

Wpraw to w ruch

Proste mechanizmy
dla wynalazców,
majsterkowiczów
i artystów

Dustyn Roberts



Helion 

Tytuł oryginału: Making Things Move: DIY Mechanisms for Inventors, Hobbyists, and Artists

Tłumaczenie: Krzysztof Sawka

ISBN: 978-83-246-9857-8

Original edition copyright © 2011 by The McGraw-Hill Companies.
All rights reserved.

Polish edition copyright © 2015 by HELION SA
All rights reserved

No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz Wydawnictwo HELION dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie bierze jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Wydawnictwo HELION nie ponosi również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Wydawnictwo HELION
ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE
tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63
e-mail: helion@helion.pl
WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Pliki z przykładami omawianymi w książce można znaleźć pod adresem:
<ftp://ftp.helion.pl/przyklady/wprawr.zip>

Drogi Czytelniku!
Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres
<http://helion.pl/user/opinie/wprawr>
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

- [Kup książkę](#)
- [Poleć książkę](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)

Spis treści

| | |
|--|-----------|
| O autorce | 9 |
| Podziękowania | 11 |
| Wstęp | 13 |
| 1 Wprowadzenie do mechanizmów i maszyn | 21 |
| Sześć maszyn prostych | 22 |
| 1. Dźwignie | 23 |
| 2. Krążki, bloki, wielokrążki | 30 |
| 3. Kołowrót | 34 |
| 4. Równie pochyłe i kliny | 36 |
| 5. Śruby | 36 |
| 6. Przekładnie | 39 |
| Ograniczenia projektowe oraz stopnie swobody | 43 |
| Stopnie swobody | 44 |
| Minimalne ograniczanie projektu | 45 |
| Projekt 1.1. Maszyna śniadaniowa Rube'a Goldberga | 47 |
| Literatura | 51 |
| Anglojęzyczna | 51 |
| Polskojęzyczna | 51 |
| 2 Materiały: jak je wybierać i gdzie ich szukać | 53 |
| Opisywanie materiałów | 54 |
| Właściwości materiałowe | 54 |
| Naprężenia, wyboczenia, zmęczenie materiału | 55 |
| Tolerowanie marginesu błędu | 56 |
| Rodzaje materiałów | 58 |
| Metale | 58 |
| Ceramika | 62 |
| Polimery (tworzywa sztuczne) | 62 |
| Materiały kompozytowe | 64 |
| Półprzewodniki | 66 |
| Biotworzywa | 67 |
| Projekt 2.1. Trampoliny z różnych materiałów | 67 |
| Literatura | 68 |
| Anglojęzyczna | 68 |
| Polskojęzyczna | 68 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3 | Śróbka czy klej: mocowanie i łączenie przedmiotów | 69 |
| | Połączenia rozłączne: łączniki | 70 |
| | Śruby, wkręty i otwory gwintowane | 71 |
| | Projekt 3.1. Wiercenie i gwintowanie otworu | 76 |
| | Nakrętki | 82 |
| | Podkładki | 83 |
| | Gwoździe i zszywki | 83 |
| | Kołki | 84 |
| | Pierścienie osadcze | 84 |
| | Połączenia nierozłączne: kleje, nity i spoiny | 85 |
| | Substancje klejące | 85 |
| | Nity | 88 |
| | Spawanie, lutowanie twarde i klasyczne | 89 |
| 4 | Siły, tarcie i moment obrotowy (ojej!) | 91 |
| | Obliczenia związane z momentem obrotowym | 92 |
| | Tarcie | 95 |
| | Projekt 4.1. Szacowanie współczynnika tarcia | 99 |
| | Zmniejszanie tarcia | 101 |
| | Rozkład sił i roboty-grafficiarze | 102 |
| | Metody obliczania siły i momentu obrotowego | 106 |
| | Pomiar siły | 106 |
| | Pomiar momentu obrotowego | 108 |
| | Projekt 4.2. Pomiar momentu obrotowego silnika | 108 |
| 5 | Moc mechaniczna i elektryczna, praca oraz energia | 111 |
| | Energia mechaniczna | 112 |
| | Energia elektryczna | 114 |
| | Zasilanie projektów | 119 |
| | Zasilanie prototypów: regulowany zasilacz laboratoryjny | 120 |
| | Rozwiązania mobilne: baterie | 121 |
| | Rozwiązania stacjonarne | 125 |
| | Alternatywne źródła energii | 126 |
| | Sprężyny i przechowywanie energii potencjalnej sprężystości | 132 |
| | Projekt 5.1. Pojazd zasilany pułapką na myszy | 133 |
| | Literatura | 135 |
| | Anglojęzyczna | 135 |
| | Polskojęzyczna | 136 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6 | Entliczek-pentliczek, warczący silniczek: sposoby uzyskiwania i kontrolowania ruchu | 137 |
| | Zasada działania silnika | 138 |
| | Projekt 6.1. Samodzielnie wykonany silnik z drutem nawojowym | 138 |
| | Rodzaje obrotowych elementów wykonawczych | 141 |
| | Silniki prądu stałego | 142 |
| | Silniki prądu przemiennego | 153 |
| | Elektromagnesy obrotowe | 154 |
| | Rodzaje liniowych elementów wykonawczych | 154 |
| | Silniki liniowe | 156 |
| | Elektromagnesy | 157 |
| | Sterowanie silnikiem | 157 |
| | Podstawy sterowania silnikiem prądu stałego | 158 |
| | Projekt 6.2. Wszystko o sterowaniu silnikiem prądu stałego — najprostszy obwód | 158 |
| | Projekt 6.3. Lutowanie obwodu | 159 |
| | Projekt 6.4. Tworzenie obwodu na płycie montażowej | 162 |
| | Projekt 6.5. Silnik zmieniający kierunek obrotów | 165 |
| | Regulacja szybkości za pomocą modulacji szerokości impulsów | 168 |
| | Projekt 6.6. Sterowanie silnikiem za pomocą sprzętowej modulacji PWM | 169 |
| | Zaawansowane metody sterowania silnikami prądu stałego | 174 |
| | Projekt 6.7. Programowe generowanie sygnału PWM służącego do sterowania silnikiem | 174 |
| | Sterowanie serwowotorem do zastosowań amatorskich | 179 |
| | Projekt 6.8. Sterowanie standardowym serwowotorem | 181 |
| | Sterowanie silnikiem krokowym | 184 |
| | Projekt 6.9. Sterowanie bipolarnym silnikiem krokowym | 186 |
| | Sterowanie silnikiem liniowym | 189 |
| | Wskazówki dotyczące sterowania silnikiem | 190 |
| | Ruch bez udziału silnika | 193 |
| | Ciśnienie płynu | 193 |
| | Sztuczne mięśnie | 195 |
| | Literatura | 196 |
| | Anglojęzyczna | 196 |
| | Polskojęzyczna | 197 |
| 7 | Trzewia: łożyska, sprzęgła, przekładnie, śruby i sprężyny | 199 |
| | Łożyska i tuleje | 200 |
| | Łożyska promieniowe | 201 |
| | Łożyska wzdłużne | 206 |
| | Łożyska liniowe i prowadnice | 208 |
| | Łożyska łączone oraz specjalne | 208 |
| | Porady dotyczące montowania łożysk | 212 |

6 Wpraw to w ruch

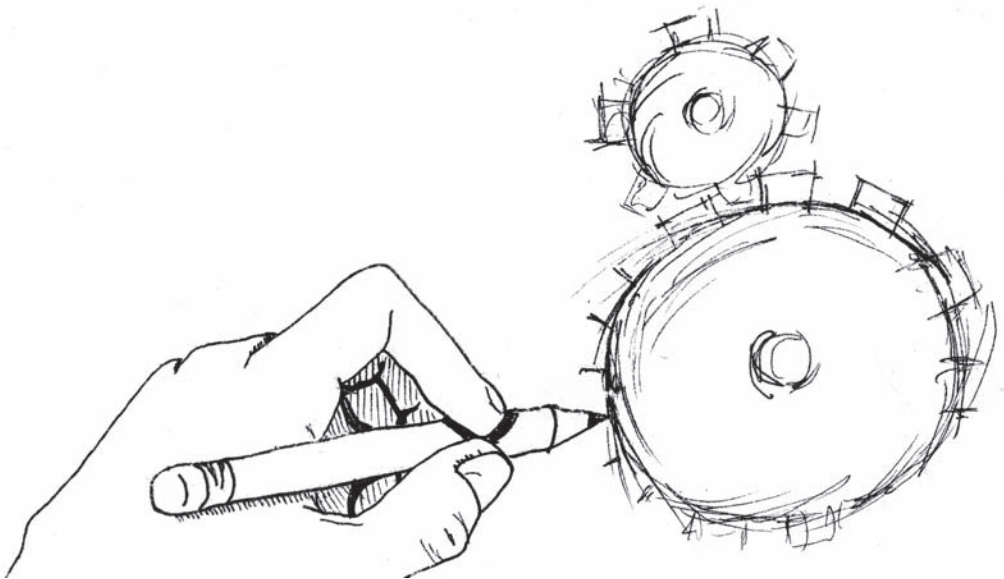
| | |
|---|-----|
| Sprzęgła | 214 |
| Praca z serwowmotorami w zastosowaniach amatorskich | 215 |
| Praca z innymi rodzajami silników | 216 |
| Sprzęgła napędowe | 222 |
| Kołnierze blokujące | 223 |
| Przekładnie | 223 |
| Projekt 7.1. Stwórz własną przekładnię | 226 |
| Koła pośrednie | 234 |
| Przekładnie złożone | 236 |
| Koła pasowe i zębaki, pasy oraz łańcuchy | 237 |
| Standardowe napędy pasowe | 237 |
| Układy rozrządu | 238 |
| Napęd łańcuchowy | 239 |
| Śruby napędowe | 239 |
| Sprężyny | 240 |
| Sprężyny naciskowe | 240 |
| Sprężyny naciągowe | 242 |
| Sprężyny skrętne | 243 |
| Podkładki sprężyste | 245 |
| Sprężyny płytkowe | 245 |
| Sprężyny spiralne | 246 |
| Literatura | 246 |
| Anglojęzyczna | 246 |
| Polskojęzyczna | 246 |

| | |
|--|-----|
| 8 Łączenie maszyn prostych w złożone układy | 247 |
| Mechanizmy służące do przekształcania ruchu | 248 |
| Korby | 249 |
| Krzywki i popychacze | 250 |
| Łańcuchy kinematyczne | 252 |
| Projekt 8.1. Pantograf w kształcie serca | 254 |
| Mechanizm zapadkowy | 255 |
| Metody przekształcania ruchu | 255 |
| Automaty i zabawki mechaniczne | 259 |
| Projekt 8.2. Zbuduj własny automat — przytakująca owca | 262 |
| Literatura | 264 |
| Anglojęzyczna | 264 |
| Polskojęzyczna | 264 |

| | | |
|----|---|-----|
| 9 | Tworzenie urządzeń i zlecenie ich wykonania | 265 |
| | Ekosystem wprawiania przedmiotów w ruch | 266 |
| | Kreowanie | 267 |
| | Kreowanie analogowe | 267 |
| | Kreowanie cyfrowe | 268 |
| | Projekt 9.1. Pobranie i otwarcie trójwymiarowego modelu danego podzespołu | 272 |
| | Tłumaczenie | 274 |
| | Tłumaczenie analogowe | 274 |
| | Tłumaczenie cyfrowe | 275 |
| | Wytwarzanie | 276 |
| | Wytwarzanie analogowe | 276 |
| | Projekt 9.2. Wiercenie wyśrodkowanego otworu bez użycia tokarki | 278 |
| | Wytwarzanie cyfrowe | 283 |
| | Integrowanie | 285 |
| | Integrowanie analogowe | 285 |
| | Integrowanie cyfrowe | 286 |
| | Rozprzestrzenianie | 286 |
| | Rozprzestrzenianie analogowe | 286 |
| | Rozprzestrzenianie cyfrowe | 287 |
| | Literatura | 288 |
| | Anglojęzyczna | 288 |
| | Polskojęzyczna | 288 |
| 10 | Projekty | 289 |
| | Projekt 10.1. Szybkobieżny błąt obrotowy (Pracowita Zuzia) | 290 |
| | Projekt 10.2. Turbina wiatrowa | 301 |
| | Projekt 10.3. SADbot: robot rysujący w zależności od pogody | 309 |
| | Literatura | 327 |
| | Anglojęzyczna | 327 |
| | Polskojęzyczna | 327 |
| | Dodatek. Zasilanie płytki montażowej, podstawy Arduino oraz przeliczniki jednostek | 329 |
| | Zasilanie płytki stykowej | 330 |
| | Podstawy Arduino | 331 |
| | Współpraca Arduino z komputerem | 332 |
| | Migotanie diody | 334 |
| | PORZĄDNE migotanie diody | 336 |
| | Przeliczniki jednostek | 337 |
| | Skorowidz | 339 |

5

Moc mechaniczna i elektryczna, praca oraz energia



Aby wprawić przedmiot w ruch, musimy dostarczyć mu energię. Możemy wykorzystywać proste przekształcenia energii, np. grawitacyjnej w kinetyczną (jabłka spadające z drzewa) lub wprowadzać złożone układy, takie jak silnik spalinowy. Mamy również możliwość osobistego dostarczania energii, kręcąc korbką lub pedałuując. Energia wiązań chemicznych spożywanych przez nas pokarmów jest przetwarzana w energię umożliwiającą chodzenie, bieganie i skakanie, czyli w formę energii mechanicznej. Silniki przekształcają energię elektryczną w mechaniczną, dzięki której wprawiamy urządzenia w ruch.

