewania jest bardzo bogata. Jej szczegółowe omówienie znacznie przekracza zakres niniejszego opracowania. Jednakże można o niej wnioskować na podstawie podanego poniżej kalendarium.

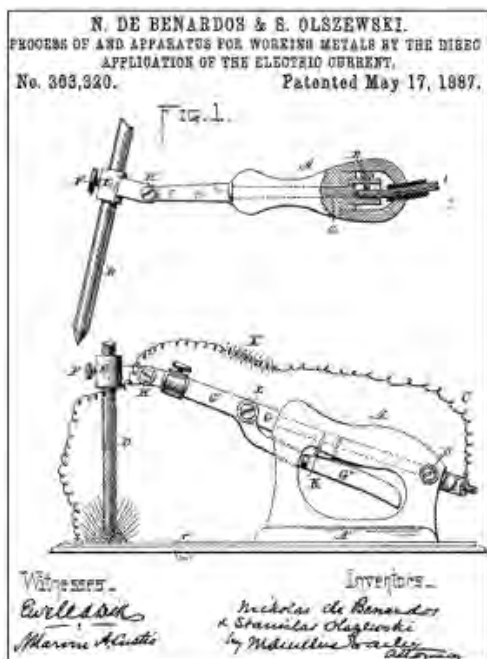
- ❑ ok. 1000 lat p.n.e. – pierwsze próby łączenia ze sobą kawałków metalu poprzez ich nagrzanie i wywarcie nacisku (klasyczne zgrzewanie, które dominuje w łączeniu metali aż do wieku XVIII);
- ❑ 1800 – wytworzenie łuku elektrycznego o długości 10 cm między dwiema elektrodami węglowymi, zasilanymi baterią



Rys. 4.49. Łuk elektryczny, czyli ciągłe wyładowanie elektryczne zazwyczaj w gazie pod ciśnieniem normalnym (atmosferycznym) lub wyższym. Łuk elektryczny ma własności i charakter plazmy. Jego temperatura zależy od natężenia prądu, rodzaju elektrod, rodzaju i ciśnienia gazu - pod ciśnieniem atmosferycznym i przy przepływie prądu 1 A wynosi ona 5000-6000 K.

składającą się z 2000 ogniw – Humpry Davy (1778-1829), Wielka Brytania;

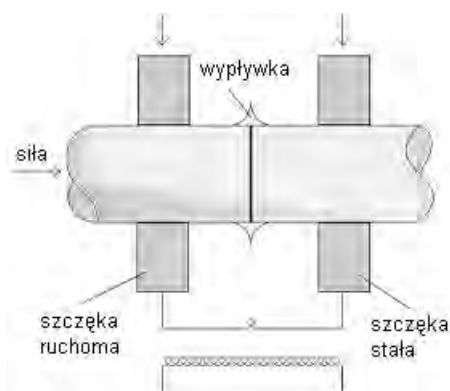
- połowa XIX wieku – wprowadzenie prądnicy prądu stałego, dzięki której



Rys. 4.50. Patent amerykański Benardosa i Olszewskiego na spawanie łukiem elektrycznym, 1887 r.

oświetlenie łukowe staje się popularne;

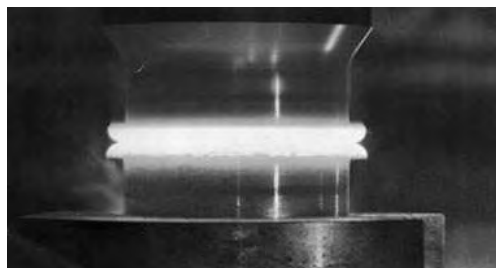
- 1881 – Auguste de Meritens, pracujący w Cabot Laboratory we Francji, wykorzystuje ciepło z łuku elektrycznego do łączenia płyt z ołowiu (przeznaczonych na baterie akumulatorowe);
- 1885 – Nikołaj Benardos i inż. Stanisław Olszewski uzyskują patent brytyjski, a w 1887 r amerykański (rys. 4.50), na spawanie łukiem elektrycznym. Na patencie pokazano wczesną oprawkę elektrody. Są to początki spawania elektrodą węglową, stosowanego do łączenia żelaza oraz ołowiu. Ta metoda spawania zyskuje dużą popularność na przełomie XIX i XX wieku;
- 1885-1890 – rozwój zgrzewania oporowego – rys. 4.51 (pojawiają się wówczas odmiany zgrzewania: punktowe, liniowe, garbowe, iskrowe). Głównym wynalazcą tej technologii jest Elihu Thompson (1853-1937) z Wielkiej Brytanii;
- 1890 – Charles L. Coffin z Detroit uzyskuje patent na spawanie łukowe elektrodą metalową (metal z elektrody topiąc się wypełnia przestrzeń między łączonymi blachami);
- 1900 – wprowadzenie przez Strohmengera (Wielka Brytania), elektrody otulo-



Rys. 4.51. Schemat zgrzewania elektrycznego oporowego. Składa się ono z trzech faz: I – docisk łączonych elementów, II – przepływ prądu pod dociskiem prowadzący do tworzenia się tzw. jądra zgrzeiny, III – krzepnięcie metalu w zgrzeinie

nej. Pokrywa on elektrodę metalową gliną i wapnem i czyni łuk elektryczny bardziej stabilnym;

- 1907-1914 – doskonalenie elektrody otulonej przez Oscara Kjellberga (1870-1931) ze Szwecji. Elektrody te produkowane są przez zanurzenie drutu w mieszaninie węglanów i krzemianów, a następnie przez wysuszenie tego pokrycia. Funkcje otuliny to: osłona łuku przed dostępem atmosfery; wprowadzenie do obszaru spawania pierwiastków odtleniających, wiążących azot i rafinujących ciekły metal spoiny; wytworzenie powłoki żużlowej nad ciekłym jeziorkiem i krzepnącym metalem spoiny; regulacja składu chemicznego spoiny;
- lata 20-te XX w. – badania nad procesami spawania w atmosferze gazów ochronnych. Alexander i Langmuir używają wodoru i elektrod początkowo węglowych, a później wolframowych;
- 1926 – patent H. M. Hobarta oraz P. K. Deversa, w którym łuk spawalniczy wykorzystuje gaz (argon lub hel) podawany przez koncentryczną dyszę i elektrodę z drutu. Jest to w zasadzie spawanie wg metody MIG (w osłonie gazów obojętnych). Za właściwą datę wprowadzenia metody MIG przyjmuje się rok 1941, kiedy Meredith uzyskuje na nią patent. Jest ona idealna do spawania magnezu, aluminium oraz stali nierdzewnej. W roku 1948 zastąpiono elektrodę wolframową na podawaną w sposób ciągły elektrodę z drutu;
- 1953 - Lubawski i Novosilov stosują w spawaniu atmosferę aktywną z CO_2 (metoda MAG). Może być ona wykorzystywana do spawania stali (ze względu na mały koszt CO_2). Ponadto, łuk w tej atmosferze daje więcej ciepła;
- 1954 – wprowadzenie w byłym ZSRR zgrzewania tarciowego metali – rys. 4.52. Najczęściej odbywa się to w taki sposób, że jedna z łączonych części zamocowana jest sztywno i nie zmienia swojego położenia, a druga (o mniejszej

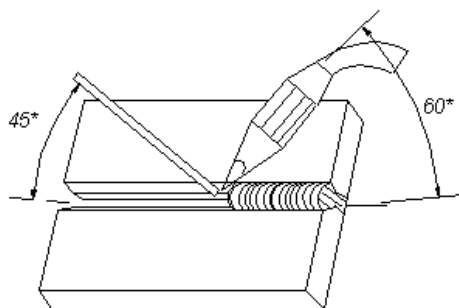


Rys. 4.52. Zgrzewanie tarciove (odmiana zgrzewania doczołowego) - metoda łączenia metali i ich stopów w wyniku działania docisku i ciepła wytworzonego w trakcie wzajemnego tarcia łączonych powierzchni

masie) wykonuje ruch obrotowy dookoła swojej osi. Inne rozwiązania przewidują jednoczesny ruch obu łączonych części w przeciwnych kierunkach albo ruch części pośredniczącej (łącznika) w łączeniu, stykającej się jednocześnie z dwoma właściwymi częściami łączonymi;

- 1958 – na światowych targach w Brukseli ZSRR przedstawił informacje na temat spawania elektrożużlowego, wykorzystywanego w ZSRR już od roku 1951. Proces ten rozwijany był w Instytucie Patona w Kijowie oraz w Instytucie Spawalnictwa w Bratysławie. Pierwsze zastosowanie w USA miało miejsce w Chicago w General Motors do wytwarzania bloków silnika diesla.

Początki historii spawania gazowego (rys. 4.53) można datować na rok 1836. Wówczas bowiem Edmund Davy (1785-1857) odkrył acetylen (C_2H_2 - najprostszy alkin, bezbarwny i bezwonny gaz). Cięcie i spawanie gazowe było doskonalone pod koniec XIX wieku. Jego realizacja była możliwa dzięki wytwarzaniu tlenu, skropleniu powietrza oraz wprowadzeniu palnika gazowego w 1887 roku. W metodzie tej używano (przed 1900 rokiem) gazu węglowego lub wodoru (oraz oczywiście tlenu). Natomiast, po wynalezieniu około 1900 r. niskociśnieniowego palnika acetylenowego stosuje się w zasadzie tylko acetylen i tlen.



Rys. 4.53. Zasada spawania gazowego - u wylotu końcówki o specjalnej budowie, zamocowanej do korpusu palnika, spala się mieszanina tlenu z acetylenem. Za pomocą tego płomienia spawacz stapia metal rodzimy uzyskując jeziorko spoiny. W miarę potrzeby doprowadza ręcznie spoiwo w postaci drutu do przedniego brzegu jeziorka. W celu uzyskania jednolitego postępującego stapiania spawacz powinien przesuwac palnik wzdłuż brzegów złącza.

4.5.3. Połączenia gwintowe

Połączenia gwintowe są połączeniami kształtowymi. Oznacza to, że siły w tych połączeniach przenoszone są przez odpowiednio ukształtowane powierzchnie (powierzchnie gwintowane w śrubie i nakrętce). Występujące w połączeniu siły tarcia odgrywają rolę uboczną, głównie jako dodatkowe zabezpieczenie przed rozkręceniem się połączenia. Styk śruby i nakrętki następuje na powierzchniach gwintowych. Są to śrubowe występy i rowki posiadające zbliżone kształtem i wymiarami występy i rowki. Aby połączenie śruby i nakrętki było możliwe, muszą one posiadać jednakowy skok oraz skręt (prawy lub lewy).

Ze względu na rodzaj użytego łącznika połączenia gwintowe dzielą się na połączenia śrubowe i wkrętowe (rys. 4.54).

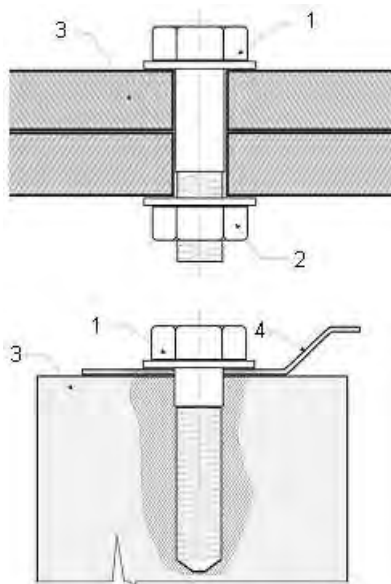
Połączenie gwintowe nierozzerwalnie związane jest z pojęciem śruby, która została wynaleziona przez Archytasa z Tarentum (428-347 p.n.e.) około 400 roku p.n.e. Jednakże obecnie jest ona generalnie łączona z Archimedesem (ok. 287-212 p.n.e.). W I wieku naszej ery Pliny (23-79) opisuje zastosowanie drewnianych śrub w prasach, jed-

nakże nie podaje jak śruby te są wykonywane.

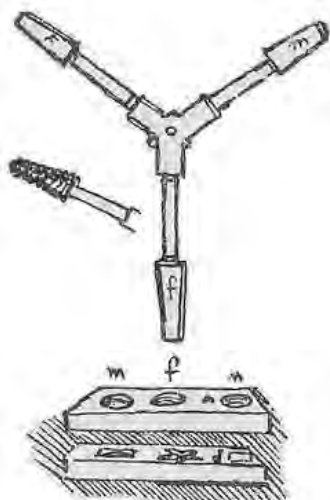
Łatwo się domyślić, iż pierwsze gwinty wykonywano ręcznie przez wycinanie w drewnie. Technologię wytwarzania takich śrub opisał Pappus (ok. 290-ok. 350).

Pierwszą obrabiarkę do nacinania gwintów na wałkach oraz pierwsze narzędzie do wykonywania gwintów w otworach (o kształcie zbliżonym do gwintownika – rys. 4.55) opisał Leonardo da Vinci (1452-1519). Pierwsze śruby otrzymywano skręcając sztabki metalowe. Pierwsze pseudonarzynki wykonywane były zaś jako zahartowane nakrętki, a gwintowniki jako śruby. Narzędzia te nie nacinają gwintu, lecz go wygniatały.

Pierwsze satysfakcjonujące rezultaty nacinania gwintu na tokarce odnotowano dopiero w 1770 r. Zaś pierwszą prawidłowo skrawającą narzynkę (o trzech ostrzach) wykonał i zastosował w roku 1834 Joseph Whitworth (1803-1887). Natomiast gwintownik z rowkami opracował i opatentował w roku 1841 Johann Georg Bodmer (1786-1864).



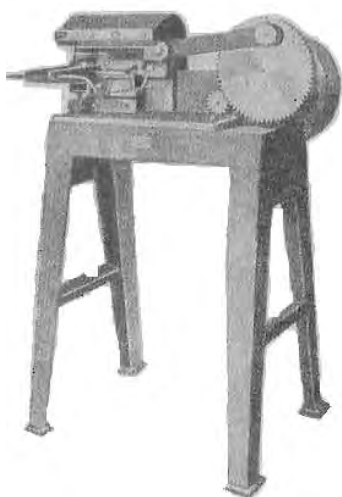
Rys. 4.54. Połączenia gwintowe śrubowe (rys. górny) i wkrętowe (rys. dolny): 1 – śruba, 2 – nakrętka, 3 – element, 4 – element przyłączany



Rys. 4.55. Gwintownik wg Leonarda da Vinci, ok. 1500 r.

Pierwszą walcarkę do gwintów skonstruował w 1851 roku Broomann w Anglii. Walcarka ta znajduje się obecnie w South – Kensington Museum w Londynie. Inną walcarkę do gwintów, pochodzącą z drugiej połowy XIX wieku, pokazano na rys. 4.56.

W latach 1863-1868 Joseph Tayne (Wielka Brytania) buduje specjalizowane obrabiarki, przeznaczone do produkcji śrub.

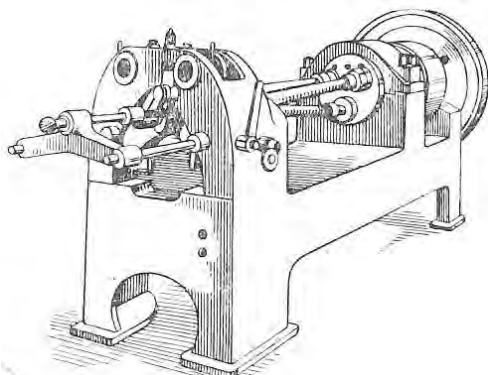


Rys. 4.56. Walcarka do gwintów, 2-ga połowa XIX wieku

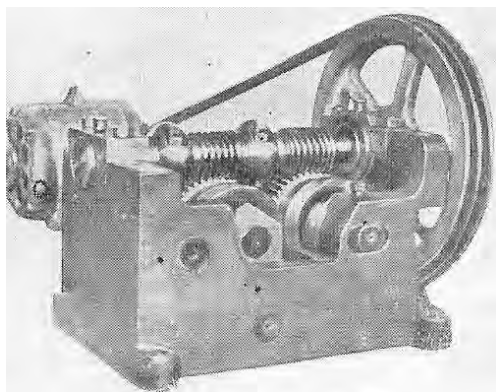
Z kolei w USA w roku 1864 William Sellers (1824-1905) zaproponował wprowadzenie amerykańskiego standardu śrub, przyjętego dopiero w latach 1901-1905 (dla porównania w 1898 r. w Zurich'u ustalono międzynarodowy standard gwintów metrycznych). W roku 1873 opracowano automatyczną obrabiarkę (wdrożoną w roku 1893) służącą do produkcji śrub z drutu w kręgu.

Jako pierwszy walcowanie gwintów na gorąco zastosował Hausenclever z Dusseldorfu do wytwarzania dużych śrub do drewna. W metodzie tej nagrzewa się sworznień do temperatury walcowania i następnie przepuszcza się go między 3 rolkami (rys. 4.57). Przy stosowaniu tej metody uzyskuje się oszczędności materiału dochodzące do 45% w porównaniu z obróbką skrawaniem. Metoda ta stosowana jest także obecnie do walcowania wkrętów do podkładów kolejowych.

Walcowanie gwintów na skalę przemysłową związane jest z walcowaniem napędzanymi rolkami oraz obrabiarką do kształtowania gwintów, którą zademonstrowała po raz pierwszy firma Pee-Wee (Berlin) na Międzynarodowych targach w Lipsku w 1938 r. Od tego czasu datuje się produkcja masowa (w Niemczech) śrub w oparciu o walcowanie. Produkcję walcarek rolkowych oraz walcowanie gwintów rolkami w Anglii, ZSRR i USA rozpoczęto ok. 1939 roku. Natomiast w Polsce pierwszą walcarkę do gwintów kon-



Rys. 4.57. Walcarka do walcowania gwintów na gorąco



Rys. 4.58. Walcarka do gwintów konstrukcji inż. Zienkiewicza, 1947 r.

strukcji inż. Zienkiewicza (rys. 4.58) zastosowano dopiero w 1947 roku.

Dalszy postęp w dziedzinie zwiększenia zakresu i możliwości zastosowania walcowania gwintu związany jest z wprowadzeniem w 1950 roku głowic do walcowania gwintów. Narzędziami tymi można walcować gwinty na normalnych obrabiarkach skrawających. Powoduje to, że metoda ta staje się ekonomiczna również w produkcji małoseryjnej.

W latach 90-tych XX wieku w Politechnice Lubelskiej opracowano nową metodę

walcowania gwintu wkrętów kolejowych, bazującą na technologii walcowania poprzeczno – klinowego. W procesie tym równocześnie kształtowane są gwinty dwóch śrub, które w końcowej fazie kształtowania ulegają rozdzieleniu (rys. 4.59). W efekcie takiego działania śruby mają korzystne zakończenie w kształcie stożka.

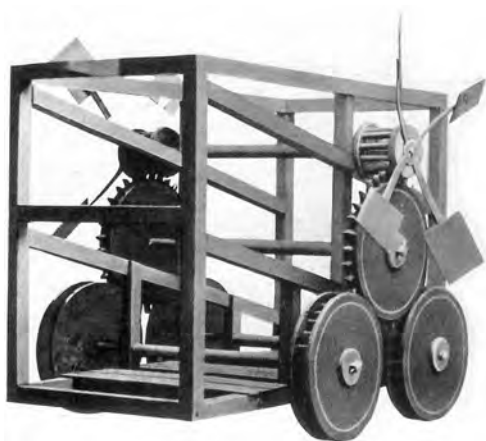


Rys. 4.59. Walcowanie gwintu wkrętów kolejowych w układzie podwójnym: a) początek procesu, b) ukształtowane wkręty szynowe

5. Pojazdy parowe

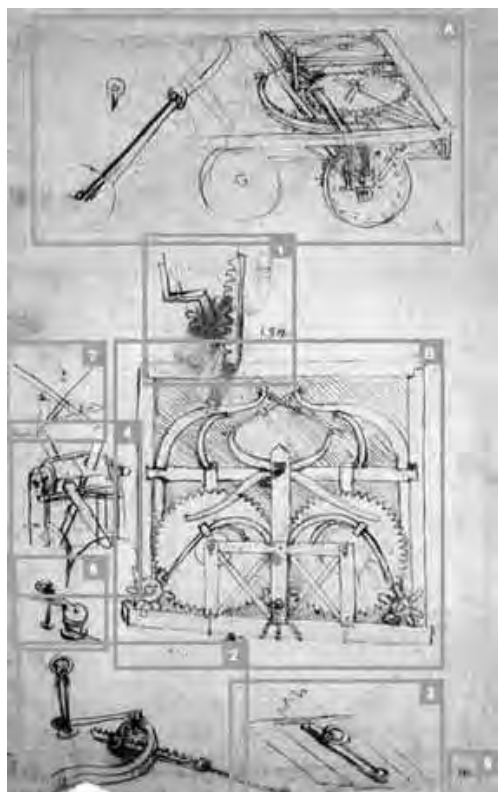
Idea opracowania pojazdu nienapędzanego siłą mięśni ludzkich lub zwierzęcych przewijała się w historii ludzkości wielokrotnie. Już w roku 1472 r Roberto Valturio (1405-1475) opisał pojazd zaprojektowany do celów wojennych, napędzany przez wiatr za pośrednictwem mechanizmu stosowanego w wiatrakach (rys. 5.1). Wóz ten pozbawiony był urządzeń służących do kierowania i nigdy nie wyszedł poza strefę marzeń.

Projekt pojazdu z napędem sprężynowym przedstawił w XV wieku Leonardo da Vinci (1452-1519) - rys. 5.2. Prawdopodobnie został on zaprojektowany, żeby zabawiać znakomitych gości podczas dworskich przyjęć. Eksperci przekonują, że był to pierwszy na świecie pojazd, który dysponował własnym napędem. Pojazd ten został zrekonstruowany w 2004 roku w Muzeum Nauki we Florencji (rys. 5.3).



Rys. 5.1. Pojazd bojowy wg Roberto Valturio, 1472 r.

W XVI wieku holenderski matematyk Simon Stevin (1548-1620) wpadł na pomysł użycia energii wiatru do poruszania pojazdu kołowego. W roku 1600 zbudował on długi wóz dwuosiowy, kierowany przez skręcanie osi tylnej. Napęd stanowiło ożaglowanie dwumasztowe (rys. 5.4). Wynalazca urucho-



Rys. 5.2. Szkice Leonarda da Vinci, wskazujące na możliwość budowy pojazdu napędzanego sprężynami



Rys. 5.3. Pojazd Leonarda da Vinci zrekonstruowany w 2004 roku, Muzeum Nauki we Florencji

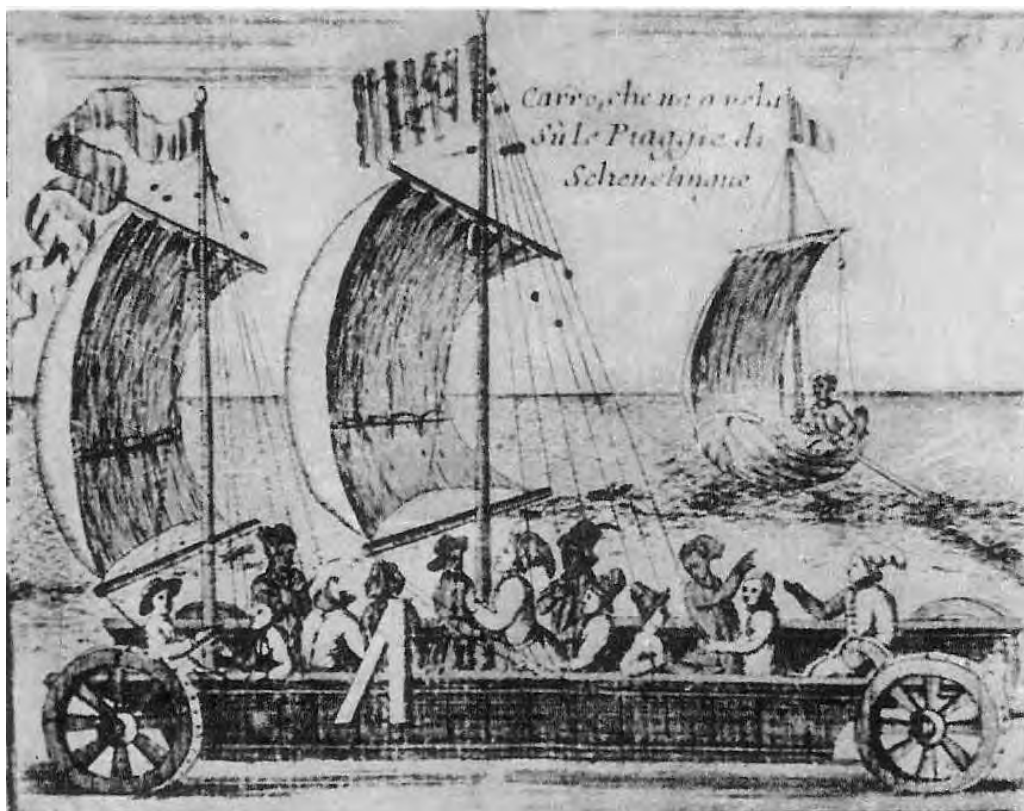
mił pierwsze w świecie „Przedsiębiorstwo autobusowe” na linii Scheveningen – Petten, wzdłuż wybrzeża. Odległość 67,8 km przebywano mniej więcej w 2 godziny, przewożąc 28 pasażerów. Jednak wykorzystanie pojazdu tego typu było silnie związane z uwarunkowaniami geograficznymi (sprzyjający

wiatr), przez co nie mógł on być eksploatowany w warunkach dowolnych.

Pewne jest, iż napęd parowy stał się pierwszym powszechnie stosowanym źródłem zasilania „wozów bez koni”.

5.1. Samochody parowe

Pierwszym, który zbudował pojazd parowy był, urodzony we Francji, Nicolaus Cugnot (1725-1804). W roku 1770 wystartował on z „samojazdem” parowym, który miał być wykorzystywany do przewozu armat (rys. 5.5). Był to wóz trzykołowy, z kotłem parowym na przedzie. Za kotłem mieściła się dwucylindrowa maszyna parowa. Drogą jej tłoków napędzały za pośrednictwem łańcuchów i przekładni zębate koło przednie po-



Rys. 5.4. Wóz żaglowy Simona Stevina z 1600 roku (miedzioryt książki P. Coronelli „Viaggi, Parte Prima, Consecrati All’Illustriss” – 1697 r.)



Rys. 5.5. Rekonstrukcja ciągnika Nicolasa - Josepha Cugnot'a (1770 r.)

jazdu. Wóz biegł samoczynnie, przez 15 do 20 minut, z prędkością około 5 km/h, po czym musiał się zatrzymać dla nagromadzenia nowej dawki pary.

Pionierski pojazd Cugnot'a, przez wielu uznawany za pierwszy samochód w dziejach, miał jednak bardzo wiele wad. Kocioł nie posiadał własnego paleniska, ogień trzeba więc było rozpalać bezpośrednio na drodze. Również rozwijaną prędkość trudno było uznać za zadowalającą. Połączenie masywnego kotła z przednim kierowanym kołem sprawiało zaś, że prowadzenie owego ciągnika wymagało nie lada siły. Fakt ten stał się przyczyną katastrofy. Podczas pokazu w Paryżu Cugnot stracił panowanie nad pojazdem i trafił w ceglany mur (rys. 5.6). Zarówno wóz jak i mur zostały poważnie uszkodzone, a sam wynalazca o mało nie przyplacił tego zdarzenia kalectwem. Dalsze próby zostały zaniechane.

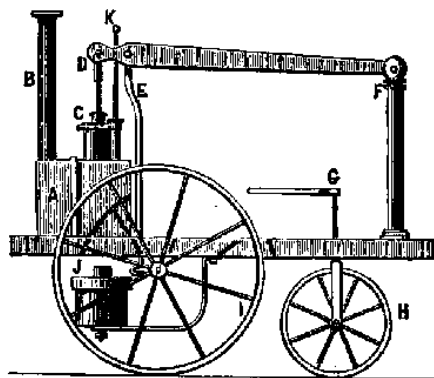
Kolejną osobą, która zbudowała pojazd parowy był młody mechanik William Murdock (1754-1839). Wykonał on w tajemnicy w roku 1784 trzykołowy wózek parowy (rys. 5.7). Postanowił go sprawdzić na nieuczęsz-



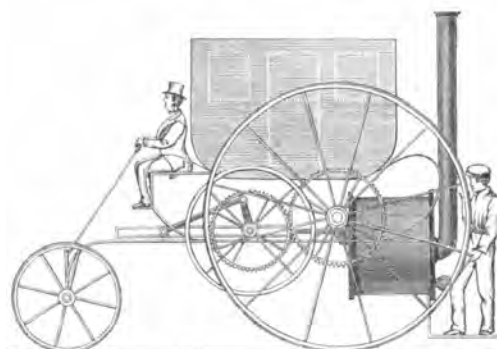
Rys. 5.6. Pechowy pokaz w Paryżu, wykonany przez Cugnota, 1771 r.

czanej drodze. Wózek działał i to tak sprawnie, że wynalazca nie mógł go dogonić. Pech chciał, że na drodze rozpędzonej maszyny znalazł się proboszcz, który widząc pędzące monstrum sypiące iskrami uznał, iż ma przed sobą szatana. Zaczął wzywać pomocy. Wyrwani ze snu mieszkańcy rozbili wóz w druzgi a wynalazca został zmuszony do ucieczki. Od tego czasu stał się on znany w okolicy jako człowiek utrzymujący konszachty z diabłem, przez co szkodzono mu na każdym kroku. Niszczono w nocy modele jego nowych maszyn, przeszkadzano w prowadzeniu jakichkolwiek doświadczeń i podjudzano przeciw niemu ludzi wpływowych.

Na początku XIX wieku kolejny Brytyjczyk Richard Trevithick (1771-1833) prowadzi prace mające na celu wykonanie pojazdu samochodowego napędzanego silnikiem parowym. Udało mu się to osiągnąć w roku 1801. Już dwa lata później po Londynie kursowały liczne taksówki napędzane parą. Pojazdy Trevithicka mogły zabierać kilka osób i poruszać się z prędkością 15 km/h. Maszyny te sprawowały się dość dobrze, nie mogły jednakże sprawdzić się w pełni. Ze względu na godny ubolewania stan ulic w mieście jeździły z prędkością równą pieszem, co praktycznie uniemożliwiło ich wykorzystanie. O budowie takiego pojazdu można wnioskować na podstawie schematu pokazanego na rys. 5.8.



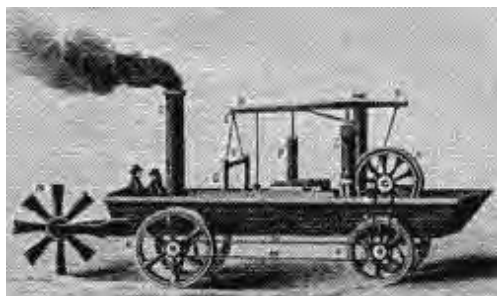
Rys. 5.7. Szkic pojazdu parowego Murdock'a, 1784 r.



Rys. 5.8. Pojazd parowy zaprezentowany przez Trevithicka w roku 1803

Zainteresowanie pojazdami parowymi nie było ograniczone wyłącznie do Europy. W Stanach Zjednoczonych Oliver Evans (1755-1819) zadziwił wszystkich prezentując w Filadelfii (w roku 1805) swój pojazd – rys. 5.9, ważący 15,5 tony i mający napęd parowy. W pojeździe tym (właściwie amfibii), po dotarciu do rzeki Schuylkill, zdemontowano koła jezdne i założono koło łopatkowe. W ten sposób wóz przeobraził się w statek, który przepłynął w górę rzeki Schuylkill, a potem Delaware ponad 25 km i ponownie powrócił do miejsca startu.

W latach 20-tych XIX wieku w Anglii obserwowany był boom na pojazdy parowe. Wówczas Goldsworthy Gurney (1793-1875) buduje duże parowe pojazdy uliczne przeznaczone dla ruchu osobowego (rys. 5.10). Opierały się one konstrukcyjnie na okazałych pojazdach konnych, miały z tyłu lub pod podłogą silniki parowe i poruszały się z prędko-



Rys. 5.9. Amfibia Evansa (1805 r.)

ścią około 7,5 km/h. Tego rodzaju karoco (dorożki) oferowały pasażerom 6 miejsc w kabinie i 15 na wolnym powietrzu. Niektóre wozy parowe Gurneya służyły tylko jako ciągniki. Omnibusy parowe obsługiwane były przez co najmniej dwie osoby. Byli to: *conducateur*, czyli kierowca, i *chauffer*, czyli palacz obsługujący kocioł parowy. Co ciekawe, do dziś w wielu krajach kierowcę określa się mianem szofera, czyli palacza. Konduktor znany dziś jest natomiast jako osoba sprawdzająca bilety w pociągu, a nie jako ktoś, kto prowadzi lokomotywę.

Omnibusy parowe stają się coraz popularniejsze, także poza Anglią. Przykładowo w 1835 roku Rosjanin Wasyl Guriew opracował projekt uruchomienia linii parowych omnibusów na trasie Moskwa - Petersburg. Ta śmiała idea nigdy nie została jednak zrealizowana. Z kolei w Turynie w 1836 roku Virginio Bordino (1804-1879) zbudował pierwszy włoski wehikuł parowy. Tak jak i inne pojazdy tego typu włoski wynalazek niczym nie różnił się z wyglądu od konnego dyliżansu i potrafił osiągnąć prędkość 8 km/godz.

Należy tutaj zauważyć, że chociaż pojazdy parowe konstruowano na całym świecie, to Anglia była nadal światową potęgą na tym polu. Omnibusy były coraz szybsze, dość bezpieczne, a opłaty za przejazd - niezbyt wygórowane. Stale zwiększająca się liczba klientów omnibusów parowych oznaczała jednak bankructwo dla właścicieli dyliżan-



Rys. 5.10. Dorożka parowa, wprowadzona w Anglii w roku 1828

sów. To pod naciskiem tych ostatnich - twierdzących, że pojazdy parowe są bardzo niebezpieczne - w 1865 roku uchwalono tzw. „ustawę o Czerwonej Chorągwi”. Z taką właśnie chorągwią w odległości 55 metrów przed omnibusem powinien iść człowiek informujący przechodniów o przejeździe pojazdu parowego. Dodatkowo pojazd musiał zatrzymywać się na każde żądanie przechodnia. W połączeniu z bezwzględnym ograniczeniem prędkości (do 6 km/godz.) znacznie wydłużyło to czas podróży omnibusem. Nic dziwnego, że ruch omnibusowy w całej Wielkiej Brytanii zamarł aż do 1896 roku, kiedy zniesiono te rygorystyczne przepisy. Datę tę upamiętnia rozgrywany do dziś na trasie Londyn - Brighton prestiżowy rajd zabawkowych samochodów.

W Wielkiej Brytanii transport parowy utrzymał się do lat 30. XX w., kiedy to parowe samochody osobowe zaczęły ustępować miejsca autom napędzanym silnikami spalinowymi.

Najwybitniejszym konstruktorem pojazdów parowych we Francji był Amedee Bollee (1844-1917) z Le Mans. Swoją pierwszy pojazd parowy z 1873 roku - *L'Obeissante* - budował przez dwa lata po godzinach pracy w warsztacie znajdującym się wewnątrz fabryki dzwonów swojego ojca. 12-miejscowy wehikuł odbył 200-kilometrową podróż do Paryża, gdzie z miejsca wzbudził sensację. Drugi wehikuł, - *La Mancelle* z 1878 roku - miał kocioł parowy umieszczony z tyłu, skąd przekazywano napęd na tylne koła za pośrednictwem łańcucha. Prędkość maksymalna wynosiła 35 km/godz., co czyniło francuski pojazd jednym z najszybszych na drogach. Najzwyczajszym wehikułem Francuza okazał się jednak *La Rapide* z 1881 roku, który potrafił rozwinąć zawrotną jak na owe czasy prędkość 60 km/godz. Pojazdy parowe opracowane przez Bollee pokazano na rys. 5.11.

Drugim znanym francuskim konstruktorem pojazdów parowych był Albert De Dion (1856-1946), którym wraz z Georgesem Bottonem (1847-1938) i Charlesem Trepau-

douxem (1853-1920) w 1884 roku rozpoczął seryjną produkcję samochodów parowych. Jazda tym wozem wśród paryskich elegantów szybko stała się modą. De Dion stał się z cza-



Rys. 5.11. Wehikuły parowe skonstruowane przez Amedee Bollee (od góry): *L'Obeissante* – 1873, *La Mancelle* – 1878, *La Rapide* – 1881



Rys. 5.12. Samochód na parę Doble z 1925 r.

sem fascynatą pojazdów z silnikami spalinyowymi i przez pewien czas był ich liczącym się producentem we Francji.

Krajem, w którym parowe samochody utrzymywały się najdłużej, były Stany Zjednoczone. Amerykanom podobała się przede wszystkim ich łatwa obsługa. Najśłynniejszymi firmami produkującymi pojazdy parowe za Atlantykiem były Doble, Stanley i White. Zresztą liczba producentów pojazdów parowych w USA szła nie w dziesiątki, lecz w setki. Ostatnie z tych firm zbankrutowały w latach 30 XX wieku.

Najwspanialsze samochody parowe (rys. 5.12) w Stanach Zjednoczonych wytwarzała firma Doble. Jej założyciel – Abner Doble (1890-1961) – swój pierwszy pojazd zbudował w wieku 16 lat. Modele tej marki uchodziły za wyjątkowo niezawodne – Doble udzielał gwarancji na zupełnie nieprawdopodobny w latach 20-tych XX wieku dystans 100 tys. km. Za najwspanialszą konstrukcję firmy uchodzi model Doble E z końca lat 20. XX w., odpowiednik europejskiego Bugatti Tipo 41 La Royale. Bramy fabryczne opuściły zaledwie czterdzieści dwa egzemplarze tego pojazdu, który rozwijał prędkość do 200 km/godz., a do pierwszych 100 km/godz. rozpędzał się w niewiele ponad pięć sekund. I to wszystko w 1930 roku. Dla porównania: prędkość maksymalna Bugatti Tipo 57 Atlantic, uważanego za najszybszy samochód przed II wojną światową wynosiła 170 km/godz.

Amerykańscy konstruktorzy budowali również specjalne samochody (z napędem parowym), których zadaniem było bicie rekordów prędkości. Przykładem może tu służyć samochód parowy firmy Stanley, nazwany Rockett, w którym Fred Marriot (1872-1956) 26 stycznia 1906 roku przekroczył 205 km/h., bijąc tym samym samochodowy rekord prędkości. Rok później ten sam kierowca podjął ponowną próbę, również na parowym samochodzie Stanley, bicia rekordu prędkości. 25.01.1907 roku na plaży Ormonde na Florydzie przy prędkości około 300 km/h pojazd wyskoczył w powietrze i rozbił się doszczętnie (rys. 5.13). Na szczęście Marriot chociaż poważnie ranny, przeżył wypadek i dożył (już nigdy nie siadając za kierownicą pojazdu rekordowego) wieku ponad 80 lat.



The Racer Before the Accident.



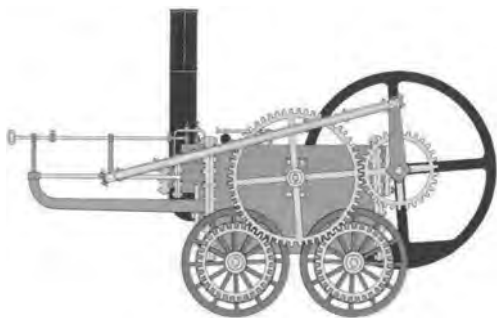
Photograph by Lorenz.

Part of the Body of Racer After the Accident.

Rys. 5.13. Wypadek parowego samochodu Stanley'a podczas próby bicia rekordu prędkości w dniu 25.01.1907 roku

5.2. Parowozy

Parowóz (lokomotywa parowa) to pojazd szynowy (stosowany od 1804) z własnym napędem, przeznaczony do ciągnięcia



Rys. 5.14. Parowóz Trevithick'a z roku 1804
(waga 8 ton)

(lub pchania) innych pojazdów (wagonów) po torach.

Już dosyć wcześnie zauważono (XVI wiek), że stosując szyny drewniane można przewozić wózkami kopalnianymi 4-krotnie cięższe ładunki niż bezpośrednio po ziemi. Wprowadzenie w drugiej połowie XVIII stulecia szyn żelaznych pozwoliło dodatkowo podwoić ładowność wozów ciągniętych przez konie po tych szynach.

Pierwszym udanym parowozem była maszyna opracowana przez Richarda Trevithick'a (1771-1833), która została po raz pierwszy publicznie zaprezentowana w lutym 1804 roku. W parowozie jego konstrukcji (rys. 5.14) za kotłem wysokoprężnym i rurą płomieniową umieszczony był cylinder roboczy, z którego wystawał długi drąg tłoka, podparty wspornikiem. Prostoliniowy ruch zwrotny tłoka w cylindrze przenosił się na koła pojazdu za pośrednictwem korbowału i zespołu kół zębatych. Całość na dwuosiowej ramie i czterech kołach toczyła się po szynach z żeliwa. Replikę tego parowozu można oglądać dzisiaj w Telford Central Station w Anglii – rys. 5.15. Interesująco przedstawia się opis tego wydarzenia zamieszczony w ówczesnej prasie: „Przedwczoraj odbyła się wreszcie tak długo oczekiwana próba maszyny parowej pana Trevithicka... Ku powszechnemu zdumieniu wyniki przeszły wszystko, czego spodziewali się najbardziej nawet przekonani zwolennicy maszyny. Podczas próby użyto jej do przewiezienia 10 ton żelaza na odległość przeszło 9 mil, należy zaś

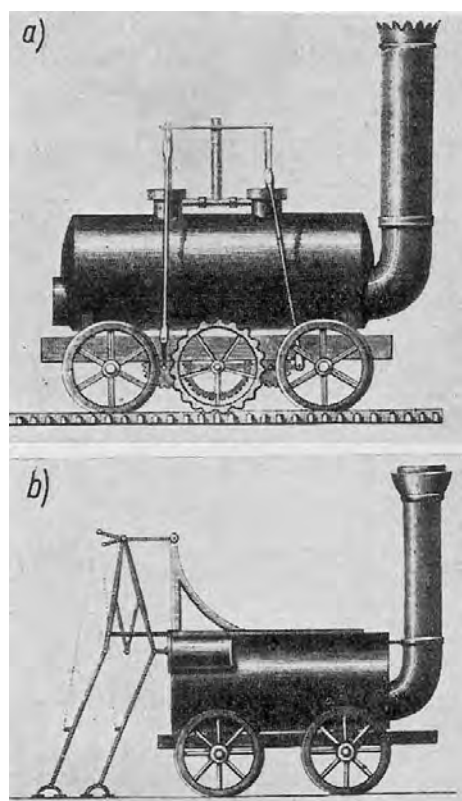
zaznaczyć, że ciężar tego ładunku wzrósł szybko z 10 do 15 ton dzięki co najmniej 70 ludziom, którzy wdrapali się na pojazd. Podnieceni nieprzezwyciężoną ciekawością pragnęli użyć przejażdżki, korzystając z pierwszego sukcesu utalentowanego wynalazcy... Maszyna przebyła całą drogę bez uzupełniania wody w kotle i swobodnie poruszała się z prędkością 5 mil na godzinę...”

Po trzech latach doświadczeń nad udoskonaleniem parowozu i toru Trevithick zbudował pierwszą w świecie doświadczalną linię kolejową w kształcie koła. Została ona udostępniona publiczności. Jednakże pewnego dnia szyna pękła i parowóz wywrócił się. Właściciela nie było stać na jego naprawę, co było przyczyną zaniechania przez Trevithicka dalszych badań.

Trevithick odegrał znamioną rolę w rozwoju parowozów. Jako pierwszy wykazał, że siły tarcia na powierzchni kontaktu koło - szyna są wystarczające by parowóz mógł toczyć się po torze, ciągnąc jednocześnie szereg wagonów. Jednak wielu współczesnych było odmiennego zdania. Uważali oni bowiem, że skoro koń może uciągnąć po torze ładunek 8 razy większy niż na drodze zwykłej, to jest to wynikiem zmniejszenia tarcia między kołami a torem szynowym. Rozszerzając to rozumowanie dochodzono do wniosku, iż wóz samobieżny nie będzie w stanie ruszyć z miejsca po torze ze względu na zbyt



Rys. 5.15. Replika parowozu Trevithick'a z roku 1804, Telford Central Station w Anglii



Rys. 5.16. Absurdalne lokomotywy, wg projektów: a) Blenkinsopa, b) Bruntona

małą przyczepność między kołami gładkimi i takimi samymi szynami. Poszukiwanie rozwiązania tego wydumanego problemu prowadziło do opracowania szeregu absurdalnych konstrukcji. I tak w projekcie:

- Johna Blenkinsopa (1783-1831) z roku 1811 układano jedną z szyn jako zębatą, z którą stykało się napędowe koło zębate (system ten był stosowany w górnictwie przez około 12 lat) – rys. 5.16a.
- Williama Bruntona (1777-1851) z 1813 roku lokomotywa miała ruchome nogi naśladujące konia, wspierające się z dużą siłą o podłoże. W czasie pierwszych prób maszyna eksplodowała zabijając kilku ludzi. Prób nie ponowiono – rys. 5.16b.

Dopiero w 1813 roku William Hedley (1779-1843) na podstawie wykonanych badań obwieścił, że nie będzie poślizgu między kołami

i torem, gdy ciężar własny lokomotywy będzie dostatecznie duży.

Dalszy rozwój parowozów związany jest z Georgiem Stephensonem (1781-1848), który jako jeden z pierwszych uwierzył w przyszłość kolei parowej. Człowiek ten konsekwentnie dążył do opracowania udanej konstrukcji lokomotywy parowej.

Próba pierwszej lokomotywy Stephensa „Blucher” odbyła się w lipcu 1814 roku. Stanowiła ona w znacznej mierze kopię parowozu Trevithicka. Maszyna ta holowała pociąg złożony z 30 wozów z prędkością 6-7 km/h, ale jej użytkowanie uznano za zbyt kosztowne. W roku 1815 r. oddano do użytku drugą lokomotywę, która również zawiodła pokładane w niej nadzieje. W tej sytuacji wynalazca uznał, że trzeba przeanalizować opory stawiane lokomotywie w ruchu. Wywnioskował, że należy stosować tory o możliwie niewielkich wzniesieniach. Okazało się też, że kamienne podkłady są złe bo wzmagają wstrząsy. W efekcie lokomotywy zaczęto wyposażać w resory co skutecznie złagodziło wstrząsy na stykach szyn. Dopiero trzecia lokomotywa konstruktora była udana, wzięła ona udział w uruchomieniu w 1825 r. linii węglowej Stockton – Darlington (rys. 5.17). Tamże lokomotywy Stephensa skutecznie konkurowały z końmi, chociaż ich średnia szybkość nie przekraczała 8 km/h.

Kolej Stockton & Darlington otwarto 27 września 1825. Prowadzony przez Stephensa parowóz Locomotion ciągnął 80 ton ładunku węgla i mąki na odcinku 16 km przez ponad dwie godziny, osiągając na jednym z odcinków prędkość 39 km/h. Do parowozu podczepiono również specjalnie zbudowany dla pasażerów wagon osobowy (nazwany Experiment), w którym przewożono dostojników uroczystości. Był to pierwszy w historii przewóz pasażerów koleją napędzaną parowozem

W roku 1829 ogłoszono konkurs publiczny na uruchomienie linii kolejowej na trasie Manchester – Liverpool w Anglii (ok. 30 km). Warunki konkursu były następujące: lokomotywa o masie do 6 ton powinna ciągnąć



Rys. 5.17. Otwarcie linii kolejowej Stockton – Darlington, 27 wrzesień 1825 roku

gnąć na torze poziomym masę 20 ton z prędkością 16 km/h. Ciśnienie w kotle nie może przekraczać $3,5 \text{ kG/cm}^2$. Maszyna ma być wyposażona w dwa zawory bezpieczeństwa i manometr rtęciowy. Cena lokomotywy nie może przekraczać 550 funtów szterlingów. Dla zwycięskiego konstruktora przewidziano nagrodę w wysokości 500 funtów. Próby zmierzające do wyłonienia zwycięzcy rozpoczęto 6 października 1829 roku.

W konkursie udział wzięło 5 maszyn opracowanych przez różnych konstruktorów. Były to:

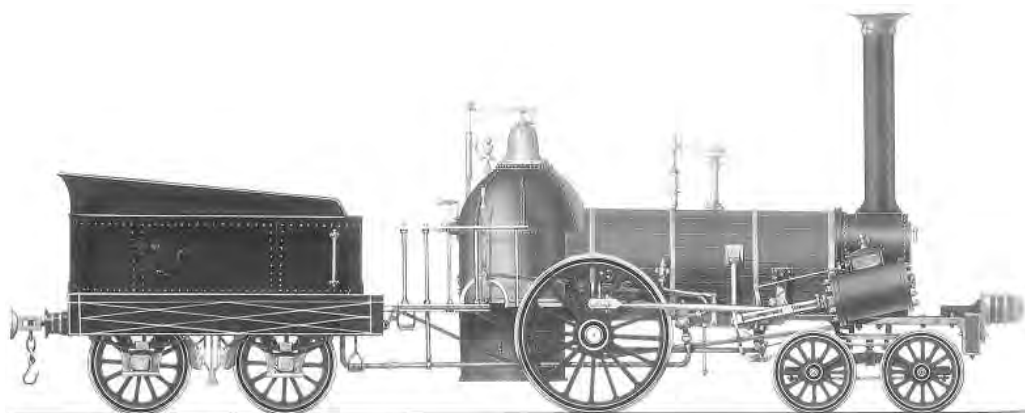
- ❑ Rakieta – Georga Stephensona, w której przez dolną część kotła przechodziło 25 rurek miedzianych (płomieniówek) o średnicy 3 cali. Ciąg wywoływano wpuszczaniem pary odlotowej do kolumny.
- ❑ Niedościgła, jej kocioł nie miał płomieniówek lecz dwie grube rury spełniające podobną rolę. Ciąg wywoływano tak jak w Rakiecie.
- ❑ Nowość – w kotle znajdowała się węzownica, przez którą przechodziły spaliny. Ciągu dostarczały miechy.
- ❑ Cychłotep – dziwoląg o masie 3 ton, napędzany przez konia, który nie został dopuszczony do konkursu.
- ❑ Wytrzymałość.

W trakcie prób Rakieta (rys. 5.18) pobiła na głowę współzawodniczkę. Już pierwszego dnia wyścigów, które trwały od 6 do 14 października, lokomotywa Stephensona osiągnęła prędkość 46 km/h. Jako jedyna przetrwała ona do końca zawodów nie doznając najmniejszego szwanku, podczas gdy pozostałe trzy parowozy doznały mniejszych lub większych awarii. Jako ciekawostkę można podać, iż w owym czasie wierzono, że ludzie mogą mieć trudności z oddychaniem przy prędkości większej niż 30 km/h.

W następnych latach kolej błyskawicznie rozprzestrzeniła się po świecie. Na jej po-



Rys. 5.18. Współczesna replika Rakiety Georga Stephensona, opracowanej w roku 1829



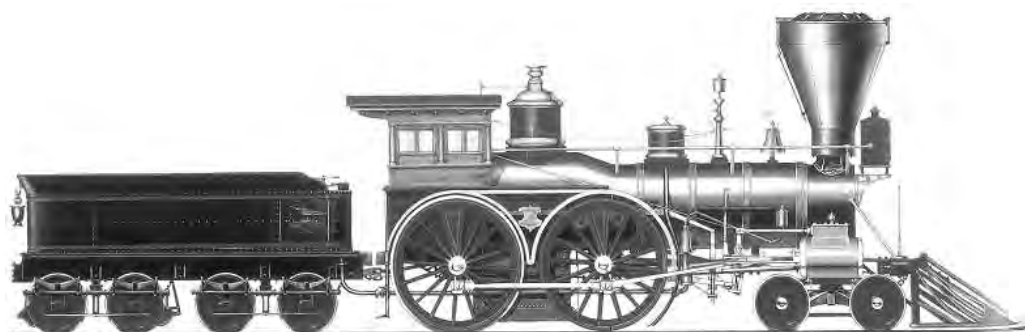
Rys. 5.19. Parowóz Lafayette Norrisa, zbudowany w roku 1837

trzeby opracowano szereg konstrukcji parowozów, z których ważniejsze przedstawiono poniżej.

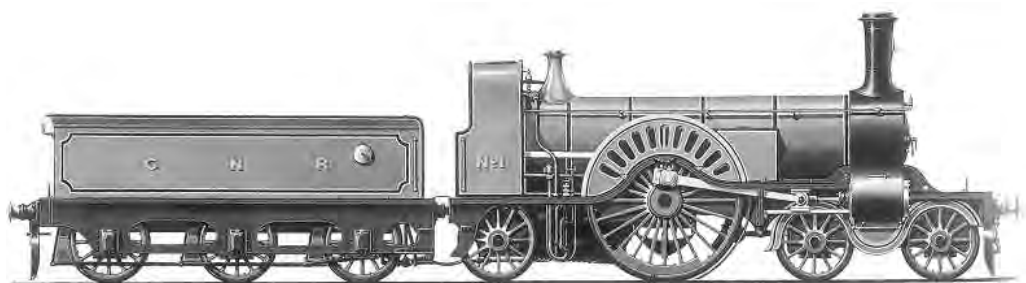
Parowóz Lafayette Norrisa (rys. 5.19) o układzie osi 2-1-0 był zbudowany w 1837 roku i z założenia miał pokonywać wzniesienia. Zbudowano zaledwie osiem egzemplarzy tego parowozu. Wyjątkowość jego konstrukcji polegała na umieszczeniu większego niż zazwyczaj ciężaru za dużymi kołami silnikowymi. Dzięki temu zwiększał się docisk kół do torów i przyczepność maszyny. Powodowało to, iż lokomotywa ta dobrze radziła sobie z podjazdami pod górę. Lafayette przyniósł wielką sławę i fortunę swemu projektantowi, Williamowi Norrisowi (1802-1867), dzięki czemu kontynuował on karierę konstruktora, zaopatrując w lokomotywy 27 amerykańskich linii kolejowych oraz państwa

tak odległe jak Australia, Włochy i Kuba.

Parowóz American (rys. 5.20). W USA szybko pokochano podróże pociągami, będącymi szybkim i tanim sposobem pokonywania ogromnych odległości, dzielących liczne miasta Ameryki Północnej. W latach 30-tych XIX wieku trzech konstruktorów zdominowało szybko rozwijający się przemysł kolejowy Ameryki. Byli to Mathias Baldwin (1795-1866), William Norris i Thomas Rogers (1792-1856). Uznawana obecnie za klasykę lokomotywa American typ 4-4-0 zbudowana została w 1855 roku przez Rogers Locomotive Works z siedzibą w New Jersey. Ta maszyna pozostawała absolutnym królem torów, przez prawie 50 lat. Jej cechami charakterystycznymi były: dwie główne osie napędowe, lemiesz (zwany łapaczem krów) służący do usuwania przeszkód z torów oraz



Rys. 5.20. Parowóz American, zbudowany w 1855 roku przez Rogers Locomotive Works



Rys. 5.21. Parowóz Stirling 8 - feet single, opracowany w 1870 roku

ogromny komin, który zawierał urządzenia zapobiegające ucieczce isker (tzw. odiskier-nik).

Parowóz Stirling 8 - feet single (rys. 5.21). Koniec XIX wieku jest często zwany „złotym wiekiem pary”. Jeśli weźmie się pod uwagę zdanie entuzjastów lokomotyw, to z pewnością budowano wtedy najpiękniejsze maszyny. Były one nie tylko bardzo ładne, ale również świetnie zaprojektowane, wydajne i długowieczne. Takie parowozy, jak Stirling, które powstawały w latach 1870 - 1895, były używane aż do 1919 roku, stając się charakterystycznymi elementami krajobrazu Wielkiej Brytanii.

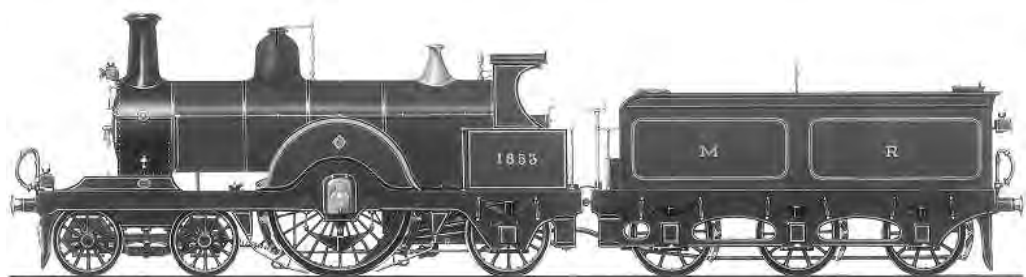
Lokomotywy Stirling z jedną osią silnikową (nazywane w krajach anglosaskich single) miały przedni dwuosiowy wózek, który ułatwiał pokonywanie ostrych zakrętów. Nazwa lokomotywy 8 feet pochodziła od koła napędowego, które miało dokładnie 8 stóp i 1 cal (246,2 cm) średnicy.

Parowóz Johnson Midland Single (rys. 5.22). Został on zaprojektowany przez Samuela Waite Johnson’a (1831-1912),

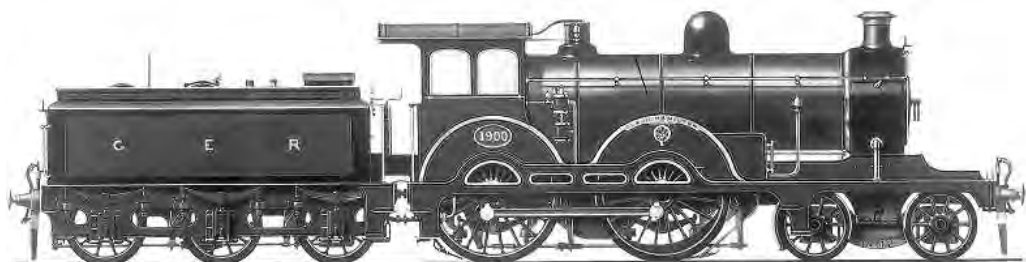
który jest jednym z mniej znanych konstruktorów parowozów. Johnson całą swą karierę zawodową poświęcił pracy na kolei, aczkolwiek zaprojektował w całości zaledwie kilka lokomotyw. Choć był pomysłodawcą wielu nowatorskich rozwiązań, pracując dla kompanii kolejowych Derby i Midland, rzadko przypisywał sobie autorstwo różnych wynalazków. Preferował pracę zespołową i zachęcał innych do wytężonego wysiłku. Właśnie w pracy zespołowej tkwił klucz do sukcesu jego pięknych lokomotyw o opływowych kształtach.

Parowóz ten miał dwuosiowy wózek, jedną oś napędową oraz jedną oś toczoną tylną w związku z czym nosił oznaczenie 2-1-1, według czasem używanego w naszym kraju oznaczenia francuskiego. Mógł on rozwijać prędkość do 145 km/h. Ponadto, zastosowano w nim nowatorskie rozwiązanie, polegające na zdmuchiwanie (parą wodną) piasku, który znajdowałby się bezpośrednio na torze.

Parowóz Claud Hamilton (rys. 5.23). Ta wspaniale prezentująca się loko-



Rys. 5.22. Parowóz Johnson Midland Single



Rys. 5.23. Parowóz Claud Hamilton, oddany do użytku w początku wieku XX

motywa była używana przez około 60 lat. W latach 1900-1911 zbudowano 101 egzemplarzy tych maszyn. Z uwagi na ich ogromną siłę pociągową były one regularnie użytkowane na liniach pasażerskich do końca drugiej wojny światowej, a jeszcze na początku lat 60-tych XX wieku prowadziły pociągi towarowe. Lokomotywa tego typu mogła prowadzić pociąg o masie do 400 ton. Należy tutaj zauważyć, że nieco więcej niż połowa maszyn Claud opalana była olejem opałowym (na rys. 5.23 przedstawiono wersję napędzaną węglem).

Parowóz Union Pacific FEF-2 (rys. 5.24). Od początku szukano sposobów zwiększenia masy wagonów ciągniętych przez lokomotywę, przy jednoczesnym zachowaniu kontroli nad całym składem i dużej prędkości jazdy. Cięższe parowozy potrzebują większych i mocniejszych silników oraz większej liczby osi, dzięki którym ciężar równomiernie rozkłada się na torach. Pamiętając o tych wymaganiach, ogromna Union Pacific FEF, o masie 367 ton, została wyposażona w cztery osie napędowe oraz wielki kocioł o średnicy 2,028 m. Parowóz FEF-2, o długości 34,7 m, został wprowadzony do użytku w roku 1927. Mógł on prowadzić składy o masie do 1000 ton, z prędkością dochodzącą do 160 km/h.

5.3. Lokomobila

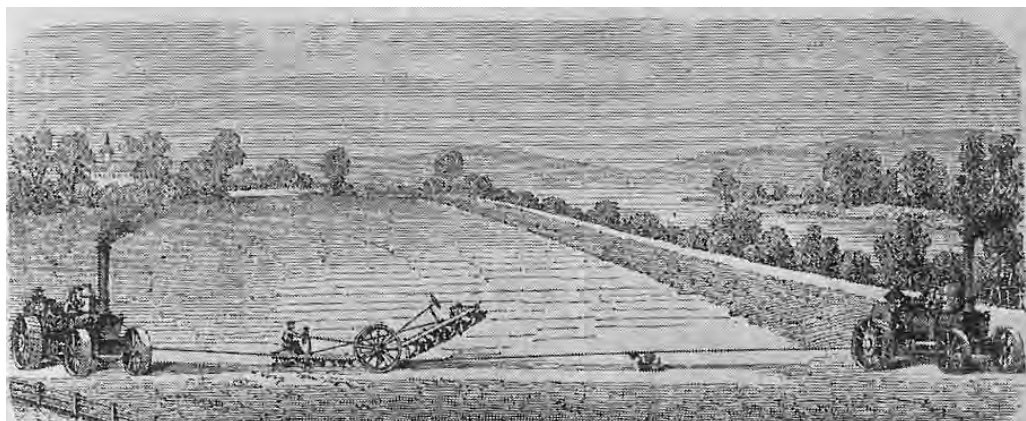
Lokomobila (z łac. locus mobilis) - początkowo pojęcie to określało przewoźny zespół napędowy, zawierający: kocioł parowy, maszynę parową i urządzenie transmisyjne (np. koło pasowe), konstrukcyjnie zbliżony do małego parowozu, ale bez własnego napędu. W miarę rozwoju konstrukcji dodawano przymiotniki uściślające, ale zawsze był to zespół napędowy stanowiący zwartą całość w przeciwieństwie do siłowni z wydzielonym kotłem i silnikiem. Przeważnie silnik parowy był mocowany na kotle, rzadziej do jego boku.

Lokomobila była szeroko stosowana w XIX i na początku XX wieku do napędu: małych zakładów, maszyn rolniczych w folwarkach, pomp itd. Pierwszą lokomobilę wykorzystaną praktycznie prawdopodobnie zbudował w roku 1805 Evans. Z połączenia lekkiej lokomobili i pompy w 1829 roku powstała sikawka parowa. Oprócz lokomobil przewoźnych (na kołach bez napędu) budowane były lokomobile stałe pozbawione kół i ustawione na stałym fundamencie.

Dla ułatwienia przewożenia lokomobile przejezdne zostały wyposażone w przekład-



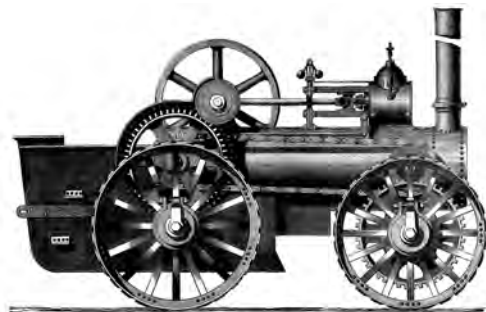
Rys. 5.24. Parowóz Union Pacific FEF-2, wprowadzony do użytku w roku 1927



Rys. 5.25. Orka parowa wg Folwera (1850 rok). Pomiędzy dwoma lokomobilami rozpięta jest lina z przyczepionym do niej pługiem wielolemieszowym. Pług ten poruszano przez nawijanie liny na bęben jednej z lokomobil. Orka parowa była kłopotliwa, jednak stała się popularna i znikła dopiero z wprowadzeniem ciągnika.

nię pasową napędzającą koła. Były to nadal ciężkie maszyny zdolne jedynie do sporadycznego transportu o własnych siłach. Np. przy orce stały nieruchomo a pług przeciągały liną (rys. 5.25) Późniejsze, lżejsze ich odmiany wyposażone w układ kierowniczy były stosowane do ciągnięcia pojazdów. Z nich wykształciły się produkowane we Francji i Anglii od lat 1830-40 ciągniki parowe nazywane lokomobilą samojezdną (rys. 5.26). Zaletą parowego napędu pojazdów była nawrotność i duża elastyczność maszyny parowej pozwalająca na rezygnację ze skrzyni biegów.

Ostatnie lokomobile parowe były produkowane seryjnie w latach sześćdziesiątych



Rys. 5.26. Lokomobila samojezdna (lokomotywa drogowa, ciągnik parowy) z ok. 1881 r.

XX wieku, a w niewielkiej ilości (głównie małe maszyny) są wytwarzane i obecnie.

5.4. Linie kolejowe

Linia kolejowa to element sieci kolejowej składający się z jednego, dwóch lub kilku torów kolejowych łączących punkty początkowy i końcowy (będące stacjami końcowymi lub węzłowymi). Do linii kolejowej zalicza się również grunty zajęte pod torowisko oraz do nich przyległe wraz z budynkami, budowlami i urządzeniami stworzonymi do prowadzenia ruchu. Linie kolejowe posiadają swoje nazwy i numery oraz identyfikację długości, na ogół w formie betonowych słupków hektometrowych. W Polsce kilometrą na ogół rozpoczyna się na tym z punktów końcowych linii, który leży bliżej Warszawy.

Jak opisano w rozdziale 5.2 kolej powstała w Anglii. Tam też rozwijała się ona w sposób bardzo dynamiczny. O skali tego rozwoju świadczy chociażby długość linii kolejowych, która wynosiła:

- w 1825 r. – 42 km,
- w 1844 r. – 3.600 km,
- w 1850 r. – 10.680 km,



Rys. 5.27. Przejazd na trasie Lyon – St. Etienne, który przebiegał m.in. przez tunel o długości 1506 metrów (począwszy od roku 1834 zaczęto tu stosować parowozy)

- ❑ w 1880 r. – 38.860 km.

Drugim krajem po Anglii, w którym uruchomiono kolej była Francja. Kilku przedsiębiorców podjęło się tam budowy połączenia kolejowego Lyon – St. Etienne (rys. 5.27). Uzyskali oni koncesję pod warunkiem, że trakcja będzie konna. Było to w roku 1832. Jednak potajemnie sprowadzono z Anglii 2 parowozy, które spisały się tak dobrze, że opinia publiczna i władze musiały pogodzić się z zaistniałym faktem.

Kolejnym krajem, w którym uruchomiono kolej byli Niemcy. Miało to miejsce w roku 1835, gdy uruchomiono stałą linię kolejową na trasie Norymberga – Furth (6 km). Ciekawa jest opinia wydana w tej sprawie przez Naczelną Komisję Lekarską Bawarii. Brzmiała ona następująco: *Nadnaturalna szybkość pociągu wywoła bez wątpienia choroby mózgu wśród pasażerów. Zważywszy atoli, że podróźni trwać będą w nierozważnym uporze i że nie odstraszą ich budzące grozę niebezpieczeństwa podróży koleją, państwo przynajmniej chronić powinno ludzi spokojnych, jako że sam widok rozjeżdżonej lokomotywy może i ich również nabawić zapalenia mózgu. Należy zatem osłonić wysokim parkanem tory kolejowe.*

W roku 1837 uruchomiono w Rosji linię kolejową Petersburg – Carskie Sioło. Na początku pracowały tutaj konie, ale już po roku przerzucono się wyłącznie na trakcję parową.

Twórcami pierwszej kolei polskiej byli Piotr Steinkeller (1799-1854) i Henryk hr. Łubieński (1793-1883). Po rozlicznych trudnościach finansowych w roku 1845 otwarto odcinek Warszawa – Grodzisk, a odnogę ze Skierniewic do Łowicza oddano do użytku w roku 1848. W 1859 roku otwarto trasę z Warszawy do granicy austriackiej (w pobliżu Mysłowic) oddając do użytku całą kolej Warszawsko – Wiedeńską. Jednakże linie te nie były pierwsze na ziemiach polskich. Pierwszeństwo w tym względzie ma trasa Wrocław – Opole, otwarta w 1842 roku przez władze pruskie.

O ekspansji kolei, która miała miejsce w wieku XIX można wnioskować na przykładzie jej rozwoju w największym ówczesnym kraju świata, tj. Rosji carskiej. Poniżej podaje się ważniejsze wydarzenia w tym zakresie przedstawione w formie kalendarium.

