Zastosowania nauki

Tom 4

Technika

Norway
grants

Projekt pt.: **„MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA - Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli"**, o wartości 15 328 498,86 zł, realizowany jest w ramach Programu Rozwój Lokalny. Projekt dofinansowany został ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz ze środków Budżetu Państwa (15%). Projekt ma na celu poprawę rozwoju lokalnego i instytucjonalnego Stalowej Woli. Projektem zarządza Lider – Gmina Stalowa Wola.

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.
www.norwaygrants.pl i www.norwaygrants.org

Materiały dydaktyczne opracowane w ramach projektu
"MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA –
Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli".

— Stalowa Wola, listopad 2022 —



Spis treści

1 Energia ze słońca, wody i powietrza ... 7

1.1 Wprowadzenie . . . 7
1.2 Panele fotowoltaiczne i kolektory słoneczne . . . 8
1.3 Produkcja energii elektrycznej z wykorzystaniem wiatru . 12
1.4 Elektrownie wodne w Polsce . . . 15
1.5 Naturalne wody termalne jako źródło energii . . . 17
1.6 Pompy ciepła . . . 19
1.7 Podsumowanie . . . 22

2 Jak skręcają pojazdy? . . . 25

2.1 Wstęp . . . 25
2.2 Jednoślady . . . 25
2.3 Pojazdy o większej ilości kół . . . 25
2.4 Przeniesienie mocy na koła . . . 26
2.5 Pojazdy terenowe . . . 28
2.6 Pojazdy sportowe . . . 31
2.7 Pojazdy z napędem na wiele osi . . . 31
2.8 Pojazdy specjalne . . . 34
2.9 Kolej . . . 36

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

3 Dlaczego maszyna budowlana jest taka silna? . 39
3.1 Wstęp . . . 39
3.2 Układ napędowy . . . 40
3.3 Układ roboczy . . . 43
3.4 Prace wykonywane przez maszyny budowlane . . . 46
3.5 Podsumowanie . . . 49

4 Po co nam przekładnie? . . . 51
4.1 Wprowadzenie . . . 51
4.2 Budowa i zasada działania przekładni . . . 52
4.3 Rodzaje przekładni . . . 56
4.4 Ćwiczenia . . . 64

5 Koń mechaniczny . . . 67
5.1 Wstęp . . . 67
5.2 Geneza konia mechanicznego . . . 67
5.3 Koń koniowi nierówny . . . 71
5.4 Jak obliczyć moc? . . . 72
5.5 Ile koni mechanicznych ma człowiek? . . . 73

6 W pogoni za mocą . . . 79
6.1 Wstęp . . . 79
6.2 Paliwa . . . 80
6.3 Cykle pracy silnika . . . 80
6.4 Spalanie stukowe . . . 81
6.5 Wydajność . . . 82
6.6 Więcej mocy . . . 83
6.7 Rozrząd . . . 85
6.8 Doładowanie . . . 86
6.9 Silniki dwusuwowe . . . 89
6.10 Silnik Wankla . . . 92
6.11 Układ zapłonowy . . . 93
6.12 Układ dolotowy . . . 94
6.13 Układ wydechowy . . . 95
6.14 Podsumowanie . . . 97

7 Dlaczego ostrze skrawa? 99

7.1 Obróbka skrawaniem 99
7.2 Czym jest obróbka skrawaniem? 100
7.3 Do czego się ją wykorzystuje? 101
7.4 Na czym polega skrawanie metali? 102
7.5 Obróbka skrawaniem CNC - czym się różni... 103
7.6 Rodzaje obróbki skrawaniem 103
7.7 Obróbka wiórowa 105
7.8 Obróbka ścierna 105
7.9 Jakie metale można obrabiać skrawaniem? 105
7.10 Obróbka skrawaniem - dlaczego ostrze skrawa? 106

8 Budowa i zastosowanie dronów 111

8.1 Historia dronów 111
8.2 Rodzaje dronów 113
8.3 Podział dronów wielowirnikowych 114
8.4 Budowa quadrocoptera 116
8.5 Podsumowanie 124

9 Materiały lakiernicze, kleje i materiały smarne 125

9.1 Wprowadzenie 125
9.2 Materiały lakiernicze 126
9.3 Kleje 128
9.4 Wytrzymałość połączeń klejonych 130
9.5 Materiały smarne 131
9.6 Ćwiczenie do samodzielnego wykonania 135

10 Odlewnictwo w przemyśle, w kinie i w domu . . 137

10.1 Wstęp 137
10.2 Co to jest odlewnictwo? 139
10.3 Gdzie możemy spotkać odlewy? 140
10.4 Historia i współczesność w odlewnictwie 140
10.5 Symulacje komputerowe w odlewnictwie 144
10.6 Odlewnictwo w kinie 146
10.7 Jak zrobić odlew w domu? 148

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



1. Energia ze słońca, wody i powietrza – odnawialne źródła energii

Ryszard Sęczyk

1.1 Wprowadzenie

Podstawą istnienia życia na Ziemi jest energia, która dociera do nas w postaci promieniowania słonecznego. Potężne ilości energii, powstającej na Słońcu, są wynikiem reakcji termojądrowych, które zachodzą w jego wnętrzu. Promieniowanie słoneczne, docierające na Ziemię, jest traktowane jako rodzaj energii odnawialnej, która od wieków jest wiązana w procesie fotosyntezy przez rośliny zielone. Energia promieniowania jest niezbędna do zbudowania cząsteczki glukozy z dwutlenku węgla, dostępnego w powietrzu. W tym procesie produktem ubocznym jest tlen, który jest również bardzo istotny dla życia organizmów żywych. Proces fotosyntezy jest podstawą życia na Ziemi, gdyż glukoza służy zarówno jako budulec innych związków organicznych wchodzących w skład organizmów żywych oraz jako źródło energii koniecznej do przeprowadzania tysięcy reakcji biochemicznych, zachodzących we wszystkich żywych organizmach, stanowiących istotę życiowych procesów.

Z wytworzonej materii organicznej korzysta również człowiek, wykorzystując ją, przede wszystkim jako swoje pożywienie. Ale nie tylko, gdyż wyprodukowana przez rośliny masa organiczna jest wykorzystywana przez człowieka jako budulec do produkcji mebli, drzwi, okien, podłóg a także jako opał do ogrzewania domów. Do zalet energii

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

pochodzącej ze Słońca należy nieograniczoność jej zasobów oraz to, że dociera ona do każdego miejsca na Ziemi, chociaż nie do każdego miejsca w równej ilości. Zależy to głównie od pory dnia i roku oraz od szerokości geograficznej. Dlatego też korzystanie z drewna jako opału, zależy głównie od możliwości produkcyjnej ekosystemu oraz występujących w tym ekosystemie roślin, które mogą szybko produkować masę organiczną. W Polsce do otrzymywania energii elektrycznej wykorzystuje się m.in. wierzbę energetyczną, która szybko rośnie i jest używana jako paliwo w elektrowniach do produkcji „zielonej energii". Warto tu również wspomnieć, że z biomasy poddanej fermentacji można otrzymać biogaz, który jest często używany jako źródło energii cieplnej do podgrzewania wody użytkowej i ogrzewania pomieszczeń. Znane są również technologie otrzymywania biopaliw używanych np. w transporcie do napędu silników spalinowych. Wykorzystuje się tu różne rośliny np. rzepak, zboża czy buraki cukrowe. Trzy główne rodzaje paliw otrzymywanych tymi sposobami to: **biometan**, **bioetanol**, **biodiesel**.

1.2 Panele fotowoltaiczne i kolektory słoneczne

Współczesne technologie umożliwiają wykorzystanie energii promieniowania słonecznego w różny sposób. Promieniowanie słoneczne można przekształcić, np. w procesie **konwersji fotowoltaicznej** i w efekcie wytworzyć prąd lub w **konwersji fototermicznej**, w wyniku której energia promieniowania podgrzewa wodę, którą można przeznaczyć do użytku w gospodarstwie domowym lub do ogrzewania domu.

Znane są również sposoby magazynowania i wykorzystywania energii promieniowania w specjalnie konstruowanych budynkach, opartych o technologię systemów pasywnych, w których wykorzystuje się ją bezpośrednio, np. do zapewnienia obiegu ciepła w ich wnętrzu. Sposobów na wykorzystywanie ciepła w tej technologii jest kilka. Można bezpośrednio pozyskiwać ciepło do ogrzewania, poprzez duże oszklone powierzchnie, które montowane są od strony południowej, a operujące słońce ogrzewa pomieszczenia. Często w budynkach montuje się też specjalnie konstruowane ściany, montowane zwykle również od południa, które potrafią magazynować ciepło, gdyż wykonane są z materiałów o dużej akumulacji cieplnej. Ściana taka jest w stanie przetrzymać energię cieplną przez pewien czas, oddając ją potem i ogrzewając mieszkanie w nocy. Inny sposób to konstruowanie szklarni czy oranżerii, który polega na rozbudowie ściany kolektorowo-magazynowej, poprzez odsunięcie przezroczystej osłony od ściany. Uzyskaną w ten sposób przestrzeń możemy wykorzystać, np. jako oranżerię czy ogród zimowy.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Zamiana energii Słońca w prąd wykorzystywana jest dość powszechnie. Wystarczy przypomnieć sobie kalkulatory, lampy solarne czy zegarki, zasilane energią produkowaną przez niewielkie „baterie słoneczne", wytwarzające prąd w momencie ich oświetlenia. Praca takich urządzeń zwykle nie wymaga dużej ilości energii, zatem wystarczające są niewielkie fotoogniwa. Fotoogniwa zasilają też wiele urządzeń stosowanych w technice kosmicznej, wykorzystywane są również w żeglarstwie, telekomunikacji oraz w gospodarstwach domowych. Większe urządzenia, których używamy w domu potrzebują jednak znacznie więcej energii do swojej pracy, dlatego do zasilania w energię elektryczną gospodarstw domowych, stosujemy znacznie bardziej wydajne i rozmiarowo większe **panale fotowoltaiczne**, montowane często na dachach domów.

Panele zbudowane są z pojedynczych **ogniw fotowoltaicznych**, czasami też nazwanych ogniwem słonecznym. Są to urządzenia, które bezpośrednio przetwarzają energię promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Powstanie energii elektrycznej jest możliwe dzięki zastosowaniu półprzewodnikowych złączy typu p-n (złącza „plus"-„minus"). Ogniwa fotowoltaiczne zbudowane są przeważnie z krystalicznego krzemu, a ich sprawność zamiany energii słonecznej na elektryczną wynosi od 14 do 17%. Górna powierzchnia płytki krzemowej ma umieszczone elektrody zbierające ładunki negative (n), czyli ujemne, natomiast na dolnej części, elektrody przenoszące positive (p), czyli ładunki dodatnie. Foton jest absorbowany przez krzem, pochłonięta energia wybija elektron ze swojej pozycji, co zmienia właściwości elektryczne materiału. Przenoszenie elektronów, wywołane energią fotonu, powoduje powstanie siły elektromotorycznej, która wprawia w ruch elektrony. Ruch elektronów to właśnie przepływ prądu elektrycznego.

Do najważniejszych zalet paneli fotowoltaicznych należą:

- produkcja energii czystej, co powoduje, że wpływ na środowisko naturalne jest znikomy;
- jest to ekologiczny i ekonomiczny sposób zaopatrywania się w energię elektryczną;
- panele zamontowane prawidłowo są praktycznie bezawaryjne i bezobsługowe (wymagają jedynie okresowych przeglądów);
- możliwość ich instalacji zasadniczo w każdym miejscu, przy dobraniu odpowiednich modułów, które zestawiane są pod względem zapotrzebowania na moc prądu elektrycznego i możliwość jego produkcji w danych warunkach.

W Polsce, jak wynika z badań prowadzonych przez Instytut Mete-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 1.1: Panele fotowoltaiczne na budynkach mieszkalnych

orologii i Gospodarki Wodnej, najlepsze warunki słoneczne do produkcji prądu występują na wschodzie kraju, w województwie lubelskim oraz na Wybrzeżu Szczecińskim i Środkowym. Oczywiście najlepsze warunki nasłonecznienia, które umożliwiają produkcję dużych ilości energii, panują w okresie letnim. Średnia wartość natężenia promieniowania wynosi dla Polski od 930 do 1070 kWh/m^2. Należy przy tym pamiętać, że panele fotowoltaiczne tylko część tej energii mogą zamienić na energię elektryczną, zaś jej ilość zależy od ich sprawności. Okres eksploatacji instalacji fotowoltaicznej określa się na ok. 25 lat, natomiast okres zwrotu inwestycji to ok. 14 lat.

W konwersji fototermicznej, energia promieniowania słonecznego służy do ogrzewania wody, którą po podgrzaniu magazynuje się w zbiornikach i wykorzystuje się najczęściej do zabezpieczenia potrzeb bytowych ludzi, czyli mycia się i kąpieli oraz prania i zmywania. Pozyskane ciepło może też służyć do ogrzewania domów. Wykorzystywane są do tego specjalnie skonstruowane urządzenia, zwane **kolektorami słonecznymi** (zwane też solarami). Dostępne są one obecnie w kilku wersjach, które zwykle różnią się ceną, wydajnością oraz stopniem zaawansowania technologicznego. System konwersji termicznej dzieli się, ze względu na wykorzystanie dodatkowych urządzeń, na system

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

pasywny i aktywny. System pasywny jest to bezpośrednie odbieranie energii przez wodę lub inny adsorbent ciepła. System taki wykorzystuje się głównie w budownictwie pasywnym, gdzie przepływ nośnika ciepła (ogrzana woda lub powietrze) odbywa się w drodze konwekcji, bez użycia dodatkowych urządzeń. Znacznie większe zastosowanie ma system aktywny, który przez zastosowanie pomp napędzanych dodatkowym źródłem energii, wymusza obieg i zwiększa sprawność gromadzenia energii cieplnej.



Rysunek 1.2: Kolektory słoneczne

Istnieją dwa typy kolektorów słonecznych – płaskie i rurowe, które różnią się między sobą budową, ale zasada działania obu jest dość podobna. Najbardziej istotnym elementem solara jest adsorber, czyli powłoka która jest w stanie gromadzić energię słoneczną. Od stopnia adsorpcji tej energii oraz współczynnika emisji (opisuje straty energii do otoczenia) w dużym stopniu zależy sprawność całego kolektora słonecznego.

Kolektory płaskie są najczęściej stosowanym i najprostszym typem kolektora słonecznego. Zbudowany jest on z hartowanej szyby, pod którą znajduje się adsorber promieniowania słonecznego. Kolejnym elementem budowy solara są rurki miedziane wypełnione płynem, który odbiera ciepło z adsorbera. Gorący płyn następnie podgrzewa wodę w dużym zbiorniku i ochłodzony wraca ponownie do kolektora, by pochłonąć kolejną porcję energii. Rurki miedziane w solarze położone są na izolacji (spodnia warstwa kolektora od strony dachu), której

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

zadaniem jest zapobieganie stratom ciepła poprzez emisję do otoczenia. Im lepsza izolacja i mniejsza emisja ciepła do otoczenia, tym wyższa jest sprawność kolektora słonecznego.

Kolektor rurowy (próżniowy) jest wyrobem znacznie bardziej zaawansowanym technicznie, jest też produktem, który w okresie zimowym jest ok. 20% sprawniejszy od kolektora płaskiego. W okresie letnim sprawność obu rodzajów kolektorów jest porównywalna. Pojedyncza rura kolektora zbudowana jest z dwóch rurek szklanych, o węższej i szerszej średnicy, umieszczonych jedna w drugiej, pomiędzy którymi występuje próżnia. To właśnie próżnia, będąca doskonałym izolatorem, powoduje, że straty ciepła są minimalne. Powierzchnia zewnętrzna rurki wewnętrznej pokryta jest adsorberem, który nagrzewa się pod wpływem promieni słonecznych. Energia ta ogrzewa płyn w rurkach miedzianych, znajdujących się pod adsorberem wewnątrz węższej rurki szklanej. Płyn ten z kolei w wyniku dalszych wymian oddaje zgromadzoną energię cieplną i ogrzewa wodę użytkową w zbiorniku, w domu.

Ze względu na mniejsze nasłonecznienie w Polsce i długi okres zimowy, kolektory próżniowe lepiej sprawdzają się w naszych warunkach klimatycznych. Wadą ich jest jednak dość wysoki koszt produkcji ze względu na bardziej skomplikowaną budowę, dlatego też są one stosowane rzadziej.

1.3 Produkcja energii elektrycznej z wykorzystaniem wiatru

Kolejnym sposobem produkcji energii elektrycznej jest wykorzystanie siły wiatru.

Definicja 1.1 — Wiatr. Jest to ruch powietrza spowodowany różnicą ciśnienia, która z kolei jest związana z różną temperaturą lądów, mórz i oceanów, co w efekcie powoduje różną gęstość powietrza nad poszczególnymi obszarami Ziemi. Energia wiatru jest zatem efektem różnej absorpcji energii promieniowania słonecznego przez niejednolite obszary ziemskie. Przemieszczanie się mas powietrza zachodzi od obszaru wysokiego ciśnienia, w kierunku obszaru o niskim ciśnieniu.

W Polsce przeważają wiatry zachodnie, co jest efektem występowania siły Coriolisa wywołanej ruchem wirowym kuli ziemskiej. Prędkość wiatru w Polsce waha się od 3,5 do 5,5 m/s. Uważa się, że granica opłacalności budowy małych turbin wiatrowych wynosi 4 m/s, natomiast

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

dla większych elektrowni wiatrowych granicą jest 5,5 m/s. W naszym kraju najlepsze warunki wietrzne występują na Suwalszczyźnie oraz na Wybrzeżu Słowińskim, gdzie wiatr średnio w roku osiąga powyżej 5 m/s. Dobre warunki wietrzne, średnio ok. 4 m/s i więcej, występują również na Nizinie Mazowieckiej, wschodniej części Kotliny Sandomierskiej oraz w Beskidzie Żywieckim i Śląskim.

Definicja 1.2 — Siła Coriolisa. To siła bezwładności, która działa na ciało poruszające się ruchem postępowym, w obracającym się układzie odniesienia. Jest to więc siła pozorna, której działanie zależy od tego, w jakim układzie odniesienia się znajdujemy.

Konstrukcje siłowni wiatrowych są do siebie dość podobne. Zwykle jest to wieża, o wysokości minimalnej ok. 40 metrów (niektóre nawet do 100 m, ale bardzo rzadko), z umieszczoną na jej szczycie gondolą, która obraca się i ma zwykle trójpłatowy wirnik. Wiatr opływa łopatki wirnika, na których, dzięki ich odpowiedniemu ukształtowaniu, powstaje siła nośna, wprawiająca turbinę w ruch obrotowy. Powstała energia mechaniczna wprawia w ruch obrotowy generator, który produkuje energię elektryczną. Elektrownie wiatrowe mogą różnić się, w dużym stopniu, konstrukcją generatora wytwarzającego prąd, co przekłada się także na cenę produktu i ma wpływ na wydajność takiego generatora. Średnica wirnika dla standardowej małej siłowni o mocy 600 kW waha się w granicach od 43 do 48 metrów. Małe elektrownie wiatrowe o mocy od 100 W do 5000 W mogą zasilać gospodarstwa domowe lub nawet mniejsze przedsiębiorstwa o małym zużyciu energii eklektycznej. Większe elektrownie wiatrowe (o mocy powyżej 100 kW) produkują prąd zasilający zwykle sieci energetyczne.

Oczywistą zaletą takiego sposobu produkcji energii elektrycznej jest brak emisji gazów i pyłów do środowiska naturalnego, ponadto produkcja energii podczas dni wietrznych jest bezpłatna i nie zależy od pory dnia. Na terenach, gdzie wiatry wieją często, budowa siłowni wiatrowej szybko zwraca się ekonomicznie, a dla ich budowy można wykorzystać miejsca nieużyteczne dla innych form działalności gospodarczej człowieka. Niestety, okresowy brak wiatru powoduje też niedogodności, gdyż wymaga stosowania akumulatorów lub innego źródła energii, np. podłączenia i okresowego korzystania z sieci elektrycznej. Przesyłanie energii elektrycznej na większe odległości, w przypadku niskonapięciowych sieci energetycznych, występujących na terenach wiejskich, powoduje duże straty i nie jest efektywne. W czasie pracy, elektrownie wiatrowe emitują dość duży i uciążliwy hałas, w związku z czym muszą być budowane z dala od zabudowań mieszkalnych. Ponadto tereny,

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 1.3: Elektrownie wiatrowe

które mają dobre warunki wietrzne, nie są zwykle mocno zurbanizowane i nie ma tam wysokiego zużycia tej energii. Dlatego też, w niektórych regionach Polski, ich budowa może być nieopłacalna.

Pewnym rozwiązaniem, opisanych wyżej problemów, może być pomysł budowy farm elektrowni wiatrowych na terenach niezamieszkałych, połączonych z budową elektrowni szczytowo-pompowej. Elektrownia taka zbudowana jest z dwóch zbiorników wodnych, usytuowanych na różnych wysokościach, pomiędzy którymi umieszczona jest turbina, produkująca energię elektryczną. Praca turbiny i wytwarzanie energii elektrycznej jest możliwe wtedy, gdy z górnego zbiornika woda spływa na łopatki turbiny, porusza ją i spływa dalej do zbiornika dolnego. Napełnianie zbiornika górnego następuje w momencie, gdy wieje silny wiatr i farma wiatrowa produkuje dużo energii elektrycznej. Część wyprodukowanej w tym czasie energii może być użyta do napędzania pomp, przemieszczających wodę ze zbiornika dolnego do górnego. W czasie ciszy, ponownie uruchamiamy turbinę wodną w elektrowni szczytowo-pompowej. Moc takiej elektrowni zależy od wielkości zbiorników oraz od różnicy wysokości między nimi. Zbiorniki wodne mogą być naturalne lub sztuczne, wybudowane przez człowieka. Trzeba jednak pamiętać, że każde przekształcenie energii, z jednej postaci w drugą, odbywa się ze stratą, gdyż części energii rozprasza się. Sprawność elektrowni szczytowo-pompowych mieści się w granicach od 65 do 85%. Oznacza to, że z każdych 10 kWh, pobranych z systemu energetycznego

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

na pompowanie wody do góry, odzyskuje się od 6,5 do 8,5 kWh w czasie, kiedy występuje na nią największe zapotrzebowanie. Warto także wiedzieć, że elektrownie tego typu są konieczne i służą do magazynowania energii. Potencjalny ich brak, powodować może konieczność odłączenia elektrowni wiatrowych lub innych źródeł energii odnawialnej od sieci energetycznej dlatego, że nadmiar energii elektrycznej może taką sieć zdestabilizować. Elektrownia szczytowo-pompowa jest przykładem elektrowni wodnej, wykorzystującej energię potencjalną wody zgromadzonej w zbiorniku górnym. Jest też, jak wspomniano wyżej, rodzajem akumulatora energii, gdzie może być ona zmagazynowana w momencie jej nadprodukcji lub w czasie jej zmniejszonego zużycia .

1.4 Elektrownie wodne w Polsce

Elektrownie wodne są bardzo ważnym elementem systemu energetycznego w Polsce. Produkcja prądu w takiej elektrowni nie zanieczyszcza środowiska, mają też one większą sprawność niż elektrownie węglowe i pozwalają zaoszczędzić paliwa naturalne. Niewątpliwą ich zaletą jest również niski koszt eksploatacji i wytwarzania energii elektrycznej, jednakże zwykle w warunkach Polski wymagają budowy dużych zbiorników retencyjnych i budowy zapór wodnych. Budowa takiego zbiornika i zapór, często 3 lub 4 krotnie, przekracza koszt budowy elektrowni konwencjonalnej, a ponadto może on czasami negatywnie wpływać na warunki hydrogeologiczna i krajobrazowe.

W naszym kraju, ze względu na dużą ilość równin i raczej płaskie ukształtowanie terenu, nie ma zbyt dobrych warunków do budowy wielu elektrowni wodnych. Obecnie w Polsce jest 18 elektrowni wodnych o mocy powyżej 5 MW. Największe z nich, to elektrownia wodna Żarnowiec, Porąbka-Żar, Solina i Żydowo, które są **elektrowniami szczytowo-pompowymi** oraz elektrownia wodna Włocławek, która jest **elektrownią przepływową**. Elektrownie przepływowe wykorzystują energię kinetyczną wody płynącej w rzece, ale nie magazynują wody i nie mogą z tego powodu regulować mocy wytwarzanej energii elektrycznej. Wytwarzanie energii elektrycznej w elektrowniach wodnych jest procesem stosunkowo prostym. Woda spiętrzona w zbiornikach retencyjnych wylewa się wąskim strumieniem na łopatki turbiny z generatorem prądu, które poruszają się i wytwarzają energię elektryczną. Strumień wylewającej się wody można regulować. Im więcej wody spadnie na łopatkę turbiny, tym szybciej się ona porusza, i tym więcej energii elektrycznej produkuje.

Na świecie budowane są również **elektrownie pływowe**, które

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 1.4: Zapora i elektrownia wodna

w swojej pracy wykorzystują energię cyklicznych odpływów i przypływów, będących efektem wzajemnego oddziaływania grawitacyjnego Ziemi, Księżyca i Słońca, czy też energię nieustannego ruchu fal morskich i oceanicznych, wywołanych wiatrem. W niektórych miejscach powstają także **elektrownie prądów oceanicznych**, wykorzystujące energię stałych prądów morskich lub oceanicznych.

Charakteryzując hydroelektrownie warto wspomnieć, że budowa dużych zbiorników retencyjnych jest ingerencją w środowisko naturalne, które może doprowadzić do niekorzystnych i nieodwracalnych zmian. Często też rzeki, które są wykorzystywane do wytwarzania energii ulegają zamulaniu, a budowle stanowią barierę dla ryb migrujących w górę rzeki w celach rozmnażania się. Warto też pamiętać, że budowa hydroelektrowni jest kosztowna i wymaga często wielu trudnych decyzji administracyjnych, a nawet przesiedlania mieszkańców, co wydłuża proces inwestycyjny. Ponadto praca takiej elektrowni wiąże się z dość dużym hałasem, który wywołują pracujące turbiny.

W ogólnym bilansie przeważają jednak zalety, do których w pierwszej kolejności zaliczamy niski koszt wytwarzanej energii elektrycznej oraz dużą sprawność generatorów, co zwiększa efektywność elektrowni wodnej. Trzeba też dodać, że hydroelektrownie chronią środowisko naturalne powodując zmniejszenie zużycia nieodnawialnych paliw kopalnych, co w efekcie powoduje też zmniejszenie zapylania i emisji gazów cieplarnianych. Duża zaletą tego sposobu produkcji jest też duża stabilność wytwarzanej energii elektrycznej. Należy przyjąć założenia, które powinny obligować nas do rzetelnej analizy potencjalnych skutków budowy hydroelektrowni, zachowania wszelkich środków bez-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

pieczeństwa i zmniejszanie niekorzystnego wpływu na otoczenie przez stosowanie nowych technologii w elektrowniach istniejących. Działanie takie zminimalizuje wady i dzięki temu możemy naprawdę pomóc naszemu środowisku i otrzymać czystą energię.

Do istotnych zalet elektrowni wodnych jest też fakt, że niektóre z nich, dodatkowo, pełnią rolę zapobiegającą powodziom magazynując nadmiar wody z opadów lub wiosennych roztopów. Poprawia to w istotny sposób dostępność do wody na terenie Polski, która jest krajem o małym zasobie wody. Woda zgromadzona w zbiornikach retencyjnych może, w czasie gorącego lata, pomóc w regulacji poziomu wody w rzekach. Duże zbiorniki retencyjne wykorzystywane są do letniej turystyki i rekreacji, stwarzają możliwość kąpieli, uprawiania kajakarstwa lub żeglarstwa.

1.5 Naturalne wody termalne jako źródło energii

Energia geotermalna, mająca swe źródło w głębi Ziemi, podobnie jak energia słoneczna, traktowana jest jako niewyczerpalne źródło odnawialnej energii. Pochodzi ona z jądra Ziemi, w którym przebiegają reakcje rozszczepiania pierwiastków promieniotwórczych, a temperatura towarzysząca tym przemianom dochodzi nawet do 5000°C. Bezpośrednim źródłem ciepła jest płytko zalegająca magma, znajdująca się w skorupie ziemskiej, dlatego też w rejonach o dużej aktywności wulkanicznej znajdują się wody o bardzo wysokiej temperaturze. Może być ona wykorzystywana zarówno do produkcji energii elektrycznej, jak i energii cieplnej do ogrzewania. Pozyskiwanie pary wodnej, z głęboko leżących złóż, do produkcji energii elektrycznej jest jednak obecnie w Polsce praktycznie nieopłacalne, a istniejące w naszym kraju zasoby wód geotermalnych są wykorzystywane głównie w energetyce cieplnej. W Polsce aktualnie funkcjonuje już kilka zakładów wykorzystujących wody termalne. Znajdują się one m.in. w Słomnikach i Bańskiej Niżnej na południu Polski, Mszczonowie i Uniejowie w środkowej części Polski oraz Czarnkowie, Pyrzycach i Stargardzie w północno-zachodniej części kraju. Ponadto w fazie realizacji jest projekt wykorzystania wód termalnych w Toruniu, a w kilku gminach trwają prace koncepcyjne nad utworzeniem zakładów ciepłowniczych. Wody termalne można podzielić na:

- wody wysokotemperaturowe (osiągają temperaturę ok. 200°C, czasami nawet więcej), które wykorzystywane są do produkcji energii elektrycznej;
- wody średniotemperaturowe (do 100°C) wykorzystywane przez

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

ciepłownie geotermalne;

- wody niskotemperaturowe (ok. 10°C), które ogrzewają domy mieszkalne wykorzystując specjalnie montowane w nich indywidualne pompy ciepła.



Rysunek 1.5: Instalacja ciepłowni geotermalnej

Największym przedsiębiorstwem w Polsce, wykorzystującym wody termalne, jest Geotermia Podhalańska. Temperatura wody w rejonie Bańskiej Niżnej, na głębokości ok. 2000 m, dochodzi do 86°C. W Zakopanem, na głębokości 1000 m, wody termalne osiągają temperaturę ok. 26°C. Przy wysokiej temperaturze możliwe jest bezpośrednie wykorzystanie energii cieplnej do ogrzewania domów i pomieszczeń gospodarczych. W Zakopanem ogrzewane są w ten sposób hotele, budynki użyteczności publicznej oraz gospodarstwa domowe. Ciepłe wody mogą też być wykorzystywane w uzdrowiskach, przy zabiegach balneoterapii oraz basenach sportowych i rekreacyjnych.

Ciepłownie geotermalne działają zwykle w obiegu zamkniętym, woda gorąca jest pobierana z otworu eksploatacyjnego, sięgającego do warstwy wodonośnej, a następnie przechodzi przez wymiennik ciepła i wraca z powrotem do wód głębinowych przez tzw. otwór chłonny. Otworów eksploatacyjnych i chłonnych może być oczywiście więcej. Ogrzana w wymienniku woda wędruje przez system izolowanych rur ciepłowniczych bezpośrednio do odbiorców. Przez to, że obiegi te są

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

rozłączne, wody z tych obiegów nie mieszają się ze sobą, a pozyskiwanie energii cieplnej jest procesem czystym ekologicznie. Efektywność takich odwiertów zależy od temperatury wody w głębi Ziemi, ale nie jest to jedyny czynnik. W gorących wodach podziemnych może też być rozpuszczone wiele różnych substancji, mówimy wtedy, że taka woda jest wysoko zmineralizowana. Nadaje się ona wtedy doskonale do balneoterapii, czyli gorących kąpieli solankowych. Jednakże w przypadku wykorzystywania do ogrzewania, w wyniku wytrącania się soli, w odwiertach gromadzą się osady solne, powodujące wzmożoną korozję instalacji, co może nawet spowodować zaniechanie korzystania z takiego odwiertu.

Na potrzeby pojedynczych gospodarstw domowych wykorzystuje się tzw. płytką geotermię, która oparta jest na wspomnianych wcześniej pompach ciepła. Poniżej znajdziemy opis rodzajów oraz sposobu działania pomp ciepła.

1.6 Pompy ciepła

Rodzaje pomp ciepła zwykle dzieli się ze względu na dolne i górne źródło. **Dolnym źródłem** jest miejsce w otoczeniu domu, skąd pompa ciepła czerpie energię. W przypadku różnych pomp może to być powietrze, woda gruntowa i woda podziemna. **Górne źródło**, to urządzenia montowane w naszych domach, w których pompa oddaje ciepło. Są to kaloryfery, nawiewy ciepłego powietrza, czy też ogrzewanie podłogowe.

Pompa ciepła, której dolne źródło to wody podziemne, zwykle wymaga wiercenia co najmniej dwóch otworów, tzw. studni czerpnej i zrzutowej. Zasad działania jest dość prosta i opiera się na wykorzystaniu przemian fizycznych do przenoszenia energii cieplnej. Ciepła woda czerpana z głębi ziemi o temperaturze 8-12°C jest pompowana do urządzenia i dociera do tzw. parownika pompy, w którym ciepło przekazywane jest do czynnika roboczego (substancja, która paruje w niskich temperaturach). Czynnik roboczy, ogrzewając się, zamienia się w parę i trafia do sprężarki, w której w wyniku wzrostu ciśnienia następuje wzrost jego temperatury do kilkudziesięciu stopni Celsjusza. W dalszej kolejności trafia do zaworu rozprężającego i skraplacza, a energia cieplna w nim zgromadzona, zostaje wyzwolona i przekazana do drugiego obiegu, jakim jest woda w instancji ogrzewającej dom. Wędruje ona potem do urządzeń grzewczych i ogrzewa nam pomieszczenia mieszkalne. Woda pobrana ze źródła podziemnego, oziębiona w wyniku wymiany ciepła, wraca w innym miejscu do wód podziemnych studnią

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

zrzutową.



Rysunek 1.6: Kotłownia w domu z pompą ciepła

Pompa cieplna do swojej pracy potrzebuje pewnej ilości energii elektrycznej, którą najczęściej wykorzystuje się w porach, gdy jest ona najtańsza – głównie nocą. Ważną charakterystyką pompy jest współczynnik COP, czyli współczynnik efektywności.

Definicja 1.3 — Współczynnik COP (współczynnik efektywności). Odzwierciedla zależność, pomiędzy mocą uzyskaną w postaci energii cieplnej, a mocą energii elektrycznej koniecznej do pracy urządzenia (zwykle ok. 25%). Oznacza to, że 1 kW energii elektrycznej, zużytej w trakcie pracy pompy ciepła, daje nam 4 kW energii cieplnej.

Zaletą takiej instalacji jest stabilność pracy, która wynika z praktycznie stałej temperatury wody, pozyskiwanej ze źródła dolnego. Wadą rozwiązania jest stosunkowo wysoki koszt budowy, który wynika z konieczności wiercenia dwóch studni (często zalecane jest wiercenie trzech, w tym dwóch zrzutowych, gdyż w trakcie eksploatacji zamulają się one i trzeba je oczyszczać, co w przypadku tylko jednej studni zrzutowej powoduje konieczność chwilowego zatrzymania pracy pompy ciepła). W szczególnych przypadkach, tego typu rozwiązanie, może też wymagać konieczności uzyskania pozwolenia wodno-prawnego na korzystanie z wód głębinowych.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Pompa cieplna gruntowa wykorzystuje energię, zawartą pod powierzchnią ziemi, którą pozyskujemy przy pomocy kolektorów, zwanych też sondami. Kolektory są wypełnione płynem o niskiej temperaturze zamarzania i występują jako pętle rur, zakopane w ziemi poziomo, zawsze poniżej poziomu zamarzania lub pętli rur umieszczonych pionowo. Rozmieszczenie poziome jest łatwiejsze w realizacji, ale wymaga większej działki, zaś pętle rozmieszczone pionowo, tzw. sondy pionowe, stosuje się tam gdzie działka wokół domu jest niewielka. Wybierając tego typu ogrzewanie domu, należy obliczyć ilość energii cieplnej potrzebnej do jego ogrzania i do tej wielkości dostosować ilość i wielkość kolektorów ziemnych służących do odbioru ciepła z gruntu. Prawidłowe zbilansowanie ilości energii cieplnej, potrzebnej do ogrzania domu, jest podstawą doboru mocy i wydajności pompy ciepła. Ilość takiej energii, zależy przed wszystkim od kubatury domu mieszkalnego oraz technologii jego wykonania, rodzaju ścian i ich ocieplenia, rodzaju okien i drzwi.