W tym rozdziale omówimy zależności pomiędzy mocą, pracą i energią, zajmiemy się określaniem źródeł zasilania oraz przyjrzymy się ich praktycznym zastosowaniom.

Energia mechaniczna

Na energię mechaniczną obiektu składa się suma jego energii potencjalnej i kinetycznej. **Energia potencjalna** określa ilość energii przechowywanej w spoczywającym przedmiocie. Z kolei ciało poruszające się ma **energię kinetyczną**.

Przykładowo piłka, która zatrzymała się na szczycie wzgórza, ma energię potencjalną równą swojemu ciężarowi pomnożonemu przez wysokość wzgórza.

$$\text{energia potencjalna} = \text{ciężar} \cdot \text{wysokość}$$

Jeżeli piłka waży 1 kg (jej ciężar wynosi 10 N), a wzgórze ma 6 metrów wysokości, jej energia potencjalna wyniesie 60 dżuli (J). Po popchnięciu piłki jej energia potencjalna przekształca się stopniowo w energię kinetyczną.

$$\text{energia kinetyczna} = \frac{1}{2} \cdot \text{masa} \cdot \text{prędkość}^2$$

Wraz z toceniem się piłki jej energia potencjalna maleje (ponieważ znajduje się coraz bliżej środka Ziemi), a energia kinetyczna rośnie (ponieważ piłka porusza się coraz szybciej). U podstawy wzgórza cała energia potencjalna piłki zostaje przekształcona w energię kinetyczną.

Zastanówmy się, jaki jest mechanizm działania kolejki górskiej, którą można zobaczyć w wesołym miasteczku. Silnik wciąga wagony na wzniesienie, gdzie kolejka zyskuje energię potencjalną, po czym całość zjeżdża w dół. Cała energia potencjalna ulega przekształceniu w energię kinetyczną, podczas gdy Tobie serce podchodzi do gardła. Gdy kolejka wjeżdża za pomocą silnika na wzniesienie, układ napędowy wykonuje **pracę mechaniczną** (ang. *work* — *W*).

$$\text{praca mechaniczna (W)} = \text{zmiana energii (E)}$$

Myśl o **energii** jako o zdolności do wykonywania pracy. W naszym przykładzie dzięki silnikowi energia potencjalna wagonów wzrosła od wartości zerowej do całkiem znacznej.

Powiedzmy, że wszystkie wagony razem ważą 500 kg (ich ciężar to 5000 N) i wjechały na wysokość 60 m. Aby wciągnąć wagony na taką wysokość, mechanizm silnika musiał wykonać pracę o wartości **5000 N · 60 m = 300 000 J!**

Możemy również zdefiniować pracę jako iloczyn siły i drogi:

$$\text{praca (W)} = \text{siła (F)} \cdot \text{droga (s)} = \text{energia (E)}$$

Przypomina nam to rozdział 1., w którym omawialiśmy maszyny proste. **Praca** określa ilość energii przekazanej ciału w wyniku działania na nie określonej siły na pewnej odległości. W naszym przypadku silnik wciągnął półtonową kolejkę na wysokość 60 m, zatem praca siły wynosi 300 000 J, co daje nam taki sam wynik jak ten wyznaczany dla energii potencjalnej kolejki. Metody obliczania energii potencjalnej i pracy mechanicznej stanowią przykład podejścia do danej sytuacji na dwa sposoby.

Moc mechaniczna (ang. *power* — **P**) definiuje tempo, w jakim wykonywana jest praca (czy też wykorzystywana jest energia):

$$\text{moc (P)} = \text{praca (W)} / \text{czas (t)} = \text{energia (E)} / \text{czas (t)}$$

Jednostką mocy mechanicznej jest **wat (W)**. W motoryzacji oraz w Stanach Zjednoczonych jest ona mierzona w **koniach mechanicznych** (ang. *horse-power* — **hp**). Jest to przedziwna jednostka, relikw czasów, w których konie były wypierane przez maszyny parowe, i jest równa mocy potrzebnej do uniesienia 550 funtów (około 250 kg) o 1 stopę (około 30 cm) w czasie 1 sekundy — szacowana maksymalna praca wykonana przez żywego konia. Jeden koń mechaniczny wynosi około 746 watów.

Do tej pory omawialiśmy pracę i moc wyłącznie w kategoriach ruchu prostoliniowego, a jaka jest moc obracającego się silnika? Być może pamiętasz z rozdziału 1., że szybkość wirującego obiektu jest nazywana **prędkością obrotową**. Dowiedziałeś się przed chwilą, że praca jest iloczynem **siły** i **odległości**, a tak się składa, że omówiony w poprzednim rozdziale moment obrotowy ma takie same jednostki! W tym przypadku możemy uznać moment obrotowy (ang. *torque* — **T**) za pracę wykonaną po okręgu. Równanie mocy w ruchu obrotowym wygląda następująco:

$$\text{moc (P)} = \text{moment obrotowy (T)} \cdot \text{prędkość kątowna (\omega)}$$

Energia elektryczna

Jeżeli dany projekt nie będzie napędzany siłą ludzkich rąk (lub nóżek chomika), prawdopodobnie będziesz musiał kiedyś zacząć korzystać z prądu elektrycznego. Podobnie jak w przypadku piłki turlającej się z punktu o wyższej energii potencjalnej do miejsca o niższej energii, prąd płynie od źródła o większym potencjale do celu mającego niższy potencjał. Punkt o wyższym potencjale nazywamy **źródłem zasilania** (lub po prostu **zasilaniem**), natomiast o niższym — **masą** (lub w przypadku instalacji przepięciowych — **uziemieniem**).

Początkiem błyskawicy jest olbrzymi ładunek elektryczny, który szuka punktu o niższym potencjale, w którym mógłby się wyładować, i w ten sposób znajduje drogę, którą najszybciej dotrze do powierzchni ziemi. To samo zjawisko występuje, gdy przechodzisz w skarpetkach po dywanie i zbierasz po drodze ładunek elektryczny, a po dotknięciu metalowej klamki dochodzi do wyładowania — ładunek w Twoim ciele szuka ujścia do punktu o niższej energii. Przeskakuje on w postaci iskry (miniaturowej błyskawicy) z Twojej ręki na klamkę. Metale są dobrymi przewodnikami elektryczności, dlatego ładunek przepływa przez nie z łatwością. Klamka jest metalowa, być może nawet zamontowana w metalowych drzwiach umieszczonych na metalowej framudze, więc całość stanowi doskonały przewodnik. Twoja siostra jest również bardzo dobrym przewodnikiem nagromadzonego ładunku. Ludzie składają się w 60% z wody, a ponieważ płyn ten jest znakomitym przewodnikiem, ładunek elektryczny znajdzie drogę do ziemi przez ciało (chciałabym zauważyć, że nie wszystkie siostry lubią takie szokowe eksperymenty).

W tworzonych przez nas projektach masą będzie nie ziemia (ani siostra), lecz metalowa płytką oddzielona od zasilania, dzięki czemu zachowa niższy potencjał. Czasami masę zastępuje ujemny biegun baterii.

Względna różnica pomiędzy potencjałami została nazwana **napięciem (U)** i jest mierzona w **woltach (V)**. Jeśli porównamy elektryczność do strumienia wody, napięcie będzie odpowiadało ciśnieniu wytwarzanemu przez pompę, natomiast przewody będą rurami. Wartość napięcia (lub ciśnienia wody) pozwala nam określić, jaką pracę może wykonać dane źródło. Baterie mają wypisaną wartość napięcia na etykietce. Jeżeli przyjrzymy się zwykłej baterii paluszkowej AA, znajdziemy na niej zapisaną wartość napięcia 1,5 V.

W ramach eksperymentu przygotuj baterię AA i miernik cyfrowy (np. numer katalogowy **NARZ-0087** ze sklepu Elkom Serwis). Upewnij się, że czarny przewód jest podłączony do gniazda **COM**, a czerwony — do **H_zV Ω** . Ustaw pokrętko na tryb pomiaru napięcia (**V**) i wciśnij żółty przycisk, aby włączyć urządzenie.

Dotknij jedną końcówką przewodu biegun dodatni baterii (oznaczony symbolem +), a drugą — biegun ujemny (-), tak jak pokazano na rysunku 5.1. W przypadku nowych

baterii napięcie może osiągać wartość do 1,6 V. Jeżeli mamy do czynienia z rozładowaną baterią alkaliczną, wynik będzie zbliżony do 1,3 V. Jeżeli zetkniemy czerwony przewód z biegunem ujemnym, otrzymamy wartość ujemną (jak na rysunku 5.1). Sytuacja odwrotna jest również prawdziwa: jeśli podłączysz czerwony przewód do bieguna dodatniego, zobaczysz dodatni odczyt. Jeśli nigdy wcześniej nie używałeś miernika, teraz przynajmniej wiesz, jak badać stopień rozładowania baterii.



RYSUNEK 5.1. Odczyt napięcia za pomocą miernika cyfrowego

Natężeniem (I) nazywamy ilość energii elektrycznej przepływającej przez określony punkt w obwodzie. Jednostką natężenia jest **amper** (**A**). Zgodnie z analogią do wody, natężenie w danym punkcie przewodu reprezentuje strumień wody przepływający w danym momencie przez wyznaczony punkt w rurze. W większości wykorzystywanych przez nas podzespołów natężenie robocze nie przekracza ampera, dlatego będziemy mówić o **miliamperach** (**mA**): $1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$.

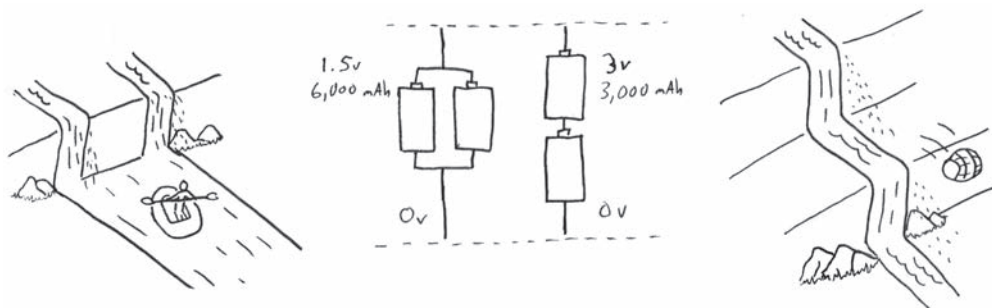
Czasami producent umieszcza informacje o pojemności baterii. Może to wyglądać następująco: 3000 mAh dla baterii AA (warto zajrzeć na stronę <https://learn.adafruit.com/minty-boost>). Jednostka mAh to tak zwane **miliamperogodziny**. Tak oznaczona bateria może dać 3000 miliamperów przez godzinę, 1500 mAh przez dwie godziny, 750 mAh przez 4 godziny, itd. — proste?