- ❑ 1806-1809 - kopalniana kolej konna w Ałtaju, dług. 2 km, tor o rozstawie 1067 mm (P. K. Krolów);
- ❑ 1836 - Царскосельская железная дорога: kolej konna Petersburg - Pawłowski (F. Gerstner), od 1837 trakcja parowa w normalnym ruchu, z lokomotywami Stephensona i Timothy Hackwortha (1786-1850); rozstaw szyn 1829 mm, w roku 1897 weszła ona w skład Московско-Виндаво-Рыбинской ж. д.;
- ❑ 14 VI 1845 - otwarcie pierwszego odcinka drogi żelaznej Warszawsko-Wiedeńskiej (Варшава - Венская ж. д.) z Warszawy do Grodziska; ukończenie linii do stacji Granica (później Maczki; granica austriacka), była to pierwsza kolej w Królestwie Polskim;
- ❑ 1851 - ukończenie dwutorowej linii Petersburg - Moskwa o rozstawie szyn 1524 mm (odtąd obowiązujący tzw. „tor rosyjski”);
- ❑ 1857 - otwarcie Петергофской ж. д. z Petersburga do Peterhofu;
- ❑ 1853-1862 - kolej Warszawsko - Petersburska (Петербурго-Варшавская ж. д.); linia dwutorowa na rozstawie 1524 mm;

pierwszy odcinek ukończony 1853 (Petersburg - Gątczina); 1859 przedłużenie do Dyneburga (pierwsza kolej na Łotwie); 1861 – linia Ejdkuny (granica pruska) - Kowno (pierwsza kolej na Litwie);

- ❑ 1862 – ukończenie linii Dyneburg - Wilno - Warszawa z odgałęzieniem do Kowna;
- ❑ 1862 - ukończenie kolei Moskwa - Niżny Nowgorod;
- ❑ 1866 - otwarcie kolei Odessa - Bałta i Razdzielnaja - Tripole, pierwszej kolei na Ukrainie Wschodniej;
- ❑ 1867 - otwarcie Kolei Warszawsko - Terespolskiej; 1870 przedłużenie do Brześcia; upaństwowiona w 1881; była to linia normalnotorowa (drugi tor rosyjski o szerokości 1524 mm dodano w roku 1886);
- ❑ 1870 - kolej dociera do Kijowa (rys. 5.28);
- ❑ 1870 - ukończenie linii Moskwa - Smoleńsk (przedłużenie do Brześcia w roku 1871);
- ❑ 1871 - ukończenie kolei Riazan - Saratów (później Рязано-Уральская ж. д.);
- ❑ 1871 - ukończenie linii Petersburg - Rewal (dzisiejszy Tallin); Балтийская ж. д.;
- ❑ 1877 - otwarcie Kolei Nadwiślańskiej: Kowel - Lublin - Warszawa - Działdowo (tor rosyjski 1524 mm);
- ❑ 1878 - początek budowy Уральской горнозаводской ж. д., kolei prywatnej łączącej Rosję centralną z Uralem;
- ❑ 1891-1916 - budowa Kolei Transsyberyjskiej (Транссибирская магистраль między Czelabińskiem i Władywostokiem) o długości ok. 7 tys. km;
- ❑ 1893-97 - ukończenie kolejnych odcinków Kolei Ussuryjskiej (Уссурийская ж. д.) między Władywostokiem a Chabarowskiem;
- ❑ 1897-1903 - budowa Kolei Wschodnio - Chińskiej (Китайско-Восточная ж. д.), która będąc odgałęzieniem Kolei Trans-



Rys. 5.28. Dworzec kolejowy w Kijowie, 1870 r.

syberyjskiej pierwsza łączy Władywostok z resztą kraju – przez terytorium chińskiej Mandżurii;

- ❑ 1898 - kolej dociera do Archangielska; początkowo tor wąski;
- ❑ 1916 - ukończenie Мурманской ж. д.

Na zakończenie rozdziału poświęconego liniom kolejowym wypada wspomnieć o kolei przez Andy (była to najwyżej położona linia kolejowa aż do roku 2006, kiedy to w Chinach uruchomiono kolej tybetańską). Jej pomysłodawcą i budowniczym był polski inżynier Ernest Malinowski (1818-1899) - rys. 5.29, który po upadku powstania listopadowego wyjechał do Francji, gdzie ukończył elitarną Ecole des Ponts et des Chaussees, a następnie w 1852 r. udał się do Peru jako ekspert z dziedziny budownictwa kolejowego.

Zaproponowany przez Malinowskiego projekt kolei, umożliwiającej transport minerałów i cennych gatunków drewna znad Ukayali przez wysokie Andy do stolicy Peru, a dalej do portu Callao nad Oceanem, początkowo uznano za zbyt rewolucyjny i odrzucono. Jednak w 1871 r. Kongres Republiki Peru zaakceptował ten projekt. Jego realizację rozpoczęto w 1872 r., a już wiosną następnego roku osiągnięto przełęcz Ticlio na wysokości 4818 m, do której prowadził wykuty w skale tunel długości 1200 metrów, 30 mostów i wiaduktów oraz 62 tunele o łącznej długości 6 km. Most nad wąwozem Verrugas (rys. 5.30) należy do największych na świecie - ma 77 metrów wysokości i 175 m długości.



Rys. 5.29. Ernest Malinowski na fotografii z końca XIX wieku

W 11 miejscach, by umożliwić zmianę kierunku jazdy, zastosowano specjalne obrotnice. Najwyższy wiadukt ma wysokość



Rys. 5.30. Największy most kolejowy (kolei przez Andy) Verrugas – 175 m długości i 77 m wysokości.

70 m. Wojna chilijsko - peruwiańska przerwała prace. Po wojnie z Chile dokonano budowę odcinka do Oroya, a po śmierci Ernesta Malinowskiego przedłużono linię kolejową do Cerro de Pasco, największych terenów górniczych w Peru.

6. Pojazdy spalinowe

Pojazdy spalinowe napędzane są silnikami spalinowymi, czyli silnikami wykorzystującymi sprężanie i rozprężanie czynnika termodynamicznego (gazu) do wytworzenia momentu obrotowego lub siły. Sprężany jest gaz „zimny”, a rozprężany – „gorący”. Do sprężenia gazu zimnego zużywana jest mniejsza ilość energii mechanicznej, od uzyskiwanej podczas rozprężania. Energia uzyskana z rozprężania zużywana jest do sprężania gazu i do napędu dowolnej maszyny. Gorący gaz uzyskuje się w wyniku spalania paliwa - stąd też nazwa - silnik spalinowy.

6.1. Samochody

6.1.1. Prekursorzy

Pierwszy samochód benzynowy został skonstruowany przez Austriaka Siegfrieda Marcusa (1831-1898), twórcę silnika (1864 r.), ważącego 280 kg i rozwijającego moc 0,75 KM przy prędkości obrotowej 500 obr./min. W roku 1875 Marcus zbudował w Wiedniu pierwszy pojazd z silnikiem spalinowym (rys. 6.1). W swoim czterokołowym pojeździe zamontował silnik na drewnianej ramie wzmocnionej blaszanymi okuciami. Rama ta opierała się na dwóch osiach z kołami, z których pierwsza była skrzętna, tak jak w wozach konnych. Pojazdem sterowano za pomocą niewielkiej, pionowo ustawionej kierownicy połączonej z przekładnią. Wehikuł ważył 756 kilogramów i był na tyle solidnie zbudowany, że jeszcze w 1950 roku udało się go uruchomić. Pojazd osiągał prędkość od 6

do 8 km/h, miał hamulce w postaci drewnianych klocków dociskanych do obręczy kół oraz resorowaną oś przednią. Niestety, „ze względu na dokuczliwy odór spalin”, miejscowa policja zabroniła Marcusowi publicznego korzystania z wynalazku.

Historię związaną z rozwojem silników spalinowych opisano w rozdziale 2.7 niniejszego opracowania. Przedstawiono tam także historię silnika gazowego Otto, zmodernizowanego następnie przez Gottlieba Daimlera (1834-1900). Człowiek ten zbudował również samochód (rys. 6.2), który został pokazany publicznie jesienią 1886 roku. Miał on silnik jednocyldrowy o mocy 1,5 KM oraz napęd na tylne koła (realizowany za pośrednictwem przekładni pasowej, wału napędowego i kół zębatych).

Inną postacią, nierozzerwalnie związaną z rozwojem motoryzacji jest niemiecki inżynier Karl Friedrich Benz (1844-1929). Wynalazca ten w 1878 roku opracował konstrukcję dwusuwowego silnika spalinowego, a następnie lekkiego silnika czterosuwowego.



Rys. 6.1. Samochód, z roku 1875, wykonany przez Siegfrieda Marcusa



Rys. 6.2. Pierwszy samochód Gottlieba Daimlera z 1886 roku (na miejscu kierowcy siedzi Wilhelm Maybach, obok Paul Daimler)

Ponadto, skonstruował on mechanizm różnicowy, oraz inne zespoły pojazdu mechanicznego, takie jak: świeca zapłonowa, sprzęgło, gaźnik, chłodnica wodna oraz skrzynia biegów.

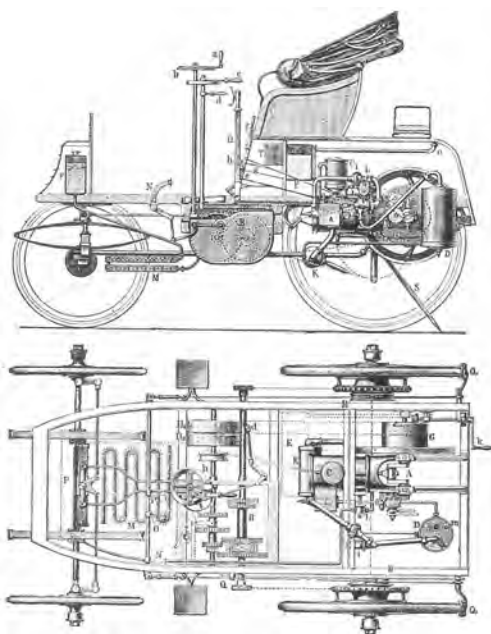
W 1885 Benz zbudował swój „automobil” (rys. 6.3), trzykołowy pojazd z silnikiem spalinowym i zapłonem elektrycznym, który został zaprezentowany po raz pierwszy w roku 1886 w Mannheim. Na pojazd ten Karl Benz uzyskał patent niemiecki nr 37435. Jednak opinia publiczna wynalazku nie zaakceptowała, konstruktora spotkały drwiny i szyderstwo. Gawiedź, przyzwyczajona do furmanek 4-kołowych z obrotowym przodkiem, nie rozumiała zalet pojazdu 3-kołowego.



Rys. 6.3. Pierwszy samochód Benza, 1885 r.

wego. Benz pomimo tego kontynuował prace nad nowymi modelami swego samochodu. W ich efekcie po upływie zaledwie 10 lat powstał w pełni ukształtowany samochód (rys. 6.4), zawierający wiele elementów, które przetrwały aż do dnia dzisiejszego.

Ważnym wydarzeniem w historii motoryzacji było zastosowanie opon pneumatycznych. Wynalazek ten zawdzięczamy Johnowi Dunlopowi (1840-1921), z zawodu lekarzowi weterynarii. W 1887 roku Dunlop chciał usprawnić rower swojego syna. Postanowił nałożyć na koła konstrukcję z płótna wzmocnionego gumą. W taki oto sposób stał się wynalazcą rowerowej opony pneumatycznej. Rok później (1888 r.) Dunlop opatentował swój wynalazek, używając magicznego słowa „pneumatyczny”; taki patent otrzymał wcześniej w roku 1846 Robert W. Thompson (1822-1873). W 1889 roku lokalny kolarz, Willie Hume, wygrał wyścig kolarski stosując wynalazek Johna Dunlopa. W 1890 roku



Rys. 6.4. Samochód Benza typu „Duc” z 1895 roku: A – silnik, B – skrzynia biegów, D – gaźnik, E – benzyna, F – woda, L – pompa, M – chłodnica, O, Q, R – hamulec tylnego koła, P – hamulec skrzynki biegów, S – podpórka, T – akumulator



Rys. 6.5. Samochód Peugeot ogumiony obręczami pneumatycznymi braci Michelin (siedzą w aucie), który wziął udział w wyścigu Paryż – Bordeaux – Paryż w roku 1895

Dunlop założył firmę Pneumatic Tyre and Booth's Cycle Agency w Belfaście, stając się pierwszym na świecie masowym producentem opon rowerowych. W 1896 roku Harvey du Cros (1846-1916), producent papieru, odkupił patent od Dunlopa za 3000 funtów.

Dalszy postęp w budowie opon pneumatycznych związany jest z braćmi Edouardem (1859-1940) i Andre Michelin (1853-1931) (rys. 6.5), którzy w 1891 roku wynaleźli rozbieralną oponę pneumatyczną z dętką. Opona przytwierdzana była za pomocą śrub i nakrętek do koła. Początkowo ich wynalazek znalazł zastosowanie w kołach rowerowych, a w 1894/95 został również dostosowany do kół samochodów.

Zakłady Michelin w Clermont - Ferrand stały się w ciągu stulecia istnienia jednym z największych na świecie producentów opon samochodowych.

6.1.2. Pierwsze wyścigi

Upowszechnienie pojazdów spalinowych było przyczyną współzawodnictwa w tym zakresie. Stąd też wzięły początek wyścigi (rys. 6.6) i rajdy, będące nieuchronną konsekwencją powstania pojazdu mechanicznego. Pierwszy wyścig o nagrodę francuskiego pisma „Velocipede” odbył się już w 1887 roku



Rys. 6.6. Samochód Benza podczas wyścigu Paryż – Bordeaux – Paryż, w roku 1895

na 32-kilometrowej trasie Neuilly – Versailles – Neuilly. Zwyciężył trzykołowy pojazd parowy Firmy De Dion - Bouton & Trepardoux. Przejechał on tę trasę w ciągu 1 godziny i 14 minut. Następne wyścigi odbywały się również we Francji regularnie na coraz to dłuższych trasach.

Inna konsekwencja związana z pojawieniem się samochodów dotyczyła prędkości maksymalnej jaką pojazdy te mogą rozwinąć. Pierwsza bariera 100 km/h została pokonana już w XIX wieku. Dokonał tego 29 kwietnia 1899 roku belgijski kierowca Camille Jenatzy (1868-1913) poruszający się pojazdem przypominającym pocisk na kołach, zwanym „Zawsze Niezadowolona” (rys. 6.7). Pojazd ten (wykonany z aluminium i magnezu) napędzany był przez dwa 12-woltowe silniki o mocy 100 KM Oczywiście Belg nie zwracał sobie głowy opiniami ówczesnych lekarzy, wedle których człowiek nie jest w stanie przeżyć jazdy z prędkością 100 km/h.



Rys. 6.7. Belgijski kierowca Camille Jenatzy, jako pierwszy pokonuje barierę prędkości 100 km/h



Rys. 6.8. ITALA księcia Borghese, wykorzystana w roku 1907 podczas rajdu Pekin - Paryż

Na początku wieku XX są organizowane wielkie rajdy, które mają na celu wykazanie możliwości stwarzanych przez nowy środek lokomocji. Jednym z pierwszych globalnych przedsięwzięć w tym zakresie jest rajd Pekin – Paryż. Rajd ten został zainicjowany w 1907 roku przez paryski dziennik „Le Matin”. Długość trasy wynosiła 16.000 km. Zgłosiło się 25 zawodników, ale tylko 5 zdecydowało się ponieść koszty i powalczyć o nagrodę. Byli to: Francuzi Georges Cormier i Victor Collignon na dwucylindrowych lekkich samochodach De Dion – Bouton; Charles Goddard – na 4-cylindrowym samochodzie holenderskim Spyker; Auguste Pons na trzykołowym pojeździe Contal oraz Włoch: książę Scipione Borghese (1871-1927) na ciężkim samochodzie ITALA (rys. 6.8).

Rajd ten wygrał książę Borghese, który po wielu perypetiach – rys. 6.9 – (rozciągniętych na kolejne 60 dni od startu w Pekinie) wraz z załogą wjechał wśród niezwykłych owacji do Paryża, zdobywając pierw-

szą nagrodę. Następni zawodnicy przybyli dopiero 21 dni później.

Jedyny samochodowy wyścig dookoła świata wystartował 12 lutego 1908 roku z Nowego Jorku (rys. 6.10). W wyścigu tym wzięły udział: trzy samochody francuskie: De Dion-Bouton (30 KM), Motobloc (30 KM), Sizaire - Naudin (12 KM); jeden amerykański - Thomas Flyer (60 KM); jeden włoski Zust (40 KM) i jeden niemiecki - Protos 34.

Każda załoga otrzymała od prezesa automobilkлубu nowojorskiego amerykańską chorągiewkę, z obietnicą zamiany na 1.000\$ po dowiezieniu jej do Paryża. Wyścig zorganizowano pod hasłem „Nowy Jork – Paryż w samochodzie bez użycia parostatku”.

Trasa początkowo miała wieść przez kontynent amerykański do Nome na Alasce, dalej – po lodzie – przez cieśninę Beringa do Rosji i lądem do Paryża. Jednak ostatecznie po dojechaniu do położonego na zachodnim wybrzeżu portu Seattle samochody przetransportowano drogą morską do Władywostoku. Dalsza trasa prowadziła przez miasta: Chabin, Irkuck, Omsk, Swierdłowski, Moskwę, Leningrad, Berlin do Paryża. Trudno mówić o drogach, które samochody przebyły. W większości były to „odcinki terenowe”. Przedsmak trudności mieli kierowcy pokonując już amerykańskie Góry Skaliste. To jednak było nic, w porównaniu z czekającą na nich Syberią. Aby ułatwić sobie przejazd



Rys. 6.9. Problemy związane z pokonaniem trasy z Pekinu do Paryża, na przykładzie samochodu księcia Borghese



Rys. 6.10. Start samochodów do wielkiego wyścigu Nowy Jork – Paryż, 12 luty 1908 r.

próbowano poruszać się na przykład po torach kolejowych kolei transsyberyjskiej.

W euroazjatyckiej części wyścigu najlepiej radził sobie niemiecki samochód prowadzony przez Hansa Koeppena (1876-1948). 26 lipca po południu (po pięciu i pół miesiącach podróży) dojechał on jako pierwszy do Paryża (rys. 6.11). Ale zwycięzcami byli Amerykanie z Georgem Schusterem (1873-1972) na czele, którzy dotarli do Paryża zaledwie 4 dni później - 30 lipca. Mieli oni jednak nad załogą „Protosa” 26 dni przewagi, zaliczone w pierwszej, amerykańskiej części wyścigu. Wyczynu Schustera i Koeppena nikt nie powtórzył do dnia dzisiejszego.

6.1.3. Europejskie koncerny

Rozwój motoryzacji spowodował powstanie w Europie wielu firm samochodowych, które dotrwały do dnia dzisiejszego.

Porządek chronologiczny powstawania ważniejszych z nich wygląda następująco:

- ❑ 1810 – Peugeot – założyciel: Jean Pierre Peugeot (1768-1852), produkcja samochodów spalinowych od 1891 r;
- ❑ 1862 – Opel – Adam Opel (1837-1895), wytwarzanie maszyn do szycia, produkcja samochodów od 1899 roku;
- ❑ 1883 - Benz & Cie. Rheinische



Rys. 6.11. Hans Koppén wjeżdża do Paryża, 24 lipiec 1908 r.

Gasmotorenfabrik Mannheim (1926 – wraz z DMG tworzy Daimler-Benz AG);

- ❑ 1890 - Daimler-Motoren-Gesellschaft (w skrócie DMG);
- ❑ 1898 – Renault – Louis (1877-1944), Marcel (1871-1903) oraz Fernand (1865-1909) Renault;
- ❑ 1899 – Fiat – Giovanni Agnelli (1866-1945);
- ❑ 1906 – Lancia – Vincenzo Lancia (1881-1931);
- ❑ 1910 – Alfa – Anonima Lombarda Fabbrica Automobili (pl. Lombardzka Fabryka Samochodów Spółka Akcyjna) od 1919 Alfa Romeo;
- ❑ 1931 – Porsche – Ferdinand Porsche (1875-1951);
- ❑ 1934 – Volkswagen.

6.1.4. Początki przemysłu samochodowego w USA

Pierwszym wozem bez koni w USA był pojazd (rys. 6.12) zbudowany przez Henry Nadiga w roku 1891 i pokazany na ulicach Allentown i Bethlehem w stanie Pensylwania. Na przełomie wieków XIX i XX w Stanach Zjednoczonych Ameryki produkowano (w niewielkich seriach) wyłącznie samochody luksusowe. Powstało wtedy szereg firm zajmujących się nową gałęzią produkcji. Są to: Oldsmobile (1901 r.), Cadillac (1902

r.), Buick (1903 r.), Ford (1903 r.), Chevrolet (1911 r.), Lincoln (1917 r.), Pontiac (1926 r.).

Człowiekiem, który zrewolucjonizował produkcję samochodów był Henry Ford (1863-1947), przemysłowiec amerykański, który założył w Detroit w roku 1903 spółkę Ford Motor Company. Był on synem farmera. Zafascynowany techniką odbywał praktyki w różnych warsztatach mechanicznych, m.in. zegarmistrzowskich. W 1896 roku zbudował pierwszy prototyp własnego samochodu. W 1899 roku był jednym ze współzałożycieli firmy Detroit Automobile Company, później przekształconej w Cadillac Motor Company. Wkrótce po założeniu firmy poróżnił się ze współudziałowcami co do strategii jej rozwoju, dlatego sprzedał swe udziały. Henry Ford był zwolennikiem produkcji dużej liczby tanich samochodów. Zrewolucjonizował system produkcji aut, wprowadzając ruchomą taśmę produkcyjną i trzymianowy dzień pracy. Szybko pokonał konkurencję, wprowadzając w roku 1907 Model T (rys. 6.13) i ograniczając produkcję wyłącznie do jednego modelu i koloru. Dzięki temu był w stanie zredukować cenę i uczynić auto dostępnym dla robotników amerykańskich. Do zakończenia produkcji w 1927 r. wyprodukowano w sumie ponad 15 milionów Modeli T. Powszechna dostępność aut Forda zrewolucjonizowała układy społeczne w USA, umożliwiając zasiedlanie przedmieść wielkich miast jak Nowy Jork czy Detroit, jak też zasiedlanie zapomnianych



Rys. 6.12. Pierwszy samochód benzynowy w USA, skonstruowany przez Henry'ego Nadiga, 1891 r.



Rys. 6.13. Ford Model T, wyprodukowany w ilości ponad 15 milionów egzemplarzy



Rys. 6.14. Ford Model T - widok silnika

terenów jak Floryda. Ford wpłynął też na układy ekonomiczne USA (kredyty na auta).

Ze względu na znaczenie historyczne należy tutaj przytoczyć nieco informacji na temat Forda Model T. Jego głównymi konstruktorami byli: Henry Ford, Childe Harold Wills (1878-1940), Jozsef Galamb (1881-1955) i Jenő Farkas. Założenia konstrukcyjne były następujące. Auto ma być tanie, prostej budowy, proste w naprawie, proste w prowadzeniu, mieć miękkie zawieszenie i duży prześwit, umożliwiające jazdę po bezdrożach. Wraz ze wzrostem produkcji malała cena pojazdu. Początkowo wynosiła ona 850 \$, jednak tuż przed przystąpieniem Stanów Zjednoczonych do pierwszej wojny światowej, cena spadła poniżej 400 \$. W latach dwudziestych XX w. cena oscylowała w granicach 300 dolarów, przy zarobkach robotnika fabrycznego wynoszących 5 \$ tygodniowo. Konstrukcję Forda Model T oparto na prostej ramie elastycznej, do której montowano oś przednią, tylną i silnik. Napęd stanowił silnik spalinowy, czterocylindrowy, czteresurowy o pojemności skokowej 2898 cm³ i mocy 22,5 KM (rys. 6.14). Blok silnika odlany był razem z tulejami cylindrowymi. Wał bez przeciwcieżarów oparto na trzech łożyskach głównych. Silnik, sprzęgło i skrzynia biegów miały jedną miskę olejową. Napęd przekazywany był na tylne koła poprzez skrzynię dwubiegową z przekładnią planetarną. Zbiornik paliwa znajdował się na ra-

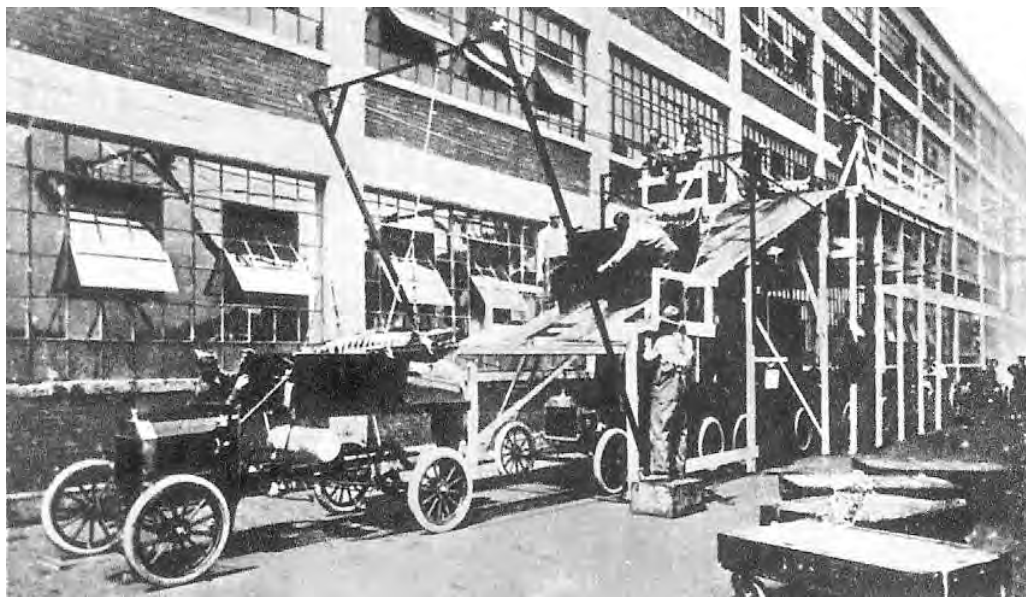
mie, pod przednią kanapą. Zawieszenie pojazdu opierało się na pojedynczych resorach piórowych poprzecznych. Konstrukcja ramowa pozwalała na dowolną wręcz zabudowę nadwozia. Model T z blaszanym nadwoziem otwartym ważył około 540 kg i rozwijał prędkość 65 km/h.

W produkcji Modelu T wdrożono wiele rozwiązań pionierskich usprawniających proces wytwarzania. Jednym z nich było wprowadzenie w roku 1913 produkcji masowej, potokowej. Wykorzystywano ją na przykład podczas składania nadwozia z podwoziem, w sposób pokazany na rys. 6.15.

6.1.5. Kalendarium rozwoju motoryzacji

Ze względu na ogromny zakres prac poświęconych doskonaleniu konstrukcji samochodów nie jest możliwe ich szczegółowe omówienie. Dlatego też poniżej przytacza się wyłącznie ważniejsze zagadnienia z historii motoryzacji.

- ❑ 1887 – Robert Bosch (1861-1942) zaczyna pracę nad iskrownikiem niskonapięciowym;
- ❑ 1889 – Karl Benz (1844-1929) stosuje pierwsze w świecie zwrotnice do układu kierowniczego;
- ❑ 1895 – Hugo Mayer patentuje hamulce hydrauliczne;
- ❑ 1896 – Samochód z napędem elektrycznym na przednie koła (Robert Schwencke);
- ❑ 1898 – Zakłady Daimlera stosują czterobiegową skrzynkę biegów z przesuwanymi kołami zębatymi;
- ❑ 1899 – Ferdinand Porsche (1875-1951) opracowuje napęd hybrydowy (elektryczny + spalinowy) – rys. 6.16;
- ❑ 1900 – wprowadzenie wewnętrznych szczepek hamulcowych na koła tylne;
- ❑ 1901 – rozstaw osi w podwoziu samochodu większy od rozstawu kół – Daimler (Niemcy);



Rys. 6.15. Składanie nadwozia z podwoziem, uruchomione w roku 1913 przez Henry'ego Forda

- ❑ 1905 - wynalezienie przekładni hydrokinetycznej – Hermann Föttinger (1877-1945);
- ❑ 1906 - w samochodzie Mercedes wypróbowano zewnętrzne hamulce taśmowe na koła przednie (hamulce uruchamiane linkami);
- ❑ 1907 - próby z zastosowaniem hamulców na 4 koła - Hans Ledwinka (1878-1967);
- ❑ 1910 - po raz pierwszy wytwórnie motoryzacyjne wprowadzają do samochodów produkcji seryjnej hamulce na wszystkie koła;
- ❑ 1912 - pierwszy samochód z przekładnią hydrokinetyczną;
- ❑ 1912 - w Stanach Zjednoczonych wprowadzono hamulec ręczny na wałku skrzyni biegów;
- ❑ 1913 - De Dion-Bouton buduje pierwszy tylny most o niezależnie zawieszonych kołach;
- ❑ 1914 - Malcolm Lockheed wprowadza hamulce hydrauliczne;
- ❑ 1914 - zastosowanie nitowanych okładzin szczęk hamulcowych Ferodo;
- ❑ 1914-1918 (I wojna światowa). Wszystkie armie stosowały wówczas samo-



Rys. 6.16. Pierwszy samochód z napędem hybrydowym, skonstruowany przez Ferdynanda Porsche w 1899 r. (silnik spalinowy zasiliał generator, który wytwarzał prąd dla elektrycznych silników napędowych umieszczonych w bębnach przednich kół)



Rys. 6.17. Niemiecki samochód Drukopp ciągnie kilka lekkich sanitarek w czasie I wojny światowej, 1914 r.

chody, aczkolwiek do różnych celów. Na ogół używano samochodów do wożenia dostojników, a czasami również do transportu towarowego. Próbowano nawet budować działa samobieżne do obrony przed samolotami i balonami. Niemcy zastosowali dwukołowe lekkie przyczepki sanitarne, których nawet kilkanaście mógł ciągnąć jeden samochód (rys. 6.17). 7 września 1914 Francuzi za pomocą 1000 taksówek Renault typu AGS wykonali manewr oskrzydłający Niemców prących na Paryż. Produkcja samochodów w czasie wojny przyspieszała, bo w

fabrykach motoryzacyjnych zaczęto masowo wytwarzać uzbrojenie;

- 1919 – Jules Salomon konstruuje dla fabryki Citroen samochód (typ A) z elektrycznym oświetleniem i rozrusznikiem (rys. 6.18);
- 1922 – Lancia Lambda wprowadza nadwozie samonośne (rys. 6.19). Jest to część składowa nadwozia, której zadaniem jest zapewnić odpowiednią sztywność i nośność. Składa się ono z płyty podłogowej i struktury nośnej nadwozia (słupki boczne, wzmocnienia dachowe itp.), do której montuje się karoserię;



Rys. 6.18. Citroen typ A. 4-miejscowe auto z 4 cylindrowym silnikiem, które powstało początkowo w 30 egzemplarzach. Samochód ważył 990 funtów, zużywał galon benzyny na 35 mil. Standardowo wyposażono go w elektryczny rozrusznik, elektryczne światła i miękki dach.



Rys. 6.19. Lancia Lambda (rys. górny), w której po raz pierwszy wykorzystano nadwozie samonośne (rys. dolny)



Rys. 6.20. Peugeot 401 Eclipse z 1934 roku

- ❑ 1922 – zastosowanie stopów lekkich w budowie samochodu (Niemcy);
- ❑ 1924 – pierwsze hamulce pneumatyczne w produkcji seryjnej;
- ❑ 1925 – hamulce hydrauliczne;
- ❑ 1925 – centralne smarowanie samochodu (Niemcy);
- ❑ 1932 – automatyczna skrzynia biegów – F. Kreis (Niemcy);
- ❑ 1933 – niezależne zawieszenie wszystkich kół – W. Gutbord;
- ❑ 1934 – pierwszy kabriolet (rys. 6.20). Na salonie paryskim pojawił się Peugeot serii 01 z nowym, dość ciekawym nadwoziem „kabriolet”. Nazwano go *Eclipse*, co w języku polskim znaczy „zaćmienie”. W 1936 r. zaprezentowano kolejne modele Eclipse. Tym razem już w serii 02. Cechą wspólną wszystkich tych samochodów był chowany pod tylną klapą sztywny, metalowy dach. Pomysł wysuwanego, metalowego dachu został opatentowany w USA już w 1930 r. przez B. B. Ellerbacha, lecz nie został zastosowany w seryjnej produkcji. Całą operację chowania dachu przeprowadzało się kręcąc ręcznie korbą. Model Eclipse, napędzany był rzędowym, czterocylindrowym, górnozaworowym silnikiem o pojemności 1991 cm³ i mocy 55 KM. Prędkość maksymalna dochodziła do 120 km/h, a zużycie paliwa sięgało przeszło 14 litrów na 100 km;
- ❑ 1934 – pojawia się pomysł niemieckiego samochodu ludowego, znanego jako Volkswagen Garbus. Złożył go 17 stycznia rządowi Adolfa Hitlera (1889-1945)

Ferdinand Porsche. Miał to być samochód mieszczący 4 dorosłe osoby i bagaż, kosztujący poniżej 1000 ówczesnych marek niemieckich oraz spalający do 8l/100 km i mający silnik chłodzony powietrzem. Pierwszy jeżdżący prototyp „V1” powstał w 1935 roku i od tego właśnie czasu firma VW liczy istnienie „garbusa”. Powstało 9 wersji nadwoziowych garbusa (w ramach projektów: „seria V3”, „VW 30”, „V 303”), oraz egzemplarze przedprodukcyjne do celów reklamy („seria 38”, „seria 39”), jaka miała miejsce przed II wojną światową na terenie Niemiec i np. Austrii. Nie licząc modeli wojskowych oficjalna produkcja cywilnego VW (rys. 6.21) rozpoczęła się 11 lipca 1941 r i zakończyła 17 sierpnia 1944 r w liczbie 630 sztuk. Ostatecznie (po wojnie) z taśm produkcyjnych w Niemczech, Brazylii i Meksyku zjechało prawie 22 miliony sztuk tego samochodu (ostatni egzemplarz, który zjechał z taśmy montażowej był w kolorze niebieskim w wersji „baby”, o numerze fabrycznym 21.529.464, który znajduje się obecnie w zakładowym muzeum w Wolfsburgu w Niemczech). Na bazie VW Garbusa powstały również legendarne samochody takie jak Karmann Ghia czy VW Bus;

- ❑ 1939–1945 (II wojna światowa). Samochody wykorzystywane są na wszystkich frontach do przeróżnych zadań. Opracowywane są nowe samochody, w tym terenowe. Najsłynniejszy z nich to Jeep MB z 1943 roku – rys. 6.22;



Rys. 6.21. VW Garbusy jako łódzkie taksówki



Rys. 6.21. Jeep MB, z silnikiem o pojemności 2.2 l. Uzyskiwał moc 60 KM/4000 obr/min i miał napęd na cztery koła (stały na tylne i dołączany na przednie)

- 1947 – we Włoszech Enzo Ferrari (1898-1988) zakłada firmę produkującą samochody wyścigowe i prestiżowe sportowe;
- 1948 – amerykański przedsiębiorca, Preston Tucker (1903-1956), zaprezentował samochód Tucker Torpedo z niezależnym zawieszeniem wszystkich kół, automatyczną skrzynią biegów, reflektorem skręcanym wraz z kołami, bezpieczną przednią szybą, ogrzewaniem tylnej szyby i silnikiem od helikoptera. Wyprodukowano 51 sztuk tego samochodu;
- 1949 - Rozpoczęto produkcję Citroëna 2CV (rys. 6.23), samochodu który zmontoryzował Francję. W pierwszym roku produkcji seryjnej (1949) wykonano 876 sztuk 2CV, a w 1954 r. wytwarzano już 52.791 tych pojazdów. W 1954 r. zwiększono pojemność skokową silnika z 374 do 425 cm³, wzrosła też moc z 9 do 12 KM. W tym samym roku zmieniono też tylną część nadwozia – zamiast płócienej ściany tylnej wprowadzono blaszaną klapę bagażnika, a 3 lata później modernizacji doczekała się też przednia część nadwozia – inne przetłoczenie otrzymała maska silnika. Ponownie zwiększono moc silnika do 18 KM w 1963 i unowocześniono tablicę wskaźników. W 1965 roku wprowadzono boczne okna za drzwiami, a przy półosiach napędowych przeguby równobieżne zamiast przegubów krzyżakowych Cardana. W 1967 wprowadzono 2 wersję – obok silnika 425, pojawił się silnik o pojemności 602 cm³;



Rys. 6.23. Citroen 2CV, wyprodukowany w ilości ok. 3,9 mln. sztuk

szono pojemność skokową silnika z 374 do 425 cm³, wzrosła też moc z 9 do 12 KM. W tym samym roku zmieniono też tylną część nadwozia – zamiast płócienej ściany tylnej wprowadzono blaszaną klapę bagażnika, a 3 lata później modernizacji doczekała się też przednia część nadwozia – inne przetłoczenie otrzymała maska silnika. Ponownie zwiększono moc silnika do 18 KM w 1963 i unowocześniono tablicę wskaźników. W 1965 roku wprowadzono boczne okna za drzwiami, a przy półosiach napędowych przeguby równobieżne zamiast przegubów krzyżakowych Cardana. W 1967 wprowadzono 2 wersję – obok silnika 425, pojawił się silnik o pojemności 602 cm³;

- 1953 – rozpoczęto produkcję cadillaca Eldorado – samochodu z największymi ogonami, który był produkowany w USA aż do roku 2003;
- 1955 – na salonie samochodowym w Paryżu pokazano Citroëna DS, pierwszego seryjnie produkowanego samochodu z zawieszeniem hydropneumatycznym (rys. 6.24). Początkowo zastosowano w nim silnik z jego poprzednika tj., modelu Traction Avant. Później ofertę uzupełniono o większe jednostki. W 1960 r. firma Chapron zaprezentowała DS w wersji Cabriolet. W 1968 r. nastąpiła jedyna poważna zmiana nadwozia w historii modelu. Polegała ona przede wszystkim na zmianie kształtu przednich świateł. Podwójne reflektory schowano za



Rys. 6.24. Citroen DS. z roku 1972



Rys. 6.25. Fiat 500 (znany też jako Fiat 500 Nuova) - mały samochód miejski produkowany przez Fiata od 1957 do 1975 r.

kłosem o aerodynamicznym kształcie. Wewnętrzne światła skręcały się wraz z kołami doświetlając zakręty. 24.04.1975 wytwórnię opuścił ostatni z 1.456.115 wyprodukowanych Citroënów DS.

- 1957 - Volvo stosuje trzypunktowe pasy bezpieczeństwa;
- 1957 - we Włoszech pojawia się Fiat 500 (rys. 6.25) - samochód, który zmotoryzował ten kraj, pomimo trwającego tam kryzysu (wyprodukowano ponad 4 mln sztuk). W 2007 r. uruchomiono produkcję nowego modelu o tej nazwie, który stylistycznie nawiązuje do legendarnej 500-setki;
- 1959 - powstaje legendarny Mini Morris (rys. 6.26), wyprodukowany w ilości 5,3 mln sztuk. Był to mały samochód produ-



Rys. 6.26. Przekrój przez Mini Morrisa przygotowany na wystawę w 1959 roku

kowany przez British Motor Corporation (BMC) i jej następców od 1959 aż do 2000 roku. Jest to bez wątpienia najbardziej popularny i najlepiej rozpoznawalny samochód produkcji brytyjskiej. W roku 2001 został zastąpiony przez Nowe Mini. Pierwotna wersja tego samochodu zyskała sobie miano kultowej i stała się ikoną lat 60. XX wieku, a jego przedni napęd pozwalający zaoszczędzić przestrzeń wpłynął na kolejną generację konstrukcji pojazdów;

- 1963 – we Włoszech Ferruccio Lamborghini (1916-1993) podejmuje produkcję w krótkich seriach wozów sportowych;
- 1963 – Porsche prezentuje jeden z najpopularniejszych samochodów sportowych w historii, model 911;
- 1963 – w USA pojawia się Jeep Wagoneer, pierwszy w świecie samochód typu SUV (pod tym pojęciem kryje się auto, łączące cechy luksusowego samochodu osobowego i terenowego);
- 1964 – rozpoczęto produkcję NSU Spider, pierwszego auta z silnikiem Wankla;
- 1965 – Carroll Shelby (ur. 1923) prezentuje AC Cobra 427 (rys. 6.27), jeden z najsłynniejszych samochodów wyścigowych lat sześćdziesiątych;



Rys. 6.27. AC Cobra 427 lub Shelby Cobra 427 z roku 1965, wyposażony w silnik V8 o pojemności 6989 cm³ i mocy 425 KM. W samochodzie tym zastosowano m.in. aluminiowe nadwozie oraz gruntownie przebudowano elementy zawieszenia. Od wielu lat na całym świecie powstaje wiele replik tego słynnego samochodu.

- ❑ 1966 – powstaje Oldsmobile Tornado, pierwszy powojenny, amerykański samochód przednionapędowy;
- ❑ 1967 – pojawia się Jensen Interceptor FF, jest to pierwszy samochód sportowy z napędem na cztery koła i pierwszy samochód seryjny, wyposażony w układ ABS (mechaniczny);
- ❑ 1970 – w Wielkiej Brytanii powstaje Range Rover, pierwszy europejski SUV;
- ❑ 1974 – pojawia się Volkswagen Golf (rys. 6.28), będący prekursorem najpopularniejszej w Europie klasy kompaktowej;
- ❑ 1974 – na rynek wchodzi Cadillac DeVille, pierwszy samochód wyposażony w poduszkę powietrzną;
- ❑ 1978 – rozpoczęcie produkcji Saaba 99 Turbo, pierwszego seryjnie produkowanego samochodu osobowego z turbodoładowanym silnikiem;
- ❑ 1979 – w zachodnim Belfaście powstaje fabryka DeLorean, produkująca samochody DeLorean DMC 12 (rys. 6.29), znane z filmów „Powrót do przyszłości”;
- ❑ 1981 – pojawia się Mercedes-Benz W126 '81, pierwszy europejski samochód wyposażony w poduszkę powietrzną;;
- ❑ 1997 – pojawia się technologia wtryskowa Common Rail, opracowana przez



Rys. 6.29. DeLorean DMC 12 - samochód sportowo-luksusowy produkowany przez DeLorean Motor Company w latach 1981 - 1983. Mało kto wie, że rola w filmie „Powrót do przyszłości” z 1985 była pośmiertnym sukcesem tego auta, produkowanego zaledwie przez trzy lata.

firmy Bosch, Fiat i Volvo, stosowana w silnikach diesla;

- ❑ 1997 - powstaje Toyota Prius, pierwszy seryjnie produkowany i sprzedawany na świecie samochód hybrydowy.

6.1.6. Rozwój samochodów ciężarowych

Trudnym jest do określenia kto wynalazł samochód ciężarowy. Niemożliwe jest też wskazanie (przeciwnie niż w przypadku samochodu osobowego, czy motocykla) osoby, która przyczyniła się do powstania pierwszej ciężarówki.

Wiadomym jest, iż produkcja pojazdów tego typu znacznie wzrosła podczas I wojny światowej. Po jej zakończeniu nadmiar wytworzonych ciężarówek wojskowych sprzedano, co przyczyniło się do ożywienia transportu drogowego.

W latach dwudziestych XX wieku nastąpił gwałtowny rozwój samochodów ciężarowych i transportu ciężarowego. We wcze-



Rys. 6.28. VW Golf, któremu największą popularność przyniosła wersja GTI (Gran Turismo Injection) z silnikiem 1588 cm³ o mocy 81 kW (110 KM). Pierwotnie producent planował wypuścić na rynek tylko 5.000 egzemplarzy tego samochodu



Rys. 6.30. Samochód ciężarowy produkcji Volvo – lata 20-te XX wieku

nych latach dwudziestych, samochody ciężarowe były często wyposażone w napęd łańcuchowy i pełne opony gumowe. Przykładowy samochód ciężarowy z tego okresu, wyprodukowany przez Volvo (rys. 6.30), był wyposażony w skromny 4-cylindrowy silnik benzynowy o mocy zaledwie 28 KM, a maksymalna waga przewożonego ładunku była ograniczona do 1500 kg (połowy masy pojazdu). Mimo to ówczesny samochód ciężarowy, ze względu na swą solidną i wytrzymałą konstrukcję, często używany był do przewożenia ładunków o masie dwukrotnie przekraczającej dopuszczalną normę.

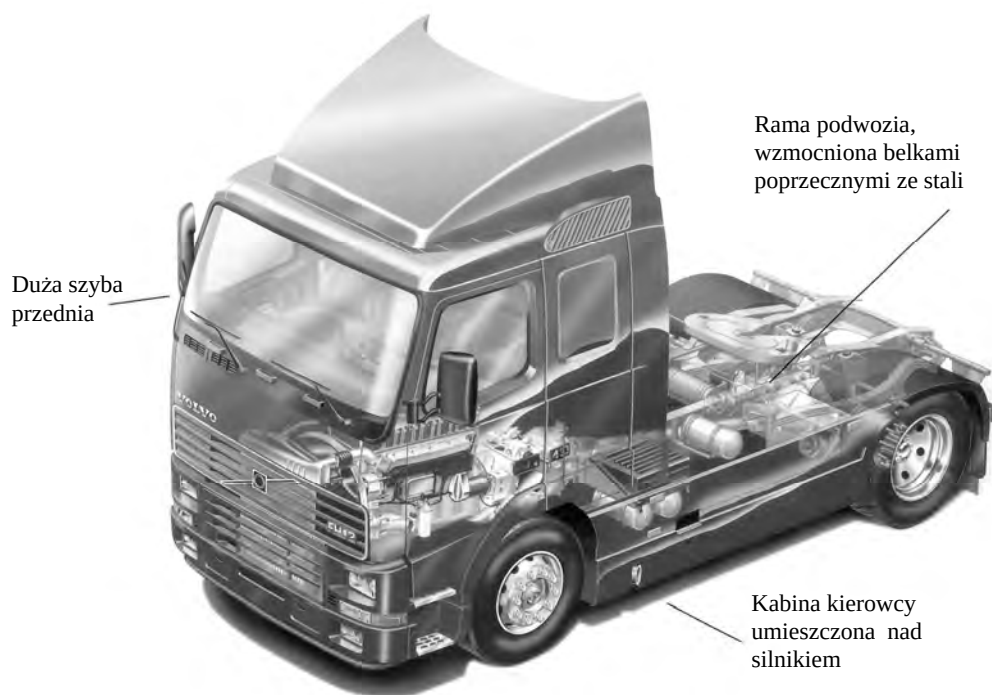
W następnych latach popularność ciężarówek ulegała zwiększeniu. Można to dobrze prześledzić na przykładzie samochodów pro-

dukowanych przez przytoczoną uprzednio firmę Volvo. W latach 30-tych na rynek wprowadziła ona serię wyrobów LV (LV jest skrótem od szwedzkiego słowa „lastvagen” oznaczającego ciężarówkę), a wraz z nią model LV290 – rys. 6.31, nazywany „długim nosem” z uwagi na wysuniętą daleko do przodu maskę, kryjącą silnik umieszczony nad osią przednią. Była to w owym czasie największa ciężarówka firmy Volvo.

W kolejnym okresie ciężarówki rozwijają się bardzo intensywnie i przejmują praktycznie transport wewnętrzny. Ich konstrukcje są ciągle unowocześniane, w efekcie czego powstają nowe, wykorzystywane do dzisiaj rozwiązania. I tak przykładowo w latach 90-tych ubiegłego wieku, ciężkie cią-



Rys. 6.31. Samochód ciężarowy produkcji Volvo – model LV290, produkowany w latach 30-tych



Rys. 6.32. Samochód ciężarowy Volvo FH Globetrotter

gniki siodłowe z serii Globetrotter – rys. 6.32 – (produkowane przez Volvo) odnoszą duże sukcesy. Po pierwsze są one niezwykle wszechstronne. Różne jego odmiany mogą prowadzić przyczepy i naczepy na dystansach długich, mogą być też przystosowane do roli maszyn budowlanych. Po drugie, powodzenie samochodów tej serii gwarantuje nowy niezwykle potężny silnik DC12Dc, rozwijający moc aż 466 KM.

6.1.7. Samochody w Polsce

Poniżej (w formie kalendarium) wyszczególniono ważniejsze wydarzenia związane z historią samochodów (osobowych i dostawczych) w Polsce.

1922 – rozpoczęcie prac konstrukcyjnych, pod kierownictwem inż. Władysława Mrąskiego (1893-1963), nad pierwszym polskim samochodem CWS T-1. Samochód ten produkowano w krótkich seriach od roku 1927. W sumie powstało około 500 sztuk w róż-

nych wersjach nadwoziowych. Oferta obejmowała samochody w wersjach: torpeda (rys. 6.33) - osobowy z nadwoziem otwartym czterodrzwiowym, kareta - osobowy z nadwoziem zamkniętym czterodrzwiowym, berlina - osobowy z nadwoziem zamkniętym dwudrzwiowym, kabriolet (fałszywy) - osobowy z nadwoziem zamkniętym dwudrzwiowym, lekki ciężarowy - dwudrzwiowa kabina, reszta do zabudowy jako pick-up lub furgonetka.

1932 - na licencji włoskiej firmy Fiat Państwowe Zakłady Inżynierii w Warszawie roz-



Rys. 6.33. Polski samochód CWS-T1 Torpedo

poczynają produkcję Fiata 508 Balilla. Wytwarzano pierwszą wersję Fiata, oznaczaną przez 508 I, w której stosowano silnik o pojemności 1 litra osiągający moc 20 KM. Zastosowano w nim wiele zmian konstrukcyjnych, wzmacniając m.in. ramę, oś przednią, tylny most, zmieniając charakterystykę zawieszenia, czy też stosując inne koła. Wszystkie zmiany miały na celu dostosowanie samochodu do polskich dróg, a w zasadzie do ich braku (większość dróg krajowych była nieutwardzona). W latach 1934-1935 produkowano wersję 508 II. W 1936 roku wprowadzono do produkcji model 508 III Junak (rys. 6.34) oraz jego wersję wojskową. Modernizacja wersji cywilnej dotyczyła między innymi unowocześnienia nadwozia, powiększenia jego wnętrza oraz zwiększenia mocy silnika do 24 KM, przy 3600 obr/min. 508 III Junak osiągał prędkość maksymalną 100 km/h i spalał 8 l paliwa na 100 km.

1951 – z taśmy produkcyjnej FSO na Żeraniu w Warszawie zjeżdża pierwsza Warszawa M-20, zmontowana z części samochodu Pobieda – sprowadzonych z ZSRR. Warszawa (rys. 6.35) była kilkakrotnie modernizowana i produkowana w szeregu wersjach (np. pick-up, kombi, furgon). Razem we wszystkich wersjach do roku 1973 wyprodukowano 254.471 sztuk auta.

1957 – rozpoczęcie produkcji w FSO w Warszawie samochodu Syrena. Pierwsze egzemplarze Syren miały nadwozie o konstrukcji



Rys. 6.35. Warszawa, produkowana w latach 1951-1973

drewnianej, jednakże wkrótce zastąpiono je nadwoziem z blach stalowych. Konstrukcję do 1972 r. rozwijano w warszawskiej FSO, następnie przeniesiono ją do bielskiej FSM. Kolejne modele seryjne nosiły oznaczenia trzycyfrowe zwiększające się z każdym modelem o 1, począwszy od 100 (rys. 6.36) a skończywszy na 105. Wyjątkiem od tej reguły były oznaczenia modeli prototypowych oraz konstrukcji dostawczych. Łącznie, do zakończenia produkcji w roku 1983, wykonano 521.311 sztuk tego samochodu.

1957 – uruchomienie produkcji polskiego samochodu osobowego Mikrus MR-300, o bardzo uproszczonej budowie. Wytwarzany był on w latach 1957-1960 przez WSK Mielec (nadwozie) we współpracy z WSK Rzeszów (silnik). Wyprodukowano 1.728 sztuk.



Rys. 6.34. Polski Fiat 508 III Junak



Rys. 6.36. Syrena 100



Rys. 6.37. Żuk w wersji dla straży pożarnej

1958 – w Lublinie w Fabryce Samochodów Ciężarowych wyprodukowano próbną serię (50 szt.) samochodu dostawczego Żuk (rys. 6.37). W okresie produkcji tego samochodu w Lublinie jego konstrukcja kilkukrotnie ulegała unowocześnieniu m.in.: wprowadzono mocniejsze i oszczędniejsze silniki, zmieniono skrzynię biegów, unowocześniono wygląd zewnętrzny. 13 lutego 1998 zaprzestano produkcji Żuka, po wyprodukowaniu 587 tysięcy aut.

1958 – w Zakładach Budowy Nadwozi Samochodowych w Nysie rozpoczęto produkcję nowego samochodu dostawczego Nysa, który opracowano na bazie Warszawy i Żuka. Nysa miała wspólne z nimi podwozie, silnik (początkowo dolnozaworowy M-20, później górnozaworowy S-21), układ jezdy oraz elementy nadwozia. Ogółem do roku 1994 wyprodukowano 380.575 sztuk.

1967 – w FSO na Żeraniu z taśmy montażowej schodzą pierwsze sztuki Polskiego Fiata 125p (rys. 6.38), wytwarzanego na podstawie umowy licencyjnej z 1965 roku zawartej z włoską firmą Fiat. Po wygaśnięciu licencji od 1983 samochód ten nosił nazwę FSO 1500 lub FSO 125P. Najważniejsze modernizacje Fiat 125p przeszedł w: 1973 r. (MR'73), 1975 (MR'75) i 1981 (C) - wersja zubożona, przeznaczona na rynek krajowy. Produkcję tego samochodu zakończono 29 czerwca 1991. Ogółem w FSO wyprodukowano 1.445.700 tych aut. Ciekawostką jest fakt, iż w czerwcu 1973 roku ośmioosobowa grupa



Rys. 6.38. Polski Fiat 125p

pod przywództwem Sobiesława Zasady (ur. 1930) pobiła na tym samochodzie rekordy świata w jeździe długodystansowej na: 25.000 km, 25.000 mil i 50.000 km.

1973 – rusza w Polsce produkcja samochodu osobowego Fiat 126p (rys. 6.39), skonstruowanego we włoskich zakładach Fiat. Polska wersja licencyjna produkowana była przez Fabrykę Samochodów Małolitrażowych „Polmo” Bielsko-Biała w Bielsku-Białej oraz w Tychach. Łącznie w obu wymienionych zakładach, do zakończenia produkcji w roku 2000, wyprodukowano 3.318.674 sztuk tego auta, nazywanego w Polsce „maluch”.

1978 – w FSO na Żeraniu rusza produkcja Poloneza (rys. 6.40), polskiego samochodu osobowego. Prototyp tego auta został stworzony w 1975 roku we włoskiej firmie Ital-Design, przez uznanego za najlepszego projektanta wszechczasów Giorgetto Giugiaro (ur. 1938), twórcy Golfa i wielu innych znanych modeli: Lotusa, Maserati, BMW,



Rys. 6.39. Układ zespołów w samochodzie Fiat 126p



Rys. 6.40. FSO Polonez 1500

SAABa. Łącznie wytworzono (do zakończenia produkcji w 2002 roku) razem z zestawami montażowymi 1.061.807 egzemplarzy Poloneza w różnych wersjach (bez dostawczych trucków i vanów Cargo).

6.2. Jednoślady

Pierwsze motocykle budowane były poprzez dodanie silnika do dwukołowego, najczęściej drewnianego wehikułu (przykład – rys. 2.33). Takie pojazdy jednośladowe były znane wcześniej, a bezpośrednim ich następcą jest rower. Zatem przed omówieniem motocykli należy pokrótce przybliżyć historię roweru.

6.2.1. Rower

W obecnym pojęciu rower to pojazd mechaniczny napędzany siłą mięśni kierującego, wprawiany w ruch nogami przy wykorzystaniu przekładni mechanicznej. Polska nazwa pojazdu pochodzi od firmy „Rover”, która jako jedna z pierwszych produkowała seryjnie pojazdy tego typu.

Na terenie starożytnego Egiptu i Babilonu odnaleziono malowidła, na których przedstawiane były pojazdy, wyglądem przypominające rowery. Nie wiadomo jednak czy istniały one naprawdę, czy też były wyłącznie wytworem artystycznej (konstrukcyjnej) wyobraźni. Podobnie rzecz się ma ze szkicem wehikułu przypominającego rower, wykonanym przez asystenta Leonarda da Vinci (1452-1519) o imieniu Salai (1480-1524),



Rys. 6.41. Jedno z pierwszych wyobrażeń roweru, przedstawione na witrażu, ok. 1580 r.

według pomysłu samego mistrza. Pierwotnie szkic ten obejmował dwa koła i kilka krzywych linii (według historyka sztuki badającego malunek w 1961 roku), ale w późniejszych latach został on uzupełniony o mechanizm korbowy, łańcuch, zębatki i kierownicę (prawdopodobnie przez jednego z zakonników konserwujących rękopis). Jednym z wcześniejszych wyobrażeń roweru jest pojazd przedstawiony na witrażu (rys. 6.41), wykonanym we Włoszech około 1580 roku. Został on zainstalowany w Anglii, w 1642 roku w kościele w Stoke Poges.

W drugiej połowie XVIII wieku Francuz Comte Mede de Sivrac zbudował pojazd drewniany poruszany za pomocą energicznych odepchnięć nogami – rys. 6.42, który



Rys. 6.42. Célérifère zbudowane przez Francuza Mede de Sivrac, ok. 1790 r.

nazwał *célérifère*. Ramę pojazdu tworzyła pozioma belka, do której zamocowane były za pomocą podpór koła. Na tylnym końcu ramy umieszczono obciążone skórą siedzenie, a na przednim belkę poziomą, na której jeździec wspierał ramiona w czasie jazdy. Ze względu na nieruchome przednie koło, zmiana kierunku jazdy wymagała zatrzymania się, zejścia z pojazdu i przestawienia go we właściwą stronę.

W roku 1816 baron Karl von Drais de Sauerbrunn (1785-1851) buduje ulepszoną wersję maszyny do biegania, która ma już przednie koło skrętne umożliwiające zmianę kierunku jazdy, bez konieczności schodzenia z maszyny (rys. 6.43). Wynalazca nazwał swój pojazd dreżyną. Maszyna biegowa Draisa osiągała prędkość do 15 km/h. Latem 1817 roku wynalazca przejechał na niej dystans ok. 50 km (z Karlsruhe do Kehl) w zaledwie cztery godziny. Ówczesna poczta konna na pokonanie tej samej trasy potrzebowała czterokrotnie więcej czasu. Na początku roku 1818 von Drais opatentował swój wynalazek w Niemczech, ale dreżyna szybko rozpowszechniła się poza granicami tego kraju, np. wśród młodej, londyńskiej arystokracji.

W roku 1839 miało miejsce przełomowe odkrycie. Szkocki kowal Kirkpatrick Macmillan (1812-1878) zbudował rower z pedałami, które przez system drążków napędzały koło tylne, podczas gdy koło przednie



Rys. 6.43. Rekonstrukcja dreżyny von Draisa z 1816 roku



Rys. 6.44. Rower zbudowany przez szkockiego kowala Kirkpatricka Macmillana, 1839 r.

(osadzone na żelaznych widełkach) służyło do kierowania – rys. 6.44. Kowal poruszał się rowerem po okolicy, docierając nawet do oddalonego o kilkadziesiąt kilometrów Glasgow. Był on też sprawcą pierwszego wypadku rowerowego (najechał na dziecko), za który został skazany na karę grzywny w wysokości 5 szylingów.

W latach 60-tych XIX wieku niemiecki konstruktor narzędzi Philipp Moritz Fischer (1812-1890) wykonuje pedały, które montuje bezpośrednio do osi przedniego koła roweru. Podobne rozwiązanie opracowują w roku 1862 francuscy producenci powozów i wózków dziecięcych Pierre Michaux (1813-1883) i jego syn Ernest. Wkrótce po tym otwierają oni sklep i fabrykę, w której produkują od trzech do pięciu rowerów dziennie. Welocyped wytwarzany przez Michaux (rys. 6.45) miał przednie koło nieco większe od tylnego (oba obite żelazem), skórzane siedzenie umieszczone na resorze, hamulec na tylnym kole i rozwijał prędkość około 10 km/h.

W roku 1867 w Paryżu odbyła się pierwsza światowa wystawa, na której królowały pojazdy Michaux. W następnym 1868 roku w parku Saint-Cloud pod Paryżem odbył się pierwszy wyścig rowerowy (na dystansie 2 km), który wygrał angielski lekarz James Moore (1849-1935). Zawodnik ten zwyciężył również w pierwszym wyścigu



Rys. 6.45. Rower wytwarzany w fabryce Michaux et Cie, 1868 r.

szosowym, rozegranym 7 listopada 1869 roku, na trasie z Paryża do Rouen, w którym wzięło udział około 120 rowerzystów (w tym dwie kobiety). Zwycięzca na pokonanie dystansu 133 km potrzebował 10 godzin i 45 minut.

W tym samym czasie zastąpiono drewniane, grube szprychy cienkimi i stalowymi. Koło w takim wykonaniu opatentowane zostało w 1870 roku przez Jamesa Starley'a (1830-1881). Wynalazca ten zbudował również bicykl z wielkim kołem przednim i małym tylnym. Był to pojazd niebezpieczny, gdyż rowerzysta siedział dość wysoko, przez co każdy upadek był groźny. W roku 1871 rozpoczęto produkcję modelu Ariel (rys. 6.46) z 48-calowym kołem przednim i 22-calowym kołem tylnym, ważącego 23 kg i kosztującego 8 funtów. Dla wykazania zalet bicykli Starley wraz z drugim konstruktorem Williamem Hillmanem (1847-1921) przejeżdżają na nich w ciągu jednego dnia trasę z Londynu do Coventry (dystans ok. 160 km).

Niemal pół wieku po Macmillanie (w 1879 r.) Anglik Harry John Lawson (1852-1925) ponownie konstruuje pojazd z napędem na tylne koło, tym razem za pomocą łańcucha i przekładni. Zaprojektowany przez niego pojazd o nazwie *bicyclette* miał 40-calowe koło przednie i 24-calowe tylne, przy rozstawie osi wynoszącym 1,5 m (rys. 6.47). Pojazd ten z powodu niezbyt ładnego wy-



Rys. 6.46. Bicykl Ariel, 1871 r.

glądu nie zdobył popularności, ale stanowił bardzo ważny element w historii rowerów.

W roku 1885 John Kemp Starley (1854-1901), bratanek Jamesa, zmienił konstrukcję tak by oba koła roweru były równe (rys. 6.48) i rozpoczął produkcję pojazdu pod nazwą *Rover*. Pojazd ten staje się niezwykle popularny dzięki pobitym na nim rekordom w jeździe na dystansie 50 i 100 mil. W tym samym czasie dokonano następnego przełomu w konstrukcji rowerów. Jest nim wprowadzenie przez Johna Dunlopa (1840-1921) ogumienia pneumatycznego (opis w rozdziale 6.1.1). W roku 1900 niemiecki producent rowerów Fitchel&Sachs wypuścił na rynek piastę wolnobiegową (od 1903 roku nazywano ją piastą torpedo). Natomiast w roku 1902 James Archer (1854-1920) i Henry Sturmey (1857-1930) stworzyli przekładnię umożliwiającą zmianę biegów w czasie jazdy.



Rys. 6.47. Bicyclette skonstruowane przez Lawsona, 1879 r.



Rys. 6.48. Rower produkowany przez firmę Rover, od którego pochodzi polska nazwa pojazdu, 1889 r.

Konstrukcja Starley'a oraz wynalazki Dunlopa, Archera i Sturmeja doprowadziły do powstania roweru współczesnego o ustabilizowanej budowie. Dalszy rozwój pojazdu ograniczał się w zasadzie do zmiany materiałów, zmniejszenia masy, usprawnienia stosowanych mechanizmów oraz wprowadzenia nowych, jak amortyzatory czy hamulce tarczowe.

W naszym kraju rower pojawił się dość wcześnie. Już w roku 1886 powstało Warszawskie Towarzystwo Cyklistów, które grupowało miłośników bicykli, a następnie rowerów. W roku 1893 w Warszawie powstaje Fabryka Rowerów i Motocykli Bronisława Wahrena, w której produkowane są rowery marki *Syrena* i *Diabeł*. Natomiast w roku 1917 rozpoczyna się produkcja w zakładzie Franciszka Zawadzkiego (w pierwszym roku złożono zaledwie 17 sztuk rowerów, ale w latach 30-tych XX w. produkowano już 60 szt. dziennie). Wkrótce po tym zaczynają działać również inne wytwórnie prywatne. W 1929 roku powstaje Państwowa Wytwórnia Uzbrojenia w Warszawie, w której produkowane są na skalę przemysłową rowery *Łucznik*. W zakładzie tym w sezonie wytwarzano do 5000 szt. rowerów miesięcznie, podczas gdy pozostałe wytwórnie prywatne produkują łącznie do 6000 szt. rocznie. Po II wojnie światowej wznowiono produkcję rowerów w oparciu o dotychczasowe wytwórnie prywatne. W 1945 roku sprzedano 4000 szt. ro-

werów. Zaś trzy lata później w Bydgoszczy uruchomiono Fabrykę Polskich Rowerów Romet.

6.2.2. Motocykl

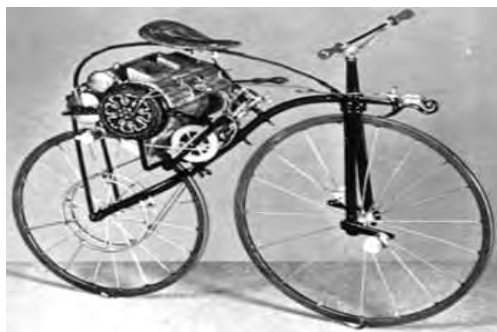
Motocykl to jednośladowy pojazd mający dwa (czasami trzy) koła jezdne, wyposażony w silnik o pojemności powyżej 50 cm³ (100 cm³ przed II wojną światową), na ogół przeznaczony do przewozu jednej lub dwóch osób.

Początkowo motocykle wyposażane były w silniki parowe. Pierwszy z nich był dziełem Amerykanina Sylwestra Howarda Ropera (1823-1896), który już w 1867 roku prezentował swą maszynę we wschodnich stanach USA. Motocykl Ropera, pokazany na rys. 6.49, miał dwucylindrowy silnik opalany węglem drzewnym, który przez mechanizm korbowy napędzał koło tylne.

W 1868 roku francuski inżynier Louis - Guillaume Perreaux (1816-1889) opatentował podobny pojazd, który powstał prawdopodobnie niezależnie od wynalazku Ropera. Wkrótce po tym w zakładach Michaux zbudowano motocykl Michaux-Perreaux, stanowiący połączenie nowoczesnego jak na owe czasy roweru stalowego z lekkim silnikiem parowym – rys. 6.50. W konstrukcji tej para wytwarzana była w niskociśnieniowym kotle ogrzewanym palnikiem naftowym. Z silnika napęd przekazywany był za pomocą plecionych skórzanych pasów na koło tylne. Pojazd rozwijał prędkość do 16 km/h.



Rys. 6.49. Pojazd Sylwestra Howarda Ropera, 1869 r.



Rys. 6.50. Motocykl parowy Michaux-Perreaux, 1869 r.

W latach 80-tych XIX wieku w firmie angielskiej The Humber Company zbudowano pierwszy motocykl napędzany silnikiem elektrycznym. Jednak prawdziwy przełom nastąpił po zastosowaniu do napędu motocykla spalinowego silnika czterosuwowego. Jak wiemy (patrz rozdział 2.7) rozwiązanie to zawdzięczamy Gottliebowi Daimlerowi (1834-1900), który w 1885 roku zbudował pojazd drewniany zwany *wstrząsaczem kości* – rys. 2.33. Była to maszyna doświadczalna, w której wynalazca chciał sprawdzić przydatność swojego silnika spalinowego do napędu pojazdów. Kilka lat później (na początku lat 90-tych XIX w.) amerykański konstruktor Edward Joel Pennington (1858-1911) buduje maszynę, która może rozwinąć prędkość do 58 mph (93 km/h). Nadaje jej nazwę *motor cycle*, która szybko staje się powszechnym określeniem silnikowych pojazdów jednośladowych.

Za pierwszy motocykl produkowany seryjnie uznaje się pojazd marki Hildebrandt & Wolfmüller – rys. 6.51, wytwarzany w Niemczech od roku 1894. Miał on dość nietypową konstrukcję. Między cztery ukośne rury (stanowiące ramę) wmontowany był zbiornik paliwa, pod którym umieszczony był dwucylindrowy silnik czterosuwowy chłodzony cieczą. Mieszanka paliwowa przygotowywana była w gaźniku powierzchniowym, a zapłon (podobnie jak u Daimlera) był żarnikowy. Silnik miał pojemność 1487 cm³ i rozwijał moc 2,5 kW przy zaledwie 240 obr/min. Na-

pęd z silnika przekazywany był za pomocą długich korbowodów na koło tylne. Zastosowane rozwiązanie pozwalało na poruszanie się motocyklem z prędkością do 40 km/h. Miało ono jednak tę wadę, że występował nierówny bieg maszyny (szczególnie przy mniejszych prędkościach) powodujący, że pojazd poruszał się skokami do przodu. Dla złagodzenia tej niedogodności zastosowano pasy gumowe (napinane za pomocą korby), które przynajmniej częściowo miały zrekompenzować brak kół zamachowych. Jedynym elementem amortyzacji pojazdu było rowerowe siodełko, a hamulec stanowił klocek gumowy dociskany do opony przedniego koła. W ciągu trzech lat zakłady Hildebrandt & Wolfmüller opuszczało 1500 motocykli, a dalszych 1000 wyprodukowano we Francji na podstawie licencji.

Konstrukcją, która cieszyła się największym zainteresowaniem pod koniec XIX wieku był francuski trójkołowiec De Dion-Button – rys. 6.52. Popularność zawdzięczał on licznym sukcesom sportowym. Dzięki trzem kołom jezdny pojazd był bardziej stabilny niż współczesne mu motocykle jednośladowe. Jednak jego największym atutem był czterosuwowy, jednocylindrowy silnik chłodzony powietrzem. Wyposażony był on (po raz pierwszy) w zapłon elektryczny, dzięki czemu uzyskiwał dużą jak na owe czasy prędkość obrotową 1800 obr/min. Silnik produkowany był w trzech wersjach, o pojemnościach: 185 cm³, 215 cm³ i 250 cm³



Rys. 6.51. Pierwszy motocykl produkowany seryjnie, Hildebrandt & Wolfmüller, 1894 r.



Rys. 6.52. Trójkółowiec de Dion-Button, 1897 r.

(o mocy 0,75 kW, 1,25 kW i 1,75 kW). W układzie zasilania pojazdu zastosowano gaźnik powierzchniowy. Napęd obu tylnych kół realizowany był za pomocą przekładni zębatej, mechanizmu różnicowego i odciążonych półosi. Pojazd rozwijał prędkość do 50 km/h.

Motocykl, którego konstrukcję można uznać za pierwowzór współczesnego nam pojazdu był wyprodukowany w 1898 roku w zakładach założonych przez Vaclava Klementa (1868-1938) i Vaclava Laurina (1865-1930) w Mlada Boleslav w Czechach. Pojazd ten (rys. 6.53) powstał w efekcie dwuletnich prac o charakterze badawczo-rozwojowym. Był on wyposażony w dwucylindrowy silnik własnej konstrukcji - z zapłonem elektrycznym, który był umieszczony nisko w ramie (na wysokości pedałów rowerowych). Dzięki takiemu rozwiązaniu otrzymano korzystne, niskie położenie środka ciężkości, przekła-

dające się na dobrą stabilność jazdy motocykla. Dużym ułatwieniem dla kierowcy było też zgrupowanie wszystkich dźwigni (wykorzystywanych do regulacji pracy silnika) w zasięgu rąk. W latach 1898 – 1904 w zakładach Laurin & Klement produkowano już pięć typów motocykli o nazwie *Slavia*, w tym także wyposażane w przyczepkę boczną. O jakości tych pojazdów świadczą wyniki uzyskiwane przez nie w wyścigach motocyklowych (w latach 1903-04 wygrały one 56 z 64 wyścigów, w których wzięły udział).