Zasada działania pompy jest zbliżona do opisanej wcześniej. Ogrzany w kolektorze płyn paruje i kierowany jest do sprężarki. Wzrost ciśnienia powoduje zwiększenie temperatury czynnika roboczego, który następnie transportowany jest do skraplacza. W tym miejscu czynnik roboczy gwałtownie się rozpręża, skrapla i wyzwala energię cieplną. Ogrzana woda w drugim obiegu zasila najczęściej ogrzewanie podłogowe lub inne odbiorniki ciepła w domu. Zaletą pomp tego typu jest wysoka stabilność pracy, niezależna od temperatury otoczenia, natomiast wadą tego rozwiązania jest stosunkowo wysoki koszt realizacji takiej inwestycji.

Obecnie, najczęściej montowane pompy cieplne, jako dolne źródła zasilania, wykorzystują energię zawartą w powietrzu. Zaletą takich pomp jest ich prosty montaż, co powoduje, że jest to najtańsze obecnie stosowane rozwiązanie. Często tego typu pompy cieplne montowane są na zewnątrz budynku. Niestety, sprawność takiej pompy maleje wraz ze spadkiem temperatury na zewnątrz. Ważną zaletą wszystkich wymienionych rodzajów pomp ciepła jest to, że nie wymagają one stałej obsługi a jedynie okresowych prac konserwacyjnych i nadzoru. Jest to jednocześnie rozwiązanie ekologiczne, nie emitujące w miejscu pracy żadnego zanieczyszczenia.

Pompy ciepła, prawidłowo eksploatowane i odpowiednio serwisowane, mogą być użytkowane 15 do 20 lat. Trzeba jednak pamiętać, że sprężarka w pompie powietrza generuje hałas, zwykle nie przekraczający 65 dB, gdy mierzony jest bezpośrednio przy pompie cieplnej. Jest on jednak wyższy niż dopuszczalny i dlatego pompa cieplna musi być

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 1.7: Pompa ciepła montowana na zewnątrz budynku

montowana tak, by minimalna odległość od działki sąsiada, wynosiła co najmniej 4 m. Należy też pamiętać, aby nie montować jej w pobliżu naszej sypialni. Aktualnie w sprzedaży znajduje się wiele typów pomp cieplnych, różniących się wielkością, wydajnością i efektywnością działania, wykorzystujących różne sposoby czerpania energii cieplnej z otoczenia. W czasach, gdy coraz większego znaczenia nabiera ochrona naszego środowiska naturalnego, pompy ciepła są dobrym wyborem i jednocześnie ekologicznym źródłem energii cieplnej. Sprzedawane na rynku modele pomp cieplnych, z powodzeniem ogrzewają domy mieszkalne, przy temperaturze zewnętrznej dochodzącej nawet do –28°C. W Polsce bardzo rzadko temperatura w zimie osiąga takie wielkości, zatem pompy ciepła można stosować jako jedyne źródło ogrzewania, bez konieczności wspomagania innymi urządzeniami.

1.7 Podsumowanie

Obecnie, ze względu na coraz większe obciążenie środowiska, wywołane w dużej mierze dynamicznie rozwijająca się gospodarką światową i rosnącym wykorzystywaniem energetycznych nieodnawialnych surowców kopalnych, stajemy przed koniecznością poszukiwania nowych i nieza-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

wodnych źródeł energii. Jednocześnie, proces wytwarzania energii musi w znacznym stopniu zmniejszyć swoje negatywne oddziaływanie na nasze biologiczne otoczenie. Zadanie jest bardzo pilne do wykonania, gdyż wiele symptomów świadczy o tym, że naturalne możliwości środowiska do neutralizacji negatywnych czynników, wywołanych procesami gospodarczymi są na wyczerpaniu. Brak szybkiej reakcji człowieka, na wyraźnie zmieniające się parametry klimatyczne i rosnące zanieczyszczenie Ziemi, może w konsekwencji doprowadzić do katastrofy. Dlatego pozyskiwanie energii odnawialnej jest jedną z właściwych metod zmiany sposobu naszego myślenia o rozwoju przemysłu oraz działalności gospodarczej człowieka. Opisane w tym opracowaniu metody pozyskiwania energii odnawialnej są już wykorzystywane praktycznie na całym świecie. Nadal poszukujemy i badamy inne sposoby i możliwości pozyskiwania energii odnawialnych, poszukujemy także innowacyjnych i efektywnych systemów magazynowania energii. Bardzo obiecującym kierunkiem pozyskiwania energii bezpiecznej dla środowiska, są innowacyjne technologie, związane z wykorzystaniem wodoru jako paliwa. Przejście na technologie, wykorzystujące odnawialne źródła energii i wodór są już sukcesywnie wprowadzane. Zmiany muszą jednakże następować bardzo szybko, gdyż jest to warunek dalszego rozwoju działalności gospodarczej człowieka w bezpieczny sposób.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



2. Jak skręcają pojazdy?

Jan Czyżewski

2.1 Wstęp

Odkąd człowiek zaczął przemieszczać się z wykorzystaniem środków transportu, posiadających koła, pojawiły się problemy związane ze skręcaniem takimi pojazdami.

2.2 Jednoślady

O ile w pojazdach jednokołowych (np. monocykl) skręt jest dosyć prosty, i do jego wykonania wystarczy odpowiednie balansowanie ciałem przez kierowcę, to im więcej kół ma pojazd, tym robi się trudniej. Sprawa jest jeszcze prostsza w przypadku rowerów i motocykli, które maja dwa koła, ustawione w osi pojazdu, jedno za drugim. Aby skręcić, wystarczy obrócić odpowiednio przednie koło za pomocą kierownicy lub wychylić nieco za pomocą ruchu ciała kierowcy cały pojazd, co przyniesie podobny efekt.

2.3 Pojazdy o większej ilości kół

Wyobraźmy sobie teraz pojazd z dwoma kołami ustawionymi obok siebie (np. wózek). Dopóki taki pojazd porusza się na wprost, nie dzieje się nic szczególnego. Oba koła pokonują taką samą drogę, a więc kręcą się z tą samą prędkością obrotową (zakładamy, że koła mają

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

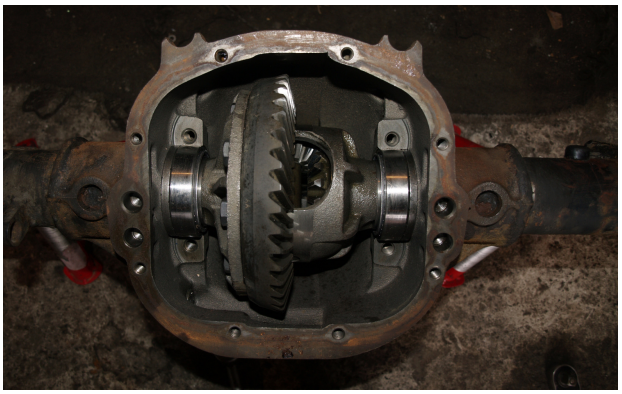
tę samą średnicę). Sytuacja zmienia się, kiedy chcemy skręcić, czyli jedziemy po łuku. Kiedy pojazd skręca, okazuje się, że jedno z kół ma do pokonania większą drogę, niż drugie. W tej sytuacji zmienia się więc również prędkość obrotowa kół. Jeśli koła nie są ze sobą połączone za pomocą sztywnej osi (mogą się poruszać niezależnie od siebie), nie powoduje to żadnych kłopotów. Wyobraźmy sobie teraz jednak, że koła złączymy ze sobą na stałe, za pomocą sztywnej osi. Rozwiązanie takie działałoby dobrze podczas jazdy na wprost. Co jednak działoby się na zakręcie? Tutaj byłoby już znacznie gorzej. Jak wspomnieliśmy wcześniej, koła dążyłyby do poruszania się z różnymi prędkościami obrotowymi, na co jednak nie pozwalałaby łącząca je oś. W samej osi powstałyby naprężenia, mogące doprowadzić do jej pęknięcia. Przy zbyt słabej konstrukcji osi, tak mogłoby się stać. Jeśli oś będzie odpowiednio wytrzymała, efekty w pierwszej kolejności odczuje osoba pchająca wózek i próbująca nim skręcić. Wózek będzie stawiał duży opór, tym większy, im ostrzej będziemy próbowali skręcić. Nie będzie to zbyt odczuwalne na nawierzchni o słabej przyczepności (piasek, mokra trawa itd.), ponieważ koła po prostu zaczną się, w pewnym stopniu, ślizgać, równoważąc różnicę obrotów, które powinny wykonać. Gorzej będzie na nawierzchni o dobrej przyczepności (np. suchy asfalt), gdzie do skrętu trzeba będzie użyć dużej siły, ponieważ trudno będzie wywołać poślizg. Występowanie poślizgu niszczy oczywiście powierzchnię styku kół z podłożem, a poza tym może prowadzić do trudności w skierowaniu pojazdu tam, gdzie sobie tego życzymy. Dlatego w pojazdach pozbawionych napędu, nie łączy się ze sobą kół na sztywno.

2.4 Przeniesienie mocy na koła

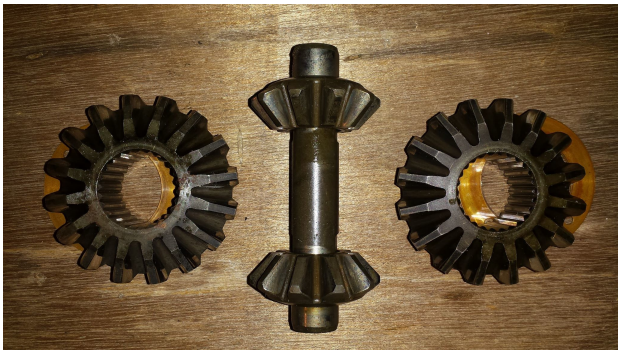
Co jednak, jeśli chcielibyśmy wyposażyć wózek w napęd i mamy do dyspozycji tylko jeden silnik? Najlepiej, aby napęd był przenoszony na oba koła. Najprostszym rozwiązaniem, byłoby wtedy połączenie kół za pomocą sztywnej osi i napędzanie tej osi za pomocą silnika. Pojawią się jednak wtedy wspomniane przed chwilą problemy. Dlatego w pojazdach używany jest **mechanizm różnicowy**. Urządzenie to składa się z obudowy i zamkniętego w niej zespołu kół zębatych. Napęd z silnika przenoszony jest na obudowę mechanizmu różnicowego. Na niewielkiej osi, umieszczonej wewnątrz obudowy, umieszczone są koła zębate (najczęściej dwa), zwane satelitami. Satelity zazębiają się z dwoma kolejnymi kołami, zwanymi koronkowymi. Każde z kół koronkowych jest połączone, za pomocą półosi, z jednym kołem pojazdu. Taka konstrukcja mechanizmu różnicowego pozwala na przekazywanie

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

napędu na oba koła pojazdu, jednak koła nie są połączone na sztywno. Oznacza to, że na zakrętach koła mogą obracać się z różnymi prędkościami obrotowymi, dzięki czemu możliwe jest uniknięcie powstawania naprężeń i poślizgu. Jednocześnie, koła są cały czas napędzane. Rozwiązanie to znamy powszechnie z samochodów. Samochody posiadają wprawdzie co najmniej dwie osie, ale w czasie skrętu ich osie zachowują się podobnie do rozważanego wcześniej wózka.



Rysunek 2.1: Samochodowy mechanizm różnicowy wraz z przekładnią główną



Rysunek 2.2: Podstawowe elementy klasycznego mechanizmu różnicowego: koła koronkowe oraz satelity wraz z ich osią

Skupmy się na razie na samochodach z napędem na tylko jedną oś. Mechanizm różnicowy ma oczywiście zalety, które już omówiliśmy, posiada jednak również wady. Jedną z nich jest to, że zawsze dzieli w proporcji 1:1 siłę napędową, przekazywaną do każdego z kół. Mecha-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

nizmy tego typu nazywamy klasycznymi lub otwartymi. Co to oznacza w praktyce? Posłużmy się przykładem.

■ **Przykład 2.1** Pamochód zatrzymuje się w miejscu. Jedno z kół jego osi napędowej stoi na asfalcie, a drugie na lodzie. Jak wiemy, lód jest bardzo śliski, czyli zapewnia bardzo słabą przyczepność. Koło stojące na lodzie bardzo łatwo zacznie się ślizgać. Siła napędowa będzie więc bardzo mała, niewystarczająca do poruszenia samochodu. Co jednak z drugim kołem, tym na asfalcie? Przecież tam przyczepność jest dobra, koło nie zacznie się ślizgać. Tak, ale jak już wyjaśniliśmy, mechanizm różnicowy powoduje zawsze rozdział siły napędowej po równo pomiędzy koła. Siła napędowa koła na asfalcie będzie więc tak samo mała, jak tego na lodzie. W praktyce, koło na lodzie będzie się obracać, podczas gdy drugie najpewniej będzie stać w miejscu. Koniecznie będzie znalezienie chętnych, do pomocy kierowcy w wypchnięciu samochodu z pułapki. W tej sytuacji byłoby lepiej, gdyby koła były jednak połączone ze sobą na sztywno. Wtedy do ruszenia z miejsca wystarczyłaby przyczepność do podłoża tylko jednego z kół.

W zwykłych samochodach, używanych najczęściej na drogach o dobrej nawierzchni, taki problem nie jest zbyt dotkliwy. Kłopoty pojawiają się zazwyczaj tylko w czasie ostrej zimy, która w naszym kraju trwa coraz krócej lub gdy kierowca zapędzi się, np. w głęboki piasek. ■

2.5 Pojazdy terenowe

Zupełnie inaczej sprawa wygląda w przypadku pojazdów terenowych, które dużą część swojego życia spędzają pokonując przeszkody w terenie. Opisany wcześniej, najprostszy mechanizm różnicowy, bez żadnych systemów blokowania jest nazywany mechanizmem klasycznym lub otwartym. W terenie mechanizm różnicowy przeszkadza, ale jest niezbędny, gdy zechcemy poruszać się po normalnej drodze. Jak więc poradzić sobie z tym problemem? Najstarszym z rozwiązań, jest zastosowanie **blokady mechanizmu różnicowego**. W najprostszej formie blokada taka działa w sposób zero–jedynkowy. Gdy jest wyłączona, mechanizm różnicowy działa normalnie. Gdy jednak uruchomimy blokadę, koła łączone są ze sobą na sztywno. Umożliwia to łatwiejsze poruszanie się w terenie i jednocześnie normalną jazdę po drodze z dobrą nawierzchnią. Blokada ta jest uruchamiana przez kierowcę i zazwyczaj do jej włączenia konieczne jest zatrzymanie samochodu. Nie jest to więc rozwiązanie do końca wygodne. Wobec tego, pojawił się szereg bardziej zaawansowanych konstrukcji mechanizmów różnicowych. Pierwszą

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

z nich są mechanizmy z blokadą samoczynną, działające podobnie do tych z blokadą uruchamianą ręcznie (tzn. działające zero–jedynkowo), ale aktywują się one samoczynnie, bez udziału kierowcy. Zazwyczaj dzieje się to mechanicznie, bez potrzeby stosowania elektronicznych układów sterowania. Bardziej wyrafinowane w działaniu są mechanizmy różnicowe, potrafiące dzielić siłę napędową przekazywaną do kół, w różnych proporcjach.

Jednym z najlepszych, ale też najbardziej skomplikowanych i najdroższych rozwiązań tego typu, jest mechanizm typu TorSen. Jest on zbudowany z użyciem przekładni ślimakowych, które są zdolne do płynnej pracy lub blokowania się, w zależności od warunków obciążenia. W samochodzie, mechanizm różnicowy z takimi przekładniami działa następująco: kiedy każde z kół ma dobrą przyczepność, mechanizm różnicowy zachowuje się jak mechanizm klasyczny. Kiedy jednak jedno z kół wpadnie w poślizg, przekładnie blokują się, powodując dołączenie napędu drugiego z kół. Konstrukcję tę wykorzystuje się stosunkowo rzadko, ze względu na wspomnianą wysoką cenę.

Innym rozwiązaniem są mechanizmy ze sprzęgłami ciernymi, przeciwdziałającymi obracaniu się kół niezależnie od siebie. Siła, z jaką działają te sprzęgła, może być stała lub regulowana, w zależności od warunków jazdy. Pod potoczną nazwą „szpera" najczęściej kryją się właśnie tego typu mechanizmy różnicowe.



Rysunek 2.3: Zmodyfikowany samochód dostawczy Żuk, wyposażony w napęd 6x6, zbudowany na Politechnice Lubelskiej

Kolejnym ciekawym rozwiązaniem są mechanizmy różnicowe ze sprzęgłem lepkościowym. W rozwiązaniu tym, oba koła pojazdu są

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

połączone za pomocą sprzęgła wielotarczowego, zanurzonego w specjalnym oleju (zazwyczaj silikonowym). Kiedy koła obracają się ze zbliżoną prędkością nie dzieje się nic nadzwyczajnego. Jednak kiedy jedno z kół zaczyna się poruszać znacznie szybciej (w czasie poślizgu) olej szybko nagrzewa się na skutek wzajemnego tarcia elementów i robi się bardzo lepki. Ten wzrost lepkości pozwala na rozpoczęcie działania sprzęgła i połączenie ze sobą kół. Mechanizmy takie działają w płynny, łagodny sposób, aczkolwiek uruchamiają się z pewnym opóźnieniem.



Rysunek 2.4: Terenowy samochód ciężarowy Star 244 w akcji

Istnieje też wiele innych odmian mechanizmów różnicowych o ograniczonym poślizgu, np. mechanizmy z oporem hydraulicznym, stosowane czasami w maszynach budowlanych. W wielu współczesnych samochodach stosuje się rozwiązanie, gdzie do przyhamowywania koła, które straciło przyczepność podczas ruszania, używany jest hamulec tego koła. Wynika to faktu, że praktycznie wszystkie te pojazdy posiadają układy ABS (ang. anti-lock braking system, czyli układ zapobiegający blokowaniu się kół w czasie hamowania) i ESP (ang. Electronic Stability Program, czyli system stabilizacji pojazdu w razie poślizgu), które mają możliwość indywidualnego sterowania hamulcami każdego z kół. Wprowadzanie elektronicznego asystenta ruszania, wymaga

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

głównie rozbudowy oprogramowania w sterownikach, odpowiadających za działanie wspomnianych systemów. Rozwiązanie to jest tanie i dosyć skuteczne, w niesprzyjających warunkach przyspiesza jednak zużycie hamulców.

2.6 Pojazdy sportowe

Koniecznie należy wspomnieć, że efekt połączonych ze sobą na sztywno kół napędowych, niebezpieczny i niepożądany w zwykłej eksploatacji samochodu, znajduje zastosowanie w sporcie. Układ taki, pozwalający łatwo wywołać poślizg tylnej osi, jest bardzo przydatny w jeździe w poślizgu kontrolowanym, czyli drifcie. Także w przypadku samochodów o dużej mocy, zastosowanie otwartego mechanizmu różnicowego, nie pozwala na skuteczne wykorzystanie mocy silnika, ze względu na łatwą utratę przyczepności kół, nawet na dobrej nawierzchni. Dlatego w samochodach drogowych o dużej mocy oraz konstrukcjach typowo sportowych stosuje się mechanizmy różnicowe o zwiększonym oporze, głównie ze sprzęgłami ciernymi lub TorSen. Mechanizmy te mogą być regulowane, aby jak najlepiej dostosować charakterystykę samochodu do preferencji kierowcy i warunków drogowych (lub charakterystyki np. rajdu).



Rysunek 2.5: Tarcze cierne, stosowane w mechanizmach różnicowych o zwiększonych tarciu wewnętrznym, zwanych popularnie szperą

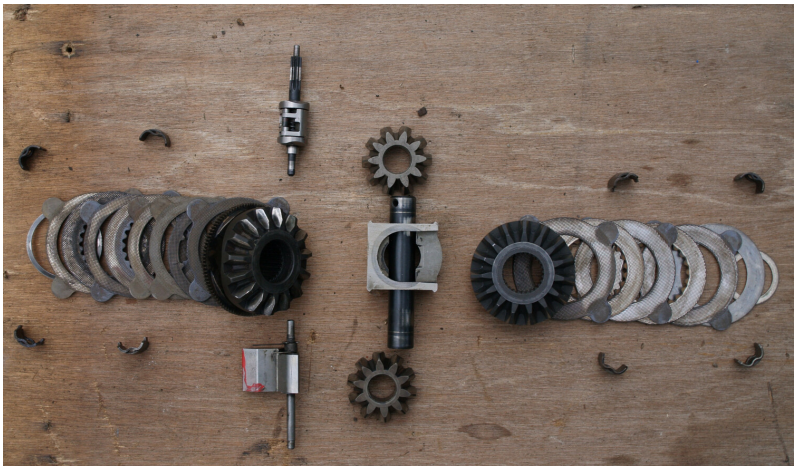
2.7 Pojazdy z napędem na wiele osi

Jak na razie, wspomnieliśmy o pojazdach z napędzaną tylko jedną osią. Jednak często można tez spotkać pojazdy z większą ilością napędzanych

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

osi. W lekkich samochodach terenowych jest to zazwyczaj układ 4×4, gdzie pierwsza cyfra oznacza ogólną ilość kół w samochodzie, a druga ilość kół, które są napędzane. W ciężarówkach i cięższych pojazdach terenowych konfiguracje podwozi mogą być bardzo różne, np. 6×2, 6×4, 6×6, 8×8, 10×10 itd.

Zacznijmy na razie od układu 4×4, ponieważ już w jego przypadku zaczynają się pewne kłopoty. Jak już wcześniej wspomnieliśmy, podczas jazdy na zakręcie występuje różnica w prędkości obrotowej kół, znajdujących się na jednej osi. W samochodzie z napędem na dwie osie, można rozwiązać ten problem jak zwykle, stosując na każdej osi mechanizm różnicowy. Teraz należy przekazać napęd z silnika na obie osie. Najprościej byłoby połączyć oba mechanizmy różnicowe ze skrzynią biegów. I tutaj znowu pojawia się problem, ponieważ w praktyce, podczas jazdy po zakręcie, prędkość obrotowa przedniego i tylnego mechanizmu różnicowego nieco się różni, podobnie jak w przypadku kół na tej samej osi. Więc, tak jak w przypadku kół, połączenie ze sobą mechanizmów różnicowych na sztywno, będzie powodować naprężenia i problemy z poślizgiem. Sposoby radzenia sobie z tym problemem były różne. Część terenówek ma napędzaną na stałe tylko jedną oś. Druga oś jest dołączana tylko w razie potrzeby, w trudnych warunkach. Dodatkowo, rozwiązanie takie zmniejsza nieco zużycie paliwa, podczas jazdy po drogach, ze względu na zmniejszenie oporów ruchu. Napęd może być dołączany ręcznie przez kierowcę (zazwyczaj trzeba się zatrzymać, żeby to zrobić) lub może się to dziać samoczynnie.



Rysunek 2.6: Elementy samoczynnie blokującego się mechanizmu różnicowego

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

W układach samoczynnych, stosuje się wiele rozwiązań, często podobnych do tych, stosowanych w mechanizmach osiowych. Możemy więc spotkać tutaj sprzęgła cierne, uruchamiane mechaniczne, ale też bardzo często ze sterowaniem elektronicznym (np. Haldex). Stosuje się też sprzęgła lepkościowe, szczególnie w przypadku pojazdów nieco rzadziej odwiedzających ciężki teren. Co jednak w przypadku, kiedy chcemy mieć wszystkie koła napędzane przez cały czas? Tutaj konieczne jest już zastosowanie międzyosiowego mechanizmu różnicowego. W przypadku samochodu ze stałym napędem 4×4, oznacza to konieczność użycia aż trzech mechanizmów różnicowych: po jednym dla każdej osi oraz międzyosiowego. Wynika to z tego, że jak wspomnieliśmy, na zakręcie każde z kół porusza się z nieco inną prędkością. Jednak w przypadku zastosowania trzech mechanizmów typu otwartego, powraca znany już nam problem – wystarczy, że jedno z kół wpadnie w poślizg, a samochód nie będzie już w stanie ruszyć z miejsca. Dlatego, bardzo często używane są międzyosiowe mechanizmy różnicowe, wyposażone w blokady lub o zwiększonym oporze wewnętrznym. Mamy tu do czynienia z tymi samymi rozwiązaniami, które są używane w mechanizmach osiowych. Występują więc blokady włączane manualnie lub samoczynnie, mechanizmy typu TorSen, mechanizmy ze sprzęgłami ciernymi w różnych odmianach, ze sprzęgłem lepkościowym itd. Największe możliwości terenowe daje samochodowi zastosowanie trzech tego typu mechanizmów. Taki pojazd jest zdolny do ruszenia z miejsca, gdy tylko jedno koło posiada wystarczającą przyczepność do podłoża. Układ taki stosuje się jednak rzadko, ze względu na wysokie koszty i duże skomplikowanie konstrukcji. W prostszych rozwiązaniach, zamiast skomplikowanych mechanizmów różnicowych, można też wykorzystywać efekt przyhamowania ślizgających się kół przez elektronikę i układ hamulcowy. W pojazdach, gdzie osie napędowe są umieszczone bardzo blisko siebie (np. tylne osie napędowe w ciężarówkach 6×4) nie ma konieczności stosowania mechanizmu międzyosiowego, ze względu na niewielkie różnice w prędkości obrotowej między tymi osiami. W nowoczesnych rozwiązaniach, stosuje się mechanizmy międzyosiowe ze sprzęgłami sterowanymi elektronicznie, zdolne do dzielenia siły napędowej pomiędzy osie, według żądanych proporcji. Umożliwia to zmianę charakterystyki prowadzenia samochodu, zależnie od życzenia kierowcy i warunków panujących na drodze. Można więc np. przekazywać, w samochodzie 4×4, większość mocy na koła tylne, uzyskując efekt prowadzenia jak w samochodzie z tylnym napędem.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

2.8 Pojazdy specjalne

Jeszcze inaczej sytuacja wygląda w przypadku pojazdów o przynajmniej dwóch osiach, nieposiadających kół skrętnych oraz pojazdów gąsienicowych. Pojazdy te „zmusza się" do skrętu, wykorzystując znany nam już efekt różnicy prędkości obrotowych kół podczas skrętu. Pojazdy kołowe mają najczęściej napędzane wszystkie koła, gąsienice zaś, możemy w uproszczeniu potraktować jako pojedyncze koło. Skręt można uzyskać, celowo zwalniając ruch kół (lub gąsienicy) z jednej strony pojazdu. Spowoduje to ruch pojazdu po łuku, tym ciaśniejszym, im większa jest różnica prędkości obrotowych. Można to realizować na kilka sposobów, stosując sprzęgła odłączające napęd po jednej stronie, odpowiednie przekładnie zmniejszające prędkość obrotową oraz niezależne hamulce, powodujące przyhamowanie wybranej strony pojazdu. Odpowiednie dobranie takich rozwiązań, pozwala na uzyskanie dobrej kontroli nad pojazdem, od precyzyjnego wykonywania lekkich skrętów przy większych prędkościach, do wykonywania bardzo ciasnych zwrotów w miejscu. Oczywiście, szczególnie w przypadku gąsienic, podczas skrętu występuje poślizg względem podłoża. Dlatego, podczas jazdy, np. czołgiem po utwardzonej drodze, konieczne jest stosowanie na gąsienice nakładek z gumy, zapobiegających niszczeniu nawierzchni.



Rysunek 2.7: Zdalnie sterowany pojazd, na podwoziu gąsienicowym, wykorzystywany przez saperów

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Ciekawie wygląda kwestia wykorzystania, w takich pojazdach, elektrycznego lub hydraulicznego przeniesienia napędu. W takim wypadku, silnik napędza prądnicę lub pompę hydrauliczną. Koła (lub gąsienice) są napędzane wtedy przez silniki elektryczne lub hydrauliczne, niezależne dla każdej strony pojazdu. W takiej konfiguracji, możliwa jest płynna regulacja mocy i prędkości obrotowej silników z każdej strony, co pozwala na bardzo łatwe sterowanie pojazdem. Najciekawsza jest jednak możliwość niezależnej zmiany kierunku obrotów silników, co powala na zawracanie pojazdu w miejscu, obracając się wokół własnej osi pionowej. Jest to niezwykle pomocne w pojazdach pracujących na budowach, gdzie często brakuje miejsca oraz w pojazdach bojowych, które muszą czasami wykonywać skomplikowane manewry.



Rysunek 2.8: Pojazd chyba najbardziej kojarzący się, z poruszaniem się na gąsienicach, czyli czołg

Inną odmianę systemu skrętu, spotykaną najczęściej w pojazdach budowlanych, jest zastosowanie łamanego podwozia. Osie są umieszczone w podwoziu na stałe, a same koła nie posiadają możliwości skrętu. Jednak przednia i tylna część pojazdu są połączone ze sobą przegubowo, z możliwością obrotu o określony kąt. Zapewnia to możliwość skrętu. W takiej konfiguracji również potrzebne są mechanizmy różnicowe.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 2.9: Załadunek ciężarówki, za pomocą koparki z przegubowym podwoziem

2.9 Kolej

Bardzo ciekawie problem różnicy drogi, pokonywanej przez koła na wspólnej osi, podczas jazdy po łuku, rozwiązano na kolei. W kolejnictwie, praktycznie zawsze, koła na każdej z osi lokomotywy lub wagonu są połączone ze sobą na sztywno. Pociągi pokonują jednak łuki, czasami całkiem ciasne. Rozwiązanie problemu jest sprytne. Powierzchnia toczna kolejowych kół, która styka się z szyną, nie ma stałej średnicy. Średnica ta jest najmniejsza po zewnętrznej stronie kół, zwiększa się zaś od strony środkowej, aż do obrzeża, zapobiegającego wypadnięciu pociągu z torów. Działa to następująco: gdy pociąg pokonuje zakręt, koła po zewnętrznej stronie zakrętu mają tendencję do zbliżania się swymi obrzeżami do szyny. Po szynie toczą się więc, swoją większą średnicą. Koła po drugiej stronie toczą się zaś po szynie swą mniejszą średnicą. Powoduje to zminimalizowanie różnicy prędkości obrotowych kół, przeciwdziałając powstawaniu poślizgu i naprężeń. Oprócz tego, aby pojazdy kolejowe o większej ilości osi mogły skręcać, poszczególne ich osie umieszcza się w wózkach (najczęściej po dwie lub trzy), które mogą obracać się względem pojazdu. W przypadku trzech, lub więcej osi w wózku, środkowa oś posiada często możliwość przesuwania się, aby pokonać łuk. Większy problem występował np. w parowozach, posiadających dużą ilość osi napędowych, które nie mogły być umiesz-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

czone w wózkach. Stosowano tam możliwość przesuwania się niektórych osi lub podcinania obrzeży kół, tak aby lokomotywa mogła przejeżdżać przez łuki.



Rysunek 2.10: Koło lokomotywy z widocznie zmieniającą się średnicą



Rysunek 2.11: Lokomotywa parowa, posiadająca w sumie 6 osi, zdolna, mimo tego, do pokonywania nawet ciasnych łuków torów

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 2.12: Wózki skrętne, wyposażone w po dwie osie każdy

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



3. Dlaczego maszyna budowlana jest taka silna?

Piotr Mendelowski

3.1 Wstęp

Zadaniem maszyny budowlanej jest wykonywanie robót ziemnych, niezbędnych podczas różnych prac budowlanych. Dlatego, jednym z podstawowych parametrów, jakie musi spełniać taka maszyna, jest możliwość uzyskania przez nią bardzo dużej siły. Ze względu na charakter pracy maszyny budowlanej, duże siły mogą występować zarówno w układzie napędowym, tzn. układzie odpowiedzialnym za przemieszczanie się maszyny, jak i w układzie roboczym, który bezpośrednio urabia grunt. Maszyny budowlane zaliczamy do maszyn wolnobieżnych – uzyskiwane przez nie prędkości są niewielkie, w porównaniu np. do prędkości uzyskiwanych przez pojazdy, które powszechnie spotykamy na drogach. Ze względu na rodzaj wykonywanej pracy, możemy wyróżnić kilka rodzajów maszyn budowlanych: ładowarki jednonaczyniowe, spycharki, koparki, koparkoładowarki itp. Maszyny budowlane mogą posiadać podwozie kołowe bądź podwozie gąsienicowe. Bez względu na rodzaj maszyny oraz odmianę zastosowanego podwozia, wszystkie one charakteryzują się możliwością uzyskania dużych sił oraz pracą z niewielkimi prędkościami jazdy.

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

3.2 Układ napędowy

W maszynach budowlanych wyróżniamy następujące rodzaje podwozi - kołowe i gąsienicowe. Rodzaj zastosowanego podwozia jest uzależniony od charakteru wykonywanej pracy przez daną maszynę budowlaną oraz od podłoża, po którym się ona przemieszcza. Przykładową maszynę budowlaną na podwoziu kołowym przedstawiono na rysunku 3.1, natomiast maszynę na podwoziu gąsienicowym na rysunku 3.2.



Rysunek 3.1: Ładowarka jednonaczyniowa – podwozie kołwe



Rysunek 3.2: Spycharka – podwozie gąsienicowe

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Maszyny budowlane, posiadające podwozie kołowe, charakteryzują się większą mobilnością, nie powodują uszkodzenia nawierzchni, po której się poruszają, dzięki czemu istnieje możliwość przemieszczania się takich maszyn samoczynnie, nierzadko również po drogach publicznych, co czyni je maszynami uniwersalnymi. Podwozia kołowe charakteryzują się stosunkowo dużymi naciskami jednostkowymi na podłoże, co ogranicza możliwość zastosowania takich maszyn budowlanych na terenach podmokłych czy bagiennych.

Podwozia gąsienicowe stosowane są w maszynach budowlanych, od których wymagane jest uzyskanie małych nacisków jednostkowych na podłoże, co z kolei jest możliwe do uzyskania dzięki dużej powierzchni kontaktu gąsienic z podłożem. Gąsienice w odmianie stalowej, oprócz małych nacisków jednostkowych, charakteryzują się dużo lepszą przyczepnością do podłoża, w porównaniu do pojazdów na podwoziach kołowych. Dzięki temu mogą uzyskiwać dużą siłę uciągu oraz mogą poruszać się w terenie górzystym. Ze względu na kształt płyty gąsienicowej stalowej (rys. 3.3), podczas przemieszczania się takiej maszyny, następuje zagłębianie się w podłoże ostrogi płyty gąsienicowej. Taki charakter współpracy z nawierzchnią, uniemożliwia przemieszczanie się maszyn na podwoziu gąsienicowym po drogach publicznych. Z tego względu, najczęściej wymaga to przewożenia ich dodatkowym środkiem transportu.

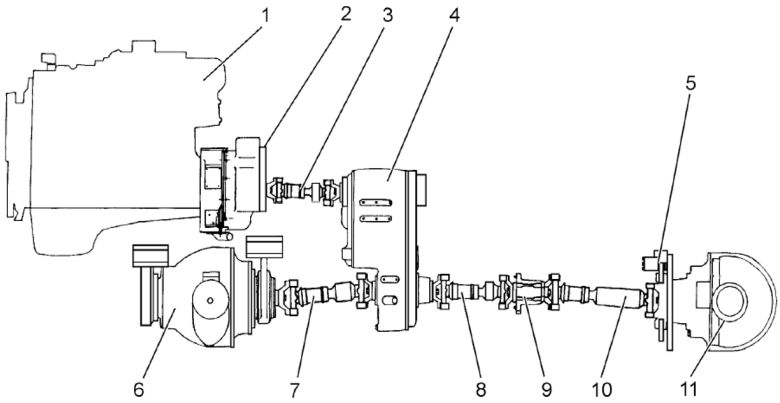


Rysunek 3.3: Pas gąsienicowy

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

W celu uzyskania wymaganej, specyficznymi dla maszyny budowlanej warunkami pracy, siły uciągu stosowane są specjalne rodzaje układów napędowych. W maszynach budowlanych występują najczęściej następujące rodzaje układów napędowych: **hydrokinetyczny układ napędowy** oraz **hydrostatyczny układ napędowy**.