UWAGA

Jest to słownikowa definicja miliamperogodzin, ale w rzeczywistości ograniczenia przeprowadzania reakcji chemicznych w baterii stanowią barierę szybkości, z jaką będziemy „wyciągać” z niej prąd (zajmiemy się tym zagadnieniem w podrozdziale „Zasilanie projektów”).

Często silniki i inne podzespoły są opisane parametrem „prąd znamionowy” (lub „nominalny”), który określa natężenie potrzebne do uruchomienia i pracy danego elementu, co jest równie ważne jak dobranie właściwego napięcia zasilającego.

Jeżeli połączysz dwie baterie AA w taki sposób, że ich bieguny dodatnie będą skierowane w tę samą stronę, otrzymasz łączne napięcie 3 V. Takie zestawienie baterii nazywamy **połączeniem szeregowym**. Ich napięcia zostały dodane, przez co uzyskujemy większe „ciśnienie robocze wody”. Z kolei w bateriach **połączonych równolegle** sumujemy natężenie prądu, podczas gdy napięcie nie ulega zmianie. Pojęcia te zostały zilustrowane na rysunku 5.2.



RYSUNEK 5.2. Połączenie równoległe i szeregowe baterii

Istnieją dwa rodzaje prądu elektrycznego:

- 1. Prąd stały** (ang. *direct current* — **DC**) płynie w jednym kierunku od źródła o dużym potencjale do punktu o niższym potencjale. Baterie są źródłami prądu stałego.
- 2. Prąd przemienny** (ang. *alternating current* — **AC**) płynie w domowych gniazdkach. Jest to fala energii oscylująca w przedziale od -325 V do 325 V (są to wartości szczytowe, wartość skuteczna to 230 V) 50 razy na sekundę.

Prąd przemienny sprawdza się dobrze podczas przesyłania energii elektrycznej na długie dystanse, na przykład z elektrowni do domu. W niektórych urządzeniach, na przykład wentylatorach czy blenderach, prąd przemienny służy do zasilania silników. W większości przypadków jednak bardziej przydatny okazuje się prąd stały. Wiele urządzeń elektronicznych ma przetwornice napięcia (znane też jako konwertery mocy lub prze-

kształtniki napięcia), które przekształcają napięcie przemiennie 230 V płynące w gniazdku w napięcie stałe od 5 V do 12 V, dostosowane do większości elementów elektronicznych (elektrycznych). (1) Przekształtnik napięcia umieszczony jest wewnątrz obudowy ładowarki takich urządzeń, jak np. telefon komórkowy czy laptop.

Obwodem nazywamy zamknięty układ, zawierający źródło prądu (na przykład baterię) oraz **obciążenie** (żarówkę, silnik itp.). Na rysunku 5.3 widzimy bardzo prosty obwód. Prąd płynie z dodatniego bieguna baterii (wysoka energia), poprzez żarówkę lub silnik, do bieguna ujemnego (niska energia, masa). Jeżeli wstawisz jakies obciążenie na drodze prądu w obwodzie, ładunek będzie musiał przejść przez nie w drodze do masy.

Rezystancja (lub **opór**, R) obciążenia jest wyrażana w omach (Ω) i na schematach jest symbolizowana przez prostokąt (rysunek 5.4). Możemy sobie wyobrazić opór jako zwężenie grubej rury. Prąd elektryczny (strumień wody) ciągle musi przepłynąć przez zwężenie, ale robi to opornie, następuje więc zmniejszenie siły nurtu. Napięcie (ciśnienie wody) jest większe przed przewężeniem niż za nim (por. rysunek 5.4). **Prąd elektryczny zawsze wybiera ścieżkę o najmniejszej oporze w drodze do masy.**



RYСУNEK 5.3.
Prosty obwód



RYСУNEK 5.4. Porównanie obwodu elektrycznego do nurtu wody

Obciążenie, stawiając opór przepływającemu prądowi, przekształca jego energię do innej postaci — światła w przypadku żarówki¹, energii mechanicznej w silniku itd. W idealnym obwodzie energia elektryczna byłaby w całości przetwarzana w postać użyteczną. W realnym świecie zawsze pojawiają się straty — najczęściej w postaci ciepła.

¹ Żarówka oddaje zaledwie 5% przetworzonej energii w postaci promieniowania o długości fali z zakresu widzialnego. Pozostałą część emituje w postaci fal podczerwonych, czyli w formie ciepła — *przyp. tłum.*

Z technicznego punktu widzenia nie można stracić energii. Zostaje ona po prostu przetworzona do nieprzydatnej nam postaci. Na przykład ciepło jest pewną odmianą energii i jeżeli w naszym obwodzie występuje nagrzewanie się silnika, to nic nie zrobimy z taką energią, musimy więc spisać ją na straty. Z właściwości tej korzystają jednak niektóre urządzenia, na przykład toster. Toster przypomina działaniem wielki opornik, który pobiera prąd z gniazdka i wykorzystuje go do zarumienienia tostów.

Związek pomiędzy napięciem, natężeniem i rezystancją opisuje prawo Ohma:

$$\text{napięcie (U)} = \text{natężenie (I)} \cdot \text{opór (R)}$$

Baterie mają w rzeczywistości własną rezystancję, co oznacza, że nie są wydajne w stu procentach, dodatkowo opór ten powoduje ich nagrzewanie. Tańsze baterie mają większą rezystancję wewnętrzną, przez co obserwujemy bezpośrednie straty mocy. (2)

Mierzona w watach (**W**) moc elektryczna (**P**) stanowi iloczyn napięcia i natężenia:

$$\text{moc (P)} = \text{natężenie (I)} \cdot \text{napięcie (U)}$$

Przykładowo żarówka 60-watowa potrzebuje 0,26 A przy napięciu 230 V. Im więcej pracy chcesz wykonać, tym więcej mocy potrzebujesz. Świetłówki kompaktowe (ang. *compact fluorescent light bulb* — CFL) są mniej szkodliwe dla środowiska, ponieważ zużywają znacznie mniej energii niż tradycyjne lampy żarowe o takiej samej mocy. Trzynastowatowa lampa CFL wytwarza tyle samo światła co 60-watowa żarówka żarowa. (3) Świetłówki CFL są bardziej wydajne, dzięki czemu potrafią przetworzyć więcej energii wejściowej w energię użyteczną.

Możemy teraz poskładać wszystko w całość. W pierwszym podrozdziale dowiedzieliśmy się, że moc mechaniczna jest mierzona w watach. 746 watów to 1 koń mechaniczny, poza tym moc równoważna jest iloczynowi momentu obrotowego i prędkości kątowej, a do tego moc jest także równa iloczynowi natężenia i napięcia — co to wszystko oznacza? To znaczy, że możemy przeliczać ważne parametry. Na przykład, jeśli znamy moc silnika elektrycznego w watach, możemy obliczyć moment obrotowy dla założonej prędkości obrotowej (lub obliczyć prędkość dla założonego momentu siły).

Jeżeli zaczynasz przewracać oczami i poważnie myślisz o wyrzuceniu tej książki, nie martw się. **Nie musisz znać tych równań.** Istotne jest jednak, abyś zrozumiał, że praca, energia, moc mechaniczna, moment obrotowy, prędkość kątowa i moc elektryczna są ze sobą w prosty sposób powiązane. A dzięki tej wiedzy zaczniesz wprawiać przedmioty w ruch!

Zasilanie projektów

Pamiętaj, że energii nie da się stworzyć ani zniszczyć, można ją jedynie przetworzyć. Każdy obiekt przetwarzający jedną formę energii w inną nazwiemy **przetwornikiem**. Na przykład silnik jest przetwornikiem, gdyż przekształca energię elektryczną w energię kinetyczną (ruch). Żarówki i diody elektroluminescencyjne (ang. *light-emitting diode* — *LED*) również są przetwornikami zmieniającymi prąd w światło i ciepło. Nasze ciała można również uznać za przetworniki, gdyż z wiązań chemicznych uzyskujemy energię mechaniczną. Kilku moich studentów stworzyło rowery stacjonarne zasilające telewizory oraz bujające się rzeźby, które napędzają silniki. Liczba możliwości przetwarzania jednej postaci energii w inną jest ograniczona jedynie Twoją wyobraźnią.

W rozdziale 1. zdefiniowałam mechanizm jako układ ruchomych podzespołów. Teraz wiesz już, że ruchome podzespoły mają energię kinetyczną. Ta energia musi mieć swoje źródło, prawda? Na szczęście możemy wykorzystać wiele rodzajów źródeł do wprawienia maszyn w ruch. Nie wszystkie nadają się do małych projektów, dlatego zajmiemy się tylko tymi źródłami, które nam się przydadzą. Prąd płynący w gniazdku zostaje przetworzony w procesie spalania węgla (w pewnym stopniu może również dzięki elektrowniom wodnym i wiatrowym), który bezpośrednio nie jest dla nas przydatny. Teraz jednak wystarczy nam wiedza, że gniazdko stanowi dla nas źródło prądu przemiennego.

Aby określić, jakie źródło energii okaże się najlepsze w projekcie, odpowiedz sobie na następujące pytania:

- Czy Twój projekt będzie naprawdę mobilny, jak na przykład zdalnie sterowany samochód? Jeśli tak, dobrym rozwiązaniem będą baterie, akumulatory lub inne małogabarytowe źródła zasilania.
- Czy Twój projekt będzie miał ruchome części, ale jako całość będzie stał w miejscu, jak na przykład obraz obracający się na ścianie? Jeśli tak, możesz korzystać z gniazdka ściennego, ale najprawdopodobniej będziesz musiał przetworzyć prąd przemienny na prąd stały. Dokonasz tego za pomocą przetworników umieszczonych w ładowarkach telefonicznych i komputerowych.

Możesz również uzyskiwać własny prąd za pomocą elektrowni wiatrowej lub pedałując na rowerze stacjonarnym. W dalszej części rozdziału dowiesz się, ile energii elektrycznej można wyciągnąć z takich alternatywnych źródeł.

Zasilanie prototypów: regulowany zasilacz laboratoryjny

Regulowany zasilacz laboratoryjny (rysunek 5.5) stanowi doskonale rozwiązanie na etapie testowania **prototypów** — pierwszej wersji projektu w fazie opracowywania. Jednym z przykładów jest model oznaczony kodem **OKORADH3005D** w sklepie Cyfronika (<http://www.sklep.cyfronika.com.pl/>).



RYСУNEK 5.5. Regulowany zasilacz laboratoryjny
(zdjęcie publikowane za pozwoleniem SparkFun Electronics)

Zasilacze te są podłączane do gniazdka i pełnią rolę przetworników prądu zmiennego na prąd stały. Są drogie i duże. Są jednak niezwykle przydatne do testowania prototypów, gdyż bezproblemowo pracują z podzespołami różniącymi się mocą znamionową. Niektóre silniki wymagają napięcia 3 V, inne — 24 V, jedne pracują w warunkach dużego natężenia, inne potrzebują mniej prądu itd.

OSTRZEŻENIE

Zachowaj ostrożność podczas pracy z takim zasilaczem. Może być on w danej chwili źródłem zabójczej energii.

Dzięki zasilaczom laboratoryjnym możesz regulować napięcie i natężenie podczas pracy z prototypem. Wartości typowego zasilacza laboratoryjnego mieszczą się w zakresie od 0 do 30 V oraz od 0 do 3 A. Uzyskujemy w ten sposób elastyczność, która pozwoli nam zaoszczędzić mnóstwo czasu, możesz więc zacząć od zakupu zasilacza laboratoryjnego, nawet jeśli zamierzasz tworzyć mobilne urządzenia. Kiedy już poznasz wszystkie odpowiedzi na nurtujące pytania dotyczące zasilania projektu, możesz dobrać baterie lub standardowy zasilacz i będziesz krok bliżej otrzymania końcowego produktu.