Na początku XX wieku zaczynają powstawać liczne firmy specjalizujące się w produkcji motocykli. Przeważnie odbywa się to na zasadzie ewolucji zakładów produkujących rowery, które postanawiają rozszerzyć swą ofertę handlową. Tak jest np. w przypadku angielskich zakładów Triumph, gdzie już w roku 1896 podjęto decyzję rozszerzenia produkcji o motocykle. Jednak na jej wdrożenie w życie trzeba było poczekać kilka lat, gdyż pierwszy egzemplarz wyprodukowano w 1902 r. W następnym roku kiedy to Triumph sprzedaje już 500 szt. motocykli, produkcję pojazdów tego typu rozpoczyna amerykańska firma Harley-Davidson. Z kolei w 1904 roku Handee Manufacturing Co założona przez dwóch byłych kolarzy, tj. Georga M. Handee (1866-1943) i Carla Oscara Hedstrom (1871-1960) projektuje słynny motocykl *Indian Single* (rys. 6.54), który jest produkowany w kolorze głębokiej czerwieni – co staje się szybko uznanym znakiem tej marki. Produkcja tych zakładów



Rys. 6.53. Motocykl Slavia typ CRR produkowany w Mlada Boleslav w zakładach Laurin & Klement, 1905 r.



Rys. 6.54. Motocykl Indian Single, 1911 r.



Rys. 6.55. Motocykl BMW R32, 1923 r.

szybko rośnie, osiągając w 1913 roku wydajność 32.000 sztuk.

Przed rokiem 1914 motocykle przestają być kojarzone jako rowery wyposażane w silniki spalinowe. Dopracowano się wówczas własnej technologii wytwarzania pojazdów tego rodzaju, w której jednak nadal wykorzystywano części rowerowe, takie jak siedzenia, czy elementy zawieszenia. W czasie I wojny światowej zakłady motocyklowe przedstawiają się na produkcję wojskową i produkują jednoślady na potrzeby armii.

W przeciwieństwie do obecnie produkowanych, pierwsze motocykle miały przeważnie silniki czterosuwowe. Zastosowanie dwusuwów zawdzięczamy Anglikowi Alfredowi Scottowi (1875-1923), który w roku 1908 rozpoczął produkcję motocykli z takim właśnie silnikiem. Innym wynalazcą ogniskującym się na silnikach dwusuwowych jest Niemiec Hugo Ruppe (1879-1949), który pracując w fabryce pojazdów parowych Dampfkraftwagen (skrót DKW) w Zschopau wykonuje (1920 r.) swój pierwszy silnik, przeznaczony do napędu roweru. Do roku 1941 w fabryce DKW opracowano aż 30 typów silników dwusuwowych o różnej pojemności.



Rys. 6.56. Motocykl Sokół 1000, 1935 r.

Największym producentem motocykli przed I wojną światową były zakłady Indian Motorcycle Co (wcześniej Handee Manufacturing Co). Po wojnie palmę pierszeństwa w tym zakresie przejmuje Harley-Davidson i utrzymuje ją do roku 1928, kiedy to DKW staje się największym wytwórcą światowym. W roku 1923 na rynek motocyklowy wchodzi BMW z własnym pojazdem typu R32 (rys. 6.55), który charakteryzuje silnik bokser - umieszczony podłużnie do kierunku jazdy w podwójnej ramie rowerowej - napędzający koło tylne poprzez wał kardana.

W latach 30-tych XX wieku pojawiają się również udane konstrukcje projektowane przez polskich inżynierów. Najbardziej znanym z nich jest Sokół, który produkowany był w latach 1934-39 w Państwowych Zakładach Inżynierii w Warszawie. Motocykle te wytwarzano w kilku typach. Najbardziej interesujące z nich to Sokół 1000 (rys. 6.56) i 600, które stanowiły etatowe wyposażenie wojska. W roku 1938 w Hucie Ludwików w Kielcach rozpoczęto produkcję motocykli SHL, w oparciu o brytyjski silnik dwusuwowy Villers 98 cm³. Po II wojnie światowej pojawiają się kolejne polskie motocykle, takie jak: WFM (1954 r.), WSK (1955 r.) oraz Junak (1956 r.).

7. Statki, łodzie i okręty

Pierwszymi środkami służącymi do pływania po wodzie były pnie drzew, najczęściej lekkich i przesyconych żywicą. Zapewne dość wcześnie zaczęto łączyć pnie w tratwy, umożliwiające bezpieczne pływanie (dzięki dużej stateczności), ale zarazem bardzo powolne.

Dalszym ułatwieniem w żegludze były łodzie otrzymywane przez wydrążenie pnia drzewnego, tak zwana dłubanka albo „jedno-drzew”. Powstały one około 8.000 lat p.n.e. W Europie pojawiły się zaś około 5.000 lat p.n.e. Wytwarzano je toporami kamiennymi jednocześnie korzystając z pomocy ognia.

W tym samym czasie co dłubanki mieszkańcy Arktyki opracowali inną łódź. Był to umiak (rys. 7.1), czyli łódź wiosłowo-żaglowa wykonana ze skór foczych rozpiętych na szkieletcie z drewna (wyrzuconego przez morze) lub kości wielorybów. Początkowo owalny, stopniowo coraz większy i bardziej wydłużony, wyposażony z czasem w prosty ster i prostokątny żagiel. Może on mieć od 6 do 10 m długości i pomieścić do 20 osób oraz ich bagaże (w tym namioty). Służy do transportu i przewozu dobytku inuickich rodzin



Rys. 7.1. Umiak, w konstrukcji typowej dla Zachodniej Arktyki Kanadyjskiej

podczas letnich wędrówek na tereny łowieckie oraz do grupowych polowań na wieloryby (wówczas na umiaku rozpina się niewielki żagiel).

Nieco przed rokiem 3.000 p.n.e. ludy wschodniej części Morza Śródziemnego rozpoczęły wyposażenie swych statków w żagle. Dowodem na to jest prymitywny model z gliny, wykopany w Eridu w Mezopotamii: ma on gniazdo na maszt i otwory na liny. Pierwsze żagle wykonywano ze skór zwierzęcych, a później z płótna. Jednak napęd ten odgrywał rolę wyłącznie pomocniczą, gdyż umiano go wykorzystywać tylko w czasie korzystnego wiatru, wiejącego od tyłu.

W dalszej części rozdziału podaje się wiadomości (na temat statków, łodzi i okrętów) pogrupowane tematycznie i związane z ważniejszymi okresami historycznymi.

7.1. Statki egipskie

Najstarsze statki egipskie były budowane z trzciny (rys. 7.2), która obficie porastała brzegi Nilu. Pierwotnie były to tratwy trzcinowe napędzane wiosłami, które stopniowo (około 3.500 r. p.n.e.) uzyskały kształt łodzi. Ze względu na wykorzystanie - głównie do żeglugi po Nilu - łodzie te miały uniesione do góry dziób i rufę, co ułatwiało przybijanie do brzegów rzeki. Łodzie trzcinowe budowano składając je z wiązek trzciny, przy czym wiązki brzegowe były większe i tworzyły burty. Pierwsze żagle wykonywane z papiirusu lub bawełny przydawały się w trakcie



Rys. 7.2. Egipska łódź wykonana z trzciny

żeglugi pod prąd Nilu, gdy siła wiatru wydatnie wspomagała pracę wioślarzy.

Korzystając z modeli statków, które zachowały się w grobowcach, jak również z licznych rysunków i płaskorzeźb można wnioskować, iż materiałem, który powszechnie był stosowany do budowy statków egipskich był papirus. Z czasem materiał ten zastąpiło drewno, głównie cedrowe lub akacjowe (Egipt był niemal bezleśny i występował tam deficyt drewna). Następnie drewno zaczęto sprowadzać z zagranicy, co doprowadziło do zwiększenia gabarytów statków, których konstrukcja nie uległa zmianie. Charakterystyczny był kształt kadłuba, którego dziób i rufa silnie wygięte do góry unosiły się wysoko nad wodą, a dno miało wypukły kształt przypominający łyżkę. Napęd statków stanowili wioślarze (w liczbie do 30), umieszczeni wzdłuż obu burt oraz duży żagiel czworokątny, zawieszony na maszcie (rys. 7.3).

Największy rozkwit żegluga egipska przeżywała za czasów panowania królowej Hatszepsut (ok. 1495 - ok. 1457 p.n.e.) oraz Totmesa III (? - ok. 1448 p.n.e.). Wówczas konstrukcja statków handlowych uległa kilku zmianom: długość kadłuba wykonywanego z dłuższych bali z drewna cedrowego wzrosła do ponad 30 m, wytrzymałość statku zwiększyła się w wyniku zastosowania poprzecznych belek (w rodzaju podkładników) wzmacniających kadłub, maszt wykonany jako jednolity usztywniany był linami, a reje złożone były z dwóch części o obłym przekroju. Charakterystyczną cechą statku było ozdabianie go za pomocą wielkiego, drewnianego kwiatu lotosu, umieszczonego na zagiętym końcu rufy. Wprowadzone zmiany konstrukcyjne umożliwiły znacząco zwiększenie zasięgu jednostek. Około 1480 r. p.n.e., z rozkazu królowej Hatszepsut, wypłynęła flota pięciu takich statków do tajemniczego Puntu (prawdopodobnie dzisiejsza Somalia), z którego przywiozła kość słoniową, złoto, mirrę i inne cenne towary. Na uwagę zasługuje fakt, iż Egipcjanie utrzymywali stosunki handlowe z Puntem już za czasów faraona Sahure (? - 2474 p.n.e.). Statki przepłynęły z Nilu na Morze Czerwone kanałem, którego budowę rozpoczęto w XX wieku p.n.e. (został on zasypyany w czasach władzy kalifów w 767 r.). Egipskie statki handlowe docierały jeszcze dalej (nawet do Indii) i to pomimo tego że nie miały jeszcze stępki (zachowały natomiast linę nadpokładową).



Rys. 7.3. Typowy statek egipski (współczesna rekonstrukcja)

szyla się w wyniku zastosowania poprzecznych belek (w rodzaju podkładników) wzmacniających kadłub, maszt wykonany jako jednolity usztywniany był linami, a reje złożone były z dwóch części o obłym przekroju. Charakterystyczną cechą statku było ozdabianie go za pomocą wielkiego, drewnianego kwiatu lotosu, umieszczonego na zagiętym końcu rufy. Wprowadzone zmiany konstrukcyjne umożliwiły znacząco zwiększenie zasięgu jednostek. Około 1480 r. p.n.e., z rozkazu królowej Hatszepsut, wypłynęła flota pięciu takich statków do tajemniczego Puntu (prawdopodobnie dzisiejsza Somalia), z którego przywiozła kość słoniową, złoto, mirrę i inne cenne towary. Na uwagę zasługuje fakt, iż Egipcjanie utrzymywali stosunki handlowe z Puntem już za czasów faraona Sahure (? - 2474 p.n.e.). Statki przepłynęły z Nilu na Morze Czerwone kanałem, którego budowę rozpoczęto w XX wieku p.n.e. (został on zasypyany w czasach władzy kalifów w 767 r.). Egipskie statki handlowe docierały jeszcze dalej (nawet do Indii) i to pomimo tego że nie miały jeszcze stępki (zachowały natomiast linę nadpokładową).

Rozwój żeglugi handlowej spowodował rozwinięcie się piractwa. Celem zapewnienia ochrony własnym statkom Egipt w XII w. p.n.e. zbudował flotę wojenną. Okręty wojenne (rys. 7.4) miały inną konstrukcję niż statki handlowe. Wyposażano je w podwyższone nadbudówki, zza których wojownicy mogli razić przeciwnika strzałami z łuków,



Rys. 7.4. Okręt wojenny, Egipt ok. 1170 r p.n.e.

kamieniami lub długimi włóczniami. Ponadto, okręty miały na dziobie taran (do rozbijania statków przeciwnika) oraz bocianie gniazdo, które nie tylko służyło do obserwacji, ale było też wykorzystywane jako stanowisko bojowe w czasie walki. Okręty te budowane głównie przez szkutników fenickich, pozbawione były liny nadpodkładowej, a miały za to stępkę i żebra. Korzystając z takich okrętów flota Ramzesa III (panował w latach 1183 - 1152 p.n.e.) pokonała (ok. 1180 r. p.n.e.) połączone siły Filistynów, Achajów i Danajów, tzw. "ludów morskich". Była to prawdopodobnie pierwsza poważniejsza bitwa morska. Krótko po tym fakcie władzę nad Morzem Śródziemnym przejmują Fenicjanie.

7.2. Statki Fenicjan

Fenicjanie, zamieszkujący wybrzeża Syrii oraz północnej Palestyny, uznawani byli za najlepszych żeglarzy starożytności. Wpływ na taki osąd miało kilka czynników. Po pierwsze dogodne położenie geograficzne, pomiędzy dwoma wielkimi i bogatymi krajami, tj. Egiptem i Babilonią. Po drugie dostęp do budulca (drewna) na okręty, którego brakowało zarówno Egipcjanom jak i Babilończykom. Po trzecie rozwinięcie przez Fenicjan sztuki budowy okrętów oraz metod nawigacji.

Fenicjanie pierwsze statki handlowe budowali ok. 2000 r. p.n.e. Na podstawie fresków pochodzących z grobowca egipskiego z ok. 1500 r. p.n.e. można stwierdzić, że statek

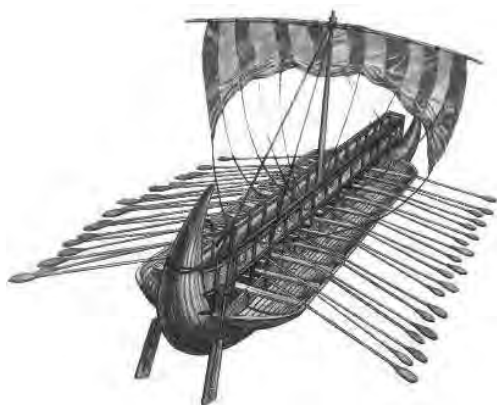
fenicki był podobny do egipskiego. Nie miał on stępki i żeber. Wyposażony był w maszt, znajdujący się w śródkręciu, na którym umieszczany był żagiel – mocowany do górnej i dolnej rei.

Ekspansja morska Fenicjan rozpoczyna się w XII w. p.n.e., kiedy to na znaczeniu tracą floty kreteńskie, mykeńskie i egipskie. Statki fenickie, jako pierwsze mają stępkę i żebra, budowane są w trzech typach, tj. jako: małe statki handlowe (do żeglugi przybrzeżnej), duże statki handlowe (do podróży dalekomorskich) oraz okręty wojenne (począwszy od IX w. p.n.e.). Statki handlowe (rys. 7.5) są bardziej pękate od wojennych. Ich długość dochodzi do 30 m, szerokość do 10 m, przy zanurzeniu wynoszącym do 2 m. Wiosła używane są głównie do manewrowania w portach i ujściach rzek oraz ewentualnie przy bezwietrznej pogodzie. Statki tego typu żeglowały po Atlantyku, dostarczały cynę z Brytanii, zboże z Krymu, przedostały się na Morze Bałtyckie, dopływały do Indii i być może nawet do Ameryki Południowej (potwierdzono ich pobyt na Wyspach Kanaryjskich). Faktem jest też opłynięcie przez Fenicjan Afryki, pod koniec VII w. p.n.e., na zlecenie Egipcjan.

W odróżnieniu od statków handlowych okręty wojenne Fenicjan (rys. 7.6) są długie i smukłe, co umożliwia rozwijanie znacznie większych prędkości. Większa długość okrętu powodowała, że do jego napędu można było wykorzystać większą liczbę wio-



Rys. 7.5. Fenicki statek handlowy



Rys. 7.6. Fenicki okręt wojenny, około 700 r. p.n.e.

ślarzy. Później Fenicjanie zaczęli budować okręty zwane *dierami*, w których wiosłarze umieszczani byli w dwóch rzędach, jeden nad drugim (okręty z pojedynczym rzędem wiosłarzy zwane były *monerami*). Praca wiosłarzy wspomagana była przez żagiel rejoyowy, mocowany na maszcie, na którego szczycie znajdowało się bocianie gniazdo. Model takiego okrętu fenickiego, pochodzącego z przełomu II i I tysiąclecia p.n.e. znajduje się w muzeum w Hajfie. Charakterystyczne jest, że okręty fenickie pozbawione były taranu, który uznano za zbyt niebezpieczny dla jednostki własnej (w przypadku, gdy taran utkwiał za mocno w burcie przeciwnika na dno szły oba statki). Ważnym zagadnieniem (szczególnie na *dierach*) było by wiosłarze

wiosłowali jednocześnie i rytmicznie (rytm nadawano przez śpiew, grę na fletni lub bębnienie). Wiosłarze znajdujący się w górnym rzędzie opierali wiosła na podporach, natomiast ci z dolnego rzędu wiosłowali przez otwory wykonane w burtach okrętu. Ponad wiosłarzami umieszczony był pomost dla wojowników, biegnący przez całą długość okrętu, którego boki były chronione przez tarcze w sposób stosowany później przez Wikingów.

Fenickie okręty wojenne pierwotnie były wykorzystywane wyłącznie do ochrony floty handlowej przed piratami. W późniejszych latach brały one jednak udział w licznych bitwach morskich – po stronie Asyrii, Persji lub Egiptu.

7.3. Statki greckie

Kunszt żeglarki Egipcjan i Fenicjan kontynuują starożytni Grecy, którzy doskonalą głównie okręty wiosłowe. Początkowo Grecy budowali małe jednorzędowe statki wiosłowe (*monery*), pozbawione pokładu, w których żagiel rejoyowy stosowano tylko przy pomyślnych wiatrach. Później budują statki większe, dwurzędowe (*dieri*), a począwszy od przełomu VI i V w. p.n.e. również trzyrzędowe – znane jako *triery ateńskie*. *Triery* ateńskie (rys. 7.7) nie były okrętami ogromnymi. Na podstawie wykopalisk dokonanych



Rys. 7.7. Grecki okręt wojenny (*triery*) - rekonstrukcja współczesna

w stoczni okrętowej znajdującej się w okolicach greckiego portu Pireus, można podać, że ich długość nie przekraczała 35 m, a szerokość 4,8 m. Wysokość okrętu dochodziła do 2,5 m, z czego połowa znajdowała się poniżej lustra wody. Zdarzały się jednak reprezentacyjne kolosy o długości przekraczającej 100 m (jednostki takie jednak nie pływały, a były prawdopodobnie wykorzystywane tylko do różnych uroczystości). Wiosłowano za pomocą wiosł o czterometrowej długości. Wiosłarze usadzeni byli wzdłuż obu burt w trzech rzędach (w górnym było ich 31, a w dwóch dolnych po 27). Zatem całkowita liczba wiosłarzy wynosiła około 170. Co ciekawe nie byli to niewolnicy, lecz wolni obywatele. Ze względu na ciasnotę nie było możliwości stosowania kilku zmian wiosłarzy, co niewątpliwie przekładało się na zasięg pływania triery. Oprócz wiosłarzy załogę triery tworzyło około 20 marynarzy (obsługa żagli i wiosł sterowych) oraz 12 żołnierzy. Wiosłarze nadawali okrętowi prędkość ok. 5 węzłów, która po zastosowaniu żagla mogła wzrosnąć do 8 węzłów.

Triery były bardzo zwrotne i na tyle silne by uderzeniem taranu przebić kadłub łodzi przeciwnika. Taran monery wykonywano w kształcie głowy delfina. Natomiast w przypadku triery stanowiły go 2 – 3 ostrogi przypominające wielkie miecze. Niektóre okręty miały dodatkowo umieszczone nad taranem belki okute żelazem, których zadaniem było gruchotanie burt (nadbudówek) statków przeciwnika.

Triery pod dowództwem Temistoklesa (ok. 524 – ok. 459 p.n.e) zasłynęły w wielkiej bitwie pod Salaminą (28.08.480 r. p.n.e), w której Grecy zwyciężyli liczniejszych Persów nie tylko dzięki wspaniałej taktyce walki, ale również z powodu dużej szybkości i zwrotności ich okrętów.

Greckie statki handlowe (rys. 7.8) budowane były wg wzorów fenickich i kreteńskich. Czasami Grecy, ze względu na trudności z budulcem, zlecali wykonanie statków fenickiemu Tyrosowi. Statki handlowe były pękate, typowy stosunek ich długości do sze-



Rys. 7.8. Grecki statek handlowy

rokości wynosił 4:1. Ładowność małych statków, używanych do żeglugi po płytkich wodach Morza Egejskiego, wynosiła na ogół 10 – 15 ton. Natomiast statki większe, kursujące na długich trasach, miały ładowność dochodzącą do 200 – 300 ton. Przyjmuje się, że statki te były na noc wyciągane na brzeg, co ułatwiała zaokrąglona rufa. Miały one, podobnie jak jednostki fenickie, wysokie burty z nadstawkami w formie płotu. Na maszcie umieszczany był wielki, prostokątny żagiel, który przy sprzyjającym wietrze rozpędzał jednostkę do prędkości dochodzącej do 5 węzłów. Do sterowania statkiem służyło jedno, ewentualnie dwa wiosła sterowe, które mocowane były do burt.

Za pomocą statków handlowych Grecy importowali zboża z krajów basenu Morza Czarnego oraz z Egiptu i Sycylii. Eksportowali natomiast wino, oliwę, miedź i wyroby rzemieślnicze. Większość ładunków przewożona była w amforach, przy czym jedna amfora grecka miała pojemność 19,4 litra (dla porównania amfora rzymska miała pojemność 26,2 l).

7.4. Statki Rzymian

Rzymianie własną flotę wojenną zbudowali dopiero w czasie wojen z Kartaginą (tzw. wojny punickie 264 – 146 p.n.e). Zmuszeni do toczenia walki na morzu, Rzymianie zaczęli odnosić zwycięstwa dzięki zastosowaniu techniki abordażu. Ich okręty wojenne nie różniły się zasadniczo od jednostek wy-



Rys. 7.9. Rzymski trójrzędowy okręt wojenny, w części dziobowej jednostki widoczny jest uniesiony pomost bojowy, tzw. kruk

korzystywanych przez inne państwa. Stosowano zatem okręty jedno, dwu i trójrzędowe. Innowacja wprowadzona przez Rzymian polegała na zastosowaniu w walce ruchomych pomostów (tzw. kruków), które zrzucano na okręt nieprzyjaciela, po czym zdobywano go w walce wręcz. Typowy kruk (rys. 7.9) miał postać trapezu o długości 11 metrów i szerokości ok. 1,3 m, z obu stron posiadał niską balustradę i utrzymywany był w pozycji uniesionej. Konstrukcja pomostu umożliwiała jego obrót (w zakresie 300°) i zrzucenie na pokład przeciwnika, w który wbijały się żelazne haki kruka, stabilizując jego pozycję. Po takim pomoście doskonale wyszkoleni legionieści dwójkami przedostawali się na wrogą jednostkę, co w zdecydowanej większości kończyło się jej zdobyciem.

W czasie rozkwitu Rzymu, gdy wytępieno piratów, nastąpił rozwój rzymskiej floty handlowej. Statki wykorzystywane były do zaopatrywania imperium w różne towary (zboże, tkaniny, wino, oliwę itd.), zwożone z licznych kolonii rozsianych wokół Morza Śródziemnego. Stosowane były także do przewozu wojska i pasażerów. Znacznie tańsze w eksploatacji były przy tym statki żaglowe, gdyż w przypadku jednostek wiosłowych trzeba było liczyć się z kosztem utrzy-

mania licznych wiosłarzy oraz ich nocnym odpoczynkiem (na nabrzeżu). Zmuszało to statki wiosłowe do podróży wzdłuż wybrzeży zamiast drogą najkrótszą. Poza tym statki żaglowe miały znacznie większą ładowność, chociażby z powodu uwolnienia przestrzeni zajmowanej przez wiosłarzy. Niedogodnością statków żaglowych była niewielka prędkość, odbijająca się na czasie podróży (np. trasę z Egiptu do Rzymu o długości ok. 2.500 km pokonywano przy dobrej pogodzie w czasie dwudziestu kilku dni). Statki wiosłowe były na ogół szybsze.

Przeciętny rzymski statek handlowy z II w. n.e. używany do przewozu zboża, miał długość ok. 25 m, szerokość ok. 8 m i ładowność w zakresie 200 – 250 ton. Budowano jednak i jednostki bardziej potężne o długości do 55 m, szerokości do 12 m i ładowności dochodzącej do 1200 ton.

Wspomniany uprzednio wzrost bezpieczeństwa żeglugi nie oznaczał, iż w czasach Cesarstwa Rzymskiego nie miały miejsca konflikty zbrojne, przebiegające przy wykorzystaniu okrętów wojennych. Przykładem takiego konfliktu jest bitwa pod Akcjum (rys. 7.10), rozgrywająca się w czasie dochodzenia do sukcesji po Juliuszu Cezarze (100 p.n.e. - 44 p.n.e.).



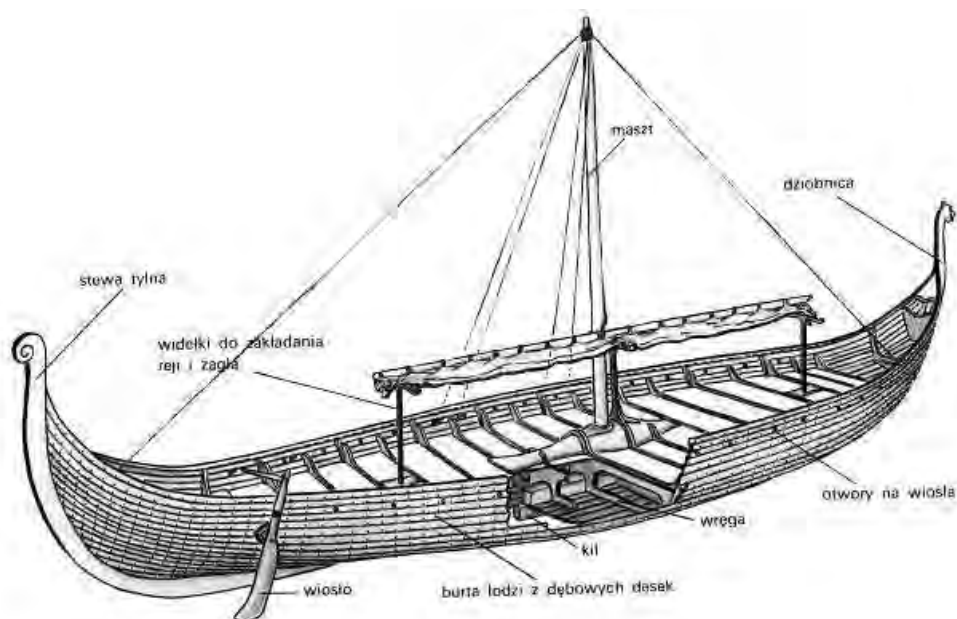
Rys. 7.10. Bitwa pod Akcjum rozegrana 2 września 31 p.n.e. między Oktawianem Augustem (63 p.n.e. - 14) a Markiem Antoniuszem (83 p.n.e.- 30 p.n.e.) i wspierającą go egipską królową Kleopatrą (69 p.n.e.- 30 p.n.e.). Bitwa zakończyła się zwycięstwem floty Oktawiana. Kleopatra i Antoniusz umknęli z pola bitwy, choć niewykluczone, że był to zaplanowany wcześniej lecz nieudany element taktyczny

7.5. Statki Wikingów

Począwszy od końca X wieku typowymi okrętami wojennymi Normanów są longshipy (okręty długie), w odróżnieniu od bardziej pękatych jednostek handlowych. Longshipy dzielono na trzy klasy, w zależności od wielkości i przeznaczenia. I tak wyróżniano: sneki przeznaczone do dalszych rejsów, duże skeidy stanowiące na ogół własność ludzi możnych oraz drakkary (rys. 7.11), będące własnością wodzów, które w czasie działań bojowych spełniały także rolę okrętów flagowych. Oprócz tych okrętów w skład floty wchodziły także małe jednostki tzw. karli, wykorzystywane do żeglugi przybrzeżnej (jako jednostki transportowe) oraz do obrony wybrzeża. Miernikiem wielkości

okrętów była liczba wiosł stosowanych do ich napędu. Najmniejsze karli miały od 26 do 30 wiosł, większe sneki od 30 do 40 wiosł, skeidy – od 50 do 60 wiosł, a największe drakkary miały ponad 60 wiosł (nawet 120). Najwięcej budowano okrętów najmniejszych (karli, sneki), a najmniejszą grupę stanowiły największe drakkary, które występowały raczej jako jednostki pojedyncze.

Jak już wspomniano najpopularniejszy okręt z tego okresu to sneka, której długość wynosiła 27 – 28 m, szerokość ok. 5 m, zanurzenie ok. 1 m, a wysokość burty nad linią wodną 1,7 m. Żagiel takiego okrętu miał powierzchnię ok. 130 m² i był zawieszony na maszcie o wysokości ok. 18 m. Jednostka taka mogła zabrać na pokład ok. 90 ludzi. Dla porównania drakkar o 60 wiosłach miał długość ok. 42 – 45 m, szerokość ok. 7 m, zanurzenie do 2 m, maszt o wysokości ok. 24 m,



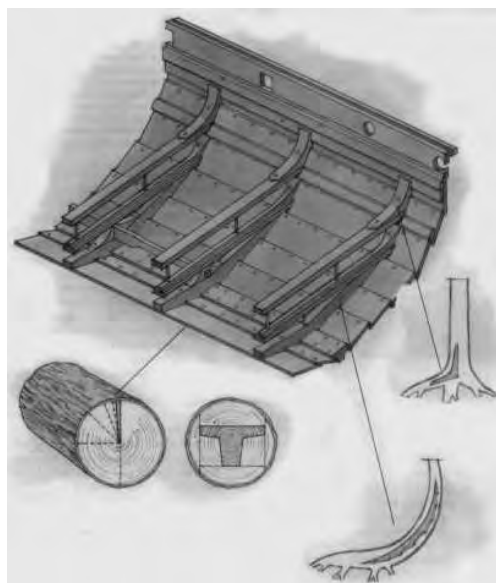
Rys. 7.11. Budowa jednego z największych statków Wikingów tj. drakkara

żagiel o powierzchni ok. 240 m² i mógł przewozić do 260 osób. Według sag król duński Kanut I Wielki (996-1035) miał podobno okręt o 120 wiosłach, co oznaczałoby, że jego długość wynosiła ok. 70 m.

Łodzie projektowane i wytwarzane przez Wikingów były stopniowo wypierane (po 1100 roku) przez płaskodenne łodzie hanzeatyckie, które zapoczątkowały nową linię statków żaglowych. Odejście przez Wikingów od swoich długich łodzi wynikało z faktu, iż nie sprawdzały się one w warunkach ufortyfikowanych miast i zorganizowanej floty przeciwnika. Ponadto, ówcześni władcy chcieli podróżować w większym komforcie i przepychu. Za ostatni akord w historii okrętów wikingów przyjmuje się walkę (1429 r.), w której drakkar został pokonany przez siedem kog.

Statki Wikingów były wytwarzane metodą ciesielki. Ówcześni szkutnicy nie stosowali pił, lecz posługiwali się siekierami o długim i płaskim ostrzu. Klepki poszycia wykonywano rozszczepiając po długości świeżo ścięte pnie drzew (rys. 7.12). Z kolei z pni ro-

snących prostopadle do korzeni wykonywano elementy wygięte pod kątem prostym, które służyły do wzmacniania wręgi. Natomiast drewno o łagodnej krzywiznie wykorzysty-



Rys. 7.12. Przekrój łodzi długiej wykonywanej przez Wikingów

wane było, jako materiał na wręgi oraz stewę dziobową i rufową. Takie podejście ze względu na korzystny rozkład włókien drewna podnosiło własności wytrzymałościowe elementów z niego wykonywanych.

7.6. Statki żaglowe

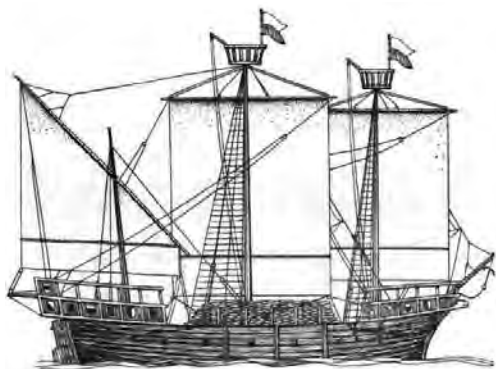
W okresie średniowiecza w żegludze rozpoczyna się dominacja statków z napędem żaglowym. Należy jednak pamiętać o tym, że w rejonie Morza Śródziemnego, aż do początku XVIII wieku wykorzystywane były galery (statki wiosłowe obsługiwane przez niewolników). Poniżej podaje się podstawowe dane na temat wybranych (ważniejszych) rodzajów żaglowców.

7.6.1. Koga

Koga (kogga) to statek żaglowy, wykorzystywany do celów handlowych od XII do XVI wieku, głównie na Bałtyku i Morzu Północnym. Była to jednostka pękata (stosunek długości do szerokości wynosił 3:1), wyposażona w pojedynczy maszt z prostokątnym żaglem rejowym oraz ster zawiasowy poruszany rumplem. Cechą charakterystyczną



Rys. 7.13. Koga, rekonstrukcja współczesna



Rys. 7.14. Widok holka

kogi były wysokie kasztele z blankami, znajdujące się na rufie i dziobie – często wykorzystywane jako stanowiska bojowe. Pod kasztelami znajdowały się pomieszczenia dla załogi (na dziobie) oraz ważniejszych pasażerów, czy kupców (na rufie). Duże kogi miały długość wynoszącą około 30 m, zanurzenie do 3 m i wyporność dochodzącą do 1000 ton. Zdominowały one żeglugę morską (handel) w północnej części Europy na okres kilkuset lat (XII – XVI w.). Współczesną rekonstrukcję kogi przedstawia rys. 7.13.

7.6.2. Holk

Holk (rys. 7.14) to rodzaj średniowiecznego żaglowca używanego na Morzu Północnym i Bałtyku w okresie od XIV do XVII wieku. Wywodził się od mniejszej kogi. Początkowo był jednostką jednomasztową, a następnie dwu i trójmasztową. Różnił się od kogi nie tylko wielkością, ale także długą nadbudówką rufową, stanowiącą wydłużony i obniżony kasztel. Trójmasztowe holki na ogół miały dwa maszty z ożaglowaniem rejowym i ostatni maszt z ożaglowaniem łacińskim. Po okresie dominacji na morzach zostały wyparte przez galeony.

7.6.3. Karawela

Karawela (rys. 7.15) to statek trójmasztowy o wysokich nadbudówkach na dziobie i rufie, wyposażony w ożaglowanie



Rys. 7.15. Przykłady karaweli

łacińskie, co umożliwiała żeglowanie pod ostrym kątem do kierunku wiatru. Jednostka ta była zwykle uzbrojona (4 – 6 dział), a jej załoga liczyła ok. 50 osób. Pierwsze karawele budowane były w połowie XV wieku, na bazie istniejących portugalskich statków rybackich. Jednostki te były wykorzystywane do wieku XVII, a więc w okresie wielkich podróży i towarzyszących im odkryć geograficznych (w pierwszej wyprawie Krzysztofa Kolumba (1451-1506) wzięły udział duże karawele „Pinta” i „Nina”). Wykonywanie tak długich rejsów wymagało odpowiedniego przygotowania statków, co w konsekwencji odbiło się na ich konstrukcji (na rys. 7.16 pokazano jak zbudowany był kadłub karaweli, przystosowanej do podróży oceanicznych).

7.6.4. Karaka

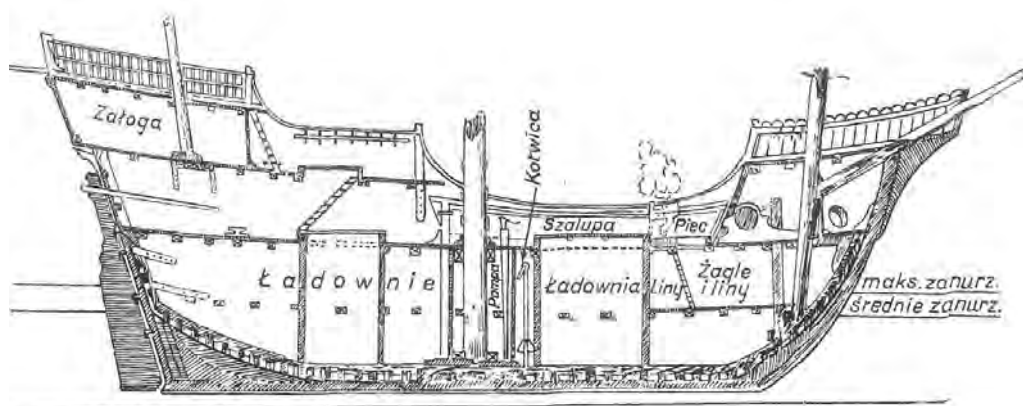
Karaka to żaglowy statek handlowy na ogół trójmasztowy (rzadko czteromasztowy),

który rozwinął się w krajach śródziemnomorskich w XV wieku. Miał on kadłub z poszyciem gładkim (na styk), ster początkowo wiosłowy a później zawiasowy (zapożyczony z północy Europy), zaokrągloną rufę z wysoką nadbudówką oraz drugą niższą nadbudówkę na dziobie (wysuniętą znacznie przed dziobnicą). Statek na dwóch pierwszych masztach (fokmaszcie i grotmaszcie) miał ożaglowanie rejowe a na ostatnim maszcie (bezanmaszcie) ożaglowanie łacińskie.

Karaki rozpowszechniły się także w Europie północnej, gdzie uległy pewnej ewolucji. Na rufie powstała galeria – balkonik oraz pojawiły się zawieszane na burtach beczki z oliwą i armaty ustawione na pokładzie rufówki. Burtę kadłuba wzmacniały pionowe odbojnice.

Statki tego typu nadawały się do podróży oceanicznych i używane były przez hiszpańskich i portugalskich odkrywców w wiekach XV i XVI. Wyporność największych jednostek dochodziła do 2.000 ton (na ogół było to ok. 800 t). W przypadku, gdy była to jednostka wojenna to uzbrajano ją w balisty, a w późniejszym okresie działa (na ogół 3-6).

Karakami były: „Santa Maria”, na której Krzysztof Kolumb (1451-1506) odbył podróż do Ameryki w 1492 r.; „Sao Gabriel” Vasco da Gamy (1469-1524) oraz „Nao Victoria” (rys. 7.17) z wyprawy Ferdynanda Magellana (1480-1521), która jako pierwsza opłynęła świat dookoła.



Rys. 7.16. Przekrój poprzeczny przez kadłub karaweli



Rys. 7.17. Współczesna rekonstrukcja karaki "Nao Victoria", która wzięła udział w wyprawie Ferdynanda Magellana (1480-1521)

7.6.5. Galeon

W wieku XVI w Hiszpanii z południowo-europejskiej karaki wykształca się nowy typ żaglowca – galeon (rys. 7.18). Statek ten cechowała wysoka, zwężająca się ku górze nadbudówka rufowa oraz galion (figura na dziobie związana z nazwą jednostki). Okres dominacji galeonów na morzach i oceanach przypada na wiek XVI i XVII, chociaż jednostki tego typu funkcjonują jeszcze i w wieku XVIII.

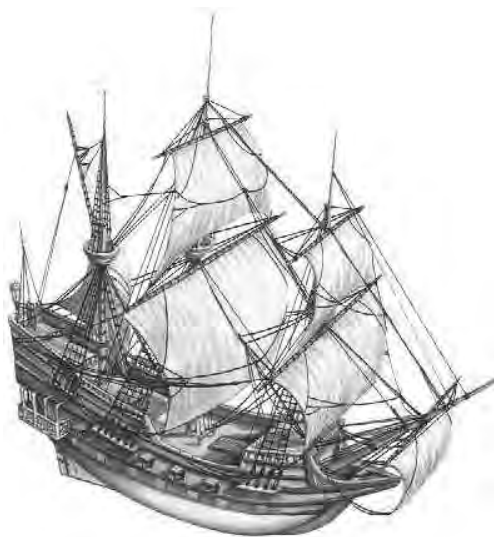
Galeony były jednostkami trójmasztowymi (rzadko czteromasztowymi) z żaglami rejonowymi na pierwszych dwóch masztach i żaglami łacińskimi na ostatnim lub ostatnich masztach. Miały ładować od 100 do 700 ton, choć trafiały się jednostki o ładowności przekraczającej 2.000 ton. Ich długość wahała się od 30 do 60 m, przy szerokości od 7 do 14 m. Uzbrojenie galeonów (w zależności od wielkości) stanowiło od kilkunastu do ponad stu dział różnych kalibrów.

Powstanie statku tak dużego, a przy tym zwrotnego, który był zdolny do długich rejsów oceanicznych wynikało z potrzeby komunikacji między Hiszpanią a jej licznymi koloniami w Ameryce. Potrzeba coraz więk-

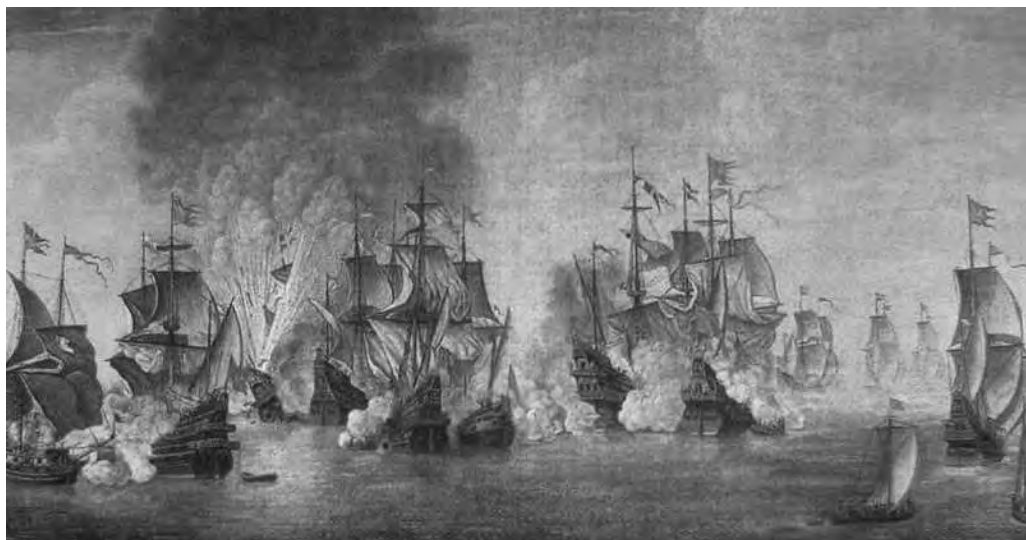
szej ilości kabin dla żołnierzy i osadników podróżujących statkiem została rozwiązana przez wydłużenie i podwyższenie nadbudówki rufowej, która liczyła nawet do 7 kondygnacji. Nadbudówka dziobowa była z kolei krótka i miała charakterystyczny wysunięty do przodu pomost.

Galeony rozwijały się przez okres XVI i XVII w. i wchodziły w skład wielu flot na świecie. Właśnie ze statków tego typu składała się flota angielska w okresie walk z „Niezwyciężoną Armadą” hiszpańską (1588 r.). Galeonu „Golden Hind” używał także słynny korsarz Francis Drake (ok. 1540-1596) do swych ataków na statki i miasta hiszpańskie. Galeony wchodziły także w skład floty polskiej i szwedzkiej podczas bitwy pod Oliwą, stoczonej w 1627 r. (rys. 7.19).

W XVIII wieku z galeonu powstaje liniowiec (okręt liniowy), czyli okręt wojenny przeznaczony do walki w linii bojowej składającej się z okrętów płynących w szyku torowym (jeden za drugim). Siła bojowa okrętów liniowych zależała od liczby i wagi armat jakie były na nich ustawione; stąd dążenie do zwiększenia wielkości okrętów i liczby pokładów artyleryjskich, na których ustawiono armaty. Na przełomie XVIII-



Rys. 7.18. Widok galeonu



Rys. 7.19. Bitwa pod Oliwą - rozegrana pomiędzy flotą polską, a eskadrą okrętów szwedzkich 28 listopada 1627 roku na redzie Gdańska

XIX wieku budowane były trójpokładowce uzbrojone w ponad 100 armat. W ciągu XVIII wieku powstał podział liniowców na klasy, których było sześć. Do I zaliczano okręty największe o liczbie dział 90-100 (wyporność powyżej 1.100 t.), a do VI – najmniejsze, wyposażone w 16-28 dział (wyporność poniżej 200 t.).

W drugiej połowie XIX w. liniowce otrzymały napęd mechaniczny i opancerzenie. Od 1860 r. są one nazywane pancernikami. Początkowo mają one niewielką wyporność („Gloire” - 5.600 ton), która z biegiem lat stale się zwiększa: w 1880 r. 11.000 ÷ 15.000 t., podczas I wojny światowej do 32.000 t., zaś w czasie II wojny światowej największy okręt liniowy świata, japoński „Yamato”, osiągnął wyporność 71.659 t.

7.6.6. Fregata wojenna

Okręt określany jako „fregata wojenna” (rys. 7.20) to uzbrojona lub nieuzbrojona jednostka handlowa, średniej wielkości (mniejsza niż galeon handlowy). Jej zasadniczą zaletą jest duża prędkość, niewielkie zanurzenie i dobre własności w żegludze na wiatr. Początkowo istniały tylko dwa typy tej jed-

nostki: o przeznaczeniu typowo wojennym (tzn. nie będące statkami handlowymi) oraz doraźnie uzbrajane lub dozbrajane (w razie wojny). Fregata okazała się w składzie flot wojennych okrętem niezwykle użytecznym. W okresie szczytowego rozwoju żaglowców (czyli na przełomie XVIII i XIX wieku) wyróżniano już kilka rodzajów fregat.



Rys. 7.20. Fregata „USS Constitution” (zwdolowana w 1797 r.), która jest obecnie najstarszym w świecie okrętem wojennym pozostającym w służbie czynnej

Cechą wyróżniającą fregatę był typ ożaglowania (zwany pełnorejowym), który zawierał się w tym, że na wszystkich trzech masztach rozpinano żagle rejowe. Wyporność fregat wynosiła zwykle od 1.000 do 2.000 ton, a załoga liczyła do 300 osób. Fregaty w zależności od wielkości dzieliły się na cztery klasy jednostek. I tak wyróżniano: I klasę – liniowce trzypokładowe (sporadycznie występowały także liniowce czteropokładowe); II klasę – liniowce dwupokładowe; III klasę – ciężkie krążowniki (mające od 40 do 50 armat); IV klasę – lekkie krążowniki (od 30 do 40 armat). Mniejsze od fregat były korwety (o wyporności 400÷600 t) oraz słupy (określane również jako eskortowce).

7.6.7. Żaglowiec wielorybiczny

Początkowo na wieloryby polowali Baskowie (od XII wieku), którzy stopniowo rozszerzali swoje terytoria łowieckie docierając w XVI wieku aż do wybrzeży Nowej Finlandii (prowincja w Kanadzie). Na przełomie XVIII i XIX wieku prym w wielorybnictwie światowym uzyskują amerykańskie statki wielorybiczne (rys. 7.21), które budowane były w Nowej Anglii (region USA składający się z 6 stanów: Maine, New Hampshire, Vermont, Massachusetts, Rhode Island i Connecticut). Były to fregaty lub trzymasztowe barki o stosunkowo dużym zanurzeniu, które mogły pomieścić dużą liczbę beczek z tranem, wytapianym na pełnym morzu w specjalnych piecach. W tym czasie rząd USA (podobnie jak rządy innych państw) wypłacał specjalną premię za każdą beczkę tranu. Miało to na celu przyciągnięcie do wielorybnictwa jak największej liczby ludzi, z których w razie konieczności rekrutowano załogi statków wojennych (w przypadku zaistniałego konfliktu).

Praca wielorybników była bardzo trudna i niebezpieczna, bowiem polowało się na wieloryby z pokładów wiosłowych łodzi (o długości ok. 8 m), używając harpuna ręcznego. Dopiero w roku 1864 Norweg Svend Foyn (1809-1894) skonstruował działko har-



Rys. 7.21. Odrestaurowany żaglowiec wielorybiczny "Charles W. Morgan" (zwodowany w 1841 r.), na którym złowiono ponad 1000 wielorybów

punniczne, które umożliwiała trafienie wieloryba z dalszej odległości. Od tego momentu zaczęto polować na wieloryby korzystając z większych łodzi, często napędzanych silnikiem parowym.

Na statku wielorybicznym panowały trudne warunki. Dla załogi przeznaczona była mała przestrzeń, gdyż jak najwięcej miejsca wygospodarowywano na zdobycz, którą gromadzono w trakcie rejsu (trwającego czasami nawet i dwa lata). Piec z kotłem do wytapiania oleju instalowano na pokładzie w płaskim zbiorniku zalanym wodą (w ten sposób zabezpieczano się przed zaprószeniem ognia). Przerób mięsa wielorybiego oraz wytop tranu na pokładzie powodował, iż cała jednostka pokryta była tłustymi plamami, które stawały się znakiem rozpoznawczym tych jednostek. Innymi cechami rozpoznawczymi były podwieszone na burtach statku łodzie używane do polowań oraz nieodłączny fetor, powstający z rozkładających się resztek tłuszczu.

7.6.8. Kliper

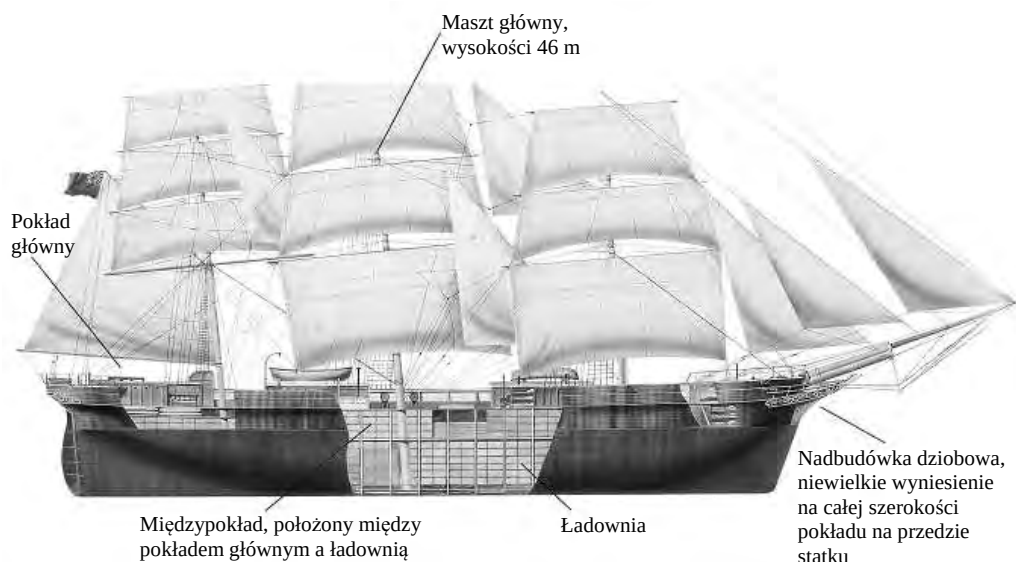
Klipper (rys. 7.22) to smukły, bardzo szybki żaglowiec, wyposażony w trzy lub cztery maszty. Nazwa tych jednostek pochodzi od angielskiego słowa „clip”, oznaczającego dużą szybkość. Klipry powstały na początku XIX wieku i osiągały zawrotne prędkości, dochodzące do 21 węzłów. Długość tych statków dochodziła do 50 m przy 10 m szerokości. Obsługiwały one dalekie trasy, przewożąc ładunki o krótkiej trwałości oraz pocztę.

Koniec ery kliprów, trwającej zaledwie 30 lat, wymusił postęp techniki. Pomimo tego, iż statki te mogły rozwijać miejscami prędkości nieosiągalne dla ówczesnych parowców, to było im coraz trudniej konkurować z napędem parowym. Przyjmuje się, że budowa linii kolejowej (1855 r.) w Przesmyku Panamskim oraz otwarcie Kanału Sueskiego (1869 r.) były przyczynami zmierzchu kliprów. Jednostki te były co prawda wykorzystywane jeszcze przez szereg lat, ale stopniowo zaczęły pełnić role pomocnicze, by w XX wieku ostatecznie zniknąć z mórz i oceanów.

7.6.9. Szkunier

Szkunier to żaglowiec posiadający dwa lub więcej masztów o ożaglowaniu skośnym. Pomimo tego, iż statki te były rozpowszechnione w Europie (w krajach basenów Morza Północnego i Bałtyku), to do ich głównego rozwoju doszło w Ameryce Północnej. Tamże począwszy od drugiej połowy XIX w. coraz częściej zaczęły pojawiać się szkunierzy trzy-, cztero- i pięciomasztowe, których obsługa wymagała małej załogi. Najlepszym przykładem może być tutaj sześciomasztowy szkunier „Wyoming” (rys. 7.23), najdłuższy drewniany statek świata (108 m), który miał pojemność 3.730 BRT (1 BRT = 2,83 m³) oraz nośność 6.000 t, a wymagał załogi liczącej tylko 12 osób.

Szkunierem był również jedyny siedmiomasztowy żaglowiec świata, „Thomas W. Lawson” – rys. 7.24 (długość całkowita 132 m, szerokość 15 m, załoga 16 osób), którego stalowy kadłub mieścił prawie 8.000 t węgla, przewożonego z Filadelfii do Teksasu. Ze względu na duże zanurzenie (8,5 m) statek nie mógł zawijać do większości portów, a w ciężkich warunkach meteorologicznych był



Rys. 7.22. Kliper herbaciany „Cutty Sark”, który pokonywał wody oceanu z prędkością do 14 węzłów (25 km/h)



Rys. 7.23. Najdłuższy okręt drewniany świata – szkuner „Wyoming” o długości 108 m

bardzo trudny w obsłudze. Dlatego właśnie po przebudowie był eksploatowany do przewozów ropy naftowej z Zatoki Meksykańskiej do portów północno-wschodniego wybrzeża Stanów Zjednoczonych. W 1907 r. wioząc ropę do Londynu w czasie sztormu rozbił się na skałach wysp Scilly.

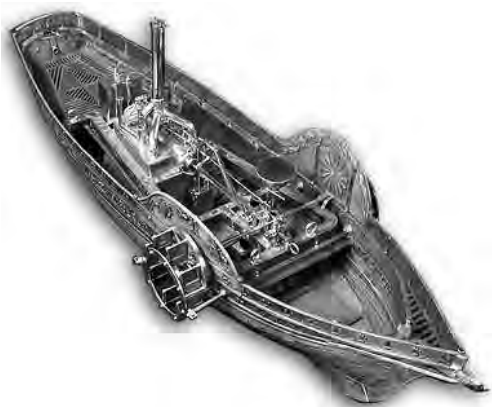
Wielkie szkunery, mimo tego, że przynosiły znaczne oszczędności w porównaniu z innymi żaglowcami, a także zaopatrzone były w silniki pomocnicze do stawiania żagli i parowe maszyny sterowe, nie wytrzymały w rywalizacji z parowcami. Niektóre wielkie szkunery były jednak eksploatowane aż do 1939 r.



Rys. 7.24. Siedmiomasztowy szkuner „Thomas W. Lawson”

7.7. Parowce

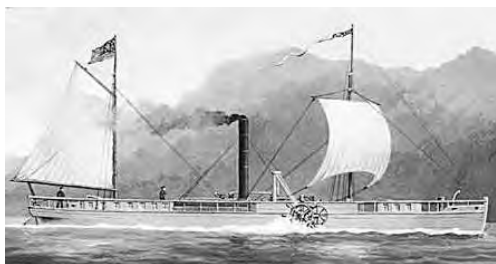
Przyjmuje się, że pierwszy statek (zwozowany w 1783 roku) z napędem parowym



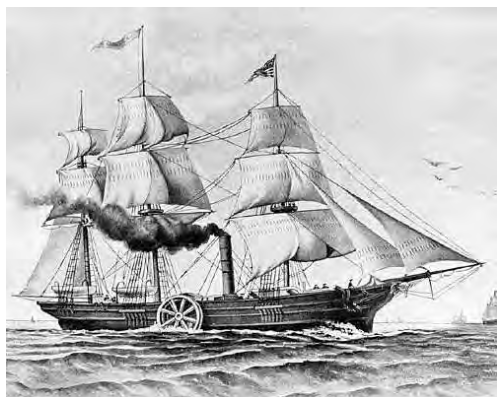
Rys. 7.25. Model „Pyroscaphe”, pierwszego statku z napędem parowym

zbudował francuski arystokrata, markiz Claude François de Jouffriy d'Abbans (1751-1832). Wynalazca nazwał łódź „Pyroscaphe” (ognisty statek) i pomyślnie przeprowadził na rzece próby pierwszego parowca. Był to statek rzeczny (rys. 7.25) o długości 45 m i pełnił służbę przez około 1,5 roku.

Pierwszym poważniejszym parostatem był „Clermont” (rys. 7.26) spuszczonej na wodę w Ameryce w roku 1807. Twórcą jego był Robert Fulton (1765-1815), uważany powszechnie za ojca żeglugi parowej. Dane techniczne tego statku to: długość 40 m, szerokość 5,5 m, moc maszyny parowej 20 KM. Maszyna wprawiała w ruch dwa koła łopatkowe (o średnicy 4,6 m) umieszczone po bokach kadłuba i wykonujące 20 obr/min. Prędkość statku wynosiła ok. 5 węzłów, dzięki czemu jego pierwszy rejs po rzece Hudson z Nowego Yorku do Albany (150 mil) trwał 32 godziny.



Rys. 7.26. Statek parowy „Clermont”

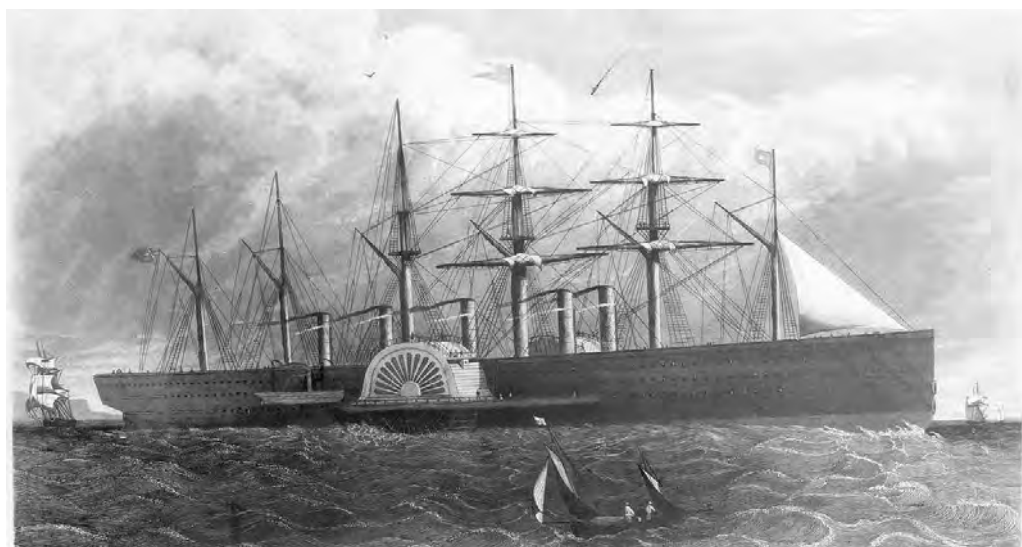


Rys. 7.27. Statek parowo-żaglowy „Savannah”

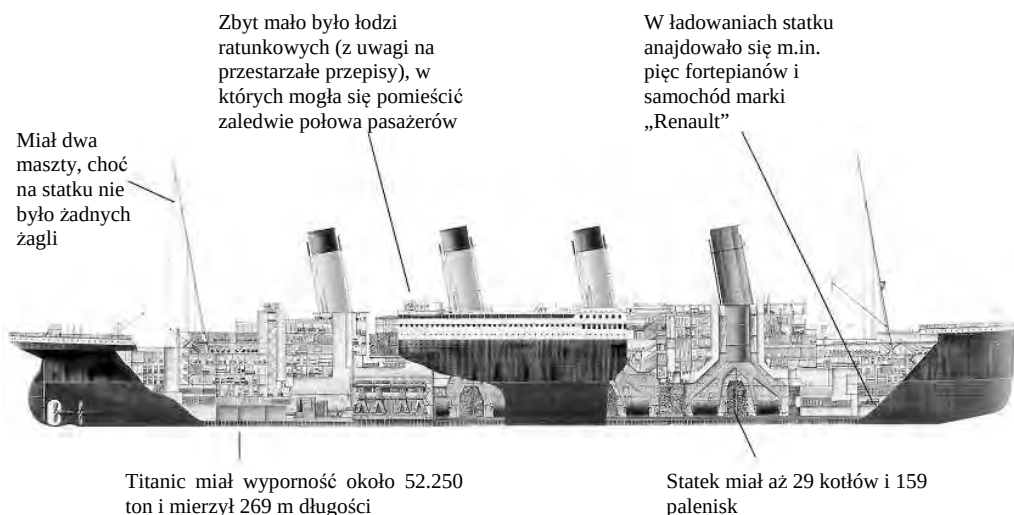
20 czerwca 1819 miał miejsce fakt, który stał się symbolem przełomu, mianowicie parowiec „Savannah” (rys. 7.27) płynący częściowo (przez 10 ostatnich dni) pod żaglami, jako pierwszy statek napędzany parą przepłynął Atlantyk. Tego dnia przybył on do Liverpoolu w Anglii, a cała podróż zabrała mu 27 dni. Dla porównania na przepłynięcie Atlantyku Krzysztof Kolumb (1451-1506) w 1493 roku potrzebował 70 dni, Benjamin Franklin (1706-1790) płynący żaglowcem pod koniec XVII wieku 42 dni, a parowiec „Great Eastern” w roku 1860 tylko 11 dni.

Największym parowcem XIX wieku był „Great Eastern” (rys. 7.28), zaprojektowany przez Isambarda Kingdom Brunela i zwodowany w 1858. Jego pojemność wynosiła 18.914 BRT ($1 \text{ BRT} = 2,83 \text{ m}^3$), długość - 211 metrów, szerokość - 25 metrów, wysokość - 18 metrów. Great Eastern posiadał podwójne stalowe poszycie, konstrukcję nitowaną oraz dwa pędniki - czterłopatkową śrubę napędową i dwa koła łopatkowe o średnicy aż 17 m. Jako napęd pomocniczy miał także możliwość rozpięcia ożaglowania. Umożliwiał przewiezienie w rejsie dookoła świata bez zawijania do portów 4000 pasażerów. Kłopoty ze znalezieniem dostatecznej liczby pasażerów sprawiły, że został przerobiony na statek do kładzenia telegraficznego kabla podmorskiego i posłużył w 1865 do ułożenia 4200 kilometrów kabla na dnie Atlantyku. Zezłomowany został w 1889.

W największe parowe silniki tłokowe wyposażony był z kolei najslynniejszy (a zarazem tragiczny) w historii transatlantyk, tj. „Titanic” (rys. 7.29). Ten zwodowany 31 maja 1911 roku statek miał czterocylindrowe, trójprężne rzędowe silniki parowe typu odwróconego. Każdy z nich mierzył 12 metrów wysokości, a ich cylindry miały 1,5 metra



Rys. 7.28. Największy parowiec XIX wieku – statek „Great Eastern”, zwodowany w 1858 roku



Rys. 7.29. RMS (ang. Royal Mail Steamer) Titanic – brytyjski transatlantyk typu Olympic, należący do towarzystwa okrętowego White Star Line, który zatonął tragicznie 14 kwietnia 1912 roku

średnicy. Układ napędowy statku składał się z 3 śrub - silniki łokowe zdolne były do obracania zewnętrznych trójskrzydłowych śrub z prędkością do 80 obrotów na minutę. Śruba środkowa, czteroskrzydłowa, napędzana była turbiną pracującą na parę odłotową z silników łokowych. Z trzech śrub statku dwie zewnętrzne, o średnicy 7,2 metra, mogły pracować zarówno przy normalnym jak i wstecznym kierunku pracy, natomiast nie było możliwości odwrócenia kierunku obrotów śruby środkowej, pięciometrowej (uboczny skutek napędu turbiną). Czyniło to tę śrubę nieprzydatną przy hamowaniu awaryjnym wspomaganym śrubami. Wszystko to pozwalało osiągać Titanicowi prędkość 23-24 węzłów.

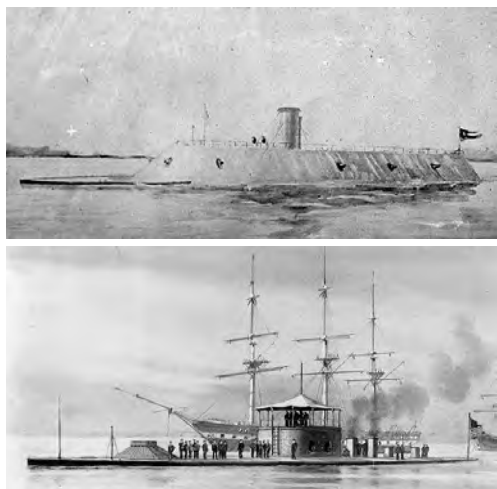
Niestety „Titanic” podczas swojego dziewiczego rejsu z Southampton do Nowego Jorku przez Cherbourg i Queenstown, zderzył się 14 kwietnia 1912 roku z górą lodową i zatonął. Jego katastrofa spowodowała nowelizację praw i zasad bezpieczeństwa morskiego. Kadłub okrętu był podzielony na 16 przedziałów wodoszczelnych, z których uszkodzeniu uległo 6 (a mogło najwyżej 2). Uratowało się 706 osób z 2223.

7.8. Pancerniki

Pancerniki to klasa silnie opancerzonych okrętów wojennych, stanowiąca, od czasu powstania w drugiej połowie XIX wieku do II wojny światowej, trzon większości flot wojennych. Przeznaczeniem pancerników było zapewnienie panowania na morzach poprzez wygrywanie bitew artyleryjskich i niszczenie wrogich jednostek nawodnych.

Początki klasy pancerników sięgają 1860 r., kiedy we Francji zbudowano drewnianą fregatę pancerną „Gloire”, a w odpowiedzi na nią w Wielkiej Brytanii rok później zbudowano pierwszy stalowy pancernik „Warrior”. W ciągu następnych kilkunastu lat nastąpił żywiołowy rozwój pancerników i wyścig zbrojeń w ich budowie.

Podczas wojny secesyjnej w 1862 doszło do słynnego pojedynku „Merrimaca” (właściwie: „Virginii”) z „Monitorem” (rys. 7.30) – pierwszej bitwy między opancerzonymi okrętami. Pomimo, że były to jedynie niewielkie jednostki przybrzeżne, pojedynek ten pokazał znaczenie pancerza. W drugiej połowie XIX wieku koncepcja pancerników



Rys. 7.30. „CSS Virginia” - okręt pancerny Konfederacji (rys. górny) oraz „USS Monitor” - pierwszy okręt z uzbrojeniem umieszczonym w obrotowej wieży artyleryjskiej (rys. dolny)

dopiero ewoluowała i dlatego wyróżniano różne ich klasy, jak fregata pancerna, pancernik kazamatowy, pancernik wieżowy, a w końcu pancerniki XIX-wieczne uzyskały pierwszą dojrzałą formę określaną jako przeddrednoty (umowne określenie generacji okrętów liniowych – pancerników - budowanych od lat 80. XIX wieku do 1911 roku).

Typowy pancernik generacji przeddrednotów był napędzany maszynami parowymi z centralnie umieszczoną kotłownią opalaną węglem. Większość była uzbrojona w 4 działa głównego kalibru umieszczone w dwóch wieżach lub barbetach na dziobie i na rufie, oraz kilka do kilkunastu dział średniego kalibru (zwykle 150 mm) w kazamatach. Kaliber dział artylerii głównej zwykle wynosił 305 mm ÷ 343 mm, na niemieckich okrętach - 280 mm. Późniejsze przeddrednoty (nazywane czasami semi-drednotami) posiadały oprócz 4 dział głównego kalibru, od 4 do 12 dział drugiego głównego (mniejszego) kalibru (203 mm ÷ 240 mm) w wieżach umieszczonych na burtach. Przeddrednoty posiadały również działa mniejszego kalibru do zwalczania torpedowców oraz podwodne wyrzut-



Rys. 7.31. „Potiomkin” (zwdowany w 1900), symbol rewolucji z 1905 roku

nie torpedowe, natomiast nie posiadały artylerii przeciwlotniczej. Uzbrojenie przeciwlotnicze dodane zostało dopiero przed II wojną światową. Wyporność przeddrednotów wynosi od 10 do 15 tysięcy ton, prędkość do 18 węzłów. Ostatnie z przeddrednotów - japoński typ Satsuma i francuski typ Danton (1911) miały wyporność do 19.000 t. Począwszy od 1906 roku pancerniki tej generacji zaczęły być wypierane przez konstrukcje nowego typu - drednoty. Przykładem pancernika tego typu jest „Potiomkin”, pokazany na rys. 7.31.

Drednot to określenie generacji pancerników (okrętów liniowych) budowanych od 1906 roku do 1922 roku. Nazwa pochodzi od nazwy brytyjskiego pancernika HMS „Dreadnought” - rys. 7.32, który wszedł do służby w grudniu 1906 roku jako pierwszy



Rys. 7.32. Pierwszy drednot - HMS „Dreadnought” z 1906 roku

okręt zbudowany według nowych koncepcji. W stosunku do wcześniejszych pancerników (zwanych przeddrednotami), dreadnoty charakteryzowały się:

- ❑ znacznie silniejszą artylerią główną, złożoną z 8÷12 dział jednolitego dużego kalibru, o wielkim zasięgu;
- ❑ większą prędkością, wynoszącą 20-21 węzłów, osiąganą w większości konstrukcji dzięki zastosowaniu turbin parowych;
- ❑ wykształceniem się systemów kierowania ogniem artylerii, poprawiających jej celność na duże odległości (od około 1911 roku).

Dreadnoty były główną siłą bojową flot wojennych podczas I wojny światowej, zwłaszcza stanowiły uzbrojenie brytyjskiej i niemieckiej floty liniowej. Największym ich starciem była Bitwa Jutlandzka 31.05-1.06.1916, w której żaden z dreadnotów nie został zatopiony, w przeciwieństwie do innych rodzajów okrętów liniowych.