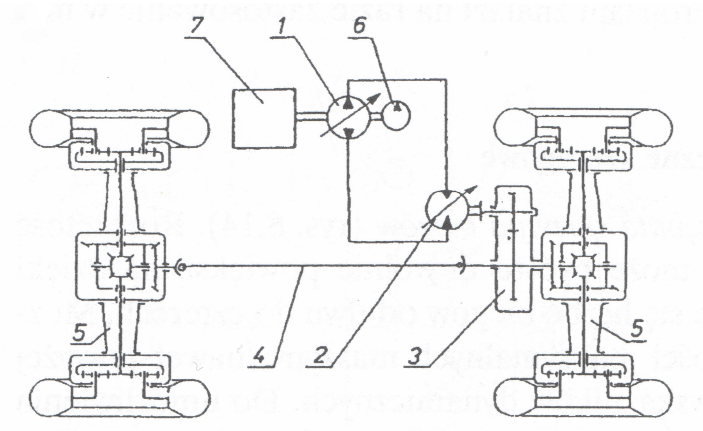
Przykłady takich układów napędowych przedstawiono na rysunkach 3.4 i 3.5.



Rysunek 3.4: Hydrokinetyczny układ napędowy: 1 – silnik, 2 – przekładnia hydrokinetyczna, 3, 7, 8, 10 – wały napędowe, 4 – skrzynia biegów, 5 – hamulec postojowy, 6 – most napędowy tylny, 9 – podpora wałów, 11 – most napędowy przedni

Zarówno układ hydrokinetyczny, jak i układ hydrostatyczny umożliwia, poprzez zastosowanie charakterystycznych dla tych układów przekładni hydraulicznych, zwiększenie przekazywanego momentu obrotowego, co skutkuje zwiększeniem siły napędowej maszyny budowlanej. W celu poprawy komfortu pracy operatora zarówno przekładniowa hydrokinetyczna, występująca w hydrokinetycznym układzie napędowym, jak i przekładniowa hydrostatyczna, zabudowana w hydrostatycznym układzie napędowym, umożliwiają samoczynną i bezstopniową zmianę przekazywanego momentu obrotowego. Charakterystyczne dla tych przekładni jest to, że wzrost momentu obrotowego, a tym samym siły uciągu maszyny, odbywa się równocześnie ze wzrostem oporów ruchu maszyny. Czyli, jeżeli wzrosną opory ruchu maszyny, np. w spycharce z tytułu wzrostu oporów urabiania gruntu, przekładnia hydrostatyczna lub przekładnia hydrokinetyczna (w zależności od zastosowanego rodzaju układu napędowego) samoczynnie wygeneruje większy moment obrotowy, umożliwiający pokonanie tych zwiększonych oporów ruchu.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



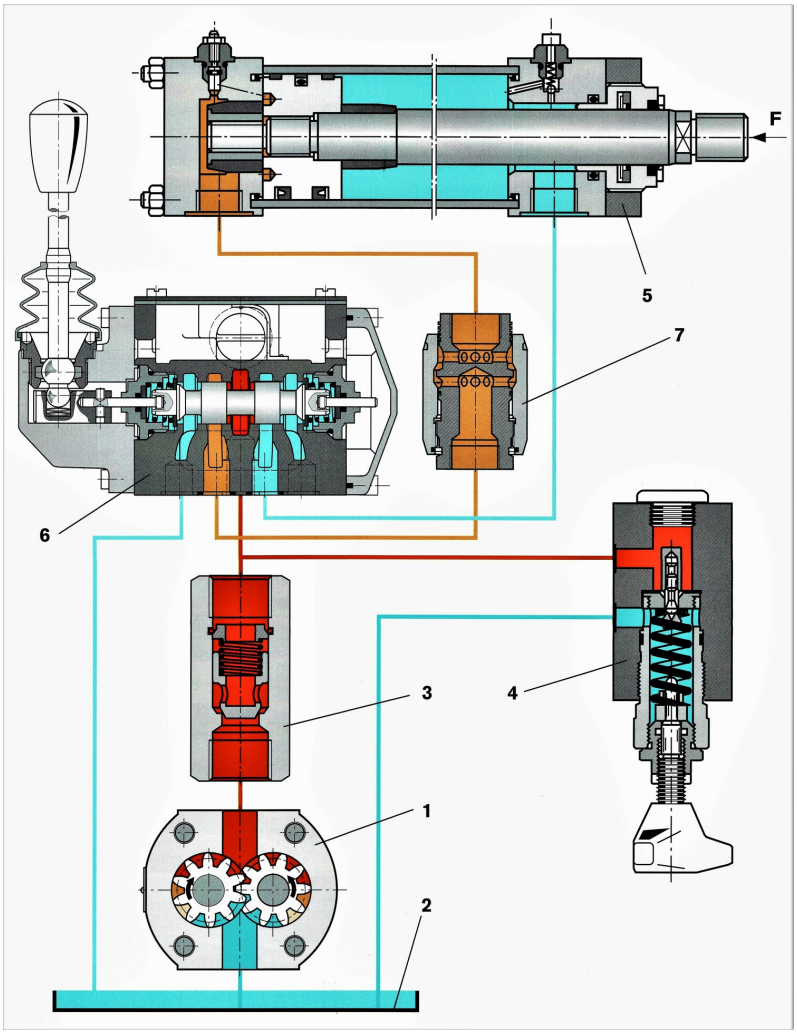
Rysunek 3.5: Hydrostatyczny układ napędowy: 1 – pompa zmiennej wydajności, 2 – silnik zmiennej chłonności, 3 – przekładnia zębata redukcyjna, 4 – wał napędowy, 5 – most napędowy, 6 – pompa układu roboczego, 7 – silnik spalinowy

3.3 Układ roboczy

Ze względu na dużą różnorodność prac wykonywanych przez maszyny budowlane, nie można powiedzieć o jednym rodzaju układu roboczego. Każdy typ maszyny budowlanej posiada układ roboczy, specyficzny do prac, które wykonuje. Przykładowo, zupełnie inaczej wygląda układ roboczy ładowarki jednonaczyniowej, w porównaniu np. do spycharki czy równiarki. Wszystkie one mają jednak wspólną cechę – muszą mieć możliwość wytworzenia dużej siły na narzędziu roboczym, zabudowanym w takim układzie roboczym. Pamiętamy, że maszyna budowlana jest urządzeniem, przeznaczonym do wykonywania różnych prac związanych z urabianiem gruntu, tak więc siła, niezbędna do wykonania tej pracy, jest jednym z kluczowych parametrów charakteryzujących maszynę budowlaną.

Bez względu na rodzaj maszyny budowlanej, wspólną cechą wszystkich układów roboczych w nich występujących jest napęd hydrauliczny, wykorzystywany do przemieszczania narzędzia roboczego maszyny roboczej. Dzięki zastosowaniu napędu hydraulicznego, uzyskiwane są bardzo duże (wysokich wartości) siły. Zespołami odpowiedzialnymi za zasilenie układu w olej hydrauliczny oraz wytworzenie odpowiedniej wartości ciśnienia są pompy hydrauliczne. Elementami wykonawczymi, tzn. realizującymi ruch roboczy, są cylindry hydrauliczne i silniki hydrauliczne.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 3.6: Prosty układ hydrauliczny: 1 – pompa hydrauliczna, 2 – zbiornik hydrauliczny, 3 – zawór zwrotny, 4 – zawór ograniczający ciśnienie, 5 – cylinder hydrauliczny, 6 – rozdzielacz hydrauliczny, 7 – zawór dławiący nastawialny

Przykład prostego układu hydraulicznego przedstawiono na rysunku 3.6. Układy hydrauliczne umożliwiają w prosty sposób uzyskanie dużych wartości siły lub momentu obrotowego na zespole wykonawczym. Wartość siły, jaką może wytworzyć cylinder hydrauliczny (5) na rysunku 3.6 jest zależna od powierzchni tłoka w tym cylindrze oraz wartości ciśnienia oleju przesterowującego ten cylinder. Wskazuje to na bardzo

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

prosty sposób uzyskania żądanej wartości siły. Chcąc uzyskać podobną wartość siły na drodze doboru tylko zespołów mechanicznych (bez elementów hydraulicznych), powodowałoby to bardzo duży stopień skomplikowania konstrukcji lub w wielu przypadkach uniemożliwiałoby zbudowanie takiego zespołu.

Duża popularność hydraulicznych układów roboczych, stosowanych w maszynach budowlanych, wynika z następujących zalet tych układów:

- możliwość przenoszenia dużych sił/momentów obrotowych, przy stosunkowo małej objętości roboczej;
- praca pod pełnym obciążeniem, począwszy od stanu bezruchu (od prędkości zerowej);
- łatwy do zrealizowania, bezstopniowy sposób sterowania układem hydraulicznym;
- proste zabezpieczenie przed przeciążeniem, wynikającym z nadmiernej wartości ciśnienia w układzie hydraulicznym;
- możliwość pracy elementów wykonawczych układu roboczego z szybkimi, a także ekstremalnie powolnymi, realizowanymi w sposób kontrolowalny ruchami;
- proste kompaktowe układy napędowe;
- łatwy sposób transportu energii (nawet w trudno dostępne miejsca) za pomocą cieczy hydraulicznej, przepływającej przewodami hydraulicznymi sztywnymi lub elastycznymi.

Przykładowe rozwiązania hydraulicznych układów roboczych stosowane w ładowarce jednonaczyniowej, spycharce oraz koparce przedstawiono na rysunkach 3.7, 3.8 oraz 3.9.



Rysunek 3.7: Układ roboczy ładowarki jednonaczyniowej

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 3.8: Układ roboczy spycharki



Rysunek 3.9: Układ roboczy koparki

3.4 Prace wykonywane przez maszyny budowlane

Jak wspomniano wcześniej, maszyny budowlane mogą wykonywać bardzo różne prace, co wymusza produkowanie specjalnych maszyn, mających na celu sprostanie tym specjalistycznym wyzwaniom. Nie trudno sobie wyobrazić, że nie jest możliwe wykonanie, za pomocą jednego typu maszyny, pracy polegającej np. na spychaniu gruntu, załadunku urobku na ciężarówkę czy wykonywaniu głębokich wykopów. Poniżej przedstawione zostaną zdjęcia przykładowych rodzajów maszyn

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

budowlanych na których będą widoczne prace przez nie wykonywane.

Ładowarka jednonaczyniowa służy głównie do wykonywania prac związanych z załadunkiem urobku (rys. 3.10).



Rysunek 3.10: Ładowarka jednonaczyniowa

Spycharka jest wykorzystywana do spychania i równania terenu (rys. 3.11).



Rysunek 3.11: Spycharka

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Koparka wykonuje wykopy oraz służy do załadunku urobku na środki transportu (rys. 3.12).



Rysunek 3.12: Koparka

Koparkoładowarka, ze względu na posiadanie dwóch rodzajów osprzętów roboczych – ładowarkowego i koparkowego, zalicza się do maszyn uniwersalnych, powszechnie stosowanych do wykonywania drobnych prac budowlanych (rys. 3.13).



Rysunek 3.13: Koparkoładowarka

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Równiarka jest maszyną budowlaną, wykorzystywaną szczególnie przy dokładnym wyrównywaniu terenu oraz wykonywaniu skarp (rys. 3.14).



Rysunek 3.14: Równiarka

3.5 Podsumowanie

Specyficzna grupa maszyn, jakimi są maszyny budowlane, zaliczana jest do urządzeń charakteryzujących się właściwościami odmiennymi, w porównaniu do pojazdów powszechnie poruszających się po drogach. Ze względu na pracę, którą wykonują, najczęściej cechują się dużymi wartościami siły, występującymi w układzie napędowym i roboczym. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu układów hydraulicznych, umożliwiających spełnienie wysokich wymagań technicznych i eksploatacyjnych stawianych maszynom budowlanym.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



4. Po co nam przekładnie?

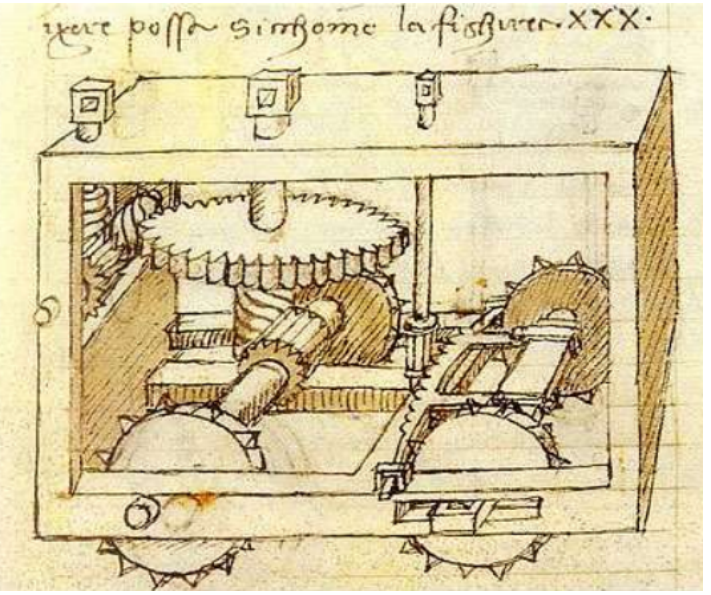
Łukasz Chodoła

4.1 Wprowadzenie

Przekładnie zaliczane są do tych wynalazków, które zmieniły dzieje historii. Można uznać, że ich historia jest powiązana z odkryciem koła. Miejsce i czas pierwszego zastosowania przekładni nie są ustalone. Pierwsze z nich, najprawdopodobniej cierne (koła przekładni stykają się ze sobą), były wykonane z drewna. II w. p.n.e. to okres, w którym przekładnie zębate znalazły wiele zastosowań. W Europie można je było spotkać w starożytnej Grecji, natomiast w Azji informacje na temat rydwanów z zamontowanymi przekładniami mechanicznymi pojawiły się ok. III w. p.n.e. Historia mówi o wielu konstrukcjach, w których zastosowano przekładnie zębate. Jedną z najciekawszych był krokomierz - urządzenie służące do pomiaru długości pokonanej drogi. Zbudowany był w kształcie skrzyni umieszczonej na dwóch kołach, we wnętrzu której umieszczono przekładnie napędzane od kół jezdnych. Leonardo da Vinci stworzył wiele szkiców przekładni zębatych, takich jak przekładnie walcowe, stożkowe, ślimakowe, śrubowe czy stożkowe. Przykładowy szkic jednej z nich przedstawia rysunek 4.1.

Wynalezienie maszyny parowej, na przełomie XVIII i XIX wieku, przyniosło znaczny postęp w rozwoju przekładni, lecz ich gwałtowny rozwój oraz zastosowania kół przekładni zębatych przypadł na początek XX wieku n.e., wraz z wynalezieniem materiałów narzędziowych. Ra-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 4.1: Przykładowy szkic wykonany przez Leonarda da Vinci jednej z pierwszych udokumentowanych przekładni

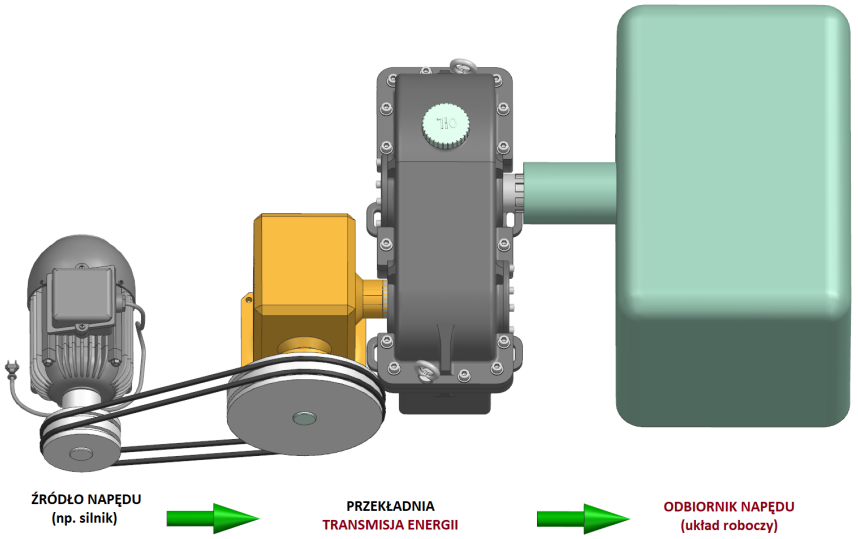
zem z rozwojem techniki pojawiały się przekładnie o bardziej złożonych konstrukcjach, tj. elektrycznych, hydraulicznych i pneumatycznych. Nie zagroziły one jednak pozycji przekładni mechanicznych. W przekładniach tych energia przenoszona jest pośrednio, po wcześniejszym przekształceniu, odpowiednio w energię elektryczną lub hydrauliczną.

Analizując historię przekładni, można stwierdzić, że ich zasada działania się nie zmieniła, dokonano jedynie niewielkich modyfikacji w ich konstrukcji. Przekładnie mechaniczne należą do najbardziej niezawodnych, a zarazem skutecznych układów przeniesienia napędu. Przekładnie mechaniczne stosowane są niemal we wszystkich gałęziach przemysłu, w branży maszynowej, lotnictwie, energetyce, systemie transportu itp.

4.2 Budowa i zasada działania przekładni

Definicja 4.1 — Przekładnia. Jest to mechanizm lub układ maszyn służący do przeniesienia ruchu z elementu czynnego (napędowego) na bierny (napędzany) z jednoczesną zmianą parametrów ruchu, czyli prędkości i siły lub momentu siły. Schemat zabudowy przekładni w układzie napędowym przedstawia rysunek 4.2.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 4.2: Schemat ideowy zabudowy przekładni

Cechą charakterystyczną przekładni jest występowanie dwóch lub więcej, najczęściej obrotowych, elementów, których ruch względem siebie umożliwia przenoszenie energii. Zmiana parametrów transferowanej mocy jest możliwa poprzez zmianę, np. średnicy koła zębatego lub liczby zębów (w przypadku przekładni zębatych).

Podstawowym parametrem każdej przekładni zębatej jest przełożenie. Wyróżniamy przełożenie **geometryczne**, **kinematyczne** i **dynamiczne**. Przełożenie jest parametrem bezwymiarowym, czyli nie mającym jednostki. Wzory do obliczania wymienionych przełożeń dla przekładni (rys. 4.3) przedstawiono poniżej.

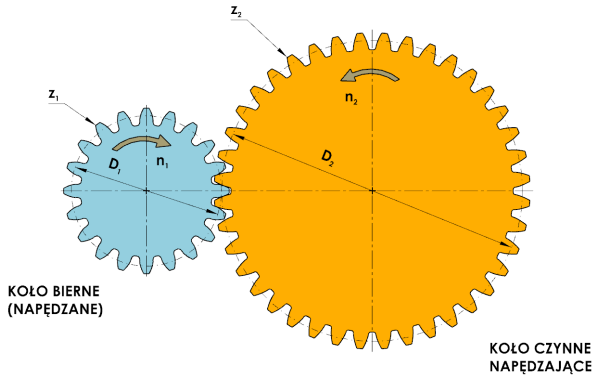
$$i_g\,(\text{przełożenie geometryczne}) = \frac{D_1}{D_2} = \frac{\text{średnica koła napędzanego}}{\text{średnica koła napędzającego}}$$

$$i_g\,(\text{przełożenie geometryczne}) = \frac{z_1}{z_2} = \frac{\text{liczba zębów koła napędzanego}}{\text{liczba zębów koła napędzającego}}$$

$$i_k\,(\text{przełożenie kinematyczne}) = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\text{prędkość obrotowa koła napędzającego}}{\text{lprędkość obrotowa koła napędzanego}}$$

$$i_d\,(\text{przełożenie dynamiczne}) = \frac{M_1}{M_2} = \frac{\text{moment obrotowy koła napędzanego}}{\text{moment obrotowy koła napędzającego}}$$

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 4.3: Budowa i zasada działania przekładni zębatej

Przekładnia może być:

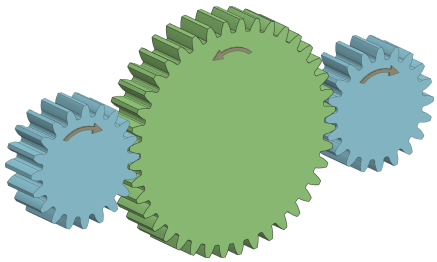
- Multiplikatorem (przekładnia multiplikująca) - gdy człon napędzany obraca lub porusza się z większą prędkością, niż człon napędzający. Koło napędzane musi być zawsze mniejsze od koła napędzającego.
- Reduktorem (przekładnia redukująca) - gdy człon napędzany obraca lub porusza się z mniejszą prędkością, niż człon napędzający. Koło napędzające musi mieć większą średnicę od koła napędzającego

Przekładnie przekazują napęd na dwa podstawowe sposoby: bezpośrednio lub pośrednio. W pierwszym przypadku transfer energii odbywa się pomiędzy dwoma lub więcej komponentami, bez elementów pośredniczących (np. przekładnia cierna czy zębata). W drugim przypadku do przeniesienia napędu niezbędny jest dodatkowy element (cięgno, łańcuch), który umożliwia zwiększenie odległości między układem roboczym a silnikiem.

W każdym z tych przypadków, energia mechaniczna przekazywana jest bezpośrednio, bez przekształcania w inny rodzaj energii (hydrauliczną, elektryczną), aby na końcu układu ponownie zamienić ją w energię mechaniczną. Znacznie zwiększa to niezawodność tego typu mechanizmów, ale też może prowadzić do dużych strat mocy, wskutek niskiej sprawności poszczególnych z nich. Największe straty wykazują przekładnie cierne (w tym pasowe), w których napęd przenoszony jest przez tarcie między dwoma elementami. Wyższą sprawnością cechują się przekładnie kształtowe (łańcuchowe, zębate), w których poszcze-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

gólne elementy zazębiają się ze sobą, co ogranicza ich ślizganie się, m.in. przy dużych obciążeniach układu.



Rysunek 4.4: Schemat przekładni wielostopniowej

Do podstawowych funkcji przekładni mechanicznych zaliczamy zmienianie kierunku ruchu obrotowego, a w przypadku przekładni pośrednich (z cięgnem), przenoszenie energii na odległość. Dzięki połączeniu kilku przekładni, można tworzyć złożone mechanizmy z funkcją regulacji momentu obrotowego i prędkości. Zastosowanie listwy zębatej, umożliwia zmianę ruchu obrotowego na liniowy i odwrotnie.

Na podstawie wymienionych funkcji można określić sytuacje, w których zastosowanie przekładni okazuje się pożądane lub konieczne. Lista wymagań stanowi podstawowe narzędzie pracy konstruktorów, pozwalając na wstępie odpowiedzieć na pytanie: po co nam przekładnie? Potrzeba zastosowania przekładni podyktowana jest wymaganiami:

a) funkcjonalnymi:
   - uzyskanie większego momentu obrotowego, niż jest w stanie wytworzyć silnik;
   - zmiana kierunku obrotów maszyny;
   - wymagane dostosowanie prędkości obrotowej silnika (napędu) do maszyny roboczej;

b) ekonomicznymi:
   - możliwość zastosowania jednego zespołu napędowego do wielu układów roboczych;
   - możliwość zastosowania korzystniejszego, pod względem finansowym, silnika z przekładnią wielostopniową dla uzyskania znacznego zakresu prędkości maszyny roboczej;

c) konstrukcyjnymi:
   - możliwość przenoszenia napędu na pewną odległość, silnik może byś oddalony od układu roboczego;
   - zmiana gabarytów maszyny poprzez ustawienie silnika w określonej pozycji.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

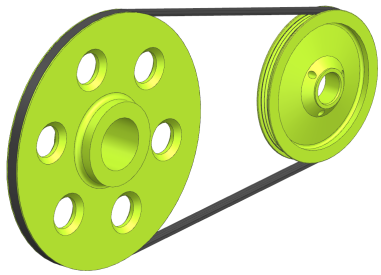
4.3 Rodzaje przekładni

Przekładnie mechaniczne

To przekładnie, w których zastosowano połączenia mechaniczne celem uzyskania transmisji mocy i zmiany parametrów ruchu. Wśród przekładni mechanicznych wyróżniamy przekładnie **cięgnowe**, **cierne**, **zębate** oraz **śrubowe**.

Przekładnie cięgnowe

- **Przekładnie pasowe** (rys. 4.5) przenoszą energię z wykorzystaniem elementu pośredniego pasa napędowego. Najprostsze konstrukcje bazują na pasach płaskich. W aplikacjach przemysłowych zostały w większości zastąpione pasami klinowymi o przekroju trapezoidalnym. Te ostatnie są wysoko cenione zarówno za możliwość przenoszenia dużych mocy, jak i funkcję sprzęgła poślizgowego, chroniącego wrażliwe elementy układu napędowego przed przeciążeniem. Choć umożliwiają kontrolowany poślizg, dzięki dopasowanemu kształtowi pasa i koła pasowego, wykazują znacznie większą sprawność, niż przekładnie z pasem płaskim i dlatego stosowane są powszechnie zarówno w maszynach przemysłowych, jak i w napędach pojazdów.



Rysunek 4.5: Przekładnia pasowa

- **Przekładnie łańcuchowe** funkcję cięgna pełni łańcuch, umożliwiając przenoszenie napędu na znaczne odległości. Niewątpliwą zaletą takiego rozwiązania jest brak poślizgu i duża wytrzymałość, uzyskiwane dzięki współpracy łańcucha z dopasowanym do niego zębatym kołem łańcuchowym. Choć łańcuch może występować w dwóch wersjach: pierścieniowej i drabinkowej, w praktyce ta pierwsza stosowana jest bardzo rzadko, głównie w mechanizmach wolnobieżnych o dużym obciążeniu (np. dźwignikach). Jej

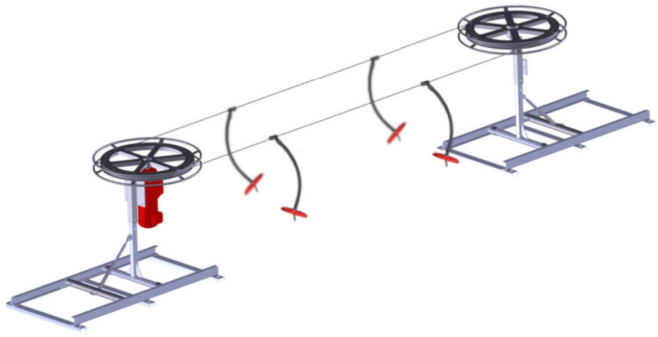
Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 4.6: Przekładnia łańcuchowa

wadą jest bowiem skomplikowana konstrukcja koła łańcuchowego, która znacznie ogranicza dopuszczalną prędkość mechanizmu, a jednocześnie sprzyja jego hałaśliwości i nierównomiernej pracy. W przeciwieństwie do niej, łańcuch drabinkowy, stosowany powszechnie w napędach rowerów (rys. 4.6) i motocykli – umożliwia znaczne uproszczenie geometrii koła łańcuchowego, co z kolei zmniejsza awaryjność i hałaśliwość oraz zwiększa dopuszczalną prędkość układu.

- **Przekładnia linowa** (rys. 4.7) to przekładnia, w której cięgnem jest lina. Przekładnie linowe znajdują zastosowanie w przypadkach, gdy moc przenoszona jest na większą odległość (od kilku do kilkunastu metrów), przy dużych obciążeniach i stosunkowo niskich prędkościach. Geometria przekładni linowej jest podobna do geometrii przekładni pasowej.

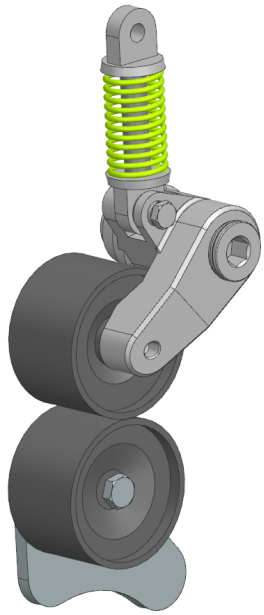


Rysunek 4.7: Przekładnia linowa

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Przekładnie cierne

Są to przekładnie, w których napęd przenoszony jest dzięki sile tarcia, powstającej między dwoma dociskanymi do siebie elementami, z których co najmniej jeden pozostaje w ruchu. Ponieważ nie występuje między nimi element pośredni (cięgno), są jednak odporne na przeciążenia mechaniczne, dzięki czemu są chętnie stosowane we wrażliwych lub mocno używanych układach. Przekładnie cierne (rys. 4.8) można podzielić na dwie podstawowe grupy: bezpośrednie i pośrednie (pasowe). Pierwsza z nich obejmuje maszyny, w których napęd przenoszony jest dzięki sile tarcia powstającej między dwoma dociskanymi do siebie elementami, z których co najmniej jeden pozostaje w ruchu.



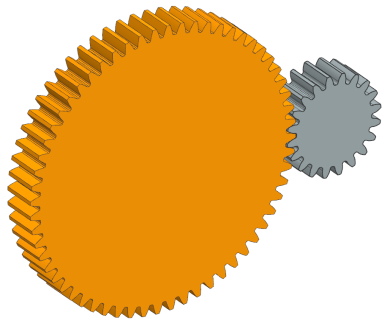
Rysunek 4.8: Przekładnia cierna

Przekładnie zębate

Najczęściej stosowanym typem przekładni mechanicznych są przekładnie zębate. Ich popularność wynika głównie z prostej konstrukcji i wysokiej sprawności (dochodzącej do 98%).

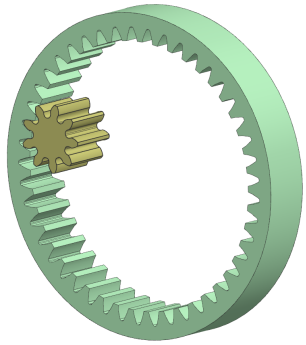
Są idealnym rozwiązaniem dla branży maszynowej, jak i wielu innych gałęzi przemysłu – począwszy od motoryzacji, w której przekładnie zębate stanowią podstawowy element skrzyni biegów, a na budownictwie i rolnictwie kończąc.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 4.9: Przekładnia walcowa o zazębieniu zewnętrznym

Najpopularniejszym typem przekładni zębatych są te posiadające uzębienie zewnętrzne (rys. 4.9), w których koła zębate o kształcie walcowym zazębiają się od strony zewnętrznej, poruszając się po równoległych osiach. Znane są też przekładnie o zazębieniu wewnętrznym (rys. 4.10).

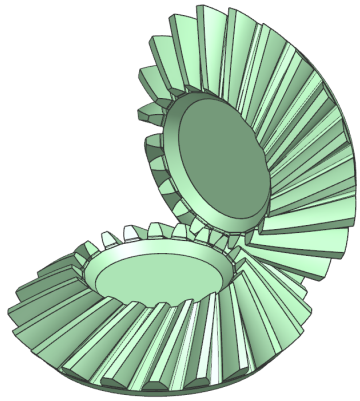


Rysunek 4.10: Przekładnia walcowa o zazębieniu wewnętrznym

Układy tego typu występują prawie w każdym urządzeniu mechanicznym zarówno w wersji jednostopniowej, jak i wielostopniowej (rys. 4.5). Przekładnie wielostopniowe umożliwiają uzyskanie stosunkowo dużych przełożeń przy zachowaniu niewielkich gabarytów mechanizmu. Słabością tego typu przekładni jest przenoszenie napędu na dużą odległość.

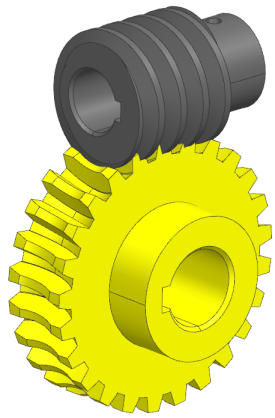
- **Przekładnia stożkowa** (rys. 4.11) to przekładnia, w której zęby kół zębatych przybierają kształt stożków o stałej lub zmiennej wysokości. Przekładnie te stosowane są wszędzie tam gdzie trzeba zmienić kierunek przekazania mocy (najczęściej pod kątem 90°).

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 4.11: Przekładnia stożkowa

- **Przekładnia ślimakowa** (rys. 4.12) zbudowana jest z koła zębatego i ślimaka (wirnik śrubowy z gwintem trapezowym). Elementy usytuowane są względem siebie prostopadle, lecz w dwóch innych płaszczyznach. Przekładnie te przenoszą ruch obrotowy z jednej płaszczyzny na drugą pod kątem 90°. Przekładnia taka stosowana jest, m.in. w układach kierowniczych pojazdów, napędach wycieraczek samochodowych itp.



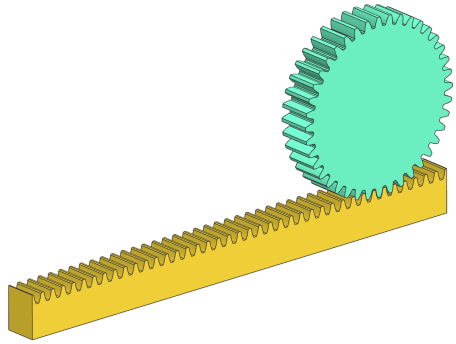
Rysunek 4.12: Przekładnia ślimakowa

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

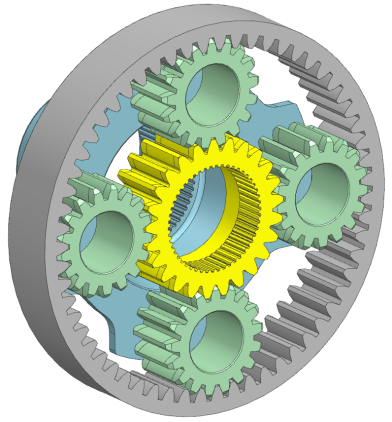
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

- **Przekładnia zębata liniowa** (rys. 4.13) składa się z listwy zębatej i koła zębatego. W takich mechanizmach ruch obrotowy zamieniany jest na liniowy lub odwrotnie. Najbardziej typowym przykładem zastosowania przekładni z listwową zębatą są automatyczne bramy przesuwne.



Rysunek 4.13: Przekładnia zębata liniowa

- **Przekładnia planetarna (obiegowa)** (rys. 4.14) ma najbardziej skomplikowaną konstrukcję wśród przekładni jednostopniowych. Zastosowanie tego typu przekładni pozwala uzyskać



Rysunek 4.14: Przekładnia planetarna

większe przełożenie niż w przypadku tradycyjnej przekładni zębatej. Składa się ona z dwóch współosiowych kół centralnych o uzębieniu wewnętrznym i zewnętrznym, oraz satelitów (koła zębate o kolorze zielonym rysunek 4.14) połączonych jarzmem.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Napęd może być przenoszony na trzy sposoby: z koła zewnętrznego na jarzmo (przy nieruchomym kole wewnętrznym), z koła zewnętrznego na wewnętrzne (przy nieruchomym jarzmie) oraz z koła wewnętrznego na jarzmo (przy nieruchomym kole zewnętrznym).

Przekładnie śrubowe

Przekładnia śrubowa (rys. 4.15) jest przekładnią mechaniczną, złożoną z śruby i nakrętki. W przekładni tej zamianie ulega ruch obrotowy jednego z jej elementów na ruch liniowy Przekładnia taka, stosowana jest w imadłach, opaskach zaciskowych ze śrubą, mechanicznych podnośnikach samochodowych itp.