Szukaj **regulowanych** zasilaczy laboratoryjnych. Dzięki nim napięcie nie będzie malało wraz ze wzrostem natężenia. (1) Jest to bardzo ważna kwestia, która pozwoli Ci zaoszczędzić czas. Istotny jest też wybór pomiędzy zasilaczem **impulsowym** a **liniowym**. Zasilacz impulsowy jest wydajniejszy, ale jednocześnie droższy, jeśli jednak stać Cię — wybierz go.

UWAGA

Napięcie nie ulega zmianie, ale wartość natężenia prądu zależy od obciążenia. Na przykład na tabliczce znamionowej trzywoltowego silnika stałoprądowego możemy znaleźć następujące informacje: „natężenie jałowe: 40 mA, maksymalne natężenie: 450 mA”. W rozdziale 6. zajmiemy się omówieniem parametrów silnika. Na razie wystarczy Ci wiedza, że silnik działający w trybie jałowym (bez obciążenia) nie wykonuje dużej pracy, dlatego nie ma zapotrzebowania na znaczne natężenie prądu. Gdy tylko podłączysz jakieś obciążenie, silnik będzie musiał pobrać większą dawkę prądu. Jeśli obciążysz silnik w stopniu uniemożliwiającym jego obracanie (zatrzymasz go palcami lub obcęгами), znacznie pobierać maksymalną ilość prądu. Takie największe natężenie zwane jest prądem przeciążenia. Przy wyborze baterii lub innego źródła zasilania musisz tak je dobrać, żeby pokrywały wartość prądu maksymalnego. Tak naprawdę źródła prądu mogą mieć dowolną wartość natężenia; silnik będzie zużywał jedynie tyle prądu, ile w danym momencie będzie potrzebował. Dzięki laboratoryjnemu zasilaczowi w bardzo prosty sposób możemy poznać zapotrzebowanie urządzeń na prąd oraz uniknąć ciąglego rozładowywania baterii.

Rozwiązania mobilne: baterie

Baterie przydają się w projektach, które nie będą stały w miejscu, nie nadają się jednak zbyt do testowania prototypów. Nie ma nic bardziej irytującego jak odkrycie po wielu żmudnych godzinach, że powodem niedziałania lub niewłaściwej pracy urządzenia były po prostu rozładowane baterie! Do testowania prototypów polecam zasilacz laboratoryjny, jednak w przypadku rozwiązań mobilnych baterie okazują się niezastąpione.

Niestety, technologia produkcji baterii nie jest tak rozwinięta, jak byśmy się tego spodziewali. Ogniwa bateryjne są względnie ciężkie, drogie i duże w porównaniu z innymi podzespołami, z jakich będziemy korzystać. Jeżeli zamierzasz tworzyć projekt mobilny, nie zapomnij uwzględnić w nim rozmiarów i wagi baterii.

OSTRZEŻENIE

Unikaj zwierania baterii. Do zwarcia dochodzi, gdy przez przypadek biegun ujemny baterii łączy się z jej biegunem dodatnim, co sprawia, że przez baterię przepływa jej własny prąd! Nie dość, że w ten sposób uszkodzisz baterię, to jeszcze mogą pojawić się iskry lub nawet ogień. Pilnuj porządku w pomieszczeniu roboczym, gdyż przewody

i metalowe przedmioty — na przykład klucze lub śrubokręty — są świetnymi przewodnikami i mogą zewrzeć niefortunnie położoną baterię. Staraj się także przechowywać ogniwa bateryjne w chłodnym miejscu, nieprzekraczającym 30°C. Wyższe temperatury uszkadzają baterie i skracają ich żywotność.

Baterie najłatwiej dołączyć do projektu poprzez uniwersalny uchwyt lub zatrask do baterii (rysunek 5.6). W takim uchwycie możemy umieścić baterie pastylkowe (takie jak w zegarku lub kalkulatorze), baterie 9 V, oraz do ośmiu ogniw typu AA, C lub D. Duży asortyment uchwytów do baterii (często za grosze) znajdziemy w sklepie Elfa Distrelec. Wiele uchwytów ma otwory montażowe. Wszystkie baterie cylindryczne mają napięcie rzędu 1,5 V (w przypadku akumulatorów będzie to raczej 1,2 V), ale w zależności od rozmiaru i ceny mogą mieć różną pojemność.



RYСУNEK 5.6. Zaciski (po lewej i prawej stronie) oraz uchwyty (środek) na baterie

Bateria baterii nierówna. Poniżej prezentuję opis różnych rodzajów baterii, dzięki czemu będziesz mógł wybrać odpowiedni typ do swojego projektu. Przyjrzymy się również akumulatorom oraz wadom i zaletom poszczególnych kategorii baterii. (2)

Baterie cynkowe

Baterie cynkowe są bardzo tanie i istnieją we wszystkich standardowych rozmiarach (D, C, A, AA oraz AAA). Możemy je kilkakrotnie naładować za pomocą specjalnej ładowarki, jednak mają wysoką rezystancję wewnętrzną i dlatego cechuje je krótka żywotność.

Baterie alkaliczne

Standardowe ogniwa alkaliczne (np. model CopperTop firmy Duracell) są od trzech do ośmiu razy bardziej żywotne od baterii cynkowych. Są również dwukrotnie droższe, a standardowych modeli nie można ładować. Istnieją akumulatorki alkaliczne, wymagają jednak specjalnej ładowarki niskoprądowej, która jest dostosowana wyłącznie do tego typu ogniw. Dostępne są również baterie alkaliczne lepszej jakości, które są 2 – 3 razy żywotne od standardowych ogniw, wyróżnia je jednak znacznie wyższa cena.

Technologia alkaliczna nie została zaprojektowana z myślą o dostarczaniu dużego natężenia wymaganego przez niektóre silniki, więc takie baterie mogą okazać się niewystarczające. Wraz z ich rozładowywaniem spada również napięcie źródła, co może stanowić problem, jeśli i tak wykorzystujesz dolny zakres napięcia silnika lub innego podzespołu.

Ogniwa niklowo-metalowo-wodorkowe

Ogniwa niklowo-metalowo-wodorkowe (NiMH) stanowią najlepszy typ akumulatorów wykorzystywanych w naszych projektach oraz są najpowszechniej sprzedawane. Cechuje je niski opór własny i mogą być ładowane ponad 400 razy. Rozładowują się szybciej niż baterie alkaliczne, ale technologia ta jest ciągle rozwijana. Akumulatorki NiMH szybko się ładują (w godzinę lub dwie).

Główną wadą tych ogniw jest krótki czas przechowywania ładunku. W pełni naładowany akumulator w ciągu kilku tygodni, a nawet dni, ulega samoistnemu rozładowaniu. Dlatego warto zawsze sprawdzić ogniwo miernikiem cyfrowym, zanim umieścimy je w urządzeniu.

W przeciwieństwie do baterii cynkowych i alkalicznych, których napięcie nominalne wynosi 1,5 V, ogniwa NiMH zapewniają jedynie 1,2 V. Z tego powodu akumulatorki nie zawsze stanowią dobre zastępstwo dla zwykłych baterii (choć większość urządzeń wyposażonych w gniazda na baterie będzie z nimi działać).

Ogniwa niklowo-kadmowe

Ogniwa niklowo-kadmowe (NiCd) stanowią starszą generację akumulatorów. Niektóre źródła podają, że w ogniwach tego typu zaobserwowano efekt pamięci — jeśli nie rozładowujesz całkowicie akumulatora przed jego naładowaniem, utracisz część pojemności. Istnienie efektu pamięci jest kwestią sporną, ale w ogniwach NiCd z pewnością częściej niż w innych dochodzi do obniżania napięcia. Oznacza to, że jeśli akumulator jest jedynie częściowo rozładowywany, z biegiem czasu jego napięcie nominalne będzie maleć. Warto jednak pamiętać, że jest to cecha wspólna wszystkich rodzajów akumulatorów.

W przeciwieństwie do baterii alkalicznych, naładowane ogniwa NiCd utrzymują stabilne napięcie niemal do samego wyczerpania ładunku. Nie rozładowują się tak szybko jak ogniwa NiMH i również mają napięcie nominalne o wartości zaledwie 1,2 V.

Wielką wadą tego typu ogniw jest ich toksyczność uniemożliwiająca ich konwencjonalne składowanie. Wyrzucanie akumulatorów NiCd jest zabronione i surowo karane w wielu państwach, z tego powodu istnieją specjalne procedury dotyczące tego typu odpadów. Zazwyczaj najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie w pełni naładowanych akumulatorów NiMH.

Akumulatory ołowiowo-kwasowe

Ogniwa ołowiowo-kwasowe dostępne są w różnych rozmiarach i napięciach (np. 6 V, 12 V czy 24 V), służą do zasilania samochodów, motocykli, komputerów i łodzi. Ich największą zaletą są wymiary. Z drugiej jednak strony, są bardzo ciężkie. Dużą wagę równoważy cena oraz długa żywotność. Większość akumulatorów tego typu możemy naładować za pomocą specjalnej ładowarki. Aby uniknąć ryzyka rozlania kwasu, wybieraj akumulatory o zamkniętej konstrukcji, np. szczelne kwasowo-ołowiowe (ang. *sealed lead acid* — SLA) lub regulowane zaworami (ang. *valve-regulated lead acid* — VRLA).

Ogniwa żelowe stanowią odmianę akumulatorów ołowiowo-kwasowych, w których zamiast płynnego kwasu zastosowano substancję żelową. Tego typu źródła prądu są bezpieczniejsze i czystsze. Przykładowy akumulator SLA został wykorzystany w SADBocie — projekcie 10.3.

Akumulatory litowe, litowo-jonowe i litowo-polimerowe

Ogniwa litowe są najczęściej wykorzystywanymi akumulatorami zasilającymi laptopy i elektronikę kieszonkową. Są dość drogie, ale przechowują duży ładunek jak na swoje rozmiary, a samorozładowanie trwa miesiące. Czasami spotyka się w zegarkach i kalkulatorach niewielkie, litowe baterie pastylkowe, nie można ich jednak naładować.

Przykładowym ogniwem litowo-polimerowym (LiPo) jest artykuł o numerze **10-752-34** w sklepie Elfa Distrelec. Jest to obecnie najbardziej zaawansowana technologia przechowywania ładunku, cechująca się największą gęstością energii (***gęstość energii = energia / objętość***).

Oczywiście, tego typu ogniwo jest ładowane za pomocą specjalnej ładowarki (np. numer katalogowy **10-397-01** w serwisie Elfa Distrelec).

Rozwiązania stacjonarne

Zaletą stacjonarnego projektu jest możliwość podłączenia do niego dużego zasilacza lub bezpośrednio podłączenie go do gniazdka. Poniżej przedstawiam kilka sposobów przetwarzania prądu przemiennego na, bardziej dla nas przydatny, prąd stały.

Zasilacze komputerowe

Jeżeli zaglądałeś kiedyś do wnętrza jednostki centralnej komputera, zapewne rzucił Ci się w oczy duży, hałaśliwy, prostopadłościenny przedmiot, wyglądający tak jak na rysunku 5.7. Jest to zasilacz komputerowy, a głośny dźwięk wydawał prawdopodobnie jego wentylator. Jeśli sądzisz, że Twój komputer zasilany jest prądem z gniazdka, masz rację, ale tylko częściowo. Podzespoły komputerowe do działania potrzebują prądu stałego, dlatego prąd podawany z gniazdka jest przetwarzany przez zasilacz, który dodatkowo posiada kilka sprytnych rozwiązań sterujących przepływem prądu oraz zapobiegających przeciążeniom.