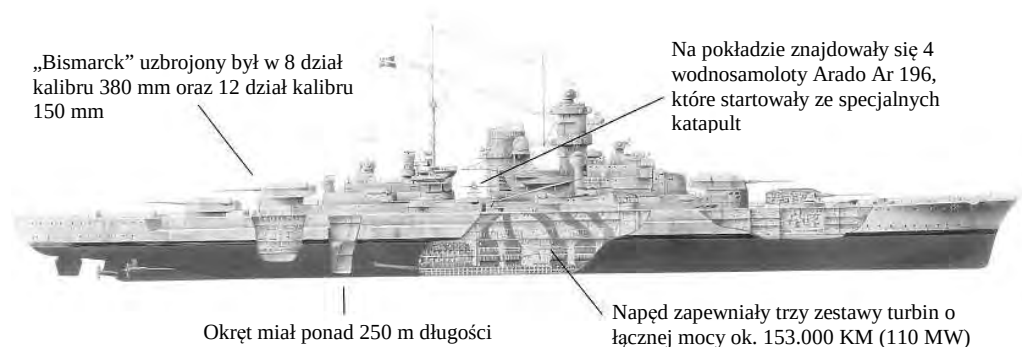
Cechy dreadnotów, takie jak silna i jednolita artyleria oraz potężne siłownie, zdolne do rozwijania jeszcze większych prędkości, miały także powstałe równocześnie z nimi krążowniki liniowe, mające jednak słabsze opancerzenie. Generację dreadnotów zakończył Traktat Waszyngtoński z 1922 roku, zabraniający budowy nowych pancerników do 1931 roku, co następnie przedłużono do 1936 roku.

Następnym etapem rozwoju okrętów liniowych były dopiero znacznie doskonalsze tzw. szybkie pancerniki, budowane od połowy lat trzydziestych XX wieku. Szybkie pancerniki połączyły cechy dreadnotów, takie jak silne opancerzenie i duża wytrzymałość, z podstawową zaletą krążowników liniowych, czyli dużą prędkością.

Przykładem pancernika szybkiego jest „Bismarck” (rys. 7.33), okręt niemiecki z okresu II wojny światowej. Budowę tej jednostki rozpoczęto 1 lipca 1936 roku w stoczni Blohm und Voss w Hamburgu. Pancernik Bismarck wszedł do służby w Kriegsmarine 24 sierpnia 1940 r. Jego dowódcą został komandor Ernst Lindemann (1894-1941). 28 września 1940 „Bismarck” wyszedł w swój pierwszy rejs do Gdyni, która miała być jego głównym portem postojowym. Okręt został przeznaczony wraz z innymi jednostkami („Scharnhorstem”, „Gneisenau”, „Prinz Eugenem” i „Tirpitzem”), do działań mających wiązać okręty Royal Navy i tym samym umożliwiać innym jednostkom swobodę działania przeciwko konwojom zaopatrzeniowym. Jednakże wkrótce (10.05.1941 r.) został zatopiony przez okręty brytyjskie.

7.9. Lotniskowce

Lotniskowce to klasa okrętów wojennych, której głównym zadaniem jest prowadzenie operacji bojowych za pomocą bazują-



Rys. 7.33. Pancernik DKM „Bismarck”, zatopiony przez aliantów 10 V 1940 roku



Rys. 7.34. „USS Langley” – pierwszy amerykański lotniskowiec. Okręt został zbudowany w 1913 r. jako węglowiec pod nazwą „USS Jupiter”. W 1920 r. rozpoczęto jego przebudowę na lotniskowiec i nazwano imieniem Samuela Pierponta Langley’a

cych na nich samolotów i przystosowana do tego celu konstrukcyjnie, przede wszystkim przez posiadanie pokładu startowego. Pierwsze okręty tej klasy powstały pod koniec I wojny światowej, następne odegrały dużą rolę w walkach II wojny światowej, szczególnie na Pacyfiku. W chwili obecnej tylko USA posiadają większą flotę lotniskowców. Ponadto Francja, Rosja i Brazylia mają nieliczne lotniskowce uderzeniowe, a Wielka Brytania, Indie, Hiszpania, Włochy oraz Tajlandia lekkie lotniskowce dla samolotów V/STOL. Lotniskowiec porusza się wraz z tzw. grupą uderzeniową, składającą się z fregat, niszczycieli, okrętów podwodnych. Grupa taka jest w stanie samodzielnie prowadzić działania wojenne na wielkim obszarze.

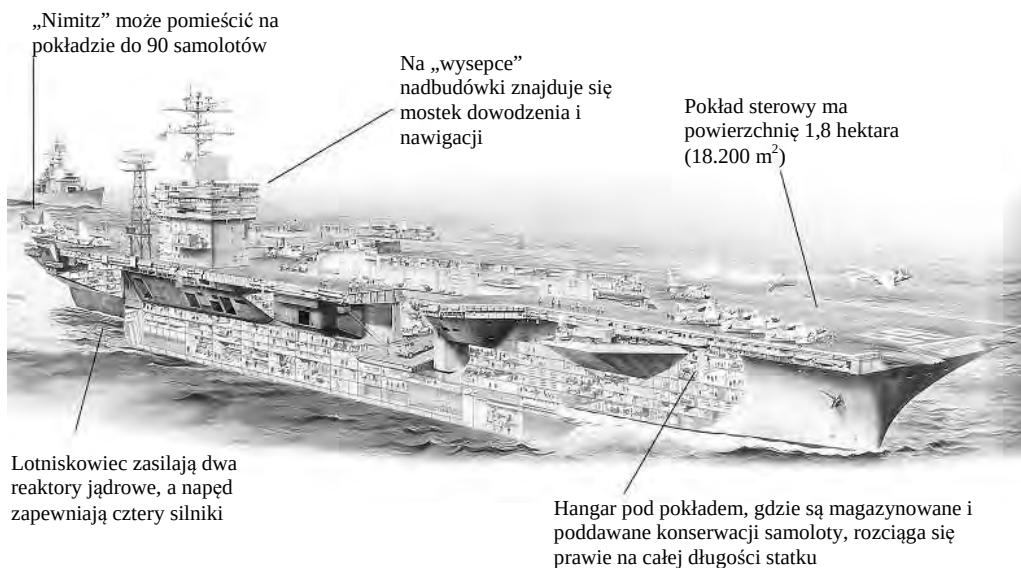
Pierwsze lotniskowce powstawały zazwyczaj jako jednostki przebudowywane z innych okrętów – np. krążowników, jak brytyjski „Furious”, czy statków handlowych, jak amerykański „Langley” – rys. 7.34, czy japoński „Hosho”. Przebudowa polegała przede wszystkim na likwidacji dotychczasowych nadbudówek i uzbrojenia oraz nadbudowaniu nowych pomieszczeń i hangarów dla samolotów, przykrytych płaskim pokładem lotniczym. Mimo, iż niektóre wczesne lotniskowce miały także dość silne uzbrojenie artyleryjskie do walki z okrętami, to później ograniczono je do tylko do dział przeciwlot-

niczych, natomiast za główną siłę uderzeniową uznano samoloty.

Początkowo lotniskowce nie zdobyły uznania i uważane były za okręty co najwyżej pomocnicze wobec pancerników i używane były przede wszystkim do rozpoznania (choć w latach międzywojennych sporą karierę zrobiła wizja lotniskowca-raidera zwalczającego żeglugę za pomocą dział i samolotów). Przyczyną takiego podejścia była niska sprawność ówczesnych samolotów. Stan ten trwał aż do początków II wojny światowej. Dopiero brytyjski atak na włoską bazę floty w Tarenzie i wzorowany na nim atak na Pearl Harbor dokonany przez japońskie lotnictwo pokładowe, a potem zatopienie dwóch brytyjskich pancerników „Prince of Wales” i „Repulse”, przez lotnictwo japońskie w bitwie pod Kuantanem zmieniło sytuację.

W trakcie II wojny światowej ustalił się podział na lotniskowce floty służące jako główna siła oraz lotniskowce lekkie – średniej wielkości, służące do wspierania głównych sił (klasyfikacja ta jednak poza amerykańską flotą nie jest oficjalna). Trzecią grupą były lotniskowce eskortowe zwane też pomocniczymi i konwojowymi, w ich budowie specjalizowały się floty amerykańska i brytyjska. Podstawowymi zadaniami tej grupy okrętów była eskorta konwojów i zespołów okrętów nawodnych oraz zwalczanie okrętów podwodnych. Obecnie ten podział jest nieaktualny i funkcjonuje inny. Według teraźniejszych kryteriów dzieli się lotniskowce na uderzeniowe (najczęściej z napędem atomowym), lotniskowce średniej wielkości i śmigłowcowce (przeznaczone głównie do przenoszenia śmigłowców i grup szturmowych).

Lotniskowce mają różną wyporność w zależności od klasy i przeznaczenia, uzbrojenie tak samo jest zmienne. Na przykład lekki lotniskowiec japoński „Hosho”, przebudowany ze statku towarowego, miał wyporność standardową 7410 ton, pełną 10000 ton i zabierał w morze kilkanaście maszyn (w późniejszym okresie 8 samolotów używanych do zwalczania okrętów podwodnych). Przebu-



Rys. 7.35. Lotniskowiec „USS Nimitz” ma 333 metry długości i 18 pięter wysokości (od stępki do masztu), ma własny szpital z 53 łózkami, kaplicę, pocztę a nawet 5 dentystów

dowany z okrętu liniowego, „Kaga” miał wyporność standardową 38.200 i pełną 43.650 ton, zabierał w morze początkowo 81 maszyn, potem liczba ta spadła do 66. Zbudowany w latach trzydziestych od podstaw jako okręt lotniczy „Yorktown” miał wyporność standardową 19.800 ton i pełną 25.400, i zabierał w morze do 90 samolotów. Obecnie budowane okręty są jeszcze większe, amerykańskie lotniskowce uderzeniowe o napędzie atomowym typu „Nimitz” (rys. 7.35) mają wyporność standardową 82.320 ton i pełną przekraczającą 92.000 ton, cztery podnośniki, cztery katapulty i ponad 90 samolotów i śmigłowców. Załogę stanowi 5200 osób (razem z personelem lotniczym).

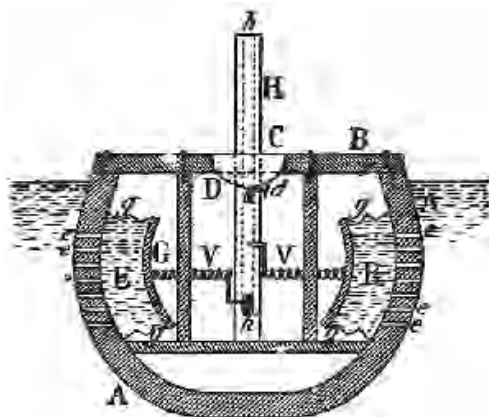
7.10. Łodzie podwodne

Ważniejsze wydarzenia związane z historią łodzi podwodnych podano w formie kalendarium, ogniskując się przede wszystkim na okresie sprzed I wojny światowej.

1472 - Inżynier wojskowy z Wenecji Robert Valturio (1405-1475) w swojej książce „De

ve militari” przedstawia rysunek okrętu podwodnego. Jest to jednak tylko czysta teoria, nie poparta przez autora żadnym opisem technicznym.

1580 - William Bourne (1535-1582), angielski właściciel zajazdu oraz naukowiec amator, przedstawia pierwsze plany okrętu podwodnego (rys. 7.36). Wyjaśnia w nich sposób, dzięki któremu okręt może się zanurzać pod wodę i jednocześnie nie tonąć. Opiera się



Rys. 7.36. Schemat okrętu podwodnego Bourne'a

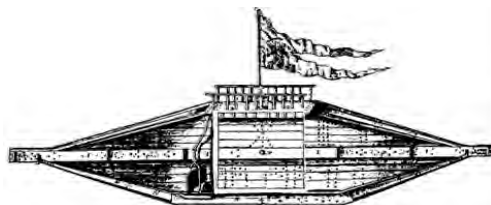


Rys. 7.37. Łódź podwodna przepływa pod Tamizą, 1623 r.

w swoich planach na zjawisku wyporności wody. Okręt miał być wodoszczelny dzięki wykorzystaniu przy jego budowie skóry. Z pomysłu tego skorzystano przy projektowaniu okrętów podwodnych w Anglii (1729 r.) oraz Francji (1863 r.).

1623 - Cornelius Drebbel (1572-1633), Holender który od 1603 roku na dworze angielskim Jakuba I (1566-1625) pełni rolę wynalazcy (w innych źródłach można znaleźć wzmiankę, że był lekarzem), buduje pierwszy działający okręt podwodny, który może zanurzać się na głębokość do 15 stóp. Jest to łódź wiosłowa, napędzana przez dwunastu wiosłarzy znajdujących się wewnątrz niej. Pierwszy rejs okrętu podwodnego odbywa się na Tamizie (rys. 7.37).

1653 - Francuz De Son projektuje "Rotterdam Boat", pierwszy okręt podwodny, który powstał w celu niszczenia jednostek nawodnych wroga (okrętu tego prawdopodobnie używała Belgia w wojnie z marynarką Anglii). Okręt miał długość 72 stóp i wyposażony



Rys. 7.38. Łódź „Rotterdam Boat” zaprojektowana przez Francuza De Son

zony był w taran (rys. 7.38), którym atakowano jednostki nieprzyjaciela.

1773 - Anglik John Day buduje pierwszą łódź podwodną z odłączalnym balastem (kamienie przytwierdzone do zewnętrznej części kadłuba, zwalniane z wewnątrz okrętu). Rozwiązanie takie sprawdziło się ale tylko na płytkiej wodzie. Day zachęcony przez pewnego hazardzistę buduje większy model swojej łodzi. Teraz przyjmuje zakłady o to, jak długo może pozostać pod wodą. Po spuszczeniu łodzi na wodę okazuje się jednak, że przytwierdzone kamienie są zbyt lekkie, aby łódź mogła się zanurzyć. Zaczęto więc dokładać dodatkowe kamienie. W pewnym momencie łódź gwałtownie poszła na dno. Dayowi nie udało się zrzucić zbędnego balastu i wypłynąć z powrotem na powierzchnię. Nikt z załogi się nie uratował.

1776 - Amerykanin David Bushnell (1740-1824) konstruuje pojazd podwodny, który nazywa "Turtle" (rys. 7.39). Jest on zbudowany w kształcie jajka, w środku którego znajduje się miejsce dla jednego członka załogi. Operując dwoma śrubami Archimedesesa, napędzanymi ręcznie "Turtle" mógł się poruszać zarówno w pionie jak i w poziomie. Po-



Rys. 7.39. Pojazd podwodny „Turtle”, skonstruowany przez Davida Bushnell’a, 1776 r.



Rys. 7.40. Współczesna replika okrętu podwodnego „Nautilus”, zbudowanego przez Roberta Fultona, 1800 r.

wietrza w zanurzeniu wystarczało tylko na około 30 minut, jednak gdy pojazd płynął po powierzchni (lub w półzanurzeniu) mogło być ono częściowo pobierane z zewnątrz. Pojazd wyposażony był w zbiornik wodny, który poprzez jego zapełnianie lub opróżnianie umożliwiał zmianę zanurzenia pojazdu. "Turtle" uzbrojony był w beczkę wypełnioną prochem, której eksplozja sterowana była mechanizmem zegarowym.

1797 - Robert Fulton (1765-1815) składa ofertę rządowi francuskiemu na budowę okrętu podwodnego „Mechanical Nautilus”, który może być użyty w wojnie przeciwko Wielkiej Brytanii. Łódź jest kilkusobowa i napędzana ręcznie. Może schodzić na głębokość do 8 metrów. Mimo przedstawionych zalet rząd francuski odmawia Fultonowi przyznania środków finansowych na wybudowanie okrętu.

1800 - Robert Fulton po wielu staraniach uzyskuje fundusze na zbudowanie "Nautilusa" (rys. 7.40). Przeprowadza kilka udanych prób. Okręt ma wyporność 9 ton, pod wodą może osiągnąć prędkość do 4 węzłów, maksymalne zanurzenie to 25 stóp. Posiada

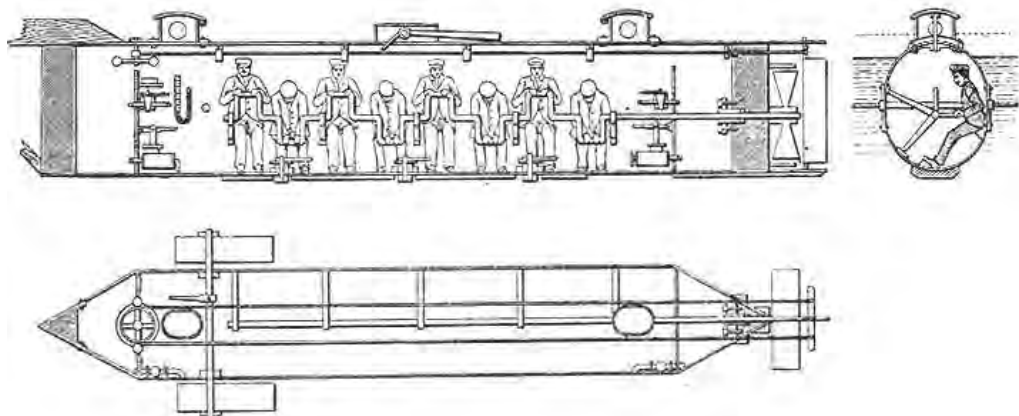


Rys. 7.41. Okręt parowy „David”, zbudowany przez Francis Lee, 1862 r.

cylindryczny kadłub ze stalowym szkieletem pokrytym blachą miedzianą. Jego załoga składa się z 3 osób. Podczas jednej z prób pozostaje pod wodą przez 6 godzin (powietrze do wnętrza okrętu dostarczane było przez tubę sięgającą powierzchni wody). "Nautilus" jest jakby przedłużoną wersją "Turtle'a". Do poruszania na powierzchni używa żagla, a pod wodą ręcznie napędzaną śrubę. Po pewnym czasie stosunki Fultona z rządem znów się pogarszają. W ostateczności sprzedaje on "Nautilusa" na złom i udaje się do Anglii, gdzie kontynuuje swoje eksperymenty.

1862 - kapitan Konfederatów w Wojnie Secesyjnej Francis D. Lee buduje częściowo podwodny okręt "David" o napędzie parowym (rys. 7.41). Jednostka ta mogła pływać w niepełnym zanurzeniu (wtedy nad powierzchnię wody wystawał jedynie komin oraz niewielka część pokładu z włazem, przez który napływało do wnętrza okrętu powietrze). Ponieważ jednostka musiała pływać z otwartym włazem przyczyniło się to do zatopienia kilku wersji Davida. Okręt uzbrojony był w minę kontaktową umieszczoną na długim wytyku.

1864 - „CSS H. L. Hunley” (rys. 7.42) po miesiącach żmudnego treningu załogi odnosi swoje pierwsze zwycięstwo dnia 17 lutego. Na redzie Charlestone zatapia 20-działową korwetę „Housatonic”. Jest to pierwszy okręt wojenny, który został zatopiony przez okręt podwodny. Nie obyło się tutaj jednak bez tragicznych wydarzeń. Krótco po ataku "Hunley" znika. Przypuszcza się, że zatonął z całą załogą. Dopiero w 1995 roku udaje się zlokalizować jego wrak. Znajduje się on w



Rys. 7.42. Łódź podwodna „CSS H. L. Hunley”, napędzana ręcznie, która jako pierwsza w historii zatopiła jednostkę nieprzyjacielską - korwetę „Housatonic”, 17 II 1864 r.

odległości około 1000 jardów od miejsca, w którym przeprowadzono atak w 1864 roku. Najbardziej prawdopodobną przyczyną jego zatonięcia było zalanie wjazdu doprowadzającego do okrętu powietrze (np. przez falę spowodowaną przez okręt pływący na pomoc tonącemu „Housatonicowi”). Podczas lata roku 2000 wrak podniesiono z dna i poddano konserwacji dla umożliwienia wystawienia go w muzeum.

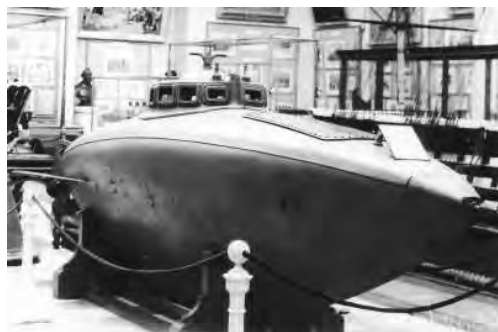
1867 - angielski inżynier Robert Whitehead (1823-1905) przedstawia plany „miny z własnym napędem”, którą nazywa „Automobile Torpedo”. Jest to przodek torpedy stosowanej obecnie na okrętach podwodnych.

1869 - U. S. Navy rozpoczyna produkcję torped Whiteheada na szeroką skalę. Specjalnie dla wykorzystania nowej broni tworzy następujące klasy okrętów: torpedowiec, kontrtorpedowiec oraz niszczyciel torpedowy.

1874 - irlandzki imigrant mieszkający w New Jersey John Phillip Holland (1840-1914) przedkłada Sekretarzowi Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych projekt okrętu podwodnego swojego pomysłu (długość 15,5 stopy, załoga składająca się z 1 osoby „nożnie” napędza śrubę napędową oraz zajmuje się kontrolą zbiornika balastowego o pojemności 1 m³). Niestety wynalazca spotyka się z odmową wsparcia finansowego.

1876 - polski inżynier, konstruktor na służbie carskiej Stefan Drzewiecki (1844-1938) buduje niewielki okręt podwodny (rys. 7.43), który napędzany jest pod wodą silnikiem elektrycznym czerpiącym energię z akumulatorów. Tym samym Polak jest prekursorem tego typu rozwiązania, które stosowane jest później podczas I i II wojny światowej. Okręt ma 4,5 metra długości oraz 1,5 średnicy. Jednostka uzbrojona jest w dwie miny, które można podkładać pod kadłub wrogiego okrętu.

1878 - John Phillip Holland (1840-1914) uzyskuje środki na budowę prototypu swojego okrętu. Nazywa go "Holland No 1". Okręt wyposażony jest w silnik benzynowy. Przechodzi wszystkie próby pomyślnie, co



Rys. 7.43. Łódź podwodna skonstruowana przez Stefana Drzewieckiego



Rys. 7.44. „Fenian Ram” – łódź podwodna zbudowana przez Hollanda, 1881 r.

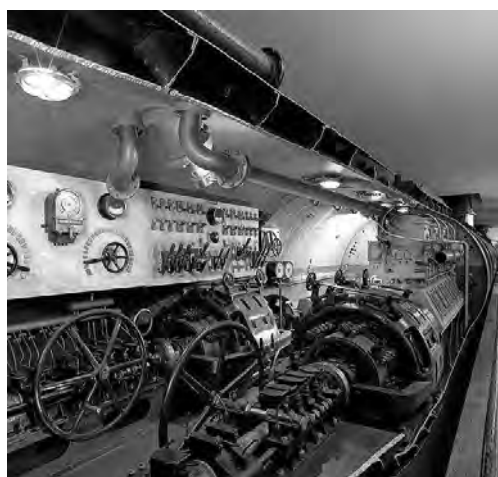
skłania Hollanda do zbudowania kolejnej większej jednostki.

1881 - Holland buduje „Fenian Ram” (rys. 7.44). Okręt podwodny o długości 33 stóp, uzbrojony w taran na dziobie oraz działo. Może on osiągać prędkość do 9 węzłów w zanurzeniu i być pod wodą około 1 godziny. Maksymalne zanurzenie wynosi 60 stóp.

1900 - 11 kwietnia marynarka Stanów Zjednoczonych kupuje za 150.000\$ Hollanda VI. Budowa okrętu kosztowała 236.615\$, jednak postanowiono sprzedać ją poniżej kosztów produkcji, ze względu na możliwą reklamę mogącą spowodować sprzedaż kolejnych jednostek. Odniosło to skutek, marynarka zamówiła kolejną jednostkę, a w sierpniu następne 6 - ze względu na to, że wroga Hiszpania posiadała już wtedy dwa okręty podwodne. Okręt wpisany zostaje do rejestru marynarki jako „USS Holland”.

1906 - Niemcy wodują U-1 (zmodyfikowana wersja "Karpią" Kruppa). Jest to pierwszy U-Boot. Ma on długość 139 stóp, wyporność 239 ton i zasięg 2.000 mil przy prędkości 11 węzłów w wynurzeniu oraz 9 w zanurzeniu. W tym samym czasie Francuzi mają już około 60 okrętów podwodnych (mniej więcej tyle samo okrętów tego typu ma Wielka Brytania). U-1 znajduje się obecnie w muzeum w München w Niemczech (rys. 7.45). Dla lepszej prezentacji wnętrza okrętu usunięto jedną stronę poszycia kadłuba.

I wojna światowa udowodniła jak ważną i istotną bronią, mogącą znacznie przeważać szalę zwycięstwa w konfliktach między różnymi państwami są okręty podwodne. Wielkie okręty liniowe takie jak krążowniki czy pancerniki nagle stały się zupełnie bezbronne mając przeciwko sobie małe, skrycie działające okręty podwodne. Nikt z ówczesnych dowódców nie sądził, iż okręty podwodne mogą w znaczny sposób przyczynić się do wygrania konfliktów morskich, budowano więc coraz większe i potężniej opancerzone okręty liniowe. Sukcesy okrętów podwodnych w pierwszych miesiącach wojny były



Rys. 7.45. Wnętrze niemieckiej łodzi podwodnej U-1, 1906 r.



Rys. 7.46. U-Boot typ VII

dużym zaskoczeniem dla większości admirałicji. Nie doceniana broń okazała się bardzo skuteczna, był to typowy skutek niedocenia-
nia w porę rzeczy nowych, jak i zmieniają-
cych się doktryn wojennych. Znamiennym
zdarzeniem w I wojnie światowej było zato-
pienie przez niemiecki okręt podwodny U-9
w Cieśninie Kaletańskiej trzech brytyjskich
krążowników „Aboukir”, „Houge” i „Cre-
ssy”. To wydarzenie udowodniło ostatecznie
jak groźną bronią jest okręt podwodny.

II wojna światowa to okres, w którym nie-
mieckie okręty podwodne zatopiły setki stat-
ków handlowych. W ciągu pierwszych kilku-
nastu miesięcy każdy U-Boot (rys. 7.46) po-
słał ich na dno minimum pięć. Niemcy ata-
kowali w wilczych stadach, liczących do 40
okrętów. Do czasu wynalezienia sonaru
U-Booty niepodzielnie panowały na oce-
anach. Pod koniec wojny sytuacja odwróciła
się. Spośród około 50 tysięcy marynarzy
pływających na U-Bootach, 63% zginęło.

8. Lotnictwo i astronautyka

Lotnictwo to ogół zagadnień związanych z wszelkiego rodzaju statkami powietrznymi, to jest pojazdami zdolnymi do samodzielnego lotu w powietrzu. W innym sensie lotnictwo to nazwa gałęzi przemysłu, który zajmuje się transportem ludzi i towarów z użyciem statków powietrznych (głównie samolotów). W jeszcze innym sensie lotnictwo to rodzaj sił zbrojnych, którego podstawową bronią są różnego rodzaju statki powietrzne.

Astronautyka (gr. kosmonautyka) to zespół dziedzin nauk ścisłych, technicznych, biologiczno-medycznych oraz humanistycznych, które zajmują się lotami poza atmosferę Ziemi oraz poznawaniem przestrzeni kosmicznej jak również znajdujących się w niej obiektów. Astronautyka obejmuje poznawanie oraz analizowanie warunków i zjawisk towarzyszących lotom statków kosmicznych. Odkrywa możliwości techniczne ich realizacji oraz bada oddziaływanie warunków lotu na psychofizyczny stan astronautów i możliwość ich adaptacji do tych warunków.

W bieżącym rozdziale przedstawia się podstawowe informacje na temat historii statków powietrznych oraz kosmicznych, opracowanych na przestrzeni lat przez człowieka.

8.1. Lotnictwo

Jak już wspomniano lotnictwo dotyczy wszelkich zagadnień związanych ze statkami powietrznymi, czyli urządzeniami zdolnymi do unoszenia się w atmosferze na skutek oddziaływania powietrza, innego niż oddziały-

wanie powietrza odbitego od podłoża. Ze względu na sposób unoszenia się w powietrzu statki powietrzne dzieli się na aerostaty (lżejsze od powietrza) i aerodyny (cięższe od powietrza).

Aerostaty to:

☐ balon;

☐ sterowiec;

zaś aerodyny to:

☐ latawiec;

☐ lotnia, motolotnia, paralotnia;

☐ szybowiec;

☐ skrzydłowiec;

☐ samolot;

☐ spadochron;

☐ śmigłowiec (helikopter).

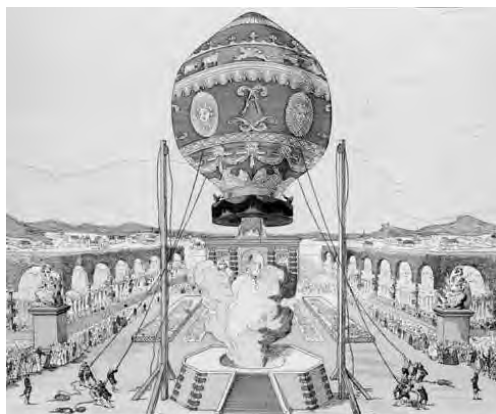
Poniżej w formie syntetycznej podaje się podstawowe informacje na temat rozwoju poszczególnych statków powietrznych.

8.1.1. Balon

Balon to statek powietrzny z grupy aerostatów pozbawiony napędu silnikowego. Składa się on z obszernej komory wykonanej z nieprzepuszczalnej, lekkiej tkaniny nagiętej lub tworzywa sztucznego, o dużej wytrzymałości i zawieszanej pod nią gondoli (kosza).

Pierwszej udokumentowanej próby z modelem balonu wypełnionego gorącym powietrzem dokonał 8 sierpnia 1709 Bartholomeo Lourenço de Gusmão (1686–1724), kapelan nadworny portugalskiego króla Jana V.

5 czerwca 1783 bracia Joseph Michel (1740-1810) i Jacques Étienne (1745-1799)



Rys. 8.1. Balon braci Montgolfier, 1783 r.

Montgolfier w Annonay dokonali pierwszej udanej próby wzlotu balonu papierowo-płóciennego (o średnicy około 12 m) „Ad Astra” (rys. 8.1), napelnionego gorącym powietrzem. Balon przeleciał 2336 m, unosząc się na wysokość około 1,8 km. Natomiast 27 sierpnia 1783 Jacques Alexandre Charles (1746-1823) wypuścił w powietrze z Champ de Mars w Paryżu pierwszy balon (o średnicy 4 m) napelniony wodorem.

19 września 1783 r. w Wersalu odbył się pierwszy załogowy lot. Bracia Montgolfier zbudowali balon na gorące powietrze, na pokładzie którego znalazły się baran, kogut i kaczka. Dzięki temu doświadczeniu próbowano ustalić, jaki wpływ na żywe organizmy będzie miała podróż powietrzna. Po tej próbie rozpoczęto przygotowania do lotu z udziałem ludzi.

15 października 1783 r. Jean François Pilâtre de Rozier (1754-1785) wzniósł się balonem na uwięzi na wysokość 26 m. Powodzenie tych doświadczeń zadecydowało o tym, że bracia Montgolfier przygotowali balon o pojemności 2000 m³, który mógł unieść dwie osoby. 21 listopada tego samego roku odbył się pierwszy w historii wolny lot balonu (rys. 8.2), na pokładzie którego znaleźli się Jean François Pilâtre de Rozier i François Laurent d’Arlandes (1742-1809).

Niedługo później Pilâtre postanowił pokonać balonem Kanał La Manche. Do tego

zadania zamierzał użyć balonu wykorzystującego zarówno gorące powietrze, jak i wodór. Po serii prób wraz z drugim śmiałkiem, Pierre’em Romainem, wystartował z Boulogne-sur-Mer 15 czerwca 1785 r. Po pomyślnym pokonaniu części dystansu, zmiana kierunku i siły wiatru zepchnęła balon z powrotem nad ląd, 5 kilometrów poza miejsce startu. Balon, z którego uszedł wodór, rozbił się nieopodal Wimereux. Obydwaj piloci zginęli. W miejscu tym wzniesiono później obelisk upamiętniający to wydarzenie. Na pamiątkę pioniera tego typu konstrukcji współczesne balony hybrydowe (wykorzystujące zarówno ogrzane powietrze, jak i gaz) nazywane są balonami Roziera.

Polska była jednym z pierwszych państw, w których rozpoczęto samodzielne eksperymenty w dziedzinie baloniarstwa. Już 12 lutego 1784 r. wypuszczono w przestrzeń powietrzną w Warszawie pierwszy polski balon. Dokonał tego nadworny chemik i mi-



Rys. 8.2. Pierwszy swobodny przelot balonem, 21 listopad 1783 r.

neralog królewski Stanisław Okraszewski (1744-1824). Balon, mający niespełna 1 m średnicy, został napełniony wodorem. Utrzymywany na linie, wzniósł się na wysokość około 180 m i pozostawał w powietrzu przez około 3 minuty. Przeniesiony następnie do wysokiej sali, utrzymywał się pod jej sufitem przez około godzinę. Próba ta odbyła się w obecności króla Stanisława Augusta Poniatowskiego (1732-1798) i licznych widzów.

Pierwszy w Polsce lot balonu załogowego odbył się zaś 10 maja 1789 r. Z ogrodu Foksal w Warszawie, w obecności króla Stanisława Augusta Poniatowskiego, wystartował aerostat pilotowany przez Francuza Jeana Pierre'a Blancharda (1753-1809), który wzniósł się na wysokość 2 km, a po 45 minutach wylądował w Białogłocie.

Pierwsze zastosowania balonów do celów wojskowych miały miejsce w czasie Wielkiej Rewolucji Francuskiej (1789-1799). 2 kwietnia 1794 r. Francuzi przystąpili do formowania pierwszego pododdziału żeglarzy powietrznych (tzw. Aérosters) – kompanii balonowej w składzie: kapitan, porucznik i podporucznik, 5 podoficerów, 25 szeregowych i 1 doboż. Jej dowódcą został kpt. Jean Marie Coutelle (1748-1835). Żołnierze kompanii nosili niebieskie mundury z czarnym kołnierzem i wyłogami oraz czerwonymi wypustkami. Na guzikach był umieszczony napis Aérosters. Kompania dysponowała początkowo balonem "L'Entreprenant" (Zuchwały), a następnie sześcioma balonami na uwięzi o średnicy 9,8 m. Balony te były używane do celów obserwacyjnych.

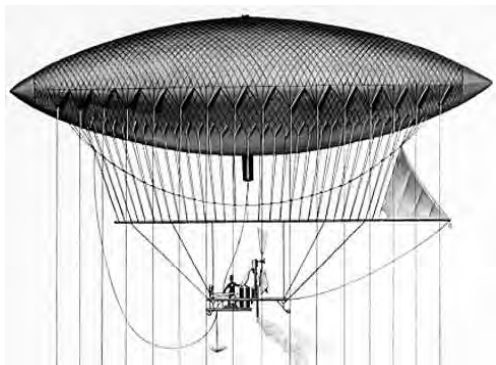
Balony były szeroko stosowane dla obserwowania i kierowania ogniem artylerii do końca I wojny światowej. W miarę rozwoju lotnictwa bombowego, zaczęto stosować balony zaporowe. Używane one były do osłony ważnych celów przed bombardowaniem do okresu II wojny światowej, m.in. w systemie obrony przeciwlotniczej Londynu podczas bitwy o Anglię.

8.1.2. Sterowiec

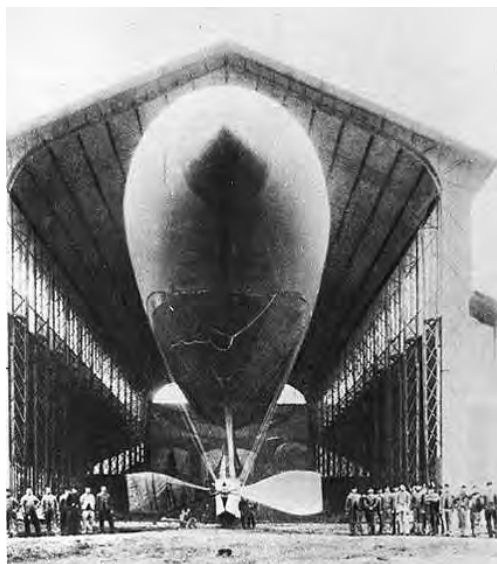
Sterowiec to aerostat z własnym napędem. Inżynier Henri Jules Giffard (1825-1882) opracował pierwowzór sterowca (rys. 8.3), był to balon wyposażony w śmigło napędzane maszyną parową o mocy 2,2 kW. 24 września 1852 r. wzniósł się on z hipodromu w Paryżu na wysokość 1800 m i pokonał 27-kilometrową trasę do Elancourt koło Trappes z prędkością około 8 km/h, ale tylko z wiatrem. Pod wiatr napęd parowy zawodził.

9 sierpnia 1884 r. w Chalais-Meudon kpt. Charles Renard (1847-1905) i kpt. Arthur Krebs (1850-1935) pokonali 7,6-kilometrową trasę sterowcem „La France” (rys. 8.4) z prędkością 5,5 m/s. Sterowiec o wydłużonym kształcie miał podwieszoną gondolę, na końcu której był zamocowany silnik elektryczny o mocy 6,6 kW ze śmigłem. Statkiem kierowano za pomocą steru. Ten sterowiec bez trudności przebywał żądane trasy. Zatem tę chwilę można uważać za początek ery komunikacji powietrznej.

Na początku XX wieku Niemiec Ferdinand von Zeppelin (1838-1917) skonstruował nowy rodzaj sterowca – "Luftschiff-Zeppelin I". Zamiast powłoki wypełnionej gazem, która zmieniała swój kształt, zastosował szkielet obciążony impregnowanym materiałem. Dzięki temu sterowiec stanowił solidną konstrukcję. Pierwszy Zeppelin (rys. 8.5) miał długość 128 m i średnicę 11,6 m. Jego napęd stanowiły dwa silniki spalinowe



Rys. 8.3. Sterowiec Giffard'a, 1852 r.



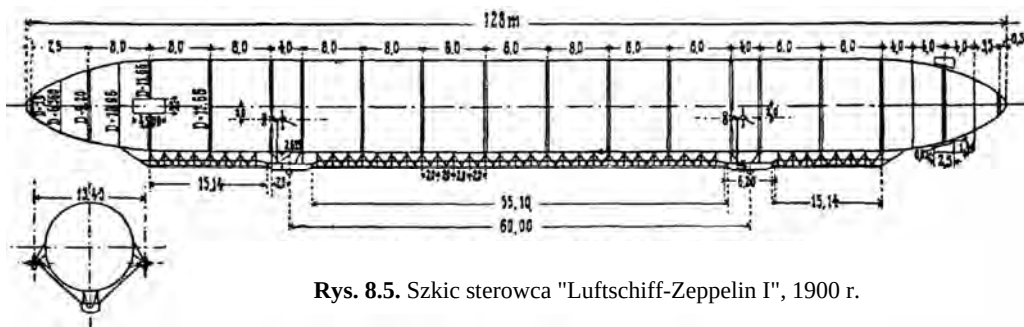
Rys. 8.4. Sterowiec „La France”, 1884 r.

"Daimler" o mocy 5 kW. 2 lipca 1900 r. o godz. 20 wzniósł się wraz z 5 osobami i 350 kg balastu, po czym wykonał 18-minutowy lot z Friedrichshafen nad Jezioro Bodeńskie. Już podczas drugiej próby uzyskał prędkość około 27 km/h. "Zeppelin I" nie był jeszcze zbyt udany. W 1906 roku powstał "Zeppelin II", który jednak w czasie lądowania rozbił się na skutek silnego wiatru. W tymże samym roku powstaje "Zeppelin III", tym razem udany. Przy pierwszej próbie unosi on 9 osób i 2500 kg ładunku, a następnego dnia przelatuje 110 km w ciągu 2,25 h.

Na początku I wojny Niemcy używali sterowców do bombardowania miast francuskich i angielskich. Po wojnie zapanowało

przekonanie, że maszynami tymi będzie można podróżować na szeroką skalę. Jeden ze sterowców „Graf Zeppelin” (rys. 8.6) w okresie od 1.08 do 4.09.1929 roku z kompletem pasażerów dokonał lotu dookoła świata. Wykonana trasa liczyła 49.618 km, sterowiec przebywał w powietrzu przez około 450 godzin (prawie 19 dni), uzyskując średnią prędkość podróżną ponad 100 km/h.

Największym sterowcem w historii był niemiecki LZ-129 „Hindenburg” (wraz z bliźniaczym LZ-130 „Graf Zeppelin II”). Wykorzystywany był on do przewozu przez Atlantyk pasażerów w luksusowych warunkach. „Hindenburg” miał długość 245 m, średnicę 41 m, zawierał 200000 m³ wodoru w 16 zbiornikach. Napędzany był 4 silnikami o mocy 1200 KM każdy, dzięki którym mógł rozwijać prędkość do 135 km/h. „Hindenburg” był zdolny do przewożenia 72 pasażerów (w rejsie transatlantyckim 50) oraz 61 osób załogi. Z powodów aerodynamicznych, pomieszczenia załogi znajdowały się wewnątrz sterowca, a nie w gondoli pod sterowcem. Ten statek powietrzny był przystosowany konstrukcyjnie do wypełnienia helem, ale z powodu embargo narzuconego przez USA został przerobiony na użycie wodoru, co nie stanowiło większego problemu, gdyż Niemcy miały doświadczenie z użyciem tego gazu. Żeby zapobiec zapaleniu gazu, poszyte sterowca było wykonane z materiału, który zapobiegał wyładowaniom elektrycznym. Na pokładzie sterowca znajdowała się również palarnia; pomieszczenie to było utrzymywane pod ciśnieniem, żeby zapobiec



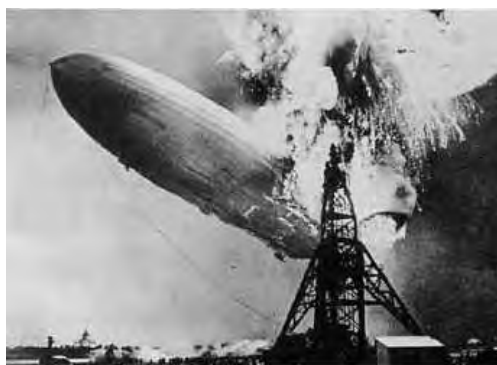
Rys. 8.5. Szkic sterowca "Luftschiff-Zeppelin I", 1900 r.



Rys. 8.6. Sterowiec LZ-127 „Graf Zeppelin” nad Gdańskiem

dostaniu się doń gazu palnego. „Hindenburg” spłonął 6 maja 1937 r. podczas cumowania na lotnisku w Lakehurst w USA (rys. 8.7). Zginęło wtedy 13 pasażerów i 22 członków załogi. Mimo ogólnego przekonania - większość załogi i pasażerów przeżyła. Również wiele z ofiar nie tyle zginęło w płomieniach, co zostało przygniecionych przez innych, skaczących ze statku pasażerów.

Po tej katastrofie zrezygnowano z szerzego wykorzystywania tych statków powietrznych. Obecnie sterowce stosuje się głównie jako obiekty reklamowe, a w ograniczonym stopniu jako latające dźwigi zwłaszcza tam, gdzie niemożliwe jest użycie śmigłowców.



Rys. 8.7. Sterowiec LZ-129 „Hindenburg” w płomieniach, 6.05.1937 r.

8.1.3. Latawiec

Latawiec to najstarszy znany przyrząd latający cięższy od powietrza. Ojczyzną latawców są Chiny. Znane były one już tam ok. 2 tysięcy lat p.n.e. Zapiski z tamtego okresu mówią o latawcu o obrysie prostokątnym wykonanym z 4 prętów pokrytych tkaniną mającym pęk wstążek spełniających rolę ogona - stabilizatora. Wedle starych zapisów chińskich, w 196 roku p.n.e. jeden z chińskich generałów wzniósł się w powietrze za pomocą wielkiego latawca. Od czasów dynastii Song (960-1279) puszczanie latawców stało się sportem narodowym Chińczyków. Obecnie każdego dziewiątego dnia miesiąca jest obchodzony w Chinach „Dzień Latawca”.

Wojska rzymskie już około 105 roku n.e. używały latawców jako proporców i wiatrowskazów. Szczególne znaczenie miały proporce – symbolizowały one siłę i sprawność wodzów, były jakby godłem oddziałów wojskowych. Dlatego przybierały kształty dzikich zwierząt i smoków, które miały z założenia budzić respekt (rys. 8.8). Podobne latawce o smoczych kształtach stosowali Tatarzy w bitwie pod Legnicą w 1241 roku. Ślady latawców w kształcie smoków i dzikich zwierząt można znaleźć również w Austrii, Włoszech, Anglii i Niemczech.



Rys. 8.8. Balon sygnałowy (latawiec) unoszony powietrzem gorącym, 1405 r.

8.1.4. Lotnia

Lotnia to urządzenie latające umożliwiające pilotowi niesienie, start i lądowanie tylko przy pomocy własnego ciała i nóg, przy wietrze czołowym poniżej 1 m/s (gdyby nie to ograniczenie, przy odpowiedniej prędkości wiatru możliwe byłoby utrzymanie w rękach także niektórych szybowców).

Historia lotniarstwa rozpoczęła się we wczesnych latach 50-tych, kiedy to Francis Rogallo (1912-2009) – syn polskiego emigranta Mateusza Rogali, opracował projekt skrzydła o kształcie delty (rys. 8.9), mającego umożliwić powrót na Ziemię lotem ślizgowym lądownikom NASA. Projekt został odrzucony, ale zajęli się nim prywatni pasjonaci – Amerykanie Bill Bennet i Dick Miller oraz Australijczycy Dave Kilbourn i Bill Moyes. Pierwszy lot górski na lotni odbył się z Góry Kościuszki w Australii.



Rys. 8.9. Próby NASA z lotnią projektu Francis Rogallo, 1964 r.

8.1.5. Szybowiec

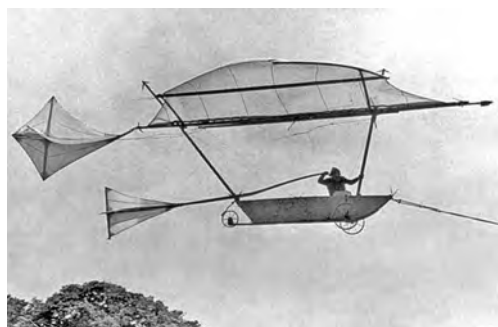
Szybowiec to statek powietrzny cięższy od powietrza, sterowany, bez napędu, unoszący się dzięki sile nośnej powstającej na skrzydłach podczas lotu ślizgowego. Szybowiec może wznosić się w górę, gdy jest ho-

lowany np. przez samolot lub, gdy znajdzie się w prądach wstępujących, które wznoszą się szybciej, niż szybowiec opada.

Prekursorem szybownictwa był Anglik George Cayley (1773-1857). W roku 1804 skonstruował szybowiec przypominający wyglądem latawiec. Miał on skrzydła odchylone ku górze na przedniej krawędzi oraz statecznik ogonowy. Wyodrębnił główne czynniki, mające wpływ na latanie, tzn. siłę nośną, napęd i sterowanie. Uwzględniając je podczas swoich prób skonstruowania maszyny latającej doprowadził do tego, że w rezultacie, jeden z jego asystentów w listopadzie 1809 roku wznosił się na krótko w powietrze, na zbudowanej maszynie latającej. Cayley sam również dokonał lotów ślizgowych na szybowcu własnej konstrukcji.

W roku 1853 Cayley zbudował pełnowymiarowy szybowiec – stałopłat (rys. 8.10), który podobno przetransportował przerażonego stangreta nad niewielką doliną Brompton Dale na odległość 460 metrów. Ponoć po tym fackie nieszczęśnik miał zrezygnować z posady, wyjaśniając: „Pragnę zwrócić Pańską uwagę, Sir, że najmowałem się do wożenia, a nie do latania”. W 150 rocznicę tego wydarzenia, zbudowano replikę szybowca, i wykonano na nim loty.

Ogromny wkład w rozwój szybownictwa włożył Otto Lilienthal (1848-1896), niemiecki konstruktor i oblatywacz pierwszych szybowców (lotni). Był on autorem opublikowanej w 1889 roku książki p.t. „*Lot ptaka jako podstawa sztuki latania*”. W swoim ży-



Rys. 8.10. Szybowiec Cayley'a, 1853 r.



Rys. 8.11. Otto Lilienthal przed pierwszym lotem (1891 r.) – rys. z lewej, oraz w trakcie lotu (1895 r.) – rys. z prawej

ciu Lilienthal zbudował około 18 konstrukcji szybowców.

Wynalazca ten przypinał sobie szybowiec do pleców, a następnie skakał ze stromej hałdy w dół (usypisko Lichterfelde w Niemczech) – rys. 8.11. Jego loty ślizgowe osiągały 300 m. Po sześciu latach nieustraszonego lotnika miał już za sobą 2000 lotów. Aż wreszcie nadszedł koniec (8 sierpnia 1896 r.). W czasie lotu nieoczekiwany podmuch wiatru przewrócił szybowiec, który runął jak kamień z wysokości 10 m. Lilienthal ze złamanym kręgosłupem zmarł nazajutrz.

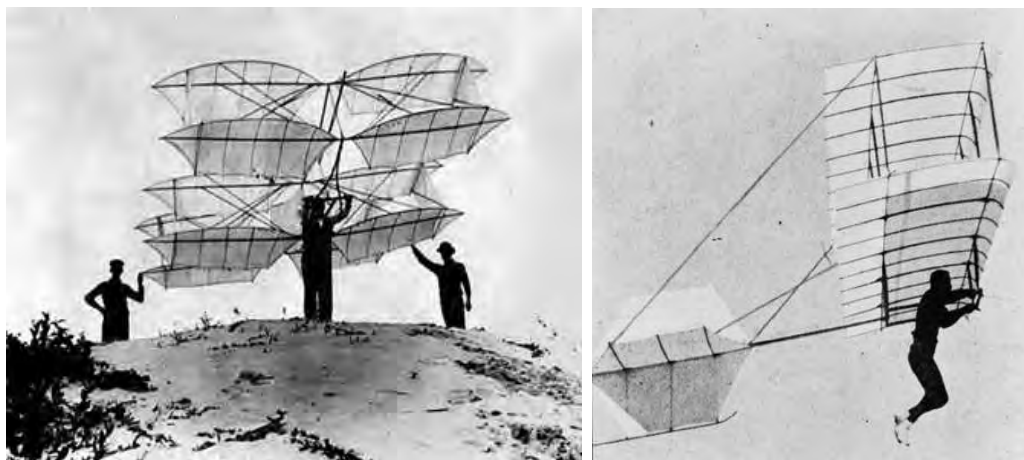
Dzieło Lilienthala kontynuuje profesor Uniwersytetu w Glasgow, Percy Sinclair Pilcher (1866-1899). Zbudowany przez niego szybowiec holowany był ze wzgórza w dół przez cwałującego konia do chwili „złapania

wiatru”, po czym statek „ślizgał” się już sam. Inną nowacją Pilchera było podwozie na kołach (rys. 8.12). Zuchwały Szkot miewał mawiać: „*Uważam się za ucznia Lilienthalla, mam nadzieję, że jednak nie spotka mnie jego nie-szczęśny los*”. Niestety 2.10.1899 roku zakończył życie w ten sam sposób co jego mistrz. Ciekawostką jest fakt, iż Pilcher’a uważa się za pierwszego człowieka, który mógł wykonać samodzielny i kontrolowany lot samolotem. Bowiem bezpośrednio przed katastrofą kończył on budowę pierwszego szybowca napędzanego silnikiem, a więc samolotu.

Ideę lotów bezsilnikowych podejmuje dalej Octave Chanute (1832-1910), amerykański inżynier kolejowo – mostowy. W starszym wieku z pasją zabrał się on do żegluga



Rys. 8.12. Szybowiec Pilchera, 1895 r



Rys. 8.13. Ewolucja szybowców Chanutea, od 12-płatowców (rys. z lewej) do 2-płatowców (rys. z prawej)

powietrznej. Jego szybowiec w późniejszej wersji był zręczniejszy niż Lilienthala: miał lepiej działający ster, a ponadto był dłuższy i smuklejszy, przez to lepiej zachowywał równowagę. Liczba płatów nośnych dochodziła początkowo do 12, potem (słusznie) zredukowano ją do dwóch (rys. 8.13). Na szybowcach skonstruowanych przez Chanute'a jego asystent Augustus Herring (1867-1926) wykonał ponad tysiąc lotów.

W tym samym okresie szybownictwem interesuje się Czesław Tański (1862-1942) - polski malarz, konstruktor lotniczy, pionier i popularyzator lotnictwa w Polsce. Pasją jego życia stało się lotnictwo. Pod wpływem wiadomości o próbach z szybowcem Otto Lilienthala, w 1895 zbudował własny szybowiec nazywany „Lotnia”, który później udoskonalał (rys. 8.14). Biegąc z „Lotnią” pod wiatr udawało mu się dokonywać krótkie skoki, aczkolwiek informacja jakoby udało mu się wykonać 30-metrowy lot, który miał być pierwszym w historii szybownictwa wzlotem z terenu płaskiego, jest prawdopodobnie przesadzona z uwagi na ograniczenia wynikające z jej konstrukcji. „Lotnia” została później przekazana do Muzeum Przemysłu i Techniki w Warszawie, gdzie niestety uległa zniszczeniu podczas obrony Warszawy we wrześniu 1939. Próby wzlotów Tańskiego

były pierwszymi próbami tego rodzaju w Polsce.

W związku z fascynacją lotami wykonywanymi za pomocą maszyn silnikowych (samolotów), która była następstwem udanych lotów braci Wright szybownictwo schodzi na dalszy plan. Z tego też powodu pierwsze liczące się konstrukcje szybowców pojawiły się dopiero w latach 20. XX wieku. Loty szybowcowe w owych czasach trwały zaledwie od kilku do kilkudziesięciu sekund i bardziej przypominały ślizgi niż prawdziwe latanie. Dopiero loty burzowe i termiczne stały



Rys. 8.14. Druga wersja lotni Tańskiego



Rys. 8.15. Nowoczesny, polski szybowiec „Diana-2”. Dane techniczne: rozpiętość 15 m, długość 6,88 m, wysokość 1,35 m, pow. nośna 8,64 m², masa 182 kg, max. masa startowa 500 kg.

się bodźcem do dalszego rozwoju sportu szybowcowego na świecie. Inspiratorami rozwoju szybownictwa były przede wszystkim Niemcy, Polska, USA i ZSRR. Lata dwudzieste zastały szybownictwo z wynikami: maksymalny przelot na odległość 7,5 km (w 1921 r.) i czas lotu 3,5 godz. (w 1922 r), ale dopiero lata trzydzieste przyniosły prawdziwy rozwój. Pojawiły się nowe, doskonalsze konstrukcje, na których możliwe było dokonywanie przelotów odległościowych i unoszenie się w powietrzu przez wiele godzin.

Początkowo większość ośrodków szybowcowych lokalizowanych było w górach. Start ze zbocza ułatwiał wzbicie się w powietrze. Pod koniec lat trzydziestych w związku z rozwojem techniki, szybowiska powstawać zaczęły także na terenach równinnych. Do startu szybowca zastosowano samolot, potem wyciągarki spalinowe oraz liny gumowe. Zwykle szybowce z owego czasu budowane były z drewna, płótna i wyposażane były jedynie w podstawowy zestaw przyrządów i urządzeń sterujących. Podwozia szybowców składały się najczęściej z płóz, a szkolenie adepta szybowcowego polegało na krótkiej nauce startu i lądowania, ślizgach na wysokość 3 m, następnie 15 m, by ostatecznie opanować loty po okręgu i zakręty. Od 1933 roku stosowany jest balast wodny do zmiany obciążenia powierzchni, od 1936 klapy, hamulce aerodynamiczne i chowane

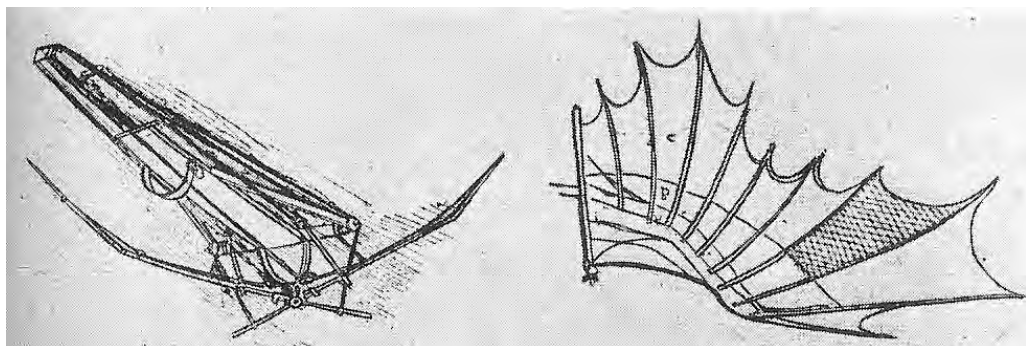
podwozie, a od 1950 roku stosuje się profile laminarne skrzydeł.

Współczesne szybowce mają znakomite osiągi, budowane są z laminatów węglowych i szklanych i zaliczane są do najbardziej efektywnie wyglądających statków powietrznych (rys. 8.15). Świadczą o tym m.in. rekordowe wyniki uzyskane w początku XXI wieku, takie jak: odległość przelotu ponad 3000 km, czas lotu 55 godz., pułap maksymalny 15000 m oraz średnia prędkość w locie na trasie znacznie przekraczająca 150 km/h.

8.1.6. Skrzydłowiec

Skrzydłowiec (ornitopter) to aerodyna napędzana ruchem powierzchni nośnych pracujących tak jak skrzydła u ptaków, napędzany zwykle pracą ludzkich mięśni (stąd też inna stosowana nazwa „mięśniolot”).

Idea naśladowania ptaków była jedną z pierwszych jaką zaczął rozważać człowiek myśląc o wzbiciu się w powietrze. Już Leonardo da Vinci (1452-1519) w książeczce z 1505 r. pt. „Kodeks ptasiego lotu” napisał, że: „Można by zbudować przyrząd, którym dałoby się wszędzie polecieć, gdyby się w nim siedziało i obracało maszynę, dzięki której skrzydła, kunsztownie z poszczególnych części złożone, uderzałyby powietrze na podobieństwo latającego ptaka”. Ten wybitny



Rys. 8.16. Latający przyrząd Leonarda da Vinci, ok. 1485 r.

uczony przedstawił także maszynę do latania (rys. 8.16), za pomocą której człowiek mógłby się poruszać w powietrzu. Jednakże w swojej działalności Leonardo ograniczył się wyłącznie do szkiców.

Pierwszy model skrzydłowca zdolny do lotu został wykonany we Francji w roku 1870 przez Gustawa Trouve (1839-1902). Model ten był zdolny do wykonania lotu na odległość 70 m. Dwadzieścia lat później Lawrence Hargrave (1850-1915) buduje szereg modeli skrzydłowców napędzanych parą oraz powietrzem sprężonym. Następnie prace zmierzające do skonstruowania skrzydłowca zdolnego do uniesienia człowieka są kontynuowane w początkach XX wieku (rys. 8.17), jednak bez powodzenia.

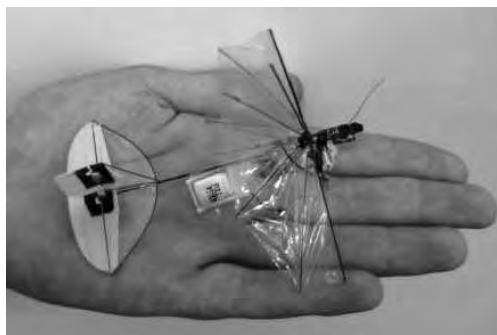
W ostatnich latach skonstruowano szereg modeli skrzydłowców zdolnych do kontrolowanego lotu. Przykładem są tu konstrukcje opracowane przez naukowców i studentów holenderskiej uczelni Technische Universiteit Delft. Pierwszy ich model, stworzony w 2005 (DelFly I) miał 50 cm długości. Później udało się zmniejszyć jego wymiary o połowę (rozpiętość skrzydeł 30 cm), w modelu DelFly II. Skrzydłowiec o masie prawie 17 g mógł poruszać się do przodu z prędkością wynoszącą prawie 50 km/h, pozostawać w zawisie, a nawet wykonywać powolny lot do tyłu. Czas pracy – w zależności od wykonywanych ewolucji – wynosił 8-15 minut. Następnie zespół badawczy stworzył najmniejszy produkt, "DelFly micro". Ornitopter ten ma długość jedynie 10 cm i jest niewiele

wiekszy od ważki (rys. 8.18). Jego masa wynosi jedynie 3 g, z tego litowo-polimerowa bateria waży 1 g, silnik 0,45 g, kamera wraz z transponderem 0,4 g, układ przeniesienia napędu 0,5 g, odbiornik sygnałów panelu sterowania lotem 0,2 g. Reszta, czyli szczątkowy kadłub oraz skrzydła i usterzenie, wykonane z folii poliestrowej i balsy – 0,52 g. DelFly micro może latać przez 3 minuty, nie dalej niż 50 m od operatora. W tym czasie obraz z kamery przekazywany jest do panelu kontrolnego. Ze względu na masę, skrzydłowiec może latać na razie wyłącznie w pomieszczeniach zamkniętych.

Równocześnie dalej prowadzone są badania zmierzające do opracowania pełnowymiarowego ornitoptera, którym mógłby latać człowiek. Prace w tym zakresie prowadzone są między innymi na Uniwersytecie w Toronto w Kanadzie. Zbudowany tam skrzy-



Rys. 8.17. Skrzydłowiec z 1902 roku



Rys. 8.18. Skrzydłowiec "DelFly micro"

dlowiec „UTIAS Ornithopter No.1” (rys. 8.19) 8 lipca 2006 roku przelatuje dystans 300 metrów w czasie 14 sekund. Dane techniczne tego skrzydłowca to: długość 7,47 m, rozpiętość skrzydeł 12,56 m, masa dopuszczalna 322 kg, załoga – 1 osoba, napęd – silnik König SC-430 o mocy 18 kW, prędkość przelotowa 82 km/h.



Rys. 8.19. Skrzydłowiec doświadczalny "UTIAS Ornithopter No.1", w czasie lotu

8.1.7. Samolot

Samolot to statek powietrzny cięższy od powietrza (aerodyna), utrzymujący się w powietrzu dzięki wytwarzanej sile nośnej za pomocą nieruchomych, w danych warunkach względem statku, skrzydeł. Ciąg potrzebny do utrzymania prędkości wytwarzany jest przez jeden lub więcej silników. Wyróżnia się przy tym dwa rodzaje napędu:

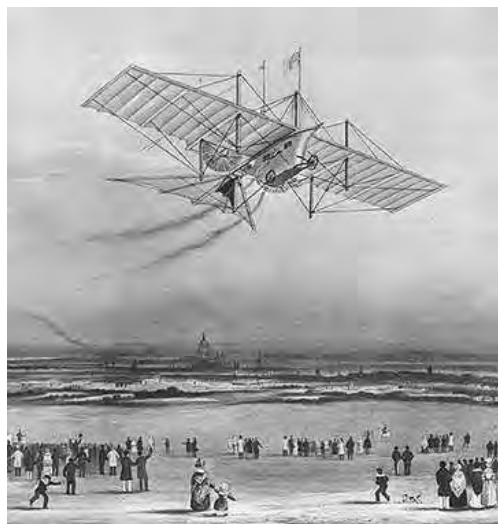
- śmigłowy, w którym moment obrotowy silnika zamieniany jest na ciąg za pomocą śmigła;
- odrzutowy, w którym ciąg wytwarzany jest bezpośrednio w silniku.

Modele latające samolotów

Jeszcze za życia prekursora szybownictwa Calyeya został opracowany (1843 rok) przez Anglika Williama Hensona (1812-1888) projekt wielkiego samolotu śmigłowego, o rozpiętości skrzydeł 45 m, napędzanego maszyną parową. Zupełną nowość stanowiły tutaj śmigła zaczerpnięte od wiatraków. Henson założył „Towarzystwo Żeglugi Powietrzno – Parowej” (rys. 8.20). Wypuszczono nawet akcje, które nie miały jednak wielu nabywców. Wynalazca wraz z Johnem Stringfellowem (1799-1883) zabrał się do budowy małego modelu samolotu. Jednak po 5 latach bezowocnych prób rezygnuje i wyjeżdża do Ameryki.

Dzieło Hensona samotnie kontynuuje John Stringfellow, który w roku 1848 stworzył pierwszy latający model samolotu (rys. 8.21). Silniczek stanowiła mała maszyna parowa pobierająca ciepło od lampki naftowej. Cylinderki miały zaledwie 2 cm średnicy. Samolot ten był jednak niestateczny i spadał na ziemię. Maksymalny zasięg lotu wynosił 40 m.

W późniejszych latach Alphonse Penaud (1850-1880) wpadł na pomysł, aby jako źródła energii użyć skręconą nić gumową



Rys. 8.20. Karta informująca o Towarzystwie Żeglugi Powietrzno - Parowej



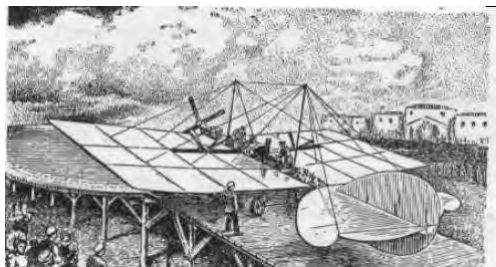
Rys. 8.21. Pierwszy model, który latał: samolotik Stringfellow'a, 1848 r.

(1871 r.). Ponadto, samolot Penaud'a odznacza się dobrą statecznością w locie, którą zawdzięcza specjalnie zakrzywionym powierzchniom sterowym. Wynalazca był pewny, że gdyby miał fundusze to mógłby sam zbudować dobry samolot zdolny do uniesienia człowieka. Niestety z powodu ich braku rozgoryczony Penaud wystrzałem z rewolweru odebrał sobie życie.

Samoloty, które oderwały się od ziemi

Twórcą pierwszego samolotu, który zapewne oderwał się na chwilę od ziemi był Aleksander Możajski z Rosji. Był on kapitanem marynarki i zaprojektował bardzo poprawną konstrukcję samolotu (1882 rok), zaopatrzonego w dwie maszyny parowe zamówione w Anglii i napędzające 3 śmigła (rys. 8.22). Większy z nich osiągał moc 20 KM przy masie 47,6 kg. Mniejszy o masie 28,6 kg miał zaś moc 10 KM przy 450 obr./min. Zastosowane maszyny okazały się jednak zbyt słabe i próby lotu całości konstrukcji były nieudane. Sam Możajski próbował zbudować później znacznie lepsze silniki, ale wobec braku funduszy nie doprowadził swego zamierzenia do końca.

Innym pionierem awiacji był Clément Ader (1841-1925), francuski inżynier. Pierw-



Rys. 8.22. Samolot Możajskiego, 1882 r.

szy samolot Adera - napędzany silnikiem parowym „Éole” ze skrzydłami w kształcie skrzydeł nietoperza - został zbudowany w latach 1882-1890. Choć przeleciał zaledwie 50 m, wystarczyło to, by zachęcić armię francuską do dalszych doświadczeń. Ader podjął i porzucił prace nad swym „Avion II”, po czym zbudował „Avion III” (rys. 8.23), z dwoma silnikami parowymi napędzającymi śmigła ciągnące. Z tego projektu zrezygnowano w 1897 r. po dwóch nieudanych próbach, wykonanych w obecności przedstawicieli wojska. „Avion III” był wyposażony w dwie maszyny parowe i dwa śmigła. Przy masie 23 kg, ciśnieniu pary 12-15 at. i 1100 obr./min osiągały one 22-23 KM mocy, co dawało 1,09 kg/KM (wskaźnik bardzo długo nie osiągalny w silnikach spalinowych). Układ obiegu wody był zamknięty, wyposażony w skraplacz z 1600 rurek miedzianych nad kadłubem, palniki spirytusowe, a napęd śmigieł był bezpośredni. Masa całkowita samolotu wynosząca 400 kg dawała przy tym bardzo korzystny wskaźnik obciążenia mocy



Rys. 8.23. Replika samolotu Adera „Aviation III”

rzędu 10 kg/KM.

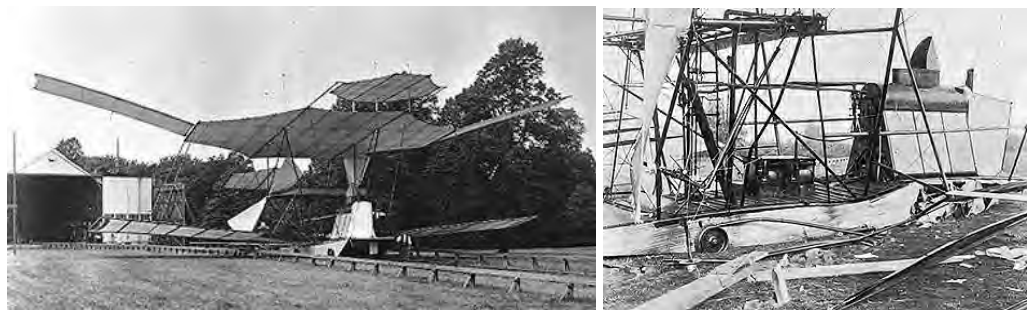
Po nieudanych próbach z samolotami Ader wraca do pracy w przemyśle i w roku 1898 publikuje książkę pod tytułem „*Taktyka wojny powietrznej*”. Nie było wtedy jeszcze ani jednego samolotu z własnym napędem, a w książce Adera roiło się od eskadr bombowców i samolotów myśliwskich. Francuski inżynier wykazał się lepiej jako prorok niż konstruktor maszyn latających.

W Anglii pasja lotnicza ogarnęła słynnego wynalazcę karabinu maszynowego Hiramia Maxima (1840-1916). Mając wielkie fundusze własne zbudował on dużą maszynę, o rozpiętości skrzydeł 31,5 m, której śmigła były napędzane maszyną parową. Z niezwykłą starannością obmyślił silnik parowy o mocy 360 KM. Kocioł składał się z leciutkich rurek metalowych, które opływał płomień naftowy. Wiele części silnika było pustych w środku, dzięki czemu Maxim osiągnął wagę silnika 3,6 kg na 1 KM jego mocy (był to wskaźnik lepszy niż u braci Wright). Niestety zupełnie zaniedbana była sprawa stateczności maszyny Maxima w locie. Konstruktor przewidując to umieścił samolot między 4 szynami: dwiema dolnymi do jazdy i 2 górnymi zabezpieczającymi maszynę przed uniesieniem do góry i zniszczeniem. Przy próbie nie zawiódł tylko silnik. Spisał się tak dobrze, że po kilkudziesięciu metrach siła udźwigu odebrała górne szyny, a cały samolot przewróciwszy się w powietrzu rozbił się o ziemię (rys. 8.24). Drugiej próby nie było.