Rysunek 4.15: Przykład przekładni śrubowej

Przekładnie elektryczne

Przekładnia elektryczna to przekładnia składająca się z prądnicy, silnika elektrycznego oraz układu regulacji. Konstrukcja pierwsza: energia mechaniczna dostarczana do prądnicy, zamieniana jest na prąd elektryczny, podlegający regulacji, dalej przekształcony na energię mechaniczną w silniku elektrycznym. Takie przekładnie elektryczne stosowane są w nowoczesnych pojazdach z napędem hybrydowym (rys. 4.16). Konstrukcja druga: energia elektryczna dostarczana jest od silnika elektrycznego, połączonego mechanicznie z prądnicą która wytwarza napięcie elektryczne. Takie przekładnie elektryczne stosowane są w starszych rozwiązaniach spawarek elektrycznych. Dużo bardziej złożone konstrukcyjnie, a tym samym podatne na awarię, przekładnie

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

hydrauliczne i elektryczne pozostały domeną wybranych sektorów – głównie motoryzacji (samochody elektryczne, automatyczne skrzynie biegów) i przemysłu kolejowego (lokomotywy spalinowe).



Rysunek 4.16: Przekładnie elektryczne zastosowane w osiach napędowych samochodu

Przekładnie hydrauliczne

Przekładnia hydrauliczna - szczególny rodzaj przekładni, w której wejściowa energia mechaniczna przekazywana jest na wyjście, z pośrednimi etapami przemiany energii mechanicznej na hydrauliczną, a następnie hydraulicznej na mechaniczną. Przykładowy pojazd, w którym zastosowano przekładnie hydrauliczne przedstawiono na rysunku 4.17.



Rysunek 4.17: Przykładowy pojazd specjalistyczny z zastosowanymi napędem hydraulicznym w układzie roboczym

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Przekładnie pneumatyczne

Przekładnia pneumatyczna przetwarza energię sprężonego powietrza lub podobnego gazu na ruch postępowy lub obrotowy. Przekładnie pneumatyczne stosowane są w drobnych narzędziach warsztatowych (rys. 4.18), np. klucze pneumatyczne, wiertarki, szlifierki itp.



Rysunek 4.18: Przykładowe narzędzia z zastosowaną przekładnią pneumatyczną

4.4 Ćwiczenia

Podaj nazwy przekładni przedstawionych poniżej na zdjęciach oraz określić ich miejsce zastosowania.

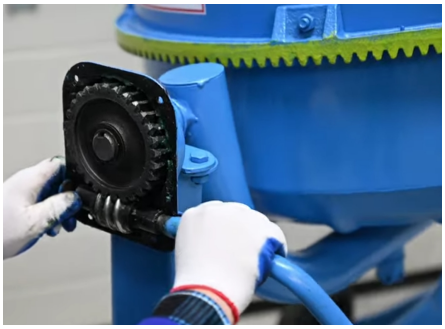


Rysunek 4.19: a).....

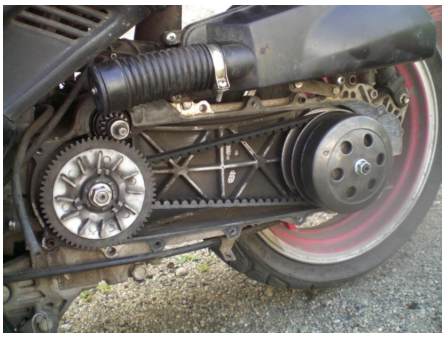
Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 4.20: b).....



Rysunek 4.21: c).....



Rysunek 4.22: d).....

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



5. Koń mechaniczny

Marek Szewczyk

5.1 Wstęp

Czy kiedykolwiek spotkałeś się z terminem koń mechaniczny? Jeśli tak, to na pewno zastanawiałeś się co dokładnie on oznacza, jak powstał i skąd pochodzi? Na te oraz inne pytania znajdziesz odpowiedzi w tym rozdziale.

5.2 Geneza konia mechanicznego

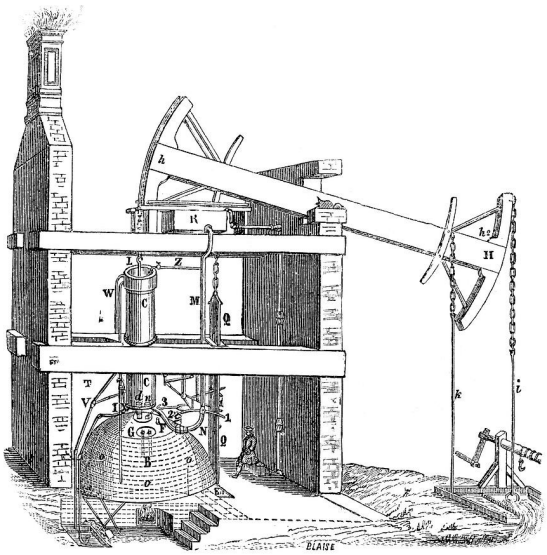
Wszystko zaczęło się w dobie rewolucji przemysłowej, kiedy to angielski wynalazca Thomas Newcomen zbudował pierwszy, atmosferyczny silnik parowy, którego konstrukcja została przedstawiona na rysunku 5.1. Maszyna parowa Thomasa Newcomena, pomimo wielu wad ograniczających wydajność i trwałość, ze względu na swoją pionierską konstrukcję, znalazła szerokie zastosowanie w kopalniach całej Europy jako narzędzie skutecznie ułatwiające i przyspieszające proces wydobywczy węgla.

Pierwszym, który postanowił poprawić konstrukcję istniejącego silnika parowego, czyli silnika konstrukcji Thomasa Newcomena, był szkocki inżynier i wynalazca James Watt. Twierdził on, że maszyna Newcomena, ze względu na błędną konstrukcję, ma więcej wad, niż zalet i to ona jest odpowiedzialna za zbyt dużą energochłonność.

Norway grants

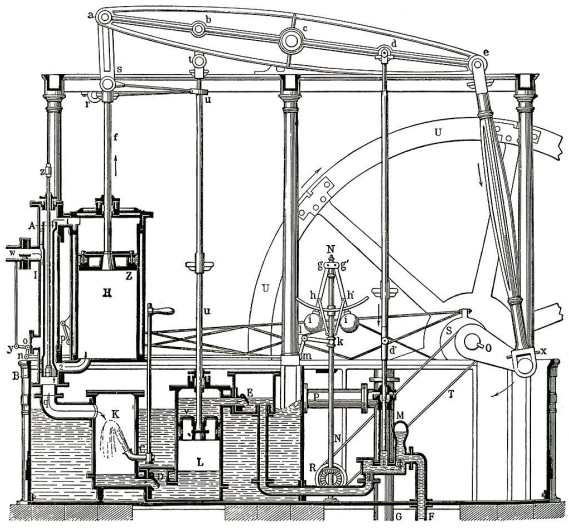
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 5.1: Maszyna parowa konstrukcji Thomasa Newcomena

Gdy James Watt skonstruował na nowo silnik parowy, przedstawiony na rysunku 5.2, okazało się, że wprowadzone przez niego ulepszenia techniczne sprawiły, że jego silnik generował taką samą moc jak silnik Newcomena, zużywając przy tym tylko jedną czwartą paliwa.



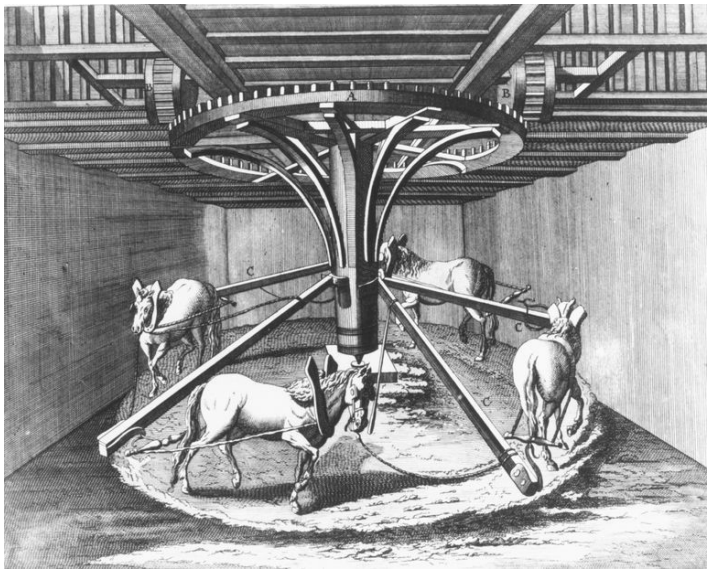
Rysunek 5.2: Maszyna parowa konstrukcji Jamesa Watta

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Zanim jednak Watt przedstawił swój projekt nowoczesnego silnika parowego, świat przyzwyczaił się już do silnika Newcomena, który był pierwszą tego typu maszyną, wykorzystującą do pracy parę. To sprawiło, że aby jego konstrukcja odniosła sukces musiał on przekonać dotychczasowych użytkowników oraz przyszłych nabywców silnika parowego do wyższości konstrukcji jego silnika, w stosunku do silnika Newcomena.

O ile przekonanie ludzi, dotychczas stosujących silniki parowe, nie było aż tak trudne - wystarczyło przedstawić korzyści idące ze zamiany dotychczasowego silnika na silnik jego konstrukcji, który rozwiązał wiele problemów technicznych i mógł do tego celu używać „żargonu silnikowego" lub po prostu powiedzieć: „Mój silnik robi to samo co silnik Newcomena, i zużywa przy tym 75% mniej paliwa" - o tyle zachęcenie ludzi niestosujących dotychczas maszyny parowej nie było już tak proste.

Chcąc jednak osiągnąć sukces marketingowy, Watt nie poprzestał na promocji swojego wynalazku, jedynie wśród dotychczasowych konsumentów silnika parowego. Postanowił natomiast pozyskać nowych klientów wśród osób, które dotychczas nie miały styczności z maszynami parowymi, a których zastosowanie przyniosłoby olbrzymie zyski dla nowych nabywców.



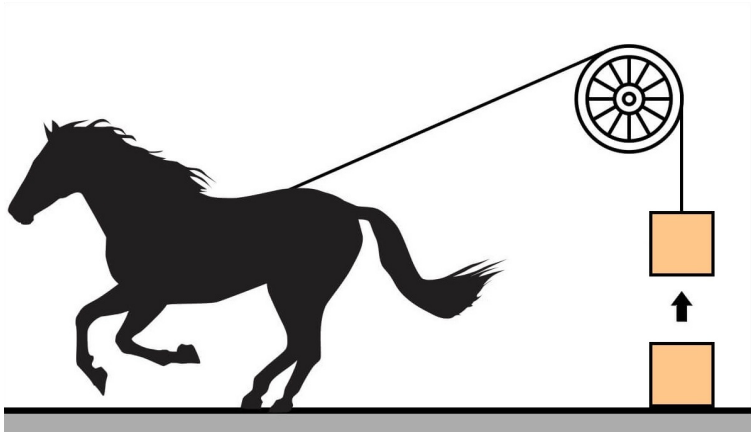
Rysunek 5.3: Maszyna napędzana końmi pociągowymi

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Rzecz w tym, że ludzie niestosujący wówczas silników parowych, chcąc wykonać pewną pracę, nadal najczęściej używali do tego celu koni pociągowych (rys. 5.3). W związku z tym, żadne argumenty związane z ulepszeniami technicznymi czy też oszczędnością paliwa nie były w stanie ich przekonać. Watt wymyślił więc sposób, w którym za pomocą liczb, ludzie nawet niestosujący dotychczas maszyn parowych, mogliby zrozumieć zalety jego silnika. Tym samym przedstawił im, w jaki sposób jego maszyna jest bardziej wydajna, niż stosowane przez nich konie pociągowe, na których polegali, zarabiając na życie.

Aby to osiągnąć, musiał za pomocą jednej jednostki porównać wydajność dwóch różnych podmiotów, czyli skonstruowanego przez siebie silnika parowego oraz prostego mechanizmu do napędu, w przypadku którego stosowano konie pociągowe.

Aby porównać silnik parowy i konia pociągowego, przystąpił do obliczeń wydajności typowego konia pociągowego. Rozpoczął od obserwacji przeciętnego konia, pod kątem wielkości wykonanej pracy w określonym czasie i na tej podstawie wyznaczył jednostkę mocy - nazwał ją **koń mechaniczny**. Wartość jednostki konia mechanicznego była wyznaczona w sposób zbliżony i określała jedynie to, jaką masę i na jaką wysokość, przeciętny koń pociągowy może podnieść w przeciągu określonego czasu (rys. 5.4).



Rysunek 5.4: Sposób pomiaru mocy konia pociągowego

W związku z tym, moc wyrażona w koniach mechanicznych nie była absolutna, ale nie miało to znaczenia zarówno dla Watta, jak również dla potencjalnych nabywców. Dla właściciela konia pociągowego liczyło się tylko to, że maszyna parowa, o mocy jednego konia mechanicznego,

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

wykona tę samą pracę, co jego koń pociągowy. A biorąc pod uwagę fakt, że maszyna parowa mogła pracować bez przerw, w porównaniu z przeciętnym koniem pociągowym pracującym około 8 godzin dziennie, silnik mógł wykonać 3 razy więcej pracy, niż pojedynczy koń pociągowy. Innymi słowy, jeden silnik parowy mógł zastąpić trzy konie, pracujące na zmianę, po 8 godzin dziennie.

Stworzona jednostka koń mechaniczny oraz porównanie maszyny parowej do konia pociągowego sprawiło cuda i dzięki temu, silnik Watta stał się jednym z najbardziej cenionych narzędzi rewolucji przemysłowej. Natomiast pojęcie koń mechaniczny stało się tak popularne, że jest stosowane do dziś jako jednostka uzupełniająca, opisująca moc silników spalinowych turbin i innych maszyn.

5.3 Koń koniowi nierówny

Powstała jednostka mocy, popularnie nazywana koniem mechanicznym, bardzo szybko rozpowszechniła się jako narzędzie opisujące moc silników parowych bądź silników spalinowych.

Jednakże, różnice w stosowanych jednostkach masy i długości, w różnych częściach świata, jak również różnice w zastosowanych technikach pomiaru mocy spowodowały, że koń koniowi nie był równy.



Rysunek 5.5: Koń koniowi nierówny

Wielkości mocy, podawanej w koniach mechanicznych, nie można było traktować w sposób równy. Dlatego postanowiono rozwiązać ten problem, wprowadzając nową jednostkę mocy. I nazwano ją Wat, na cześć szkockiego inżyniera i wynalazcy Jamesa Watta.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

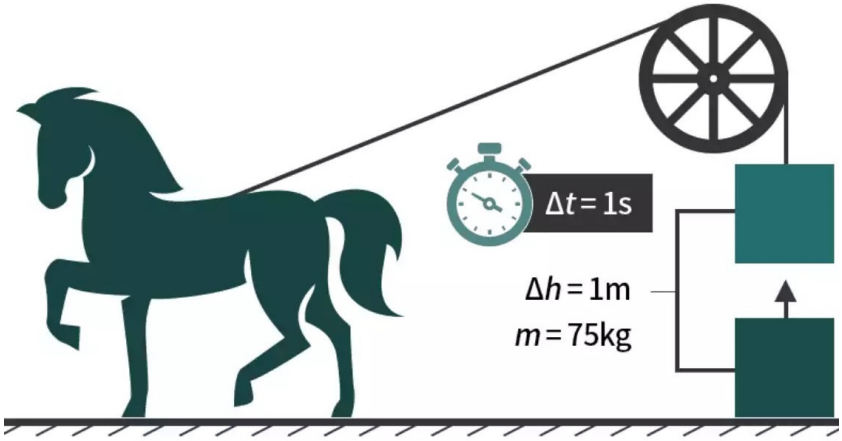
Definicja 5.1 — Wat (W). Jest to podstawowa jednostka mocy w układzie SI, odpowiadająca pracy równej jednemu dżulowi (J), wykonanej w ciągu jednej sekundy (s).

Jednostka ta została przyjęta przez Międzynarodowy Układ Jednostek i Miar i od tej pory Wat stał się podstawową jednostką, opisującą moc. Pomimo zastąpienia jednostki koni mechanicznych przez nową jednostkę mocy, jest ona ciągle stosowana zarówno przez producentów, jak i właścicieli samochodów. I wydaje się, że konie mechaniczne będą nam towarzyszyć jeszcze przez długi czas pod maskami naszych samochodów, gdyż termin ten najzwyczajniej w świecie lepiej przemawia do wyobraźni aniżeli kilowaty.

5.4 Jak obliczyć moc?

Chcąc obliczyć moc maszyny czy też człowieka, zgodnie z definicją 5.1, należy na początku obliczyć ilość pracy, jaka została wykonana, a następnie przeliczyć jej wielkość, pod kątem czasu potrzebnego do jej wykonania.

Sposób obliczania mocy zostanie przedstawiony na przykładzie pracy, wykonanej przez przeciętnego konia pociągowego. Stosując się do metodyki pomiaru, jaką zastosował James Watt, widzimy, że przeciętny koń pociągowy, w ramach wykonywanej pracy, w każdej sekundzie podnosi obciążenie o masie 75 kg na wysokość 1 metra zgodnie z tym co zostało przedstawione na rysunku 5.6.



Rysunek 5.6: Praca wykonana przez konia

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Obliczając moc stosujemy przedstawiony poniżej wzór:

$$P = \frac{F \cdot \Delta h}{\Delta t}$$

gdzie:
- P jest to obliczona moc,
- F jest to siła potrzebna do podniesienia obciążenia, i jest równa iloczynowi masy obciążenia i przyspieszenia ziemskiego F=m·g,
- Δh jest to wysokość na jaką zostało podniesione obciążenie,
- Δs jest to czas w jakim obciążenie zostało podniesione na zadaną wysokość.

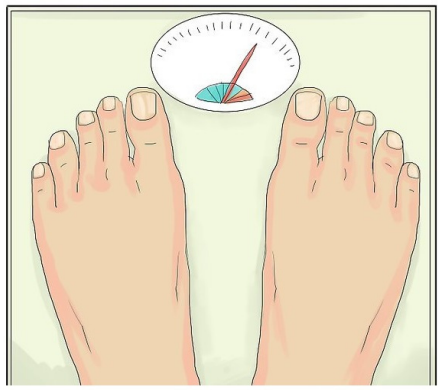
Podstawiając dane z rysunku 5.6 do powyższego wzoru otrzymujemy:

$$P = \frac{(75[kg] \cdot 9{,}80665[\frac{m}{s^2}]) \cdot 1[m]}{1[s]} \approx 735,5[W]$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że przeciętny koń pociągowy, pracując w sposób ciągły, generuje moc około 735,5 Watta. Przedstawiona wartość mocy jest uznawana za moc równą jednemu koniowi mechanicznemu.

5.5 Ile koni mechanicznych ma człowiek?

Człowiek może zmierzyć swoją moc w różny sposób. Poniżej zostanie przedstawiony jeden z nich. Zaletą tej metody jest to, że jest bardzo prosta, a narzędzia do przeprowadzenia pomiarów każdy znajdzie w swoim domu.

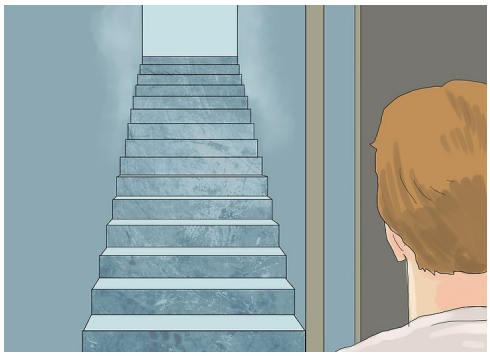


Rysunek 5.7: Waga człowieka zmierzona przy pomocy wagi

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

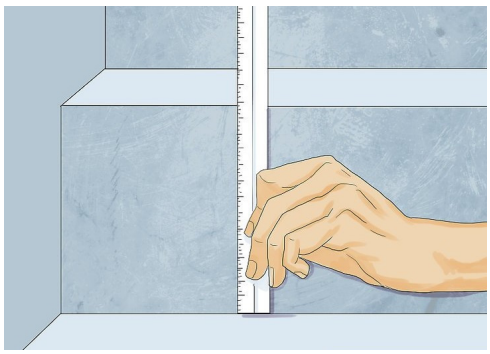
Na początku należy się zważyć, by poznać swoją dokładną wagę. Można do tego celu użyć zwykłej wagi łazienkowej, tak jak zostało to przedstawione na rysunku 5.7.

Kolejnym krokiem jest znalezienie odpowiednich schodów. Ważne jest, by przeprowadzenie pomiaru na tych schodach było bezpieczne, dlatego należy zwrócić uwagę na to, żeby nie znajdowały się na nich żadne przeszkody. Dodatkowo należy wybrać schody, które są rzadko uczęszczane przez ludzi, z tego względu, że przeprowadzenie pomiaru będzie wymagało wbiegnięcia po schodach na sam szczyt, mierząc jednocześnie czas przy pomocy stopera.



Rysunek 5.8: Schody wybrane do pomiaru mocy

Następnie, należy zmierzyć dokładną wysokość schodów, które zostały użyte na potrzeby przeprowadzenia pomiaru mocy. W tym celu, najprościej jest zmierzyć wysokość jednego ze stopni, tak jak zostało to przedstawione na rysunku 5.9, a następnie pomnożyć jego wysokość przez ilość wszystkich stopni schodów.



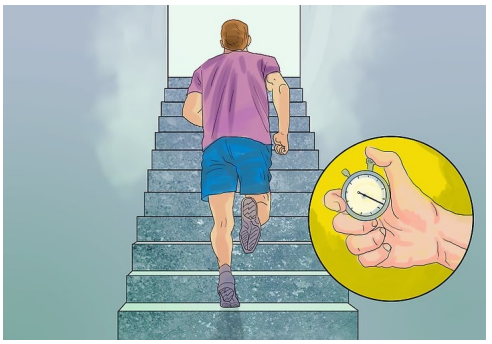
Rysunek 5.9: Sposób mierzenia wysokości schodów

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Jeśli wysokość schodów została zmierzona, należy teraz dokładnie zmierzyć czas, jaki jest potrzebny, aby wbiec po nich na sam szczyt. Żeby pomiar był dokładny, warto użyć to tego celu stopera. Pomiar czasu należy rozpocząć w momencie, kiedy jedna ze stóp wyląduje na stopniu, a zakończyć w momencie, kiedy obydwie stopy znajdą się na najwyższym stopniu.



Rysunek 5.10: Pomiar czasu

Ostatnim krokiem obliczenia mocy będzie podstawienie zmierzonych wartości do ogólnego wzoru na moc.

$$P = \frac{F \cdot \Delta h}{\Delta t}$$

Na potrzebę przedstawienia sposobu obliczenia przyjęto poniższe wartości:

Waga	Wysokość stopnia	Ilość stopni	Czas
100 kg	15 mm = 0,15 m	20	5 s

$$P = \frac{(100[kg] \cdot 9{,}80665[\frac{m}{s^2}]) \cdot (0{,}15[m] \cdot 20)}{5[s]} \approx 588,4[W]$$

Z powyższych obliczeń wynika, że mężczyzna posiada moc równą 588,4 Watów. Teraz, żeby poznać dokładną wartość w koniach mechanicznych, trzeba wyznaczyć, jaką część konia mechanicznego, stanowi jeden wat.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

$$1[KM] = 735,5[W]$$

Więc:

$$1[W] = \frac{1}{735,5} \approx 0,00136[KM]$$

Wiedząc, że 1 Wat jest równy około 0,00136 konia mechanicznego, można obliczyć siłę mężczyzny w koniach mechanicznych. W tym celu wystarczy pomnożyć moc wyrażoną w watach przez liczbę 0,00136.

$$588,4[W] \cdot 0,00136 \approx 0,8[KM]$$

Z powyższego równania wynika, że mężczyzna dysponuje mocą 0,8 konia mechanicznego. Na koniec spróbuj rozwiązać poniższe zadania, korzystając z wiedzy, którą nabyłeś po zapoznaniu się z niniejszym rozdziałem.

Ćwiczenie 5.1 Oblicz swoją moc, wyrażoną w koniach mechanicznych. Możesz skorzystać z opisanej wyżej metody pomiaru. ■

Ćwiczenie 5.2 Winda, ważąca 400 kilogramów, podnosi dwójkę pasażerów na wysokość 35 metrów, w czasie 40 sekund. Oblicz moc windy, wiedząc, że kobieta waży 50 kilogramów, a mężczyzna 75 kilogramów.



Rysunek 5.11: Pasażerowie jadący windą

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Dane:
masa windy - 400[kg]
masa kobiety - 50 [kg]
masa mężczyzny - 75[kg]
droga - 35[m]
czas - 40[s]

Szukane:
moc = ?

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



6. W pogoni za mocą

Jan Czyżewski

6.1 Wstęp

W zasadzie już od momentu powstania pierwszych, poprawnie działających silników (przy czym jako pierwsze znacznie rozpowszechniły się silniki parowe), zaczął się wyścig konstruktorów w zwiększaniu mocy tych maszyn. Przekładało się to na większe możliwości transportowe napędzanych nimi pojazdów, jak i możliwość napędzania coraz większych maszyn i urządzeń. Najwięcej emocji budziła jednak zawsze prędkość pojazdów, która rosła cały czas wraz ze wzrostem mocy ich silników. Oprócz pojazdów drogowych, rosła też prędkość statków i okrętów. Widowiskowym przykładem tego wyścigu były szybkie lokomotywy parowe, które pod koniec lat 30. XX wieku potrafiły przekroczyć, ciągnąc pociągi ekspresowe, barierę 200 km/h. Stopniowo odkrywano kolejne rozwiązania konstrukcyjne, pozwalające nie tylko wydatnie zwiększyć moc, ale też sprawność silników parowych. Przykładowo, stopniowo podnoszono ciśnienie pary w zasilających te maszyny kotłach i dodatkowo zwiększano jej temperaturę przed wlotem do silnika. Podobne ewolucje przechodziły w swym rozwoju silniki spalinowe, o czym opowiada krótko niniejszy rozdział.

Wraz z rozwojem techniki, jeśli chodzi o silniki cieplne, pierwszeństwo w wielu zastosowaniach zaczęły zdobywać silniki o spalaniu wewnętrznym. Jako pierwsze, na szeroką skalę, pojawiły się spali-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

nowe silniki tłokowe. Ich konstrukcja z tłokiem, wykonującym ruch posuwisto–zwrotny, przekształcanym następnie w ruch obrotowy wału korbowego, wywodziła się w dużym stopniu z silników parowych. Zasadniczą różnicę stanowiło to, że silnik nie był zasilany czynnikiem roboczym (czyli zazwyczaj parą wodną) pod ciśnieniem, dostarczanym z zewnątrz. Wzrost ciśnienia uzyskiwano w komorze spalania silnika, na skutek zachodzącej gwałtownie reakcji chemicznej. Silniki takie, nie potrzebując kotłów, czy zapasów wody, były zdecydowanie mniejsze i lżejsze od parowych odpowiedników. Otworzyło to drogę dla rozwoju samolotów oraz coraz szybszych i mocniejszych pojazdów lądowych, które mogły być teraz również mniejsze i lżejsze.

Poniżej zostanie omówionych krótko kilka ważnych zagadnień, dotyczących budowy silników oraz historia zmagań, które toczyli konstruktorzy na przestrzeni wielu dekad. Stopniowe zdobywanie doświadczeń i wprowadzanie nowych rozwiązań zaowocowało powstaniem nowoczesnych silników spalinowych, które znamy dzisiaj. Wspomniane zostaną też kierunki rozwoju silników, które wydawały się bardzo obiecujące, ale okazały się jednak być ślepą uliczką. Przy czym, skupimy się tylko na silnikach tłokowych.

6.2 Paliwa

Od początku ery silników o spalaniu wewnętrznym, aż do dzisiaj, reakcja chemiczna w komorze spalania zachodzi najczęściej między paliwem węglowodorowym (benzyna, olej napędowy, gaz ziemny lub LPG i szereg innych substancji), a tlenem zawartym w otaczającym nas powietrzu. Aby proces spalania mógł przebiegać poprawnie, paliwo i powietrze muszą zostać właściwie wymieszane i stworzyć mieszankę palną. W tym momencie warto wspomnieć o dwóch podstawowych cyklach pracy silnika.

6.3 Cykle pracy silnika

Silniki z zapłonem wymuszonym

Pierwszym jest tzw. **cykl Otta**, który znamy z silników o zapłonie wymuszonym. Silniki te pracują w ten sposób, że w komorze spalania zamknięta jest gotowa mieszanina paliwa i powietrza, zapalana w odpowiednim momencie przez układ zapłonowy. Najpopularniejszym rozwiązaniem są świece zapłonowe posiadające elektrody, pomiędzy którymi przeskakuje iskra elektryczna. Iskra ta inicjuje proces spalania, który obejmuje stopniowo całą zgromadzoną w komorze spalania mie-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

szankę palną. W bardzo wczesnych silnikach z zapłonem wymuszonym, mieszanka palna nie była sprężana przed procesem spalania. Bardzo szybko odkryto jednak, że sprężenie jej przed spalaniem, pozwala na drastyczny wzrost możliwości silnika.

Silniki z zapłonem samoczynnym

Drugim cyklem jest **cykl Diesla**. Tutaj zasada działania jest nieco inna. W komorze spalania znajduje się samo powietrze, sprężone do odpowiednio wysokiego ciśnienia (przez co wzrasta też jego temperatura). W ustalonym momencie do komory spalania podawane jest paliwo, które w takich warunkach jest zdolne do samozapłonu (np. olej napędowy). W kontakcie z powietrzem, paliwo zaczyna się spalać i dalej rozprzestrzenia się po komorze spalania, zużywając stopniowo dostępny tlen. Wynika stąd, że silnik Diesla wymaga do działania wstępnego sprężenia powietrza i to w znacznym stopniu. Stąd też popularnie nazywa się te silniki wysokoprężnymi.

6.4 Spalanie stukowe

Szybko pojawił się jednak problem, zwany **spalaniem stukowym**. Najlepiej, aby proces spalania odbywał się stosunkowo powoli (rozprzestrzeniania się czoła płomienia z prędkością kilkudziesięciu, maksymalnie kilkuset km/h). Nie dochodzi wtedy do niszczenia elementów silnika. Jednak im bardziej gotowa mieszanka palna jest sprężona i rozgrzana, tym gwałtowniej zachodzi proces spalania. Prędkość spalania może się wtedy zwiększać o rzędy wielkości. Tak gwałtowny przebieg spalania ma już charakter eksplozji, niszczącej elementy silnika. Wywołuje też wyraźne efekty dźwiękowe, w postaci charakterystycznego stuku, od którego zjawisko wzięło swoją nazwę. Oprócz tego, przy wysokim ciśnieniu i temperaturze, możliwy jest też samozapłon mieszanki, czyli jej samorzutne, niekontrolowane zapalenie. Jest to również zjawisko bardzo groźne dla silnika. Podstawowym rozwiązaniem jest więc ograniczenie stopnia sprężania silnika, aby zmniejszyć ciśnienie i temperaturę w komorze spalania. Efektem są jednak mała moc i sprawność silnika. Dlatego zaczęto eksperymentować z paliwami, które niechętnie zapalałyby się samoczynnie i płonęły powoli, nawet w silnikach o dużym stopniu sprężania. Jednym z takich paliw jest trujący metanol. Okazało się też, że benzynę da się do tego „zniechęcić", mieszając z nią pewne dodatki. Niegdyś stosowano w tym celu czteroetylek ołowiu. Wprawdzie bardzo dobrze spełniał on swoje zadanie, był jednak substancją trującą, trudną do usunięcia ze środowiska natu-

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Norway grants
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

ralnego. Dlatego stworzono, znane nam dzisiaj, benzyny bezołowiowe. Czteroetylek ołowiu zastąpiono w nich innymi związkami chemicznymi, które działają podobnie, ale są znacznie mniej szkodliwe. O odporności danego paliwa na spalanie stukowe, mówi liczba oktanowa. Wynika ona z porównania danego paliwa z testową mieszaniną dwóch paliw wzorcowych – jednego o liczbie oktanowej 0 (n-heptanu, nieodpornego na spalanie stukowe) i drugiego o licznie 100 (izooktanu, bardzo odpornego). A więc np. benzyna o liczbie oktanowej 95 odpowiada swoją odpornością na spalanie stukowe mieszance paliw wzorcowych w proporcji 5% n-heptanu i 95 % izooktanu. Istnieją przy tym paliwa o liczbie oktanowej wyższej niż 100 (np. popularny gaz LPG), czyli odporne na spalanie stukowe bardziej niż czysty izooktan. Silniki o dużym stopniu wysilenia wymagają stosowania paliw o wysokiej liczbie oktanowej, dlatego często samochody po modyfikacjach wymagają tankowania benzyny 98, a konstrukcje wyczynowe wykorzystują paliwa specjalne. Spalanie stukowe ogranicza też (w przypadku zasilania silnika benzyną) podawanie do komory spalania wody lub metanolu, dlatego wtrysk tych substancji przy maksymalnych obciążeniach silnika był (i jest) stosowany w silnikach wyczynowych, czy w erze masowego stosowania silników tłokowych w samolotach bojowych.

6.5 Wydajność

Kolejną kwestią jest przekształcenie jak największej ilości energii cieplnej, uwolnionej w procesie spalania, w energię mechaniczną. Mówimy wtedy o sprawności silnika. W najbardziej rozpowszechnionych odmianach silników z zapłonem iskrowym docierano, jeszcze niedawno, do granicy około 30%, a w wysokoprężnych do 40%. Oznacza to, że zaledwie 30% lub 40% uwolnionej energii było przekształcane przez silnik w użyteczną pracę. Reszta energii była zużywana na pokonywanie oporów ruchu samego silnika, rozpraszana przez układ chłodzenia, utrzymujący silnik w wymaganej temperaturze pracy oraz ulatywała wraz ze spalinami. Oczywiście straty te od zawsze starano się ograniczać. Dlatego zawsze dążono do ograniczenia oporów własnych silnika. W tym celu starano się ograniczyć liczbę elementów ruchomych w silnikach, konstruować doskonalsze łożyska i stosować oleje o mniejszej lepkości, generujące mniejsze opory. Między innymi, właśnie dlatego współcześnie buduje się mniejsze silniki, o mniejszej liczbie cylindrów, aby ograniczyć liczbę i masę współpracujących elementów i uzyskać w ten sposób mniejsze opory ruchu. Nieco trudnej jest z chłodzeniem, ponieważ nie da się zbytnio podnieść temperatury pracy silnika, ze

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

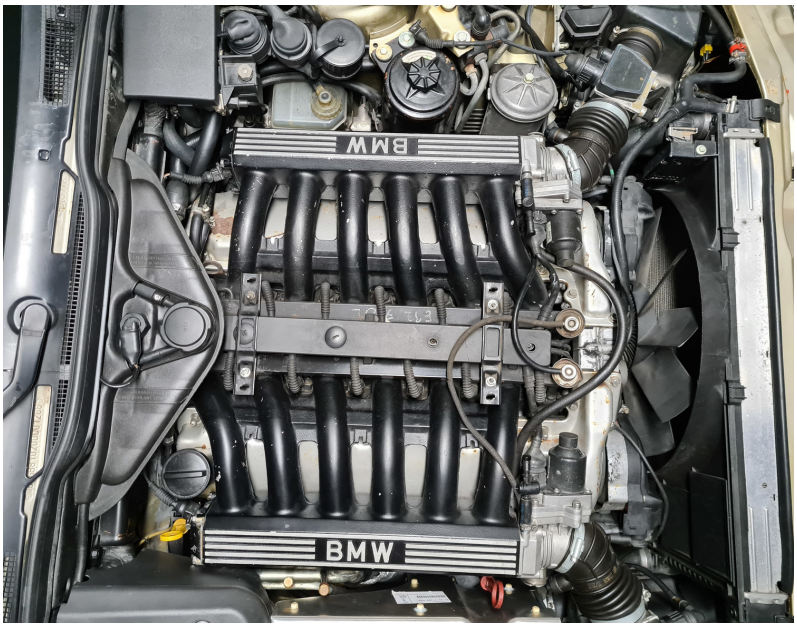
względu na stosowane materiały i ciecze chłodzące. Jednak nowe silniki samochodowe posiadają często niezależne obiegi chłodzące dla głowicy i bloku silnika, pracujące w różnych temperaturach, co pozwala na optymalizację warunków pracy silnika. W kwestii sprawności, tradycyjnie przewagę posiadają silniki Diesla, ze względu na wysoki stopień sprężania. Jednak zawsze dużo energii jest traconej na skutek wypuszczania z cylindrów spalin, posiadających jeszcze duże ciśnienie i wysoką temperaturę.