RYSUNEK 5.7. Zasilacz komputerowy typu ATX
(zdjęcie publikowane za pozwoleniem SparkFun Electronics)

W sklepie Elfa Distrelec dostaniemy zasilacz ATX (**69-508-06**), jeśli natomiast chcesz trzymać porządek w okablowaniu, możesz zamówić w sklepie SparkFun adapter ATX (**BOB-09558**), dzięki któremu uzyskamy również napięcia rzędu 3,3 V, 5 V i 12 V. Za obydwa podzespoły zapłacimy łącznie niecałe 200 zł, więc nie jest to złe rozwiązanie dla projektów stacjonarnych.

Chociaż zasilacz komputerowy musi być podłączony do gniazdka, jest on na tyle mały, by zapewnić projektowanym maszynom choć częściową przenośność. W ten sposób jest zasilana drukarka CupCake CNC (<http://www.makerbot.com>), a mimo to nie przeszkadza to w zabieraniu jej na imprezy.

Przetworniki prądu

Zasilacze sieciowe, prostowniki czy przetwornice prądu to niektóre z nazw nadanych urządzeniom, które składają się z przewodu oraz zasilacza podłączanego do gniazdka. Prawdopodobnie za pomocą takiego urządzenia ładujesz swój telefon (rysunek 5.8). Zasilacze sieciowe służą do przekształcania prądu przemiennego w prąd stały, którym możemy zasilać urządzenia domowe. Preraźliwie wysokie natężenie i napięcie sieciowe są zatrzymywane w plastikowej obudowie, a nadwyżki mocy zostają rozproszone w postaci ciepła. Na drugim końcu przewodu otrzymujemy przydatny prąd stały. (4)



RYSUNEK 5.8. Zasilacz sieciowy

Dużą różnorodność zasilaczy sieciowych znajdziemy w sklepach Elfa Distrelec i Conrad.pl. Najczęściej spotkamy się z zasilaczami w zakresie napięcia od 5 V do 12 V oraz od około 300 mA do 3 A natężenia. Istnieją również zasilacze regulowane (np. numer katalogowy **1759** na stronie <http://www.jalradio.pl> lub **TM03ADR4718** w sklepie Herbach and Rademan — <http://www.herbach.com/>). Za ich pomocą możemy zasilać nielutowaną płytkę montażową. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, ani czym jest płytkę montażowa — nic nie szkodzi. W rozdziale 6. zapoznasz się z tymi pojęciami.

Alternatywne źródła energii

Jednym z problemów związanych z wytwarzaniem prądu jest konieczność jego doraźnego wykorzystania lub przechowania. W przypadku baterii lub zasilania sieciowego nie jest to dla nas powód do zmartwień. Po prostu im więcej prądu będziemy zużywać,

tym więcej zapłacimy dostawcy elektryczności, baterie z kolei będą dostarczać energię pochodzącą z reakcji chemicznych, dopóki się nie rozładują.

Dzięki alternatywnym źródłom energii możemy wytwarzać prąd na własne potrzeby, ale musimy albo natychmiast go wykorzystać, albo znaleźć sposób na jego przechowanie. Nawet jeśli zasilamy urządzenia doraźnie, alternatywne źródła są zbyt niestabilne, aby bez przerwy dostarczać prąd. Wyobraź sobie ogniwa słoneczne w pochmurny dzień lub elektrownię wiatrową w bezwietrzną pogodę.

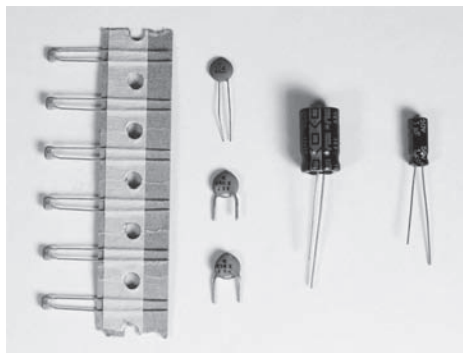
Kondensatory jako magazyny energii elektrycznej

Istnieje wiele metod przechowywania energii, ale tylko niektóre mogą nam się przydać. Energia pochodząca ze spalania benzyny (najczęściej w silnikach) i pożywieniu (w naszych organizmach) pochodzi z rozrywania wiązań chemicznych, tamy służą do przechowywania energii potencjalnej wezbranej wody, z kolei koło zamachowe pozwala na krótki czas zmagazynować energię kinetyczną. Nas jednak bardziej interesują sposoby przechowywania energii elektrycznej, którą będziemy mogli wykorzystać do zasilania naszych projektów.

Omówiliśmy już jedną klasę podzespołów przechowujących energię prądu elektrycznego: baterie. Możesz wykorzystywać alternatywne źródła prądu, na przykład ogniwa słoneczne, do ładowania akumulatorów. Do przechowywania energii elektrycznej oraz stabilizowania skoków napięcia służy inny element — **kondensator**.

W naszej analogii do rzeki kondensator pełni funkcję wieży ciśnień (rysunek 5.4). Gdy wokół przepływa mnóstwo wody, zostaje ona wpompowana do wieży i przechowana do późniejszego użytku. W momencie niedoboru wody cały zapas z wieży zostaje wypuszczony. Kondensatory przechowują energię prądu tak, jak wieża ciśnień wodę. Podobna jest nawet zasada działania: gdy prąd przepływa przez kondensator, część jego energii zostaje tam zmagazynowana. Kiedy prąd przestaje płynąć, kondensator może zostać rozładowany (dokładniejszą zasadę działania kondensatora znajdziesz na stronie <http://mikrokontrolery.blogspot.com/2011/03/kondensator.html>).

Kondensator przypomina nieco małą baterijkę, ponieważ przechowuje energię elektryczną i ma dwa bieguny. Jednak w przeciwieństwie do baterii nie jest w nim generowany ładunek, lecz zostaje jedynie przechowany, więc stanowi o wiele prostszy mechanizm. Tworzą go dwie przewodzące okładki przedzielone warstwą izolatora. Istnieją dwa główne rodzaje kondensatorów: ceramiczne i elektrolityczne (rysunek 5.9). O ile w przypadku kondensatorów elektrolitycznych nie ma znaczenia kierunek płynącego przez nie prądu, to w przypadku kondensatorów elektrolitycznych jest to bardzo ważna kwestia! Upewnij się, że szary pasek lub znak – znajdują się po masowej stronie obwodu.



RYSUNEK 5.9. Kondensatory ceramiczne (po lewej) i elektrolityczne (po prawej)

Ilość energii, jaką jest w stanie przechowywać kondensator, nosi nazwę **pojemności** (ang. *capacitance* — **C**) i jest mierzona w faradach (**F**). Będziemy korzystać z niewielkich kondensatorów, których pojemność nie przekracza milionowych części farada (mikrofarady — μF). W porównaniu do innych mechanizmów przechowywania ładunku, np. baterii, gęstość energii kondensatora jest niewielka.

Za pomocą poniższego wzoru możemy obliczyć energię magazynowaną w kondensatorze:

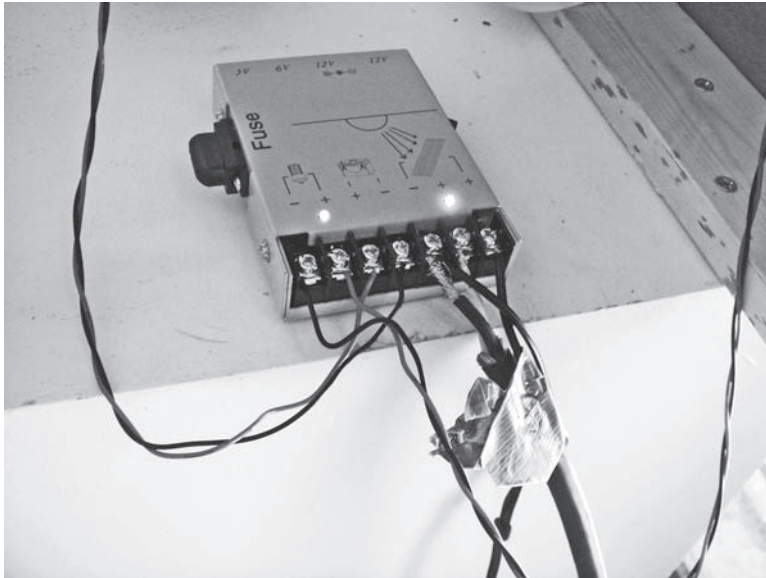
$$\text{energia (E)} = \frac{1}{2} \cdot \text{pojemność (C)} \cdot \text{napięcie (U)}^2$$

Podobnie jak w przypadku pracy, jednostką energii jest dżul (**J**).

Zaletami kondensatorów jest większa wydajność i szybkość ładowania w porównaniu z bateriami, a w momencie rozładowania dostarczają dużo energii. Wadą natomiast jest niska gęstość energii sprawiająca, że w porównaniu ze zwykłą baterią AA analogiczne kondensatory osiągają duże rozmiary. Na przykład do zasilania standardowej latarki przez około minutę potrzebowalibyśmy kondensatora o rozmiarach puszki z napojem.

W jaki więc sposób możemy wykorzystywać kondensatory? Najprostszym sposobem podłączenia ich do alternatywnych źródeł energii jest wprowadzenie gotowych układów, zwanych **regulatorami ładowania** lub **modułami zbierającymi energię**. Urządzenia te pobierają niestabilną energię elektryczną, na przykład z paneli słonecznych czy z korbki zasilającej latarkę, a następnie ładują kondensator lub baterię. Prąd rozładowania takiego źródła jest stabilniejszy i bezpieczniejszy w użyciu. Przykładowym modułem pozyskującym energię jest produkt numer **585-EH300A** w sklepie Mouser (<http://pl.mouser.com/>). Służy on do filtrowania niestabilnego prądu wejściowego, którego napięcie zostaje ustalone w zakresie od 1,8 V do 3,6 V, a maksymalne natężenie — do 1 A. (5)

Jeżeli zależy Ci na utrzymaniu stałej pracy silnika, będziesz zapewne musiał zaprojektować obwód, w którym alternatywne źródło energii naładuje najpierw zwykłe baterie — na przykład za pomocą widocznego na rysunku 5.10 regulatora ładowania. Tak „wygładzony” prąd można potem wykorzystać do stabilnego zasilania silnika. Więcej informacji o zastosowaniach kondensatorów znajdziesz w rozdziale 6., w podrozdziale omawiającym kondensatory odsprężające, oraz w projekcie 10.2 — latarnia wiatrowa.



RYSUNEK 5.10. Regulator ładowania (na rysunku model firmy Silicon Solar) umożliwia ładowanie baterii energią słoneczną, która w postaci prądu elektrycznego zasila silnik. Urządzenie to jest wykorzystywane w projekcie SADbot (projekt 10.3)

Energia słoneczna

Ogniwa słoneczne (fotowoltaiczne) przetwarzają światło na prąd elektryczny. Ilość uzyskiwanej energii zależy bezpośrednio od pola powierzchni ogniwa, zatem do zasilania wykorzystywanych w tej książce silników potrzebowalibyśmy całkiem sporego panelu słonecznego. Ogniwo ze sklepu SunTrack (suntrack.pl, numer katalogowy: **927**) dostarcza 10 W mocy (12 V przy prądzie 0,83 A) w pełnym słońcu, co wystarczy do zasilania większości silniczków omawianych w następnym rozdziale. Rozmiary tego panelu wynoszą 33×29 cm. Ogniwa wykorzystywane w projekcie SADbot (projekt 10.3) zostały zamówione w sklepie Silicon Solar (<http://www.siliconsolar.com/>).

Wiatr, woda oraz inne płyny

Płyn, w ujęciu fizycznym, to każda substancja zdolna przepływać, czyli nieposiadająca struktury krystalicznej — niewykazująca uporządkowania. Może to być powietrze, woda lub syrop klonowy. W dawnych czasach energia wiatrowa i wodna były bezpośrednio wykorzystywane do poruszania żarnami. Obecnie przepływ płynów zapewnia nam ekologiczną, alternatywną dla paliw kopalnych energię elektryczną.