Bracia Wright

Bracia Orville Wright (1871-1948) i Wilbur Wright (1867-1912), amerykańscy pionierzy lotnictwa, uważani są powszechnie za konstruktorów pierwszego udanego samolotu. Bracia Wright dorastali w Dayton w stanie Ohio w USA, gdzie od 1892 prowadzili wytwórnię i warsztaty rowerów Wright Cycle Company. Przejawiali przy tym zainteresowanie problematyką zbudowania maszyny latającej cięższej od powietrza, bazując na doświadczeniach wczesnych pionierów lotnictwa, takich jak Otto Lilienthal (1848-1896). Podobnie jak Lilienthal, bracia Wright początkowo budowali szybowce, sterowane za pomocą skręcania części skrzydeł. W 1900 roku w celu kontynuowania eksperymentów lotniczych przenieśli się do Kitty Hawk w Karolinie Północnej, gdzie były dobre warunki do testów lotniczych wynikające z silnych wiatrów. 23 marca 1903 r. złożyli wniosek o patent (przyznany 22 maja 1906 r., U.S. patent no 821393) na swój sposób sterowania maszynami latającymi, stworzony przy pomocy i finansowym udziale Alexandra G. Bella (1847-1922).

W 1903 roku zbudowali swój pierwszy samolot „Wright Flyer”, napędzany silnikiem spalinowym skonstruowanym przez Charlie Taylora (1868-1956). 14 grudnia 1903 Wilbur Wright dokonał pierwszej próby lotu ze wzniesienia, na odległość 36 metrów (nie do końca udanej i zakończonej lekkim uszkodzeniem samolotu). Następne próby miały



Rys. 8.24. Samolot Maxima (rys. z lewej) oraz jego pozostałości (rys. z prawej) po nieudanej próbie lotu dokonanej w dniu 31.07.1894 r.



Rys. 8.25. Samolot braci Wright w czasie prób wykonywanych 17 grudnia 1903

miejsce 17 grudnia 1903 r. (rys. 8.25). Tego dnia, ok. godziny 10³⁵, Orville Wright wzbił się w powietrze na samolocie i dokonał lotu na odległość 39 metrów (120 stóp), trwającego 12 sekund. W czwartym locie tego dnia, Wilbur Wright przeleciał 279 metrów w czasie 59 sekund - rys. 8.25.

Po próbach w Kitty Hawk bracia Wright powrócili do Dayton, gdzie w 1904 roku kontynuowali loty na polu wzlotów Huffman Prairie. Ponieważ pierwszy samolot Wrightów był zbyt słaby, aby sam wystartować w przypadku braku sprzyjającego przeciwnego wiatru, to tym razem bracia startowali za pomocą katapulty. Pod koniec roku bracia Wright doszli do lotów o długości 5 minut. W 1904 i 1905 roku przeprowadzili oni ponad 80 lotów z Huffman Prairie. 5 października 1905 Wilbur odbył lot trwający 39 minut, pokonując 24 1/2 mili. Pokazom tym asystowali sąsiedzi i miejscowa prasa.

Bracia stali się jednak sławni dopiero w latach 1908-1909, kiedy to Wilbur zademonstrował samolot w Europie, a Orville zaprezentował go Armii USA w Forcie Myer. 14 maja 1908 r. bracia Wright dokonali pierwszego lotu z pasażerem - był nim Charlie Furnas (1880-1941). 17 września 1908 r., podczas prezentacji samolotu wojsku, doszło do katastrofy wskutek urwania się śmigła - śmierć poniósł oficer Thomas Selfridge (1882-1908), stając się pierwszą ofiarą wypadku lotniczego, natomiast Orville został

ranny. Pod koniec 1908 r. Wilbur Wright we Francji zabrał na pokład samolotu pierwszą pasażerkę - kobietę, panią Hart O. Berg. 29 września 1909 roku Wilbur samolotem Flyer III okrążył Statuę Wolności w Nowym Jorku.

Inni pionierzy lotnictwa

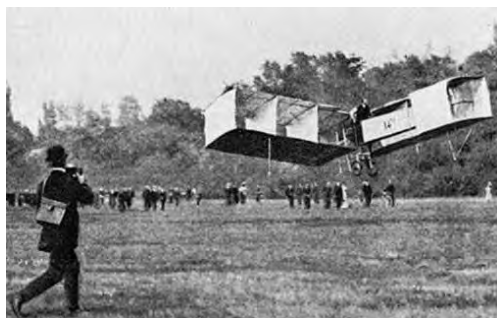
Osobą, która mogła wyprzedzić braci Wright w wyścigu kończącym się pierwszym lotem człowieka był profesor fizyki Samuel Pierpont Langley (1834-1906). Zaprezentował on w dniu 11.10.1896 r. władzom wojskowym USA wielki model dwupłatowca o rozpiętości skrzydeł 4 m, wyposażony w mały silnik parowy. Po pomyślnych próbach, podczas których samolot przeleciał w ciągu 1,5 minuty ponad 1600 metrów, wynalazcy przyznano 50.000 dolarów na budowę prototypu samolotu. Po kilku latach prób powstał wreszcie samolot z 5 cylindrowym 52 konnym silnikiem gwiazdzistym, skonstruowanym przez Charlesa Manly'ego (1876-1927), który był również pilotem. Próbnego lotu dokonano 7.10.1903 r. na rzece Potomac, wyrzucając samolot z katapulty na statku (rys. 8.26). Pechowo katapulta zawiodła i samolot rozbił się. Manly'ego z trudem uratowano przed utonięciem. Nie powiodła się też próba następna dokonana 8.12.1903 r. i wojsko zrezygnowało z finansowania dalszych doświadczeń. Langley nie zniósł porażki i ostatnie lata życia spędził w zakładzie dla umysłowo chorych. W roku 1912 przecho-



Rys. 8.26. Pierwsza kraksa samolotu Langley'a, 7.10.1903 r.

wywany w muzeum samolot Langleya zaopatrzono w pływak i wykazano, że jest zdolny do lotu, w ten sposób został on prototypem hydroplanu.

Innym pionierem lotnictwa był Brazylijczyk Alberto Santos-Dumont (1873-1932). W wieku 18 lat wyjechał on z rodzicami do Paryża, gdzie zamieszkał. Interesował się tam żywo nauką i osiągnięciami techniki. W 1904 r. Santos-Dumont pojechał na wystawę do USA. Dowiedział się tam między innymi o sukcesach braci Wright. Pod ich wpływem, od 1906 r. sam przystąpił do konstrukcji samolotów. 23 października 1906 r. samolotem swojej konstrukcji No. 14-bis, Santos-Dumont przeleciał odległość 60 m, zdobywając nagrodę ufundowaną za przelot na odległość co najmniej 25 m. 12 listopada tego samego roku przeleciał odległość 220 m. Wprawdzie były to dystanse mniejsze, niż osiągane przez braci Wright, niemniej jednak stanowiły one



Rys. 8.27. Santos-Dumont w samolocie No 14-bis, 1906 r.

pierwszy europejski rekord długości przelotu. Jego samolot No. 14-bis był samolotem dwupłatowym w układzie kaczka, o skrzydłach zbudowanych na zasadzie latawca skrzynkowego, z silnikiem o mocy 50 KM, napędzającym śmigło pchające (rys. 8.27).

Warto również wspomnieć o Louisie Bleriot (1872-1936), który jako pierwszy przeleciał nad kanałem La Manche (25.07.1909 r.). Jednopłat Bleriot'a (rys. 8.28) był napędzany trzycylindrowym silnikiem Anzani o mocy 25 KM. Motorek ów nie był cudem techniki, po kilkunastu minutach pracy przegrzewał się i tracił obroty. Lot nad kanałem trwał 37 minut, a lądowanie wypadło na łąkach koło Dover, na szczycie wysokiego, kredowego klifu. Tego dnia przelotu La Manche miało próbować trzech pilotów: Hubert Latham (1883-1912) na Antoinette, Bleriot oraz hrabia Charles de Lambert (1865-1944) z maszyną Wright. Latham próbował przelotu kilka godzin przed Bleriotem, ale musiał wodować 15 kilometrów od brzegu. Natomiast de Lambert na wieść o sukcesie Bleriota oświadczył, że za żadne pieniądze nie chce być drugim, po czym poszedł do domu.

W naszym kraju w początku XX wieku powstała Komisja Stowarzyszenia Techników (w Warszawie), która miała zaznajomić się ze sportem lotniczym. Utworzyła ona Koło Awiatorów. Na jednym z pierwszych spotkań Koło przyjęło do realizacji projekt pierwszego polskiego samolotu, autorstwa Czesława Zbierańskiego (1885-1982) - rys. 8.29. Samolot (dwupłat) budowano z rur stalowych, skrzydła o rozpiętości 10 m były



Rys. 8.28. Samolot Bleriot'a, 1909 r.



Rys. 8.29. Czesław Zbierański ze swoim samolotem przed hangarami Aviaty na Polu Mokotowskim

kryte płótnem. Maszyna wyposażona była w silnik ENV 40 KM, widlasty 8 cylindrowy, chłodzony wodą. Budowę rozpoczęto siłami konstruktora i Stanisława Cywińskiego (1884-1939) w warsztatach Krzemińskiego na Solcu, potem przeniesiono do hangaru Aviaty. Samolot oblatano pod koniec 1910, a próba oficjalna odbyła się latem 1911 roku.

Osiągnięcia przed I wojną światową

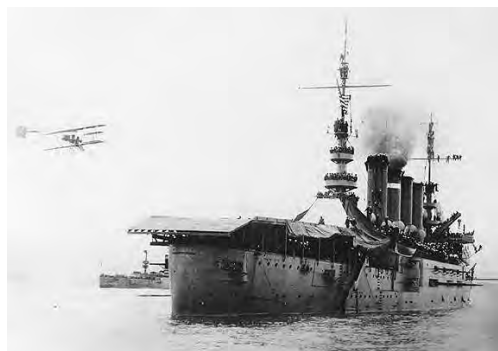
W roku 1910 powstał pierwszy w świecie samolot z silnikiem odrzutowym, zbudowany przez rumuńskiego konstruktora Henriego Coandę (1886-1972) - rys. 8.30. Samolot ten był wyposażony w opracowany przez Coandę prymitywny silnik odrzutowy. Silnik ten, nazwany przez Coandę „Reaction Motor” składał się z silnika tłokowego o mocy 50 KM, który napędzał nie śmigło, ale sprężarkę. Za sprężarką znajdowały się komory spalania, do których wstrzykiwane było paliwo, które ulegało spalaniu po zmieszaniu ze sprężonym powietrzem. Rozprężające się gazy wylotowe generowały ciąg rzędu 2,2 kN. Samolot odbył swój pierwszy i jedyny lot 16 grudnia 1910 r. Niestety podczas lotu zapalił się. Na szczęście pilot przeżył.



Rys. 8.30 Pierwszy samolot odrzutowy Coanda, 1910 r.

Inne ważniejsze wydarzenia związane z rozwojem lotnictwa przed I wojną światową, podane w formie kalendarium, przedstawiają się w sposób następujący:

- ❑ **1910 r.** - Jorge Chavez (1887-1910) przelatuje nad Alpami i przy okazji ustanawia rekord wysokości lotu wynoszący 2587 m n.p.m.
- ❑ **1911** - Eugene Ely (1886-1911) na samolocie Curtiss startuje z pokładu krążownika Pennsylvania, po czym ląduje na nim (rys. 8.31). W tym samym roku Adolf Warchałowski (1886-1952) na Farmanie ustanawia rekord długotrwałości lotu z trzema pasażerami - 45 minut i 46 sekund.
- ❑ **1912** - Elmer Sperry (1860-1930) konstruuje pierwszy model autopilota, urządzenia w którym siły z żyroskopu są wzmacniane i zamieniane na wychylenia powierzchni sterowych. Pierwszy autopilot Sperry'ego umożliwiał utrzymanie kursu i wysokości bez udziału pilota.
- ❑ **1912** - Jules Vedrines (1881-1919) na samolocie Deperdussin osiąga w locie poziomym prędkość 145 km/h - tyle co najszybszy ptak, jerzyk amerykański.
- ❑ **1913** - Roland Garros (1888-1918) przelatuje nad Morzem Śródziemnym, pokonując odległość 760 km. Elmer Sperry (1860-1930) buduje pierwszy autopilot stosowany do automatycznego sterowania samolotem. Natomiast Rosjanin Piotr



Rys. 8.31. Lot z pokładu krążownika „Pennsylvania”, 18.01.1911 r.



Rys. 8.32. Ilija Muromiec G-II, 1918 rok

Niestierow (1887-1914) jako pierwszy wykonuje pętlę, a Francuz Adolphe Pegoud (1889-1915) beczkę, korkociąg i ślizg.

Największym samolotem zbudowanym przed I wojną światową był Ilija Muromiec (rys. 8.32), skonstruowany przez Igora Sikorskiego (1889-1972). W 1914 roku ten czterosilnikowy samolot przeleciał dystans 700 km w czasie 8 godzin. Muromiec mógł zabrać na pokład 10 pasażerów. W czasie pierwszej wojny światowej kilka tych maszyn zostało przebudowanych na bombowce, przenoszące do 500 kg bomb. Ogółem wyprodukowano ok. 80 sztuk tych maszyn.

I wojna światowa

W roku 1915 Hugo Junkers (1859-1935) projektuje samolot J-1, pierwszy całkowicie metalowy dolnopłat. W czasach dominacji kratownicowych dwupłatów, krytych płótnem i krzyżowanych odciągami z drutów fortepianowych, jest to pomysł wizjonerski. J-1 (rys. 8.33) to pierwszy w świecie bojowo zastosowany samolot rozpoznawczy wykonany z blachy falistej.

W kolejnym roku wojny (1916 r.) Włosi ustawiają pierwszą przeciwlotniczą zaporę



Rys. 8.33. J-1, pierwszy samolot wykonany z blachy

balonową, która miała chronić Wenecję przed austriackimi nalotami. W tym czasie oddano także do użytku pierwszy „prawdziwy” lotniskowiec, brytyjski „Furious”, z którego mogły operować samoloty z podwoziem kołowym. Ponadto, na jednym z brytyjskich samolotów B.E.2 zastosowano pierwsze urządzenie ostrzegające o bliskości gruntu. Była to piętnastometrowa linka z ciężarkiem, zwisająca pod lądującym samolotem. Kiedy ciężarek zaczynał podskakiwać na gruncie, w kokpicie dzwonił dzwonek. W założeniu miało to ułatwiać lądowanie w nocy.

W czasie I wojny światowej wykształciły się samoloty bombowe oraz myśliwskie. Wprawdzie po raz pierwszy samolot został wykorzystany przez Włochów do bombardowania już w listopadzie 1911 r. podczas konfliktu z Turcją w Afryce Północnej (rzucano wtedy ręcznie cztery małe bomby z samolotu Etrich Taube na żołnierzy tureckich). Jednak dopiero w latach 1915-1916 zaczęły się pojawiać samoloty specjalnie przystosowane do bombardowania. W 1917 r. powstały nowe udane konstrukcje lekkich bombowców, takie jak francuskie Breguet XIV i Salmson 2, brytyjskie DH.4 i następnie DH.9 (rys. 8.34). W odróżnieniu od Ententy, w dziedzinie lekkich samolotów, Niemcy przede wszystkim budowali dwupłatowe wielozadaniowe samoloty rozpoznawczo-bombowe, używane także do bombardowania. Były to samoloty kategorii „C”, zwłaszcza Albatrosy. W I wojnie światowej wprowadzono też bombowce średnie i ciężkie. Z samolotów średnich najbardziej znane stały się niemieckie dwusilnikowe bombowce serii



Rys. 8.34. Bombowiec brytyjski DH.9



Rys. 8.35. Brytyjski bombowiec Handley Page V/1500, o rozpiętości skrzydeł 38,4 m, który nie zdążył wziąć udziału w I wojnie światowej

Gotha G.II – G.VI i Friedrichshafen G.III, powstałe już w latach 1915-16, przenoszące od 300 do 900 kg bomb, które razem z ciężkimi bombowcami, używane były do strategicznych bombardowań Londynu.

Państwa Ententy używały średnich bombowców na małą skalę. Dość licznie rozwijane były natomiast przez nie bombowce ciężkie (począwszy od rosyjskiego czterosilnikowego Ilia Muromiec z 1914 r.). Największe bombowce budowali w czasie wojny Niemcy, były to SSW R i seria wielkich Staaken R o udźwigu 1000-2000 kg bomb. Później niż inni do budowania ciężkich bombowców przystąpili Brytyjczycy, tworząc udane samoloty Handley Page O (1916 r.) oraz wielkie Handley Page V/1500 (rys. 8.35) o rekordowym udźwigu bomb 3300 kg, które jednak nie zdążyły wziąć udziału w wojnie.

Odnosnie samolotów myśliwskich można stwierdzić, że walki powietrzne miały swe korzenie już w spotkaniach samolotów zwiadowczych stron przeciwnych, walczących na początku I wojny światowej. Spotkania takie miały najpierw charakter pokojowy i kończyły się zazwyczaj pozdrowieniem, pomachaniem skrzydłami, wkrótce jednak przeistoczyły się one w próby wzajemnego strącenia przeciwnika. Pierwsze sposoby niszczenia wrogich samolotów polegały na użyciu lin zakończonych kotwicami, którymi próbowano zaczepić nieprzyjacielską maszynę. Używano też broni ręcznej takiej jak rewolwery, karabiny powtarzalne oraz granaty. W momencie, gdy dowództwa walczących stron zdały sobie sprawę ze znaczenia

zwiadu powietrznego przeprowadzanego przez samoloty i sterowce, zrozumiano, jak ważną kwestią jest jednoczesne uniemożliwienie nieprzyjacielowi zdobywania informacji analogicznym sposobem.

Pierwszym wykorzystanym bojowo, podczas I wojny światowej samolotem myśliwskim był Vickers FB.5 Gunbus, zbudowany specjalnie do prowadzenia walk powietrznych przez brytyjską wytwórnię lotniczą Vickers Limited. FB.5 był dwumiejscowym dwupłatem ze śmigłem pchającym, uzbrojonym w jeden karabin maszynowy (rys. 8.36). Natomiast pierwszą maszyną z karabinem strzelającym przez śmigło był francuski samolot Morane-Saulnier L (rys. 8.37), w którym pionier francuskiego lotnictwa Roland Garros (1888-1918) zastosował własne rozwiązanie polegające na zainstalowaniu na łopatach śmigła stalowych klinów odbijających uderzające w nie pociski. Chociaż nie było to rozwiązanie idealne, to skuteczność tego myśliwca była znacznie większa niż innych maszyn. Rozwiązanie Garrosa dostało się w ręce Niemców, po zestrzeleniu jego maszyny poza linią frontu.



Rys. 8.36. Pierwszy samolot myśliwski Vickers FB.5 Gunbus

Następnie Anton Fokker (1890-1939), zainspirowany urządzeniem skonstruowanym w 1913 r. przez szwajcarskiego inżyniera Franza Schneidera, zbudował bardziej niezawodny system strzelania – synchronizator – umożliwiający oddawanie strzałów bez możliwości uszkodzenia śmigła.



Rys. 8.37. Morane-Saulnier L - francuski jedno lub dwumiejscowy myśliwiec w konfiguracji parasol zbudowany przez Aéroplanes Morane-Saulnier w 1914 roku i używany w początkowym okresie I wojny światowej (tu w barwach niemieckich, po zdobyciu)

Okres międzywojenny

W 1919 roku po raz pierwszy zastosowano samolot do komunikacji powietrznej na linii regularnej. Dokonało tego niemieckie towarzystwo lotnicze „Luftreederei”, które otwarło linię lotniczą na trasie Berlin - Lipsk - Weimar. Miało to miejsce 5 lutego 1919 roku. Wkrótce powstały linie lotnicze w innych krajach.

W Polsce Wydział Lotnictwa Cywilnego w Ministerstwie Komunikacji opracował program gruntownych zmian polskiej komunikacji lotniczej - likwidacja wszystkich prywatnych firm lotniczych (Aerolot, Aero-targ, Aerolloyd i.in., z których najstarsze pochodziły z 1921 r). W ich miejsce - 29 grudnia 1928 roku - powstało jedno przedsiębiorstwo państwowo - samorządowe Linje Lotnicze LOT sp. z o.o. (rys. 8.38).

W 1919 roku nowojorski magnat hotelowy Raymond Orteig (1870-1939) ufundował nagrodę w wysokości 25.000 USD za pierwszy samotny przelot nad Oceanem Atlantyckim, pomiędzy Nowym Jorkiem a

Paryżem bez międzylądowań. Pierwszymi śmiałkami byli francuscy weterani I wojny światowej - kapitan Charles Nungesser (1892-1927) i jego nawigator François Coli (1881-1927). Wystartowali oni 8 maja 1927 roku samolotem Levasseur PL 8 nazwanym "L'Oiseau Blanc" (Biały Ptak). Ostatni zanotowany kontakt z nimi miał miejsce, gdy przelatywali nad wybrzeżem Irlandii. Samolot nie dotarł jednak do Paryża, nie ustalono miejsca ani przyczyny katastrofy. Próby przelotu nad Atlantykiem podejmowali się także Rene Fonck (1894-1953), Clarence Chamberlin (1893-1976) i admirał Richard E. Byrd (1888-1927).

Pierwszym, któremu udało się przelecieć nad oceanem był Charles Lindbergh (1902-1974). Wystartował on z Roosevelt Airfield (Garden City, stan Nowy Jork) 20 maja 1927 roku, a w Paryżu wylądował 21 maja po 33,5 godzinach lotu. Lecił na jednosilnikowym samolocie "The Spirit of St. Louis" (rys. 8.39) zaprojektowanym przez Donalda Halla (1898-1968) i zbudowanym przez Royal Aeronautical Company z San Diego, Kalifornia. Za swój wyczyn Charles Lindbergh otrzymał order Legii Honorowej z rąk prezydenta Francji. W drodze powrotnej amerykańska flota wojenna eskortowała go do Waszyngtonu, gdzie prezydent Calvin Coolidge (1872-1933) odznaczył go Krzyżem Wybitnej Służby Lotniczej (ang. Distinguished Flying Cross). Było to 11 czerwca 1927 roku.



Rys. 8.38. Plakat zachęcający do korzystania z PLL LOT



Rys. 8.39. „The Spirit of St. Louis”, samolot na którym Lindbergh dokonał przelotu nad Atlantykiem, 1927 r.

Innym wyzwaniem było wykonanie, pierwszego w historii, udanego przelotu aeroplanem nad najwyższą górą świata Mount Everestem. Dokonała tego 3 kwietnia 1933 roku brytyjska wyprawa, pod dowództwem porucznika Stewart Blacker’a (1887-1964). Ekspedycja była sponsorowana przez Lucy, Lady Houston (1857-1936), wspierana przez słynnego pisarza, członka ówczesnego parlamentu Johna Buchana (1875-1940) oraz RAF. Ekspedycja używała unikalnego, eksperymentalnego dwupłatowca Westland PV3 (rys. 8.40), później nazwanego Houston-Westland oraz samolotu Westland Wallach.

W okresie międzywojennym polskie lotnictwo zapisało swe złote karty. W roku 1926 por. pilot Bolesław Orliński (1899-1992) z mechanikiem sierż. Leonardem Ku-



Rys. 8.40 Członkowie ekspedycji z 1933 roku, na tle samolotu Westland PV3

biakiem wykonali przelot na trasie Warszawa - Tokio – Warszawa (22 600 km). W powietrzu spędzili łącznie 121 godz. i 16 minut. Tego wyczynu dokonali bazując na przydzielonym im do dyspozycji, przez władze wojskowe, lekkim jednosilnikowym bombowcu (w ówczesnej terminologii samolocie liniowym) Breguet XIX z 12 -cylindrowym silnikiem Lorraine-Dietrich LD-12eb o mocy 450 KM. Wykorzystany samolot nie był poddany żadnym przeróbkom i poleciał w trasę w swoim „regulaminowym” stanie.

Innymi polskimi pionierami lotnictwa w międzywojniu byli Franciszek Żwirko (1895-1932) i Stanisław Wigura (1903-1932), którzy w 1929 r. na RWD-2 wykonali lot dookoła Europy (5000 km, trasa: Warszawa – Erfurt – Paryż – Barcelona – Wenecja – Warszawa). W 1932 r. piloci ci startując na RWD-6 (rys. 8.41) zwyciężyli w międzynarodowych zawodach samolotów turystycznych w Berlinie. W tym samym roku zginęli obaj śmiercią lotników w Cierlicku (Czechy).

Wybitnym polskim lotnikiem tego okresu był Stanisław Skarżyński (1899-1942). Pilot ten w okresie od 27 kwietnia do 8 maja 1933 roku lecąc samotnie na zwykłym turystycznym RWD-5 bis (wposażonym w dodatkowe zbiorniki paliwa) wykonał przelot z Warszawy przez Poznań, Lipsk, Frankfurt, Lyon do Saint Louis w Senegal. Następnie przeleciał przez południowy Atlantyk, lądując w Maceio w Brazylii, powtarzając tym



Rys. 8.41. RWD-6, polski samolot turystyczno-sportowy, konstruowany przez zespół konstrukcyjny RWD specjalnie na zawody Challenge w 1932 roku



Rys. 8.42. Heinkel He 178 z napędem turboodrzutowym zalicza pierwszy lot w dniu 27.08.1939

samym lot Costesa i Le Brix z roku 1927 (Francuzi lecieli na znacznie potężniejszym Breguecie XIX GR). Zawiadowca lotniska w Maceio był ciężko zdumiony nie samym przelotem samolotu, lecz faktem że Skarżyński był ubrany w garnitur i kapelusz, zamiast obowiązkowego skózanego kombinezonu i hauby. Pokonując trasę 3160 km bez lądowania, Skarżyński pobił ówczesny rekord odległości dla samolotów turystycznych o masie własnej do 450 kg, za co otrzymał medal Ble-riota.

W okresie międzywojennym angielski konstruktor Frank Whittle (1907-1996) opatentował silnik turboodrzutowy. Człowiek ten wpadł na pomysł działania silnika odrzutowego w roku 1928 i w roku 1937 zbudował jego prototyp. Natomiast pierwszy udany samolot odrzutowy Heinkel He 178 został zbudowany w Niemczech przez Ernsta Heinkela (1888-1958) w roku 1939 (rys. 8.42). Jednak nie zdobył on zainteresowania. W zasadzie w pełni silnik turboodrzutowy wykorzystano dopiero w Me 262, powstałym pod koniec II wojny światowej.

II wojna światowa

W czasie II wojny światowej samoloty odegrały rolę dominującą.

Największą kampanią powietrzną stoczoną wówczas była tzw. „Bitwa o Anglię”, która rozegrała się w okresie od 10 lipca do 31 października 1940 roku. Była to pierwsza kampania stoczona między Anglikami a Niemcami wyłącznie za pomocą lotnictwa (rys. 8.43). W efekcie działań bojowych Niemcy stracili 1733 samoloty, a ok. 650 zostało uszkodzonych - było to 52% stanu Luftwaffe z lipca 1940 r., straty ludzkie

wyniosły 2500 poległych i wziętych do niewoli oraz 1000 rannych lotników. Brytyjczycy stracili natomiast 915 samolotów, a ok. 450 zostało uszkodzonych - wynosiło to ok. 135% stanu z lipca 1940 r. Śmierć poniosło 544 pilotów brytyjskich, a 500 zostało rannych. W czasie bitwy o Anglię wykorzystywano doświadczenia Polaków w łamaniu wiadomości szyfrowanych przez Enigmę, co pozwoliło na poznanie wielu niemieckich tajnych planów. Dużą rolę w przewidywaniu kierunków niemieckich nalotów odegrały również stacje radarowe.

W bitwie o Anglię w składzie RAF walczyły 2 polskie dywizjony myśliwskie (302 i 303) oraz 81 polskich pilotów w dywizjonach brytyjskich, w sumie 144 polskich pilotów (poległo 29 z nich), co stanowiło 5% ogółu pilotów RAF biorących udział w bitwie. Polacy zestrzelili około 170 samolotów niemieckich, uszkodzili 36, co z kolei stanowiło około 12 % strat Luftwaffe. Dywizjon 303 był najlepszą jednostką lotniczą, biorącą udział w bitwie o Anglię. Zgłosił on zestrzelenie aż 126 maszyn Luftwaffe. Ciekawostką jest fakt, iż sierżant Stanisław Karubin (1915-1941) z dywizjonu 303 strącił niemiecki samolot, mimo że nie miał już amunicji. W czasie pościgu za hitlerowskim samolotem Polakowi zabrakło amunicji do karabinów. Zatem wyprzedził on pilota nieprzyjacielskiego, nakręcił samolotem i wyszedł wprost naprzeciw wroga. Obydwaj piloci lecieli na siebie na małej wysokości i minęli się w od-



Rys. 8.43. Bombowiec Heinkel He 111 nad Londynem, 7 wrzesień 1940 r.



Rys. 8.44. Hawker Hurricane. Dane techniczne (wersja MK1 z 1937 r.): silnik: Rolls-Royce Merlin III o mocy 1030 KM; rozp./dł./wys.: 12,2/9,59/3,96 m; masa startowa: 2994 kg; $v_{max.}$: 520 km/h; pułap: 10900 m; zasięg: 965 km; uzbrojenie: karabiny maszynowe 8x 7,7 mm

ległości ok. 1 metra. Niemiec, który chciał się usunąć z drogi Karubinowi w efekcie wykonywanego manewru spadł na ziemię.

W uznaniu za zasługi w obronie Anglii Polacy byli uznawani przez dowództwo RAF-u jako „*The best, of the best*”.

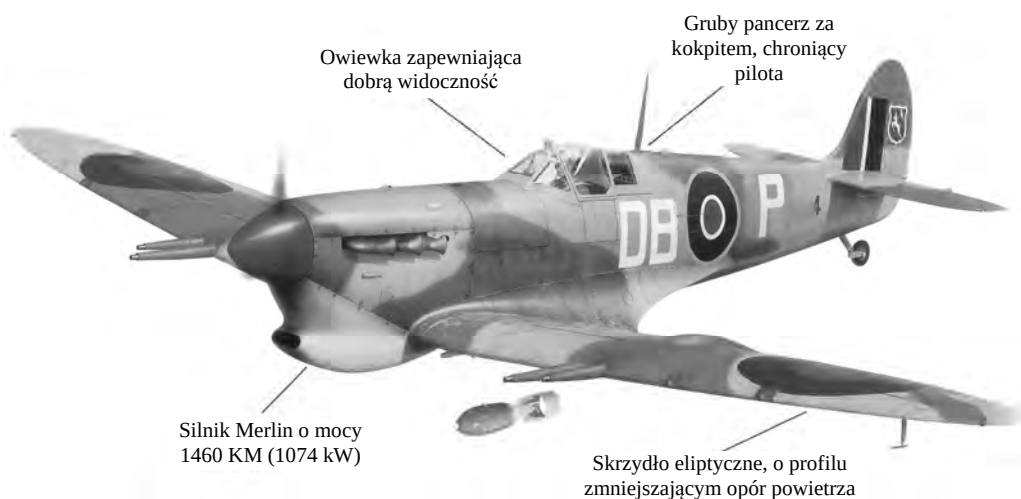
W czasie II wojny światowej powstało wiele nowych, udanych konstrukcji samolotów. Poniżej wyspecyfikowano kilka z nich, kierując się rolą jaką odegrały one w tym najtragiczniejszym w historii ludzkości konflikcie zbrojnym.

Hawker Hurricane (rys. 8.44) to brytyjski jednomiejscowy samolot myśliwski, dolnopłat, zaprojektowany i produkowany

przez firmę Hawker Siddeley Company. Używany na wielu frontach II wojny światowej odegrał znaczącą rolę podczas bitwy o Anglię. Produkowano go w wielu wersjach uzbrojenia i z różnymi jednostkami napędowymi. Do zakończenia produkcji w 1944 roku wyprodukowano ponad 14 tysięcy egzemplarzy wszystkich wersji lądowych Hurricane i morskich Sea Hurricane, przystosowanych do działania z pokładów lotniskowców.

Supermarine Spitfire (rys. 8.45) to brytyjski jednomiejscowy myśliwiec zbudowany w wytwórni Supermarine w Southampton w Anglii. Jeden z najsłynniejszych używanych podczas II wojny światowej samolotów bojowych, na którym walczyli również Polacy. Ogółem wyprodukowano ponad 20.000 szt. tego samolotu, w wersjach od Mk1 (1937 r.) do Mk24 (zakończenie produkcji 1948 r.).

North American P-51 Mustang (rys. 8.46) - amerykański jednosilnikowy myśliwiec zaprojektowany na zlecenie RAF-u i produkowany w zakładach North American Aviation (NAA) w Stanach Zjednoczonych oraz w znacznie mniejszej liczbie przez Commonwealth Aircraft Corporation w Australii. Używany był przez USA i ich sojuszników zarówno podczas II wojny światowej



Rys. 8.45. Supermarine Spitfire, podstawowy samolot brytyjski w II wojnie światowej



Rys. 8.46. Mustang Mk. IA, jeden z najszybszych samolotów śmigłowych (prędkość maksymalna 730 km/h)

jak i w czasie wojny koreańskiej (jako samolot szturmowy). Udana konstrukcja z 1940 roku sprawiła, że ostatni projekt samolotu bojowego opartego na P-51 zamknięto dopiero w 1986 roku, kończąc tym samym 46 lat rozwoju jednej z najbardziej udanych konstrukcji lotniczych. Obecnie wiele z tych maszyn znajduje się w rękach prywatnych. Latają one podczas pokazów i zawodów sportowych. Ogółem wyprodukowano 15.000 ÷ 16.000 Mustangów.

Mitsubishi A6M Reisen (popularna nazwa „Zero”) – rys. 8.47, podstawowy typ samolotu myśliwskiego Cesarskiej Japońskiej Marynarki Wojennej w okresie drugiej wojny światowej, jeden z najlepszych myśliwców początkowego okresu wojny. Samolot ten opracował inż. Jiro Horikoshi (1903-1982) w 1940 roku. „Zera” przez cały okres wojny



Rys. 8.47. Mitsubishi A6M Zero (replika)

pozostawały podstawowymi myśliwcami pokładowymi marynarki japońskiej. Kariera bojowa A6M rozpoczęła się 19 sierpnia 1940 roku w Chinach; debiut był udany, gdyż zestrzelono 8 z 9 chińskich samolotów napotkanych w trakcie walki. Potem były walki na Pacyfiku: od ataku Pearl Harbor przez bitwy na Morzu Koralowym, o Midway, krwawe zmagania na Guadalcanalu, klęski na Morzu Filipińskim aż do walk o Okinawę i kapitulację Japonii. Myśliwce te brały udział we wszystkich bitwach toczonych przez lotnictwo marynarki. Pod koniec wojny wiele z tych samolotów było używanych przez formacje „Kamikaze”.

Ił-2 (rys. 8.48) to dwumiejscowy samolot szturmowy produkcji ZSRR z czasów II wojny światowej. Samolot ten nie atakował celów z lotu nurkowego (nie był bombowcem nurkującym z uwagi na brak hamulców aerodynamicznych i niezbyt dużą odporność na przeciążenia). Atak odbywał się z płytkiego nurkowania po prostej, często w formacji kilku maszyn jako atak po okręgu, dzięki czemu nieprzyjaciół był pod nieustannym ostrzałem.



Rys. 8.48. Ił 2M Tip 3 – samolot szturmowy



Rys. 8.49. Messerschmitt Bf 109 E, który mógł rozwijać prędkość do 560 km/h

Messerschmitt Bf 109, Me 109 (rys. 8.49) to niemiecki podstawowy myśliwiec Luftwaffe z drugiej wojny światowej. Bf 109 był samolotem bardzo trudnym w pilotażu w fazie startu i lądowania. Najlepsze właściwości pilotażowe i manewrowe Bf 109 osiągał w zakresie prędkości 350-420 km/h, przewyższając pod tym względem nawet swojego najgroźniejszego konkurenta Supermarine Spitfire. Powyżej prędkości 400 km/h w wersjach B, C, D, oraz powyżej 485 km/h w wersji E wraz ze wzrostem prędkości opór sterów stopniowo zwiększał się, zmuszając pilota do użycia coraz większej siły przy zmianie kierunku lub wysokości lotu. Tym samym reakcje samolotu następowały z wyraźnym opóźnieniem. Identyczna sytuacja następowała w czasie lotu nurkowego, gdzie w górnych zakresach prędkości użycie steru kierunku przez pilota było mocno problematyczne. Należy podkreślić mały zasięg samolotu Bf 109.

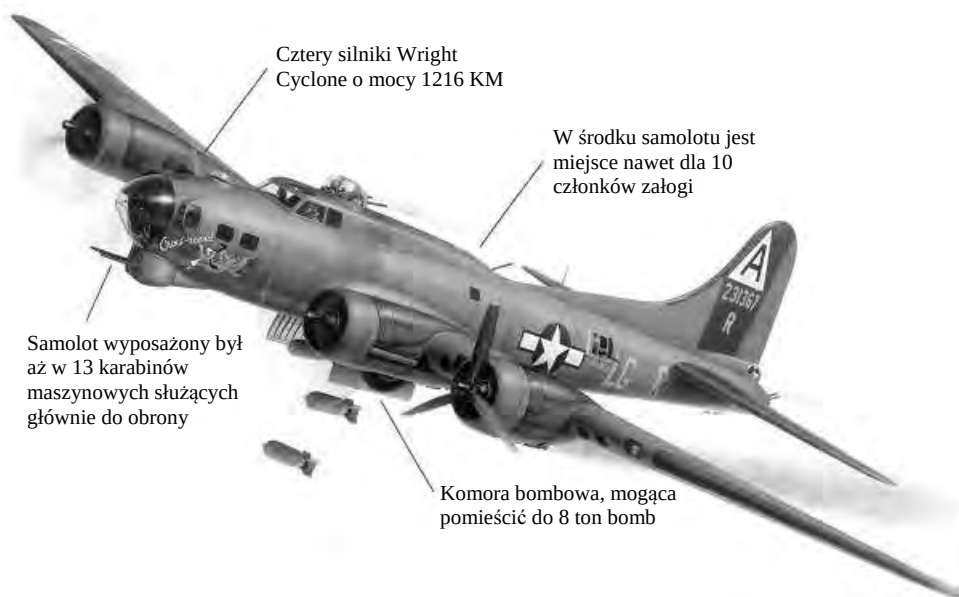
Boeing B-17 Flying Fortress (pol. "Latająca forteca"). Ten ciężki samolot bombowy (rys. 8.50), będący z całą pewnością jednym z najsłynniejszych samolotów II wojny światowej, był dolnopłatem z usterzeniem klasycznym, o konstrukcji metalowej, wyposażonym w podwozie dwugoleniowe chowane w locie. Napęd stanowiły 4 silniki

gwiazdowe, śmigła trójłopatowe metalowe, przestawialne. W przedniej części kadłuba znajdowały się stanowiska bombardiera, nawigatora i strzelca pokładowego, za nim kabina pilotów, w środkowej części komora bombowa i stanowisko radiooperatora. W osobnych stanowiskach znajdowali się strzelcy pokładowi.

Messerschmitt Me 262 Schwalbe (niem. Jaskółka) – pierwszy użyty bojowo samolot myśliwski o napędzie odrzutowym (rys. 8.51). Produkowany masowo podczas II wojny światowej wszedł do służby w 1944 roku jako samolot bombowy i rozpoznawczy (A-1a), a także jako myśliwiec przechwytyjący (A-2a). Pomimo swych wad i niedoskonałości Me 262 był pierwszym sygnałem końca ery samolotów napędzanych śmigłem i początku ery odrzutowców latających z prędkościami rzędu 800 km/h, znacznie większymi niż możliwe do uzyskania na samolotach śmigłowych. Jako pierwszy został również wyposażony w skrzydła skośne.

Okres powojenny

Po II wojnie światowej lotnictwo rozwija się w sposób bardzo intensywny i to zarówno w wersji wojskowej jak i cywilnej. Powstaje szereg znakomitych konstrukcji, z których ze względu na ograniczoną objętość



Cztery silniki Wright
Cyclone o mocy 1216 KM

W środku samolotu jest
miejsce nawet dla 10
członków załogi

Samolot wyposażony był
aż w 13 karabinów
maszynowych służących
głównie do obrony

Komora bombowa, mogąca
pomieścić do 8 ton bomb

Rys. 8.50. Boeing B-17G „Latająca forteca”, jeden z pierwszych bombowców mających całkowicie metalową konstrukcję

niniejszego podręcznika można przybliżyć zaledwie kilka. Są to:

Boeing 377 Stratocruiser (rys. 8.52), który jako nieliczny rozpoczął służbę jako maszyna wojskowa, a kończył w roli luksusowego samolotu pasażerskiego. Pod koniec II wojny światowej Boeing produkował samoloty transportowe 367 Strato-freighters. W 1949 roku na zamówienie linii lotniczych Pan Am powstała wersja cywilna tego transportowca. Na zewnątrz maszyna w

niewielkim stopniu różniła się od swego wojskowego protoplasty, jednakże w środku miała kuszetki oraz barek na dolnym pokładzie. Ciekawostką jest fakt, iż transportowiec Stratofeigher oparty był na konstrukcji superfortecy B-29, która została wykorzystana do zrzućenia bomby atomowej na Hiroszimę i Nagasaki.

Saab JA-37 Viggen (rys. 8.53). W latach 60-tych ubiegłego stulecia Szwecja rozpoczęła prace nad programem System 37,



Rys. 8.51. Messerschmitt Me 262A-1a/U4, z działem kalibru 50 mm, który rozwijał prędkość maksymalną 872 km/h (na wysokości 6000 m)



Rys. 8.52. Boeing 377 Stratocruiser



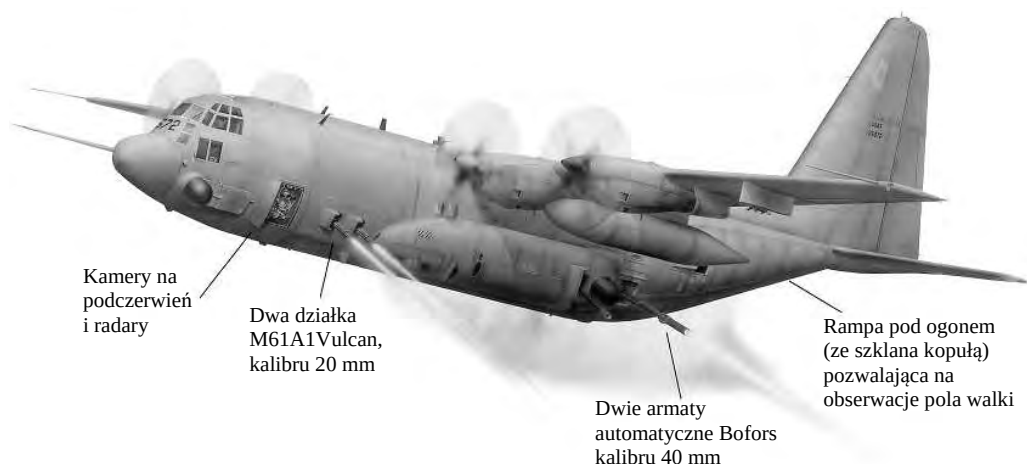
Rys. 8.53. Saab JA-37 Viggen

którego celem było stworzenie całej rodziny samolotów bojowych. Maszyny, które udało się zaprojektować w ramach tego programu, przerosły wszelkie oczekiwania. Pomimo przystosowania każdego z pięciu modeli tej maszyny do pełnienia specyficznej roli, wszystkie odmiany korzystały z najnowszych osiągnięć techniki, co uczyniło je jednymi z najbardziej zaawansowanych samolotów wojskowych świata. Urządzenia, które dzisiaj są standardem na wyposażeniu myśliwców taktycznych, takie jak komputery nawigacyjne, były po raz pierwszy zbudowane i testowane właśnie w samolocie Saab Viggen.

Lockheed AC-130H (rys. 8.54), zwany „Widmem” jest szturmowym wariantem dobrze znanej maszyny transportowej C-130 Hercules, używanej przez siły powietrzne wielu państw na całym świecie. Samoloty AC-130 powstały pierwotnie na po-

trzeby wojny w Wietnamie, a ich kolejne wersje były wyposażane w coraz mocniejsze uzbrojenie. Wariant AC-130H został stworzony na podstawie AC-130E i ma między innymi lepsze systemy ostrzegania przed zagrożeniami. Do dzisiaj „Widmo” wciąż odgrywa istotną rolę w działaniach Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych.

BAC/Aerospatiale Concorde (rys. 8.55) – samolot pasażerski, zdolny do lotu z dwukrotną prędkością dźwięku (mach 2), mógł pokonać trasę z Londynu do Nowego Jorku dwa razy szybciej od typowych samolotów. Został wycofany przez British Airways z użytku w 2003 roku, po 27 latach eksploatacji. Był jak dotychczas jednym z dwóch w historii ponaddźwiękowych samolotów pasażerskich (drugi z nich to radziecki Tupolew Tu-144, wycofany z eksploatacji w roku 1983). Zbudowany wysiłkiem British



Rys. 8.54. Samolot szturmowy Lockheed AC-130H Pave Spectre



Rys. 8.55. BAC/Aerospatiale Concorde

Aircraft Corporation i francuskiej firmy Aerospatiale Concorde był jednym z najbardziej zaawansowanych technologicznie samolotów, jakie kiedykolwiek powstały. Mogąc zabrać na pokład zaledwie 100 pasażerów był jednym z najdroższych w utrzymaniu i eksploatacji środków transportu. Pomimo swojej niewątpliwej urody, nie był w stanie sprostać konkurencji cenowej ze strony nowej generacji maszyn typu Super Jumbo.

Lockheed SR-71 Blackbird (Kos) trafił do Amerykańskich Sił Powietrznych w 1966 roku. Ta niezwykła maszyna (rys. 8.56) nosiła kiedyś tytuł najszybszego odrzutowca świata, a gdy w latach 90-tych XX wieku ponownie weszła do służby jej osiągi wciąż deklasowały konkurentów. Zaprojektowany jako samolot rozpoznawczy do lotów na du-



Rys. 8.56. Zbudowany w zaledwie 32 egzemplarzach Lockheed SR-71 Blackbird

żych wysokościach podniebny szpieg, jakim jest SR-71, obecnie ponownie odszedł na zasłużoną emeryturę, pozostając przy tym cudem XX-wiecznego lotnictwa. Ciekawostką jest fakt, iż SR-71 rozpędzał się do tak dużych prędkości, że tarcie powietrza o kadłub powodowało rozgrzewanie się poszycia do około 200°C. Kolor czarny, na jaki pomalowana była maszyna, pod wpływem ekstremalnych temperatur zmieniał barwę na niebieską.

Lockheed F-117 Nighthawk (rys. 8.57) to samolot, który został po raz pierwszy wykorzystany podczas amerykańskiej inwazji na Panamę w 1989 roku. Był to pierwszy na świecie bombowiec taktyczny typu „stealth”, czyli maszyna bardzo trudno wykrywalna dla radarów przeciwnika. Podczas operacji „Pustynna burza” technologia „stealth” okazała się na tyle skuteczna, że w trakcie 1271 misji wykonanych nad terytorium wroga, żaden samolot nie został trafiony pociskiem przeciwlotniczym.

MCDonnell Douglas F-15E Strike Eagle (rys. 8.58), to maszyna niepodzielnie panująca w przestworzach od 1972 roku. Pierwszym modelem był F-15A, który powstał jako myśliwiec, a następnie został przystosowany do roli samolotu wielozadaniowego. F-15C, ulepszony wariant modelu A, pojawił się w 1979 roku. Po nim przyszedł F-15D, dwumiejscowa, treningowa wersja modelu C, i najwspanialszy ze wszystkich F-15E Strike Eagle.



Rys. 8.57. Lockheed F-117 Nighthawk



Rys. 8.58. F-15E Eagle

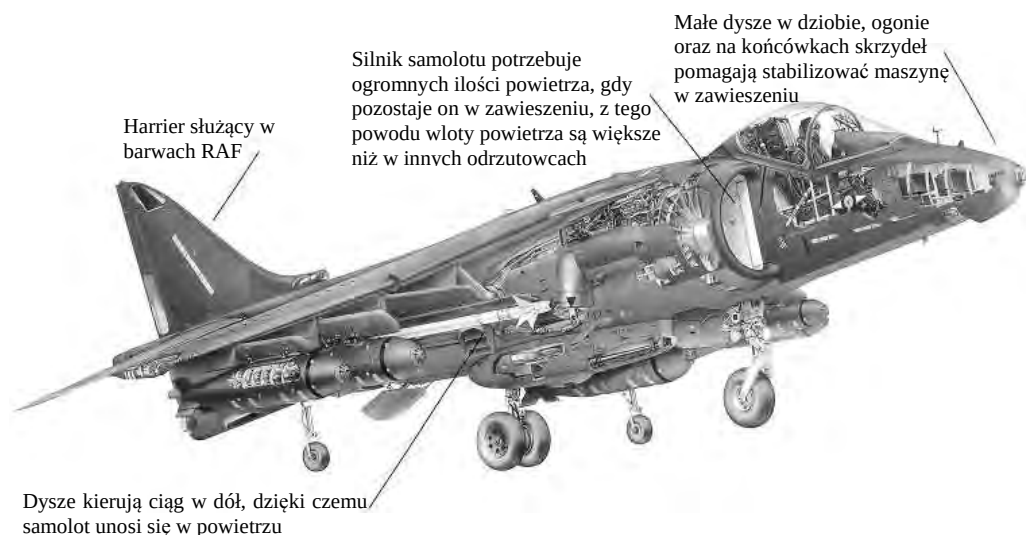


Rys. 8.60 Northrop Grumman B-2A Spirit

British Aerospace Harrier Gr. 5 (rys. 8.59) to samolot, który może startować i lądować pionowo. Pozwala to nie tylko na zrezygnowanie z wielkich i kosztownych lotniskowców, ale również umożliwia myśliwcom operowanie z tymczasowych baz w pobliżu linii frontu. Prawdziwie wyjątkowy Harrier jest pierwszym samolotem pionowego startu i lądowania (oznaczonych skrótem VTOL), który wszedł do służby i pokazał, iż podana koncepcja wyśmienicie sprawdza się na polu walki.

Northrop Grumman B-2A Spirit (rys. 8.60), to samolot stworzony przez Johna

Knudsena Northropa (1895-1981), jednego z najbardziej nowatorskich konstruktorów lotniczych XX wieku. Pomimo tego, że pracował on dla takich firm jak Lockheed czy Douglas, to właśnie jego imię nosi firma produkująca samoloty B-2A Spirit (Duch). Ten wyprodukowany w szczytowym okresie zimnej wojny bombowiec wciąż odgrywa kluczową rolę w potencjale uderzeniowym Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych. Maszyna jest praktycznie niewykrywalna przez radary, a na dodatek jest w stanie zaatakować każdy cel na kuli ziemskiej przy jednym tan-



Rys. 8.59. British Aerospace Harrier Gr. 5, w produkcji od roku 1983

kowaniu, startując z jednej z trzech baz USA na świecie.

8.1.8. Spadochron

Spadochron to statek powietrzny, którego zadaniem jest zwiększenie oporu aerodynamicznego, co powoduje spadek prędkości opadania w atmosferze.

Pierwszym, legendarnym spadochroniarzem, według podań chińskich, był cesarz chiński Shun (ok. 2258 p.n.e. – ok. 2208 p.n.e), który skoczył z wysokiej płonącej stodoły, trzymając w rękach dwa szerokie kapelusze w celu osłabienia upadku. Stare kroniki chińskie zawierają także opisy skoków amortyzowanych za pomocą parasoli. Według tych kronik popisy tego typu były wykonywane przez akrobatów, między innymi podczas uroczystości koronacyjnych cesarza Fu-Kien w 1306 r.

Pierwszy projekt budowy spadochronu (rys. 8.61) opracował Leonardo da Vinci (1452-1519), a jego szkice i opis budowy zamieścił w 4 rozdziale Kodeksu Atlantyckiego (spadochron według tego projektu został po-



Rys. 8.61. Model spadochronu wg pomysłu Leonarda da Vinci

myślnie przetestowany dopiero w XX wieku). W sto lat po śmierci Leonarda da Vinci na pomysł budowy spadochronu wpadł biskup dalmacki Fausto Verancio de Sebenico (1551-1617). Jednym z kolejnych ważniejszych wynalazców był francuski fizyk Sebastian Lenormand (1757-1837). W 1783 roku wydał on broszurkę, w której opisał konstrukcję swego spadochronu. Jest mało prawdopodobne by sam wykonał skok, chociaż niektóre źródła podają, że w dniu 29 grudnia 1783 r. skoczył z balkonu obserwatorium w Montpellier – rys. 8.62. On też nadał temu przyrządowi nazwę: „parachute”.

Okolo roku 1783 konstrukcją i próbami spadochronu zajmował się też Joseph Montgolfier (1740-1810). W 1785 r. Jean Pierre Blanchard (1753-1809) wyrzucił z kosza swego balonu psa na spadochronie własnej konstrukcji. 21 listopada 1785 r. podczas kolejnej próby z psem balon uległ awarii i Blanchard zmuszony był skorzystać z własnego urządzenia, które zdało egzamin.



Rys. 8.62. Wizja artystyczna skoku Sebastiana Lenormanda z roku 1783

W 1797 r. Francuz Andre Jacques Garnerin (1769-1823) zbudował i osobiście zademonstrował spadochron, który nie miał usztywnień. 22 października 1797 wzniósł się w powietrze balonem, będąc na wysokości około 700 m, przeciął sznur łączący spadochron z balonem i zaczął spadać w koszu (rys. 8.63). Spadochron wypełnił się powietrzem i Garnerin wylądował żywy i zdrowy. Prócz Jacquesa Garnerina skoki ze spadochronem wykonywały także jego żona Jeanne (1775-1847) i bratanica Eliza. W latach 1797-1835 wykonali oni wiele skoków ze spadochronem w różnych miastach Europy, w tym także w Warszawie. Eliza wykonała łącznie ponad 40 skoków.

XIX wiek był okresem twórczych poszukiwań w kierunku zbudowania praktycznego i niezawodnego spadochronu ratowniczego dla potrzeb rozwijającej się żeglugi powietrznej. W 1887 r. Amerykanin Thomas

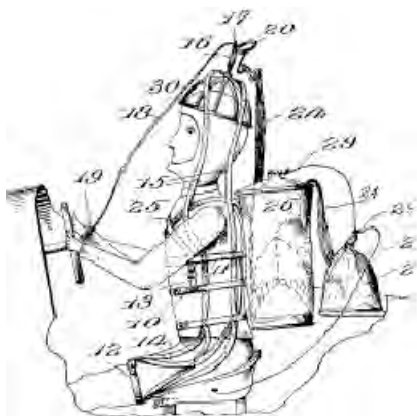
Baldwin (1860-1923) wykonał pierwszy skok przy użyciu spadochronu bez kosza, trzymając się tylko drewnianej obręczy. W 1890 r. Niemiec Herman Lattemann (1852-1894) zaczął układać czaszę i linki w lekko rozwijające się pakiety, podwieszone do pierścienia blisko kosza balonu. Spadając, człowiek własnym ciężarem wyciągał czaszę z linkami, po czym spadochron otwierał się. Jak wiemy rok 1903 rozpoczął erę samolotu. Od tego okresu datują się również próby zastosowania spadochronu do ratowania pilotów samolotów. W 1911 Rosjanin Gleb Kotielnikow (1872-1944) opracował i opatentował spadochron „RK-1”, który w zasadzie odpowiadał wszystkim wymaganiom tego okresu. Wy różnił się niezależnością od samolotu i możliwością użycia w każdej chwili. Był to spadochron plecakowy.

Przełomowy moment w konstrukcji spadochronu nastąpił w 1908 r., kiedy to Leo Stevens (1876-1944) wpadł na pomysł złożenia spadochronu w pokrowcu przymocowanym do pleców za pomocą skórzanej uprząży. Spadochron otwierał się przez pociągnięcie linki przez skaczącego. Dalsze poszukiwania szły w dwóch kierunkach. Pierwszy z nich to udoskonalanie prostego spadochronu osobistego. Drugi zaś kierunek reprezentowali konstruktorzy projektujący spadochrony przewidziane do ratowania, w razie awarii, całych samolotów wraz z załogą. Ówczesny poziom techniki uniemożliwiał jednak budowę niezawodnych, wielkich i skomplikowanych w użyciu spadochronów, stąd większość prób prowadzonych w tym kierunku kończyła się niepowodzeniem.

W 1918 r. dowództwo armii USA ogłosiło konkurs na spadochron ratowniczy, stawiając jedenastopunktowe warunki, którym miała odpowiadać konstrukcja spadochronu. Już w 1919 r. lotnictwo Stanów Zjednoczonych zostało zaopatrzone w spadochrony „Irvina”. Spadochrony te były produkowane w trzech odmianach: plecowej (rys. 8.64), siedzeniowej i kolanowej. Wersje różniły się między sobą uprzążą i pokrowcami. Wytwórnia „Irvin” rozpoczęła w tym czasie



Rys. 8.63. Udana próba lądowania ze spadochronem kosza balonu pilotowanego przez Garnerina, 22 X 1797 r.



Rys. 8.64. Projekt spadochronu z 1920 r.

również produkcję spadochronów ćwiczebnych i zapasowych. W 1926 r. ukazał się spadochron trójkątny Hoffmana. Czasza połączona była z uprzężą systemu „Irvin” 36 linkami nośnymi. W okresie międzywojennym specjaliści wojskowi zauważyli, że spadochron może być nie tylko środkiem ratowniczym, ale także transportowym, przeznaczonym do zrzucania ładunków i ludzi.

Spadochron sprawdził się w II wojnie światowej w wielu operacjach. Między innymi we wrześniu 1944 r., w operacji Market-Garden, w której udział brała polska Pierwsza Samodzielna Brygada Spadochronowa, która została zrzucona na spadochronach pod Arnhem w Holandii.

Po II wojnie światowej spadochron znalazł jeszcze bogatsze zastosowanie. W wielu konstrukcjach samolotów spadochron jest używany do skracania dobiegu przy lądowaniu (spadochron hamujący). W technice astronautycznej spadochron służy do sprowadzania na ziemię statków kosmicznych (rys. 8.65) oraz do miękkiego lądowania sond kosmicznych na innych planetach, otoczonych atmosferą. Współczesny spadochron jest też jedną z części całego systemu zabezpieczenia pilota we współczesnym samolocie naddźwiękowym. System ten jest w pełni zautomatyzowany i prawie niezawodny. Spadochron znalazł też zastosowanie sportowe.



Rys. 8.65. Lądowanie kapsuły Apollo 15

8.1.9. Śmigłowiec

Śmigłowiec (helikopter) to statek powietrzny cięższy od powietrza, który wytwarza siłę nośną dzięki ruchowi obrotowemu wirnika lub wirników napędzanych przez silnik (obecnie przez 2, a czasem nawet 3 silniki). Wirnik zbudowany jest z odpowiednio profilowanych łopat osadzonych w głowicy.

Pierwsze modele

Pierwszy model śmigłowca (rys. 8.66) zaprojektował w roku 1480 Leonardo da Vinci (1452-1519), który naszkicował maszynę unoszącą się w powietrzu dzięki poziomemu wirnikowi w kształcie ogromnej śruby. Śmigłowiec Leonarda przypominał korkociąg o średnicy 4 metrów. Cztery osoby biegające wokół osi wirnika miały go obracać, a jego ruch miał wytwarzać siłę nośną. Niestety Leonardo zapomniał uwzględnić moment obrotowy.

W połowie XIX wieku (1842 r.) Anglik W. H. Phillips zbudował model śmigłowca, zdolny do niekontrolowanego lotu na dystansie kilkudziesięciu metrów. Natomiast 20 lat później (1862 r.) Gustave de Ponton d'Amercourt (1825-1888) zbudował model śmi-



Rys. 8.66. Model śmigłowca wykonany wg projektu Leonarda da Vinci z roku 1480

głowca z dwoma wirnikami (rys. 8.67) przeciwniebieżnymi, napędzanymi maszyną parową. Model ten był zdolny do odrywania się od ziemi.



Rys. 8.67. Śmigłowiec zbudowany przez Pontona d'Amercourta, 1862 r.

Pierwsze loty

Pierwszym człowiekiem, który wzniósł się w powietrze za pomocą śmigłowca był Słowak Jan Bahyl (1845-1916). 13 sierpnia 1895 roku uzyskał on grant nr 3392 od cesarza Franciszka Józefa (1830-1916) na budowę śmigłowca. W ciągu następnych kilku lat wykonał szereg prób lotu uzyskując wysokość 0,5 m w 1901 roku, 1,5 m w 1903. Ostatecznie 5 maja 1905 roku w Petersburgu dokonał lotu swoim śmigłowcem z silnikiem benzynowym na wysokości 4 m na odległość 1500 m. Wydarzenie to odnotowane zostało przez „International Airship Organisation”.

Kolejnym entuzjastą lotów śmigłowcowych był Louis Charles Breguet (1880-1955), francuski konstruktor lotniczy. Wraz z bratem Jacquesem i pod kierownictwem Charles'a Richeta (1850-1935) w 1905 r. rozpoczął pracę nad śmigłowcem Gyroplane 1 (rys. 8.68), w którym silnik spalinowy napędzał cztery wirniki nośne. Pierwszy wzlot tej konstrukcji odbył się 24 sierpnia 1907 r. (na wysokość jedynie ok. pół metra, ze względów bezpieczeństwa i z uwagi na brak układów sterowania). Kolejna, bardziej zaawansowana konstrukcja śmigłowca Breguet-Richet 2 została oblatana w marcu 1908 r., a następnie trzecia Breguet-Richet 2bis w 1909 roku. Po zniszczeniu trzeciego śmigłowca przez wicher, Breguet poświęcił się bardziej perspektywicznemu przy ówczesnym stanie techniki konstruowaniu samolotów.

W roku 1907 roku odbyła się próba lotu innego śmigłowca (rys. 8.69). Maszyna miała dwa bliźniacze śmigła i silnik o mocy 24 KM. Najdłużej utrzymała się w powietrzu przez 20 sekund na wysokości 1,8 metra. Była ona zbudowana przez Francuza, sprzedawcę rowerów - Paula Cornu (1881-1944).

Również w roku 1907 został zbudowany przez Czesława Tańskiego (1862-1942) pierwszy polski śmigłowiec (rys. 8.70). Była to maszyna o dwóch przeciwniebieżnych, dwułopatowych wirnikach napędzanych siłą mięśni za pomocą korby. Nieudane próby podezwania maszyny wykazały jednak, że siła mięśni jest niewystarczająca i w dwa lata



Rys. 8.68. Pierwszy śmigłowiec Breguet'a Gyroplane 1 (1907 r.). Maszyna ta czasem odrywała się od ziemi, ale była zupełnie niesterna, na zakończenie prób pogalopowała około 100 metrów i skraksowała na polu burzającym.

później zamontowano w niej dwucylindrowy silnik Anzani o mocy 2,5 KM. Jednak z powodu braku chłodzenia i małej mocy silnik przegrzewał się, a uniesienie człowieka wciąż było niemożliwe. Śmigłowiec ten nie miał ponadto przyrządów sterowniczych. W efekcie nigdy nie uniósł się w powietrze.

Wiatrakowce

W roku 1919 Hiszpan Juan de la Cierva (1895-1936) skonstruował wiatrakowiec, czyli autożyro - rys. 8.71. Wiatrakowiec do wytworzenia siły nośnej wykorzystuje autorotację swobodnego wirnika. Napęd daje klasyczne śmigło. Zaletą autożyra jest bardzo krótki start i lądowanie oraz obciążenie mocy znacznie mniejsze niż w śmigłowcu. W prze-

ciwienstwie do śmigłowca wiatrakowiec musi utrzymywać prędkość postępową. Wiatrakowce były szczególnie popularne w okresie międzywojennym.

W trakcie II wojny światowej wykorzystywano je między innymi do obserwacji na okrętach podwodnych niemieckiej Kriegsmarine (Focke-Achgelis Fa 330). W wiatrakowce Fa 330 (rys. 8.72), począwszy od czerwca 1942, były wyposażone U-Booty typu IX operujące na Oceanie Indyjskim i w Zatoce Adeńskiej. W załodze każdego okrętu, wyposażonego w wiatrakowiec, znajdowało się 2-3 marynarzy przeszkolonych do jego pilotowania. Start z U-Boota odbywał się z małej platformy umieszczonej za kioskiem. Potrzebna do tego była prędkość powietrza



Rys. 8.69. Paul Cornu i jego śmigłowiec, rok 1907



Rys. 8.70. Czesław Tański przy swojej maszynie



Rys. 8.71. Wiatrakowiec Cierva, 1919 r.

opływającego wirnik nie mniejsza niż 35 km/h. Osiągano to płynąc pod wiatr z pełną prędkością. Fa 330 był połączony z okrętem, kablem o długości ok. 300 m. Zapewniało to pułap ok. 220 m i zasięg obserwacji ok. 53 km. Obserwator łączył się z okrętem przez telefon pokładowy. Wiatrakowiec Fa 330 charakteryzował się bardzo prostą konstrukcją, małymi wymiarami oraz możliwością montażu i demontażu w ciągu kilku minut. Konstrukcja składała się z dwóch stalowych rur: poziomej i pionowej, nieco pochylonej w kierunku lotu. Rura pozioma stanowiła kadłub. Były na niej zamontowane siedzenie pilota, urządzenia sterownicze (orczyk i drążek sterowy) oraz statecznik pionowy i poziomy. Posiadał on trzy łopaty o konstrukcji stalowej. Pokryte one były sklejką lotniczą w pobliżu krawędzi natarcia, a płótnem na pozostałej części. Ogółem zbudowano ok. 200 egzemplarzy wiatrakowca Fa 330.



Rys. 8.72. Wiatrakowiec Focke-Achgelis Fa-330, produkowany w latach 1942-43

Obecnie wiatrakowce są domeną konstrukcji amatorskich.

Pierwsze udane konstrukcje

W roku 1924, dopiero trzeci z rzędu (rys. 8.73), śmigłowiec dwuwirnikowy (wirniki współosiowo sprzężone po dwa) Hiszpana Raula Pescary (1890-1966) wykonał przelot po obwodzie zamkniętym o długości 1 km ze średnią prędkością 15 km/h. Fakt ten można uznać za pierwszy udany przelot śmigłowca po zaplanowanym torze.

Z kolei w roku 1937 Heinrich Focke (1890-1979) wykonał dwuwirnikowy śmigłowiec Fw-61 (rys. 8.74), który był zbudowany na bazie lekkiego samolotu FW Stieglitz z silnikiem Siemens o mocy 118 kW. Dwa wirniki nośne były umieszczone na końcach poprzecznej kratownicy z rur. W konstrukcji wykorzystano kadłub popularnego samolotu treningowego Focke-Wulf Fw 44 Stieglitz. Pojedynczy silnik napędzał dwa śmigła znajdujące się po obu stronach kadłuba na kratownicowych wysięgnikach. Zbudowany został tylko prototypowy egzemplarz śmigłowca. Ustanowiono na nim kilka pierwszych rekordów śmigłowcowych, m.in.: rekord wysokości lotu (3427 m) - uzyskany 29 stycznia 1939 r. Konstrukcji śmigłowca Fw 61, mimo że była udana, nie rozwijano. Jednakże doświadczenia, zebrane podczas prac nad tą maszyną, były bardzo cenne dla



Rys. 8.73. Śmigłowiec Pescara No 3 (silnik 135 kW, średnica rotora 7,2 m, waga 1000 kg, prędkość max. 13 km/h), wykorzystany w próbie z roku 1924 - poprzednie maszyny Pescary budowane od roku 1919 były mniej udane



Rys. 8.74. Śmigłowiec Fw-61: prędkość max: 122 km/h, długość 7,29 m, średnica rotorów 7,0 m, zasięg 230 km, pułap 3200 m, 1937 r.

rozwoju innych tego typu projektów.

Następnie na scenie historii pojawia się najwybitniejszy konstruktor śmigłowców Igor Sikorski (1889-1972), który o lataniu marzył od dziecka. W 1913 r. skonstruował on pierwszy w świecie czterosiłnikowy samolot bombowy Ilia Muromiec (rys. 8.32), który brał udział w I wojnie światowej. W roku 1919 wyemigrował do USA, gdzie - po paru latach pracy jako nauczyciel - założył przy pomocy kilku innych rosyjskich emigrantów firmę lotniczą Sikorsky Aero Engineering Company, którą w 1929 zakupił United Aircraft. Sikorski uważany jest za „ojca” współczesnych śmigłowców. Pierwsze próby z tego typu maszynami prowadził jeszcze w Rosji, ale dopiero po ponad 20 latach, 24 maja 1940 r. zbudowany według jego projektu i oblatany przez niego śmigłowiec

Vought-Sikorsky 300 (rys. 8.75) – z silnikiem 75 KM i pojedynczym wirnikiem z trzema łopatom – można było uznać za konstrukcję w pełni zadowalającą. Ojciec Igora Sikorskiego był Polakiem.

II wojna światowa

W czasie II wojny światowej Niemcy projektują i wykonują „Flettner Fl 282” Kolibri (rys. 8.76), jednomiejscowy śmigłowiec z otwartym kokpitem, produkowany od roku 1940 przez firmę Antona Flettnera (1895-1961). Dzięki zastosowaniu dwóch zażębiających się wirników, pomysłu Antona Flettnera, maszyna nie musiała być wyposażona w śmigło ogonowe. „Kolibri” czyli Koliber był pierwszym helikopterem użytym z działaniami bojowych. W czasie II wojny światowej Niemcy przetestowali go na śródziemnomorskim teatrze działań. Plany zakładały budowę 1000 sztuk Fl 282. Po zbombardowaniu fabryki Flettnera przez aliantów plany te legły w gruzach. Inny plan zakładał użycie nieuzbrojonych Fl 282 jako śmigłowców rozpoznawczych operujących z okrętów podwodnych dalekiego zasięgu.

Z kolei Amerykanie wykonują Sikorsky XR-4, pierwszy śmigłowiec użyty bojowo przez USA AF i pierwszy na świecie śmigłowiec produkowany seryjnie. Prototyp maszyny nazwany XR-4 powstał na bazie eksperymentalnego VS-300 (rys. 8.75) zaprojekt-



Rys. 8.75. Vought-Sikorsky VS-300: średnica wirnika 9,14 m, długość 8,53 m, wysokość 3,05 m – pierwszy lot swobodny: 13.05.1940 roku.