Jedno z rozwiązań tego problemu zaproponował już pod koniec XIX wieku James Atkinson. Skonstruował on silnik, w którym tłok pokonywał dłuższą drogę w czasie suwu pracy, niż w czasie suwu sprężania. Taka konstrukcja umożliwiała odzyskanie ze spalin większej ilości energii. Silnik ten posiadał skomplikowany układ korbowy, co przyczyniło się do nie rozprzestrzenienia go na rynku. Do idei powrócono na większą skalę dopiero wiek później, ale w uproszczonej formie. Podobny efekt uzyskano w silnikach z klasycznym układem korbowym, wydłużając czas otwarcia zaworów ssących, tak aby zamykały się dopiero po pokonaniu, przez tłok, pewnego dystansu podczas suwu sprężania. W praktyce pozwoliło to na skrócenie suwu sprężania, względem suwu pracy i uzyskanie efektu jak w oryginalnym silniku Atkinsona. Silnik taki jest bardziej ekonomiczny, jednak rozwija niższą od klasycznego odpowiednika moc. Dlatego zaczęto do tego typu silników dodawać sprężarki mechaniczne, pozwalające na zwiększenie mocy. Silniki takie znamy, jako pracujące w cyklu Millera.

6.6 Więcej mocy

Aby zwiększyć moc silnika, należy skutecznie spalić w jednostce czasu jak najwięcej paliwa, aby uwolnić jak najwięcej energii. Wynika z tego również, że im bardziej kaloryczne jest paliwo (im więcej energii jest zmagazynowanej w danej jego masie), tym lepiej. Najpopularniejszym paliwem są węglowodory pochodzące z rafinacji ropy naftowej. Dla osiągania dużych mocy, często używa się paliw specjalnych, np. z dodatkiem nitrometanu, wyzwalających jeszcze więcej energii. **Moc** jest iloczynem momentu obrotowego i obrotów silnika. Moment obrotowy uzyskujemy nie inaczej, niż przez jednorazowe „upakowanie" w komorach spalania jak największej ilości mieszanki palnej. Niezawodną metodą jest więc tutaj, po prostu, zwiększenie pojemności silnika. Można to uzyskać, zwiększając pojemność poszczególnych cylindrów, jak również dodając kolejne cylindry. Stąd wzięły się różne konfiguracje cylindrów, od układów rzędowych, przez silniki widlaste (popularnie

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 6.1: Samochodowy silnik V12 (BMW E34 750i)

oznaczane literą V) o dwóch cylindrach lub rzędach cylindrów ustawionych względem siebie pod kątem, przez układy o większej ilości rzędów cylindrów, ustawionych względem siebie również pod określonym kątem (np. silniki W o czterech rzędach cylindrów), po silniki typu bokser, o przeciwlegle ustawionych cylindrach. Osobną, bardzo ciekawą grupę stanowią silniki gwiazdowe, najbardziej rozpowszechnione w lotnictwie. Cylindry otaczają tam wał korbowy. Zdarzają się również bardziej niecodzienne konfiguracje, jak np. silnik Deltic, w którym cylindry stanowią boki trójkąta, a w wierzchołkach znajdują się wały korbowe. W każdym cylindrze pracują po dwa tłoki, maksymalnie zbliżające się do siebie pod koniec suwu sprężania. Powiększanie silnika wiąże się jednak ze zwiększeniem jego wielkości i masy. Żeby jak najlepiej wykorzystać pojemność, którą już dysponujemy, można wykorzystać opisane dalej sztuczki z układem dolotowym i wydechowym. Po drugie, można zwiększać prędkość obrotową silnika, co jednak nie jest do końca takie proste. Wymaga bowiem zazwyczaj skrócenia skoku tłoka (ze względu na ograniczenia prędkości ruchu, jakie tłok jest w stanie wytrzymać), co z kolei zmniejsza moment obrotowy (krótsze ramię, na które działa siła nacisku przenoszona z tłoka). Wymagane jest też dużo dokładniejsze wyważenie elementów układu korbowego.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

6.7 Rozrząd

Dla uzyskania dużej mocy silnika, konieczne jest zapewnienie skutecznej wymiany ładunku (pozbywanie się spalin i zastępowanie ich świeżym powietrzem/mieszanką palną). Wraz ze wzrostem obrotów, staje się to coraz trudniejsze, ze względu na coraz krótszy czas przypadający na każdy cykl pracy. To zaś wymaga stosowania coraz większych zaworów (lub zwiększania ich liczby, stąd silniki o trzech, czterech, pięciu lub czasami większej ilości zaworów na cylinder) wraz z odpowiednio dużymi kanałami dolotowymi i wydechowymi oraz długich czasów otwarcia zaworów, które jednak nie sprawdzają się przy niższych prędkościach obrotowych. Dlatego wysokoobrotowe silniki z klasycznym rozrządem, zazwyczaj są słabe w zakresie niskich, czy nawet średnich obrotów.

Ogólnie układy rozrządu podlegały długiej drodze rozwoju. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem są zawory, które otwierają się na skutek obrotu krzywki na wałku rozrządu, unoszącej zawór w odpowiednim momencie. Za zamknięcie zaworu odpowiada zaś sprężyna. Znane są też rozrządy desmodromowe, gdzie również za zamykanie zaworów odpowiada specjalna krzywka. Stosuje się je w niektórych silnikach osiągających bardzo wysokie obroty, gdzie potrzebne byłyby sprężyny o bardzo dużej sile nacisku. Inny ciekawym rozwiązaniem konstrukcyjnym jest tzw. rozrząd Knighta, wykorzystujący ruchomą tuleję cylindrową, wyposażoną w okna, podobnie jak w silnikach dwusuwowych. Ruch tulei jest tu jednak sterowany dosyć złożonym układem mechanicznym i to sama tuleja odpowiada za otwieranie i zamykanie okien.

Jeśli chodzi o klasyczne układy rozrządu, pierwszymi były układy z zaworami umieszczonymi w bloku silnika, obok cylindrów (oznaczane skrótem SV od ang. Side Valve – boczny zawór). Układ taki był prostszy w produkcji i umożliwiał stosowanie prostych głowic, wyposażonych jedynie w świecę zapłonową. Skuteczna wymiana ładunku była jednak utrudniona, nie dało się też uzyskać wysokiego stopnia sprężania. Niemożliwe było więc stworzenie silnika wysokoprężnego z takim układem rozrządu. Dziś tego typu układ możemy jeszcze spotkać np. w kosiarkach do trawy. Następnie przeniesiono zawory do głowicy, co skomplikowało konstrukcję silnika, ale pozwoliło na znaczący wzrost mocy, dzięki usprawnieniu wymiany ładunku i wzrostowi stopnia sprężania. Wałek rozrządu pozostał w bloku, układy takie nazwano OHV (ang. Over Head Valve, czyli zawór w głowicy). Do napędu zaworów służyły dźwigienki i długie popychacze, łączące wałek z zaworami. Elementy te posiadały w sumie sporą masę, a więc i bezwładność

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

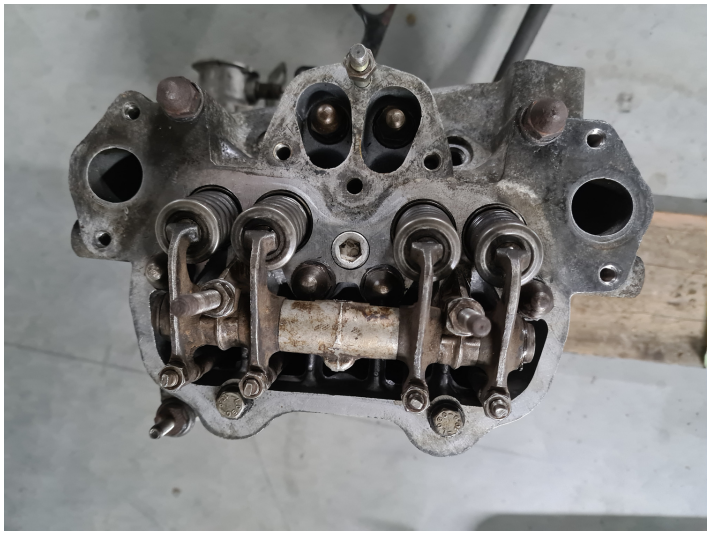
oraz generowały dodatkowe opory ruchu. Dlatego zaczęto przenosić wałki rozrządu do głowic, w bezpośrednie sąsiedztwo zaworów (układ OHC, od ang. Over Head Cam, czyli wałek w głowicy). W bardziej wyrafinowanych układach stosuje się po dwa wałki rozrządu w głowicy, zazwyczaj osobne dla zaworów ssących i wydechowych (DOHC – ang. Double Over Head Valve, czyli dwa wałki rozrządu w głowicy). Wadą klasycznego rozrządu jest niezmienny kąt otwarcia zaworów (liczony jako kąt obrotu wału korbowego, od momentu otwarcia do momentu zamknięcia zaworu). Oznacza to, że wraz ze wzrostem obrotów silnika, czas przeznaczony na ucieczkę spalin i dopływ świeżego ładunku, skraca się. Powoduje to kłopoty z wymianą ładunku i wraz ze wzrostem obrotów silnik słabnie. Ogranicza to, oczywiście, moc maksymalną. Z tego powodu rozpowszechniły się układy zmiennych faz rozrządu, pozwalające dostosować czas otwarcia zaworów do chwilowych potrzeb silnika. Część z tych układów potrafi regulować również skok zaworu, czyli wysokość na którą unosi się zawór. Wczesne układy zmiennych faz działały tylko na zawory ssące, w nowszych rozwiązaniach również na wydechowe. Najnowszym i rewolucyjnym rozwiązaniem jest układ całkowicie płynnego sterowania otwarciem zaworów. Może to być realizowane elektromagnetycznie, pneumatycznie lub hydraulicznie. Tego typu rozrząd określa się mianem „bezwałkowego" ze względu na brak wałków rozrządu. Układ taki pozwala nawet na pozbycie się przepustnicy w silnikach z zapłonem iskrowym i daje zupełnie nowe możliwości sterowania mocą silnika. Pomimo trwających od lat prac badawczych, ze względu na skomplikowaną konstrukcję, obecnie tylko jeden producent wprowadził na rynek silnik z funkcjonalnym układem tego typu.

6.8 Doładowanie

Kiedy jednak wyczerpiemy już limit wielkości silnika i obrotów, do których możemy go rozkręcić, a wymiany ładunku nie da się już poprawić, konieczne staje się sięgnięcie po doładowanie. Doładowanie polega na napełnianiu komory spalania pod ciśnieniem, większym niż atmosferyczne. Metody dynamiczne zostały wspomniane przy omawianiu układu dolotowego i wydechowego, teraz skupmy się na pozostałych.

Najprostszym sposobem na spalenie większej ilości paliwa, jest dostarczenie większej ilości tlenu. Naturalnie, ktoś wpadł na pomysł dostarczania do silnika dodatkowego tlenu (np. z butli) celem uzyskania chwilowych wzrostów mocy. Czysty tlen nie jest jednak najlepszym rozwiązaniem, ze względu na tendencję do wchodzenia w reakcję z pa-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 6.2: Silnik czterosuwowy, typu OHV. Widoczne są dźwigienki zaworowe oraz sprężyny zaworów

liwem, jeszcze przed momentem zapłonu mieszanki. Dlatego w takim charakterze wykorzystuje się podtlenek azotu N_2O – popularnie „nitro"), wykorzystywany też jako gaz rozweselający. Związek ten rozpada się, w warunkach wysokiego ciśnienia i temperatury, na azot i tlen. W sam raz takich, jakie panują w komorze spalania pod koniec suwu sprężania, jest więc bezpieczny. Wystarczy zwiększyć odpowiednio dawkę paliwa i uzyskujemy wzrost mocy. Jest to jednak wzrost krótkotrwały, ograniczony pojemnością butli i bardzo wysoką ceną N_2O. Co jeśli chcemy dysponować mocą przez cały czas? Należy tutaj zastosować którąś ze sprężarek.

Najstarszym rozwiązaniem są sprężarki mechaniczne, napędzane przez wał korbowy silnika. Najczęściej są to sprężarki wyporowe, np. sprężarki Rootsa czy Lysholma. Bardzo ciekawym rozwiązaniem była sprężarka spiralna typu G, której konstrukcja była jednak trapiona pewnymi usterkami. Rzadziej spotyka się sprężarki przepływowe, głównie promieniowe z napędem mechanicznym. Wspólną cechą wymienionych rozwiązań jest konieczność wytworzenia dodatkowej mocy do ich napędu, a moc ta jest często niemała. W zamian otrzymuje się jednak natychmiastową reakcję sprężarki na wzrost obrotów silnika i zapotrzebowania na tłoczone powietrze. Oczywiście, im więcej chcemy uzyskać mocy, tym większej potrzeba sprężarki.

Nieco sprytniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie turbosprężarki.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

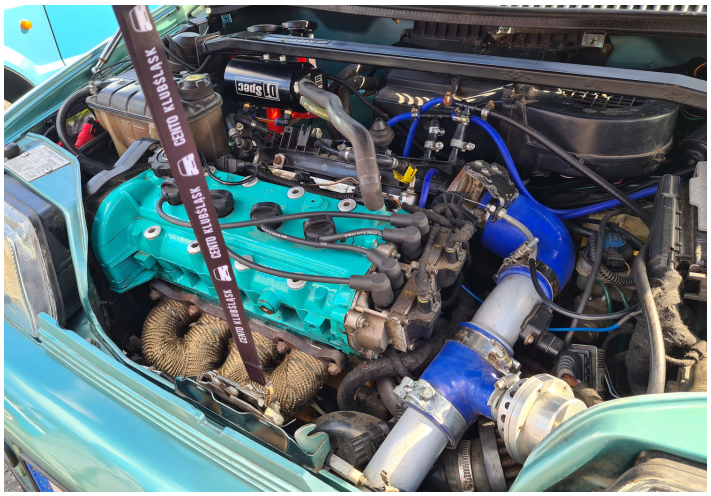


Rysunek 6.3: Turbosprężarka w silniku z zapłonem iskrowym

Urządzenie to składa się ze sprężarki przepływowej, najczęściej promieniowej, napędzanej przez turbinę. Źródłem napędu turbiny, są zaś spaliny, których energia jest zazwyczaj, po opuszczeniu silnika, bezpowrotnie tracona. Turbosprężarka pracuje więc, w pewnym sensie, za darmo. Oprócz oczywistych zalet, rozwiązanie to posiada też wady. Należy do nich opóźnienie działania, tym dłuższe, im większa jest, w stosunku do silnika turbosprężarka. Po gwałtownym dodaniu gazu, podjęcie pracy przez turbosprężarkę nie następuję często natychmiast, lecz potrzebny jest czas na rozpędzenie jej wirnika, szczególnie kiedy silnik wytwarza jeszcze niewiele spalin. Jest efekt, zwany „turbodziurą". Z tego powodu, w silnikach o dużych mocach, stosuje się układy z większą ilością turbosprężarek, połączonych równolegle (mniejszym turbosprężarkom towarzyszy nieco mniejsze opóźnienie działania) lub z turbosprężarkami różnej wielkości. W takim przypadku przy niższych obrotach pracuje mała turbosprężarka, rozpoczyna pracę bardzo szybko, a przy wyższych obrotach wchodzi do akcji turbosprężarka większa, pozwalając na osiągnięcie dużej mocy.

Bardzo ciekawym rozwiązaniem jest układ Comprex, przypominający nieco swoim układem bębenek rewolweru. Posiada on napęd mechaniczny, ale energia jest potrzebna tylko do wywołania obrotu bębna. W bębnie znajdują się rury. Z obu stron bęben jest zamknięty ściankami, do których doprowadzone są, w odpowiednich miejscach, z jednej strony wlot powietrza z filtra powietrza, wlot powietrza do silnika, oraz z drugiej strony wylot spalin z silnika i wylot do układu

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



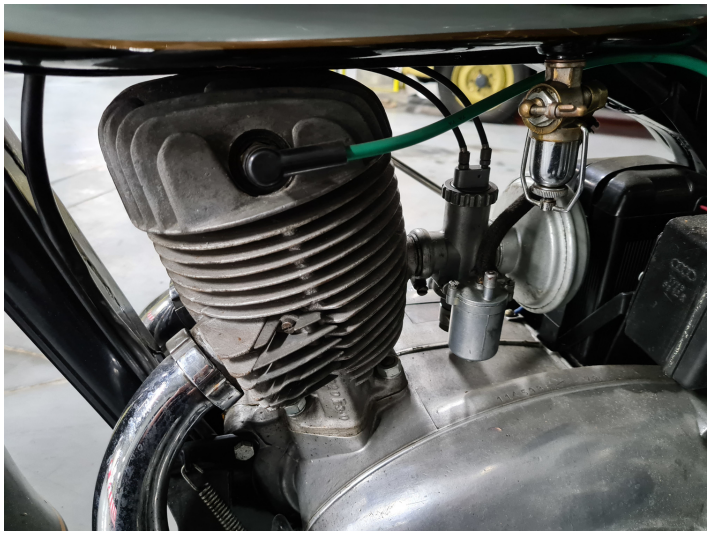
Rysunek 6.4: Silnik z turbodoładowaniem w zmodyfikowanym Fiacie Cinquecento

wydechowego. Każda z rur bębna, obracając się, trafia po kolei na wlot z filtra powietrza, kiedy rura wypełnia się świeżym powietrzem. Obracając się dalej, trafia naraz na wlot spalin z silnika z jednej strony i wlot powietrza do silnika z drugiej. Rozpędzony spaliny, będąc pod ciśnieniem, przetłaczając świeże powietrze z bębna do układu dolotowego. Bęben kręci się dalej i rura zostaje zamknięta. Strumień rozpędzonych spalin uderza w ścinkę, odbija się od niej i rusza w przeciwnym kierunku. Wtedy, dalszy obrót bębna powoduje otwarcie się wylotu do układu wydechowego, gdzie wpadają rozpędzone spaliny. Ich bezwładność powoduje powstanie z drugiej strony podciśnienia, ale wtedy otwiera się kanał z filtra powietrza, umożliwiając zassanie świeżego powietrza. Cykl toczy się dalej. Oczywiście zdarzają się połączenia dwóch systemów doładowania, np. zastosowanie sprężarki mechanicznej plus turbosprężarki.

6.9 Silniki dwusuwowe

Najczęściej spotykany, czterosuwowy cykl pracy, składa się z czterech suwów: ssania, sprężania, pracy i wydechu. Każdy suw odpowiada ruchowi tłoka od jednego skrajnego położenia do drugiego, a więc połowie pełnego obrotu wału korbowego. Pełny cykl pracy zajmuje więc dwa obroty wału. Łatwo domyślić się, że gdyby udało się przeprowadzać cykl pracy częściej, doprowadziłoby to do zwiększenia mocy silnika.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

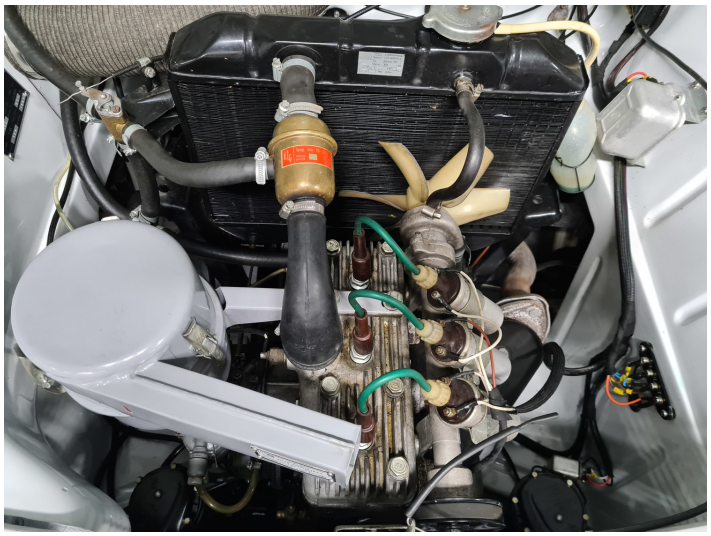


Rysunek 6.5: Motocyklowy silnik dwusuwowy o jednym cylindrze chłodzonym powietrzem (DKW NZ 350)

Tak działają silniki dwusuwowe. Praca zachodzi w każdym z ich cylindrów, co obrót wału korbowego. Wymaga to jednak przeprowadzania w tym samym czasie opróżniania cylindra ze spalin i napełniania go świeżą mieszanką. Stanowi to problem, ponieważ w silniku czterosuwowym, każdy z tych procesów jest naturalnie wymuszony przez ruch tłoka. W silniku dwusuwowym można tego dokonać na dwa sposoby. W mniejszych i prostszych konstrukcjach, do procesu wymiany ładunku wykorzystuje się skrzynię korbową silnika, czyli przestrzeń pod tłokiem, zajmowaną też przez wał korbowy i, zazwyczaj, olej smarujący silnik. W tym przypadku, w czasie suwu sprężania, czyli ruchu tłoka w górę, trwa jednocześnie zasysanie świeżej mieszanki do skrzyni korbowej, a więc ssanie. Rozrząd w takim silniku jest najczęściej realizowany za pomocą okien wykonanych w tulei cylindra, odsłanianych i przysłanianych przez tłok. W głowicy znajduje się tylko świeca zapłonowa. Brak ruchomych elementów rozrządu bardzo upraszcza konstrukcję. Pod koniec suwu pracy, tłok odsłania najpierw okno wydechowe, pozwalając ujść spalinom, a zaraz potem okna płuczące, połączone ze skrzynią korbową. Zamknięta tam mieszanka jest wtedy przetłaczana do cylindra, ponad tłok i wypycha stamtąd resztki spalin. Tłok, powracając ku górze, zamyka kolejno okna płuczące i wydechowe, a jego dolna krawędź odsłania wlot mieszanki do skrzyni korbowej. W tym miejscu może być też alternatywnie stosowany, jednokierunkowy zawór mem-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

branowy. Silniki takie nie mogą zwykle posiadać zwyczajnego układu smarowania, smarowane są więc olejem dodawanym do zasilającego je paliwa (które odparowuje w kontakcie z rozgrzanymi elementami silnika, a olej spływa do elementów wymagających smarowania) lub jest podawany przez specjalne pompki dozujące. Olej jest później porywany do cylindra i ulega spaleniu, stąd charakterystyczne dymienie tych silników.



Rysunek 6.6: 3-cylindrowy silnik dwusuwowy z chłodzeniem cieczą (FSO Syrena Laminat)

Alternatywnym rozwiązaniem jest silnik dwusuwowy z osobną pompą ładującą. W takim wypadku, skrzynia korbowa nie jest wykorzystywana do przetłaczania ładunku i silnik może mieć zamknięty układ smarowania. Do wymuszenia wymiany ładunku stosuje się wspomniane pompy ładujące. Kiedyś stosowano pompy tłokowe, później rozpowszechniły się sprężarki wyporowe, omówione już w kontekście doładowania. Silniki takie często posiadały też dodatkowo turbosprężarki, które rozpoczynały pracę przy większym obciążeniu silnika, kiedy ilość spalin była już wystarczająca do ich napędu. Występują również silniki dwusuwowe, wyposażone w głowice z zaworami wydechowymi. W takim wypadku spaliny opuszczają silnik przez zawory, sterowane jak w czterosuwach, a świeży ładunek napływa przez okna w cylindrze. W dwusuwach niezwykle istotny jest układ wydechowy. Jest on zaprojektowany tak, aby w momencie otwarcia wylotu spalin z cylindra, maksymalnie wspomagać ich ucieczkę. Ze względu na to,

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

że świeża mieszanka ma bezpośredni kontakt ze spalinami, jej część ucieka do wydechu. Dlatego układy te umożliwiają też wywołanie fali powrotnej, która wtłacza tą mieszankę na powrót do cylindra, tuż przed zamknięciem wylotu przez tłok. Proces wymiany ładunku nie jest tu jednak doskonały, dlatego dwusuwy praktycznie nigdy nie osiągają mocy dwukrotnie większej, niż silnik czterosuwowy o analogicznej wielkości.

6.10 Silnik Wankla

Jedną z podstawowych wad klasycznych silników tłokowych, jest konieczność zamiany posuwisto–zwrotnego ruchu tłoka, w ruch obrotowy wału korbowego. Konstrukcja ta wywodzi się jeszcze z tłokowych silników parowych. Wiąże się z tym większa ilość elementów ruchomych silnika, problemy z wyważeniem silnika (w efekcie powstawanie wibracji), większe opory ruchu i ograniczenia w dopuszczalnej prędkości obrotowej. Od zawsze marzeniem konstruktorów było zbudowanie silnika, którego tłok od razu wykonywałby ruch obrotowy.



Rysunek 6.7: Mazda z serii RX, jeden z niewielu, wywarzanych serynie, samochodów z silnikiem Wankla

Pierwszym funkcjonalnym silnikiem tego typu i wielką nadzieją motoryzacji, był silnik Wankla, zwany silnikiem z wirującym tłokiem. Tłok, w kształcie trójkąta o wypukłych bokach, pracuje w cylindrze o epitrochoidalnym kształcie. Tłok obraca się mimośrodowo, a jego wierzchołki, będąc cały czas w kontakcie z cylindrem, dzielą jego obję-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

tość na komory. W komorach, których objętość i kształt zmieniają się wraz z ruchem tłoka, zachodzą suwy ssania, sprężania, pracy i wydechu. Rozrząd jest realizowany, podobnie jak w dwusuwach, za pomocą okien wykonanych w cylindrze. Silniki Wankla charakteryzują się osiąganiem bardzo dużej mocy przy niewielkiej masie i gabarytach oraz bardzo ograniczoną liczbą elementów składowych. Nie generują też odczuwalnych drgań. Powodem, ze względu na który, silniki te nie zawojowały świata motoryzacji, był problem z trwałością. Szczególnie trudne okazało się stworzenie uszczelnień tłoka. Dodatkowo, Wankle charakteryzowały się zazwyczaj sporym apetytem na paliwo i dużą emisją substancji szkodliwych. Obecnie zaprezentowano silnik zwany Liquid Piston, podobny w swej idei do silnika Wankla, ale charakteryzujący się innym kształtem cylindra i zupełnie nową konstrukcją tłoka, która ma pozwolić na pozbycie się problemów z uszczelnieniem.

6.11 Układ zapłonowy

Za zapłon mieszanki paliwowo–powietrznej, odpowiada tradycyjnie przeskok iskry elektrycznej. Przez dłuższy czas wiele nie zmieniało się w budowie układów zapłonowych. Prąd o wysokim napięciu (kilkadziesiąt – kilkaset tysięcy volt) był wytwarzany w uzwojeniu wtórnym cewki zapłonowej. Przeskok iskry następował w momencie otwarcia obwodu uzwojenia pierwotnego tej samej cewki. Za otwieranie obwodu początkowo odpowiadał mechaniczny przerywacz.

Najczęściej używano jednej cewki, z której prąd był kierowany do poszczególnych cylindrów przez rozdzielacz. O odpowiedni moment przeskoku iskry, dbały układy mechanicznej regulacji kąta wyprzedzenia zapłonu. Jak łatwo się domyślić, precyzja działania w takich układach pozostawiała często sporo do życzenia. Sporo energii było też traconej po drodze, od cewki do świecy. Im wyższe ciśnienie w komorze spalania, tym trudniej wywołać przeskok iskry, rośnie też ryzyko awarii silnika, gdy zapłon zachodzi w nieodpowiednim momencie. Tak więc, wraz ze wzrostem mocy silników, zaczęły rosnąć wymagania wobec układów zapłonowych. W nowszych wersjach, pracą cewki zapłonowej sterują układy w pełni elektroniczne, a najczęściej każdy z cylindrów posiada własną cewkę zapłonową, zlokalizowaną bezpośrednio nad świecą zapłonową. Zapewnia to dużą precyzję czasu zapłonu i dużą energię iskry. Bada się możliwość zastosowania innych metod zapłonu, np. za pomocą lasera. Wytwarzane są też silniki benzynowe, wykorzystujące kontrolowany samozapłon mieszanki.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 6.8: Układ zapłonowy z mechanicznym przerywaczem, pojedynczą cewką i rozdzielaczem (FSO Warszawa M20)

6.12 Układ dolotowy

Układ dolotowy odpowiada za dostarczanie do cylindrów silnika powietrza (silniki diesla, silniki z zapłonem iskrowym o wtrysku bezpośrednim) lub gotowej mieszanki palnej (silniki z zapłonem iskrowym zasilane gaźnikiem, lub wtryskiem pośrednim). Zadaniem tego układu jest również usunięcie, z zasysanego z otoczenia powietrza, zanieczyszczeń, których obecność jest szkodliwa dla silnika.

W silnikach Diesla, jak już wiemy, nie ma konieczności stosowania elementów do regulacji ilości napływającego do silnika powietrza. Czasami jednak elementy tego typu bywają używane, np. do wspomagania gaszenia silnika. Silniki z zapłonem iskrowym, których moc jest regulowana ilością dostarczonej mieszanki, wymagają stosowania przepustnic. We wczesnych silnikach układy dolotowe były bardzo proste, nie przywiązywano zbytniej wagi do ich kształtu, czy długości. Z czasem okazało się jednak, że odpowiednie zaprojektowanie układu dolotowego pozwala na istotną poprawę osiągów. Nie chodzi tu tylko o odpowiednio duży przekrój kanałów, pozwalający na przepływ

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

dużych ilości powietrza (lub mieszanki). Bardzo istotną kwestią jest też ich długość. Ma to znaczenie z powodu istnienia bezwładności słupa gazu oraz zjawisk falowych. Bezwładność można wykorzystać do zwiększenia ilości powietrza (mieszanki) zgromadzonego w cylindrze. Podczas suwu ssania powietrza w rurze dolotowej, zaczyna poruszać się ze znaczną prędkością. Pod koniec tego suwu, kiedy tłok zwalnia i kończy się efekt zasysania, powietrze w rurze ssącej wciąż jest rozpędzone i „tłoczy się" w cylindrze, zamieniając swoją energię kinetyczną na pewien wzrost ciśnienia. Podobnie jest z ruchem fali powietrza (mieszanki), która porusza się w układzie dolotowym, na skutek otwarcia zaworów ssących. Odbitą (na początku rury dolotowej) i powracającą w stronę cylindra falę również można wykorzystać do zwiększenia ilości zamkniętej w cylindrze mieszanki. W tym celu konieczny jest dobór odpowiedniej długości układu dolotowego, ponieważ fale poruszają się ze stałą, określoną prędkością, a więc to jak szybko fala powróci, zależy od drogi jaką będzie musiała pokonać.

Tego typu układ doładowania działa jednak tylko w pewnym zakresie obrotów silnika. Przy wyższych obrotach fala nie zdąży wrócić na czas, a przy niższych spóźni się. Dlatego często stosuje się kolektory ssące o zmiennej długości, regulowanej automatycznie w zależności od obrotów silnika. Istotna dla zjawisk falowych jest też pojemność dolotu, stąd czasami można spotkać w samochodach pozornie bezsensowne, puste „puszki" połączone z układem dolotowym. W silnikach wyposażonych w gaźniki lub wczesne odmiany wtrysku paliwa, często układ dolotowy jest podgrzewany, celem ułatwienia odparowania benzyny. W silnikach z wielopunktowym wtryskiem pośrednim lub bezpośrednim, na ogół jest na odwrót i dąży nawet do odizolowania układu dolotowego od silnika, aby zasysane powietrze nie ogrzewało się i nie zmniejszało tym samym swojej gęstości.

6.13 Układ wydechowy

Zadaniem układu wydechowego jest jak najskuteczniejsze odprowadzenie spalin z silnika, a dodatkowo również zmniejszenie towarzyszącego temu procesowi hałasu. W układzie wydechowym znajdują się też elementy pozwalające na oczyszczenie spalin ze szkodliwych związków chemicznych, a więc katalizatory i filtry cząstek stałych. Podobnie jak w przypadku układów dolotowych, wydechy wczesnych silników były bardzo proste. Później zdano sobie sprawę, że odpowiednie zaprojektowanie wydechu pozwala na znaczny wzrost osiągów i kształtowanie przebiegu momentu obrotowego silnika. Obowiązują tutaj te same

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 6.9: Sportowy układ dolotowy zastosowany w zmodyfikowanym Fiacie Cinquecento

prawa, a więc mamy do czynienia z bezwładnością spalin, która odpowiednio wykorzystana pozwala na skuteczne wyssanie resztek spalin z cylindra, kiedy tłok zbliża się do końca swojej drogi ku górze. Podobnie, dobranie odpowiedniej długości rur układu wydechowego i jego pojemności, pozwala na wykorzystanie ruchu fal spalin w układzie wydechowym. Fala taka powstaje w momencie otwarcia zaworów wydechowych i rozpoczyna swoją drogę przez układ wydechowy. Jest to fala nadciśnienia (odwrotnie niż w układzie dolotowym). Po natrafieniu na przeszkodę (np. gwałtowną zmianę średnicy rury), fala odbija się i powraca jako fala podciśnienia (znów odwrotnie niż w dolocie). Jeśli fala powróci do cylindra w odpowiednim momencie, pomaga w usunięciu resztek spalin.



Rysunek 6.10: Kolektor wydechowy silnika 4-cylindrowego, wyposażony w izolację cieplną

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 6.11: Układ wydechowy silnika dwusuwowego, klasy 50 cm^3

6.14 Podsumowanie

Powyżej przedstawiono jedynie krótki i zawierający wybrane przykłady, przegląd ewolucji rozwiązań, stosowanych w silnikach spalinowych. Takich przykładów jest dużo więcej. Jednak już na tej podstawie widać, jak długą drogę rozwoju przebyły silniki spalinowe i jak duże możliwości ich rozwoju wciąż istnieją. Dlatego warto prowadzić dalsze prace w kierunku ich rozwoju, tak aby tworzyć coraz lepsze i bardziej przyjazne dla środowiska układy napędowe pojazdów. Rozwijana coraz bardziej idea napędów elektrycznych jest słuszna, ale na bieżącym etapie rozwoju technologii magazynowania energii, niemożliwa do zastosowania we wszystkich odmianach pojazdów. Dlatego dobrą alternatywą pozostają nowoczesne silniki spalinowe, wciąż czekające na zdolnych konstruktorów i ich nowe pomysły.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



7. Dlaczego ostrze skrawa?

Joanna Zielińska-Szwajka

7.1 Obróbka skrawaniem

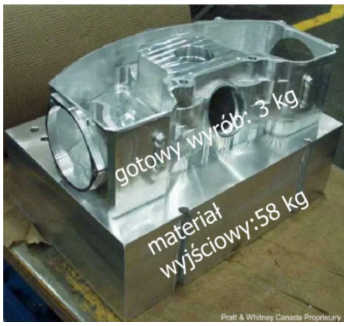
Obróbka skrawaniem jest w obecnym czasie jedną z najbardziej popularnych form, która służy przygotowaniu części do produkcji silników, maszyn oraz pojazdów. Jednakże warto dodać, iż bardzo mało osób zdaje sobie sprawę czym dokładnie jest obróbka skrawaniem oraz jak przebiega?