Możesz spróbować zapanować nad powietrzem i zbudować małą turbinę wiatrową, by za jej pomocą wytwarzać niewielkie ilości prądu. Sprawdź, co się stanie, jeśli podłączysz taką turbinę do silniczka elektrycznego (takiego jak w projekcie 10.2).

Gdy dostarczymy prąd do silnika, otrzymamy energię kinetyczną (zostanie to omówione w rozdziale 6.). Jeśli jednak zaczniemy obracać wałem w silniku elektrycznym, pojawi się prąd. Firma Duggal Energy Solutions stworzyła lampę uliczną zasilaną niewielką turbiną wiatrową i ogniwem słonecznym, nazwaną LUMI-SOLAIR (<http://www.lumisolair.com/>). Jest to produkt komercyjny, można jednak znaleźć strony poświęcone hobbystycznym zastosowaniom zasilania wiatrowego (na przykład <http://www.gotwind.org> oraz <http://www.windstuffnow.com/>).

Inne płyny, na przykład sprężone gazy takie jak powietrze czy dwutlenek węgla, także mogą wykonać dla nas pracę. Typowymi przykładami uzyskiwania energii kinetycznej za pomocą sprężonego gazu są działka na ziemniaki i rakiety z butelek. Nazwą dziedziny zajmującej się przetwarzaniem energii sprężonego gazu na ruch jest **pneumatyka**, ale w urządzeniach pneumatycznych najczęściej wykorzystywany jest kompresor powietrza zasilany prądem (więcej o tym w rozdziale 6.).

Energia wodna nie będzie się nadawać do zasilania projektów omawianych w książce, chyba że masz w pobliżu tamę lub rzekę. Widziałam projekt słuchawki prysznicowej, w której miniaturowy generator hydroelektryczny zasila wyświetlacz wskazujący ilość zużytej wody (<http://www.epmid.com/w/APERTURE.html>).

Dziedziną nauki zajmującą się przetwarzaniem energii przechowywanej w ściśniętych płynach na energię kinetyczną jest **hydraulika**, najczęściej jednak opisuje działanie zaawansowanych, potężnych urządzeń, takich jak buldożery czy koparki. Poruszymy jeszcze to zagadnienie w rozdziale 6.

Biobaterie: pozyskiwanie energii z produktów spożywczych

Możemy stworzyć baterię z każdego owocu lub warzywa o odczynie kwasowym: ziemniaka (rysunek 5.11), pomidora, cebuli, cytryny, pomarańczy itd. Biobateria działa na takiej samej zasadzie jak klasyczne ogniwo bateryjne. Gdy wsadzimy dwa pręty wykonane z różnych metali (zazwyczaj miedzi i cynku) do roztworu kwasu (w tym przypadku do miąższu o odczynie kwasowym), dojdzie do reakcji elektrochemicznej, w wyniku



RYSUNEK 5.11. Energia z ziemniaków (podziękowania dla Kaho Abe)

której pojawi się różnica potencjałów (napięcie) pomiędzy metalowymi elektrodami. W przypadku bioogniwa możemy wykorzystać galwanizowany gwóźdź lub inny metal (wszystkie galwanizowane metale są pokryte cynkiem) wraz z miedzianym drutem. Para takich elektrod umieszczonych w ziemniaku wygeneruje nam napięcie około 1 V przy bardzo małym natężeniu prądu (zaledwie kilka miliamperów). Połączenie szeregowo bioogniw da nam wyższe napięcie, a równoległe — większe natężenie. (4)

Najprostsze diody LED wymagają do zaświecenia około 10 mA przy napięciu 2 V; do uzyskania takiej energii będzie więc potrzebny cały talerz ziemniaków. W kwestii wprawiania przedmiotów w ruch — nawet najmniejszy silnik nie zacznie pracować, dopóki nie dostarczymy mu 20 mA, a im wyższych obrotów będziemy potrzebowali, tym więcej prądu zużyje silnik (zobacz na przykład produkt <https://solarbotics.com/product/rpm2/>). Jeśli więc chciałbyś zapewnić silnikowi odpowiednie zasilanie, musiałbyś wykorzystać worek ziemniaków, a jeszcze lepiej — cały ogród.

Człowiek

Najprostszym sposobem, w jaki możemy wygenerować energię, jest wykorzystanie pracy naszych mięśni do wprawienia przedmiotu w ruch, czyli nadania mu energii kinetycznej. W asortymencie sklepu Cabaret Mechanical Theatre (<http://www.cabaret.co.uk>) znajdziemy ręcznie nakręcane zabawki, takie jak tańczące koziołki czy machające skrzydłami

sowy. Są one napędzane wyłącznie mechanizmem korbowym współpracującym z przekładniami, sprężynami i krzywkami umieszczonymi w drewnianej obudowie. W rozdziale 8. omówimy zabawki mechaniczne i ruchome rzeźby.

Nakręcane zabawki zostały wymyślone setki lat temu. Energia przekazana podczas nakręcania jest w nich przechowywana w sprężynach lub gumkach i sprawia, że robaczek pełźnie, a samochodzik jeździ. Współczesne zabawki, tworzone przez takie firmy jak Kikkerland (<http://www.kikkerlandeu.com/>; polskim dystrybutorem jest sklep Red Onion — <http://www.redonion.pl/>) czy Z Winds Up (<http://zwindups.com/>; dystrybutor w Polsce to sklep Early Days — <http://www.earlydays.pl/>), są popularne zarówno wśród dzieci, jak i dorosłych. W następnym podrozdziale omówimy zasadę przechowywania energii w sprężynach.

Możemy również przetworzyć naszą energię mechaniczną na prąd elektryczny, który może być wykorzystany doraźnie lub przechowany w akumulatorach. Nakręcane urządzenia, np. latarka lub radio, od lat rozwiązują problem rozładowanych baterii, zwłaszcza w sytuacjach kryzysowych lub przy zaniku napięcia. Diody LED mają niewielkie zapotrzebowanie na energię, dlatego nakręcanie latarki przez minutę może dać nam godzinę świecenia.

Za pomocą ręcznie nakręcanych mechanizmów ciężko uzyskać coś więcej niż świecenie kilku diod LED. Na szczęście nasze nogi są silniejsze od rąk i ramion — wszak chodzimy na nich przez cały dzień. Na przykład firma Fender Blender stworzyła stacjonarny rower służący do zasilania blendera (<http://www.bikeblender.net/>), dzięki czemu podczas treningu przygotujemy sobie od razu koktajl. Również inne firmy interesują się tą dziedziną i tworzonych jest kilka innowacyjnych projektów. W firmie Bionic Power (<http://www.bionic-power.com/>) wymyślono nakolanniki zawierające generatory, które rzekomo potrafią uzyskać 7 W mocy z jednej nogi w trakcie chodzenia. Prąd jest uzyskiwany podczas przenoszenia nogi w powietrzu, więc nie musimy wkładać dodatkowej energii. Nakolanniki te są przeznaczone głównie dla turystów i żołnierzy (zasilanie telefonów komórkowych i nadajników oraz odbiorników radiowych), ale taka moc jest wystarczająca również do napędzania niewielkich silników stosowanych w następnym rozdziale. Inna firma, Lightning Packs (www.lightningpacks.com), stworzyła plecak, który energię chodu piechura przetwarza na moc 7,4 W.

Sprężyny i przechowywanie energii potencjalnej sprężystości

Sprężyna może służyć do przechowywania energii, ponieważ posiada zdolność wykonywania pracy. (6) Wymyślono już najróżnorodniejsze odmiany sprężyn. Najpopularniejsze są **sprężyny śrubowe** — znajdziemy je w długopisach. Jeżeli naciśniesz ją z jednej

strony, zostanie do pewnego stopnia ściśnięta. Znając wartość przyłożonej siły oraz drogę, o jaką zostanie ściśnięta sprężyna, możemy obliczyć jej **sztynność** (tak zwany **współczynnik sprężystości**):

$$\text{sztywność } (k) = \text{siła } (F) / \text{długość ściśnięcia } (x)$$

W sklepie McMaster możemy sortować wyniki wyszukiwania pod kątem sztywności. Z kolei w sklepie Sodemann (<http://www.sodemann-sprezyny.pl/>) znajdziemy konfigurator ułatwiający dobór odpowiedniej sprężyny. Musimy znać sztywność sprężyny, aby wiedzieć, ile można w niej zmagazynować energii. Energia ta zależy jedynie od sztywności oraz od drogi, o jaką zostanie rozciągnięta bądź ściśnięta sprężyna:

$$\text{energia } (E) = 1/2 \cdot \text{sztywność } (k) \cdot \text{droga } (x)^2$$

Zazwyczaj wyobrażamy sobie sprężynę jako skręcony odcinek drutu, ale te same równania są prawdziwe również dla takich przedmiotów jak trampoliny. Tak naprawdę jest to płaska, rozciągnięta sprężyna, podobnie jak resory w zawieszeniu ciężarówek.

W pułapkach na myszy i spinkach do włosów natrafimy na **sprężyny skrętne**, dzięki którym przedmioty te nie otwierają się samoistnie.

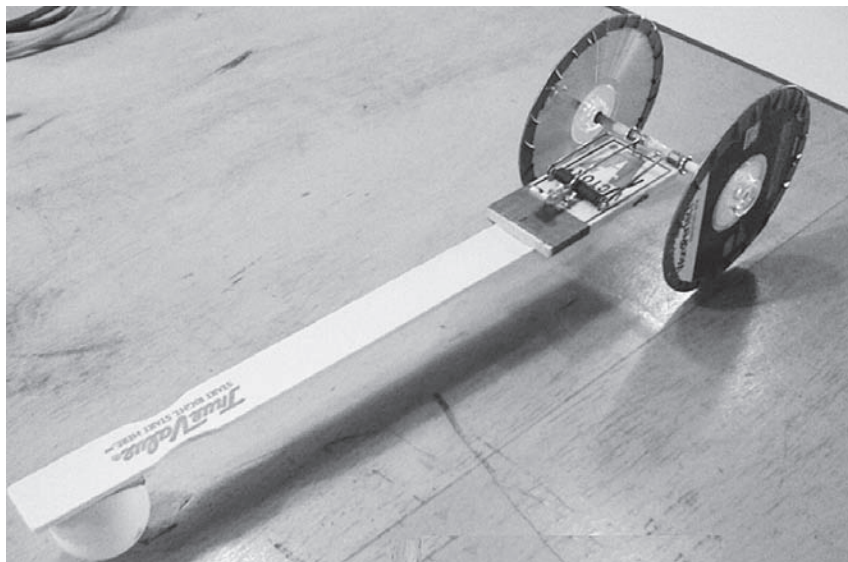
Bez względu na rodzaj sprężyny, wszystkie przechowują **energię potencjalną sprężystości**. Mówimy, że materiał jest sprężysty, gdy wykonana z niego sprężyna wróci do pierwotnego kształtu po zaprzestaniu jej ściskania lub rozciągania. W rozdziale 7. omówimy dokładnie rodzaje sprężyn oraz sposoby ich wykorzystania w mechanizmach.

Projekt 5.1. Pojazd zasilany pułapką na myszy

Wykorzystamy w tym projekcie energię przechowywaną w sprężynie skrętnej do napędzania pojazdu. W razie problemów posiłkuj się rysunkiem 5.12.

Lista zakupów

- Pułapka na myszy.
- Drewniany kołek o średnicy 6 mm.
- Narzędzie wielofunkcyjne zawierające nóż i pilnik.
- 2 wkręty oczkowe, do których będzie pasował kołek (np. numer katalogowy **9496T27** w sklepie McMaster lub **B-526.6** na stronie <http://www.domex.sklep.pl/>).
- Żyłka wędkarska.
- Dwie stare płyty CD.