Rys. 8.76. Śmigłowiec FL-282: silnik 119 kW, średnica wirnika 11,96 m, długość 6,65 m, wysokość 2,2 m, masa startowa 1000 kg, prędkość max. 150 km/h, pułap 3300 m, zasięg 170 km

townego przez Igora Sikorskiego w 1940 r. Pierwszy lot XR-4 odbył się 13 stycznia 1942, a po testach USA AF zamówiło 30 egzemplarzy helikoptera w dwóch wersjach YR-4A (do testowania, 3 egzemplarze) i YR-4B (wersja użytkowa, 27 sztuk). Śmigłowce okazały się tak udane, że zamówiono dodatkowo 100 egzemplarzy modelu R-4B. Śmigłowiec ten (rys. 8.77) został pierwszy raz użyty bojowo 23 kwietnia 1944 r. Wówczas stacjonujący w Birmie i należący do nowo powstałej grupy 1st Air Commandos YR-4 wziął udział w operacji uratowania załogi samolotu, który rozbił się na terenie nieprzyjaciela. R-4 był także pierwszym helikopterem, który wylądował na okręcie.



Rys. 8.77. Śmigłowiec R-4B, produkcji amerykańskiej

Okres powojenny

W ostatnich czasach śmigłowce zaczęły odgrywać rolę decydującą. Nie sposób jest zatem wymienić wszystkie godne uwagi konstrukcje maszyn tego typu. Jednakże poniżej przedstawia się kilka z nich, ważniejszych zdaniem autora.

AH-1 Cobra (rys. 8.78) to śmigłowiec, który został zaprojektowany jako silnie uzbrojona maszyna mająca wspierać piechotę w walce. Jej rozwój wiązał się z potrzebą ochrony bezbronnego śmigłowca transportowego UH-1 Huey. Pierwszy egzemplarz tego helikoptera wzbił się w powietrze w 1965 roku, a swój chrzest bojowy przeszedł już dwa lata później w Wietnamie.

Jednym z pionierów rozwijających projekty helikopterów z wirnikami w układzie tandemowym był Frank Piasecki (1919-2008), Amerykanin polskiego pochodzenia. Jego firma Vertol (założona w 1956 r.) została w 1960 roku przejęta przez Boeinga.



Rys. 8.78. Bell AH-1 Cobra: maszyna ta ma specjalne ostrza umieszczone pod i nad kabiną załogi, służące do przecinania kabli wysokiego napięcia

Pierwszym projektem spółki Boeing-Vertol okazał się śmigłowiec z podwójnym wirnikiem. Chinook (rys. 8.79) został zaprojektowany specjalnie na zamówienie armii Stanów Zjednoczonych. Dzięki dwóm potężnym wirnikom utrzymującym maszynę w powietrzu, Chinook jest prawdziwą ciężarówką powietrzną, zdolną do wykonania każdej pracy.



Rys. 8.79. Boeing Chinook, który ma przezwisko Big Windy, ze względu na siłę podmuchu wywołanego przez łopaty wirników

Westland Lynx (Ryś – rys. 8.80) został stworzony wg wymagań postawionych przez marynarki wojenne Wielkiej Brytanii i Francji oraz brytyjskie wojska lądowe. Od chwili powstania ta szybka i uniwersalna maszyna wykonywała wiele zadań, począwszy od lotów rozpoznawczych przez ewakuacje rannych i ofiar wypadków, po transport wojska i wsparcie ogniowe na polu walki. Lynx może zostać wyposażony w 8 pocisków rakietowych i doskonale się sprawdza w roli niszcyciela czołgów. Wersje dla marynarki



Rys. 8.80. Westland Lynx, jeden z najszybszych śmigłowców - w 1986 ustanowiono na nim światowy rekord prędkości śmigłowca wynoszący 400,87 km/h



Rys. 8.81. Śmigłowiec SH-60B Seahawk, operujący z pokładów fregat, niszczycieli, krążowników oraz lotniskowców

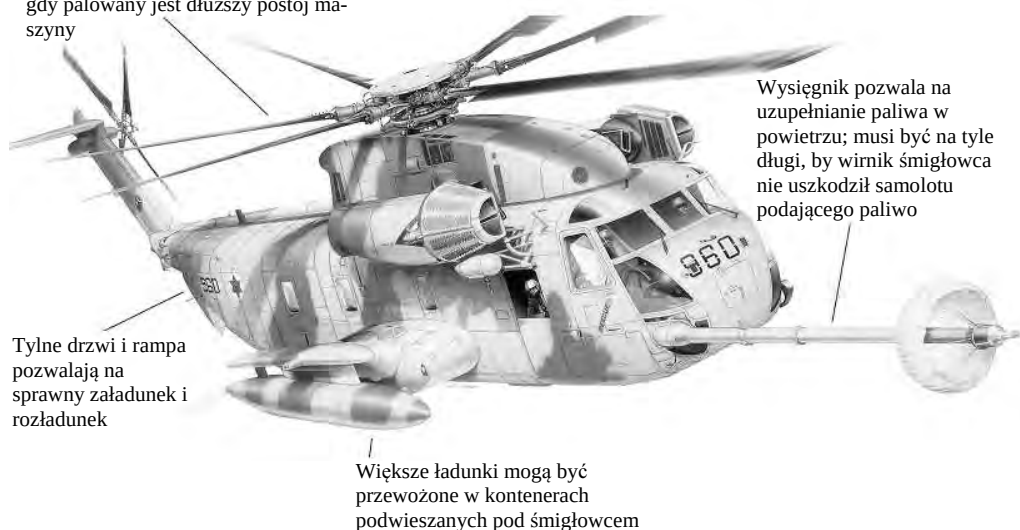
wojennej zaadoptowano do wykonywania podobnych zadań na lądzie.

W okresie powojennym firma Sikorsky stała się jednym z najbardziej cenionych i podziwianych producentów śmigłowców. Maszyny spod tego znaku służą w wojsku od czasów II wojny światowej. Między innymi potężne helikoptery z serii H-60 wykorzystywane są przez armię, siły powietrzne oraz marynarkę wojenną Stanów Zjednoczonych i ponad 20 innych krajów świata. Model SH-

60B Seahawk (Morski Jastrząb) – rys. 8.81 – to „łowca okrętów podwodnych”, wyposażony w zestaw specjalnych czujników do ich wykrywania oraz torpedy.

Innym produktem firmy Sikorsky jest CH-53D Sea Stallion (Morski Ogier) – rys. 8.82, o długości 30 metrów. Kiedy wzbił się po raz pierwszy w powietrze (14.10.1964 r.), był największym śmigłowcem firmy Sikorsky, jaki kiedykolwiek powstał. Zapro-

Sześć olbrzymich łopat wirnika wykonanych jest z aluminium; można je złożyć, gdy palowany jest dłuższy postój maszyny



Rys. 8.82. Sikorsky CH-53D Sea Stallion: produkcja od 1964 r., długość 30,2 m, wysokość 8,46 m, średnica głównego wirnika 24,1 m, masa własna 15071 kg, maksymalna masa startowa 33340 kg, prędkość maksymalna 315 km/h, pułap praktyczny 5640 m, zasięg 1110 km



Rys. 8.83. Mi-24 Hind-D: produkcja od 1969 r., długość 21,35 m, wysokość 5,47 m, średnica wirnika głównego 17,3 m, masa własna 8450 kg, maksymalna masa startowa 11800 kg, prędkość maksymalna 335 km/h, pułap praktyczny 5000 m, zasięg 500 km

jektowano go specjalnie do transportu wojska i ładunków. Dzięki swoim dużym drzwiom tylnym oraz zamontowanym uchwytom ma wspaniałe możliwości ładunkowe. Może m.in. przetransportować ważącą 1,5 tony ciężarówkę na odległość 414 km, albo przewieźć 38 żołnierzy w pełnym rynsztunku z prędkością 315 km/h.

Z kolei słynny rosyjski Mi-24 Hind (rys. 8.83) pod wieloma względami przypomina amerykańskie śmigłowce szturmowe, takie jak AH-1 Cobra lub AH-64 Apache. Wszystkie one mają szczątkowe skrzydła, duże kuloodporne szyby zapewniające dobrą widoczność oraz działko (wielkokalibrowy karabin maszynowy) zamontowane pod kadłubem. W okresie zimnej wojny maszynie tej na Zachodzie nadano imię Hind (łania). Jest to bardzo wartościowy śmigłowiec bojowy, który może być również użyty do transportu żołnierzy – w środku jest miejsce dla 8 komandosów. Mi-24 został sprzedany w ilości ponad 2,5 tysiąca maszyn i jest do dzisiaj użytkowany przez co najmniej 50 armii w świecie.

W 1982 roku Armii Stanów Zjednoczonych dostarczone zostały pierwsze egzemplarze śmigłowca AH-64A Apache - prawdo-

podobnie najlepsze śmigłowce szturmowe na świecie. Unowocześniona wersja tej maszyny AH-64D (rys. 8.84), która powstała w 1997 roku, jest przynajmniej czterokrotnie bardziej efektywna. Śmigłowiec AH-64 został zapro-



Rys. 8.84. AH-64D Apache: produkcja od 1982 r., długość: 17,7 m, wysokość 3,87 m, średnica głównego wirnika 14,63 m, masa własna 5165 kg, maksymalna masa startowa 9525 kg, prędkość maksymalna 365 km/h, pułap praktyczny 6400 m, zasięg 500 km

jektowany do walki w każdych warunkach, w dzień i w nocy, przy każdej pogodzie, nawet przy całkowitym braku widoczności. Ma na wyposażeniu najnowocześniejszą technologię pozwalającą odszukać, zidentyfikować i zaatakować każdy potencjalny cel w ciągu zaledwie 30 sekund. Uzbrojenie śmigłowca AH-64D przeznaczone jest głównie do niszczenia pojazdów pancernych i obejmuje zestaw pocisków Hellfire oraz ruchome działko pokładowe kal. 30 mm. Można również Apache uzbroić w niekierowane pociski kal. 70 mm do niszczenia celów powierzchniowych. Wszystkie podsystemy uzbrojenia mogą być sterowane przez strzelca lub pilota. Śmigłowce Apache brały udział w operacjach wojskowych w Zatoce Perskiej oraz misjach pokojowych w Bośni i w Kosowie.

Śmigłowce w Polsce

W roku 1950 w Instytucie Lotnictwa w Warszawie z powodzeniem oblatano doświadczalny śmigłowiec SP-GIL (rys. 8.85), konstrukcji inż. Bronisława Żurakowskiego (1911-2009). Śmigłowiec był napędzany silnikiem Hirth o mocy 100 KM. SP-GIL nie wszedł do produkcji ze względu na brak zainteresowania ze strony przemysłu i wojska. Nie jest to dziwne, gdyż w socjalistycznej Polsce nie przewidywano zastosowania dla czysto pasażerskiego śmigłowca dwumiejscowego.

Drugą konstrukcją rozwijaną w Polsce powojennej (w latach 1955-57) był jednooso-



Rys. 8.85. Śmigłowiec SP-GIL - fotografia jedynego prototypu, który odbył 254 loty (łącznie prawie 33 godziny w powietrzu), obecnie znajduje się w Muzeum Lotnictwa Polskiego w Krakowie



Rys. 8.86. Śmigłowiec JK-1 Trzmiel: masa startowa 340 kg, prędkość maksymalna 130 km/h, pułap 5500 m, zasięg 200 km

bowy śmigłowiec eksperymentalny JK-1 Trzmiel (rys. 8.86) z silnikami strumieniowymi na końcach łopat, dwułopatowego wirnika nośnego. Program badawczy zawieszono jednak po katastrofie (21.06.1957 r.), w której zginął pilot Antoni Śmigiel. Jedyne istniejące egzemplarze tej maszyny znajdują się w Muzeum Lotnictwa Polskiego w Krakowie.

Głównym konstruktorem kolejnego, budowanego w Polsce 4-miejscowego śmigłowca – nazwanego BŻ-4 Żuk (rys. 8.87) – o kratownicowej konstrukcji kadłuba był także inż. Bronisław Żurakowski. Budowany w latach 1953-1959 śmigłowiec pierwszy lot odbywał 10 lutego 1959 roku nad lotniskiem Okęcie. W maszynie tej zastosowano wiele nowatorskich technik, takich jak: wielołopatowy układ nośny z wirnikiem sterującym, elastyczne zawieszenie przekładni głównej śmigłowca, sprzęgło rtęciowe sprzęgające



Rys. 8.87. Śmigłowiec BŻ-4 Żuk



Rys. 8.88. Śmigłowiec PZL SM-1: masa własna - 1785 kg, masa startowa - 2210 kg, max. prędkość - 185 km/h, pułap - 3500 m, zasięg - 380 km

silnik z przekładnią główną oraz amortyzatory podwozia przedniego i głównego. Oprócz podanych zalet śmigłowiec miał też szereg wad, związanych głównie z zastosowaniem słabych materiałów i niedostateczną jakością wykonania. Wyprodukowano zaledwie jeden egzemplarz „Żuka”, który obecnie w stanie niekompletnym znajduje się w Muzeum Lotnictwa Polskiego w Krakowie.

Produkcja pierwszego wykonywanego seryjnie w Polsce jednosilnikowego śmigłowca o konstrukcji metalowej ze stałym podwoziem kołowym, nazwanego SM-1 (rys. 8.88), była prowadzona w latach 1956-65 w zakładach PZL Świdnik. Maszyna ta została zaprojektowana przez radzieckiego konstruktora Michaiła Miła (1909-1970) i jest bardziej znana jako Mi-1. Łącznie wyprodukowano 1594 szt. śmigłowców SM-1, które użytkowane były w Polsce, ZSRR i Czechosłowacji

Na bazie śmigłowca SM-1 w zakładach PZL Świdnik opracowano nową maszynę, znaną jako SM-2 (rys. 8.89). Od swojego poprzednika różniła się ona m.in. większą, 5-osobową kabiną. Pozostałe części pierwszorzędowe, a w szczególności silnik oraz ogon, pozostały praktycznie niezmienione. Śmigłowiec ten był oblatany 3 lutego 1961 roku. W odróżnieniu od SM-1 miał gorsze właściwości podczas startu oraz gorsze osiągi w zawisie. Wyprodukowano zaledwie 85 sztuk, z czego kilka sprzedano do Czechosłowacji.



Rys. 8.89. Śmigłowiec PZL SM-2: średnica wirnika - 14,30 m, długość kadłuba - 16,90 m, szerokość kadłuba - 12,08 m, masa z uzbrojeniem - 2550 kg, prędkość max. - 170 km/h, zasięg - 310 km

Najliczniej produkowanym w Polsce śmigłowcem, była maszyna wielozadaniowa Mi-2 (rys. 8.90) zaprojektowana przez biuro konstrukcyjne Michaiła Miła, którą seryjnie wytwarzano tylko w zakładach PZL w Świdniku. Ogółem wykonano 5500 maszyn, z czego więcej niż 280 trafiło do polskich sił zbrojnych, a duża ich część do ZSRR oraz ponad trzydziestu innych krajów świata. Zasadnicze cechy konstrukcyjne śmigłowca Mi-2 stanowią:

- ❑ napęd od dwóch silników turbinowych GTD-350;
- ❑ metalowe łopaty wirnika nośnego i śmigła ogonowego;



Rys. 8.90. Śmigłowiec Mi-2. Dane techniczne: w kadłubie zbiornik na 440 litrów paliwa; dodatkowy zbiornik zewnętrzny mieszczący 476 l., pojemność wersji pasażerskiej - 8 osób, wersji towarowej - 700 kg ładunku, max. pułap - 4000 m, max. prędkość - 200 km/h, zasięg - 797 km

- ❑ hydrauliczne tłumiki w piąście wirnika;
- ❑ dwupłatowe śmigło ogonowe;
- ❑ wzmacniacze hydrauliczne w układzie sterowania;
- ❑ kadłub półskorupowy z duraluminum;
- ❑ bogate wyposażenie ERNO.

Śmigłowiec Mi-2 poddano modyfikacjom, w efekcie których powstała maszyna PZL-Kania. Zastosowane zmiany polegały głównie na zabudowie nowego układu napędowego w miejsce dotychczasowego GTD-350. Ponadto, wprowadzono: nowoczesne wyposażenie radiowo-nawigacyjne, podwójną instalację prądu stałego, nowy kształt osłon silnika i zastosowano deflektor redukujący drgania śmigłowca. Pierwszy oblot śmigłowca PZL-Kania odbył się 3 czerwca 1979 roku. Ostatecznie zbudowano tylko 16 maszyn tego typu.

Obecnie najbardziej znaną konstrukcją polskiego śmigłowca jest PZL W-3 Sokół (rys. 8.91). Oprócz Polski użytkowany jest on w wielu krajach świata, do których zaliczane są m.in.: Czechy, Birma, Hiszpania, Korea Południowa, Zjednoczone Emiraty Arabskie, Niemcy, Wietnam, Rosja. Zasadnicze cechy tego śmigłowca stanowią: zwiększony w stosunku do Mi-2 udźwig, napęd od dwóch silników turbinowych, czterołopatowy wirnik nośny, trzyłopatowe śmigło ogonowe, laminatowe łopaty obu wirników, statecznik poziomy, wahaczowy układ kinematyczny podwozia.



Rys. 8.91. Śmigłowiec PZL W-3 Sokół : długość - 18,79 m , wysokość - 5,14 m, średnica głównego wirnika - 15,70 m, masa własna - 3 850 kg, maksymalna masa startowa - 6400 kg, prędkość maksymalna - 243 km/h, pułap praktyczny - 6000 m, zasięg - 745 km

W ostatnim czasie w wytwórni PZL-Świdnik skonstruowany został polski lekki śmigłowiec PZL SW-4 (rys. 8.92) – prototyp po raz pierwszy oblatano 29.10.1996 r. Śmigłowiec ten w klasycznym układzie wirnika nośnego, posiada przegubowy trzyłopatowy wirnik nośny z łopatami z kompozytu epoksydowo-szklanego i dwułopatowe śmigło ogonowe. Przeznaczony jest do przewozu 5 osób (pilot + 4 pasażerów) na dwóch przednich i trzech tylnych fotelach. Po obu stronach kadłuba znajdują się otwierane na zawiasach drzwi przednie i odsuwane drzwi tylne, bez słupka między drzwiami, co ułatwia załadunek. W wersji pasażerskiej posiada bagażnik na 150 kg ładunku o pojemności do 0,85 m³.



Rys. 8.92. Śmigłowiec PZL SW-4: długość: 10,57 m, wysokość: 3,05 m, średnica wirnika głównego 9 m, masa własna 1050 kg, maksymalna masa startowa 1800 kg, prędkość maksymalna 260 km/h, pułap praktyczny 5200 m, zasięg 790 km

8.2. Astronautyka

Jak podano na wstępie niniejszego rozdziału astronautyka obejmuje poznawanie oraz analizowanie warunków i zjawisk towarzyszących lotom statków kosmicznych, rozumianych jako pojazdy poruszające się poza atmosferą Ziemi. Pojazdy te muszą być wyniesione i rozpędzone do odpowiedniej prędkości przez potężne silniki napędowe. Współczesne statki kosmiczne wynoszone są w górę dzięki napędowi raketowemu, który wytwarza siłę odrzutu.

Obecnie wyróżniane są następujące rodzaje statków kosmicznych:

- Rakieta, czyli pojazd latający lub pocisk, napędzany silnikiem raketowym. Obiekt ten nabywa siłę ciągu dzięki reakcji szybko wyrzucanych gazów spalinyowych lub innych mediów (np. sprężone gazy, przegrzana para) z dysz silnika raketowego, zgodnie z trzecią zasadą dynamiki Newtona. Rakiety służą między innymi do przenoszenia ładunku np. statku kosmicznego, głowic bojowych, sztucznych satelitów w warunkach przestrzeni kosmicznej, gdzie nie ma żadnej zewnętrznej substancji, której pojazd mógłby użyć jako elementu napędzającego.
- Wahadłowiec kosmiczny, inaczej prom kosmiczny będący rodzajem załogowego statku kosmicznego, który może być wykorzystywany wielokrotnie i zwykle przystosowany jest do wynoszenia na orbitę i ściągania z orbity satelitów i innych ładunków. W założeniach prom, dzięki możliwości wielokrotnego wykorzystania, ma umożliwić znaczną redukcję kosztów związanych z wynoszeniem na orbitę ładunków i pasażerów. W praktyce dotychczasowe programy budowy promów kosmicznych okazały się niezwykle kosztowne, a same podróże – bardzo złożone.
- Samolot kosmiczny to statek kosmiczny łączący pewne cechy samolotu oraz rakiety. Zwykle ma on formę uskrzydłonego pojazdu z napędem raketowym. W odróżnieniu od wahadłowca samolot kosmiczny nie startuje z wyrzutni tylko z lotniska. W zależności od konstrukcji pojazd ten jest w stanie sam dostać się w kosmos, bądź też jest wynoszony na pokładzie innego pojazdu. Najczęściej jest to tradycyjny odrzutowiec.
- Sonda kosmiczna to zautomatyzowany, bezzałogowy statek kosmiczny przeznaczony do prowadzenia badań naukowych w przestrzeni pozaziemskiej.

Sondy kosmiczne wynoszone są przez rakiety lub wahadłowce. Wyposażone w kamery i aparaturę naukową, zbierają dane i przesyłają je na naszą planetę drogą radiową.

- Sztuczny satelita - to satelita wykonany przez człowieka, poruszający się po orbicie wokół ciała niebieskiego. Jest to statek kosmiczny (z załogą lub bez załogi) okrążający ciało niebieskie (np. planetę, Księżyc) po orbicie zamkniętej. Najliczniejszą grupę stanowią sztuczne satelity Ziemi. Wyniesiono również w przestrzeń kosmiczną sztuczne satelity Księżyca, Marsa, Wenus, Słońca (np. Helios, Pioneer 6 i 9) oraz Jowisza.

Bardziej szczegółowe informacje na temat poszczególnych statków kosmicznych podaje się poniżej.

8.2.1. Rakieta

Chiński wynalazek prochu strzelniczego, którego używano jako elementu broni (płonących strzał, bomb, dział) doprowadza w rezultacie do opanowania technologii pierwszych rakiet (użytych już około roku 970). Rakiety były używane w religijnych obrzędach na cześć bogów chińskich, podobnie jak dziś używane są „sztuczne ognie”. Rakiety były instalowane w fortach Wielkiego Muru Chińskiego i obsługiwane przez elitarne oddziały specjalistów raketowych. Technologia budowy rakiet trafiła do Europy wraz z wojskami Czyngis – Chana (ok. 1155-1227) i jego syna Ugedęja (1185-1241). Mongołowie wykradli technologię budowy rakiet z podbitej północnej części Chin, oraz zatrudniali chińskich ekspertów raketowych. Pierwszymi Europejczykami mającymi doświadczenie z raketami byli Rosjanie, a także narody Europy Wschodniej i Europy Środkowej (Austria) podbite przez Imperium Czyngis-Chana.

W XVII wieku polski generał, inżynier wojskowy i artylerzysta Kazimierz Siemienowicz (ok. 1600-po 1651) publikuje w 1650 roku w Amsterdamie fundamentalne dzieło

„*Artis Magnae Artilleriae Pars Prima*” („*Wielkiej sztuki artylerii część pierwsza*”), będące przez prawie 200 lat podstawowym podręcznikiem artylerii w Europie.

W XIX wieku Anglicy rozwijali technologię raketową, a główną postacią w badaniach i eksperymentach z raketami był William Congreve (1772-1828) angielski wynalazca, pracujący nad udoskonaleniem celności rakiet. W roku 1805 jego praca nad raketami była na tyle zaawansowana, że Brytyjska Marynarka Wojenna użyła rakiet do ostrzeliwania portów Francji i jej sojuszników podczas wojen napoleońskich. Między innymi, w 1807 r. spalono Kopenhagę, wystrzeliwując 40.000 rakiet, a w 1813 ostrzelano nimi Gdańsk. W roku 1809 parlament angielski upoważnił Williama Congreve’a do założenia dwóch kompanii raketowych w armii brytyjskiej. Congreve dowodził jedną z tych kompanii w bitwie pod Lipskiem w roku 1813. Jego rakety były używane do końca wojny z Napoleonem Bonaparte (1769-1821), jak również w wojnie przeciw USA w latach 1812-1814. Amerykański hymn wspomina o „czerwieni oślepiających rakiet”, chodzi tu o rakety Congreve’a, którymi Anglicy ostrzelali Fort McHenry pod Baltimore (1814).

W roku 1903 Konstanty Ciołkowski (1857-1935), rosyjski uczonego polskiego pochodzenia, opracował teorię lotu rakiety z uwzględnieniem zmiany masy. Dwadzieścia lat później Ciołkowski opracował teorię ruchu rakiet wielostopniowych w ziemskim polu grawitacyjnym. Zaproponował zastosowanie w raketach stabilizatorów żyroskopowych, chłodzenie komory spalania silnika raketowego składnikami paliwa. Po raz pierwszy w dziejach podał podstawy teorii silnika raketowego na paliwo ciekłe. Zaprojektował także wiele raketowych mieszanek paliwowych. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż Ciołkowski opracował podstawy lotów kosmicznych, zanim jeszcze bracia Wright wykonali pierwszy w świecie lot samolotem. Idee techniczne wysunięte przez Ciołkowskiego, także obecnie znajdują zastosowanie

przy budowie współczesnych silników raketowych, rakiet i statków kosmicznych.

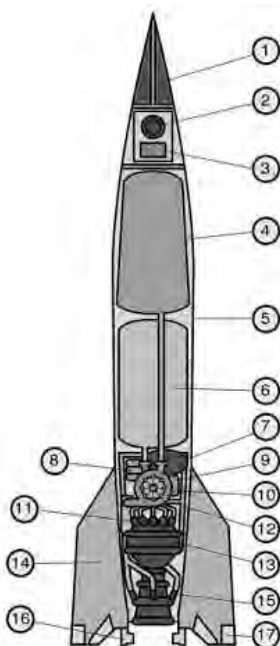
W roku 1917 Robert Goddard (1882-1945) z Smithsonian Institution w USA opatentował wynalazek poprawiający w znaczący sposób wydajność rakiety (rys. 8.93). Dodał on dysze wewnątrz komory spalania silnika raketowego. Dysze te formowały gorący gaz z komory spalania, na zewnątrz silnika. Wynalazek ten podwajał ciąg rakiety i podnosił jej sprawność. Po roku 1920 w wielu krajach prowadzone były badania nad raketami. Do krajów tych należały Niemcy, Rosja, Stany Zjednoczone, Wielka Brytania, Francja, Czechosłowacja, Austria oraz Włochy. Około roku 1925, w Niemczech eksperymentowano z raketą na ciekłe paliwo, która osiągała stosunkowo dużą wysokość i daleki zasięg. W roku 1927 i 1931 została odpalona raketa używająca jako paliwa benzyny i tlenu, dzięki czemu Niemcy wysunęli się na czoło w budowie rakiet i sterowaniu nimi.

Od 1936 roku w Niemczech istniała wytwórnia pocisków raketowych, a od roku 1943 Niemcy prowadziły seryjną produkcję pierwszej rakiet balistycznej V-2. Jej głów-



Rys. 8.93. Raketa Goddard'a, rok 1917

nym konstruktorem był niemiecki uczonek Wernher von Braun (1912-1977). W okresie II wojny światowej także ZSRR, USA i Wielka Brytania używały broni rakietowej na masową skalę, lecz były to niekierowane pociski znacznie mniej zaawansowane od V-2 (np. Rosjanie używali wyrzutni rakietowych Katiusza). Rakieta V-2 była (rys. 8.94) największym krokiem do przodu w technologii rakietowej. Z zasięgiem 300 km przy obciążeniu 1000 kg, posiadała wszystkie elementy rakiet współczesnych. Miała turbo-sprężarkę, inercyjny system sterowania i wiele innych elementów dzisiejszych rakiet.



Rys. 8.94. Rakieta V-2: 1 - głowica bojowa, 2 - żyroskopowy system naprowadzający, 3 - odbiornik radiowy systemu naprowadzającego, 4 - mieszalina alkoholu etylowego i wody, 5 - korpus pocisku, 6 - zbiornik ciekłego tlenu, 7 - zbiornik nadtlenu wodoru, 8 - butle ze sprężonym azotem, 9 - komora reakcyjna nadtlenu wodoru, 10 - pompa paliwowa, 11 - zapłonnik mieszanki wodno-alkoholowej, 12 - rama zespołu napędowego; 13 - komora spalania (zewnętrzne powłoki), 14 - skrzydło, 15 - wtryskiwacze alkoholu, 16 - sterownice strumienia gazów wylotowych, 17 - powierzchnie sterowe (lotki);

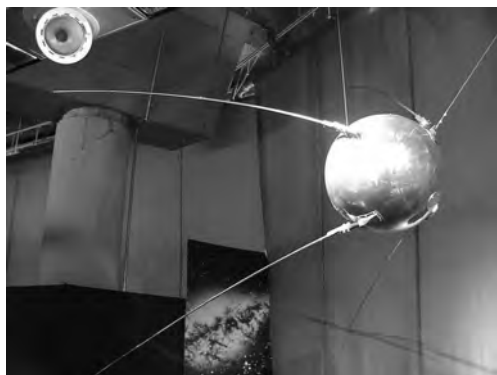
Celem rakiety była głównie Anglia, ale również Belgia i Francja. W Anglii w efekcie jej użycia zginęło 2754 osób, a 6523 zostało rannych. V-2 nie zmieniła biegu wojny, ale zademonstrowała zwycięzcom możliwości rakiety balistycznej nie tylko jako broni, ale także jako pojazdu kosmicznego.

Po II wojnie światowej Rosja, Anglia i USA prześcigały się w pozyskiwaniu technologii niemieckiej. Anglia i Rosja miały tu pewne sukcesy, ale najwięcej skorzystały Stany Zjednoczone. Po kapitulacji Niemiec, von Braun wraz ze współpracownikami poddał się wojskom amerykańskim, licząc na możliwość kontynuowania prac nad rakietami wykorzystywanymi do celów cywilnych. Amerykańskie władze, w obliczu rysującej się konfrontacji z państwami komunistycznymi, chętnie przyjęły zarówno tego naukowca, jak i część jego zespołu wraz z ocalałymi częściami rakiet V-2. Inna grupa niemieckich naukowców została zagarnięta przez ZSRR. Był to początek zimnowojennego wyścigu, którego ukoronowaniem stała się wyprawa na Księżyc.

8.2.2. Pierwsze sztuczne satelity

Sputnik 1 (ros. „towarzysz podróży”) to pierwszy sztuczny satelita Ziemi, który został wystrzelony przez ZSRR 4 października 1957 roku. Wraz z 3 innymi satelitami serii Sputnik, stanowił on radziecki wkład w Międzynarodowy Rok Geofizyki. Wyniesienie Sputnika 1 na orbitę jest symbolicznym początkiem „Wyścigu w Kosmos”, między ZSRR a USA. Obserwacje wizualne i radiowe Sputnika były prowadzone na całym świecie. Do momentu spłonięcia w atmosferze, Sputnik 1 zdążył okrążyć Ziemię 1400 razy, co oznacza, że przebył łącznie około 60 milionów kilometrów. Sputnik 1 (rys. 8.95) ważył 83,6 kg i miał kształt kuli o średnicy 58 cm, do której przytwierdzone były 4 anteny w postaci prętów.

Kolejnym wyniesionym na orbitę Ziemi obiektem był również radziecki Sputnik 2 (rys. 8.96). Jako pierwszy w historii wyniósł



Rys. 8.95. Sputnik 1, wyrzelandony na orbitę Ziemi
4.10.1957 roku

on w przestrzeń kosmiczną żywą istotę, psa Łajkę. Ponieważ ówczesna technika nie pozwalała bezpiecznie sprowadzić psa z powrotem na Ziemię, zamierzono uśpić go w 10 dniu lotu. Jednak prawdziwy przebieg lotu Łajki i Sputnika 2 nie był znany aż do 2002 r. Wtedy to wyjawiono okrutną prawdę. Łajka zdechła z przegrzania w panice i bólu już kilka godzin po starcie.

Pierwszym amerykańskim sztucznym satelitą Ziemi był Explorer 1 (rys. 8.97), początkujący serię satelitów badawczych typu Explorer. Statek ten odkrył schwywane w



Rys. 8.97. Amerykański Explorer 1, wyrzelandony na orbitę Ziemi 31.01.1958 roku

ziemskim polu magnetycznym promieniowanie, nazwane później pasami Van Allena. Dane z pomiarów były rejestrowane na taśmie magnetycznej. Z rejestratora przesyłano je na Ziemię drogą radiową, za pomocą dwóch nadajników. Statek miał dwie anteny, których pozycja po rozłożeniu była utrzymywana pod wpływem ruchu obrotowego satelity.

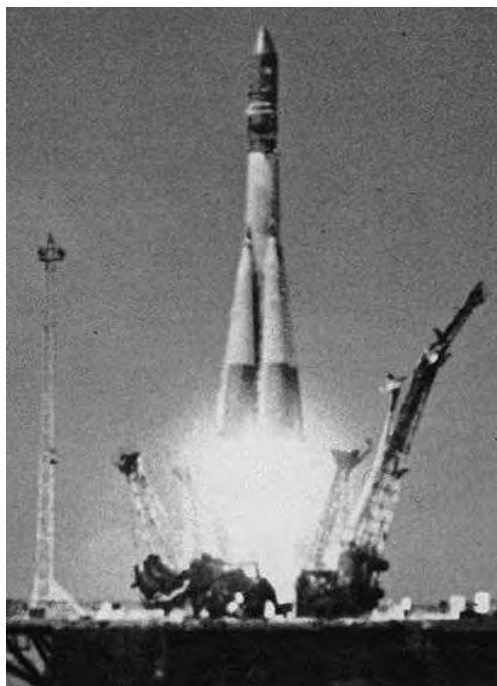
8.2.3. Człowiek na orbicie

Pierwszym kosmonautą w historii był Jurij Aleksiejewicz Gagarin (1934-1968). W styczniu 1960 został on jednym z 20 pilotów, którzy rozpoczęli przygotowania do lotów w kosmos. Treningi odbywały się w tajemnicy, a grupa kandydatów do pierwszego lotu w kosmos została szybko zmniejszona do sześciu. 10 kwietnia 1961 r. Komisja Państwowa zdecydowała, że to właśnie Gagarin będzie pierwszym człowiekiem, który poleci w przestrzeń międzyplanetarną.

Jurij Gagarin odbył w statku kosmicznym Wostok 1 (12 kwietnia 1961 r. – rys.



Rys. 8.96. Sputnik 2, wyrzelandony - wraz z psem Łajką - na orbitę Ziemi 3.11.1957 roku



Rys. 8.98. Start rakiety Wostok 1, na pokładzie której znajduje się Jurij Gagarin, 12.04.1961 r.

8.98) lot po orbicie satelitarnej Ziemi, dokonując jednokrotnego jej okrążenia w ciągu 1 godziny i 48 minut. W locie tym można wyróżnić trzy kluczowe etapy (charakteryzowane czasem), które przeszły do historii.

- 6⁰⁷ - Start statku Wostok 1;
- 7⁰⁰ - wiadomość o locie Gagarina podaje Radio Moskwa. Jest to punkt kulminacyjny dla całego programu kosmicznego ZSRR. Od tego momentu informacje utajnione, dotyczące zarówno przygotowań do lotu jak i samego lotu, są stopniowo ujawniane;
- 7⁵⁵ - lądowanie Gagarina, stanowiące szczęśliwe zakończenie lotu, a zarazem największy sukces programu kosmicznego ZSRR.

Pierwszym kosmonautą amerykańskim był John Herschel Glenn (ur. 1921). 20 lutego 1962 roku wykonał on lot orbitalny na pokładzie statku kosmicznego Mercury 6 (rys. 8.99). Kapsuła, w której leciał Glenn nosiła



Rys. 8.99. John Glenn wchodzący do statku Merkur, 20.02.1962 r.

nazwę Friendship-7. Podczas trwającej 4 godziny, 55 minut i 23 sekundy misji astronauta trzykrotnie obleciał Ziemię. W czasie lotu Glenn miał problemy ze sterowaniem kapsuły. Temperatura w kabinie podniosła się do ponad 40°C wskutek problemów z klimatyzacją. Po pomyślnym wodowaniu na Oceanie Atlantyckim w odległości około 350 km od wyspy San Juan został on bohaterem narodowym Stanów Zjednoczonych. Ciekawostką jest, iż drugi lot kosmiczny Glenn odbył po 36 latach w charakterze specjalisty ładunku użytecznego na pokładzie wahadłowca Discovery w roku 1998.

Pierwszą kobietą, która odbyła lot po orbicie okołoziemskiej była Walentina Tierieszkowa (ur. 1937) - rys. 8.100. 16 czerwca 1963 r. rozpoczęła ona lot na statku Wostok 6, który trwał 2 doby 22 godziny 50 minut i 8 sekund. Lądowanie miało miejsce po 48-krotnym okrążeniu Ziemi. Po powrocie z kosmosu została uhonorowana wieloma nagrodami (m.in. tytułem Bohatera Związku Radzieckiego). Kolejna kobieta - Swietłana Sawicka (ur. 1948) - poleciała w kosmos dopiero 19 lat później.

Pierwszym i dotychczas jedynym polskim kosmonautą był gen. Mirosław Hermaszewski (ur. 1941). W roku 1978 został on wyłoniony w drodze selekcji z grona kilkuset polskich pilotów - wraz z płk. Zenonem Janekowskim (ur. 1937) - jako kandydat do lotu kosmicznego w ramach międzynarodowego programu Interkosmos, utworzonego przez



Rys. 8.100 Walentyna Tierieszkowa, pierwsza kobieta w kosmosie, 16.06.1963 r.

ZSRR. W efekcie tej decyzji, począwszy od godziny 17²⁷ 27 czerwca do godziny 16³¹ 5 lipca 1978, wraz z Piotrem Klimukiem (ur. 1942) – rys. 8.101 – odbył lot kosmiczny na statku Sojuz 30.

8.2.4. Program Apollo

Program Apollo był serią amerykańskich lotów kosmicznych wykonywanych w latach 1961-1972. Celem programu było lą-



Rys. 8.101. Załoga statku Sojuz 30: Piotr Klimuk i Mirosław Hermaszewski, lot: 27.06-5.07.78 r.

dowanie człowieka na Księżycu a następnie jego bezpieczny powrót na Ziemię. Zadanie zostało zrealizowane w 1969 r. w czasie misji Apollo 11. Program ten był kontynuowany do 1972 r. w celu prowadzenia dokładnej naukowej eksploracji Księżyca.

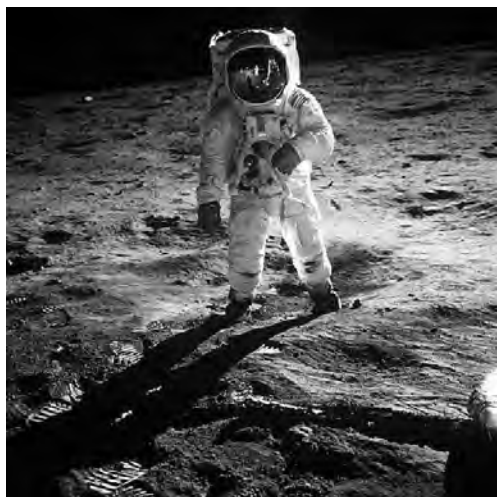
Podstawowe założenia programu, czyli lądowanie człowieka na Srebrnym Globie i jego bezpieczny powrót na Ziemię, prezydent John Kennedy (1917-1963) wyłożył podczas przemówienia przed Kongresem 25 maja 1961 roku. Stany Zjednoczone, zaniepokojone sukcesami ZSRR w trwającym amerykańsko-radzieckim wyścigu w kosmos, wdrażając program Apollo zamierzały przejąć w tej rywalizacji inicjatywę

Pierwszym statkiem kosmicznym, który lądował na Księżycu był Apollo 11. Rakietą wraz z modułem załogowym mierzyła 111 metrów wysokości, a całkowita masa startowa wynosiła około 3000 ton. Załogę stanowili: Neil Armstrong (ur. 1930) – dowódca, Edwin Aldrin (ur. 1930) – pilot modułu księżycowego (lądownika) oraz Michael Collins (ur. 1930) – pilot modułu załogowego. Start nastąpił w dniu 16 lipca 1969 r. z Centrum Lotów Kosmicznych na Przylądku Canaveral. Początek lotu Apollo 11 spędził na orbicie okołoziemskiej, następnie udał się w trasę liczącą 384.400 km. Po trzech dniach Apollo 11 wszedł na orbitę Księżyca. Armstrong i Aldrin przeszli do modułu księżycowego, który został odłączony i rozpoczął historyczne lądowanie. Astronauci wylądowali na Księżycu 20 lipca 1969 roku (rys. 8.102).

Po misji Apollo 11 na Księżycu lądowało jeszcze pięć statków z załogą ludzką, ostatnia taka misja odbyła się w 1972 roku. Od tamtego czasu nikt nie lądował na Srebrnym Globie.

8.2.5. Wahadłowiec

Wahadłowiec to załogowo - transportowy statek kosmiczny wielokrotnego użycia, przeznaczony do transportu ludzi i sprzętu na orbitę okołoziemską i z powrotem (używany m.in. do umieszczania w przestrzeni ko-



Rys. 8.102. Człowiek na Księżycu, 20.07.1969 r.

smicznej sztucznych satelitów Ziemi i próbników kosmicznych) oraz prowadzenia przez kilkusobową załogę badań naukowych i eksperymentów technicznych na orbicie. W zależności od zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych statek ten jest wynoszony w przestrzeń kosmiczną dzięki pracy silników, głównie członu orbitalnego, oraz wspomagających rakiet nośnych (odzyskiwanych), bądź też dzięki ciągowi głównej rakiety nośnej, a po jej odłączeniu - za pomocą silników orbitera.

Powrót załogowego członu orbitalnego wahadłowca na Ziemię jest realizowany przez stopniowe obniżanie orbity w wyniku hamującego działania silników, po którym następuje przejście do lotu ślizgowego uwięźnionego lądowaniem na specjalnym pasie lądowiska kosmodromu. Taki sposób powrotu orbitera na Ziemię wymaga m.in. specjalnego zabezpieczenia kadłuba (za pomocą płytek ceramicznych) przed przegrzaniem występującym podczas wnikania statku w coraz to gęstsze warstwy atmosfery. Pierwszym w historii lotów wahadłowcem był amerykański statek kosmiczny Columbia (pierwszy lot 12-14.04.1981), następnie została wprowadzona do eksploatacji amerykańskie wahadłowce: Challenger (uległ katastrofie 28.01.1986), Discovery, Atlantis (rys.



Rys. 8.103. Wahadłowiec Atlantis: pierwsza misja Atlantis miała miejsce 3 października 1985 roku. Była to jedna z pięciu tajnych misji związanych z programem wojen gwiazdnych. W roku 1989 Atlantis wyniósł na swoim pokładzie sondy kosmiczne Magellan oraz Galileo

8.103) i Endeavour. 15 listopada 1988 odbył swój inauguracyjny (bezzałogowy) i jedyny lot kosmiczny po orbicie okołoziemskiej sowiecki wahadłowiec Buran, wyniesiony w przestrzeń kosmiczną przez ракетę nośną Energia.

8.2.6. Samolot kosmiczny

Rozwój wahadłowców występujący od końca lat 70. XX wieku nie doprowadził do szczególnego postępu w technice lotów orbitalnych. Na początku nowego milenium szeregi biznesmenów postanowiło nadać nowe tempo rozwojowi turystyki kosmicznej. Zaproponowali oni wszystkim chętnym udział w konkursie o Nagrodę X Prize (w wysokości 10 mln. dolarów).

29 września oraz 4 października 2004 roku samolot kosmiczny SpaceShipOne odbył dwa załogowe loty w przestrzeń pozaziemską, co pozwoliło mu na wygranie Nagrody X Prize. SpaceShipOne (rys. 8.104) do napędu wykorzystuje hybrydowy napęd rakietowy. Jego silnik zużywa w charakterze utleniacza podtlenek azotu, a jako paliwo uwodorniony polibutadien (gumę). Space-



Rys. 8.104. Scaled Composites Model 316 SpaceShipOne, pierwszy prywatny załogowy samolot kosmiczny. Został wyprodukowany przez korporację Scaled Composites.

ShipOne w przeciwieństwie do tradycyjnych raket nie startuje z wyrzutni. Jego platforma startowa to samolot White Knight. Wznosi się on do granicy stratosfery wykorzystując lotnicze silniki turbodrzutowe. Na dużej wysokości SpaceShipOne odłącza się i odpala swój silnik raketowy. Wykorzystując jego ciąg pojazd wznosi się w kosmos. Kabina SpaceShipOne zapewnia miejsce dla trzech ludzi w tym pilota. Aby zredukować naprężenia występujące w kadłubie pojazd posiada zamiast wielkiej przeszklonej kabiny, szereg okrągłych wizjerów, które pozwalają na obserwację otoczenia. Nadają mu one bardzo charakterystyczny wygląd.

8.2.7. Sonda kosmiczna

Niektóre sondy kosmiczne spełniają swoje zadania krążąc na orbicie wokół Ziemi jako jej sztuczne satelity (rys. 8.105). Oprócz celów naukowych służą one zastosowaniom komercyjnym. Mogą pomagać meteorologom w przewidywaniu pogody, służyć komunikacji, czy jako satelity geostacjonarne transmi-

tować programy telewizyjne. Sieć sond umieszczonych na niskich orbitach tworzy system nawigacyjny GPS, dzięki któremu możliwe jest dokładne określenie pozycji na całej kuli ziemskiej.

Jednak dla nauki najważniejsze okazały się sondy badające planety Układu Słonecznego i przestrzeń kosmiczną poza nim. Sondy te jako nasze zdalne oczy i uszy dotarły w pobliże komety Halleya, kilku planetoid i na wszystkie planety Układu Słonecznego.

Najdalej zawędrowały sondy kosmiczne Pioneer 10, Pioneer 11, Voyager 1 i Voyager 2, które opuściły już Układ Słoneczny i pomknęły ku innym gwiazdom naszej galaktyki. Na ich pokładzie umieszczono informacje o mieszkańcach planety Ziemi. Zakodowane przez naukowców przesłanie dotrze w pobliżu najbliższych gwiazd za około 40.000 lat. Sondy kosmiczne stanowią ważny element w badaniach dotyczących Słońca. Sonda SOHO stale obserwuje tę niespokojną gwiazdę ostrzegając nas przed nagłymi uderzeniami wiatru słonecznego.



Rys. 8.105. Kosmiczny Teleskop Hubble'a poruszający się po orbicie okołozemskiej. Od momentu wystrzelenia w 1990 roku, teleskop ten jest jednym z najważniejszych przyrządów w historii astronomii

9. Ludzie techniki

Ader Clement (2.04.1841-5.03.1925) - francuski inżynier, pionier awiacji. Studiował inżynierię elektryczną. Usprawnił (1878) telefon wynaleziony przez Alexandra Grahama Bella (1847-1922). Następnie zajmował się budową statków powietrznych. Pierwszy samolot (napędzany silnikiem parowym "Éole" ze skrzydłami w kształcie skrzydeł nietoperza) zbudował w latach 1882-1890. Samolot ten dokonał niekontrolowanego lotu na odległość ok. 50 m, co wystarczyło do zachęcenia armii francuskiej do finansowania dalszych doświadczeń. Kolejne samoloty Adera były nieudane i armia francuska w 1898 r. zerwała kontrakt na ich budowę.

Ampere Andre Maria (20.01.1775 - 10.06.1836) - francuski fizyk i matematyk, zajmował się badaniem zjawiska elektromagnetyzmu. W 1804 roku wyjechał do Paryża. Został zatrudniony w École Polytechnique, najpierw jako wykładowca matematyki, a od r. 1808 jako profesor. Stanowisko profesora dzielił z Cauchym. W roku 1808 został nominowany (przez Napoleona) na inspektora generalnego francuskich wyższych uczelni. W roku 1826 w uznaniu dla ogromnego, wartościowego dorobku naukowego otrzymał katedrę fizyki w prestiżowym Collège de France. Kierował nią aż do śmierci. Po roku 1826 roku wykładał również filozofię na Faculté des Lettres. Był przede wszystkim matematykiem. W tej dyscyplinie prowadził wykłady i większość badań. Między innymi rozwijał teorię równań różniczkowych cząstkowych, opracowując ich klasyfikację. Prowadził również badania w dziedzinie chemii:

odkrył fluor, niezależnie od Avogadro sformułował prawo o identyczności liczby cząsteczek każdego gazu pod tym samym ciśnieniem i w tej samej objętości. Opracował klasyfikację pierwiastków. Jednak za największe dokonanie Ampère'a uważany jest jego wkład do rozwoju nauki o elektryczności i magnetyzmie.

Archimedes (ok. 287-212 p.n.e) - grecki filozof przyrody i matematyk. Opracował wzory na pole powierzchni i objętość walca, kuli i czaszy kulistej oraz rozważał objętości paraboloidy, hiperboloidy i elipsoidy obrotowej. Poprawnie oszacował wartość liczby π . Sformułował prawo Archimedesesa. Wprowadził pojęcie siły, podał zasadę dźwigni. Wynalazł udoskonalony wielokrążek i tzw. śrubę Archimedesesa. Był również konstruktorem machin wojennych, wykorzystanych do obrony Syrakuz przed Rzymianami w latach 214-212 p.n.e., tj. podczas II wojny punickiej. Zginął po zdobyciu miasta, zabity przez rzymskiego żołnierza.

Bahyl Jan (25.05.1845-13.03.1916) - słowacki wynalazca. Ukończył (1869) Akademię Górnictwa w Bańskiej Szczawnicy zdobywając dyplom z rysunku technicznego, a następnie Akademię Wojskowej w Wiedniu (1879). Podczas pracy dla wojska opracował wiele wynalazków, w szczególności z zakresu hydrauliki. Uzyskał siedem patentów, w tym na pompę zbiornikową, balon połączony z turbiną powietrzną (1894), pierwszy benzynowy silnik samochodowy na Słowacji i helikopter Avion (1905).

Baildon John (11.07.1772-7.08.1846) - hutnik, przemysłowiec, inżynier, uważany za ojca współczesnego hutnictwa żelaza. W 1793 roku przybył do Tarnowskich Gór, gdzie objął stanowisko doradcy technicznego przy budowie Królewskiej Odlewni Żelaza w Gliwicach (projektował i nadzorował budowę wielkiego pieca hutniczego opalanego koksem). Zbudowany przez Baidona wielki piec był pierwszym tego typu na kontynencie europejskim (uruchomienie 21.09.1796). Brał także udział przy konstrukcji i odlewie najstarszego na kontynencie europejskim mostu żelaznego nad Strzegomką w Łazanach na Dolnym Śląsku (1796). Współuczestniczył (1799) w pracach projektowych nowej huty, która otrzymała nazwę „Królewska Huta” i stała się najnowocześniejszą hutą ówczesnej Europy. W 1804, inwestując własne fundusze, wybudował hutę cynku w Katowicach - Wełnowcu, w której wykorzystał nowatorskie wówczas piece muflowe. Był także właścicielem nieistniejących obecnie kopalni węgla kamiennego Helena i Pax w Bełku, gdzie miał też majątek ziemski.

Benz Karl (25.11.1844-4.04.1929) - niemiecki inżynier, pionier motoryzacji. Ukończył (1864) studia w Polytechnische Hochschule. W 1878 roku opracował konstrukcję dwusuwowego silnika spalinowego, a następnie lekkiego silnika czterosuwowego. Zastosował mechanizm różnicowy, oraz skonstruował inne zespoły pojazdu mechanicznego, jak świeca zapłonowa, sprzęgło, gaźnik, chłodnica wodna oraz skrzynia biegów. Zbudował (1885) pierwszy pojazd trzykołowy z silnikiem spalinowym i elektrycznym zapłonem. W 1883 roku założył spółkę „Benz & Cie. Rheinische Gasmotorenfabrik Mannheim“ wytwarzającą stacjonarne silniki spalinowe na gaz miejski. Firma ta po połączeniu w roku 1926 ze spółką Daimler-Motoren-Gesellschaft przekształciła się w spółkę akcyjną Daimler-Benz AG.

Bessemer Henry (19.01.1813-15.03.1898) - brytyjski inżynier i wynalazca. Jego pierwszym wynalazkiem była pieczęć z ruchomym datownikiem. Później zajął się produkcją

barwnika z mosiądzu, używanego w farbách. Dzięki dużemu zapotrzebowaniu na tego typu surowiec Bessemer wkrótce doszedł do znacznej fortuny. Równocześnie zajmował się także innymi sprawami, m.in. maszyną do wytwarzania cukru z trzciny cukrowej. Wkrótce jednak skupił się na metalurgii. W 1856 roku ogłosił nową technologię świeżenia roztopionej surówki żelaza, poprzez przedmuchiwanie jej powietrzem w specjalnym piecu zwanym konwerterem. Do przeróbki w procesie Bessemera nadawała się surówka pozbawiona fosforu. Prace wynalazcze kontynuował do późnej starości (dotyczyły one m.in. pieca solarnego i maszyny do polerowania diamentów).

Blanchard Jean Pierre (4.07.1753 - 7.03.1809) - francuski wynalazca, pionier baloniarstwa. Swoją pierwszy, w pełni udany lot odbył 2 marca 1784 startując z Pól Marsowych w Paryżu balonem wypełnionym wodorem. Pięć lat później (10.05.1789) wykonał lot pokazowy w Warszawie, w obecności króla Stanisława Augusta Poniatowskiego (lot trwał 49 min, w czasie których pokonano dystans 7 km).

Blériot Louis (1.07.1872-2.08.1936) - francuski producent lamp samochodowych, motocykli i samolotów, wynalazca i pionier lotnictwa. Ukończył (1895) zaliczaną do najlepszych francuskich uczelni technicznych École Centrale Paris uzyskując tytuł inżyniera. W 1900 roku zbudował swój pierwszy statek latający typu ornitopter (skrzydłowiec). W 1907 odbył swój pierwszy lot samolotem własnej konstrukcji, a w 1910 przyznano mu pierwszą licencję pilota we Francji. W dniu 25 lipca 1909 jako pierwszy człowiek na świecie pokonał jednopłatowym samolotem własnej konstrukcji Blériot XI Kanał La Manche. Zbudował (1910) pierwszy samolot pasażerski nazwany aerobusem, rozpoczynając tym samym erę lotnictwa pasażerskiego. W 1914 odkupił od Deperdussina wytwórnię SPAD, w której podczas I wojny światowej wyprodukował około 10 tysięcy samolotów. Po I wojnie zajął się produkcją motocykli.

Bollee Amedee (1844-1917) - francuski wynalazca specjalizujący się w samochodach parowych. W 1878 roku zaprojektował pojazd "La Mancelle", który był pierwszym seryjnie produkowanym autemobilem (wykonano ok. 50 szt.), wyposażonym w napęd na tylną oś (poprzez wał napędowy, dyferencjał i przekładnię łańcuchową) oraz niezależne zawieszenie czterech kół. Następny jego pojazd "La Rapide" (1881) osiągał prędkość 62 km/h i mógł być obsługiwany przez jedną osobę.

Boulton Matthew (3.09.1728-17.08.1809) - fabrykant angielski, współnik szkockiego inżyniera Jamesa Watta. W okresie ostatnich 25 lat XIX wieku spółka Boulton & Watt wyprodukowała ok. 250 silników parowych, co umożliwiło mechanizację fabryk i młynów. Boulton opracował też m. in. nowe technologie do wybijania monet, używane następnie w wielu krajach.

Breguet Louis Charles (2.01.1880 - 4.05.1955) - francuski konstruktor lotniczy, jeden z pionierów lotnictwa. W 1905 rozpoczął pracę nad śmigłowcem Gyroplane 1, w którym silnik spalinowy napędzał cztery wirniki nośne, jednakże próby lotu były nieudane. Począwszy od 1909 roku projektował samoloty. Wraz z bratem założył (1911) wytwórnię lotniczą Société Anonyme des Ateliers d'Aviation Louis Breguet, która produkowała maszyny dla armii francuskiej. W 1917 r. skonstruował nowoczesny lekki bombowiec Breguet 14, jeden z najlepszych samolotów okresu I wojny, zbudowany w ilości ok. 8000 sztuk. W 1919 założył Compagnie des Messageries Aeriennes, które z czasem przekształciło się w linię lotniczą Air France.

Brush Charles Francis (17.03.1849 - 15.06.1929) - amerykański wynalazca, przedsiębiorca i filantrop. Ukończył górnicze studia na University of Michigan. W 1876 roku w Telegraph Supply Company in Cleveland projektuje generator elektryczny (dynamo) do zasilania lamp łukowych. Następnie opracowuje system oświetlenia ulicznego, które sprzedaje szeregu miastom (New York, Boston, Philadelphia, Baltimore, Montreal,

Buffalo, San Francisco, Cleveland i inne). W roku 1880 zakłada firmę Brush Electric Company, w której produkowane jest wyposażenie dla pierwszej hydroelektrowni w USA (St. Anthony Falls w Minneapolis). Firmę tę sprzedaje w roku 1889 (staje się ona częścią General Electric) i nie wraca więcej do przemysłu. Do końca życia zajmuje się wynalazczością i pracą badawczą. Jest autorem pierwszego generatora wiatrowego oraz igły piezoelektrycznej.

Cayley George (27.12.1773 - 5.12.1857) - brytyjski inżynier, pionier lotnictwa. Autor prac z dziedziny aeronautyki: teorii lotu, konstrukcji statków latających oraz ich napędzania. Projektował różnorodne statki powietrzne: sterowce, samoloty, szybowce. Czasami jest nazywany "Ojcem Awiacji". Był pierwszym człowiekiem, który wykorzystywał osiągnięcia i narzędzia współczesnej nauki oraz inżynierii w celu zrozumienia mechanizmu lotu. Jego sukcesem było stworzenie pierwszego na świecie szybowca zdolnego do uniesienia człowieka (1853).

Cierva Juan de la (21.09.1895-9.12.1936) - hiszpański inżynier, konstruktor lotniczy i pilot. Już w wieku 15 lat budował szybowce - lotnie, na których wykonywał loty. W 1918 skonstruował trójsilnikowy samolot. Skonstruował autożyro (wiatrakowiec) z dwoma przeciwbieżnymi wirnikami osadzonymi na wspólnej, pionowej osi (1920). W połowie lat dwudziestych przeniósł się do Wielkiej Brytanii, gdzie stanął na czele przedsiębiorstwa Cierva Autogiro Company Ltd opracowującego i produkującego kolejne, coraz doskonalsze, modele wiatrakowców. W 1934 roku jeden z modeli (Cierva C.30) zakupiła Polska dla potrzeb swoich sił zbrojnych.

Chanute Octave (18.02.1832 - 23.11.1910) - amerykański inżynier, wynalazca oraz pionier lotnictwa, pochodzenia francuskiego. Z wykształcenia był inżynierem transportu kolejowego. Zaprojektował i zbudował wiele mostów w Stanach Zjednoczonych, między innymi Kansas City Bridge. Zajmował się też teorią lotnictwa. W latach 1894-1898 zbudował wiele szybowców, na których jego asy-

stent Augustus Herring (1867-1926) wykonał ponad tysiąc lotów. Wynałazł stery wysokości i kierunku lotu. Swoją pomocą i radą wspierał braci Wright

Coanda Henri (7.06.1886-25.11.1972) - rumuński inżynier i konstruktor lotniczy. Urodził się w Bukareszcie i tam ukończył akademię wojskową jako oficer artylerii. Naukę kontynuował w Niemczech i Belgii a następnie we Francji na nowo powstałej Wyższej Szkole Inżynierów Lotniczych (w Paryżu), którą ukończył w 1910 roku. Po przeprowadzeniu dużej liczby badań oraz pionierskich eksperymentów w tunelu aerodynamicznym odkrył nowy efekt aerodynamiczny nazwany później efektem Coandy. W 1910 roku skonstruował zaś samolot znany jako "Coandă 1910", uznawany za pierwszy samolot odrzutowy. W okresie międzywojennym konstruował różne środki transportu, jak sanie o napędzie odrzutowym i aerodynamiczny pociąg. W 1935 roku skonstruował "Aerodina Lenticulara" – latający poduszkowiec w kształcie dysku, opierający się na odkrytym i zbadanym przez siebie efekcie.

Colt Samuel (19.07.1814-10.01.1862) - amerykański konstruktor i producent broni strzeleckiej. Skonstruował (1830) prototyp rewolweru kapiszonowego, wyposażonego w otwarty szkielet oraz mechanizm obrotu i ryglowania bębna, na który uzyskał (1835) amerykański i angielski patent. W 1839 roku opatentował urządzenie do ładowania bębna bez jego demontażu ze szkieletu. Założył zakłady Colt's Manufacturing Company w Hartford w stanie Connecticut. Z powodu opatentowania w 1857 roku przez firmę Smith & Wesson rewolweru na naboje zespolone bocznego zapłonu, nie zdecydował się na wprowadzenie tego naboju do swoich rewolwerów i produkował wyłącznie rewolwery kapiszonowe. Wynałazł również baterię podwodną oraz uruchomił (1843) pierwszy podwodny telegraf łączący Fire Island i New York.

Congreve William (20.05.1770-16.05.1828) - angielski wynalazca, pionier badań nad bronią raketową. Zdobył wykształcenie prawni-

cze w Trinity College, Uniwersytet Cambridge. Od 1804 natomiast prowadził w Królewskim Laboratorium badania nad pociskami raketowymi, które były bronią praktycznie nie używaną w Europie. Poprawił celność tej broni na tyle, że Brytyjska Marynarka Wojenna użyła jej do ostrzeliwania portów Francji i jej sojuszników podczas wojen napoleońskich. Wynałazł także czasowy detonator, spadochron do raket, wodno-pneumatyczne zamykanie kanałów, służę (1813), druk kolorowy (1821), nowy typ silnika parowego, metodę neutralizowania dymu.

Coulomb Charles Augustin de (14.06.1736 - 23.08.1806) - francuski fizyk. Uczęszczał do Szkoły Inżynierii (École du Génie), po ukończeniu której (1761), został mianowany na stopień porucznika wojsk inżynieryjnych. Najpierw skierowano go do garnizonu Brest, a później na wyspę Martynikę w Indiach Zachodnich. Tam w latach 1763–1772 kierował budową Fortu Burbon. Począwszy od 1773 całkowicie poświęcił się pracom badawczym dotyczącym magnetyzmu, teorii maszyn prostych i elektrostatyki. Od 1781 członek francuskiej Akademii Nauk. W 1785 na podstawie wielu precyzyjnych eksperymentów, przeprowadzonych za pomocą wagi skręceń sformułował prawo nazwane od jego nazwiska prawem Coulomba, będące podstawowym prawem elektrostatyki. Później rozwinął teorię elektryzowania powierzchniowego przewodników. W 1786 odkrył zjawisko ekranowania elektrycznego, a w 1789 wprowadził pojęcie momentu magnetycznego.

Cowper Edward (10.12.1819-9.05.1893) - angielski inżynier i wynalazca. Opatentował między innymi system sygnalizacji kolejowej działającej we mgle (1837), samopiszący telegraf elektryczny oraz nagrzewnicę dmuchu wielkopieczowego (1857). W latach 1880-1881 pełnił funkcję przewodniczącego Institution of Mechanical Engineers, brytyjskiego stowarzyszenie inżynierów

Cort Henry (1740-25.05.1800) - brytyjski metalurg. Początkowo pracuje jako dostawca materiałów dla Royal Navy. W 1775 roku

wynajmuje kuźnicę w pobliżu Portsmouth i rozpoczyna produkcję żelaza. W latach 1783 i 1784 patentuje dwa procesy, które wkrótce zapewniają Anglii pierwszeństwo w świecie pod względem produkcji żelaza. Pierwszy z nich dotyczy świeżenia surówki w celu jej odwęglenia w piecu pudlarskim, drugi zaś walcowania bruzdowego prętów.

Cugnot Nicolas Joseph (25.02.1725 - 2.10.1804) - francuski inżynier wojskowy. Od 1765 roku eksperymentował dla francuskiej armii z modelami pojazdów napędzanych silnikiem parowym, mającymi ciągnąć ciężkie działa (pierwszymi ciągnikami artyleryjskimi). Skonstruowany przez niego pojazd został uruchomiony w 1769. Dwa lata później ulepszony pojazd zderzył się z murem, co w połączeniu z problemami budżetowymi spowodowało zakończenie eksperymentu armii francuskiej z pojazdami mechanicznymi.

Daimler Gottlieb (17.03.1834-6.03.1900) - niemiecki konstruktor i przemysłowiec. Po ukończeniu studiów w Szkole Politechnicznej w Stuttgarcie podjął w roku 1862 pracę, jako konstruktor w fabryce wyrobów metalowych. W roku 1872 Nikolaus Otto powierza Daimlerowi kierownictwo wydziału produkcyjnego w Fabryce Silników Spalinowych Gazuwch Gasmotorenfabrik Deutz, gdzie wspólnie z Maybachem udoskonalają i wprowadzają silnik spalinowy systemu Otto do produkcji seryjnej. W 1882 r. zakłada własny warsztat doświadczalny w Cannstatt celem opracowania projektu małego silnika benzynowego dużej mocy. Po roku prac rozwojowych prowadzonych wspólnie z Maybachem mają gotowy czterosuwowy silnik jednocylindrowy. Kolejnym ich wynalazkiem jest motocykl (1885), jeden z pierwszych na świecie. Następnie zakłada w Cannstatt (1887) fabrykę produkującą silniki spalinowe i pojazdy mechaniczne. W 1890 przekształca firmę w spółkę Daimler-Motoren-Gesellschaft.

Darby Abraham (14.04.1678-8.03.1717) - brytyjski metalurg. Był pierwszym przedstawicielem trzypokoleniowej rodziny, która wniosła znaczący wkład w rozwój metalurgii

w czasie rewolucji przemysłowej. Rozwinął metodę wytwarzania surówki w procesie wielkopiecowym, w którym paliwem w miejsce dotychczas stosowanego węgla drzewnego był koks (1709).

Davenport Thomas (9.07.1802-6.07.1851) - amerykański kowal i wynalazca. W 1834 roku zbudował pierwszy silnik elektryczny, rok później zastosował go do napędu modelu elektrycznej kolejki. W tym samym roku zbudował również pierwszy model samochodu napędzanego silnikiem elektrycznym, czerpiącym prąd z baterii elektrycznej. Pierwszy silnik elektryczny, osiągający prędkość obrotową 450 obr/min, nadający się do napędzania obrabiarki zbudował w roku 1837. Dwa lata później zbudował jeszcze większy silnik, napędzający rotacyjną prasę drukarską. Drukował na niej (w Nowym Jorku) czasopismo poświęcone elektryczności.

Davy Edmund (1785-5.11.1857) - brytyjski chemik. Zastosował powłokę z cynku, jako ochronę żelaza przed korozją (1829). Wynalazł gaz - acetylen, który został tak nazwany później przez Marcellina Berthelota (1827-1907).

Davy Humphry (17.12.1778-29.05.1829) - angielski chemik i fizyk. Wykazał, że objętość wodoru wydzielonego podczas elektrolizy wody jest dwukrotnie większa od objętości wydzielonego tlenu. Posługując się metodami elektrochemicznymi otrzymał bar, magnez, potas, sól, stront, chlor. Wykazał, że chlor jest pierwiastkiem oraz, że istnieją kwasy beztlenowe. Stwierdził znieczulające działanie tlenu azotu. Uznał diament za odmianę alotropową węgla. Odkrył łuk elektryczny. Skonstruował bezpieczną lampę górniczą, tzw. lampę Davy'ego. Był członkiem honorowym Towarzystwa Warszawskiego Przyjaciół Nauk.

Diesel Rudolf (18.03.1858-29.09.1913) - niemiecki konstruktor, twórca silnika wysokoprężnego. Ukończył (1880) studia na politechnice w Monachium, gdzie uzyskał najlepszy wynik w dotychczasowej historii uczelni. Projekt nowego rodzaju silnika ogło-

sił w lutym 1892 (patent 28.02.1893). Pierwszy w pełni udany silnik wysokoprężny zbudował w roku 1897, pracując w zakładach MAN AG w Augsburgu. W kwietniu 1900 roku przedstawił na wystawie światowej w Paryżu silnik swojej konstrukcji napędzany olejem arachidowym z orzeszków ziemnych. Zginął tragicznie, zanim wprowadził napędzany olejami roślinnymi silnik do produkcji. Było to na rękę producentom ropy, która wtedy była jedynym paliwem do silników spalinowych.

Dion Albert de (9.03.1856-19.08.1946) - francuski wynalazca i konstruktor samochodów. Był jednym z pierwszych automobilistów i założycielem francuskiego Automobilklubu. Początkowo zagorzały zwolennik samochodów parowych - razem ze swoim współnikiem skonstruował (1884) parowy pojazd opalany węglem. Później jednak zaczął się skłaniać ku silnikom spalinowym. Pierwszy patent na taki silnik otrzymał w roku 1889. Był to silnik, o pojemności zaledwie 98 centymetrów sześciennych, ale jako jeden z pierwszych na świecie z elektryczną instalacją zapłonową wyposażoną w cewkę i przerywacz. Pięć lat później buduje większy silnik o pojemności 180 cm³ i mocy 3 KM, który montuje w trójkołowych pojazdach (jeden z nich można oglądać w Muzeum Techniki w Warszawie).

Doliwo-Dobrowolski Michał (2.01.1862 - 15.11.1919) rosyjski (pochodzenia polskiego) elektrotechnik, elektryk i wynalazca. Studiował na Wydziale Chemicznym politechniki w Rydze, skąd został relegowany (1881) bez prawa studiowania w Rosji. Wyjechał wtedy do Niemiec, gdzie kontynuował naukę na politechnice w Darmstadt. W 1888 roku wybudował prądnicę trójfazowego prądu zmiennego, robiąc to na kilka miesięcy przed Nikołą Teslą. Skonstruował trójfazowy silnik indukcyjny z wirnikiem klatkowym (1889). Na światowej Wystawie Elektrotechnicznej we Frankfurcie n. Menem (1891) zaprezentował wiele urządzeń, m.in. trójfazową linię energetyczną o długości 175 km, napięciu 20 kV i sprawności 75%. Współpracował z tą li-

nią opracowany przez niego silnik trójfazowy o mocy ok. 74 kW (100 KM - największy wówczas na świecie). Skonstruował także pierwszą prądnicę prądu zmiennego 3-fazowego z wirującym polem magnetycznym. W latach 1894-1895 pracował nad generatorami dużej mocy dla hydroelektrowni. Opracował założenia techniczne pierwszej na świecie trójfazowej elektrowni wodnej na Renie w Rheinfelden, zbudowanej w 1895 roku. Współpracował przy projektowaniu elektrowni trójfazowych w Zabrzu i Chorzowie (1897).