Proces obróbki metali wykonywany jest za pomocą takich obrabiarek jak: tokarki, frezarki, wiertarki oraz szlifierki. Ale przede wszystkim wykorzystuje się maszyny CNC (rys. 7.1), które poprzez wykorzystanie nowoczesnego oprogramowania są w stanie bardzo precyzyjnie produkować detale i podzespoły mechaniczne.

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



a



b

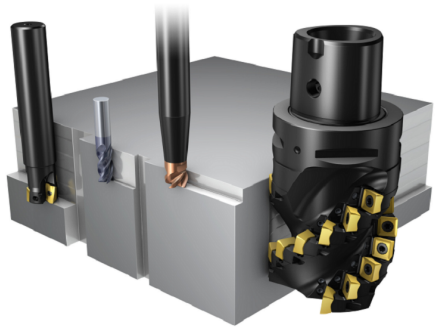
Rysunek 7.1: Proces obróbki skrawaniem: a) materiał wyjściowy oraz wyrób gotowy [źródło], b) centrum obróbcze MILL 1200 - 5 osi [źródło]

7.2 Czym jest obróbka skrawaniem?

Głównym celem obróbki skrawaniem jest nadanie, przedmiotowi obrabianemu, żądanego kształtu, wymiarów i właściwości warstwy wierzchniej poprzez usunięcie materiału (rys. 7.2). Chropowatość powierzchni, podczas procesu obróbki, zależy m.in. od konstrukcji ostrza, prędkości skrawania i posuwu oraz liczby ostrzy i drgań. Jednak na rzeczywistą chropowatość powierzchni mają wpływ drgania narzędzia lub maszyny, zużycie narzędzia, rodzaje wiórów i zmiany pozycji skrawania w narzędziach frezarskich z więcej niż jedną płytką skrawającą.



a



b

Rysunek 7.2: Kształtowanie przedmiotu obrabianego [źródło] [źródło]

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Technologia obróbki skrawaniem nazywana jest potocznie obróbką ubytkową, która odbywa się poprzez usunięcie nadmiaru materiału. Jest to tak zwany naddatek, który usuwamy za pomocą bardzo ostrych narzędzi, takich jak: dłuta, noże, wiertła (rys. 7.3). Te zaś sterujemy przy użyciu nowoczesnej technologii komputerowej. Dzięki takiemu rozwiązaniu, możliwe jest dokładne i precyzyjne przeprowadzenie całego procesu obróbki. Tym samym, projekt utrzymany jest w jak najlepszym porządku i jest zgodny z dostarczoną wcześniej dokumentacją. Istotną rzeczą jest fakt, aby prawidłowo ustawić maszynę do obróbki skrawaniem. Od tego, w głównej mierze, zależy, czy wszystkie elementy będą pasować idealnie tam, gdzie zostaną zastosowane. Warto zaznaczyć, że czasami wystarczy minimalna różnica, a całą serię będziemy musieli odrzucić.

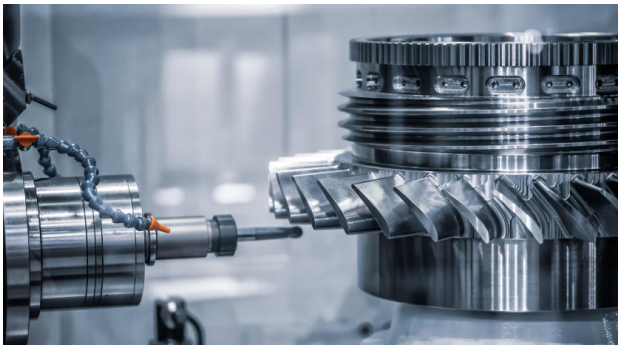


Rysunek 7.3: Narzędzia skrawające [źródło]

7.3 Do czego się ją wykorzystuje?

Skrawanie znajduje zastosowanie, szczególnie podczas precyzyjnego kształtowania metali, tworzyw sztucznych oraz szkła, drewna oraz kamienia. Dzięki wykorzystaniu najnowszej technologii, bez większego problemu, można uzyskać dużą dokładność i powtarzalność produkcyjną, bez względu na rodzaj materiału. Nowoczesna obróbka skrawaniem CNC pozwala na perfekcyjne zachowanie parametrów projektu, znajduje szerokie zastosowanie, przede wszystkim, w branży elektronicznej, energetycznej, medycznej, motoryzacyjnej, lotniczej oraz wielu innych gałęziach przemysłu. Szczególnie tam gdzie liczy się dokładność. Obróbkę stosuje się zarówno w produkcji seryjnej i jednostkowej drobnych, małych elementów, jak i w kształtowaniu części maszyn o bardzo dużych gabarytach.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 7.4: Kształtowanie wyrobu w procesie obróbki skrawaniem [źródło]

7.4 Na czym polega skrawanie metali?

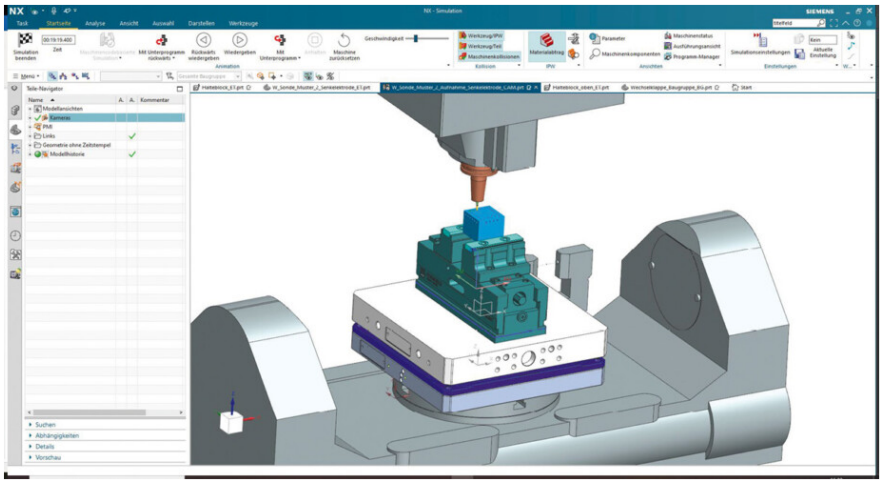
Obróbka skrawaniem metali jest jedną z najczęściej wykorzystywanych metod przekształcania surowego materiału w element o określonej formie i wymiarach. Podczas tego procesu część materiału (metalu, drewna lub tworzywa sztucznego) usuwana jest przy pomocy odpowiednich narzędzi.

Dzięki prawidłowemu dopasowaniu narzędzi, uzyskać można dobry rezultat, jednak należy podkreślić, iż bardzo istotnym czynnikiem jest również rodzaj wykorzystywanej maszyny. Przykładowo, we frezarkach wytwarzane są bardziej skomplikowane oraz mniejsze detale, bowiem frezy potrafią operować dużo bardziej precyzyjnie. Warto pamiętać, iż przebieg procesu obróbki skrawaniem uzależniamy od wielu czynników, wśród których można wymienić kilka najważniejszych, takich jak:

- rodzaj materiału, który poddawany jest obróbce, jego cechy fizyczne oraz podatność na obróbkę;
- wielkość obrabianych elementów;
- stopień złożoności obróbki;
- ilość serii poszczególnych elementów, wytwarzanych w oparciu o jeden program maszyny.

Poprzez dokładne określenie tych cech, możemy podjąć właściwą decyzję, czy obróbkę wykonujemy na tokarce, frezarce lub innej maszynie. Dzięki takiemu rozwiązaniu mamy również możliwość wcześniejszego i odpowiedniego przygotowania programu (rys. 7.5), który usprawni przebieg całego procesu. W obecnym czasie, nowoczesne maszyny CNC wykorzystują programy, bowiem dzięki sterowaniu numerycznemu ich precyzja jest bardzo wysoka.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 7.5: Zastosowanie oprogramowania NX CAM [źródło]

7.5 Obróbka skrawaniem CNC - czym się różni od konwencjonalnej?

Tradycyjna obróbka skrawaniem czy obróbka skrawaniem CNC to wybór, który jest uzależnimy przede wszystkim od tego, co chcemy osiągnąć oraz jaki ma być efekt końcowy. Bowiem tradycyjną obróbkę możemy zrealizować przez pojedynczego zleceniobiorcę, natomiast w przypadku CNC będziemy potrzebowali odpowiedniej wiedzy oraz specjalistycznego sprzętu. Obróbka CNC różni się od tradycyjnych technik, przede wszystkim, zastosowaniem różnego typu narzędzi. Dzięki temu można uzyskać zdecydowanie lepsze efekty oraz większą precyzję w wykonaniu. Obróbka skrawaniem CNC znajduje zastosowanie, zwłaszcza podczas realizacji projektów, które wymagają dokładności oraz szybkości. Dlatego, bardzo często wybierana jest do masowej produkcji. Dzięki takiemu rozwiązaniu można zoptymalizować produkcję, a także zaoszczędzić czas i pieniądze. Obróbka CNC ma dużo więcej zalet niż tradycyjna. Między innymi daje możliwość zaprojektowania na komputerze dowolnego przedmiotu oraz jego wykonanie w dowolnej skali.

7.6 Rodzaje obróbki skrawaniem

Obróbka skrawaniem dzieli się, przede wszystkim, ze względu na zastosowane narzędzia. Obecnie wyróżnić można obróbkę wiórową oraz

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

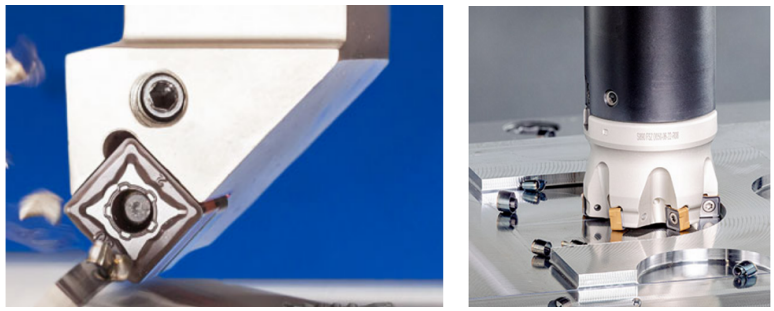
ścierną. Różnią się one od siebie wykorzystaniem narzędzi, które posiadają, określoną geometrię oraz liczbę ostrzy. Wśród podstawowych sposobów obróbki skrawaniem wymienić można toczenie, wiercenie oraz frezowanie. Aczkolwiek, oprócz standardowych metod, obróbka skrawaniem obejmuje w swoim zakresie także: dłutowanie, przeciąganie, gładzenie, docieranie oraz wytaczanie i rozwiercanie.



a b c

Rysunek 7.6: Przykładowe sposoby obróbki skrawaniem [źródło]

Usunięcie naddatku na obróbkę wymaga złożenia dwóch ruchów: głównego oraz posuwowego. Co i jak się rusza jest określone przez sposób obróbki charakteryzowany przez kinematykę obrabiarki, narzędzia i przedmiotu obrabianego. Narzędzie skrawające ma jednoznacznie zdefiniowaną geometrię i jednoznacznie określoną liczbę ostrzy (rys. 7.7).



a b

Rysunek 7.7: Narzędzia skrawające a) jednoostrzowe [źródło], b) wieloostrzowe [źródło]

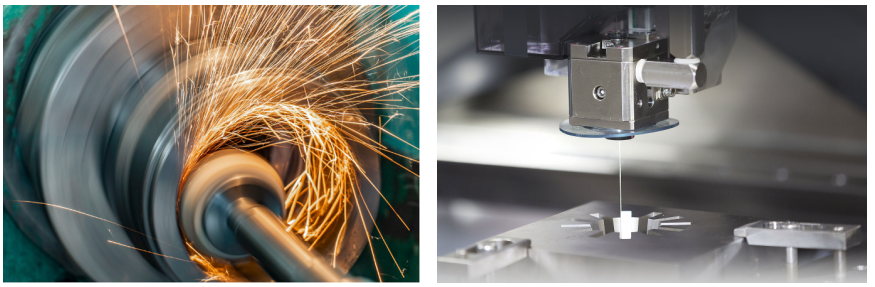
Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

7.7 Obróbka wiórowa

Jest to metoda, która wykorzystuje specjalne narzędzia z geometrycznymi ostrzami. Podczas procesu obróbki powstają wióry, o określonym kształcie, który zależy od rodzaju i właściwości materiału oraz innych czynników. Obróbka wiórowa stosowana jest do wykonywania różnych otworów oraz powierzchni wewnętrznych.

7.8 Obróbka ścierna

Głównym zadaniem obróbki ściernej jest nadanie materiałowi gładkiego kształtu. Odbywa się to za pomocą mechanicznego szlifowania materiałów przy użyciu specjalnych narzędzi (rys. 7.8).



a b

Rysunek 7.8: Obróbka ubytkowa: a) proces szlifowania [źródło], b) proces elektrodrążenia [źródło]

Obróbka ścierna wyróżnia się najmniejszą głębokością skrawania. Warto dodać, iż podczas procesu powstają wióry, które nie posiadają ustalonej geometrii.

7.9 Jakie metale można obrabiać skrawaniem?

Wśród materiałów, które najczęściej poddajemy obróbce skrawaniem można wymienić:

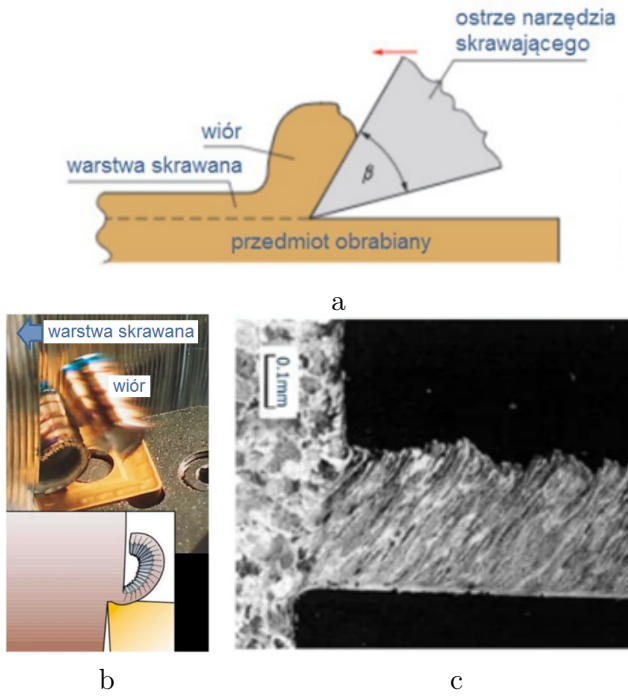
- stal oraz stal nierdzewną, często wykorzystywaną ze względu na dobre właściwości mechaniczne;
- metale nieżelazne, między innymi mosiądz i aluminium;
- żeliwo;
- stopy żaroodporne i żarowytrzymałe.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

7.10 Obróbka skrawaniem - dlaczego ostrze skrawa?

Jak wspomniano wyżej, skrawanie polega na usunięciu z przedmiotu obrabianego cienkiej warstwy materiału, która zamieniana jest na wiór przez klinowo ukształtowane ostrze. Tak więc obróbka skrawaniem odbywa się klinowym ostrzem narzędzia, które oddziela określoną warstwę materiału, powodując jej odkształcenie sprężyste i plastyczne oraz zamianę na wióry. W tym celu, do strefy obróbki, doprowadza się energię mechaniczną. W rozleglejszym znaczeniu, proces skrawania jest wynikiem wzajemnego oddziaływania poszczególnych elementów układu obróbkowego, a w szczególności obrabiarki (O), narzędzia (N) i obrabianego przedmiotu (P).

Podczas skrawania narzędzie skrawające w kształcie klina (kąt ostrza β) zagłębia się w materiał i oddziela warstwę materiału zwaną wiórem (rys. 7.9).

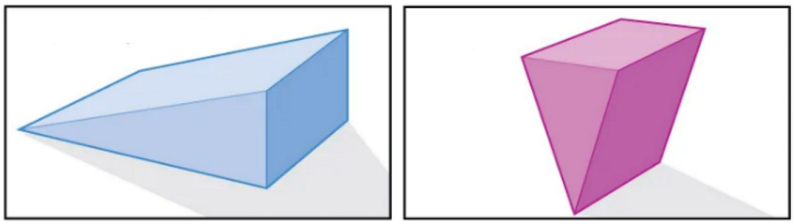


Rysunek 7.9: Rysunek i zdjęcie ostrza [źródło]

Klin jest to maszyna prosta, która ma kształt graniastosłupa trójkątnego. Jego ramiona tworzą niewielki kąt (rys. 7.10). Siła działająca

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

na grzbiet klina przenosi się na jego krawędzie, w wyniku czego obiekt, na który działamy, rozchodzi się na boki.



Rysunek 7.10: Klin

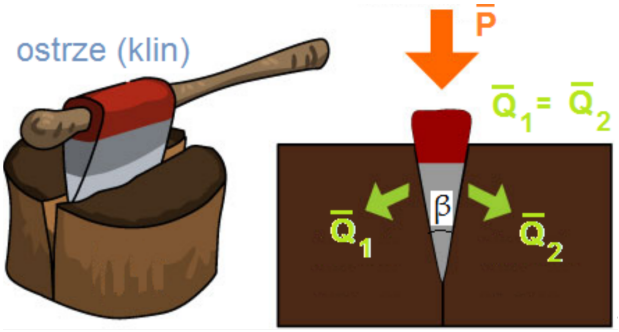
Klin jest prawdopodobnie pierwszą prostą maszyną, jaka kiedykolwiek została użyta, a odpowiednie dowody są obecne w postaci prymitywnych, ręcznych toporów i grotów strzał, wykonanych w epoce kamienia (rys. 7.11). Człowiek prehistoryczny wykorzystywał je głównie do celów myśliwskich.



Rysunek 7.11: Starożytne artefakty w kształcie klina [źródło]

Klin można, po prostu, opisać także jako rodzaj nachylonej płaszczyzny, z nachyloną jedną lub obiema powierzchniami. Jeden koniec jest tępy, a drugi ostry. Kiedy siła jest przyłożona na jeden koniec, zostaje podzielona na siły wyjściowe, które są wywierane w przeciwnych kierunkach, prostopadłe do siły wejściowej. Wykonana praca zależy od wielkości siły wejściowej, a także długości pochyłego boku i szerokości klina. Siła P, przyłożona do podstawy tego klina, będzie przenoszona do powierzchni równi – zmieniając kierunek działania pierwotnej siły. W efekcie, uderzenie skierowane pionowo w dół, spowoduje przyłożenie do ciała dwóch sił Q_1 i Q_2, skierowanych bardziej poziomo niż pionowo – w zależności od kąta zbieżności klina (kąta naprzeciw grzbietu klina).

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 7.12: Rozkład sił na klinie

Jaka będzie wartość przyłożonych sił? Przyłożenie pionowo w dół siły, powoduje przyłożenie do ciała dwóch sił nacisku Q_1 i Q_2, prostopadłych do powierzchni klina. Wartość tych sił zależy oczywiście od wartości siły P oraz kąta zbieżności klina:

$$P = \frac{2Q \sin \beta}{2}$$

Z klinem spotykamy się na co dzień w wielu miejscach, jak zaprezentowano na rysunku 7.13.



Rysunek 7.13: Przykłady klinów: ostrze siekiery lub noża, klin do łupania drewna, klin blokujący drzwi

Jak widać, klin służy do przepoławiania, czy też ćwiartowania różnych rzeczy. Takim klinem może być siekiera lub nóż. Siłę, z jaką

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

rozpychane są części, na które kroimy dany materiał, np. kawałek drewna, można z łatwością policzyć. Do tego sporządzono schemat z rozkładem sił. Widać z niego, że:

$$\frac{P}{2Q} = \frac{\sin\beta}{2},$$

zatem $Q = P\frac{2\sin\beta}{2}$. Ze wzoru tego widać, że w przypadku noża β - 0 więc $\frac{\sin\beta}{2}$ - 0, a z tego wynika, że P - nieskończoność. Więc im cieńszy nóż tym łatwiej nam kroić. Nawet z siekierze, gdzie klin nie ma dużego kąta pochylenia, siła jaką działamy, nie musi być duża.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



8. Budowa i zastosowanie dronów

Andrzej Łączek

8.1 Historia dronów

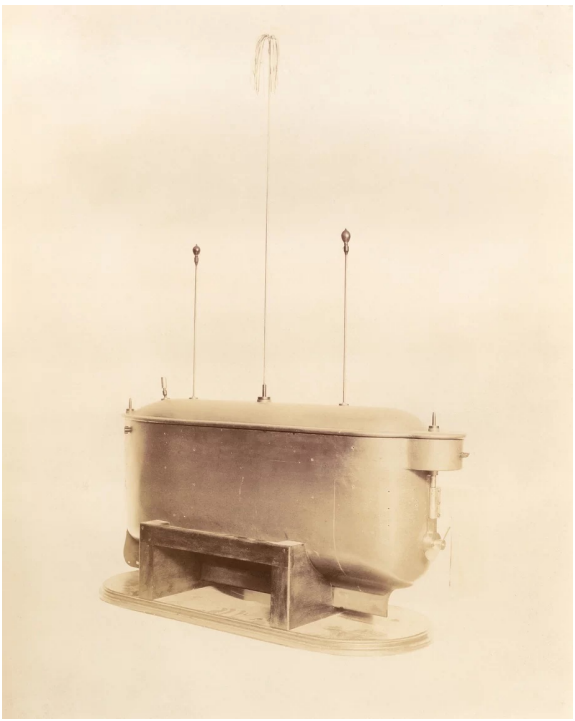
Na początku XXI wieku drony zrobiły tak zawrotną karierę, że obecnie można je kupić sklepach internetowych i w większości hipermarketów. Te najtańsze, kosztujące po kilkaset złotych, pozwalają nagrywać filmy wideo i fotografować z powietrza.

Jednak bezzałogowe statki powietrzne nie służą wyłącznie do zabawy i rekreacji. Znalazły zastosowanie w wielu gałęziach gospodarki. Większe i bardziej zaawansowane drony służą do przenoszenia ładunków, pomagają w walce ze smogiem, w inspekcji sieci energetycznych, farm wiatrowych, farm fotowoltaicznych, w inspekcji trudno dostępnych miejsc i obszarów leśnych, geodezji, branży budowlanej itp. Są wykorzystywane do celów militarnych, badawczych, naukowych i transportowych, jednak możemy śmiało stwierdzić, że wciąż nie korzystamy w pełni z ich możliwości. Historia tych urządzeń rozpoczęła się, jak wiele innych technologii, w wojskowych laboratoriach i to właśnie na polu walki drony znalazły swoje pierwsze zastosowania. Zmieniają one sposób prowadzenia wojen, a obecnie znajdują coraz szersze zastosowania cywilne.

Choć prawdziwy rozwój dronów przypada na ostatnią dekadę, to pierwsze urządzenie, które można nazwać dronem, powstało w 1898 roku i nie był to pojazd latający. Była nią sterowana drogą radiową

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

bezzałogowa łódź podwodna, a jej twórcą i konstruktorem był słynny Nikola Tesla (rys. 8.1).



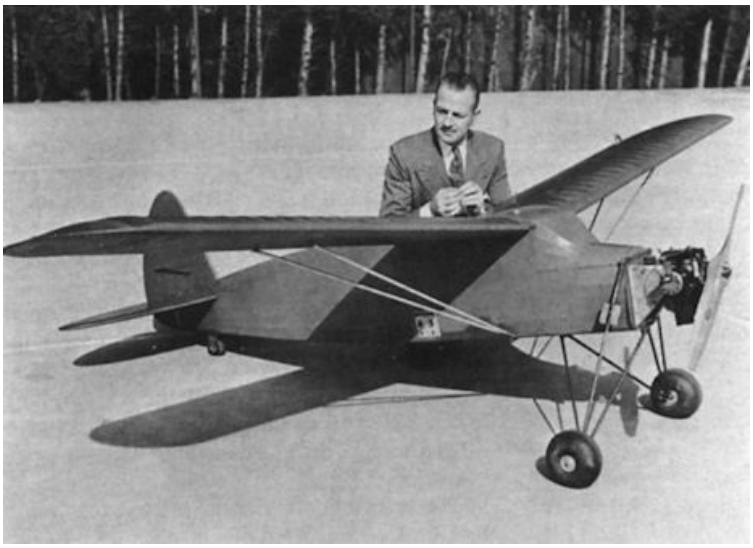
Rysunek 8.1: Pierwsze bezzałogowe, zdalnie sterowane urządzenie konstrukcji Tesli z 1898 roku [źródło]

Pewnego przełomu w rozwoju dronów latających dokonał Brytyjczyk Reginald Denny – aktor, któremu nie udało się zrobić większej kariery. Zajął się wówczas produkcją zabawek, ale takich, które były sterowane za pomocą nadajnika radiowego. Jak na tamte czasy była to dość zaawansowana technologia, szczególnie jeśli chodzi o sterowane drogą radiową modele samolotów. W 1935 roku Denny skonstruował bezzałogowe urządzenie latające Radioplane One (RP-1) i zaoferował je armii USA jako cel dla szkoleń artylerii przeciwlotniczej (rys. 8.2). To właśnie w latach 30-tych w Stanach Zjednoczonych bezzałogowe samoloty zaczęto nazywać dronami. Duże zainteresowanie ze strony US Army projektem RP-1 zaowocowało podpisaniem kontraktu na dostawę pierwszych zdalnie sterowanych dronów docelowych.

Kolejne lata przyniosły bardzo szybki rozwój technologii dronowej zarówno pod kątem samych konstrukcji, jak i wyposażenia i co za

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

tym idzie, przeznaczenia. Obecnie na świecie drony określa się jako Unmanned Aerial Vehicle i wykorzystuje się skrót (UAV) lub jako bezzałogowe systemy powietrzne (BSP).



Rysunek 8.2: Reginald Denny i jego Radioplane One (RP-1) [źródło]

8.2 Rodzaje dronów

Drony latające, najogólniej rzecz biorąc, to bezzałogowe statki powietrzne. Jednak ze względu na ich konstrukcję, dzielą się na płatowce, śmigłowce oraz wielowirnikowce. Każda z tych trzech rodzajów konstrukcji charakteryzuje się swoją specyficzną budową i zastosowaniem.

Płatowce są najbardziej zbliżone kształtem do samolotu, a ich zastosowanie to przede wszystkim przemysł zbrojeniowy, ale znajdują również zastosowanie w geodezji i kartografii.

Śmigłowiec jest konstrukcją o bardzo skomplikowanej mechanice lotu i pilotażu. Z tego też względu konstrukcje tego typu są mało popularne w zastosowaniach przemysłowych i są wykorzystywane głównie do celów militarnych. Czasem są używane w lotnictwie cywilnym do misji o charakterze poszukiwawczo ratunkowym SAR (Search-And-Rescue), sporządzania dokumentacji fotograficznej z powietrza, w rolnictwie czy straży pożarnej jako drony gaśnicze lub po prostu jako modele do zabawy.

Wielowirnikowce to najbardziej rozpowszechniony w zastosowaniach cywilnych i wojskowych rodzaj dronów. Wielowirnikowce w prze-

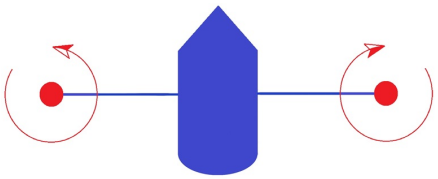
Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

ciwieństwie to płatowców są znacznie łatwiejsze w transporcie, a przygotowanie ich do pracy to kwestia kilku minut. Są doskonałym narzędziem do zbierania informacji z trudno dostępnych miejsc w krótkim czasie. Głównymi zaletami tych konstrukcji jest też ich łatwa obsługa i automatyzacja. Ze względu na dużą uniwersalność i różnorodność instalowanego na ich pokładzie sprzętu, z powodzeniem wykorzystywane są celów militarnych, transportowych, w ratownictwie medycznym, służbach leśnych, rolnictwie, w branży filmowej itp. Łączność bezprzewodowa i GPS w połączeniu z odpowiednim oprogramowaniem do planowania misji autonomicznych sprawia, że nawet najbardziej skomplikowane zadania z wykorzystaniem dronów mogą być z łatwością zaplanowane i przeprowadzone. Pomimo tego, że do wykonania misji konieczny jest doświadczony pilot i operator, to jego rola ogranicza się tu raczej do nadzoru aniżeli samego sterowania lotem.

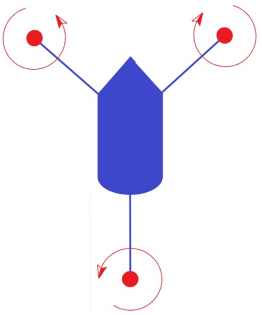
8.3 Podział dronów wielowirnikowych

Wielowirnikowce ze względu na ilość posiadanych wirników dzielą się na:

- **Bicoptery** – posiadają dwa silniki.

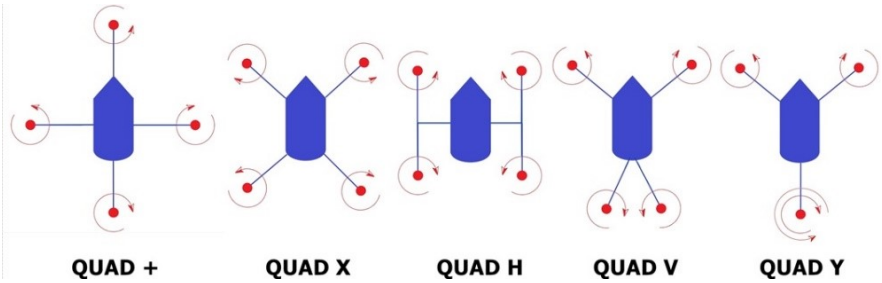


- **Tricoptery** – posiadają trzy silniki.

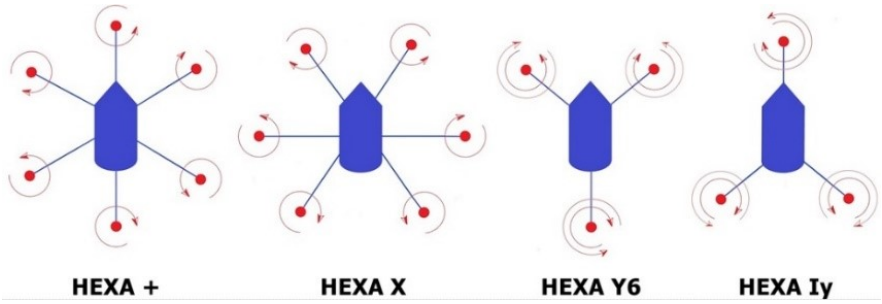


Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

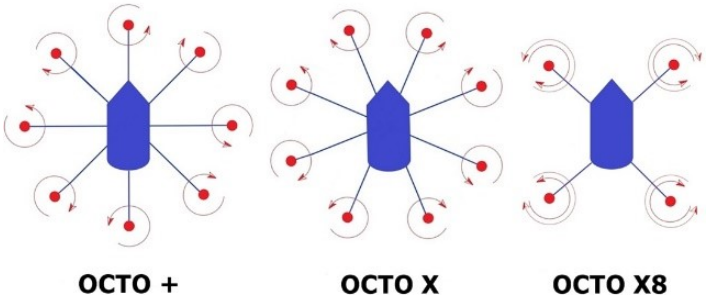
- **Quadrocoptery** – posiadają cztery silniki.



- **Hexacoptery** – posiadają sześć silników.



- **Octocoptery** – osiem silników.



Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Najpopularniejsze z nich - takie, które możemy spotkać na co dzień - to hexacoptery i quadrocoptery (rys. 8.3).



a b

Rysunek 8.3: Dron w formie hexacoptera (a) i quadrocoptera (b)

Hexacopter posiada sześć ramion i sześć silników, dzięki temu, gdyby jeden z silników uległ awarii maszyna nadal może bezpieczne wylądować. Natomiast **quadrocopter** to konstrukcja z czterema ramionami, gdzie na każdym z ramion umiejscowiony jest silnik. Ze względu na uniwersalność zastosowań, prostą konstrukcję i względnie niski koszt samodzielnej budowy, wielu młodych konstruktorów sięga właśnie po tego typu rozwiązania. Dlatego też dalszą część artykułu poświęcimy właśnie tym konstrukcjom.

8.4 Budowa quadrocoptera

Budowę quadrocoptera możemy podzielić na kilka głównych podzespołów, bez których lot drona byłby niemożliwy. Są to:

- zespół napędowy (silniki, elektroniczne regulatory prędkości i śmigła);
- układ zasilania (akumulator, przetwornice impulsowe, stabilizatory napięcia, filtry);
- układ kontroli (elektroniczny kontroler lotu);
- układ sterowania (odbiorniki, aparatura, naziemna stacja kontroli lotu).

Zespół napędowy

Zespół napędowy jest jednym z najważniejszych podzespołów w bezzałogowych statkach powietrznych. Stanowi on źródło mocy, którym rozporządza operator lub pokładowy system sterowania podczas pilo-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

towania BSP. W skład zespołu napędowego quadrocoptera wchodzą silniki elektryczne (najczęściej bezszczotkowe), elektroniczne kontrolery prędkości (ESC) i śmigła.

Quadcoptery posiadają w swojej konstrukcji cztery silniki napędowe (sterowane za pośrednictwem elektronicznych regulatorów prędkości obrotowej). Dwa z nich obracają się zgodnie ze wskazówkami zegara i oznaczane są jako CW (ang. Clockwise Rotation), a dwa w kierunku przeciwnym oznaczone jako CCW (ang. Counter Clockwise Rotation). Silniki odpowiedzialne są za generowanie energii mechanicznej w postaci momentu obrotowego dostarczanego na śmigła, które z kolei wytwarzają siłę ciągu niezbędną do wykonania lotu. Warto jeszcze dodać, że wielowirnikowce zazwyczaj posiadają parzystą liczbę wirników, gdzie połowa obraca się zgodnie ze wskazówkami zegara, a druga połowa przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

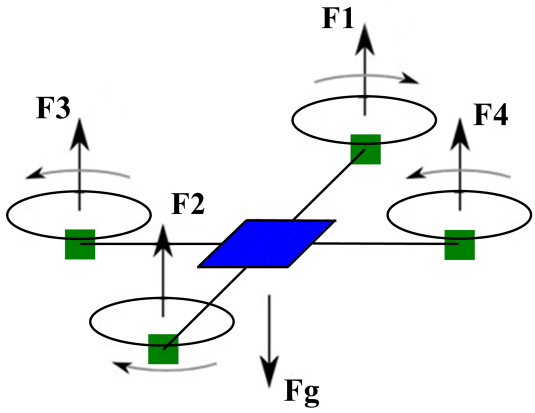
Silniki elektryczne do zastosowań w bezzałogowych statkach powietrznych są oznaczane 4 cyframi np. 3510. Oznacza to, że posiada 35 mm średnicy i 10 mm wysokość. W uproszczeniu jeśli silnik jest szerszy i dłuższy to jest on w stanie wygenerować większy moment obrotowy. Parametr silnika KV to nic innego jak liczba obrotów silnika na każdy V zasilania.

■ **Przykład 8.1** Silnik MT3510 600 KV posiada 35 mm średnicy i 10 mm wysokości. Zasilając go z baterii 3S, której znamionowe napięcie wynosi 11.1 V, osiągnie maksymalną liczbę obrotów 6660 ($11.1\ \text{V} \cdot 600\ \text{KV} = 6660$). Jest to wartość orientacyjna gdyż napięcie baterii nie jest stałe. W pełni naładowana osiąga 12.6 V, ale pod obciążeniem napięcie spada i jest coraz niższe wraz z jej rozładowaniem. ■

Elementem, który bezpośrednio steruje prędkością obrotową silnika jest regulator obrotów (ESC). Podstawowym parametrem regulatora obrotów jest maksymalny prąd, jaki jest on w stanie obsłużyć. Elementem bezpośrednio wytwarzającym siłę ciągu jest z kolei śmigło. Śmigła montowane na silnikach wielowirnikowców dzielą się na dwa rodzaje: ciągnące (stosowane np. w samolotach lub helikopterach) i pchające (stosowane w samolotach z tylnym napędem).