RYSUNEK 5.12. Pojazd gotowy do drogi

- Piasta wycięta laserowo (na stronie <http://www.makingthingsmove.com/> znajdziesz odnośniki do sklepów Thingiverse.com oraz Ponoko.com, w których znajdziesz szablony w wersji cyfrowej, które następnie możesz wydrukować albo zamówić ich przygotowanie) lub kit epoksydowy.
- Drewniany kijek do mieszania farby.
- Piłeczka pingpongowa.
- Taśma izolacyjna.
- Pistolet do klejenia na gorąco (wraz z klejem).

Przepis

1. Oklej krawędzie płyt kompaktowych taśmą izolacyjną, dzięki czemu zyskają przyczepność.
2. Utnij dziesięciocentymetrowy odcinek kołka i spiłuj wszelkie odstające elementy.
3. Przyłącz piasty do płyt za pomocą gorącego kleju. Możesz ewentualnie wypełnić kitem epoksydowym lukę pomiędzy drewnianą osią a otworem płyty.
4. Delikatnie wsuń kołek w piastę przy jednym kole. Elementy powinny do siebie idealnie pasować. Jeżeli połączenie jest zbyt luźne, oklej końcówkę kołka taśmą izolacyjną i spróbuj jeszcze raz. Jeżeli kołek jest zbyt duży, spiłuj go pilnikiem, dopóki nie zacznie wchodzić w piastę (rysunek 5.12).

5. Umieść wkręty oczkowe w pułapce na myszy, naprzeciwko haczyka przytrzymującego napiętą ramkę. Wkręć je jak najbliżej krawędzi, ale tak, żeby nie rozłupać drewna.
6. Przymocuj pułapkę na myszy taśmą izolacyjną do patyka do mieszania farby.
7. Przełóż przez kołek wkręty oczkowe i zamknij całość za pomocą drugiego koła.
8. Za pomocą taśmy izolacyjnej przyklej piłeczkę pingpongową do drugiego końca patyka. Dzięki temu pojazd będzie stabilny.
9. Aby zapobiec przesuwaniu się kołka, połącz wewnętrzną stroną wkrętów z kołkiem za pomocą wąskich pasków taśmy. Kołek powinien obracać się bez problemu.
10. Utnij 60 cm żyłki. Przywiąż jeden jej koniec na środku kołka, a drugi — pośrodku ramki pułapki. W razie potrzeby zabezpiecz całość taśmą izolacyjną.
11. Zaczynaj obracać kołami do tyłu (przeciwnie do ruchu wskazówek zegara na rysunku 5.12) i jednocześnie pilnuj, żeby żyłka nawijała się wokół kołka. Nawijaj żyłkę aż do momentu naciągnięcia pułapki.
12. Nastaw pułapkę, odciągając ramkę i blokując ją zapadką. Zadanie to wymaga delikatności. Uważaj na palce!
13. Gdy już nastawisz pułapkę, Twój pojazd będzie gotowy do wyścigu! Postaw go na podłodze i uruchom pułapkę za pomocą ołówka lub innego długiego przedmiotu. Z powodu gwałtownego ruchu żyłka zacznie odwijać się na osi i wprawi maszynę w ruch. Pojazd powinien przejechać na tym „zasilaniu” około 3 metry. Pomyśl i sprawdź, czy potrafisz w jakiś sposób poprawić jego osiągi.

Literatura

Anglojęzyczna

1. Dan O'Sullivan i Tom Igoe, *Physical Computing: Sensing and Controlling the Physical World with Computers* (Boston: Thomson, 2004).
2. Gordon McComb, *The Robot Builder's Bonanza*, ed. Michael Predko (New York: McGraw-Hill, 2006).
3. Agencja Ochrony Środowiska oraz Ministerstwo Energetyki Stanów Zjednoczonych, strona ENERGY STAR, *How Much Light?* (https://www.energystar.gov/index.cfm?c=cfls.pr_cfls_lumens).
4. Nicolas Collins, *Handmade Electronic Music: The Art of Hardware Hacking, Second Edition* (Routledge, New York: 2009).

5. Jeff LeBlanc, *ALDEH 300 Energy Harvesting Modules* (<http://itp.nyu.edu/physcomp/Notes/ALDEH300EnergyHarvestingModules>).
6. Michael Lindeburg, *Mechanical Engineering Reference Manual for the PE Exam*, Twelfth Edition (Professional Publications, Belmont, CA: 2006).

Polskojęzyczna

1. Stefan Sękowski, *Elektrochemia domowa* (Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 1987).
2. David Cook, *Budowa robotów dla średnio zaawansowanych* (Helion, 2013).
3. Piotr Górecki, *Wyprawy w świat elektroniki. Tom 1* (Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, 2006).
4. Michał Szafrąński, *Oświetlenie LED — prawdy i mity, czyli czy wolisz oszczędzać prąd czy pieniądze?* (<http://jakoszczedzacpieniadze.pl/oswietlenie-led-prawdy-i-mity>).
5. *Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii*, praca zbiorowa pod redakcją Marka Gałusza, Joanny Paruch. (TARBONUS Sp. z o. o., 2008).

Skorowidz

A

adapter wału, 294
akumulatory
 litowe, 124
 litowo-jonowe, 124
 litowo-polimerowe, 124
 ołowiowo-kwasowe, 124
alternatywne źródła energii, 126
aluminium, 60
amper, A, 115
anatomia serwowatoru, 148
aplikacja
 3ds Max, 271
 Adobe Illustrator, 270
 Art of Illusion, 270
 AutoCAD, 270
 Autodesk Inventor, 271
 Blender, 270
 BRL-CAD, 271
 Geomagic Design, 271, 272
 Google SketchUp, 270
 HeeksCAD, 271
 Inkscape, 229
 Maya, 271
 OpenSCAD, 271
 PTC Creo, 271
 QCAD, 270
 Rhino 3D, 271
 Rhino 3D OSX, 271
 SolidWorks, 271
 TopMod, 271
 Vectorworks, 271
aplikacje
 do modelowania, 270
 MeshLab, 275
Arduino, 174, 175, 311
 migotanie diody, 334, 336
 podstawy, 331
 współpraca z komputerem, 332
 wybór modelu, 333
automaty, 259

B

badanie współczynnika tarcia, 100
bambus, 65
baterie, 121
 alkaliczne, 123
 cynkowe, 122
biobaterie, 130
biotworzywa, 67
blacha, 60
błoczek, 30
brąz, 62
budowa
 łożyska, 203, 205
 przekładni zębatej, 225

C

ceramika, 62
charakterystyka
 motoreduktora, 146
 serwowatoru, 149
 silniczka prądu stałego, 144
 silnika krokowego, 153
chwytnak, 196
ciało, 102
cięcie, 280
ciężar, 96
ciśnienie płynu, 193
cyfrowe siłomierze, 107
cykl pracy, 168
czworobok przegubowy, 254

D

delrin, 63
dioda, 190
 IR, 299
 LED, 119, 190
długość ściśnięcia, 133
drewno, 64, 282
dykta piślniowa, 65
działanie silnika, 138

dźwignia kątowna, 257, 258
dźwignie
 drugiego rodzaju, 27
 pierwszego rodzaju, 23
 trzeciego rodzaju, 28
dżul, J, 112

E

elektroaktywne polimery, 195
elektromagnes, 155, 157, 190
elektromagnes obrotowy, 154
energia
 elektryczna, 114
 kinetyczna, 112
 kondensatora, 128
 mechaniczna, 112
 potencjalna, 112
 potencjalna sprężystości, 132
 słoneczna, 129
 sprężonego gazu, 130
 z ziemniaków, 131

F

farad, F, 128
forma odlewnicza, 281
fototranzystor, 299
frez palcowy, 212
funkcje trygonometryczne, 94

G

generator sygnału PWM, 173
gęstość płynu, 193
głębokość, 193
gniazdo COM, 114
grawitacja, 22, 103
grubość blachy, 60
guma, 64
gwint, 71
gwintowanie, 76, 78
gwintownik, 73, 75

gwoździe, 83
 sztyftowe, 83
 tapicerskie, 83
 z podwójnym łbem, 83

H

huśtawka, 23
 hydraulika, 130, 194

I

identyfikacja portu szeregowego, 334
 importowanie projektu CAD, 274
 integrowanie analogowe, 285
 cyfrowe, 286

K

karta charakterystyki silnika, 143, 146
 charakterystyki silnika krokowego, 153
 kierunek pracy silnika, 165
 siły tarcia, 97
 klej, 85
 cyjanoakrylowy, 87
 do drewna, 85
 do gwintów, 87
 klejenie na gorąco, 87
 klin, 36
 klucz imbusowy, 80
 koła pasowe, 237
 pośrednie, 234
 zębate, 233, 234
 kołki, 84
 kołnierze blokujące, 223, 224
 kołowrót, 34
 koncentrator, 319
 kondensator, 127
 ceramiczny, 128
 elektrolityczny, 128
 odsprzęgający, 191
 konfiguracje liniowych łożysk kulkowych, 209
 mocowania łożysk, 214

koń mechaniczny, 113
 korby, 249
 korkociąg, 41
 krążek, 30
 napędzający, 32
 napędzany, 32
 pośredniczący, 32
 przesuwny, 32
 stały, 32
 kreowanie analogowe, 267
 cyfrowe, 268
 krzywka, 250, 262
 bębnowa, 252
 promieniowa, 252
 styczna, 250

L

latarnia wiatrowa, 309
 lepkość, 193
 liczba zwojów na cal, 71
 lignina, 64
 lutowanie klasyczne, 90
 przełącznika, 161
 twarde, 90
 luz, 101

Ł

łańcuch, 237
 łańcuch kinematyczny, 252
 łączenie maszyn prostych, 247
 podzespołów z osią doklejanie, 222
 przyklejanie, 221
 spinanie, 221
 ściskanie, 222
 wciskanie, 221
 wiercenie montażowe, 221
 za pomocą śruby, 222
 za pomocą śruby wraz ze spinaniem, 222
 zaciskanie, 222
 przedmiotów, 69
 przekładni, 221
 wału, 219
 łącznik, 70
 łączone tuleje, 212

łożyska kuliste, 210, 211
 kulkowe, 201, 206
 liniowe, 200, 208
 łączone, 208
 promieniowe, 200–202
 skośne, 210
 specjalne, 208
 w oprawie, 214
 wałeczkowe, 201, 206
 wzdłużne, 200, 206
 łożysko budowa, 203, 205
 mocowanie, 205
 montowanie, 212
 obciążenia statyczne i dynamiczne, 204
 obroty na minutę, 204
 skala tolerancji ABEC, 203

M

margines błędu, 56
 masa, 22, 112
 maszyna, 22
 maszyna prosta, 22
 dźwignia, 23
 kołowrót, 34
 krążek, 30
 przekładnia, 39
 równia pochyła, 36
 śruba, 36
 maszyna śniadaniowa, 47, 50
 materiały, 53
 kompozytowe, 64
 precyzyjne, 57
 termoplastyczne, 62
 mechanizm, 22
 dźwignienkowy, 252
 maltański, 257, 258
 szybkiego powrotu, 258
 zapadkowy, 255, 256
 zębatkowy, 40
 nożycowy, 254
 metal, 58, 282
 metody dwuwymiarowe, 283
 obciążania łożysk, 210
 przekształcania ruchu, 255
 trójwymiarowe, 284
 miedź, 61
 miernik cyfrowy, 115
 mikrokontroler Arduino, 177

miliamperogodziny, 115
 minimalne ograniczanie projektu, 45
 młotek, 26
 mnożnik siły, 28
 moc, 113
 moc elektryczna, 118
 mocowanie
 łożyska, 205
 przedmiotów, 69
 silnika, 318
 modelowanie, 270
 modulacja
 położenia impulsów, PPM, 180
 szerokości impulsów, PWM, 168
 moduł, 40
 EasyDriver, 187
 Motor Shield, 185
 moment
 dynamiczny, 152
 obrotowy, 92, 106, 113
 spoczynkowy, 152
 montowanie
 łożysk, 212
 obrotnicy, 293
 podzespołów na wale silnika, 217
 występów, 303
 mosiądź, 61
 mostek H, 166
 motoreduktor, 145
 Myśląca Masa, 193