Drzewiecki Stefan (26.07.1844-23.04.1938) - polski inżynier, wynalazca, pionier żeglugi podwodnej i lotnictwa. W 1872 dokonał dwóch wynalazków: specjalnego cyrkla do wykreślania przekrojów stożkowych oraz parabolicznego regulatora silników parowych. W tym samym okresie skonstruował "dromograf" - przyrząd automatycznie kreślący drogę statku na mapie, którym zainteresowała się rosyjska marynarka wojenna. Po przeniesieniu się do Rosji zajął się konstruowaniem okrętów podwodnych, stale je udoskonalając i wyposażając w nowoczesne urządzenia. Począwszy od 1888 konstruował okręty podwodne o napędzie elektrycznym. W 1892 przeniósł się na stałe do Francji. W 1896 został laureatem pierwszej nagrody w konkursie ministerstwa marynarki za projekt nowoczesnego okrętu podwodnego. W 1908 w Rosji zbudowano, według jego projektu, okręt podwodny z napędem spalinowym o wyporności 350 t. Zajmował się także lotnictwem, skonstruował m.in. płatowiec "Canard", wyposażony w tylne śmigło i samoczynne urządzenia stabilizacyjne. Z jego inicjatywy powstały w Paryżu pierwsze tunele aerodynamiczne.

Dudley Dudd (1600-1684) - angielski metalurg i inżynier wojskowy. Był jednym z pierwszych, którzy do wytapiania rudy żelaza zaczęli stosować koks. Patent na nowy sposób wytopu został udzielony jego ojcu Edwardowi w 1622 roku.

Dunlop John (5.02.1840-23.10.1921) - wynalazca brytyjski, z zawodu lekarz weteryna-

rii. Od 1867 roku prowadził swoją praktykę w Belfaście. Usprawnił rower swojego syna nakładając na koła konstrukcję z płótna wzmocnionego gumą (1887). W ten sposób stał się wynalazcą rowerowej opony pneumatycznej. Rok później (1888) opatentował swój wynalazek, używając słowa "pneumatyczny". W 1890 roku Dunlop założył firmę Pneumatic Tyre and Booth's Cycle Agency w Belfaście, stając się pierwszym na świecie masowym producentem opon rowerowych. W 1896 roku Harvey du Cros (1846-1918), producent papieru, odkupił patent od Dunlopa za 3000 funtów. Wynalazca przeprowadził się do Dublina, gdzie rozpoczął współpracę z firmą rowerową Bowden and Gillies.

Edison Thomas (11.02.1847-18.10.1931) - jeden z najbardziej znanych i twórczych wynalazców na świecie, przedsiębiorca. Drobne założonych i administrowanych przez niego laboratoriów to około 5000 patentów, z których 1093 wystawionych jest na jego nazwisko. Założyciel prestiżowego czasopisma naukowego Science (1880). Samouk, od 1927 członek Narodowej Akademii Nauk w Waszyngtonie. Udoskonalił telefon Bella przy użyciu cewki indukcyjnej i mikrofonu węglowego, wynalazł fonograf (1877), opatentował żarówkę elektryczną (1879), w latach 1891-1900 pracował nad udoskonaleniem magnetycznej metody wzbogacania rud żelaza, odkrył emisję termoelektronową (1883), zbudował akumulator zasadowy niklowo-żelazowy (1904). Zorganizował w Menlo Park pierwszy na świecie instytut badań naukowo-technicznych, zbudował w Nowym Jorku (1881-82) pierwszą na świecie elektrownię publicznego użytku, był właścicielem wielu przedsiębiorstw w Ameryce Północnej i Europie. Wiele kontrowersji wzbudzały jego metody egzekwowania swoich praw patentowych. Kwestionowane jest również autorstwo części z przypisywanych mu wynalazków.

Einstein Albert (14.03.1879-18.04.1955) - jeden z największych fizyków-teoretyków XX wieku. Studiował w szkole politechnicznej w Zurychu. Pracując na podrzędnym sta-

nowisku w federalnym biurze patentowym w Bernie, opublikował pracę (1905) zawierającą podstawowe idee szczególnej teorii względności. W tym samym roku opublikował wyniki prac nad korpuskularną teorią światła i zależnością pomiędzy masą i energią (wzór Einsteina). Od 1909 roku był profesorem uniwersytetu w Zurychu, następnie od 1911 r. uniwersytetu w Pradze, a w 1914 roku przeniósł się do Berlina, gdzie został dyrektorem specjalnie stworzonego Instytutu Fizyki. W 1916 roku Einstein opublikował swoją najważniejszą pracę dotyczącą ogólnej teorii względności, która stanowiła uogólnienie teorii grawitacji Newtona. W tym czasie rozwinął także kwantową teorię promieniowania. W 1921 roku otrzymał Nagrodę Nobla za odkrycie praw zjawiska fotoelektrycznego. Zmuszony do opuszczenia Niemiec (1933) objął stanowisko profesora w Institute for Advanced Study w Princeton (USA). Do końca życia pracował na połączeniu w jedną całość teorii grawitacji z innymi teoriami pola, jak np. pola elektromagnetycznego. Prace te nie zostały zakończone sukcesem. Opublikował ponad 450 prac, w tym ponad 300 naukowych. Wniósł też swój wkład do rozwoju filozofii nauki

Evans Oliver (13.09.1755-15.04.1819) - wynalazca amerykański. Początkowo zajmował się usprawnieniami maszyn włókienniczych. Usprawnił i zautomatyzował również pracę młyna wodnego. W roku 1789 roku otrzymał patent na pojazd, w którym jako napęd zastosował wysokociśnieniowy silnik parowy. Na zamówienie władz Filadelfii (1805) skonstruował pojazd napędzany silnikiem parowym o mocy 5 KM. Ouktor Amphibolis (bo tak nazwał swój pojazd), był pierwszym na świecie samochodem amfibią. Służył on do pogłębiania toru wodnego w dokach filadelfijskich. W wodzie napędzało go koło łopatkowe, a na lądzie dwa koła umieszczone pod silnikiem.

Faraday Michael (22.09.1791-25.08.1967) - fizyk i chemik angielski, samouk. Największe znaczenie miały prace Faradaya dotyczące elektryczności. Odkrył zjawisko indukcji

elektromagnetycznej (1831), co przyczyniło się do powstania elektrodynamiki. Sformułował (1833-34) prawa elektrolizy i wprowadził nomenklaturę dla opisu tego zjawiska. Stworzył podstawy elektrochemii. Zbudował pierwszy model silnika elektrycznego (1831). W 1848 r. odkrył tzw. zjawisko Faradaya, mające wpływ na sformułowanie przez C. J. Maxwella elektromagnetycznej teorii światła. Odkrył benzen (1825), skroplił większość znanych wówczas gazów (oprócz m.in. tlenu i azotu). Prowadził pionierskie prace nad stalami stopowymi i szkłem optycznym. Od jego nazwiska jednostka pojemności elektrycznej nazywana jest faradem.

Focke Henrich (8.10.1890-25.02.1979) - niemiecki konstruktor samolotów i śmigłowców. Wraz z George Wulfem i Wernerem Neumannem założył zakłady lotnicze Focke-Wulf (1924). Produkował słynne samoloty szkolne Fw 44, wielozadaniowe Fw 58, pasażerski transatlantycki Fw 200 i myśliwski Fw 190. Był pionierem techniki śmigłowcowej. Jego Fw 61 pobił (1937) wszystkie dotychczasowe rekordy świata dla helikopterów. Po wojnie pracował przy konstrukcji śmigłowców we Francji i w Brazylii.

Ford Henry (30.07.1863-7.04.1947) - amerykański przemysłowiec. W 1896 roku zbudował pierwszy prototyp własnego samochodu. Był jednym ze współzałożycieli firmy Detroit Automobile Company (1899), później przekształconej w Cadillac Motor Company (1902). Wkrótce po założeniu firmy poróżnił się ze współdziałowcami co do strategii jej rozwoju, dlatego sprzedał udziały. Był zwolennikiem produkcji dużej liczby tanich samochodów. Zrewolucjonizował system produkcji aut, wprowadzając ruchomą taśmę produkcyjną i trzyzmianowy dzień pracy. Szybko pokonał konkurencję, wprowadzając (1907) Forda T i ograniczając produkcję wyłącznie do jednego modelu i koloru - czarnego. Dzięki temu był w stanie zredukować cenę i uczynić auto dostępne dla szerokiego grona odbiorców. Do zakończenia produkcji w 1927 r. wyprodukowano w sumie ponad 15 milionów Fordów T. Początkowo sprawdzał

osobiście każdy wyprodukowany samochód (potwierdzając to własnoręcznym podpisem Ford). Powszechna dostępność aut Forda zrewolucjonizowała układy społeczne w USA, umożliwiając zasiedlanie przedmieść wielkich miast.

Francis James Bicheno (18.05.1815 - 18.09.1892) - inżynier amerykański. Urodził się w South Leigh w Anglii, z której wyemigrował do USA w wieku 18 lat. W 1834 r. otrzymał pracę w Locks and Canal Company of Lowell (Massachusetts). W zakładzie tym przepracował całe życie zawodowe (od 1837 jako główny inżynier). Jego największym osiągnięciem jest wynalezienie turbiny wodnej (1848), o wysokiej sprawności (90%).

Fulton Robert (14.11.1765-24.02.1815) - inżynier amerykański, wynalazca. Studiował malarstwo w Londynie, później zajął się konstruowaniem statków. Na zlecenie Napoleona zbudował (1800) okręt podwodny Nautilus, napędzany ręcznie za pomocą śruby. W 1802 r. pierwszy jego statek parowy został przetestowany w Anglii. Zbudował pierwszy komercyjny parowy statek pasażerski "Clermont" (1807), który przewoził ludzi na trasie New York - Alabany.

Galileusz (15.02.1564-8.01.1642) - włoski astronom, astrolog, fizyk i filozof, twórca podstaw nowożytnej fizyki. Poza pracami z dziedziny filozofii i astrofizyki odkrył prawo ruchu wahadła (1583). Zbudował wagę hydrostatyczną (1586). Sformułował prawo swobodnego spadania ciał (1602). Zbudował lunetę astronomiczną i zastosował ją do obserwacji (1609). Odkrył góry na Księżycu, satelity Jowisza, fazy Wenus oraz stwierdził obrót Słońca dookoła osi. Udoskonalił też tzw. Kompas geometryczny i wojskowy (1595-98), umożliwiający precyzyjne strzelanie z dział.

Garnerin Andre-Jacques (31.01.1769 - 18.08.1823) - skoczek spadochronowy i pilot balonowy. W 1794 r. zastosował po raz pierwszy balon do obserwacji pola walki. Jako pierwszy człowiek na świecie wykonał (1797) skok spadochronowy, z wysokości około 900 m, wykorzystując jedwabny spa-

dochron przytwierdzony do kosza balonu. W 1803 r. wykonał balonem przelot długości 300 km. Jego żona Jeanne Genevieve (1775-1846) była pierwszą w świecie pilotką balonową i spadochroniarką.

Garros Roland (6.10.1888-5.10.1918) - francuski pilot. Studiował muzykę, chcąc zostać pianistą, lecz po obejrzeniu pierwszych pokazów lotniczych (1909) poświęcił się nowej pasji i już przed wojną został znanym lotnikiem. Sławę przyniósł mu pierwszy przelot nad Morzem Śródziemnym do Bizerty (23 września 1913), trwający 7 godzin 53 minuty. Brał udział w wyścigach i pokazach lotniczych, ustanowił również szereg rekordów wysokości lotu. W 1911 roku został oblatywaczem w firmie lotniczej Morane-Saulnier. Po wybuchu I wojny światowej (1914) wstąpił do francuskiego lotnictwa wojskowego. Prawdopodobnie był pierwszym pilotem myśliwskim (opancerzył śmigło zabezpieczając je przed przestrzeleniem pociskami). Pod koniec I wojny zginął, zestrzelony w Ardenach.

Gatling Richard (12.09.1818-26.02.1903) - amerykański wynalazca, konstruktor broni palnej. Ukończył (1850) studia medyczne. W 1844 roku rozpoczął w Saint Louis produkcję urządzeń rolniczych, a później w Indianapolis, pracę nad konstrukcją broni o dużej szybkostrzelności. Skonstruował (patent w 1862) kartaczoownicę z obrotową wiązką luf, będącą pierwszym udanym karabinem maszynowym. W 1862 r. założył w Indianapolis wytwórnię broni Gatling Gun Company, produkującą kartaczoownice, która w 1897 połączyła się z zakładami Colta. Pod koniec życia opracował ulepszoną wersję kartaczoownicy, która miała napęd elektryczny luf i automatykę.

Giffard Henri Jules (8.01.1825 - 14.04.1882) - francuski inżynier, pionier lotnictwa i konstruktor sterowców. Studiował na College Bourbon. Następnie pracował na kolei, interesując się konstrukcją maszyn parowych. Dzięki swoim wynalazkom przyczynił się do ich unowocześnienia. W 1851 roku zgłosił patent na zastosowanie maszyny parowej do napędu statków powietrznych. Zbu-

dował pierwszy na świecie sterowiec, którym wzniósł się w powietrze 24 września 1852 roku. Przeleciał ok. 27,5 km z Paryża do Élan-court z prędkością ok. 8 km/h.

Goddart Robert (5.10.1882-10.08.1945) - amerykański konstruktor i wynalazca lotniczy, pionier techniki raketowej i astronautyki. W latach 1919-43 był profesorem uniwersytetu Clarka w Worcester. Uzyskał 214 patentów za opracowania z dziedziny techniki raketowej, w tym na raketę wielostopniową (1915) oraz raketę na paliwo ciekłe (1915). W latach 1926-1941 wystrzelił wraz ze swoim zespołem badawczym 34 rakiety.

Goodyer Charles (29.12.1800-1.07.1860) - amerykański wynalazca i przedsiębiorca, twórca podstaw współczesnego przemysłu gumowego. Wynalazł technologię produkcji gumy (1839), którą udoskonalał i na którą uzyskał patent (1844). Mimo swoich wynalazków zmarł w nędzy. Na jego cześć nazwano już po jego śmierci, założoną w 1898 firmę przemysłu gumowego Goodyear Tire and Rubber Company, z którą jednak ani on ani jego rodzina nie mieli nic wspólnego

Guericke Otto von (20.11.1602-11.05.1686) - niemiecki fizyk i wynalazca. Skonstruował pierwszą pompę próżniową (1650). W roku 1654 wykonał słynne doświadczenie z półkulami magdeburskimi wykazując istnienie ciśnienia powietrza. Skonstruował również barometr wodny (1662) i maszynę elektrostatyczną (1663). Był długoletnim (1646-1676) burmistrzem Magdeburga.

Gurney Goldsworthy (14.02.1793 - 28.02.1875) - angielski wynalazca. Odebrał wykształcenie medyczne i praktykował jako chirurg, lecz szybko porzucił ten zawód i zajął się rozwiązywaniem licznych problemów z zakresu techniki. Zbudował powóz z napędem parowym (1827), który obsługiwał (1829) połączenie między Londynem i Bath ze średnią prędkością 24 km/h, jednak bez sukcesu komercyjnego.

Hall Charles (6.12.1863-27.12.1914) - amerykański wynalazca, chemik i przemysłowiec. Jego najważniejszym wynalazkiem jest

tani sposób wytwarzania aluminium (1886) metodą elektrolizy. Proces ten w tym samym roku niezależnie odkrył P. Heroult (1863-1914). Wraz z Alfredem E. Huntem (1885-1899) zakłada Reduction Company of Pittsburgh, w której produkuje aluminium na skalę przemysłową.

Haswell John (20.03.1812-8.06.1897) - szkocki inżynier budowy maszyn. W 1838 roku objął kierownictwo głównych warsztatów wiedeńskiej kolei wschodniej, tzw. Wien-Raaber-Bahn, w których uruchomiono (1840) fabrykę maszyn, zajmującą się budową lokomotyw i wagonów. Był znanym konstruktorem lokomotyw. Spośród jego licznych innowacji w zakresie budownictwa maszyn na uwagę zasługuje prasa kuźnicza parowo-hydrauliczna (1860/61), która stała się jedną z sensacji wystawy światowej w Londynie w 1862 r.

Heinkel Ernst (24.03.1888-30.01.1958) - niemiecki przedsiębiorca i konstruktor lotniczy. Podczas I wojny światowej zaprojektował kilka maszyn latających, między innymi hydroplanów. W 1922 założył biuro projektowe Ernst Heinkel Konstruktionsbüro. W grudniu tego samego roku zaczął konstruować samoloty. Otworzył wtedy Ernst Heinkel Flugzeugwerke. W latach 20-tych rozbudował firmę i zaczął projektować myśliwce i bombowce dla Luftwaffe. W 1935 roku otworzył fabrykę Rostock-Marienehe, a w 1936 kolejną w Orienburgu. Jednym z jego najsłynniejszych samolotów był He 111, często wykorzystywany podczas II wojny światowej. W tym czasie Heinkel otworzył nowe zakłady w Austrii i na terenie Polski. Jego firma zatrudniała około 40.000 pracowników.

Henson William (3.05.1812-1888) - inżynier lotnictwa i wynalazca. Najbardziej znany pionier awiacji. Opatentował wiele wynalazków, z których część stosowana jest również obecnie. Opatentował lekki silnik parowy (1841) oraz zaprojektował (1842) duży samolot pasażerski, o rozpiętości skrzydeł 45 m. Założył "Towarzystwo Żeglugi Parowo-Powietrznej" (1843). Jednak kolejne próby budowy samolotu, realizowane wspólnie z

Johnem Stringfellowem (1799-13.12.1883) nie udają się. W 1849 r. emigruje do USA.

Heroult Paul (10.04.1863-9.05.1914) - francuski metalurg, wynalazca i przemysłowiec. Opracował (1886), niezależnie od C. Halla (1863-1914), przemysłową metodę otrzymywania aluminium bazującą na procesie elektrolizy. Zbudował elektryczny piec łukowy (1900), tzw. piec Héroulta, co umożliwiło mu opracowanie metody produkcji żelazochromu i żelazowolframu.

Heron z Aleksandrii (ok. 10 - ok. 70) - grecki mechanik, matematyk i wynalazca. Do jego największych odkryć i wynalazków zalicza się: banię Herona będącą pierwowzorem turbiny parowej, maszynę do czerpania wody, maszyny obłężnicze, wzór na pole trójkąta zwany wzorem Herona, iteracyjny sposób obliczania pierwiastków kwadratowych sześciennych.

Holland John Philipp (29.02.1840 - 2.08.1914) konstruktor i wynalazca pochodzenia irlandzkiego. Wyemigrował do Stanów Zjednoczonych w roku 1873, gdzie początkowo pracował jako nauczyciel. W roku 1875 przedstawił swój pierwszy projekt okrętu podwodnego komisji zakupów U.S. Navy, ale projekt został odrzucony jako niepraktyczny. Dalsze prace badawcze finansowane przez Amerykanów irlandzkiego pochodzenia, skupionych w organizacji Fenian, zakończyły się zwodowaniem (1881) okrętu podwodnego Fenian Ram. W 1897 roku zwodował pierwszy udany okręt, zbudowany za prywatne pieniądze. Okręt ten jako pierwszy wyposażony był w osobne silniki elektryczne do napędzania śrub pod wodą oraz benzynowe do użycia przy pływaniu nawodnym. Zakupiony (1900) i wcielony do służby jako USS Holland. Zbudował także prototypy okrętów Holland II i Holland III. Prototyp czwartego okrętu znanego jako "Zalinski Boat" był wynikiem współpracy Hollanda z wynalazcą Edmundem Zalinskim (1849-1909).

Huygens Cristian (14.04.1629-8.07.1695) - holenderski matematyk, fizyk i astronom. Opracował przyrządy astronomiczne, w któ-

rych zredukował aberrację, przez co obrazy kosmosu stały się dużo bardziej wyraźne. Odkrył księżyc Saturna (1655), który został nazwany Tytan. Badał również pierścienie Saturna, co zaowocowało sformułowaniem hipotezy mówiącej, że są zbudowane z kosmicznego gruzu.

Hyatt John Wesley (28.11.1837-10.05.1920) - amerykański wynalazca i przemysłowiec. W wieku 16 lat, zaczął pracować, jako drukarz w Illinois. Spędził kilka lat na poszukiwaniu materiału, który miał zastąpić kość słoniową. Eksperymentując wspólnie z bratem, odkrył rozpuszczające działanie kamfory na azotan celulozy, którego efektem było tworzywo sztuczne - celuloide (patent 1870). Ponadto, dokonał szeregu innych wynalazków z zakresu mechaniki i chemii.

Junkers Hugo (3.02.1859-3.02.1935) - niemiecki inżynier i innowator, twórca licznych patentów używanych m. in. w silnikach spalinowych i samolotach. Jego nazwisko kojarzone jest najczęściej z samolotami Junkers, używanymi przez Luftwaffe. Odsunięty (1933) od wpływu na losy firmy przez władze nazistowskich Niemiec. Do śmierci przetrzymywano go w areszcie domowym. Skonstruował (1892) kalorymetr Junkersa - urządzenie do oznaczania ciepła spalania i wartości opałowej paliw gazowych.

Kaplan Viktor (27.11.1876-23.08.1934) - austriacki naukowiec, wynalazca turbiny Kaplana. Ukończył politechnikę w Wiedniu. Początkowo specjalizował się w silnikach diesla. Na początku wieku XX zatrudniony na politechnice w Brnie, gdzie pracuje przez ponad trzy dekady (od 1909 roku na stanowisku profesora). W 1912 r. publikuje swoją najważniejszą pracę na temat turbiny Kaplana; szybkoobrotowej turbiny wodnej o łopatkach stałych, a później (1921) o łopatkach nastawnych.

Kjellberg Oscar (21.09.1870-5.07.1931) - szwedzki wynalazca i przemysłowiec. Opracował elektrodę otuloną do spawania łukowego (patent 1907). Założył firmy ESAB (1904) oraz Kjellberg Finsterwalde (1922).

Koenig Friedrich Gottlob (17.04.1774 - 17.01.1833) - niemiecki inżynier i wynalazca. Skonstruował szybką prasę drukarską (patent 1810) napędzaną silnikiem parowym. Współzałożyciel razem z Andreaszem Friedrichem Bauerem pierwszej w Niemczech, istniejącej do dziś fabryki maszyn drukarskich Koenig & Bauer AG.

Krupp Alfred (26.04.1812-14.07.1887) - niemiecki przemysłowiec, syn Friedricha Kruppa (1787-1826) - założyciela koncernu Friedrich Krupp AG. Z powodu nagłej śmierci ojca zmuszony (1826) opuścić szkołę i przejąć zarządzanie rodzinnym przedsiębiorstwem. W 1847 kierowana przez niego firma wyprodukowała pierwsze działo ze staliwa, a w 1851 wprowadziła kolejną innowację - niespawane koła do lokomotyw i wagonów kolejowych.

Kwiatkowski Eugeniusz (30.12.1888 - 22.08.1974) - polski wicepremier, minister skarbu, przemysłu i handlu II Rzeczypospolitej. Jeszcze w trakcie I wojny światowej pełnił funkcję zastępcy dyrektora Gazowni Lubelskiej. Następnie, jako docent, wykładał gazownictwo na Politechnice Warszawskiej. Po przewrocie majowym prezydent RP Ignacy Mościcki zarekomendował go na stanowisko ministra przemysłu i handlu w rządzie Kazimierza Bartla. Piastował ważne funkcje państwowe, m.in. ministra przemysłu i handlu (1926-1930). Stał się szeroko znany jako autor koncepcji rozwoju handlu morskiego i budowniczy portu w Gdyni. Od października 1935 do września 1939 pełnił funkcję wicepremiera i ministra skarbu. Patronował Centralnemu Okręgowi Przemysłowemu, będąc autorem jego planu, a następnie koordynatorem jego budowy. Po II wojnie światowej zajął się pracą naukową z dziedziny chemii, ekonomii i historii.

Langen Eugen (9.10.1833-2.10.1895) - niemiecki inżynier, przemysłowiec i wynalazca. W 1876 roku zbudował wraz z Nikolausem Otto (1832-1891) czterosuwowy silnik spalinowy tłokowy na gaz świetlny (ze sprężoną mieszką paliwową). Opracował sposób

wytwarzania cukru w kostkach oraz wynalazł hutniczy ruszt piętrowy.

Langley Samuel Pierpoint (22.08.1834 - 27.02.1906) - amerykański fizyk, astronom, pionier awiacji. Wynalazł bolometr usprawniający pomiary energii przenoszonej przez promieniowanie słoneczne. Wykonał pierwsze pomiary temperatury na powierzchni Księżyca. W roku 1887 rozpoczął prace nad budową samolotu. 6 maja 1896 roku niepilotowany samolot jego konstrukcji przelatuje na odległość 3/4 mili, jednak prace zmierzające do opracowania maszyny załogowej kończą się niepowodzeniem. Jego imieniem nazwano pierwszy amerykański lotniskowiec USS Langley (CV-1), oddany do użytku w 1920 roku.

Lawson Harry John (1852-1925) - brytyjski konstruktor oraz pionier motoryzacji. Twórca nowoczesnego roweru, który wyposaża w przekładnię łańcuchową (1879). Założyciel British Motor Syndicate. Podjął próbę zmonopolizowania brytyjskiego przemysłu motoryzacyjnego w drodze nabywania patentów zagranicznych, np. na wytwarzanie pojazdów De Dion-Bouton oraz Bollée.

Laval Gustaf Patrik de (9.05.1845 - 2.02.1913) - szwedzki inżynier, konstruktor, wynalazca i przemysłowiec. Wynalazł dyszę naddźwiękową o przekroju zbieżno-rozbieżnym, stosowaną w silnikach odrzutowych. Zbudował ponadto wirówkę do mleka (1894) oraz pierwszą turbinę parową (1889). W 1883 roku założył firmę Alfa Laval.

Lavoisier Antoine (26.08.1743-8.05.1794) - francuski fizyk i chemik. Zapoczątkował rozwój nowożytnej chemii wprowadzając pomiary ilościowe, obalił teorię flogistonu, wyjaśnił procesy spalania i oddychania, sformułował zasadę zachowania masy w reakcjach chemicznych, wykazał obecność tlenu i azotu w powietrzu, przeprowadził analizę i syntezę wody, określił skład wielu substancji (m.in. tlenku siarki, kwasu siarkowego i kwasu azotowego). Stracony na gilotynie w wyniku wyroku Trybunału Rewolucyjnego Republiki Francuskiej.

Lenoir Etienne (12.01.1822-4.08.1900) - wynalazca francuski pochodzenia belgijskiego. Zbudował pierwszy użyteczny silnik spalinowy (patent 1860), dwusuwowy, jednocylinrowy, pracujący na mieszance gazu ziemnego i powietrza. Silnik ten został wykorzystany do napędu pojazdu (przerobiony powóz konny), który przejechał trasę między Paryżem a Joinville-le-Pont.

Lilienthal Otto (23.05.1848 - 10.08.1896) - konstruktor i oblatywacz pierwszych szybowców. Opublikował w 1889 roku książkę pt.: *"Lot ptaka jako podstawa sztuki latania"*. Autor 18 projektów maszyn latających. Zginął wskutek wypadku szybowca. Na jego cześć przyznawany jest medal za wybitne osiągnięcia w szybownictwie

Łubieński Henryk (11.07.1793-17.09.1883) - ziemianin, finansista i przemysłowiec. Ukończył studia prawnicze w Warszawie (1826). Współzałożyciel wielu zakładów przemysłowych i przedsiębiorstw prywatnych. Inicjator założenia Huty Bankowej w Dąbrowie Górniczej przez Bank Polski. Założyciel cukrowni w Częstocicach (1839) oraz Guzowie (1829). W miejscowości Firlej, w pobliżu miejsca wydobywania rudy darniowej we wsi Serock, stworzył pierwszą na Lubelszczyźnie fabrykę wyrobów żelaznych, głównie narzędzi i maszyn rolniczych, w tym też i wyrobu kos. Założył także zakłady fabryczne w: Żyrardowie, Starachowicach i Ostrowcu. Dyrektor Banku Polskiego (1829), a następnie (1832-1842) wiceprezes tej instytucji. Założył fabryki: prochu i saletry, warsztaty krawieckie i szewskie. Rozwijał gospodarkę Królestwa Polskiego, zwłaszcza zakłady górnicze. Wystąpił (1835) z inicjatywą budowy linii kolejowej łączącej Warszawę z Zagłębiem Dąbrowskim (Kolej Warszawsko-Wiedeńska).

Macmillan Kirkpatrick (2.09.1812 - 26.01.1878) - szkocki kowal. W 1839 roku zakończył prace nad pierwszym rowerem, wyposażonym w napęd. Jego pojazd miał z przodu dwa ruchome ramiona, od których szły pręty do obu stron tylnego koła. Jeździec opierał na nich nogi i wciskał na przemian

jedno i drugie, wprawiając w ten sposób koła w ruch. W 1842 na swoim rowerze odbył podróż do Glasgow i z powrotem, osiągając na dystansie 229 km przeciętną prędkość niepełną 13 km/h.

Malinowski Ernest (5.01.1881-2.03.1899) - polski inżynier drogowy i kolejowy, budowniczy kolei w Peru i Ekwadorze. Brał udział w Powstaniu Listopadowym, jako oficer Korpusu Inżynierów. Po upadku powstania przebywał na emigracji we Francji. Wstąpił do słynnej paryskiej Szkoły Dróg i Mostów, którą skończył z wyróżnieniem. W okresie Wiosny Ludów brał udział w walkach w Badenii. Pracował głównie przy budowie dróg oraz regulacji rzek. W roku 1852, po podpisaniu kontraktu na pracę w charakterze inżyniera rządowego, trafił do Peru. Wsławił się w wojnie z Hiszpanią w 1866, w czasie której brał udział w budowie fortyfikacji (artyleria) i obronie portu Callao. W 1869 rozpoczął budowę linii kolejowej przez Andy, łączącej wybrzeże Peru z dorzeczem Amazonki o długości 219 km (do niedawna była to najwyższej położona linia kolejowa na świecie, sięgająca 4769 m n.p.m. - przełęcz Ticlio). Od 1886 nadzorował budowę kolei w Ekwadorze (z Guayaquil do Quito). Jego imieniem nazwano rzekę na południu Peru, dopływ Tambopaty.

Marcus Siegfried (18.09.1831-30.06.1899) - austriacki mechanik i wynalazca. Z pochodzenia Niemiec, od 1852 roku, jako emigrant polityczny przebywa w Wiedniu. Konstruktor iskrownika (1864), gaźnika (1865) i pierwszego samochodu z silnikiem dwusuwowym, zbudowanego w Adamowie koło Brna (1875).

Maxim Hiriam (5.02.1840-24.11.1916) - wynalazca i przedsiębiorca amerykańskiego pochodzenia. W 1880 roku wyemigrował do Wielkiej Brytanii. Jego najbardziej znanym wynalazkiem jest skonstruowany w 1885 roku karabin maszynowy noszący jego imię, który stanowił podstawę uzbrojenia wielu armii świata do lat 30-tych XX wieku. Założył firmę zbrojeniową, która zajmowała się produkcją jego karabinu maszynowego (zo-

stała ona następnie wykupiona przez potentata zbrojeniowego, firmę Vickers). Przypisuje mu się wynalezienie tłumika strzeleckiego (ok. 1902 r.) oraz użycia włókna węglowego, jako żarnika w żarówce. Pod koniec XIX wieku eksperymentował (nieudanie) z budową aeoroplanu.

Maxwell Clark (13.06.1831-5.11.1879) - szkocki fizyk i matematyk. Dokonał unifikacji oddziaływań elektrycznych i magnetycznych, dowodząc, iż elektryczność i magnetyzm są dwoma rodzajami tego samego zjawiska – elektromagnetyzmu. Wprowadzone przez niego (1861) równania Maxwella pokazały, że pole elektryczne i magnetyczne podróżują w próżni z prędkością światła w postaci fali. W 1866 roku z rozkładu Boltzmanna wyznaczył rozkład prędkości cząsteczek gazu doskonałego. Odkrył także, że kolorową fotografię można wykonać za pomocą czerwonych, niebieskich i zielonych filtrów optycznych. Pierwszą fotografię barwną zaprezentował w 1861 roku. Na jego cześć jednostkę strumienia magnetycznego nazwano makswelem.

Maybach Wilhelm (9.02.1846-29.12.1929) - niemiecki konstruktor i przemysłowiec, pionier motoryzacji, z wykształcenia ślusarz. Opracował konstrukcje i produkował pojazdy mechaniczne, silniki spalinowe (również do napędu statków powietrznych), wynalazł stawidło jarzmowe, przekładnię obrotów, gaźnik dyszowy z pływakiem i iglicą. W 1886 roku Maybach z Daimlerem skonstruował swój pierwszy samochód. W 1909 wspólnie z Ferdynandem Zeppelinem, konstruktorem sterowców, założył firmę Maybach-Motoren-Werke w Friedrichshafen, produkującą silniki i samochody.

Martin Pierre Emilie (18.07.1824 - 23.05.1915) - francuski metalurg i wynalazca. Opracował (1862-1864) metodę wytopu stali przez unowocześnienie pieca wybudowanego przez braci Siemens, zwanego od jego nazwiska piecem martenowskim. Opracował też nowe metody uszlachetniania stali.

Michaux Pierre (25.06.1813-1883) - francuski wynalazca, z zawodu kowal. W 1861 roku wspólnie z synem Ernestem zbudował prototyp roweru, tzw. welocyped (2-kołowy pojazd jednośladowy napędzany pedałami, bez łańcucha). Michaux założył wytwórnię welocypedów.

Mongolfier Joseph Michal (26.08.1740 - 26.06.1810) i **Jacques Etienne** (6.01.1745-2.08.1799) - bracia, wynalazcy tzw. montgolfieri, czyli balonu na ogrzane powietrze. 14 grudnia 1782 wypuszczony przez nich z przydomowego ogródka balon o objętości 18 m³ osiągnął wysokość 250 m. Dwa dni później bracia sporządzili i wysłali notatkę o tym fakcie do paryskiej Akademii Nauk. 4 czerwca 1783 na pierwszym pokazie publicznym na łące koło Annonay, ich napęczniony rozgrzanym powietrzem płócienny balon o średnicy 11,7 m i objętości 900 m³ wzniósł się na wysokość 1600–2000 m. Ciekawostką jest fakt, iż tylko jeden z braci, i to tylko jeden raz, leciał balonem.

Murdock William (21.08.1754-15.11.1839) - szkocki inżynier i wynalazca. Był zatrudniony w firmie Boultona i Watta, początkowo w Kornwalii, a następnie w Birmingham. Wynalazca oscylacyjnego silnika parowego oraz prekursor stosowania do oświetlenia gazu świetlnego (lata 90-te XVIII w.). Wprowadził szereg innowacji w konstrukcji silnika parowego, m.in.: przekładnię planetarną (1781) oraz zawór suwakowy. Wynalazł pistolet parowy oraz system rurowo-pneumatycznego przekazu przesylek. Opracował pierwszy brytyjski parostatek z kołami łopatkowymi. Zbudował prototyp lokomotywy parowej (1784) i dokonał szeregu odkryć z chemii.

Musschenbroek Pieter van (14.03.1692 - 19.09.1761) - fizyk holenderski. Profesor uniwersytetów w Duisburgu (1719-1723), Utrechcie (1723-1739) i Lejdzie (od 1739). Członek Royal Society w Londynie. Zajmował się problematyką elektryczności, ciepła i optyki. Pod koniec 1745 roku skonstruował pierwszy kondensator - tzw. butelkę lejdejską.

Narutowicz Gabriel (17.03.1865-16.12.1922) - inżynier hydrotechnik, naukowiec, polityk. W latach 1887-1891 studiował na Politechnice w Zurychu. Był wybitnym konstruktorem oraz inżynierem. Jego prace zostały nagrodzone na Wystawie Międzynarodowej w Paryżu (1896), zyskał też sławę jako pionier elektryfikacji Szwajcarii. Kierował budową wielu hydroelektrowni w Europie Zachodniej m.in. w Monthey, Andelsbuch, Kubel, Etzelwerk, Mühlebergo. W 1907 roku został profesorem w Katedrze Budownictwa Wodnego na Politechnice w Zurychu. W latach 1913-1919 pełnił tam funkcję dziekana. W czasie I wojny światowej brał udział w pracach Szwajcarskiego Komitetu Generalnego Pomocy Ofiarom Wojny w Polsce. We wrześniu 1919 na zaproszenie polskiego rządu przybył do kraju, gdzie aktywnie zaangażował się w odbudowę państwa polskiego. 9 grudnia 1922 roku został wybrany na pierwszego prezydenta II Rzeczypospolitej. Kilka dni po objęciu urzędu, 16.12.1922 o godzinie dwunastej, zginął w zamachu w galerii „Zachęta”, zastrzelony przez nacjonalistę Eligiusza Niewiadomskiego.

Nasmyth James (19.08.1808-7.05.1890) - szkocki astronom i inżynier. Syn szkockiego malarza Alexandra Nasmytha. Był współzałożycielem (1836) zakładów Nasmyth, Gaskell and Company, w których produkowano narzędzia mechaniczne. Wynalazł młot parowo-powietrzny (1839), wyrabiał też teleskopy do obserwacji nieba. Wraz z Carpentierem wydał dzieło o obserwacji Księżyca pt. *"The moon considered as a planet"* (1874).

Neilson James Beaumont (22.06.1792 - 18.01.1865) - szkocki hutnik i wynalazca. Jako pierwszy zastosował żeliwne nagrzewnice powietrza, które były opalane węglem kamiennym (patent 1828). Powietrze po nagrzaniu było wdmuchiwane do wielkiego pieca. Przyczyniło się to do znacznej poprawy efektywności wytopu żelaza.

Newcomen Thomas (24.02.1664-5.08.1729) - angielski inżynier, wynalazca atmosferycznego silnika parowego. Po 10 latach eksperymentalnych prac badawczych, prowadzo-

nych wspólnie z hydraulikiem Johnem Callyey'em buduje pompę parową (1711), wykorzystywaną w kopalniach do wypompowywania wody.

Ohm Georg Simon (16.03.1789-6.07.1854) - matematyk niemiecki, profesor politechniki w Norymberdze (1833-1849) i uniwersytetu w Monachium (po 1849). Nauczyciel matematyki. Po zainteresowaniu się fizyką napisał prace głównie z zakresu elektryczności i akustyki. Sformułował (1826) i udowodnił prawo opisujące związek pomiędzy natężeniem prądu elektrycznego a napięciem elektrycznym (tzw. prawo Ohma). Badał nagrzewanie się przewodników przy przepływie prądu elektrycznego. Udowodnił istnienie oporności właściwej. Stwierdził (1843), że najprostsze wrażenie słuchowe jest wywołane drganiami harmonicznymi, przy czym ucho jest zdolne rozkładać dźwięki na składowe sinusoidalne. Na jego cześć jednostce rezystancji nadano nazwę om.

Opel Adam (9.05.1837-8.09.1895) - niemiecki przemysłowiec. W 1862 r. założył koło Frankfurtu fabrykę maszyn do szycia, od 1866 produkującą również rowery, na których jego synowie odnosili liczne sukcesy w sporcie. Fabryka dała początek znanej firmie motoryzacyjnej Opel, produkującej samochody od roku 1899.

Otis Elisha Graves (3.08.1811 - 8 .04.1861) - amerykański konstruktor pierwszej sprawnie funkcjonującej windy, zabezpieczonej przed skutkami zerwania się liny. Swój wynalazek zaprezentował na Wystawie Światowej w 1853 r., w tym roku sprzedał także swoje pierwsze bezpieczne windy. Pierwsza winda osobowa Otisa zainstalowana została w domu handlowym E.V. Houghwota w Nowym Jorku i napędzana była maszyną parową.

Otto Nikolaus (10.06.1832-26.01.1891) - samouk, wynalazca. Nie ukończył wyższej szkoły, ale otrzymał tytuł doktora honoris causa (1882). Już w 1862 roku rozpoczął pierwsze eksperymenty z silnikami czterosuwowymi, które weszły do użytku dopiero od 1876. W 1863 roku zbudował swój pierwszy

silnik benzynowy. Założył (1864) razem Eugenem Langenem pierwszą na świecie fabrykę silników silników N. A. Otto & Cie. W 1869 roku nazwę firmy zmieniono na Gasmotoren-Fabrik Deutz AG (Fabryka Silników Benzynowych Deutz), obecnie firma jest znana jako Deutz AG. W 1884 roku Otto zastosował w swoich silnikach zapłon elektryczny.

Papin Denis (22.08.1647 - ok. 1712) - francuski uczony, doktor medycyny i fizyki, profesor matematyki. W roku 1679 wynalazł autoklaw (kociołek Papina), następnie wentylator odśrodkowy, piec do topienia szkła i podnośnik wody. W 1695 zbudował atmosferyczny silnik parowy, a w 1707 łódź napędzaną kołem łopatkowym.

Parsons Charles Algernon (13.06.1854 - 11.02.1931) - brytyjski wynalazca. Studiował w St. John's College w Cambridge, gdzie uzyskał dyplom z matematyki i mechaniki. Początkowo zajmował się maszynami parowymi oraz torpedami. Sławę i pieniądze przyniósł mu turbogenerator współpracujący z turbiną parową (patent 23.04.1884). W 1889 roku założył własną firmę, C. A. Parsons & Co., produkującą turbogeneratory dla elektrowni. Pod koniec XIX wieku zbudował eksperymentalny jacht "Turbinia", napędzany turbinami parowymi. Spektakularna prezentacja możliwości tej jednostki odbyła się podczas parady morskiej z okazji diamentowego jubileuszu królowej Wiktorii na redzie Spithead 26.06.1897 roku. Przyniosła ona firmie Parsonsa zamówienie na eksperymentalny niszczyciel o napędzie turbinowym, HMS "Viper", który wszedł do służby w 1900 roku. Poza mechaniką, Charles Parsons przejawiał również zainteresowanie optyką. Osiągnięcia Charlesa Parsonsa przyniosły mu uznanie: w 1898 roku został członkiem Royal Society, w 1911 roku otrzymał szlachectwo, zaś w 1927 uzyskał odznaczenie Order of Merit.

Pelton Lester Allan (5.09.1829-14.03.1908) - amerykański wynalazca turbiny wodnej natryskowej (1880). Urodził się w Vermilion w Ohio skąd w czasie gorączki złota (1850)

wyemigrował do Kalifornii. Pracował jako stolarz oraz mechanik maszyn i urządzeń przemysłowych.

Penaud Alfons (31.05.1850 - 22.10.1880) - francuski pionier awiacji. Mając 20 lat dołączył do "Société aéronautique de France", którego następnie został wiceprezesem (1876). Zbudował modele skrzydłowca i samolotu śmigłowego, napędzanego skręcaną gumową nicią. Zaprojektował jednopłatowiec pasażerski z podwoziem kołowym, ale nie mogąc zapewnić finansowania budowy samolotu odebrał sobie życie.

Perreaux Louis Guilleme (19.02.1816 - 1889) - francuski wynalazca i inżynier. Opracował szereg rozwiązań innowacyjnych, jak: pistolet wielokomorowy, mechanizm zamykający (1841), piła tarczowa (1843), urządzenia pomiarowe (mierzące z dokładnością do 2 mikrometrów). W 1869 roku uzyskał patent na rower napędzany małym silnikiem parowym (konstrukcję tę udoskonalał aż do 1885 r.). Pojazd napędzany przez podwójną przekładnię pasową uzyskiwał prędkość do 14 km/h.

Piasecki Frank (24.10.1919-11.02.2008) - amerykański konstruktor lotniczy, pionier budowy śmigłowców. Ukończył Guggenheim School of Aeronautics of New York University. W 1940 r. utworzył grupę badawczą PV-Engineering Forum. Trzy lata później zaprezentował jednoosobowy helikopter PV-2. Skonstruował (1945) pierwszy ma świecie udany dwuwirnikowy helikopter w układzie podłużnym (tandem), odpowiedni do transportu ciężkich ładunków. Założył biuro konstrukcyjne Piasecki Aircraft Corporation, gdzie opracowano prototypy m. in. pierwszego bezpilotowego cztero-wirnikowego śmigłowca Sea-Bat, pionowzlotu Ring-Wing i latających łazików. W 1986 r. Piasecki zaprojektował pojazd powietrzny Heliostat, kombinację sterowca z czterema śmigłowcami połączonymi wspólną konstrukcją nośną.

Pilatre de Rosier Jean Francois (30.03.1754 - 15.06.1785) - francuski nauczyciel chemii i fizyki, jeden z pionierów

lotów balonem. Prowadził doświadczenia z gazami, w tym prace nad respiratorem, maską gazową i skafandrem nurka. Odbił pierwszy w historii (21.11.178) przelot balonem "Réveillon" (na ogrzane powietrze), pokonując w Paryżu 8-kilometrowy dystans i osiągając wysokość 900 metrów. Uczestniczył też w locie balonu, nazwanego na cześć królowej Francji "La Marie-Antoinette". Startując z ogrodów pałacu w Wersalu osiągnął w 45 minut pałac w Chantilly. Był to rekordowy lot zarówno pod względem dystansu (52 kilometrów), jak i osiągniętej wysokości (3000 metrów). Zginął próbując pokonać balonem Kanał La Manche.

Pilcher Percy Sinclar (16.01.1866 - 2.10.1899) - brytyjski wynalazca, pionier lotnictwa. W 1891 roku rozpoczął pracę na uniwersytecie w Glasgow. Zbudował szybowiec, na którym poleciał po raz pierwszy w 1895 r. Dwa lata później na szybowcu "The Hawk" pokonał dystans 250 m. Skonstruował trójpłatowiec napędzany silnikiem o mocy 4 KM, jednak tuż przed oblataniem maszyny rozbił się szybowcem, wskutek czego dwa dni później zmarł.

Porsche Ferdinand (3.09.1875-30.01.1951) - konstruktor samochodowy. Pełnił funkcję dyrektora w fabryce Austro-Daimler (od 1916), następnie pracował w firmie Steyr i Daimler-Benz w Stuttgarcie (od 1923). W 1931 założył własną firmę produkującą samochody sportowe. Na zlecenie Hitlera (1934), zaprojektował Volkswagena "garbusa", którego produkcję rozpoczęto w 1939. Szybko stał się on jednym z najbardziej popularnych samochodów świata. W czasie II wojny światowej projektował pojazdy dla wojska, między innymi czołgi i działa samobieżne. Był także współprojektantem, wraz z firmą Friedrich Krupp AG, superciężkiego czołgu (188 ton wagi) "Mysz". Po wojnie przez 20 miesięcy przebywa w areszcie bez wyroku sądowego. W sumie skonstruował ponad 300 różnych pojazdów mechanicznych i uzyskał ok. 1000 patentów w branży motoryzacyjnej.

Rogallo Francis (27.01.1912-1.09.2009) - amerykański inżynier aerodynamik, syn pol-

skiego emigranta. W 1956 skonstruował w NASA skrzydło elastyczne, co zapoczątkowało masowy rozwój lotni. Autor wielu pionierskich prac z dziedziny aerodynamiki i patentów w technice lotniczej.

Santos - Dumond Alberto (20.07.1873 - 25.07.1932) - brazylijski pionier lotnictwa. W wieku 15 lat wyjechał z rodzicami do Paryża, gdzie zamieszkał. Interesował się żywo nauką i osiągnięciami techniki, zwłaszcza silnikami spalinowymi. Pierwszy statek powietrzny - sterowiec skonstruował w 1898, nie był on jednak w pełni udany. W ciągu następnych kilku latach zbudował i wypróbował kolejne konstrukcje. Sukces przyniósł mu sterowiec No. 6, którym 19 października 1901 wystartował z parku Saint Cloud, okrążył wieżę Eiffla i powrócił w czasie poniżej pół godziny. Podjął próbę (1905) skonstruowania śmigłowca, jednakże bez powodzenia. Pod wpływem sukcesu braci Wright (1906) przystąpił do konstrukcji samolotów. 23 października 1906 samolotem swojej konstrukcji No. 14-bis, przeleciał publicznie odległość 60 m, zdobywając nagrodę za przelot (w Europie) co najmniej 25 m.

Savery Thomas (ok. 1650-1715) - brytyjski inżynier i wynalazca, który zbudował silnik parowy. W latach 90-tych XVII wieku rozwiązał trudny problem wypompowywania wody z kopalni węgla, wykorzystując do tego celu pompę parowo-atmosferyczną (patent 1698).

Sendzimir Tadeusz (15.07.1894-1.09.1989) - polski inżynier i wynalazca zwany "Edisonem metalurgii". Podczas I wojny światowej pracował w kijowskich warsztatach samochodowych, a następnie w Rosyjsko-Amerykańskiej Izbie Handlowej. Pod koniec wojny wyjechał przez Władywostok do Szanghaju, gdzie założył pierwszą w Chinach fabrykę śrub, drutu i gwoździ. Do Polski powrócił w 1930 r. W 1932 w Nowym Bytomiu uruchomiono walcarkę według swego pomysłu, a w 1933 w Kostuchnie koło Katowic zbudował cynkownię stosującą pierwszą w świecie linię technologiczną ciągłego wyżarzania i cynkowania blach stalowych na skalę przemysłu.

słową, według tzw. procesu Sendzimira, którego był wynalazcą. W maju 1934 opracował i uruchomił w Hucie Pokój oryginalną linię produkcyjną do walcowania cienkiej blachy na zimno wedle własnego pomysłu (proces oparty na walcowaniu blachy z równoczesnym jej rozciąganiem). Jego wynalazki spotkały się z olbrzymim zainteresowaniem za granicą (sprzedaż licencji do Francji, Anglii i USA). Wybuch II wojny światowej zastał go w USA, gdzie pozostał na emigracji, prowadząc firmę specjalizującą się w projektowaniu maszyn do obróbki metali. Był posiadaczem 120 patentów w górnictwie i metalurgii. W Stanach Zjednoczonych zrealizował swój trzeci najbardziej znany wynalazek, tzw. walcownię planetarną umożliwiającą walcowanie na gorąco (z bardzo dużym gniotem) blach ze stali jakościowych.

Shrapnel Henry (3.06.1761-13.03.1842) - oficer armii brytyjskiej i wynalazca. W 1784 roku opracował nowy rodzaj amunicji, kulę wypełnioną wewnątrz kulkami, która rozrywała się w powietrzu rażąc siłą żywą. Broń ta, zwana "szrapnel", weszła do wyposażenia armii brytyjskiej w 1803 roku.

Sikorski Igor (25.05.1889-26.10.1972) - konstruktor lotniczy pochodzenia rosyjskiego. Skonstruował (1913) w Moskwie pierwszy na świecie czterosilnikowy samolot bombowy Ilia Muromiec, który brał udział w I wojnie światowej. Podczas I wojny światowej był jednym z głównych konstruktorów lotniczych Carskich Sił Powietrznych. W 1919 wyemigrował do USA, gdzie po paru latach pracy jako nauczyciel założył firmę lotniczą Sikorsky Aero Engineering Company. Uważany za ojca współczesnych śmigłowców. Pierwsze próby z tego typu maszynami prowadził jeszcze w Rosji, ale dopiero po ponad 20 latach zbudowany (1940) według jego projektu i oblatany przez niego śmigłowiec Vought-Sikorsky 300 (z pojedynczym wirnikiem z trzema łopatom) uznano za konstrukcję w pełni zadowalającą.

Simens Ernst Werner von (13.12.1816 - 6.12.1892) - niemiecki wynalazca i konstruktor w zakresie elektrotechniki. Studiował

w Lubece, a następnie w Akademii Wojskowej w Berlinie oraz pracował dla armii pruskiej (do 1848). Wynalazł synchroniczno-współfazowy aparat telegraficzny. Budował linie telegraficzne. Od 1874 był członkiem Akademii Nauk w Berlinie. W 1866 wynalazł samowzbudną prądnicę prądu stałego. Zbudował pierwszy model lokomotywy elektrycznej (1879), a także windę elektryczną (1880) i tramwaj elektryczny. W 1882 zaprezentował pierwszy na świecie model trolejbusu o nazwie Elektromote. Od jego nazwiska pochodzi nazwa jednostki przewodności elektrycznej właściwej - *siemens*

Smeaton John (8.06.1724-28.10.1792) - angielski inżynier budownictwa. Zaprojektował wiele mostów, kanałów, portów i latarni morskich. Był także inżynierem mechanikiem oraz fizykiem. Twórca turbiny wodnej w Królewskich Ogrodach Botanicznych (1761) oraz młyna wodnego w Alston w Cumbrii (1767). Wybudował Chimney Mill w Newcastle upon Tyne (1782), który był pierwszym wiatrakiem obracającym się do kierunku wiatru, powstałym na terenie Wielkiej Brytanii. Usprawnił także silnik parowy autorstwa Thomasa Newcomena (1775).

Stephenson George (9.06.1781-12.08.1848) - angielski mechanik, konstruktor i wynalazca, uważany za ojca brytyjskich kolei parowych. Swoją pierwszy parowóz zbudował w roku 1814. Po piętnastu latach prac skonstruował (1829) parowóz Rakietę, który stał się pierwowzorem wielu późniejszych parowozów. Założył pierwszą w świecie fabrykę lokomotyw (1823), a w roku 1825 zbudował pierwszą linię kolei publicznej ze Stockton do Darlington. Przyczynił się znacznie do rozwoju transportu kolejowego. Razem z synem Robertem (1803-1859) współpracował przy budowie wielu linii kolejowych w Wielkiej Brytanii. Kilka swych lokomotyw dostarczył także do innych krajów, w tym do USA.

Stirling Robert (25.10.1790-6.06.1878) - szkocki duchowny i wynalazca. Pierwszy patent na silnik na gorące powietrze uzyskał w 1816 roku. W późniejszych latach zapro-

jektował i wypróbował kilka różnych modeli takich silników. Głównym dążeniem Stirlinga było opracowanie bezpiecznych silników, ze względu na częste wypadki (eksplozje kotłów) eksploatowanych wówczas silników parowych.

Tales z Miletu (ok. 620 p.n.e- ok. 540 p.n.e.) - grecki filozof i matematyk. Podczas licznych podróży zapoznał się z osiągnięciami matematyki i astronomii Egiptu, Fenicji i Babilonii. Był jednym z twórców jońskiej filozofii przyrody. Przypisuje się mu: podanie tzw. twierdzenia Talesa, przewidzenie zaćmienia słońca w 585 r. p.n.e., zmierzenie wysokości piramid za pomocą cienia oraz wykazanie, że średnica dzieli okrąg na połowy.

Tański Czesław (7.07.1862-24.02.1942) - polski malarz, konstruktor lotniczy, pionier i popularyzator lotnictwa w Polsce. Od 1893 zajmował się budową udanych modeli latających o napędzie gumowym. Zbudował szybowiec nazywany "Lotnia" (1895), który później udoskonalał. Przeprowadzone przez niego próby wzlotów były pierwszymi próbami tego rodzaju w Polsce. W latach 1905-1907 zainteresował się śmigłowcami. Po udanych próbach z modelami zbudował (1907) prototyp śmigłowca (nazwanego śrubowcem), o dwóch przeciwbieżnych dwułopatowych wirnikach napędzanych siłą mięśni za pomocą korby. W 1909 zamontował na swoim śmigłowcu dwucylindrowy silnik spalinowy o mocy 2,5 KM, który był jednak za słaby do realizacji lotu. W tym samym roku zaprojektował samolot "Łątka", jednak ta konstrukcja również była nieudana.

Tartaglia Niccolò (1499-13.12.1557) - matematyk włoski, autor prac z dziedziny matematyki, mechaniki, balistyki, geodezji oraz teorii fortyfikacji. Działał w Wenecji, Piacenzie, Weronie, Brescii. Niezależnie od Scipione del Ferro (1465-1526) odkrył metodę rozwiązywania równań algebraicznych trzeciego stopnia. Opracował kwadrant balistyczny, przyrząd umożliwiający kanonierom bardziej precyzyjne strzelanie z dział.

Thomas Sidney Gilchrist (16.04.1850 - 1.02.1885) - brytyjski hutnik, metalurg i wynalazca. W 1878 wraz z kuzynem, Percym Gilchristem (1851-1935), opracował sposób wytopu stali przez metodę świeżenia surówki żelaza w konwertorach o wyłożeniu zasadowym i pierwszy przeprowadził proces świeżenia surówki hutniczej o dużej zawartości fosforu. Produktem ubocznym wytopu stali metodą Thomasa z rud bogatych w fosfor jest sztuczny nawóz tomasyna, wytwarzany z żużla.

Tesla Nikola (10.07.1856-7.01.1943) - serbski inżynier i wynalazca, autor ok. 300 patentów. Konstruował głównie rozmaite urządzenia elektryczne, z których najślawniejsze to: silnik elektryczny, prądnica prądu przemennego, autotransformator, dynamo rowerowe, radio, elektrownia wodna, bateria słoneczna, turbina talerzowa, transformator Tesli (rezonansowa cewka wysokonapięciowa) i świetlówka. Był m.in. twórcą pierwszych urządzeń zdalnie sterowanych drogą radiową. Początkowo za twórcę radia uważano Marconiego, jednak w 1943 r. Sąd Najwyższy Stanów Zjednoczonych przyznał prawa patentowe Tesli. Rozprawa rozstrzygnęła się po śmierci wynalazcy, przez co powszechnie za twórcę radia uznaje się Marconiego, mimo, iż przyznał się on do wykorzystania wcześniejszych prac Tesli w zbudowaniu radia. Do legendy przeszła jego rywalizacja z Edisonem, u którego zresztą przez krótki czas pracował.

Trevithick Richard (13.04.1771 - 22.04.1833) - brytyjski inżynier i wynalazca, pionier kolei. Skonstruował pierwszy parowy silnik wysokoprężny, który zastosował w samobieżnym powozie parowym (1801). W 1803 roku pokonał swym powozem z 12 pasażerami trasę ponad 450 km z Camborne do Londynu. Zaprojektował tunel komunikacyjny pod Tamizą (1807), dźwig parowy, młot parowy i pływający dok parowy. W kolejnych latach dokonał wielu dalszych inwencji, wykorzystujących energię pary: m.in. w rolnictwie, żegludze i górnictwie.

Wankel Felix (13.08.1902-9.10.1988) - niemiecki mechanik i konstruktor. W 1924 roku

otworzył zakład mechaniczny. Przez wiele lat pracował nad projektem silnika rotacyjnego. W 1933 zgłosił wniosek patentowy na silnik z wirującym tłokiem (patent 1936). W czasie II wojny światowej dostarczał uszczelki i silniki z wirującym tłokiem dla niemieckiej Luftwaffe i Kriegsmarine. Po wojnie był więziony przez kilka miesięcy przez aliantów, jego laboratorium zostało zamknięte, a wszystkie dzieła skonfiskowane. Ciekawostką jest fakt, że mimo swojego wkładu w rozwój motoryzacji, nigdy nie otrzymał prawa jazdy

Watt James (19.01.1736-19.08.1819) - szkocki inżynier i wynalazca. W trakcie pracy na Uniwersytecie w Glasgow ulepszył silnik parowy Newcomena (1769), następnie zbudował silnik parowy dwustronnego działania (1782) oraz wynalazł odśrodkowy regulator prędkości obrotowej (1788). Wspólnie z przemysłowcem Boultonem założył (1775) w Soho pod Birmingham pierwszą w świecie wytwórnię maszyn parowych, w której do roku 1800 wyprodukowano 250 takich maszyn.

Whitney Eli (8.12.1765-8.01.1825) - amerykański wynalazca i przedsiębiorca. Konstruktor odziarniarki bawełny (patent 1794), maszyny do mechanicznego oddzielania nasion bawełny od włókien, której zastosowanie zmniejszyło koszty uprawy bawełny (mechanizacja procesu oczyszczania bawełny podniosła wydajność jednego pracownika 50-krotnie). Wśród innych wynalazków Whitneya na uwagę zasługuje frezarka (ok. 1818) oraz wykorzystanie linii montażowej w produkcji masowej.

Whittle Frank (1.06.1907-9.08.1996) - inżynier i pilot angielski. Generał brytyjskich Królewskich Sił Powietrznych (RAF). Konstruktor pierwszych udanych silników turboodrzutowych (patent w 1930). Założyciel firmy Power Jets Ltd., w której w 1937 zbudował silnik W-1 o ciągu 40 kN i W-2 o ciągu 90 kN, zastosowany w myśliwcu Gloster Meteor. W latach 1942-1944 przebywa w USA w General Electric. Po powrocie do Anglii pracował w przemyśle lotniczym i w

British Overseas Airways Corporation oraz wykładał w uczelniach wojskowych.

Whitworth Joseph (21.12.1803-22.01.1887) - angielski przemysłowiec, konstruktor obrabiarek i broni palnej. Skonstruował tokarkę do gwintów (1833), opracował także nowy calowy system gwintów, zwany systemem Whitwortha (1841). Prowadził fabrykę w Manchesterze, gdzie udoskonalił budowę armat i wytwarzanie stali. Prowadził badania nad bronią palną. Ustalił zależność między wielkością ładunku wybuchowego i zasięgiem pocisku (1850) oraz zaprojektował karabin z lufą poligonalną (1854), następnie opracował szereg różnych kalibrów z lufą bruzdowaną. W 1883 założył w Manchesterze wytwórnię maszyn, która słynęła z dużej dokładności wykonania elementów wyrobów.

Wilkinson John (1728-14.07.1808) - brytyjski przemysłowiec, pionier stosowania żeliwa. W 1748 roku buduje swój pierwszy wielki piec w Bradley, niedaleko Wolverhampton. Przedsięwzięcie jest na tyle zyskowne, że w 1772 roku Wilkinson kupuje dwór i majątek Bradley. Na początku lat 60-tych XVIII wieku John i jego brat William dziedziczą hutę ich ojca w Bersham w północnej Walii i zakładają New Bersham Company, które szybko zaczyna przodować w świecie w dziedzinie technologii obróbki żelaza. Współpracuje z Jamesem Wattem w produkcji silników parowych. W latach 1774-1775 opracowuje metodę rozwiercania, która pozwala produkować bezpieczniejsze w obsłudze i bardziej celne armaty. Jest głównym inicjatorem budowy (1779) pierwszego w świecie żelaznego mostu, położonego na rzece Severn w Coalbrookdale (Iron Bridge). Wprowadza także na rynek (1787) pierwszy statek z metalu.

Wright Orville (19.08.1871-30.01.1948) i **Wilbur** (16.04.1867-30.05.1912) - bracia, amerykańscy pionierzy lotnictwa. Dorastali w Dayton w stanie Ohio w USA, gdzie od 1892 prowadzili wytwórnię i warsztaty rowerów Wright Cycle Company. Początkowo budowali szybowce, sterowane za pomocą skręcania części skrzydeł. W 1900 r. w celu konty-

nuowania eksperymentów lotniczych przenieśli się do Kitty Hawk w Karolinie Północnej, gdzie panowały dobre warunki do testów w postaci silnych wiatrów. Zbudowali (1903) samolot - Wright Flyer, napędzany silnikiem spalinowym, na którym 17 grudnia 1903 r. Wilbur Wright przeleciał 279 metrów w czasie 59 sekund. W latach 1904 - 1905 przeprowadzili ponad 80 lotów z Huffman Prairie. Sławni stali się po zademonstrowaniu samolotu w Europie, oraz po przedstawieniu go armii USA. W roku 1909 wygrali pierwszy kontrakt na dostawę samolotów dla sił zbrojnych USA, budując dwumiejscowy samolot zdolny do godzinnego lotu ze średnią prędkością 40 mil na godzinę.

Vinci Leonardo da (15.04.1452-2.05.1519) - włoski renesansowy malarz, architekt, filozof, muzyk, pisarz, odkrywca, matematyk, mechanik, anatom, wynalazca, geolog. Jeden z największych malarzy wszech czasów i prawdopodobnie najbardziej wszechstronnie utalentowana osoba w historii. Dwie z jego prac malarskich, "Mona Lisa" i "Ostatnia Wieczerza", zajmują czołowe miejsca na listach najslawniejszych, najczęściej imitowanych i wspominanych portretów i dzieł malarstwa. W Polsce znane jest także dzieło "Dama z gronostajem", jedyna praca artysty pozostająca w polskich zbiorach. Jako inżynier, Leonardo tworzył projekty wyprzedzające jego czas, opracowując koncepcję helikoptera, czołgu, spadochronu, wykorzystania podstaw tektoniki płyt, podwójnego kadłuba łodzi i wielu innych. Względnie mała liczba jego pomysłów została wcielona w życie za jego czasów. Niektóre z jego pomniejszych pomysłów, takie jak automatyczna nawijarka do szpul czy maszyna do sprawdzania wytrzymałości drutu na rozciąganie, weszły do świata techniki bez większego rozgłosu. Pracował na największych dworach Europy, m.in. dla rodu Sforzów i Medyceuszy. Doprowadził do znacznego wzrostu poziomu wiedzy o anatomii, budownictwie lądowym i hydrodynamice. Zaznaczył swoją obecność także w dziedzinie architektury, rzeźby, filozofii i pisarstwa, ale te zajęcia odgrywały

mniejszą rolę w jego życiu. Do dziś przetrwało 7000 stron z jego notatników z rysunkami, szkicami naukowymi i uwagami.

Volta Alessandro (18.02.1745-5.03.1827) - włoski fizyk i wynalazca. W roku 1774 skonstruował elektrofor, umożliwiający elektryzowanie ciał. Odkrył także metan (1776) będący głównym składnikiem gazu błotnego. Eksperymentował z zapalaniem gazów w zamkniętej przestrzeni przy użyciu iskry elektrycznej. W roku 1781 skonstruował elektroskop, służący pomiarom elektryczności. W roku 1782 opracował kondensator. W roku 1800 skonstruował ogniwo Volty poprzez zanurzenie płytek srebra i cynku w słonej wodzie. W 1779 Alessandro Volta został profesorem fizyki na uniwersytecie w Pawii i zajmował to stanowisko przez 25 lat. Na jego cześć jednostkę napięcia elektrycznego nazywano wolt.

Zalinski Edmund (13.12.1849-11.03.1909) - amerykański żołnierz i wynalazca. W wieku lat piętnastu wstąpił na ochotnika do US Army i walczył w wojnie secesyjnej. W latach 1872-76 pracował w Massachusetts Institute of Technology jako, wykładowca sztuki wojennej. Ukończył Szkołę Artylerii

Polowej w Fort Monroe oraz kurs minerstwa podwodnego w Nowym Jorku (1880). Jego czołowym osiągnięciem było wynalezienie i skonstruowanie pneumatycznego działu torpedowego. Wynalazł również dział dynamitowe i zapalnik elektryczny. Opracował metodę wprowadzania dokładnych poprawek na wiatr w przyrządach celowniczych artylerii gwintowanej i broni strzeleckiej. Inne jego wynalazki to: saperka do kopania okopów, wąski i długi bagnet kształtem przypominający wycior oraz teleskopowy celownik dla artylerii.

Zeppelin Ferdinand von (8.07.1838 - 8.03.1917) - hrabia niemiecki, konstruktor sterowców szkieletowych. Kadet Akademii Wojskowej w Ludwigsburgu oraz absolwent uniwersytetu w Tybindze. W 1863 r. przybył do USA, gdzie uczestniczył w wojnie secesyjnej (1861-1865). Walczył także w wojnie austriacko-pruskiej (1866) oraz wojnie francusko-pruskiej (1870-1871). Po uzyskaniu stopnia generała (1891) zaczął zajmować się sterowcami. W 1900 r. zbudował pierwszy sterowiec o sztywnej konstrukcji, którego seryjną produkcję rozpoczęto sześć lat później.