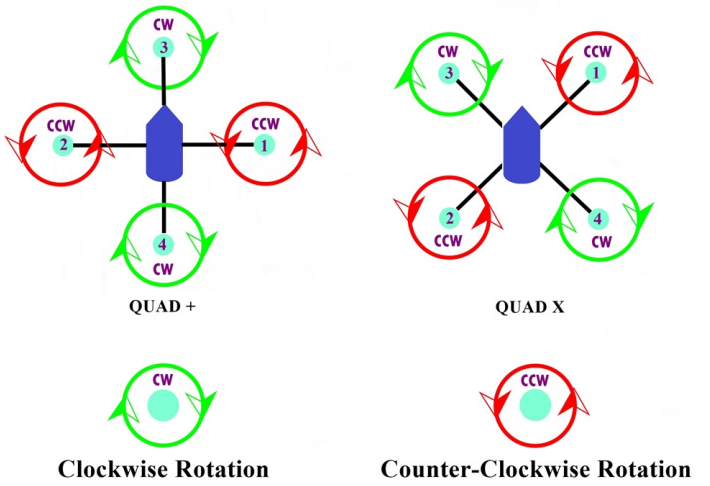
W quadcopterach używa się jednych i drugich. Dwa silniki obracające śmigłami ciągnącymi wytwarzają siłę nośną skierowaną do góry. Zatem na dwóch pozostałych silnikach, obracających się w przeciwnym kierunku, używa się śmigieł „pchających" aby wytwarzały siłę nośną również skierowaną do góry. W rezultacie wszystkie obracające się silniki i odpowiednio dobrane do nich śmigła wytwarzają siłę „ciągnącą" konstrukcję ku górze (rys. 8.4).

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 8.4: Układ sił działających na quadrocopter

Śmigła obracające się w tych samych kierunkach są zamontowane na przeciwległych ramionach tak jak to pokazano na rysunku 8.5.



Rysunek 8.5: Kierunek obrotu śmigieł w quadrocopterze

Zmieniając równomiernie prędkość obrotową wszystkich silników w napędzie sprawiamy, iż quadrocopter unosi się lub opada. Jednak to nie wszystko. Każdy quadrocopter może wykonywać pełen zakres podstawowych manewrów podczas lotu czyli:

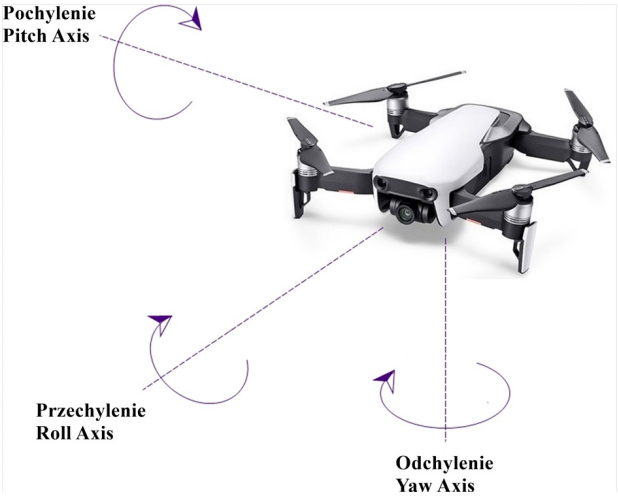
- unosić się i opadać (ang. ALTITUDE/THROTTLE);
- obracać się wokół osi poziomej poprzecznej, co powoduje lot do przodu lub do tyłu (ang. PITCH);

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

- obracać się wokół osi poziomej wzdłużnej (ang. ROLL);
- obracać się wokół centralnej osi pionowej (ang. YAW).

Temat sterowanie wielowirnikowcem wymaga zrozumienia tego, jak siły i momenty generowane przez napęd wpływają na jego prędkość i pozycję w przestrzeni. Orientacja przestrzenna statku powietrznego wyrażona jest w postaci trzech kątów:

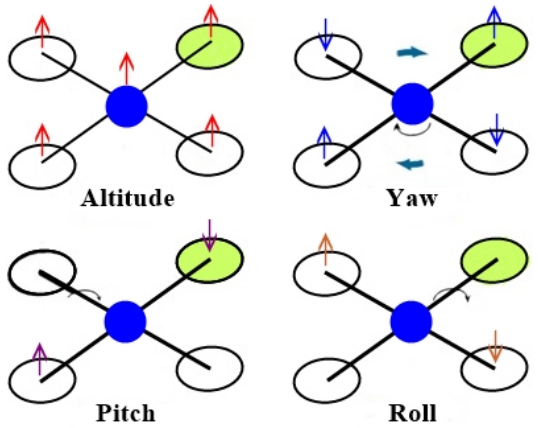
1. Pochylenie - Pitch,
2. Przechylenie - Roll,
3. Odchylenie - Yaw (rys. 8.6).



Rysunek 8.6: Zmiany orientacji przestrzennej quadrocoptera

Do wykonywania pełnego zakresu manewrów podczas lotu quadrocoptera konieczne jest więc sterowanie prędkością obrotową poszczególnych silników. Obrót wokół środka ciężkości realizowany jest poprzez regulację prędkości obrotowej każdego z wirników, co pozwala wygenerować odpowiedni moment. Im większe lub mniejsze obroty silnika tym większa lub mniejsza siła nośna zostaje przez nie generowana (rys. 8.7). Pochylenie (Pitch) i przechylenie (Roll) realizowane jest poprzez zwiększenie ciągu z jednej strony, oraz zmniejszenie ciągu wirników po przeciwnej stronie. Odchylenie (Yaw) natomiast jest realizowane poprzez zwiększenie prędkości obrotowej wirników obracających się w jedną stronę oraz zmniejszenie prędkości obrotowej wirników obracających się w stronę przeciwną. Widać, że w przypadku wielowirnikowców lot nie jest w stanie odbyć się bez komputera pokładowego, tzw. kontrolera lotu.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 8.7: Zmiana położenia quadrocoptera w zależności od siły nośnej

Układ zasilania

Źródło energii bezzałogowych statków powietrznych dobiera się zależnie od założonych parametrów konstrukcyjnych. Zdecydowanie najbardziej popularnym rozwiązaniem są drony napędzane energią elektryczną, której źródło stanowią akumulatory. Obecnie w zasilaniu wielowirnikowców najpopularniejsze są akumulatory litowo-polimerowe (Li-Po) zbudowane ze stopów litu oraz polimerów przewodzących. Akumulatory te, to inaczej mówiąc pakiety składające się z kilku połączonych ze sobą ogniw (cel), z których każda posiada napięcie znamionowe 3,7 V. Najczęściej stosowane są akumulatory 3-, 4-, i 6-ogniwowe. Pakiety najczęściej posiadają dodatkową wtyczkę balansera, która zawiera wyprowadzenia wszystkich ogniw. Ilość ogniw oznaczana się literą S (dla ogniw połączonych szeregowo), albo P (dla ogniw połączonych równolegle).

Podstawowe parametry akumulatorów Li-Po to:

- ilość połączonych ogniw (np. 3 S),
- pojemność (np. 2200 mAh),
- wydajność prądowa (np. 25-35 C).

Dla przykładu - akumulator z oznaczeniem 3 S to pakiet złożony z trzech cel połączonych szeregowo, a pakiety o napięciu wynoszącym 7.4 V i 11.1 V to baterie 2 S i 3 S. Ważnym parametrem akumulatorów jest wydajność prądowa – oznaczona literą C. Określa maksymalny prądu, który można pobierać z akumulatora. Jest to mnożnik, który pozwala wyliczyć wydajność w amperach. Typowe wartości to 10 C,

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

15 C, 20 C itd. Spotyka się również oznaczenia typu 25-35 C, gdzie 25 C to typowa wydajność, a 35 C to wydajność chwilowa. Wydajność prądową można obliczyć ze wzoru:

$$Ip = Cp \cdot x \tag{8.1}$$

gdzie:
Ip - maksymalna wydajność prądowa pakietu,
Cp - pojemność pakietu,
x - liczba oznaczona na pakiecie literą C.

■ **Przykład 8.2** Ogniwo 3 S o pojemności 2200 mAh i 20 C daje maksymalny prąd wyjściowy wynoszący 2,2 Ah (2200 mAh $\cdot$ 1000 = 2, 2 Ah) pomnożone przez 20, czyli 2, 2 Ah $\cdot$ 20 C = 44 A. Z kolei bateria 1300 mAh, 30 C daje nam 1.3 Ah $\cdot$ 30 C = 39 A. Może być też większe ogniwo np. 3000 mAh mające 15 C. Prąd wyjściowy w tym przypadku do 3 Ah $\cdot$ 15 C = 45 A. Jak widać, większa bateria o niższym C może dać większy prąd. ■

Układy kontroli lotu

Nawet proste drony takie jak quadrocoptery wymagają stosunkowo skomplikowanych urządzeń, aby móc wykonywać stabilny lot w określonym kierunku lub chociażby zawisnąć w powietrzu w miejscu. Sercem każdego quadrocoptera i najważniejszym element całej konstrukcji jest kontroler lotu - urządzenie, dzięki któremu do sterowania używamy jedynie dwóch drążków na naszej aparaturze. To od niego zależy charakterystyka lotu naszego quadrocoptera, sposób jego konfiguracji, stabilność w locie i łatwość jego sterowania.

Sterowanie dronem z użyciem pokładowego komputera na płytce sterującej ma wielką zaletę - czyni lot wyjątkowo stabilnym. Niestety ma też swoją poważną wadę - jakakolwiek usterka elektroniki podczas lotu może spowodować upadek drona. O ile samoloty poradzą sobie z awarią silnika, o tyle quadrocopter spadnie jak kamień.

Sterowanie kopterem, nawet przez pokładowy komputer, nie byłoby możliwe gdyby nie czujniki dostarczające odpowiednich danych kontrolerowi lotu sterującemu silnikami. Są to najczęściej żyroskopy i akcelerometry, czasem magnetometry i GPS. Żyroskop i akcelerometr służą do określania orientacji koptera w przestrzeni i do stabilnego utrzymania koptera w locie, ale działają w różny sposób.

Akcelerometr mierzy akceleracją, czyli przyspieszenie. Przyspieszenie jest ściśle związane z masą ciała i działającymi na nią siłami, np.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

siłą grawitacji. Z lekcji fizyki szkoły podstawowej wiemy, że przyspieszenie ziemskie $g = 9,8\ m/s^2$ i taką też wartość wskaże akcelerometr leżący w spoczynku na powierzchni ziemi. Ponieważ quadcopterami przemieszczamy się w obszarze działania siły grawitacji, przyspieszenie ziemskie służy akcelerometrowi do określania gdzie jest „dół", a gdzie „góra" w trakcie lotu koptera. Oczywiście mierzy on również przyspieszenia w innych kierunkach w trakcie lotu drona.

Żyroskop to z kolei urządzenie, które służy bezpośrednio do określania położenia kątowego drona w przestrzeni i wykorzystuje do tego zasadę zachowania momentu pędu.

Kolejnym ważnym elementem kontroli lotu jest **GPS**. Za jego pomocą sygnał z satelit krążących nad ziemią pozwala ustalić pozycję naszego koptera. Nie pozwala jednak na określenie zwrotu koptera, czyli informacji, w którą stronę jest skierowany przód. O ile samolot przemieszcza się zawsze do przodu, tak kopter może zawisnąć w powietrzu, w miejscu i wtedy stwierdzenie jaki jest jego zwrot, jest niemożliwe jedynie po samym GPS. Do określenia tego kierunku służy magnetometr i korzysta przy tym z pola magnetycznego ziemi, podobnie jak igła kompasu wskazuje odpowiedni kierunek. Należy pamiętać by urządzenie to było oddalone od wszelkich metalowych obiektów, a już na pewno od kabli wysokonapięciowych lub innych źródeł pola magnetycznego, ponieważ w przeciwnym razie odczyt magnetometru będzie zaburzony lub niedokładny. W przypadku lotów autonomicznych użycie magnetometru nierozłącznie wiąże się z użyciem GPS.

Żyroskopy i akcelerometry są urządzeniami, które muszą się znaleźć w kontrolerze lotu quadrocoptera, natomiast GPS i magnetometr przydadzą się tylko tym, którzy będą używać drona do lotów autonomicznych.

Układ sterowania

Do podstawowych elementów układu sterowania należą nadajnik RC oraz odbiornik.

Nadajnik jest urządzeniem elektronicznym, które przekazuje do odbiornika w modelu (w sposób bezprzewodowy) sygnały z dźwigni sterujących. Poruszając dźwigniami (drążkami), przekazujemy do modelu w sposób proporcjonalny informację o tych ruchach. Nadajniki charakteryzują się:

- ilością kanałów - jest to ilość urządzeń, którymi może indywidualnie (niezależnie) sterować nadajnik (dla prostych aparatur może to być od 2 do 6 kanałów, a bardziej rozbudowane mogą

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

posiadać nawet 16 i więcej);
- częstotliwością pracy - rodzaj pasma, na jakim pracuję nadajnik, nowoczesne aparatury pracujące na częstotliwości 2,4 GHz;
- sposobem ustawiania parametrów nadajnika;
- sposobem ich trzymania;
- mocą nadajnika.

Odbiorniki RC mają za zadanie odebrać sygnał pochodzący od nadajnika i przetworzyć go w impuls elektryczny, który następnie przekazywany jest do urządzeń podłączonych do odbiornika. Najczęściej są to serwomechanizmy i regulatory obrotów silników (ESC).

Obecnie sprzedawane na rynku wielowirnikowce posiadają w komplecie zestaw aparatury nadawczo-odbiorczej, jednak w przypadku własnych konstrukcji elementy te należy odpowiednio dobrać do własnych potrzeb. Wiele dostępnych na rynku dronów wykorzystuje standardowy układ sterowania, składający się z drążków i przycisków. Przykład nadajnika RC quadrocoptera firmy DJI pokazano na rysunku 8.8.



Rysunek 8.8: Nadajnik (aparatura) RC DJI Phantom

Podczas gdy wygląd niektórych kontrolerów/nadajników może różnić się kształtem i wielkością, podstawowe elementy sterowania są takie same (rys. 8.9). Przechylenie lewego drążka do góry powoduje, że dron leci do góry, natomiast przechylenie go do dołu powoduje, że dron schodzi w dół. Przechylenie drążka w lewo lub w prawo obraca drona odpowiednio w lewo lub w prawo. Prawy drążek steruje kierunkiem lub ruchem drona. Popychając prawy drążek w górę, w dół, w lewo i w prawo, urządzenie porusza się odpowiednio do przodu, do tyłu, w lewo i w prawo.

Jest też kilka przycisków, które pozwalają na sterowanie kamerą.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 8.9: Podstawowe funkcje drążków sterowych

Za pomocą tych przycisków można robić zdjęcia, nagrywać wideo, pochylać lub poruszać aparat, a także uzyskiwać dostęp do menu. Układ sterowania dronem jest dość intuicyjny i łatwy w obsłudze. Wystarczy pamiętać, która strona drona jest przednia. Dla większego bezpieczeństwa należy trzymać dron w trybie GPS podczas lotu, tak aby po zatrzymaniu drążków sterujących, dron unosił się i utrzymywał swoją pozycję.

8.5 Podsumowanie

Dzięki dynamicznemu rozwojowi technologii drony w niedalekiej przyszłości mogą znaleźć zastosowanie w niemal każdej dziedzinie życia. Jednak duża popularność i łatwy dostęp do coraz bardziej zaawansowanych technologicznie dronów, stwarza duże niebezpieczeństwo dla innych użytkowników przestrzeni powietrznej, szczególnie dla statków załogowych. Dlatego zachęcamy, aby do latania podchodzić z pełną odpowiedzialnością, uczestnicząc w profesjonalnych kursach i zapoznając się z aktualnymi przepisami lotniczymi.

Obecnie chcąc latać dronem ważącym więcej niż 250 g lub BSP (bezzałogowym statkiem powietrznym) ważącym mniej niż 250 g, ale posiadającym rejestrator danych (np. kamerę) w kategorii otwartej, musimy zarejestrować się jako operator i każdorazowo zgłaszać swój lot w aplikacji „DroneRadar”. Warto więc już dziś zacząć pracować nad zwiększaniem świadomości dotyczącej tej technologii wśród obecnych i przyszłych użytkowników przede wszystkim dla wspólnego bezpieczeństwa.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli” współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



9. Materiały lakiernicze, kleje i materiały smarne

Wiesław Żelasko

9.1 Wprowadzenie

W budowie maszyn i urządzeń znajduje zastosowanie bardzo duża liczba surowców, które określane są jako materiały pomocnicze. Pomimo nazwy, która może sugerować, że są one mało istotne, ich dobór odbywa się z uwzględnieniem wielu czynników, tak jak w przypadku materiałów konstrukcyjnych. Nieodpowiednie zastosowanie materiałów pomocniczych może spowodować, że zaprojektowane i wykonane urządzenie, którym może być np. pojazd mechaniczny, samolot czy maszyna produkcyjna, ulegnie szybkiemu zużyciu. Często takie postępowanie może doprowadzić do poważnej awarii, a nawet katastrofy.

Dlatego też ważne jest stosowanie w procesach wytwarzania materiałów pomocniczych, które można podzielić na:

- materiały wykończeniowe, ochronne i dekoracyjne, takie jak farby, emalie, lakiery, powłoki polimerowe, powłoki metaliczne i niemetaliczne;
- materiały umożliwiające trwałe łączenie części, takie jak kleje, kity;
- materiały umożliwiające eksploatację urządzeń, takie jak smary, materiały uszczelniające, chłodziwa, paliwa;
- materiały stosowane w procesach technologicznych, takie jak materiały ścierne, paliwa, papier, kreda, kalafonia itp.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

9.2 Materiały lakiernicze

Materiały lakiernicze to substancje wieloskładnikowe nanoszone na powierzchnię zewnętrzną części maszyn, które tworzą błonę utrzymywaną siłami adhezji (przyczepności). Po wyschnięciu i utwardzeniu, nazywane są powłokami lakierniczymi i mają za zadanie spełnianie wielu funkcji. Do najważniejszych z nich należą, m.in. ochrona metali przed korozją, drewna przed procesami gnilnymi, połysk, osiągnięcie efektów dekoracyjnych itp. Wiele powłok lakierniczych ma również za zadanie spełnianie określonych, specjalnych funkcji użytkowych, takich jak przewodność cieplna, przewodność elektryczna, odporność na działanie światła itp. Materiały lakiernicze, w dużym stopniu, zwiększają okres eksploatacji i trwałość elementów konstrukcyjnych, części maszyn i kompletnych urządzeń.

Do najważniejszych wymagań, stawianych pokryciom lakierniczym należą: wysoka przyczepność do podłoża, porównywalny współczynnik rozszerzalności cieplnej powłoki i lakierowanego materiału, wysoka ściśliwość, brak porowatości, wysoka elastyczność przy odpowiednio wysokiej twardości i wytrzymałości, odporność cieplna i odporność chemiczna.



Rysunek 9.1: Utwardzanie powłoki lakierniczej na gotowym wyrobie

Jakość i wytrzymałość powłok lakierniczych zależy od ich składu chemicznego, rodzaju lakierowanego materiału, przygotowania powierzchni, technologii i jakości nanoszonego pokrycia. Podstawowymi składnikami materiałów lakierniczych są środki błonotwórcze, rozpuszczalniki i pigmenty.

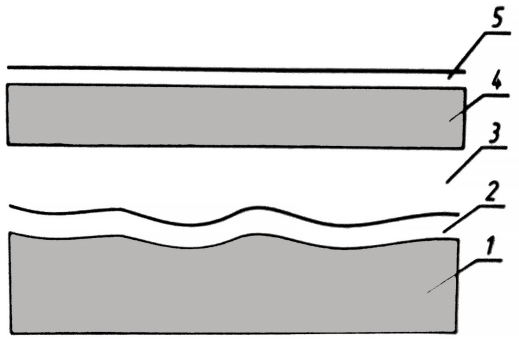
Środki błonotwórcze zapewniają lakierom zdolność zwilżania powierzchni i tworzenia błony lakierniczej. Określają one również podsta-

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

wowe właściwości lakierów. Do najważniejszych środków błonotwórczych należą oleje roślinne, żywice epoksydowe i poliestrowe, polimery, kauczuki. Stąd też od nazwy środka błonotwórczego powstały nazwy lakierów: lakiery olejne, żywiczne, silikonowe czy chlorokauczukowe.

Rozpuszczalnikami lakierów olejnych może być aceton, benzyna, terpentyna czy alkohole. W celu przyspieszenia schnięcia powłoki lakierniczej stosowane są utwardzacze i aktywatory. Rolę katalizatora, który wiąże nałożoną powłokę z podłożem pełnią krzemiany, olejowe roztwory tlenków kobaltu, cynku i ołowiu. Ponadto, w składzie materiałów lakierniczych znajdują się różnego rodzaju barwniki, substancje matujące i antyutleniacze.

Ze względu na sposób schnięcia, rozróżnia się powłoki lakiernicze utwardzające się pod wpływem powietrza w temperaturze otoczenia lub w podwyższonej temperaturze 80-200°C.



Rysunek 9.2: System pokrycia lakierniczego: 1-metal podłoża, 2-grunt, 3-szpachlówka, 4-lakier barwny, 5-lakier bezbarwny

Oprócz lakierów, do materiałów lakierniczych zalicza się również grunty i szpachlówki. Grunty są dolnymi warstwami pokrycia i mają za zadanie zapewnienie odpowiedniej przyczepności do podłoża. Zawierają różnego rodzaju dodatki, takie jak sole kwasu chromowego, minię ołowianą czy biel cynkową. Szpachlówka to zagęszczona masa, która służy do wyrównywania powierzchni przed procesem lakierowania. Najlepszą jakość i trwałość powłoki lakierniczej, nakładanej na różne części maszyn, można osiągnąć poprzez utworzenie pokrycia wielowarstwowego. Połączenie ze sobą, w odpowiedniej kolejności, warstw materiałów lakierniczych nosi nazwę systemu zabezpieczenia lakierniczego. Ogólna liczba warstw może wynosić od 2 do 14, grubość pojedynczej warstwy gruntu i lakieru wynosi 10-26 μm, a szpachlówki do 1 mm.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Na poniższym rysunku 9.3 przedstawiono charakterystykę i zastosowanie najczęściej stosowanych materiałów lakierniczych.

Rodzaje lakierów	Substancje błonotwórcze	Rozpuszczalniki	Zastosowanie
Olejne	schnące oleje roślinne, np. lniany, drzewny, pokost	olej terpentynowy, benzyna	A, B
Olejno-żywiczne	oleje roślinne + żywice fenolowo-formaldehydowe, ftalowe, modyfikowane	węglowodory, benzyna	A, B, C
Żywiczne	żywice aminowe, poliestrowe, epoksydowe, fenolowe	estry, ksylen butanol, węglowodory aromatyczne	A, B, C
Polichlorowinylowe	polimery i kopolimery chlorku winylu, chlorowany polichlorek winylu	estry, ketony, węglowodory aromatyczne	A, C
Chlorokauczukowe	chlorokauczuk z dodatkami oleju lnianego lub żywicy ftalowej	estry, ketony, węglowodory aromatyczne	B, C
Specjalne:			
• silikonowe	żywice i kauczuki silikonowe	chlorowcopodobne węglowodanów, węglowodory aromatyczne	B, C (do 300°C)
• poliimidowe	poliaminokwasy	dwumetyloformamid	C (do 350°C)
• poliamidowe (najczęściej proszkowe, tzw. bezrozpuszczalnikowe)	poliamidy	krezol	B, C
• nitrocelulozowe	żywice nitrocelulozowo-uretanowe, nitro-amino-formaldehydowe	estry, ketony,	B, C (karoserie samochodowe)

A - stosowane do pokrywania przedmiotów, znajdujących się pod wpływem działania czynników atmosferycznych
B - do pokrywania nawierzchni narażonych na wpływy atmosferyczne
C - na powłoki o specjalnych wymaganiach cieplnych i chemicznych

Rysunek 9.3: Charakterystyka niektórych materiałów lakierniczych

9.3 Kleje

Kleje są substancjami chemicznymi, produkowanymi na bazie polimerów. Ich cechą charakterystyczną jest możliwość powstawania cienkich warstw (błon), które tworzą silne powiązanie pomiędzy klejonymi materiałami. W porównaniu z innymi metodami, takimi jak spawanie,

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

zgrzewanie czy nitowanie, powstające w ten sposób połączenia posiadają wiele zalet, co pozwala na zastąpienie innych metod łączenia części maszyn.

Do najważniejszych zalet połączeń klejonych należą:

- możliwość trwałego i łatwego łączenia różnych materiałów, np. metali ze szkłem, ceramiką, tworzywami sztucznymi, drewnem czy kompozytami;
- możliwość łączenia materiałów o różnych grubościach, bez możliwości powstania pęknięć i niepożądanych uszkodzeń;
- brak możliwości wystąpienia korozji;
- brak dodatkowych elementów osłabiających konstrukcję przez otwory pod śruby, nity, kołki;
- dobra izolacja cieplna i elektryczna;
- niewielka masa połączenia;
- niska cena wykonania połączenia.

Do wad połączeń klejonych należy, przede wszystkim, niewielka trwałość cieplna podczas długotrwałej eksploatacji oraz niska wytrzymałość w przypadku nierównomiernego obciążenia. Jakość połączenia klejonego zależy głównie od zjawiska adhezji, czyli siły która powoduje związanie kleju z powierzchnią łączonych materiałów.

Do produkcji klejów stosowane są głównie polimery termoplastyczne i termoutwardzalne. Kleje na bazie polimerów termoplastycznych używane są do wykonywania połączeń, od których nie wymaga się wysokiej wytrzymałości. Dlatego też są one wykorzystywane do klejenia papieru, kartonu i tkanin. Wraz ze wzrostem temperatury, nałożona warstwa kleju zaczyna mięknąć, co powoduje rozklejanie połączonych elementów.

Znacznie wyższą wytrzymałość mają kleje sporządzone z żywic termoutwardzalnych, zawierających utwardzacze, środki przyspieszające proces utwardzania, napełniacze i plastyfikatory pozwalające na uzyskanie trwałego i mocnego połączenia. Kleje takie mogą być utwardzane w temperaturze otoczenia lub na gorąco. Kleje niskotemperaturowe są przygotowane bezpośrednio przed użyciem, natomiast kleje do łączenia na gorąco są przygotowywane bezpośrednio u producenta.

Najszersze zastosowanie mają kleje na bazie żywic epoksydowych. Służą one do łączenia metali z materiałami niemetalowymi. Mogą pracować w szerokim zakresie temperatur od -253°C do 1000°C i zachowują dużą wytrzymałość w cyklicznych warunkach pracy.

Kleje żywiczne mogą występować w stanie ciekłym, w postaci pasty lub folii. Oprócz tej grupy, dużym zainteresowaniem cieszą się kleje

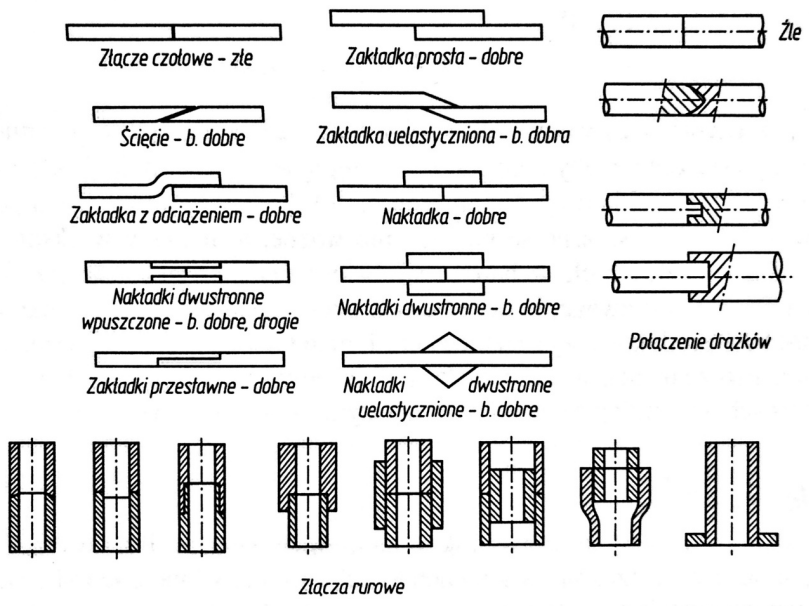
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Norway grants
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

poliuretanowe, kauczukowe oraz różnego rodzaju ich mieszanki. W radiotechnice i elektronice stosowane są kleje galowe (klej-lutowie). Uzyskane w ten sposób połączenia, posiadają bardzo dobre przewodnictwo cieplne i elektryczne, wysoką wytrzymałość i stabilność eksploatacyjną w temperaturach 196-800°C.

Klejenie metali znalazło szerokie zastosowanie przy nakładaniu okładzin ciernych, łączeniu blach i rur. Obecnie jest również wykorzystywane podczas napraw istniejących konstrukcji czy pęknięć odlewniczych form ciśnieniowych. Połączenia klejone stosuje się również w konstrukcjach lotniczych i pojazdach kosmicznych.

9.4 Wytrzymałość połączeń klejonych

Wytrzymałość złącza klejonego zależy od rodzaju użytego kleju i łączonych materiałów. Na jego własności eksploatacyjne ma również wpływ konstrukcja złącza, rodzaj występującego obciążenia oraz przygotowanie powierzchni łączonych materiałów.



Rysunek 9.4: Przykłady złączy klejonych

W celu uzyskania połączenia o wysokiej jakości należy odpowiednio zwilżyć klejone powierzchnie. Warstwa kleju musi być wolna od pęcherzy, a powierzchnia powinna być przygotowana zgodnie z technologią

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

zalecaną dla danego rodzaju kleju. Wytrzymałość złącza klejonego zależy również od grubości warstwy kleju, która powinna wynosić około 0,1 mm. Należy także uwzględnić zasadę, że im większa powierzchnia klejona, tym złącze będzie bardziej wytrzymałe. Na rysunku 9.4 przedstawiono, jak można zwiększyć powierzchnię klejenia w różnych połączeniach, poprzez zastosowanie nakładek i wpustów. W celu uzyskania dobrej przyczepności kleju do powierzchni metalu należy:

- usunąć z powierzchni metalu korozji, kurzu i zanieczyszczeń mechanicznych;
- odtłuścić klejone powierzchnie;
- wytrawić powierzchnię z użyciem środków chemicznych.

Powyższe zabiegi są powszechnie stosowane w lakiernictwie, galwanizerniach i procesach technologicznych, wymagających dużej czystości powierzchni. Odpowiednie przygotowanie powierzchni, przed procesem klejenia, pozwala na kilkakrotne zwiększenie wytrzymałości połączenia. Można to sprawdzić na przykładzie połączenia próbek aluminiowych na zakładkę klejem epoksydowym. Łączone materiały zostały przygotowane do procesu klejenia w różny sposób. Następnie sprawdzono ich wytrzymałość na rozciąganie i uzyskano następujące wyniki dla wykonanych spoin:

- szlifowanie papierem ściernym – 53 MPa;
- odtłuszczenie acetonem i szlifowanie papierem ściernym – 78 MPa;
- odtłuszczenie benzyną ekstrakcyjną, wytrawienie i wysuszenie – 195 MPa.

Przy przygotowywaniu materiałów do klejenia należy pamiętać, aby nie dotykać powierzchni po wytrawieniu ręką. Można to robić jedynie w rękawiczkach. Nie należy również przetrzymywać wytrawionych przedmiotów na powietrzu, dłużej niż 15 minut, ponieważ mogą się one pokryć warstwą pasywacyjną, uniemożliwiającą odpowiednie sklejenie.

9.5 Materiały smarne

Materiały smarne to substancje, wprowadzone pomiędzy przemieszczające się względem siebie powierzchnie, których zadaniem jest zmniejszenie występujących oporów tarcia i ochrony przed korozją. Bez ich zastosowania, eksploatacja i praca wielu maszyn i urządzeń, byłaby niemożliwa do realizacji.

W przyrodzie występują także smary. Naturalnym smarem jest tzw. maź stawowa w kolanie, smarująca chrząstki na końcach kości i umożliwiająca ich skręcanie.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

W zależności od konsystencji, materiały smarne możemy podzielić na ciekłe (oleje) i półstałe (smary). Substancje te odgrywają ważną rolę w technice. Jak wiadomo, siła tarcia przy ruchu zależy od siły nacisku i chropowatości powierzchni, ale nawet najlepiej obrobione powierzchnie nie są idealnie gładkie. Wprowadzony olej lub smar, pomiędzy powierzchnie trące, wypełnia przestrzeń pomiędzy nimi, co powoduje zmniejszenie tarcia między cząsteczkami.

W starożytności materiałami smarnymi były masło, oliwa lub ciastowata glina. Obecnie, w wyniku występujących dużych prędkości i obciążeń w maszynach i urządzeniach, wytwarzanie środków smarnych należy do najważniejszych problemów związanych z eksploatacją.

W silniku samochodowym, w sposób ciągły, pompowany jest olej, który smaruje wszystkie ruchome części, chroniąc je w ten sposób przed ścieraniem i nadmiernym rozgrzaniem. W trakcie wykonywania odwiertów w głąb ziemi, w celu dostania się do pokładów ropy naftowej, płynne błoto jest ciągle wtłaczane do otworu, w celu zapewnienia smarowania i chłodzenia wiertła. Praktycznie we wszystkich urządzeniach mechanicznych stosowane są materiały smarujące.

Głównymi cechami charakterystycznymi materiałów smarnych są:

- **Lepkość** – jest to opór wewnętrzny, spowodowany tarciem o siebie substancji podczas ich wzajemnego przesuwania się. Jest parametrem, który charakteryzuje stopień płynności oleju. Rozróżnia się lepkość dynamiczną i kinematyczną, która może się zmieniać w zależności od temperatury.
- **Smarność** – jest to odporność na przerywanie warstwy granicznej i określa przydatność oleju, dla danej pary trącej, w warunkach tarcia granicznego.
- **Przyczepność** – jest to zdolność smaru do przyczepiania się do powierzchni smarowanej części, która im większa, tym trwalsza warstewka smaru, rozdzielająca obie współpracujące powierzchnie.
- **Trwałość** – jest to odporność smaru na działanie czynników zewnętrznych, takich jak np. podwyższona temperatura, wilgoć powodująca powstawanie kwasów i związków chemicznych. Substancje te obniżają właściwości smarownicze i mają negatywny wpływ na powierzchnię metali.

Oleje

Rozróżnia się następujące rodzaje olejów:

- mineralne,

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

- syntetyczne,
- pochodzenia roślinnego i zwierzęcego.

Oleje mineralne są otrzymywane poprzez destylację lub rafinację ropy naftowej i charakteryzują się stałością właściwości smarowniczych. Oleje syntetyczne częściowo lub całkowicie składają się z substancji syntetycznych, zapewniających im wymagane właściwości. Największe zastosowanie spośród olejów pochodzenia roślinnego ma olej rycynowy, stosowany do smarowania maszyn i urządzeń, pracujących pod dużym obciążeniem i w wysokiej temperaturze. Olej rzepakowy jest przeznaczony do smarowania łożysk. Inne oleje roślinne, takie jak olej kokosowy, słonecznikowy czy sojowy są stosowane jako domieszki do smarów.

Oleje pochodzenia zwierzęcego, takie jak olej kostny czy tłuszcze zwierzęce są używane jako dodatki do wysokogatunkowych smarów.

W zależności od przeznaczenia wyróżnia się również oleje przekładniowe, maszynowe, turbinowe, hydrauliczne, konserwacyjne itp. Przy jego doborze, należy uwzględnić warunki pracy urządzenia, na podstawie norm i katalogów środków smarnych.

Smary stałe

Smary stałe, dzięki swej budowie, wykazują jednocześnie właściwości ciał stałych i cieczy. Pod wpływem niewielkich nacisków, smary zachowują się jak ciała stałe, ulegając elastycznemu odkształceniu. W przypadku przekroczenia zakresu dopuszczalnej wytrzymałości, ich odkształcenie następuje w sposób nieodwracalny i następuje ich „płynięcie", smarując jednocześnie współpracujące części maszyn.

Podstawowymi składnikami smarów są oleje i środki zagęszczające. Wszystkie smary mają budowę koloidalną, gdzie fazą rozpuszczającą jest olej, natomiast fazę rozpuszczaną stanowią środki zagęszczające. Środkami zagęszczającymi są mydła, a do wyrobów o specjalnych właściwościach substancje nieorganiczne, takie jak np. glina, grafit lub dwusiarczek molibdenu.

Smary syntetyczne są otrzymywane z oleju silikonowego i estrowego oraz syntetycznych środków zagęszczających, np. modyfikowanej krzemionki. Natomiast wazeliny i smary ochronne są wytwarzane poprzez zagęszczenie olejów mineralnych parafiną.

Smary stałe stosuje się, gdy :

- powierzchnie, współpracujące ze sobą, nie mogą, ze względu na kształt, utrzymać innych środków smarnych;
- uszczelnienie smarowanych powierzchni jest utrudnione;

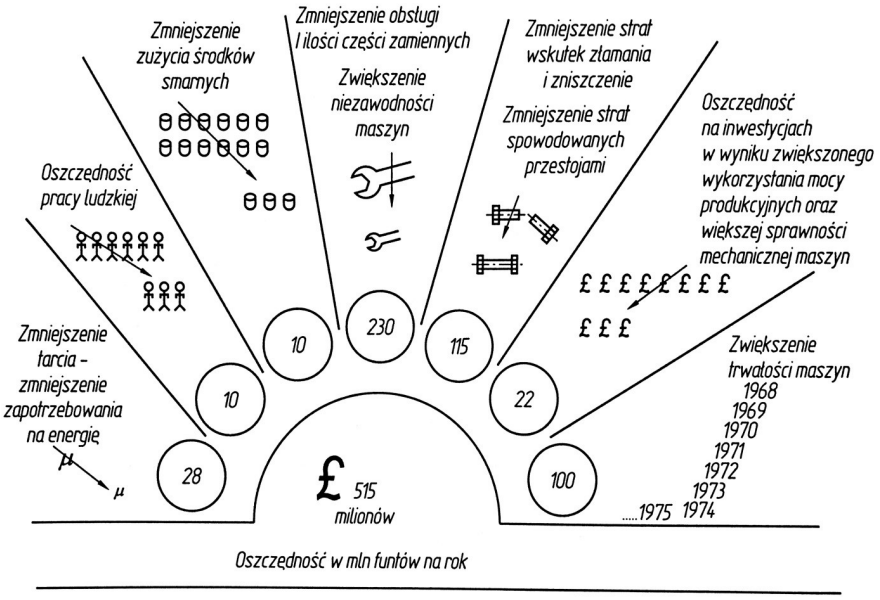
Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

- urządzenia pracują pod znacznym obciążeniem i w podwyższonej temperaturze.

Ze względu na zastosowanie, smary stałe można podzielić na smary do łożysk ślizgowych, tocznych, maszynowe, ochronne, do przekładni zębatych, walców itp.

Smarami, które odznaczają się odpornością na działanie wilgoci są smary wapniowe (towoty). W urządzeniach, pracujących pod dużym obciążeniem i podczas docierania silników spalinowych, używane są smary grafitowe.

Ze względu na zmienne warunki pracy, istnieje bardzo duża grupa smarów stałych. Wymagania im stawiane są obecnie bardzo wysokie i mogą je spełnić tylko smary wielofunkcyjne, które nadają się do pracy w bardzo szerokim zakresie eksploatacji. Pozwala to również na ograniczenie kosztów, związanych ze zużyciem maszyn i urządzeń.



Rysunek 9.5: Oszczędności w Wielkiej Brytanii w wyniku zastosowania środków smarnych

Właściwości materiałów smarnych

Właściwości materiałów smarnych w czasie przechowywania mogą się zmieniać pod wpływem temperatury, wilgoci, ilości i zapylenia powietrza oraz działania promieni słonecznych.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Podobnie, jak w przypadku paliw, smary powinny być przechowywane w specjalnych magazynach, z zachowaniem przepisów bezpieczeństwa przeciwpożarowego. Zgodnie z przepisami BHP, w każdym magazynie materiałów smarnych, powinny znajdować się gaśnice proszkowe. Instalacje elektryczne powinny być umiejscowione pod tynkiem, a włączniki na zewnątrz pomieszczenia. Nie wolno wchodzić z zapalonym papierosem i urządzeniami, które mogą powodować iskrzenie. W normalnych warunkach eksploatacji nie ulegają one samozapłonowi, ale np. zaoliwione szmaty za kaloryferem lub składowane w pojemnikach mogą być przyczyną pożaru.

Niedopuszczalne jest pozostawianie smarów na wolnym powietrzu, z narażeniem na działanie promieni słonecznych. Wraz z upływem czasu tracą one swoje właściwości, dlatego nie powinny być one przechowywane dłużej niż 2 lata.

Środki smarne, pracujące w maszynach i urządzeniach, z upływem czasu tracą swoje właściwości, ze względu na zanieczyszczenie płynem, wilgocią i zanieczyszczeniami. Można je poddawać procesowi regeneracji. Należy jednak zwrócić uwagę, aby zużyte oleje były posegregowane według gatunku i stopnia zanieczyszczenia. Nie można mieszać ciekłych olejów ze smarami stałymi, ponieważ proces oczyszczania takich materiałów jest bardzo skomplikowany. Regeneracja pozwala nie tylko na uzyskanie produktów o wysokiej jakości, ale również ochronę środowiska naturalnego, ponieważ oleje i smary mogą powodować jego degradację.

9.6 Ćwiczenie do samodzielnego wykonania

Ćwiczenie 9.1 — Wykonanie kleju w domu.

W warunkach domowych można wykonać klej przy pomocy tanich i ogólnodostępnych składników. W tym celu należy podgrzać 0,5l chudego mleka z 2 łyżkami stołowymi octu, jednocześnie przez cały czas je mieszając. W ten sposób zostanie utworzona grudkowata substancja, nazywana kazeiną. Następnie należy odcedzić kazeinowe grudki i zmieszać je z 2 łyżkami stołowymi wody i 6 łyżkami sody oczyszczonej. Po rozrobieniu powstałej masy należy ją przetrzeć przez sito i odstawić na 24 godziny. Po tym czasie klej jest gotowy do użytku. Można go wykorzystać z powodzeniem do klejenia papieru. Trwałe połączenie powstanie po kilku minutach, kiedy klej

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

wyschnie. W przypadku, gdy istotny jest czas klejenia, można użyć klejów umożliwiających wykonanie połączenia w ciągu kilku sekund. Substancje takie łączą ze sobą wszystkie rodzaje powierzchni, należy jednak pamiętać o zachowaniu ostrożności podczas obchodzenia się z takim klejem. Każde zetknięcie ze skórą lub okiem może być niebezpieczne. ■

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



10. Odlewnictwo w przemyśle, w kinie i w domu

Andrzej Trytek

10.1 Wstęp

Czy współcześnie możemy funkcjonować bez odlewów? Odpowiedź brzmi NIE! Jeśli człowiek, na kolejnych etapach ewolucji, nie rozwijałby technologii odlewania metali, nie byłoby możliwe wykonywanie wyrobów ze złota, żelaza i miedzi. Ludzie od kilkunastu tysięcy lat używali metali, a dzięki możliwości ich topienia oraz dowolnego nadawania przydatnych kształtów, wykonywali np. broń, narzędzia, naczynia i ozdoby.

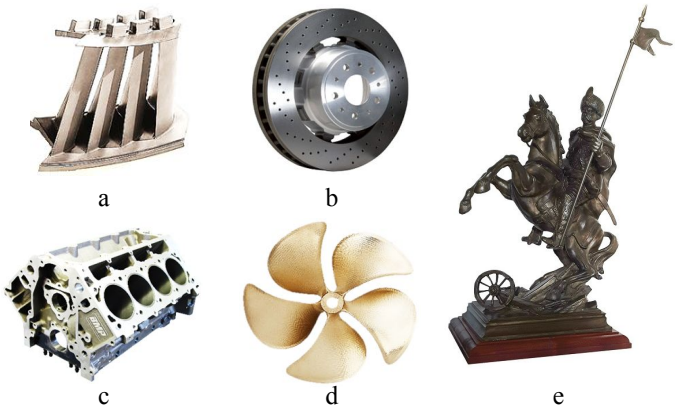
Setki lat rozwoju cywilizacji i związana z nią produkcja metali, to lata doświadczeń ludwisarzy, kowali czy nawet alchemików, które spowodowały rozwój wytwarzania produktów metalowych. Początkowo, wytwarzano broń (armaty i kule), groty strzał, toporki, elementy zbroi i powozów, wyroby jubilerskie, monety, pomniki oraz dzwony. Obecnie, przemysł produkuje zaawansowane technologicznie elementy, części i wyroby wielu zastosowań, które wykonywane są z różnych metali. Współcześnie, najczęściej spotykanymi pierwiastkami metalicznymi w produkcji przemysłowej są: Fe – żelazo, Al – aluminium, Cu – miedź, Sn – cyna, Zn – cynk, Mg – magnez, Cu – złoto, Ag – srebro, Pb – ołów. Jednak czyste metale, ze względu na niską wytrzymałość, są stosowane tylko w jubilerstwie i elektrotechnice. Natomiast powszechnie stosuje się mieszaniny metali z innymi pierwiastkami metalicznymi

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

i niemetalicznymi. Taką mieszaninę nazywa się stopem. **Stop** to mieszanina, co najmniej dwóch pierwiastków, przy czym jeden z nich, który stanowi większość, to metal. Przygotowaniem stopów zajmują się przedsiębiorstwa branży metalurgicznej (huty oraz odlewnie). Huty żelaza, aluminium lub miedzi przygotowują stopy z kopalin (rud metali) oraz surowców wtórnych (złomu) i innych składników niemetalicznych. Odlewnie natomiast, zajmują się wykonywaniem odlewów z różnych stopów, w zależności od potrzeb.

W praktyce przemysłowej, stopy odlewnicze składają się z wielu pierwiastków stopowych. Najczęściej spotykane stopy odlewnicze to (rys. 10.1):

- stal: mieszanina – żelaza (Fe) z węglem (C), chromem (Cr), niklem (Ni), manganem (Mn), miedzią (Cu) i innymi pierwiastkami;
- żeliwo: mieszanina – żelaza (Fe) z węglem (C), krzemem (Si), manganem (Mn) i innymi pierwiastkami;
- stopy aluminium: mieszanina – aluminium (Al) z krzemem (Si), magnezem (Mg), miedzią (Cu) i innymi pierwiastkami;
- stopy miedzi:
  - mosiądze: mieszanina miedzi (Cu) i cynku (Zn) i innymi pierwiastkami,
  - brązy: mieszanina miedzi (Cu) i cyny (Sn) i innymi pierwiastkami.



Rysunek 10.1: Przykłady wykorzystania stopów do odlewania: a) stal – elementy silnika lotniczego, b) żeliwo – tarcza hamulcowa samochodu, c) stop aluminium – blok silnika spalinowego, d) mosiądz – śruba okrętowa, e) brąz – rzeźba Jana III Sobieskiego

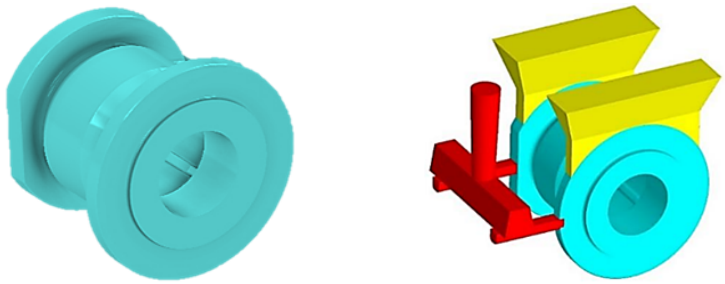
Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

10.2 Co to jest odlewnictwo?

Definicja 10.1 — Odlewnictwo. Jest to dziedzina techniki, zajmująca się wytwarzaniem metalowych przedmiotów. Odlewnictwo polega na wykonywaniu odlewów, czyli części maszyn lub gotowych wyrobów. Dzieje się to w trzech etapach:

1. Wykonanie formy odlewniczej.
2. Przygotowanie ciekłego stopu odlewniczego (topienie).
3. Zalanie formy ciekłym stopem.

Wykonanie, wspomnianej wyżej, formy odlewniczej wymaga zastosowania modelu. Model z kolei jest to bryła, która swoim kształtem odwzorowuje kształt odlewu w formie (rys. 10.2a). Kształt wewnętrzny odlewu odtwarza rdzeń, który przygotowuje się w rdzennicach. Tak więc forma odlewnicza to bryła przestrzenna, wykonana przy użyciu modelu, zawierająca układ wlewowy (rys. 10.2b) w masie formierskiej.



a b

Rysunek 10.2: Przykładowy model odlewniczy: a) model tulei (niebieski kolor), b) model tulei (niebieski kolor) wraz z układem wlewowym (czerwony i żółty kolor)

Forma składa się najczęściej z dwóch części i rdzenia (jeśli jest potrzebny) (rys. 10.3a). Następnie, do gotowej formy wlewa się ciekły stop odlewniczy (rys. 10.3b). Formy odlewnicze możemy podzielić na:

- jednorazowe,
- wielokrotnego użycia.

Formy jednorazowe wykonuje się z masy formierskiej, która składa się z piasku i dodatków wiążących. Z kolei formy wielokrotnego użycia wykonywane są ze stopów metali, pod warunkiem, że temperatura topnienia tego stopu jest znacznie wyższa od temperatury stopu, który będzie wlewany do tej formy.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



a



b



c

Rysunek 10.3: Przykładowe etapy wykonania odlewu: a) gotowa forma z masy piaskowej b) zalewanie formy ciekłym stopem, c) surowy odlew wraz z układem wlewowym

10.3 Gdzie możemy spotkać odlewy?

Każdy człowiek, od tysięcy lat, niezależnie od wykształcenia i miejsca zamieszkania, używa odlewów bezpośrednio lub innych rzeczy zbudowanych z odlewów (np. biżuteria, srebrne sztućce, żeliwne i miedziane naczynia, broń, kaloryfer, samochód, samolot). Największymi odbiorcami i użytkownikami odlewów są firmy, produkujące gotowe wyroby i części do nich, medycyna oraz sztuka. Odlewy wykorzystywane są w przemyśle lotniczym i kosmicznym, zbrojeniowym, motoryzacyjnym, okrętowym, maszynowym i elektromaszynowym, energetycznym, chemicznym i petrochemicznym oraz spożywczym. Natomiast odlewy, które znajdziemy w gospodarstwie domowym, użytkowane są w urządzeniach kuchennych, sztućcach i naczyniach, armaturze łazienkowej, meblach ogrodowych, żyrandolach, balustradach, ogrodzeniach, jak również urządzeniach RTV. Z kolei branża medyczna, wykorzystuje odlewy w produkcji urządzeń medycznych, narzędzi chirurgicznych i implantów. Nie możemy nie wspomnieć o kulturze i sztuce, w których od tysięcy lat wykonuje się odlewy płaskorzeźb, pomników, dzwonów, figurek, ozdób, a także biżuterii.

10.4 Historia i współczesność w odlewnictwie

Odlewnictwo antyczne

Odlewnictwo jest najstarszą metodą wytwarzania wyrobów metalowych, zastosowaną przez człowieka (ok. 5000 p.n.e.). Jako rzemiosło, znane

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

było już w starożytności i wykorzystywane do wytwarzania wyrobów ze złota i miedzi, które przetwarzano na ozdoby, narzędzia, broń, biżuterię i naczynia (rys. 10.4). Zasady wykonywania wyrobów ze złota i brązu, tzw. metodą wytapianych modeli woskowych, pozostały do dziś i stanowią najdokładniejszą nowoczesną technologię wykonywania odlewów o skomplikowanych kształtach, np. wyrobów jubilerskich, elementów silników lotniczych, implantów medycznych oraz narzędzi chirurgicznych.



a b

Rysunek 10.4: Archeologia: a) odlew z brązu, głowa władcy Niniwy – Mezopotamia ok. 2000 p.n.e., b) zestaw biżuterii – Etruskowie, VII wiek p.n.e.

Znane odlewy w Polsce

Najbardziej znanymi odlewami w Polsce są „Drzwi Gnieźnieńskie", które znajdują się w Katedrze Gnieźnieńskiej oraz „Dzwon Zygmunta" w Katedrze Wawelskiej w Krakowie (rys. 10.5).

„Drzwi Gnieźnieńskie" datowane są na lata 1170-1180. Wykonano je ze stopu miedzi (brązu). Dwuskrzydłowe drzwi o wymiarach 328×84 cm i 323×83 cm oraz grubości około 2 cm odlano precyzyjną metodą wytapiania modeli woskowych. Natomiast „Dzwon Zygmunta" jest najbardziej znanym dzwonem w Polsce. Wykony został z brązu, w 1520 roku, na zlecenie Zygmunta I Starego. Dzwon waży 11 ton. Jego średnica wynosi 242 cm, wysokość to 241 cm, grubość od 7 do 29 cm, a masa serca dzwonu to 365 kg.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



a b

Rysunek 10.5: Słynne odlewy w Polsce: a) „Drzwi Gnieźnieńskie", b) „Dzwon Zygmunta"

Odlewnictwo na Podkarpaciu

Województwo podkarpackie to obszar przemysłowy, który jest mocno związany z przemysłem metalurgicznym i tradycjami odlewniczymi. Branża odlewnicza na Podkarpaciu, reprezentowana jest przez kilkadziesiąt podmiotów gospodarczych. Podkarpackie firmy, zajmujące się odlewnictwem, znajdują się w Rzeszowie, Stalowej Woli, Gorzycach, Nisku, Tarnobrzegu, Ulanowie, Nowej Sarzynie, Nowej Dębie, Mielcu, Przemyślu, Jaśle, Sanoku, Pilźnie, Głogowie Małopolskim, Zaczerniu, Trzebownisku, Woli Rafałowskiej, Narolu oraz Orłach. Odlewnie te wykonują elementy ze stopów Fe, Al, Mg, Zn, Cu, Au, Ag, Ti, Co, Ni i Cr.

Wytwarzanie maszyn, urządzeń, pojazdów, samolotów oraz wielu innych wyrobów wymaga ich zaprojektowania i wykonania części, niejednokrotnie o bardzo skomplikowanych kształtach. Wyprodukowanie ich jest możliwe, poprzez zastosowanie nowoczesnych technologii odlewania. Produkcja ta, to odlewy na najwyższym światowym poziomie, dla odbiorców najdroższych marek samochodów osobowych, koncernów lotniczych oraz uznanych producentów maszyn, urządzeń i robotów przemysłowych.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 10.6: Odlewy wykonywane w Stalowej Woli i okolicy: a) odlewy ramion robotów KUKA, b) felgi samochodów osobowych, c) tłoki silników spalinowych, d) obudowa napędu do samochodu Aston Martin, e) medale okolicznościowe

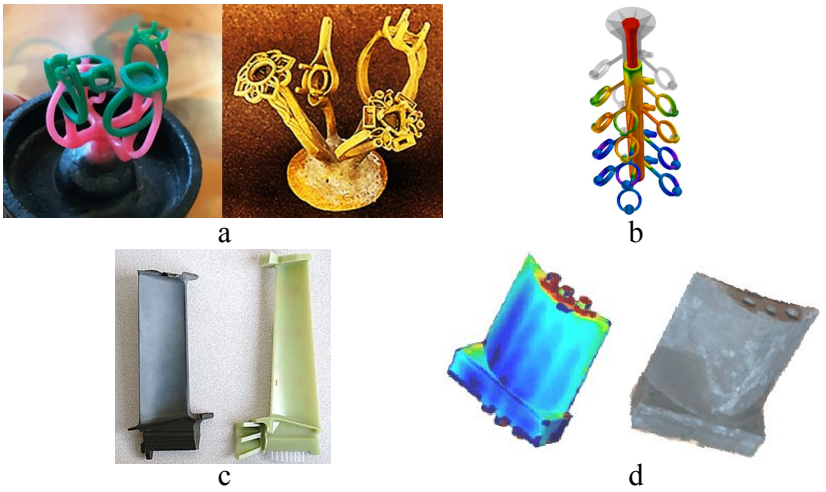
Bardzo szeroka gama metod odlewania oraz wieloletnie tradycje i doświadczenie kadry inżynierskiej sprawia, że to właśnie na Podkarpaciu, wielu światowych producentów znanych marek handlowych, produkuje swoje wyroby (rys. 10.6). I tak na przykład, największy dzwon na świecie powstał 20 września 2018 roku, dzięki ponad 200 letniej, rodzinnej tradycji odlewniczej Pracowni Jana Felczyńskiego w Przemyślu. We współpracy z odlewnią w Krakowie, odlano dzwon z brązu, którego ciężar to 55 ton, średnica to 4,5 m, a wysokość 4 m (rys. 10.7). Dzwon wykonano na zlecenie Sanktuarium znajdującego się w mieście Trindade w Brazylii.



Rysunek 10.7: Największy dzwon na świecie: „Vox Patris” – głos Ojca

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli” współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Współczesne odlewnictwo precyzyjne to łączenie doświadczeń kilku tysięcy lat i nowoczesnych narzędzi, maszyn oraz komputerów. Stosowana w czasach antycznych, technika modeli woskowych jest wykorzystywana także dzisiaj do odlewania wyrobów jubilerskich, oraz do najbardziej odpowiedzialnych części silników samolotów odrzutowych (rys. 10.8).



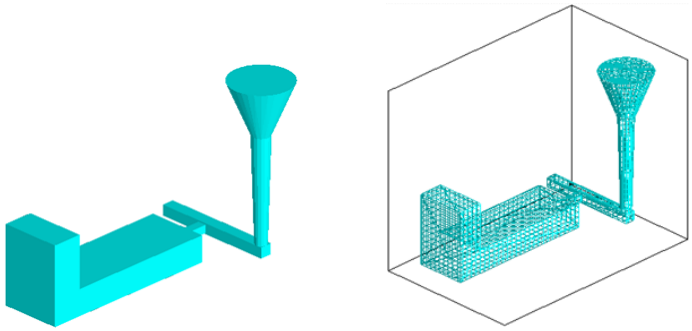
Rysunek 10.8: Odlewy precyzyjne: a) modele woskowe pierścionków i ich odlewy ze złota, b) symulacja odlewania pierścionków, c) model woskowy i odlew łopatki silnika odrzutowego, d) symulacja i gotowy odlew łopatki silnika odrzutowego

Na Podkarpaciu również wykonywane są odlewy precyzyjne dla przemysłu lotniczego, motoryzacyjnego oraz armatury i wyrobów jubilerskich. W przypadku tych współczesnych wyrobów, przed ich odlewaniem, wykonuje się komputerową symulację procesu odlewania. Symulacje takie przeprowadza się w odlewniach oraz laboratoriach uczelni technicznych.

10.5 Symulacje komputerowe w odlewnictwie

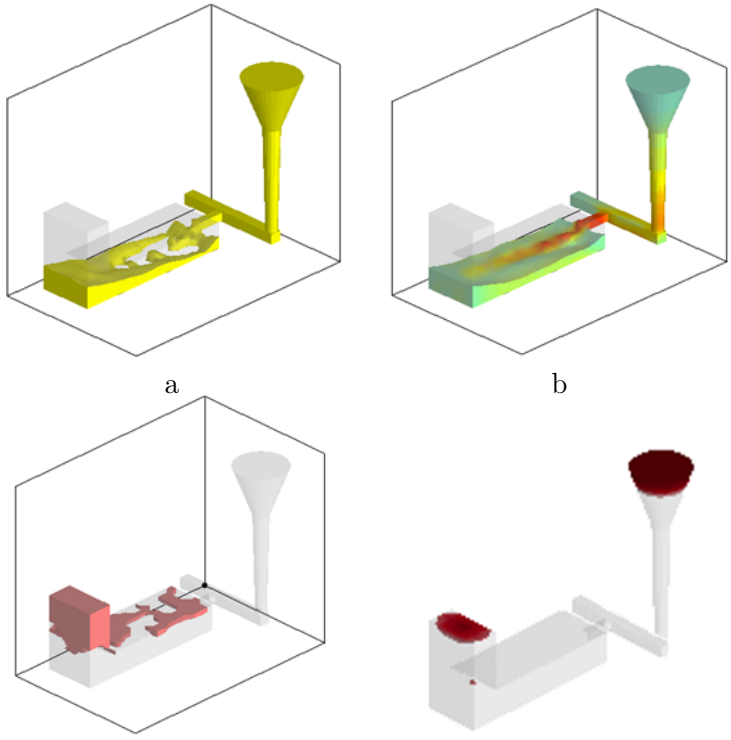
Współczesne wytwarzanie odlewów, wymaga zastosowania nowoczesnych technik komputerowych. Obecnie, każda odlewnia przed rozpoczęciem produkcji, przeprowadza próby komputerowego odlewania, tj. symulację. Symulacja odlewania wymaga przygotowania modelu komputerowago CAD, przetworzenia go na bryłę MESH, zadania odpowiednich parametrów zalewania formy i uruchomienia symulacji (rys. 10.9).

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



a b

Rysunek 10.9: Przygotowanie do symulacji odlewania: a) model CAD, b) bryła MESH



a b

c d

Rysunek 10.10: Symulacja odlewania: a) przepływ ciekłego metalu, b) rozkład prędkości, c) rozkład ciśnienia, d) porowatość w odlewie

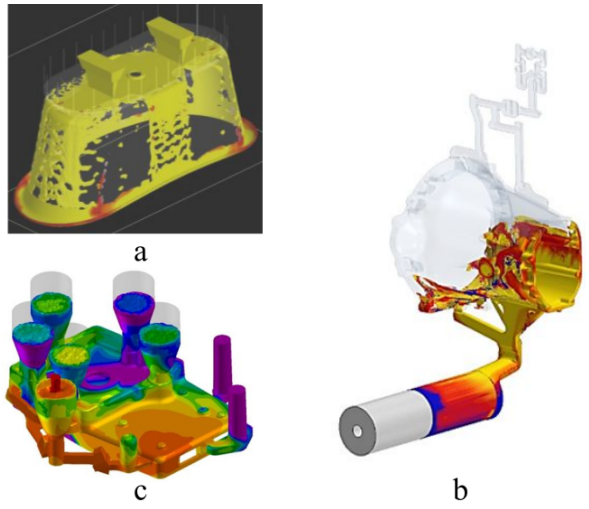
Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

W trakcie symulacji, można prowadzić obserwację przepływu ciekłego metalu we wnęce formy odlewniczej, rozkład prędkości strugi ciekłego metalu, rozkład ciśnienia i temperatury, jak również porowatość w każdym punkcie odlewu. Na tej podstawie ocenia się optymalne warunki odlewania oraz możliwość powstawania wad (rys. 10.10).

Przykładowe symulacje odlewania wanny żeliwnej, aluminiowej obudowy przekładni oraz stalowego elementu korpusu maszyny, wykonane w warunkach przemysłowych przedstawiono na rysunku 10.11.



Rysunek 10.11: Symulacje odlewania: a) przepływ metalu – przerywana struga, b) pole temperatury podczas odlewania ciśnieniowego

10.6 Odlewnictwo w kinie

Specyficzne możliwości kształtowania metali (poprzez ich topienie) stały się natchnieniem dla autorów książek, na podstawie których opracowano scenariusze wielu hitów kinowych. Odlewnictwo ma swoje kultowe sceny, między innymi w kinematografii.

Najsłynniejszą sceną filmową związaną z odlewnictwem jest scena finałowa filmu „Terminator 2" (1991 rok), w której Arnold Schwarzenegger jako terminator T-800 (rys. 10.12a), roztapia się w ciekłym metalu (rys. 10.13). Wątki metalurgiczne to także „Terminator 2" (1991 rok). Tutaj postać terminatora T-1000 (Robert Patrick) jest wykonana z płynnego metalu, dzięki czemu szybko zmienia wygląd oraz kształt (rys. 10.12b).

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



a b

Rysunek 10.12: Odlewnictwo w kinie: a) Arnold Schwarzenegger jako Terminator T-800, b) Robert Patrick i Terminator T-1000

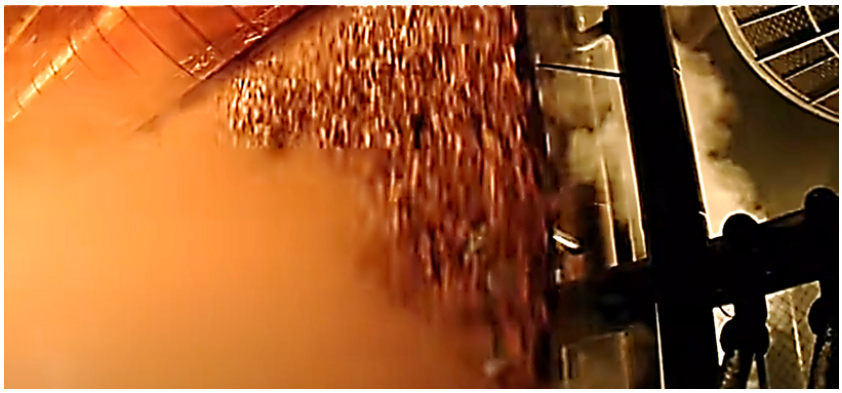


Rysunek 10.13: Kadr z filmu „Terminator 2", 1991: T-800 roztapia się w ciekłym metalu

Z kolei w filmie „Obcy 3" (1992 rok) akcja rozgrywa się w dalekiej przyszłości, w firmie metalurgicznej. Główna postać Ripley (Sigourney Weaver) w scenie finałowej, odgrywającej się w odlewni, wykorzystuje ciekły ołów (rys. 10.14). Kolejnym przykładem wykorzystania odlewnictwa w kinematografii jest druga część trylogii filmowej „Hobbit. Pustkowie Smauga" (2014 rok), gdzie grupa głównych bohaterów wytapia złoto i zalewa nim smoka (rys. 10.15). Warto obejrzeć jeszcze raz te filmy i zwrócić szczególną uwagę na te wątki.

Jak widzimy, motywy związane z metalurgią i odlewnictwem pojawiają się w wielu utworach literackich i filmowych, ale najlepiej poznać tę technologię i jej możliwości samemu. Możliwe jest to również w warunkach domowych. W kolejnym rozdziale znajduje się instrukcja, jak samemu wykonać prosty odlew.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



Rysunek 10.14: Kadr z filmu „Obcy 3” 1992, zalewanie formy ciekłym ołowiem



Rysunek 10.15: Kadr z filmu „Hobbit. Pustkowie Smauga” 2014, roztopione złoto i smok

10.7 Jak zrobić odlew w domu?

Wykonanie odlewu w warunkach domowych nie jest trudne, ale wymaga zastosowania odpowiedniego wyposażenia oraz kilku materiałów:

- model – do odtworzenia kształtu (rys. 10.16a),
- cyna lutownicza – materiał na stop odlewniczy (rys. 10.17a),
- glinka rzeźbiarska – materiał formierski (rys.10.16b),
- naczynie metalowe – do topienia cyny (rys. 10.17b),
- kuchenka gazowa lub elektryczna do rozgrzewania cyny w naczyniu,
- folia aluminiowa, olej silikonowy – materiały pomocnicze,
- rękawice kuchenne do gorących naczyń.

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli” współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Samodzielne wykonanie odlewu będzie wymagało użycia ciekłego metalu, o temperaturze około 200°C. Dlatego należy zachować szczególną ostrożność lub poprosić o pomoc osobę dorosłą.



a b c d

Rysunek 10.16: Wykonanie formy odlewniczej: a) model, b) model na podłożu z folii, c) masa formierska na modelu, d) gotowa forma z otworem wlewowym

Etapy wykonania odlewu:

1. Model oczyścić i nasmarować olejem (rys. 10.16 a).
2. Glinkę rzeźbiarską uplastycznić i wyrobić.
3. Na podłoże nałożyć folię aluminiową (rys. 10.16 b).
4. Ustawić model na folii i nałożyć glinkę (rys.10.16 b, 10.16 c).
5. Obcisnąć model, tak aby glinka dokładnie przylegała i odtworzyła każdy szczegół (rys.10.16 c).

Norway grants
Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).
Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

6. Oddzielić formę od folii. Delikatnie usunąć model z formy (rys. 10.16 d).
7. Uformować otwór wlewowy w formie, przez który zostanie wlany ciekły stop (rys. 10.16 d).
8. Pozostawić do wyschnięcia na kilka godzin. Czas wysychania zależy od grubości warstwy materiału formierskiego (glinki rzeźbiarskiej).
9. Złożyć elementy formy, uszczelnić i przygotować do zalewania.
10. Drobne kawałki cyny lutowniczej stopić w naczyniu metalowym (rys. 10.17).
11. Ciekły stop wlać do formy ciągłym strumieniem (rys. 10.18 a).
12. Odczekać do zakrzepnięcia metalu i ostygnięcia formy z odlewem.
13. Otworzyć formę i wyjąć odlew (rys. 10.18 b).
14. Odciąć układ wlewowy i odlew oczyścić z zalewek (rys. 10.18 c).



a b c

Rysunek 10.17: Topienie stopu: a) lutowniczy stop cyny, b) stalowy kubek podgrzewany na palniku gazowym, c) roztapianie stopu



Naczynie z ciekłym metalem przenosić w rękawicy ochronnej! Zalewanie należy wykonać spokojnym, nieprzerwanym strumieniem.

Taką metodą można wykonać kopie ulubionych breloczków, figurek medali i innych przedmiotów. Przykładowy odlew breloczka o kształcie gitary wykonany metodą „domową" przedstawiono na rysunku 10.19.

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.



a b c

Rysunek 10.18: Wykonanie odlewu: a) zalewanie formy, b) odlew po wyjęciu z formy, c) gotowy odlew po oczyszczeniu



a b c d

Rysunek 10.19: Wykonanie odlewu breloczka – gitary: a) model, b) forma odlewnicza, c) odlew breloczka, d) odlew po oczyszczeniu

Norway grants

Projekt pt.: „MODELOWE ROZWIĄZANIA NA TRUDNE WYZWANIA – Plan Rozwoju Lokalnego i Instytucjonalnego Stalowej Woli" współfinansowany jest ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (85%) oraz Budżetu Państwa (15%).

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Fundusze norweskie

Fundusze norweskie reprezentują wkład Norwegii w tworzenie Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej. W ramach funduszy norweskich Norwegia przyczynia się do ograniczenia nierówności społecznych i ekonomicznych oraz wzmocnienia relacji dwustronnych z państwami beneficjentami z Europy Środkowej i Południowej oraz obszaru Morza Bałtyckiego. Norwegia ściśle współpracuje z UE w ramach Porozumienia o Europejskim Obszarze Gospodarczym (EOG). Wraz z pozostałymi darczyńcami, Norwegia przekazała 3,3 miliarda euro w ramach kolejnych programów funduszy w latach 1994–2014. Fundusze norweskie są finansowane wyłącznie przez Norwegię i dostępne w państwach, które przystąpiły do UE po 2003 r. Fundusze norweskie na lata 2014-2021 wynoszą 1,25 miliarda euro. Priorytety na ten okres to:

- innowacje, badania naukowe, edukacja, konkurencyjność i godna praca;
- integracja społeczna, zatrudnienie młodzieży i ograniczenie ubóstwa;
- środowisko, energia, zmiany klimatu i gospodarka niskoemisyjna;
- kultura, społeczeństwo obywatelskie, dobre zarządzanie i podstawowe prawa;
- sprawiedliwość i sprawy wewnętrzne.