Źródła ilustracji

Rys. 2.1. Brak źródła¹

Rys. 2.2. Pozycja bibliograficzna [13]

Rys. 2.3. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Kierat>

Rys. 2.4. <http://www.wiatraczek.cba.pl/historia.html>

Rys. 2.5. <http://www.naosmm.org/confer/cleveland/first.html>

Rys. 2.6. <http://www.wiatraczek.cba.pl/historia.html>

Rys. 2.7. http://pl.wikipedia.org/wiki/Ko%C5%82o_wodne

Rys. 2.8. <http://www.kuzniawodna.eu/>

Rys. 2.9. http://pl.wikipedia.org/wiki/Lester_Allen_Pelton

Rys. 2.10. <http://en.wikipedia.org/wiki/Aeolipile>

Rys. 2.11. http://www.arcadja.com/auctions/en/guericke_otto_von/artist/338550/

Rys. 2.12. Pozycja bibliograficzna [13]

Rys. 2.13. Pozycja bibliograficzna [13]

Rys. 2.14. Pozycja bibliograficzna [11]

Rys. 2.15. Pozycja bibliograficzna [11]

Rys. 2.16. <http://amp.wpcamr.org/archives/152>

Rys. 2.17. Pozycja bibliograficzna [13]

Rys. 2.18. http://en.wikipedia.org/wiki/Watt_steam_engine

Rys. 2.19. http://pl.wikipedia.org/wiki/Maszyna_parowa

Rys. 2.20. <http://lubczasopismo.salon24.pl/emerytka/post/249138,prawo-powszechnej-regulacji-automatycznej>

Rys. 2.21. http://library.kiwix.org:4216/I/300PX_PIERWSZA_MASZYNA_PARO.JPG&imgrefurl

Rys. 2.22. <http://www.lib.udel.edu/ud/spec/exhibits/udla/science.htm>

Rys. 2.23. Pozycja bibliograficzna [13]

Rys. 2.24. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Parson's_Compound_Steam_Turbine_-_1887_-_Project_Gutenberg_eText_17167.png

Rys. 2.25. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Parson's_Compound_Steam_Turbine_-_1887_-_Project_Gutenberg_eText_17167.png

Rys. 2.26. <http://e-ducation.net/inventors.htm>

Rys. 2.27. Pozycja bibliograficzna [13]

Rys. 2.28. http://en.wikipedia.org/wiki/Homopolar_generator

Rys. 2.29. http://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89tienne_Lenoir

Rys. 2.30. <http://antikjmbho.blogspot.com/2011/08/nikolaus-otto.html>

Rys. 2.31. <http://silniki.atspace.org/czterosuwowe.html>

Rys. 2.32. Brak źródła

Rys. 2.33. <http://ridingbeast.wordpress.com/motorcycles/>

Rys. 2.34. <http://kmsnmunasinghe.blogspot.com/2010/10/history-of-diesel-engine.html>

Rys. 2.35. <http://www.silniki.akord.com.pl/pliki/dies.html>

Rys. 2.36. <http://www.wnt.if.pwr.wroc.pl/KWAZAR/jaktopracuje/135486/content/wankel.htm>

Rys. 2.37. http://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_Stirlinga

Rys. 2.38. <http://www.busko.net.pl/wiadomosci/news.php?id=5077>

Rys. 2.39. http://www.rfi.fr/actupl/articles/120/article_9391.asp

Rys. 2.40. <http://odkrywcy.pl/mid,1004330,pres,1,seq,13,uid,1054042,material.html>

Rys. 2.41. http://www.littlemanwhatnow.com/2008_01_01_archive.html

Rys. 2.42. Pozycja bibliograficzna [8]

¹ W ten sposób oznaczono ilustracje dostarczone przez studentów, których źródła nie udało się autorowi zlokalizować, pomimo usilnych poszukiwań w Internecie

- Rys. 2.43.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrownia_j%C4%85drowa
- Rys. 2.44.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Energia_geotermalna
- Rys. 3.1.** http://www.szkolnictwo.pl/test,4,2651,8,b_Rewolucja_neolityczna-Epoka_br%C4%85zu
- Rys. 3.2.** http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Willamette_meteorite_AMNH.jpg
- Rys. 3.3.** http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_ferrous_metallurgy
- Rys. 3.4.** <http://pl.wikipedia.org/wiki/Dymarka>
- Rys. 3.5.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.6.** <http://www.davidecanali.com/NewDelhi.php>
- Rys. 3.7.** Pozycja bibliograficzna [13]
- Rys. 3.8.** Pozycja bibliograficzna [13]
- Rys. 3.9.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.10.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.11.** Pozycja bibliograficzna [16]
- Rys. 3.12.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.13.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Rewolucja_przemys%C5%82owa
- Rys. 3.14.** Brak źródła
- Rys. 3.15.** http://en.wikipedia.org/wiki/Bessemer_process
- Rys. 3.16.** http://www.aulatecnologia.com/BACHILLERATO/1_bg/APUNTES/materiales/metales/metales.htm
- Rys. 3.17.** Pozycja bibliograficzna [13]
- Rys. 3.18.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.19.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Piec_martenski
- Rys. 3.20.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.21.** http://www.pg.gda.pl/~rskoblik/tm/pliki/Metalurgia_staliwa_i_stali.pdf
- Rys. 3.22.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.23.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.24.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.25.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.26.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.27.** Pozycja bibliograficzna [31]
- Rys. 3.28.** Opracowanie własne na podstawie [5]
- Rys. 3.29.** <http://innowacje.gov.pl/offer/technologie-ksztaltowania-czesci-z-proszkow-metali>
- Rys. 3.30.** Pozycja bibliograficzna [19]
- Rys. 3.31.** Pozycja bibliograficzna [17]
- Rys. 3.32.** Pozycja bibliograficzna [17]
- Rys. 3.33.** Pozycja bibliograficzna [17]
- Rys. 3.34.** Brak źródła
- Rys. 3.35.** http://www.kghm.pl/index.dhtml?category_id=277
- Rys. 4.1.** Opracowanie własne na podstawie [5]
- Rys. 4.2.** <http://www.polskieradio.pl/18/90/Artyku%20420460,Kolos-Rodyjski>
- Rys. 4.3.** <http://www.szlakromanski.pl/miejsca/gniezno-drzwi-gnieznienskie/>
- Rys. 4.4.** <http://www.krakow.travel/przewodnik/z-wiedzamy-krakow/wawel/action,get,id,968,t,Dzwon-Zygmunta.html>
- Rys. 4.5.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Car_Ko%C5%82oko%C5%82
- Rys. 4.6.** <http://www.iilo.bochnia.pl/ar.php>
- Rys. 4.7.** Pozycja bibliograficzna [23]
- Rys. 4.8.** http://www.scotforge.com/sf_facts_open.htm
- Rys. 4.9.** Opracowanie własne na podstawie [5]
- Rys. 4.10.** Pozycja bibliograficzna [30]
- Rys. 4.11.** <http://www.platnerz.com/platnerz-com/scriptorium/wolkamilanowska/techniki.html>
- Rys. 4.12.** <http://pl.wikipedia.org/wiki/Pieni%C4%85dz>
- Rys. 4.13.** Pozycja bibliograficzna [17]
- Rys. 4.14.** Pozycja bibliograficzna [17]
- Rys. 4.15.** <http://www.myartprints.com/a/nasmyth-james/first-drawing-of-steam-ha.html>
- Rys. 4.16.** Brak źródła
- Rys. 4.17.** http://en.wikipedia.org/wiki/Creusot_steam_hammer
- Rys. 4.18.** Pozycja bibliograficzna [35]
- Rys. 4.19.** Pozycja bibliograficzna [34]
- Rys. 4.20.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Prasa_hydrauliczna
- Rys. 4.21.** Pozycja bibliograficzna [30]
- Rys. 4.22.** Pozycja bibliograficzna [34]
- Rys. 4.23.** Pozycja bibliograficzna [12]
- Rys. 4.24.** Pozycja bibliograficzna [9]
- Rys. 4.25.** <http://www.superstock.com/stock-photos-images/1895-25511>
- Rys. 4.26.** Pozycja bibliograficzna [25]
- Rys. 4.27.** Pozycja bibliograficzna [17]
- Rys. 4.28.** Pozycja bibliograficzna [30]
- Rys. 4.29.** <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-01242007-163154/unrestricted/e-thesis.pdf>
- Rys. 4.30.** http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_ferrous_metallurgy
- Rys. 4.31.** Brak źródła
- Rys. 4.32.** <http://www.smeral.cz/GBTvarPKV.html>

- Rys. 4.33.** Opracowanie własne na podstawie [5]
Rys. 4.34. Brak źródła
Rys. 4.35. <http://murraylincoln.blogspot.com/2009/09/blog-post.html>
Rys. 4.36. <http://www.stuartking.co.uk/index.php/history-of-the-lathe-part-two-continuous-rotation/>
Rys. 4.37. <http://www.stuartking.co.uk/index.php/history-of-the-lathe-part-two-continuous-rotation/>
Rys. 4.38. http://swpcz.vip.pcz.pl/?mode=technology_relics_preservation_club
Rys. 4.39. <http://homepages.tig.com.au/~dispatet/turning.htm>
Rys. 4.40. Pozycja bibliograficzna [30]
Rys. 4.41. Pozycja bibliograficzna [30]
Rys. 4.42. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Frezowanie>
Rys. 4.43. Brak źródła
Rys. 4.44. http://scagermanrenaissance.blogspot.com/2011_09_01_archive.html
Rys. 4.45. http://plastics.indiabizclub.com/product/s/acrylic_rods
Rys. 4.46. <http://www.zamak.pl/pl/oferta/product>
Rys. 4.47. http://pl.wikipedia.org/wiki/Po%C5%82%C4%85czenie_nitowe
Rys. 4.48. <http://podroze.zettech.pl/?p=190>
Rys. 4.49. <http://www.prad-organizm.yoyo.pl/Szkodliwe%20dzialanie%20pradu%20elektrycznego.php>
Rys. 4.50. <http://inventors.about.com/library/inventors/blwelding.htm>
Rys. 4.51. http://pl.wikipedia.org/wiki/Zgrzewanie_elektryczne_oporowe
Rys. 4.52. <http://www.spenco.co.uk/friction.html>
Rys. 4.53. <http://spawalnictwo.blogspot.com/2009/02/metody-spawania-gazowego.html>
Rys. 4.54. Brak źródła
Rys. 4.55. Pozycja bibliograficzna [41]
Rys. 4.56. Pozycja bibliograficzna [41]
Rys. 4.57. Pozycja bibliograficzna [41]
Rys. 4.58. Pozycja bibliograficzna [41]
Rys. 4.59. Pozycja bibliograficzna [22]
Rys. 5.1. Pozycja bibliograficzna [26]
Rys. 5.2. <http://malarstwo.awardspace.info/obraz-4148.php>
Rys. 5.3. http://www.fizyka.net.pl/index.html?menu_file=ciekawostki%2Fm_ciekawostki.html&form_url=http%3A%2F%2Fwww.fizyka.net.pl%2Fciekawostki%2Fciekawostki_hf.html
Rys. 5.4. Pozycja bibliograficzna [26]
Rys. 5.5. http://pl.wikipedia.org/wiki/Nicolas-Joseph_Cugnot
Rys. 5.6. <http://www.ausbcomp.com/~bbott/cars/carhist.htm>
Rys. 5.7. <http://www.sdrm.org/history/timeline/murdoch1.gif>
Rys. 5.8. http://etc.usf.edu/clipart/77500/77578/77578_tstm_cariage.htm
Rys. 5.9. <http://himedonet.com/TheHopkinThomasProject/TimeLine/Philadelphia/LocomotiveWorks/HarrisonBook/HarrisonLocomotivePhiladelphia.htm>
Rys. 5.10. http://en.wikipedia.org/wiki/Goldsworthy_Gurney
Rys. 5.11. <http://www.special-classics.com/Archive/francais.htm>
<http://www.motorsnaps.com/v/Cars+B/Bollee/1878+Amedee+Bollee+La+Mancelle.jpg.html>
<http://www.forum-auto.com/automobiles-mythiques-exception/section5/sujet314913.htm>
Rys. 5.12. Brak źródła
Rys. 5.13. <http://www.smokstak.com/forum/showthread.php?t=33460>
Rys. 5.14. <http://dustyloft.wordpress.com/2008/02/21/21st-february-1804-first-steam-locomotive-demonstrated/>
Rys. 5.15. <http://straction.wordpress.com/history-of-the-steam-engine/>
Rys. 5.16. Pozycja bibliograficzna [13]
Rys. 5.17. http://en.wikipedia.org/wiki/Stockton_and_Darlington_Railway
Rys. 5.18. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Stephenson's_Rocket.jpg
Rys. 5.19. Pozycja bibliograficzna [6]
Rys. 5.20. Pozycja bibliograficzna [6]
Rys. 5.21. Pozycja bibliograficzna [6]
Rys. 5.22. Pozycja bibliograficzna [6]
Rys. 5.23. Pozycja bibliograficzna [6]
Rys. 5.24. Pozycja bibliograficzna [6]
Rys. 5.25. http://www.traktor.lipno.pl/_frames/_historia/lokomobile.htm
Rys. 5.26. <http://www.zgapa.pl/zgapedia/Lokomobila.html>
Rys. 5.27. Brak źródła
Rys. 5.28. http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia_kolei_w_Rosji
Rys. 5.29. <http://knm.prz.edu.pl/wielcy/malinowski/index.htm>
Rys. 5.30. <http://www.transandino.info/index.php/category/film/page/2/>
Rys. 6.1. <http://www.engadget.com/2011/02/03/suck-squeeze-bang-bust-the-death-of-internal-combustion/>

- Rys. 6.2.** <http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/FWWdaimler.htm>
- Rys. 6.3.** <http://lease-cars-inc.com/car/>
- Rys. 6.4.** Pozycja bibliograficzna [13]
- Rys. 6.5.** Pozycja bibliograficzna [26]
- Rys. 6.6.** Pozycja bibliograficzna [26]
- Rys. 6.7.** http://www.f1-info.cz/?gallery=f1foto/fo to0000/1894_1899
- Rys. 6.8.** <http://www.unmuseum.org/autorace.htm>
- Rys. 6.9.** Pozycja bibliograficzna [26]
- Rys. 6.10.** Pozycja bibliograficzna [26]
- Rys. 6.11.** Pozycja bibliograficzna [26]
- Rys. 6.12.** Pozycja bibliograficzna [26]
- Rys. 6.13.** <http://www.musclecarclub.com/other-cars/classic/ford-model-t/ford-model-t.shtml>
- Rys. 6.14.** http://en.wikipedia.org/wiki/Ford_Model_T_engine
- Rys. 6.15.** Pozycja bibliograficzna [26]
- Rys. 6.16.** <http://moto.onet.pl/1536604,1,naped-xxi-wieku,artykul.html?node=2>
- Rys. 6.17.** Pozycja bibliograficzna [26]
- Rys. 6.18.** <http://autokult.pl/2011/06/05/polski-patent-czyli-historii-citroena-czesc-1-geneza-motoryzacji>
- Rys. 6.19.** <http://www.netcarshow.com/lancia/1922-lambda/>
- Rys. 6.20.** <http://minkara.carview.co.jp/userid/124081/blog/7452872/>
- Rys. 6.21.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_Garbus
- Rys. 6.22.** <http://www.seeya-downtheroad.com/2006/WWIIMuseumPage1.html>
- Rys. 6.23.** <http://www.gaudiya-repercussions.com/index.php?s=9275225a23625e2f9be3373edc398645&showtopic=2639&st=20&p=61338&#entry61338>
- Rys. 6.24.** http://www.cargurus.com/Cars/1972-Citroen-DS-Pictures-c15741_pi12947692
- Rys. 6.25.** http://www.jannaludlow.co.uk/Classic_Minis/MoS_Live_Top10.html
- Rys. 6.26.** http://mini.moto24.tv/news/425,pol_wieku_mini_coopera.html
- Rys. 6.27.** <http://www.accobra.yoyo.pl/gfx/glowna.jpg>
- Rys. 6.28.** <http://www.furious.pl/forum/showthread.php?tid=787>
- Rys. 6.29.** http://sv.wikipedia.org/wiki/DeLorean_DMC-12
- Rys. 6.30.** <http://volvoforum.pl/topics15/historia-volvo-vt34.htm>
- Rys. 6.31.** <http://volvoforum.pl/topics15/historia-volvo-vt34.htm>
- Rys. 6.32.** Pozycja bibliograficzna [6]
- Rys. 6.33.** <http://autokult.pl/2010/09/20/a-mogloby-tak-pieknie-poczatki-polskiej-motoryzacji>
- Rys. 6.34.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Fiat_508
- Rys. 6.35.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Fabryka_Samochod%C3%B3w_Osobowych
- Rys. 6.36.** http://www.zssplus.pl/konkursy/witryna_3/syrena.html
- Rys. 6.37.** <http://www.samochodyswiata.pl/viewtopic.php?f=21&t=4655&start=40>
- Rys. 6.38.** <http://www.fiatbravoklub.pl/forum/viewtopic.php?f=52&t=1096>
- Rys. 6.39.** Brak źródła
- Rys. 6.40.** <http://parking.moto.pl/parking/0,104747,,,142496970,10699.html>
- Rys. 6.41.** <http://rowerowytorun.com.pl/historia-roweru,133,11.html>
- Rys. 6.42.** <http://spongywonder.be/extrastuff.php>
- Rys. 6.43.** <http://korpall.w.staszic.waw.pl/historia.html>
- Rys. 6.44.** http://www.zss5dg.com/strona_zss5dg/pomoce/technika/rower.htm
- Rys. 6.45.** <http://www.bicyclehistory.net/bicycle-inventor/pierre-michaux/>
- Rys. 6.46.** <http://davesbikeblog.blogspot.com/2008/06/james-starley-father-of-bicycle.html>
- Rys. 6.47.** <http://vintagegaragecycle.blogspot.com/2010/01/first-chain-drive-bicycle.html>
- Rys. 6.48.** <http://www.sciencetech.technomuses.ca/english/collection/bikes5.cfm>
- Rys. 6.49.** <http://www.prolaw1.com/blog/2010/06/25/the-first-motorcycle-47180>
- Rys. 6.50.** <http://www.ssplprints.com/image/83198/michaux-perreaux-steam-motor-bicycle-1868>
- Rys. 6.51.** http://www.the-blueprints.com/blueprints/motorcycles/various-motorcycles/12612/view/hildebrand_wolfmuller/
- Rys. 6.52.** http://patentpending.blogs.com/patent_pending_blog/motorcycle_technology/
- Rys. 6.53.** <http://www.radio.cz/cz/static/qs/qs-2003/pictures/qs/2003am.jpg>
- Rys. 6.54.** [http://en.wikipedia.org/wiki/Indian_\(motorcycle\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Indian_(motorcycle))
- Rys. 6.55.** <http://bmwchopshop.com/the-story.php>
- Rys. 6.56.** <http://www.muzeum-motoryzacji.com.pl/podstrony/galeria.php?rodzaj=motory>
- Rys. 7.1.** http://www.civilization.ca/cmc/exhibitions/aborig/watercraft/images/wau03_3b.gif

- Rys. 7.2.** <http://archeos.pl/artykul/3386>
- Rys. 7.3.** <http://xmb.stuffcanuse.com/xmb/viewthread.php?tid=5983>
- Rys. 7.4.** <http://www.zaglowce.ow.pl/typy/egipt/wojenne.php>
- Rys. 7.5.** <http://www.billiesilvey.com/History-of-Ships.html>
- Rys. 7.6.** <http://www.zaglowce.ow.pl/typy/fenicja/wojenne.php>
- Rys. 7.7.** <http://www.historyextra.com/blog/ancient-greece-takes-seas-once-more>
- Rys. 7.8.** <http://www.modelshipworld.com/phpBB2/viewtopic.php?t=1674>
- Rys. 7.9.** <http://www.ancientsites.com/aw/Places/Property/1103933>
- Rys. 7.10.** http://www.romanum.historicus.pl/bitwa_pod_akcjum.html
- Rys. 7.11.** <http://archeos.pl/artykul/3402>
- Rys. 7.12.** <http://archeos.pl/artykul/3402>
- Rys. 7.13.** <http://zaruski.pl/wp-content/uploads/2010/06/koga2.jpg>
- Rys. 7.14.** <http://www.zaglowce.ow.pl/typy/kogi-holki/index.php>
- Rys. 7.15.** <http://www.zaglowce.ow.pl/typy/karawele/karaw.jpg>
- Rys. 7.16.** Pozycja bibliograficzna [13]
- Rys. 7.17.** http://selca-paris-y-londrat.blogspot.com/2011_02_01_archive.html
- Rys. 7.18.** <http://www.jollyroger.com.pl/okrety.htm>
- Rys. 7.19.** <http://www.wawel.net/malarstwo/pojedyncze-batalistyka.htm>
- Rys. 7.20.** <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/sail200f.jpg>
- Rys. 7.21.** [http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_W._Morgan_\(ship\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_W._Morgan_(ship))
- Rys. 7.22.** Pozycja bibliograficzna [6]
- Rys. 7.23.** <http://www.wyomingtalesandtrails.com/sswyoming.html>
- Rys. 7.24.** http://www.championsailmakers.com/Thomas_L._Lawson.htm
- Rys. 7.25.** <http://www.mandragore2.net/dico/lexique2/lexique2.php?page=p2>
- Rys. 7.26.** <http://johnno.myiglou.com/SteamHistory.htm>
- Rys. 7.27.** <http://mahutc.blogs.wm.edu/files/2009/06/steamship-savannah.jpg>
- Rys. 7.28.** <http://www.history.navy.mil/photos/sh-civil/civsh-g/gt-eastn.htm>
- Rys. 7.29.** Pozycja bibliograficzna [6]
- Rys. 7.30.** <http://www.history.navy.mil/photos/sh-us-cs/csa-sh/csash-sz/virginia.htm>
http://pl.wikipedia.org/wiki/USS_Monitor
- Rys. 7.31.** <http://www.ksiazeizebrak.pl/node/127>
- Rys. 7.32.** <http://www.history.navy.mil/photos/sh-forrnv/uk/uksh-d/drednt9.htm>
- Rys. 7.33.** Pozycja bibliograficzna [6]
- Rys. 7.34.** [http://en.wikipedia.org/wiki/USS_Langley_\(CV-1\)](http://en.wikipedia.org/wiki/USS_Langley_(CV-1))
- Rys. 7.35.** Pozycja bibliograficzna [6]
- Rys. 7.36.** <http://www.submarine-history.com/NOVAone.htm>
- Rys. 7.37.** http://ortografia4.appspot.com/wiki/Okr%C4%99t_podwodny
- Rys. 7.38.** <http://www.pbs.org/wgbh/nova/lostsub/hist1580n02.html>
- Rys. 7.39.** <http://cakra401.blogspot.com/2009/11/historic-overview-of-submarine.html>
- Rys. 7.40.** <http://www.ilesaintmarcouf.com/1%E2%80%99ile-du-large/le-sous-marin/>
- Rys. 7.41.** <http://www.robse.dk/pages/SSBN/SubHist.asp>
- Rys. 7.42.** http://www.militaryfactory.com/ships/detail.asp?ship_id=CSS-HL-Hunley-1863
- Rys. 7.43.** http://www.worldnavalships.com/russian_submarines.htm
- Rys. 7.44.** <http://www.hnsa.org/ships/fenian.htm>
- Rys. 7.45.** http://commons.wikimedia.org/wiki/File:U1-Gesamtansicht_vom_Heck_her.JPG?uselang=pl
- Rys. 7.46.** Pozycja bibliograficzna [6]
- Rys. 8.1.** <http://www.britannica.com/EBchecked/media/110557/Jean-Francois-Pilatre-de-Rozier-and-Francois-Laurent-marquis-dArlandes>
- Rys. 8.2.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Jean-Fran%C3%A7ois_Pil%C3%A2tre_de_Rozier
- Rys. 8.3.** <http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/giffard.html>
- Rys. 8.4.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Charles_Renard
- Rys. 8.5.** http://pl.wikipedia.org/wiki/LZ_1
- Rys. 8.6.** http://yoyosims.pl/FS2004_Zeppelin.html
- Rys. 8.7.** <http://www.chronologia.pl/wydarzenie-19370506s0-wd.html>
- Rys. 8.8.** Pozycja bibliograficzna [13]
- Rys. 8.9.** <http://naszestrony.nazwa.pl/lotnie/content/view/22/49/>

- Rys. 8.10.** http://www.wright-brothers.org/History_Wing/History_of_the_Airplane/Century_Before/First_Airplanes/First_Airplanes.htm
- Rys. 8.11.** <http://www.pictokon.net/bilder/09-04-bildmaterial/technikgeschichte-07-otto-lilienthal-startlauf-mit-gleitner-nr-3-baujahr-1891-.html>
<http://www.sciencephoto.com/media/363092/view>
- Rys. 8.12.** <http://www.flyingmachines.org/pilc.html>
- Rys. 8.13.** <http://invention.psychology.msstate.edu/i/Chanute/Chanute.html>
<http://aboutfacts.net/People11.htm>
- Rys. 8.14.** http://www.shinden.org/av_hist/index.php?position=0.0.66
- Rys. 8.15.** <http://stara.gorpol.pl/lotnictwo/diana/2/diana2.html>
- Rys. 8.16.** Pozycja bibliograficzna [13]
- Rys. 8.17.** <http://pl.wikipedia.org/wiki/Skrzyd%C5%82owiec>
- Rys. 8.18.** <http://www.robotshop.com/gorobotics/news/science/delfly-micro-is-worlds-smallest-ornithopter-weights-only-3g-with-camera>
- Rys. 8.19.** <http://www.websters-online-dictionary.org/definitions/Ornithopter>
- Rys. 8.20.** <http://www.flyingmachines.org/hens.html>
- Rys. 8.21.** Pozycja bibliograficzna [13]
- Rys. 8.22.** <http://energia.sl.pl/mozajski.htm>
- Rys. 8.23.** <http://martin-beranek.suite101.com/the-fantastic-flying-machines-of-clement-ader-a367881>
- Rys. 8.24.** <http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/maxim.html>
- Rys. 8.25.** <http://www.swiatobrazu.pl/100-najwazniejszych-zdjec-swiata-orville-i-wilbur-wright-21020.html>
- Rys. 8.26.** <http://www.aviation-history.com/early/angle.htm>
- Rys. 8.27.** <http://www.strangecosmos.com/content/item/110677.html>
- Rys. 8.28.** <http://www.eioba.pl/a/2emq/konstrukcje-i-wynalazki-polski-przedwojennej>
- Rys. 8.29.** <http://www.eioba.pl/a/1tet/wydarzenia-w-historii-lotnictwa>
- Rys. 8.30.** <http://flyingmachines.ru/Site2/Crafts/Craft28498.htm>
- Rys. 8.31.** <http://www.history.navy.mil/photos/evnts/ev-1910s/ev-1911/ely-pa2.htm>
- Rys. 8.32.** http://www.shinden.org/av_hist/index.php?position=0.0.97
- Rys. 8.33.** http://hugojunkers.pytalhost.com/ju_j1_a1.htm
- Rys. 8.34.** <http://www.sapfa.org.za/history/1920s-london-cape-town>
- Rys. 8.35.** http://cs.wikipedia.org/wiki/Handley_Page_V/1500
- Rys. 8.36.** <http://acepilots.com/airplanes/country/british/vickers-fb5-gunbus/>
- Rys. 8.37.** <http://acepilots.com/airplanes/era/1910/morane-saulnier-l/>
- Rys. 8.38.** <http://zsah.blox.pl/2010/10/plakatowy-LOT.html>
- Rys. 8.39.** <http://www.jimmydoolittlemuseum.org/html/interwars.html>
- Rys. 8.40.** http://everestflyexpedition.republika.pl/index_historia_everst.htm
- Rys. 8.41.** <http://www.zgapa.pl/zgapedia/RWD-6.html>
- Rys. 8.42.** <http://www.xtimeline.com/evt/view.aspx?id=549586>
- Rys. 8.43.** <http://sidewaysgirl.blogspot.com/2011/01/venus-fixers.html>
- Rys. 8.44.** <http://en.wikipedia.org/wiki/File:050331-F-1234P-049.jpg>
- Rys. 8.45.** Pozycja bibliograficzna [6]
- Rys. 8.46.** <http://menstream.pl/lotnictwo/north-american/north;american;p-51;mustang,505.html>
- Rys. 8.47.** http://pl.wikipedia.org/wiki/Mitsubishi_A6M
- Rys. 8.48.** <http://www.2wojna.pl/encyklopedia-susam-002.html>
- Rys. 8.49.** Pozycja bibliograficzna [6]
- Rys. 8.50.** Pozycja bibliograficzna [6]
- Rys. 8.51.** <http://1000aircraftphotos.com/Contributions/RauchGeorgV/8700.htm>
- Rys. 8.52.** <http://www.oranzovestranky.cz/gamma/rservice.php?akce=tisk&cislocianku=2006061201>
- Rys. 8.53.** <http://aeronauticadigital.blogspot.com/2011/04/general-dynamics-f-16-fighting-falcon.html>
- Rys. 8.54.** Pozycja bibliograficzna [6]
- Rys. 8.55.** <http://my-planes.com/Miscellany/MISCELLANY.html>
- Rys. 8.56.** http://www.tapeciarnia.pl/54356_lockheed_sr71_blackbird_silniki_odrzutowe.html
- Rys. 8.57.** <http://www.military-aircraft.org.uk/jet-fighter-planes/lockheed-f-117-nighthawk.htm>
- Rys. 8.58.** http://www.military-today.com/aircraft/boeing_f15e_eagle.htm

Rys. 8.59. Pozycja bibliograficzna [6]

Rys. 8.60. <http://library.thinkquest.org/04oct/02032/famousplanes.html>

Rys. 8.61. <http://www.juliantrubin.com/bigten/davinciparachute.html>

Rys. 8.62. http://en.wikipedia.org/wiki/Louis-S%C3%A9bastien_Lenormand

Rys. 8.63. <http://trans-timeline.blogspot.com/>

Rys. 8.64. Brak źródła

Rys. 8.65. <http://www.astronautyka.org/index.php?topic=39.0>

Rys. 8.66. <http://www.ssplprints.com/image/82737/leonardo-da-vincis-proposed-helicopter-late-15th-century>

Rys. 8.67. <http://www.redetec.org.br/inventabrasil/justa.htm>

Rys. 8.68. <http://flyingmachines.ru/Site2/Crafts/Craft28966.htm>

Rys. 8.69. <http://www.eioba.pl/a/1tet/wydarzenia-w-historii-lotnictwa>

Rys. 8.70. http://www.shinden.org/av_hist/index.php?position=0.0.111

Rys. 8.71. <http://samoloty.webd.pl/angielskie/c30.jpg>

Rys. 8.72. http://aviastar.org/helicopters_eng/focke_330.php

Rys. 8.73. http://www.aviastar.org/helicopters_eng/pescara.php

Rys. 8.74. <http://www.scientistsandfriends.com/helicopters.html>

Rys. 8.75. http://pl.wikipedia.org/wiki/Vought-Sikorsky_300

Rys. 8.76. http://www.aviastar.org/helicopters_eng/flettner_kolibri.php

Rys. 8.77. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sikorsky_R4B.jpg

Rys. 8.78. <http://jet-airlinezz.blogspot.com/2011/06/bell-ah-1-cobra.html>

Rys. 8.79. <http://www.arunet.co.uk/jmlgorb/aircraft/rotamanu/boeing/ch47.htm>

Rys. 8.80. <http://www.planesandchoppers.com/picture/number3192.asp>

Rys. 8.81. http://en.wikipedia.org/wiki/File:SH-60B_Seahawk.jpg

Rys. 8.82. Pozycja bibliograficzna [6]

Rys. 8.83. Pozycja bibliograficzna [6]

Rys. 8.84. http://disneyworld-eagle.blogspot.com/2011_05_01_archive.html

Rys. 8.85. Brak źródła

Rys. 8.86. <http://psw.meil.pw.edu.pl/il.html>

Rys. 8.87. <http://psw.meil.pw.edu.pl/il.html>

Rys. 8.88. http://www.shinden.org/av_hist/index.php?position=0.0.73

Rys. 8.89. http://www.sanko.wroclaw.pl/apt/sm-2/sm2_02.html

Rys. 8.90. Brak źródła

Rys. 8.91. <http://imageshack.us/photo/my-images/242/800pxw3sokc3b3c582km2.jpg/>

Rys. 8.92. http://www.zgapa.pl/zgapedia/PZL_SW-4.html

Rys. 8.93. <http://www.thespacereview.com/article/1013/1>

Rys. 8.94. <http://alra.pl/rakiety+kosmiczne.html>

Rys. 8.95. http://pl.wikipedia.org/wiki/Sputnik_1

Rys. 8.96. http://en.wikipedia.org/wiki/Sputnik_2

Rys. 8.97. http://pl.wikipedia.org/wiki/Explorer_1

Rys. 8.98. <http://www.satellitenwelt.de/tondokumente.htm>

Rys. 8.99. <http://www.jfklibrary.org/Asset-Viewer/sSEqSHVej02KeUwORCTjgw.aspx>

Rys. 8.100. http://www.zgapa.pl/zgapedia/Walentina_Tierieszkowa.html

Rys. 8.101. http://studia.dlastudenta.pl/artukul/Zadaj_pytanie_astronautom_przez_GG,23071.html

Rys. 8.102. http://wyborcza.pl/duzy_kadr/1,97904,6841295,Czlowiek_na_Ksiezycu.html

Rys. 8.103. <http://odkrywcy.pl/kat,111402,title,Wahadlowiec-Atlantis-wystartowal,wid,11693000,wiadomosc.html>

Rys. 8.104. http://pl.wikipedia.org/wiki/SpaceShip_One

Rys. 8.105. <http://erainzyniera.pl/kiosk,prasowy/kiosk,prasowy/nauka/strona~1.html>

Bibliografia

- [1] Beaver P. *The Match Makers: The story of Bryant & May*. Henry Melland Limited. London 1985
- [2] Craughwell T. *Wielka księga wynalazków*. Wyd. Bellona S.A., Warszawa 2010
- [3] Encyklopedia Gazety Wyborczej, Wyd. Naukowe PWN
- [4] *Encyklopedia techniki wojskowej*. Wyd. MON 1978
- [5] Groover M. P. *Fundamentals of Modern Manufacturing 3/e*, Ed. John Wiley 2007
- [6] Hammond P. *Niesamowite maszyny*. Wyd. Świat Książki, Warszawa 2007
- [7] *Historia lotnictwa w Polsce*. Carta Blanca Sp. z o.o. Grupa Wydawnicza PWN, Warszawa 2011
- [8] Jezierski G. *Energia jądrowa wczoraj i dziś*. Wyd. WNT, Warszawa 2005
- [9] Kalpakjian S., Schmid S. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 4th ed., Prentice Hall 2003
- [10] Kopczyński M. *Ludzie i technika*. Wyd. Oficyna Wydawnicza "Mowią wieki", Warszawa
- [11] Liebfeld A. *Ojcowie postępu technicznego*. Wyd. Wiedza Powszechna, Warszawa 1970
- [12] Lisowski J. *Walcowanie kuźnicze*. WNT, Warszawa 1979
- [13] Machalski A., *Od młota kamiennego do rakiety kosmicznej*. Wyd. WNT, Warszawa 1963
- [14] Michałowski K. *Technika grecka*. Wyd. PWN, Warszawa 1959
- [15] Niccoli R. *Historia lotnictwa. Od maszyny latającej Leonarda da Vinci do podboju kosmosu*. Wyd. Carta Blanca Sp. z o.o. Grupa Wydawnicza PWN, Warszawa 2007
- [16] Niesler M. (red) *Najlepsze dostępne techniki (BAT). Wytyczne dla produkcji żelaza i stali. Huty zintegrowane*. Wyd. Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2005
- [17] *Niezwykły świat techniki. Najciekawsze zabytki w Polsce*. Wyd. Świat Książki, Warszawa 2005
- [18] Orłowski B. *Przygody pionierów cywilizacji*. Wyd. Nasza Księgarnia, Warszawa 1987
- [19] Orłowski B., *Historia techniki polskiej*. Wyd. Instytutu Technologii i Eksploatacji - PIB, 2006
- [20] Orłowski B., *Nie tylko szablą i piórem...* Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1985
- [21] Parry D. *Niezwykła technika starożytności*. Wyd. Amber Sp. z o.o. 2006
- [22] Pater Z. *Walcowanie poprzeczno-klinowe*. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2009
- [23] Perzyk M., Waszkiewicz S., Kaczorowski M., Jopkiewicz A. *Odlewnictwo*. WNT, Warszawa 2000
- [24] Piwoński J. *Mój konik. Statki i okręty*. Wyd. Horyzonty, Warszawa 1973
- [25] *R R Angerstein's Illustrated Travel Diary, 1753-1755*, Science Museum, Pub. 2001
- [26] Rychter W. *Dzieje samochodu*. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1979
- [27] Sikora R. (red) *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych*. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006
- [28] Simins D., Withington T. *Historia lotnictwa. Od pierwszych dwupłatowców po podbój kosmosu*. Wyd. Parragon Books Ltd. 2008
- [29] Szubański R. *Polska broń pancerna 1939*. Wyd. MON, Warszawa 1989

- [30] Szuchardin S. W., Laman N. K., Fedorov A. S. *Technika w ee istoričeskom razvitii*. Izd. Nauka, Moskva 1979
- [31] Tabor A., Rączka J., Kowalski J., Kraus E. *Metalurgia. Podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych*. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 1999
- [32] Tanel F. *Historia Kolei. Od lokomotyw parowych do kolei magnetycznej*. Carta Blanca Sp. z o.o. Grupa Wydawnicza PWN, Warszawa 2008
- [33] Volkman E. *Nauka idzie na wojnę*. Wyd. Amber Sp. z o.o. 2002
- [34] Wasiunyk P. *Kucie matrycowe*. WNT, Warszawa 1987
- [35] Wasiunyk P., Jarocki J. *Kuźnictwo i prasownictwo*. Wyd. szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1991
- [36] Weir W. *50 broni, które zmieniły świat*. Wyd. Amber Sp. z o.o. 2005
- [37] Wills Ch. *Ilustrowana historia uzbrojenia*. Wyd. Bellona, Warszawa 2006
- [38] Wróblewski A., *Historia fizyki*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2006
- [39] Zalewski P. (red) *Technika*, Wyd. Carta Blanca Sp. z o.o. Grupa Wydawnicza PWN, Warszawa 2008
- [40] *Zarys dziejów hutnictwa i naukowo-technicznych stowarzyszeń hutniczych*. Wyd. "Śląsk", Katowice 1972
- [41] Żurawski Z., Sikora J., Płużek J. *Walcowanie gwintów*. WNT, Warszawa 1962

Adresy stron internetowych

1. <http://100falcons.wordpress.com/2008/10/25/roman-ships/>
2. [http://212.182.80.149/wmm/\(S\(vu0cpfbdvawdvbrtyqr5p45\)A\(FYvev3oaywEkAAAAODZIMjhmYzctNzBIYy00Mjg0LTk0Y2UtZTc5OGE2N2ZlOTRlcHfgqm445T2JRC71So3gOkx6y401\)\)/ShowArticle.aspx?ID=112&AspxAutoDetectCookieSupport=1](http://212.182.80.149/wmm/(S(vu0cpfbdvawdvbrtyqr5p45)A(FYvev3oaywEkAAAAODZIMjhmYzctNzBIYy00Mjg0LTk0Y2UtZTc5OGE2N2ZlOTRlcHfgqm445T2JRC71So3gOkx6y401))/ShowArticle.aspx?ID=112&AspxAutoDetectCookieSupport=1)
3. <http://adrianolek.com/naukajazdy/pliki/materialoznawstwo/metale/konwertor.pdf>
4. <http://aerostories.free.fr/precursours/lilien/page2.html>
5. <http://apollo11.pl/o-misji/program-apollo/>
6. <http://archeos.pl/artykul/3386>
7. <http://bertan.gipuzkoakultura.net/es/16/en/2.php>
8. http://biografie.eu.interia.pl/biografie/ernst_heinkel.html
9. http://biografie.eu.interia.pl/biografie/ernst_werner_von_siemens.html
10. http://biografie.eu.interia.pl/biografie/michal_doliwo-dobrowolski.html
11. http://biografie.eu.interia.pl/biografie/nikolaus_august_otto.html
12. <http://biznes.pwn.pl/index.php?module=haslo&id=3924164>
13. <http://ciekawostkihistoryczne.pl/2010/09/09/rewolucja-technologiczna-w-starozytnej-grecji/>
14. <http://cycle-info.bpaj.or.jp/english/learn/chistory.html>
15. http://de.wikipedia.org/wiki/Eugen_Langen
16. <http://dobrezycie.salon24.pl/363996,kolo-wodne-wybrane-przyklady>
17. <http://einhornpress.com/aeroplaneorairplanepicturesandhistory.aspx>
18. <http://ekspozycje.org.pl/wielki-wyscig-nowy-jork-paryz-1908/>
19. http://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89tienne_Lenoir
20. http://en.wikipedia.org/wiki/Abraham_Darby_I
21. http://en.wikipedia.org/wiki/Alphonse_P%C3%A9naud
22. http://en.wikipedia.org/wiki/Am%C3%A9d%C3%A9_Boll%C3%A9
23. [http://en.wikipedia.org/wiki/Ancient_Egyptian_Boats_\(First_Dynasty\)_%E2%80%93_Abydos](http://en.wikipedia.org/wiki/Ancient_Egyptian_Boats_(First_Dynasty)_%E2%80%93_Abydos)
24. http://en.wikipedia.org/wiki/Ancient_Egyptian_technology
25. http://en.wikipedia.org/wiki/Andr%C3%A9-Jacques_Garnerin
26. http://en.wikipedia.org/wiki/Blast_furnace
27. http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_F._Brush
28. http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Goodyear
29. http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Lindbergh
30. http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Martin_Hall
31. http://en.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens
32. http://en.wikipedia.org/wiki/Cl%C3%A9ment_Ader
33. http://en.wikipedia.org/wiki/Denis_Papin

34. http://en.wikipedia.org/wiki/Dud_Dudley
35. http://en.wikipedia.org/wiki/Edward_Alfred_Cowper
36. <http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity>
37. http://en.wikipedia.org/wiki/Eli_Whitney
38. http://en.wikipedia.org/wiki/Elisha_Otis
39. http://en.wikipedia.org/wiki/Ferdinand_von_Zeppelin
40. <http://en.wikipedia.org/wiki/Forging>
41. http://en.wikipedia.org/wiki/Francis_Rogallo
42. http://en.wikipedia.org/wiki/Frank_Whittle
43. http://en.wikipedia.org/wiki/Friedrich_Koenig
44. http://en.wikipedia.org/wiki/George_Cayley
45. http://en.wikipedia.org/wiki/Goldsworthy_Gurney
46. http://en.wikipedia.org/wiki/Gustaf_de_Laval
47. http://en.wikipedia.org/wiki/Harry_John_Lawson
48. http://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Giffard
49. http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Bessemer
50. http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Cort
51. http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Shrapnel
52. http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_aviation
53. http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_energy
54. http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_ferrous_metallurgy
55. http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_rail_transport
56. http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_steam_road_vehicles
57. http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_submarines
58. http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_bicycle
59. http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_internal_combustion_engine
60. http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_steam_engine
61. http://en.wikipedia.org/wiki/Hugo_Junkers
62. http://en.wikipedia.org/wiki/Humphry_Davy
63. http://en.wikipedia.org/wiki/J%C3%A1n_Bah%C3%BD%C4%BE
64. http://en.wikipedia.org/wiki/James_B._Francis
65. http://en.wikipedia.org/wiki/James_Beaumont_Neilson
66. http://en.wikipedia.org/wiki/James_Nasmyth
67. http://en.wikipedia.org/wiki/John_Boyd_Dunlop
68. http://en.wikipedia.org/wiki/John_Haswell
69. http://en.wikipedia.org/wiki/John_Wesley_Hyatt
70. [http://en.wikipedia.org/wiki/John_Wilkinson_\(industrialist\)](http://en.wikipedia.org/wiki/John_Wilkinson_(industrialist))
71. http://en.wikipedia.org/wiki/Jules-Albert_de_Dion
72. http://en.wikipedia.org/wiki/Kirkpatrick_Macmillan
73. <http://en.wikipedia.org/wiki/Krupp>
74. <http://en.wikipedia.org/wiki/Lathe>
75. http://en.wikipedia.org/wiki/Lester_Allan_Pelton
76. http://en.wikipedia.org/wiki/Louis-Guillaume_Perreaux
77. http://en.wikipedia.org/wiki/Matthew_Boulton
78. http://en.wikipedia.org/wiki/Milling_machine

79. http://en.wikipedia.org/wiki/Motorcycle_history
80. http://en.wikipedia.org/wiki/Octave_Chanut
81. http://en.wikipedia.org/wiki/Oliver_Evans
82. http://en.wikipedia.org/wiki/Oscar_Kjellberg
83. http://en.wikipedia.org/wiki/Otto_Lilienthal
84. http://en.wikipedia.org/wiki/Paul_H%C3%A9roult
85. http://en.wikipedia.org/wiki/Percy_Pilcher
86. http://en.wikipedia.org/wiki/Pierre_Michaux
87. http://en.wikipedia.org/wiki/Pieter_van_Musschenbroek
88. <http://en.wikipedia.org/wiki/Plastic>
89. http://en.wikipedia.org/wiki/Powder_metallurgy
90. http://en.wikipedia.org/wiki/Power_hammer
91. [http://en.wikipedia.org/wiki/Puddling_\(metallurgy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Puddling_(metallurgy))
92. http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Fulton
93. http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_H._Goddard
94. http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Stirling
95. [http://en.wikipedia.org/wiki/Rolling_\(metalworking\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Rolling_(metalworking))
96. http://en.wikipedia.org/wiki/Samuel_Pierpont_Langley
97. http://en.wikipedia.org/wiki/Sidney_Gilchrist_Thomas
98. http://en.wikipedia.org/wiki/Siegfried_Marcus
99. http://en.wikipedia.org/wiki/SS_Great_Eastern
100. http://en.wikipedia.org/wiki/Steam_car
101. [http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Davenport_\(inventor\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Davenport_(inventor))
102. http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Newcomen
103. http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Savery
104. http://en.wikipedia.org/wiki/Viking_ships
105. http://en.wikipedia.org/wiki/Viktor_Kaplan
106. http://en.wikipedia.org/wiki/William_Congreve
107. http://en.wikipedia.org/wiki/William_Murdoch
108. http://en.wikipedia.org/wiki/William_Samuel_Henson
109. http://en.wikipedia.org/wiki/Wrought_iron
110. <http://encyklopedia.interia.pl/tabela.html?sc=img.interia.pl/encyklopedia/nimg/Samolot.csv&o=Kr%F3tka%20historia%20samolotu>
111. <http://energiack.w.interia.pl/page7.html>
112. http://energiaodnawialna.net/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=54
113. http://eska.pl/adrenalina/news/29822/spadochroniarstwo_-_historia_na_spadochronie/1055
114. <http://ezinearticles.com/?A-Brief-History-of-Wrought-Iron&id=301645>
115. <http://f1.wp.pl/kat,71320,title,Historia-wyscigow-samochodowych,wid,8778412,wiadomosc.html?tiacaid=1d7dc>
116. <http://ferrari.ovh.org/historiaferrari.htm>
117. <http://fizyka-rej.republika.pl/data/poku/pok.html>
118. <http://free.of.pl/p/parowozy/historia.html>
119. <http://freepages.history.rootsweb.ancestry.com/~dav4is/people/DAVE581.htm>
120. <http://fura.prv.pl/auto.html>
121. <http://gosiaa.wordpress.com/>
122. http://historiasamochodu.fm.interia.pl/html/pierwsze_pojazdy.html

123. http://historiasamochodu.fm.interia.pl/html/pierwsze_pojazdy.html
124. http://homepage.ntlworld.com/leslie.foster/drilling_history.htm
125. <http://invention.psychology.msstate.edu/i/Langley/Langley.html>
126. <http://inventors.about.com/cs/inventorsalphabet/a/electricity.htm>
127. <http://inventors.about.com/library/inventors/blbicycle.htm>
128. <http://inventors.about.com/library/inventors/bldiesel.htm>
129. <http://inventors.about.com/library/inventors/blrailroad.htm>
130. <http://inventors.about.com/library/inventors/blsteamengine.htm>
131. <http://inventors.about.com/library/inventors/blsteamship.htm>
132. <http://inventors.about.com/library/weekly/aacarsgasa.htm>
133. <http://inventors.about.com/library/weekly/aacarssteama.htm>
134. http://inventors.about.com/od/cstartinventions/a/Car_History.htm
135. <http://inventors.about.com/od/mstartinventions/a/motorcycle.htm>
136. <http://inventors.about.com/od/pstartinventions/a/plastics.htm>
137. <http://inventors.about.com/od/pstartinventions/ss/Parachute.htm>
138. <http://inventors.about.com/od/wstartinventors/a/JamesWatt.htm>
139. <http://jotbe25.republika.pl/historia.html>
140. <http://knm.prz.edu.pl/wielcy/malinowski/index.htm>
141. http://kolodrom.olsztyn.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=25
142. <http://l3d.cs.colorado.edu/systems/agentsheets/New-Vista/automobile/>
143. http://library.thinkquest.org/C006011/english/sites/steam_loks1.php3?v=2
144. <http://lifestyle.iloveindia.com/lounge/history-of-aeroplanes-2020.html>
145. <http://lotniczapolska.pl/Krotka-historia-bestii-zwanej-wiatrakowcem,643>
146. <http://neon.mems.cmu.edu/cramb/Processing/history.html>
147. <http://nowaatlantyda.com/2010/09/26/skrzydlowiec-leonarda/>
148. http://oen.dydaktyka.agh.edu.pl/dydaktyka/inzynieria_srodowiska/c_odnaw_zrodla_en/files/rozwoj.htm
149. <http://ogrzewnictwo.pl/smietnik/wytwarzanie-energii-odnawialnej-w-procesie-wspolnego-spalania-biomasy-i-węgla>
150. <http://ours.jogger.pl/2008/08/24/samochody-parowe/>
151. <http://paralumun.com/train.htm>
152. <http://perunwit.w.interia.pl/elektrycznosc.pdf>
153. <http://phoenicia.org/ships.html>
154. <http://pl.wikipedia.org/wiki/%C5%9Amig%C5%82owiec>
155. http://pl.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein
156. http://pl.wikipedia.org/wiki/Alberto_Santos-Dumont
157. http://pl.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta
158. http://pl.wikipedia.org/wiki/Andr%C3%A9_Marie_Amp%C3%A8re
159. http://pl.wikipedia.org/wiki/Antoine_Lavoisier
160. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Archimedes>
161. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Astronautyka>
162. http://pl.wikipedia.org/wiki/B%C5%BB-4_%C5%BBuk
163. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Balon>
164. http://pl.wikipedia.org/wiki/Bitwa_o_Angli%C4%99
165. http://pl.wikipedia.org/wiki/Bracia_Montgolfier
166. http://pl.wikipedia.org/wiki/Bracia_Wright

167. http://pl.wikipedia.org/wiki/Butelka_lejdejska
168. http://pl.wikipedia.org/wiki/Car_Ko%C5%82oko%C5%82
169. http://pl.wikipedia.org/wiki/Car_Puszk
170. http://pl.wikipedia.org/wiki/Charles_Algernon_Parsons
171. http://pl.wikipedia.org/wiki/Charles_Coulomb
172. http://pl.wikipedia.org/wiki/Czes%C5%82aw_Ta%C5%84ski
173. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Dymarka>
174. http://pl.wikipedia.org/wiki/Dzwon_Zygmunt
175. http://pl.wikipedia.org/wiki/Edmund_Zalinski
176. http://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrownia_j%C4%85drowa
177. http://pl.wikipedia.org/wiki/Energetyka_s%C5%82oneczna
178. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Energia_\(fizyka\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/Energia_(fizyka))
179. http://pl.wikipedia.org/wiki/Energia_geotermalna
180. http://pl.wikipedia.org/wiki/Energia_pr%C4%85d%C3%B3w_morskich,_p%C5%82yw%C3%B3w_i_falowania
181. http://pl.wikipedia.org/wiki/Ernest_Malinowski
182. http://pl.wikipedia.org/wiki/Ernst_Heinkel
183. http://pl.wikipedia.org/wiki/Eugeniusz_Kwiatkowski
184. http://pl.wikipedia.org/wiki/Felix_Wankel
185. http://pl.wikipedia.org/wiki/Ferdinand_Porsche
186. http://pl.wikipedia.org/wiki/Fiat_126
187. http://pl.wikipedia.org/wiki/Focke-Achgelis_Fa_330
188. http://pl.wikipedia.org/wiki/Ford_Model_T
189. http://pl.wikipedia.org/wiki/Frank_Piasecki
190. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Fregata_\(okr%C4%99t_%C5%BCaglowy\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/Fregata_(okr%C4%99t_%C5%BCaglowy))
191. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Fryszka>
192. http://pl.wikipedia.org/wiki/FSO_Polonez
193. http://pl.wikipedia.org/wiki/Gabriel_Narutowicz
194. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Galeon>
195. http://pl.wikipedia.org/wiki/Georg_Ohm
196. http://pl.wikipedia.org/wiki/George_Stephenson
197. http://pl.wikipedia.org/wiki/Gottlieb_Daimler
198. http://pl.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Focke
199. http://pl.wikipedia.org/wiki/Henri_Coand%C4%83
200. http://pl.wikipedia.org/wiki/Henry_Bessemer
201. http://pl.wikipedia.org/wiki/Henry_Ford
202. http://pl.wikipedia.org/wiki/Henryk_%C5%81ubie%C5%84ski
203. http://pl.wikipedia.org/wiki/Hiram_Maxim
204. http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia_kolei
205. http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia_kolei_w_Rosji
206. http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia_okr%C4%99t%C3%B3w_podwodnych
207. http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia_samochodu
208. http://pl.wikipedia.org/wiki/Igor_Sikorski
209. http://pl.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell
210. http://pl.wikipedia.org/wiki/James_Watt
211. http://pl.wikipedia.org/wiki/Jean-Antoine_Nollet

212. http://pl.wikipedia.org/wiki/Jean-Fran%C3%A7ois_Pil%C3%A2tre_de_Rozier
213. http://pl.wikipedia.org/wiki/Jean-Pierre_Blanchard
214. http://pl.wikipedia.org/wiki/John_Baildon
215. http://pl.wikipedia.org/wiki/John_Glenn
216. http://pl.wikipedia.org/wiki/John_Philip_Holland
217. http://pl.wikipedia.org/wiki/John_Smeaton
218. http://pl.wikipedia.org/wiki/Joseph_Whitworth
219. http://pl.wikipedia.org/wiki/Juan_de_la_Cierva
220. http://pl.wikipedia.org/wiki/Jurij_Gagarin
221. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Karaka>
222. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Karawela>
223. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Karl-Benz>
224. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Kierat>
225. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Kliper_\(%C5%BCaglowiec\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/Kliper_(%C5%BCaglowiec))
226. http://pl.wikipedia.org/wiki/Ko%C5%82o_wodne
227. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Koga>
228. http://pl.wikipedia.org/wiki/Kolos_Rodyjski
229. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Latawiec>
230. http://pl.wikipedia.org/wiki/Leonardo_da_Vinci
231. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Lokomobila>
232. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Lotnia>
233. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Lotnictwo>
234. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Lotniskowiec>
235. http://pl.wikipedia.org/wiki/Louis_Bl%C3%A9riot
236. http://pl.wikipedia.org/wiki/Louis_Breguet
237. http://pl.wikipedia.org/wiki/LZ_129_Hindenburg
238. http://pl.wikipedia.org/wiki/M%C5%82yn_wodny
239. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Mi-2>
240. http://pl.wikipedia.org/wiki/Micha%C5%82_Doliwo-Dobrowolski
241. http://pl.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday
242. http://pl.wikipedia.org/wiki/Niccolo_Tartaglia
243. http://pl.wikipedia.org/wiki/Nicolas-Joseph_Cugnot
244. http://pl.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla
245. http://pl.wikipedia.org/wiki/Nikolaus_Otto
246. http://pl.wikipedia.org/wiki/Obr%C3%B3bka_skrawaniem
247. http://pl.wikipedia.org/wiki/Okr%C4%99t_podwodny
248. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Opel>
249. http://pl.wikipedia.org/wiki/Otto_von_Guericke
250. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Pancernik>
251. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Parow%C3%B3z>
252. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Parowiec>
253. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Pieni%C4%85dz>
254. http://pl.wikipedia.org/wiki/Po%C5%82%C4%85czenie_nitowe
255. http://pl.wikipedia.org/wiki/Polski_Fiat_125p
256. http://pl.wikipedia.org/wiki/Program_Apollo

257. http://pl.wikipedia.org/wiki/PZL_SW-4
258. http://pl.wikipedia.org/wiki/PZL_W-3_Sok%C3%B3%C5%82
259. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Rakieta>
260. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Rakieta_\(parow%C3%B3z\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/Rakieta_(parow%C3%B3z))
261. http://pl.wikipedia.org/wiki/Richard_Gatling
262. http://pl.wikipedia.org/wiki/Richard_Trevithick
263. http://pl.wikipedia.org/wiki/RMS_Titanic
264. http://pl.wikipedia.org/wiki/Roland_Garros
265. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Rower>
266. http://pl.wikipedia.org/wiki/Rudolf_Diesel
267. http://pl.wikipedia.org/wiki/Samolot_kosmiczny
268. http://pl.wikipedia.org/wiki/Samuel_Colt
269. http://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_o_zap%C5%82onie_samoczynnym
270. http://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_parowy
271. http://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_Stirlinga
272. http://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_Wankla
273. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Skrzyd%C5%82owiec>
274. http://pl.wikipedia.org/wiki/Sonda_kosmiczna
275. <http://pl.wikipedia.org/wiki/SpaceShipOne>
276. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Spadochron>
277. http://pl.wikipedia.org/wiki/Sputnik_1
278. http://pl.wikipedia.org/wiki/Stefan_Drzewiecki
279. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Sterowiec>
280. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Syrena_\(samoch%C3%B3d\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/Syrena_(samoch%C3%B3d))
281. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Szkuner>
282. http://pl.wikipedia.org/wiki/Sztuczny_satelita
283. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Szybowiec>
284. http://pl.wikipedia.org/wiki/Tadeusz_Sendzimir
285. http://pl.wikipedia.org/wiki/Tales_z_Miletu
286. http://pl.wikipedia.org/wiki/Thomas_Alva_Edison
287. http://pl.wikipedia.org/wiki/Turbina_parowa
288. http://pl.wikipedia.org/wiki/Turbina_wodna
289. http://pl.wikipedia.org/wiki/W%C4%99glik_krzemu
290. http://pl.wikipedia.org/wiki/Wahad%C5%82owiec_kosmiczny
291. http://pl.wikipedia.org/wiki/Werner_von_Siemens
292. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Wiatrakowiec>
293. http://pl.wikipedia.org/wiki/Wie%C5%BCa_Eiffila
294. http://pl.wikipedia.org/wiki/Wielki_piec
295. http://pl.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Maybach
296. http://pl.wikipedia.org/wiki/Zwier%C4%99ta_u%C5%BCytkowe
297. http://polishcoke.net/Blast_Furnace_Historypart_ofA_Brief,1.html
298. <http://polska-motoryzacja.prv.pl/>
299. http://portalwiedzy.onet.pl/18147,,,zelaza_epoka,haslo.html
300. http://portalwiedzy.onet.pl/21196,,,piec_martenowski,haslo.html
301. <http://portalwiedzy.onet.pl/3412,,,galileusz,haslo.html>

302. http://portalwiedzy.onet.pl/34741,,,butelka_lejdejska,haslo.html
303. http://portalwiedzy.onet.pl/40626,,,heron_z_aleksandrii,haslo.html
304. http://portalwiedzy.onet.pl/43123,,,narutowicz_gabriel,haslo.html
305. http://portalwiedzy.onet.pl/48213,,,maxwell_james_clerk,haslo.html
306. <http://portalwiedzy.onet.pl/51819,,,wahadlowiec,haslo.html>
307. http://portalwiedzy.onet.pl/5296,,,ford_henry,haslo.html
308. http://portalwiedzy.onet.pl/6568,,,junkers_hugo,haslo.html
309. http://portalwiedzy.onet.pl/76028,,,kwiatkowski_eugeniusz_felicjan,haslo.html
310. <http://postcarbon.pl/2008/01/krotka-historia-energii/>
311. <http://przedniekolo.blox.pl/2009/01/Historia-1813-1817-Karl-Freiherr-Drais-von.html>
312. <http://romantyzm.fm.interia.pl/html/3/faraday-biografia.html>
313. <http://siedem.ms-net.info/index.php?str=6>
314. <http://silniki.atSPACE.org/wankla.html>
315. <http://techzel.bizhat.com/html/proces.html>
316. <http://telosnet.com/wind/early.html>
317. <http://terpconnect.umd.edu/~leishman/Aero/history.html>
318. <http://tworzywa.blogspot.com/2009/05/krotka-historia-syntetycznych-tworzyw.html>
319. <http://waspcv7.republika.pl/>
320. <http://worldmotoryzacja.blogspot.com/2011/10/moto-life.html>
321. <http://world-nuclear.org/info/inf54.html>
322. <http://www.angelfire.com/folk/molinologist/museum.html>
323. <http://www.angelfire.com/journal/millbuilder/historical.html>
324. <http://www.angelfire.com/journal/millrestoration/history.html>
325. <http://www.applecountry.org/enginehistory.html>
326. http://www.artsales.com/ARTistory/Ancient_Ships/06_egyptian_galleons.html
327. <http://www.astronomia.wortale.net/187-Christian-Huygens.html>
328. <http://www.atom.edu.pl/index.php/technologie/historia-energetyki-jadrowej.html>
329. <http://www.atomistyka.pl/energetyka/historia.html>
330. <http://www.ausbcomp.com/~bbott/cars/carhist.htm>
331. <http://www.autocentrum.pl/historia-marek/volvo-historia-marki/>
332. <http://www.autogaleria.pl/artykuly/index.php?id=17>
333. <http://www.automotogaleria.pl/historia.html>
334. <http://www.aviastar.org/history/index.html>
335. <http://www.aviationcorner.pl/news.php>
336. http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/macmillan_kirkpatrick.shtml
337. http://www.bible-history.com/past/phoenician_ships.html
338. <http://www.bike.pl/wiadomoscrrs/189/>
339. http://www.bpf.co.uk/plastipedia/plastics_history/default.aspx
340. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/366927/Pierre-Emile-Martin>
341. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/45020/automobile-racing>
342. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/609552/turbine/45690/History-of-steam-turbine-technology>
343. http://www.bryk.pl/teksty/liceum/chemia/chemia_nieorganiczna/12603-metody_otrzymywania_%C5%BCelaza.html
344. http://www.bryk.pl/teksty/liceum/chemia/chemia_nieorganiczna/19270-kr%C3%B3tk%C3%82a_historia_rozwoju_metalurgii.html

345. http://www.bryk.pl/teksty/liceum/fizyka/historia_fizyki/13401-pocz%C4%85tki_elektryczno%C5%9Bci_prawa_i_ich_tw%C3%B3rcy.html
346. http://www.bryk.pl/teksty/liceum/fizyka/ruch_i_jego_powszechno%C5%9B%C4%87/10001-silniki_spalinowe_ich_historia_cykl_pracy.html
347. <http://www.czysta-energia.ovh.org/biogaz.html>
348. http://www.decorbells.ru/bell_tsar.htm
349. <http://www.discoverfrance.net/France/Paris/Monuments-Paris/Eiffel.shtml>
350. http://www.dli.gov.in/rawdataupload/upload/insa/INSA_1/20005af7_109.pdf
351. <http://www.eballoon.org/history/history-of-ballooning.html>
352. <http://www.egr.msu.edu/~lira/supp/steam/>
353. http://www.ehow.com/about_5117137_history-grinding-wheel.html
354. http://www.ehow.com/facts_5036270_history-metal-lathe.html
355. <http://www.eioba.pl/a/1qwm/sterowce-latajace-dinozaury>
356. <http://www.eioba.pl/a/2die/kilka-ogolnych-informacji-o-samochodach>
357. http://www.ekstremalne.pl/article_id_226.html
358. <http://www.electricityforum.com/electricity-history.html>
359. <http://www.electricscotland.com/history/other/neilson.htm>
360. http://www.emachinetool.com/machine_history.cfm
361. http://www.eoearth.org/article/Cort,_Henry
362. <http://www.fi.edu/learn/case-files/energy.html>
363. http://www.findingdulcinea.com/guides/Sports/Auto-Racing.pg_0.html
364. <http://www.firstcarnow.com/first-gasoline-car.htm>
365. <http://www.firstcarnow.com/first-steam-car.htm>
366. http://www.fizyka.net.pl/index.html?menu_file=ciekawostki%2Fm_ciekawostki.html&former_url=http%3A%2F%2Fwww.fizyka.net.pl%2Fciekawostki%2Fciekawostki_hf2.html
367. <http://www.flyingmachines.org/lilthl.html>
368. <http://www.gap-system.org/~history/Biographies/Coulomb.html>
369. <http://www.gim1.rabawyżna.pl/index.php/articles/show/56>
370. <http://www.gliwiczanie.pl/Biografie/Baildon/Baildon.htm>
371. <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/parachute-history.htm>
372. http://www.gm.ca/inm/gmcanada/english/about/OverviewHist/hist_auto.html
373. <http://www.gocurrency.com/articles/history-automobiles.htm>
374. http://www.goodyear.com/corporate/history/history_story.html
375. http://www.gowelding.org/History_of_Welding.html
376. <http://www.greenenergyohio.org/page.cfm?pageId=341>
377. http://www.heartofeurope.co.uk/history_famous3a.htm
378. <http://www.history.rochester.edu/steam/brown/>
379. <http://www.history.rochester.edu/steam/parsons/part1.html>
380. <http://www.historyworld.net/wrldhis/PlainTextHistories.asp?historyid=ab16>
381. <http://www.historyworld.net/wrldhis/PlainTextHistories.asp?ParagraphID=cwd>
382. <http://www.hpnowosci.pl/tag/rakieta>
383. http://www.hurstwic.org/history/articles/manufacturing/text/norse_ships.htm
384. <http://www.ideafinder.com/features/smallstep/electricity.htm>
385. <http://www.ideafinder.com/history/inventions/automobile.htm>
386. <http://www.ideafinder.com/history/inventors/zeppelin.htm>
387. <http://www.ii.uj.edu.pl/~zbooy/polish/histrow.html>

388. <http://www.industrialmetalcasting.com/history-metal-casting.html>
389. http://www.invent.org/hall_of_fame/115.html
390. http://www.konflikty.pl/a,652,Marynarka_wojenna,Lotniskowce_klasy_Nimitz%20.html
391. http://www.magnum-x.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=1633&catid=5&Itemid=15
392. http://www.mariamilani.com/ancient_rome/ancient_roman_ships.htm
393. <http://www.marynistyka.net/>
394. <http://www.me.wpi.edu/MFE/HCCM/cnc.html>
395. <http://www.mill.com.tw/new/grinder-development.html>
396. <http://www.mindfully.org/Plastic/Plastics-History.htm>
397. <http://www.mk-technology.com/geschichtemetallguss.html?L=2>
398. <http://www.motoandzoo.sp63.cba.pl/4.html>
399. <http://www.motohistory.pl/para-buch-samochod-w-ruch-czyli-pierwsze-pojazdy-samobieżne/>
400. <http://www.motorera.com/history/hist03.htm>
401. <http://www.mt.com.pl/samochody-parowe-w-usa>
402. http://www.muzeumlottnictwa.pl/historia/frank_piasecki/index.php
403. <http://www.national-geographic.pl/drukuj-artykul/kolej-transandyjska-andy-podniebna-podroz/>
404. <http://www.netwelding.com/History%20of%20Welding.htm>
405. http://www.oceanarium.org.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=5
406. <http://www.oldpelton.net/history/>
407. <http://www.parachutehistory.com/eng/drs.html>
408. <http://www.pbs.org/wgbh/nova/space/short-history-of-ballooning.html>
409. <http://www.pedalinghistory.com/PHhistory.html>
410. http://www.pg.gda.pl/~rskoblik/tm/pliki/Metalurgia_staliwa_i_stali.pdf
411. <http://www.pigiron.org.uk/getlibrarydoc.php?id=28&docnum=1&type=pdf>
412. <http://www.pkp.pl/klubpkp/historia>
413. <http://www.plar.pl/szyb/historia/histlotn.htm>
414. <http://www.polonialife.ca/polacy/polacy-swiatu/drzewiecki-stefan/>
415. http://www.polymerplastics.com/history_plastics.shtml
416. <http://www.practicalmachinist.com/vb/antique-machinery-history/nasmyth-steam-hammer-225299/>
417. <http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,1774>
418. <http://www.reshafim.org.il/ad/egypt/timelines/topics/navigation.htm>
419. http://www.rodovens.com/welding_articles/history.htm
420. <http://www.rootsweb.ancestry.com/~kycampbe/steamboathistory.htm>
421. <http://www.rosala-viking-centre.com/history.htm>
422. <http://www.royal-navy.org/>
423. http://www.samochody.mojeauto.pl/volvo/historia_koncernu/
424. <http://www.samoloty.ow.pl/str393.htm>
425. <http://www.samoloty.pl/index.php/historia-lotnictwa-hobby-245>
426. <http://www.samoloty.pl/index.php/ludzie-lotnictwa-hobby-1807/zwipzani-z-lotnictwem-hobby-1809/zagraniczni-hobby-2402/cierva-juan-de-la-hobby-2412>
427. http://www.sciaga.pl/tekst/13575-14-historia_hutnictwa_w_polsce
428. http://www.sciaga.pl/tekst/25270-26-historia_elektrycznosci
429. http://www.sciaga.pl/tekst/26312-27-edison_thomas_alva_zycie_i_wynalazki
430. http://www.sciaga.pl/tekst/30536-31-historia_samochodu
431. http://www.sciaga.pl/tekst/33672-34-tworzywa_sztuczne

432. http://www.sciaga.pl/tekst/40245-41-wynalazki_xix_w
433. http://www.sciaga.pl/tekst/56302-57-ales_z_miletu_filozofia
434. http://www.sciaga.pl/tekst/78025-79-historia_zapalki
435. http://www.sciaga.pl/tekst/9192-10-metody_przetworstwa
436. <http://www.sdrm.org/history/timeline/>
437. http://www.siedemcudowskiata.za.pl/kolos_rodyjski.php
438. <http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/AVgarnerin.htm>
439. <http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/SCboulton.htm>
440. <http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/SCwatt.htm>
441. <http://www.stuartking.co.uk/index.php/history-of-the-lathe-part-one-reciprocal-motion/>
442. <http://www.submarinehistory.com/>
443. <http://www.submarine-history.com/NOVAone.htm>
444. <http://www.tas-moto.org/historia-motoryzacji-415.html>
445. http://www.thaitechnics.com/helicopter/heli_history.html
446. <http://www.thehistoricalarchive.com/happenings/the-history-of-electricity-a-timeline/>
447. <http://www.thehistoryofairplanes.com/>
448. http://www.todayinsci.com/D/Davy_Edmund/DavyEdmundBio.htm
449. <http://www.top-alternative-energy-sources.com/water-wheel-history.html>
450. <http://www.totalmotorcycle.com/future.htm>
451. http://www.traktor.lipno.pl/_frames/_historia/lokomobile.htm
452. http://www.transazja.pl/ru-14_1-art447.html
453. http://www.ucsusa.org/clean_energy/clean_energy_101/a-short-history-of-energy.html
454. http://www.ultrasport.pl/historia_roweru,artykul,9082.html
455. http://www.uniquecarsandparts.com.au/lost_marques_bollee.htm
456. <http://www.uwm.edu.pl/kolektory/hydroenerget/oceanicz/en.ocean.htm>
457. <http://www.uwm.edu.pl/kolektory/silownie/historia.html>
458. http://www.uwm.edu.pl/kolektory/turbiny-wodne/turbiny_peltona.html
459. <http://www.vandenplas.com/daimler/dhist.htm>
460. http://www.virginiawind.com/byways/history_01.asp
461. http://www.warszawa1939.pl/strona_bez.php?kod=koleje
462. <http://www.waterhistory.org/histories/waterwheels/>
463. <http://www.weldinghistory.org/>
464. <http://www.wiatraki24.com.pl/>
465. <http://www.windmillworld.com/windmills/history.htm>
466. http://www.wright-brothers.org/History_Wing/History_of_the_Airplane/History_of_the_Airplane_Intro/History_of_the_Airplane_Intro.htm
467. <http://www.wrower.pl/historia/index.php>
468. <http://www.wynalazki.slovníki.pl/index.php/wynalazcy/75-h/856-hyatt-john-wesley.html>
469. http://www.zaglowce.ow.pl/typy/freg_woj/index.php
470. <http://www.zaglowce.ow.pl/typy/index.php>
471. <http://www.zaglowce.ow.pl/typy/wielorybiczne/index.php>
472. <http://www.zainstalujsie.pl/edukacja/produkcja-stali-historia-i-przeglad-cz-vi-wielki-piec-cz-1/>
473. <http://www.zainstalujsie.pl/edukacja/produkcja-stali-historia-i-przeglad-cz-x-elektryczny-piec-lukowy-luk-elektryczny/>
474. http://www.zssplus.pl/www_ciekawe/ciekawe_historia06.htm
475. <http://www.wnt.if.pwr.wroc.pl/kwazar/mtk2/fizycy/116718/default.htm>

- 476. http://zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=173:historia-energii-geotermalnej&catid=52:ziemna&Itemid=217
- 477. <https://e-numizmatyka.pl/portal/strona-glowna/monety/abc-numizmatyki/historia-numizmatyki.html>