N

nadmiarowe ograniczania projektu, 46
 nakrętka, 82
 kłowa, 83
 motylkowa, 82
 napęd
 cierny, 30
 łańcuchowy, 239
 pasowy, 237
 przymusowy, 30
 napięcie, 114, 121
 napięcie wsteczne, 190
 napinacz, 237
 naprężenia, 55
 narzędzia, 18, 229
 natężenie, 115

nawiertak, 81
 nitonakrętka, 83
 nity, 88
 niuton, N, 22
 niutonometr, 94
 nylon, 63

O

obciążenie, 117
 dynamiczne, 156
 promieniowe, 46
 statyczne, 156
 obliczanie momentu obrotowego, 106
 parametrów przekładni, 227
 siły, 106
 obrót, 44
 obwód, 117
 elektryczny, 117
 prostowniczy, 308
 silnika krokowego, 189
 sterujący serwowmotorem, 182
 testowy SADbota, 314
 odczyt napięcia, 115
 odległość, 113
 odległość międzyosiowa, 40
 odlew, 281
 negatywowy, 281
 pozytywny, 281
 ogniwo
 nikłowo-kadmowe, 123
 nikłowo-metalowo-wodorkowe, 123
 obciążnikowe, 107
 słoneczne, 130
 ograniczania projektowe, 43
 minimalne, 46
 nadmiarowe, 46
 okno Wypełnienie i kontur, 231
 om, Ω , 117
 opór, 103, 117
 otwarty układ krążków, 32
 otwieracz do butelek, 28
 otwór naprowadzający, 72

P

pamięć kształtu, 195
 pantograf, 254
 papier, 66

parametry silnika krokowego, 151
 pasek rozrządu, 31
 z napinaczami, 238
 pasowanie
 ciasne, 72
 luźne, 72
 pasy, 237
 PETG, 63
 piasta, 217
 piasta zaciskowa, 218, 220
 pierścienie osadcze, 84
 pliki CAD, 272
 płyn, 130
 płyta piankowo-kartonowa, 66
 płytka
 Arduino, 332
 montażowa, 162
 pneumatyka, 130, 194
 podkładka, 83, 219
 oporowa, 207
 sprężysta, 245
 podłączenie diody, 191
 podnośnik, 37
 podstawa, 234
 podstawka, 233
 podzespoły, 17
 pogłębiacz, 81
 pojazd, 134
 pojemność, 128
 polichlorek winylu, 63
 polietylen, 63
 polimer, 62
 poliwęglan, 63
 połączenia
 nierozłączne, 85
 rozłączne, 70
 połączenie
 równoległe, 116
 szeregowo, 116
 pomiar
 momentu obrotowego, 108
 siły, 106
 popychacz, 250
 potencjometr, 170
 półprzewodnik, 66
 praca, 22
 praca mechaniczna, 112
 naszych mięśni, 131
 pracowita Zuzia, 300
 prawo Ohma, 118

prąd
 przemienny, 116
 stały, 116

prędkość, 35, 112
 obrotowa, 35, 113
 styczna, 35

pręty gwintowane, 81

programowe generowanie
 sygnału PWM, 174

projekt
 lutowanie obwodu, 159
 maszyna śniadaniowa, 47
 pantograf w kształcie serca,
 254
 pojazd zasilany pułapką
 na myszy, 133
 pomiar momentu
 obrotowego silnika, 108
 programowe generowanie
 sygnału PWM, 174
 robot rysujący, 309
 silnik zmieniający kierunek
 obrotów, 165
 sterowanie bipolarnym
 silnikiem krokowym, 186
 sterowanie silnikiem, 169
 sterowanie
 standardowym serwowot
 orem, 181
 szybkobieżny błąd
 obrotowy, 290
 trampoliny z różnych
 materiałów, 67
 trójwymiarowy model
 podzespołu, 272
 turbina wiatrowa, 301
 tworzenie obwodu, 162
 wiercenie wyśrodkowanego
 otworu, 278
 własna przekładnia, 226
 własny automat, 262

projektowanie zorientowane
 na produkcję, 266

projekty
 dwuwymiarowe, 269
 trójwymiarowe, 269

przewodnica, 208
 przewodnica trzonu, 251
 przeguby uniwersalne, 221
 przekładniki, 193
 przekładnia, 39, 223, 235
 kątowa, 41
 obiegowa, 42

stożkowa, 41
 ślimakowa, 42
 zębata, 39
 diametral pitch, 225
 kąt przyporu, 226
 odległość międzyzosiowa,
 226
 podziałka zęba, 225
 średnica zewnętrzna, 226

przekładnie złożone, 236
 przekształcanie ruchu, 248,
 255, 257
 przeliczniki jednostek, 337
 przełącznik, 299
 przełącznik SPDT, 167
 przełożenie
 przekładni, 43
 siłowe, 25
 przemieszczenie, 25
 przepływ wsteczny, 190
 przetwornik, 119
 przetwornik prądu, 126
 przewody linkowe, 163
 przyspieszenie, 22

R

ramię
 człowieka, 29
 siły, 92

reduktor siły, 28

regulator ładowania, 128, 129

regulowany zasilacz
 laboratoryjny, 120

rezystancja, 117

robot, 260

robot rysujący, 309

rodzaje
 czworoboków
 przegubowych, 253
 liniowych elementów
 wykonawczych, 154
 łożów i nacięć, 79, 80
 materiałów, 58
 obrotowych elementów
 wykonawczych, 141

rotacja ciągła, 183

rozciąganie, 55

rozkład sił, 102
 na szpuli, 105
 platformy, 104

rozprzestrzenianie
 analogowe, 286
 cyfrowe, 287

rozpuszczalnik polimerowy, 86

rozszerzenia Arduino, 179

równia pochyła, 36

równowaga statyczna, 96

ruch
 bez udziału silnika, 193
 liniowy, 256
 nieregularny, 256
 obrotowy, 256
 osiowy, 45
 posuwisto-zwrotny, 249,
 256
 promieniowy, 45
 przerywany, 256
 wahadłowy, 256

rysunek sporządzony przez
 SADbota, 321

S

samohamowność, 42

schemat
 Graffbota, 104
 silnika bipolarnego, 185
 unipolarnego silnika, 184

serwomechanizm, 215

serwowotor, 147, 150, 215

silniczek, 31

silnik, 138
 bipolarny, 185
 domowej roboty, 140
 krokowy, 150, 305
 krokowy unipolarny, 184
 liniowy, 155, 156
 prądu przemiennego, 153
 prądu stałego, 142
 unipolarny, 184

silniki
 moc, 147
 moment obrotowy, 147
 prędkość, 147
 skuteczność, 147

siła, 22
 elektromotoryczna, SEM, 190
 normalna, 96, 97, 103
 pomiar elektroniczny, 107
 pomiar mechaniczny, 106
 przyłożona, 102
 tarcia, 97, 102

sklepy, 17
 skok
 gwintu, 71
 krzywki, 251
 śruby, 38
 tłoka, 189
 skręcanie, 56
 skrzynia
 biegów, 39
 przekładniowa, 145
 smary, 101
 spawanie, 89
 sprężony gaz, 194
 sprężyna, 240
 naciągowa, 242, 244
 naciskowa, 240–243
 płytkowa, 245
 skrętna, 133, 243
 spiralna, 246
 śrubowa, 132
 sprzęgi
 elastyczne, 220
 na śruby dociskowe, 220
 sprzęgła, 214
 sprzęgło
 napędowe, 222
 grzechotkowe, 223
 sprzętowa modulacja PWM, 169
 sprzętowy sygnał PWM, 174
 sprzężenie zwrotne, 181
 srebro, 62
 stal, 59
 sterowanie
 bipolarnym silnikiem
 krokowym, 186
 elektromagnesem, 189
 serwomechanizmem, 183
 serwomotorem, 179–181
 silnikiem, 148, 157, 174, 190
 silnikiem krokowym, 184,
 311
 silnikiem liniowym, 189
 silnikiem prądu stałego,
 158, 174
 sterownik EasyDriver, 185
 stop z pamięcią kształtu, 195
 stopnie swobody, 44
 strata siłowa, 35
 styren, 63
 sygnał
 PPM, 180
 PWM, 169

szablon Ponoko, 234
 szkic, 334
 szkło akrylowe, 63
 szkockie jarzmo, 256, 258
 sztuczne mięśnie, 195
 sztywne sprzęgi, 220
 sztywność, 133
 szybkiebieżny biał obrotowy,
 290
 szybkość, 35
 szybkość obrotów wału, 145

Ś

ścinanie, 56
 ściskanie, 55
 ślimacznica, 42
 ślimak, 42
 średnica
 podziałowa, 40
 wału, 152
 śruba, 36, 71, 72
 dociskowa, 82
 napędowa, 37, 239
 rzymska, 38
 samowkrętna, 82
 specjalnego przeznaczenia,
 81
 zaciskowa, 82

T

taczka, 27
 talia
 dwublokowa, 32
 likowa, 33
 tarcie, 95
 taśma, 88
 teflon, 63
 tektura, 66
 tensometr oporowy, 107
 testowanie materiałów, 67
 tłumaczenie
 analogowe, 274
 cyfrowe, 275
 tolerancja, 56
 translacja, 44
 tranzystor, 170, 171, 193
 trójkąt prostokątny, 94
 trójwymiarowy model
 podzespołu, 272
 trzewia mechanizmu, 200

tuleja, 200
 radialna, 201, 202, 206
 wzdłużna, 207
 turbina wiatrowa, 301, 307
 tworzenie
 automatu, 262
 przekładni, 226
 urządzeń, 265
 tworzywa
 sztuczne, 62, 283
 termoutwardzalne, 62
 tworzywo ABS, 63
 typy
 łączników, 70
 przekładni, 39

U

układ
 czasowy 555, 172, 173
 logiczny, 192
 otwarty, 32
 prostowniczy, 308
 przeniesienia napędu, 39
 rozrządu, 238
 zamknięty, 30
 uziemienie, 114
 uzwojenie, 139

W

waga, 106
 wał krzywkowy, 251
 wały D-kształtne, 216
 wartość prędkości, 35
 warunek zachowania
 równowagi, 24
 wat, W, 113, 118
 wiatr, 130
 wielokrążek, 30
 wiercenie, 76, 277
 wiertło, 73, 75, 213
 wkręt, 71
 właściwości materiałowe, 54
 włókna EAP, 196
 woda, 130
 wolt, V, 114
 współczynnik tarcia, 97, 98,
 100
 wyboczenie, 55
 wykorbowanie korby, 249
 wymiary śrub, 73, 75

wytrzymałość
 graniczna, 55
 na rozciąganie, 54
 przedmiotów, 95
wytwarzanie
 analogowe, 276
 cyfrowe, 283
wznios, 250, 251

Z

zabawka mechaniczna, 259
zamknięty układ krążków, 30
zasilacz
 impulsowy, 121
 komputerowy, 125
 laboratoryjny, 120
 liniowy, 121

zasilanie, 114
 płytki prototypowej, 175
 płytki stykowej, 330
 projektów, 119
 prototypów, 120
 silnika, 192
zębata, 237, 239
zębownik, 43
zmęczenie materiału, 56
zmiana
 energii, 112
 rozmiaru otworu, 230
 rozmiaru wału, 219
zmniejszanie tarcia, 101
zszywka, 83

zwiększanie
 siły, 43
 szybkości, 43
zysk
 mechaniczny, 25
 siłowy, 33

Ż

źródło energii, 119

Ż

żywice epoksydowe, 86

PROGRAM PARTNERSKI

GRUPY WYDAWNICZEJ HELION



- 1. ZAREJESTRUJ SIĘ**
- 2. PREZENTUJ KSIĄŻKI**
- 3. ZBIERAJ PROWIZJĘ**

Zmień swoją stronę WWW
w działający bankomat!

Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!

<http://program-partnerski.helion.pl>

Zbuduj wymarzoną maszynę!

Każdy majsterkowi cz marzy o zbudowaniu maszyny, która może być wprawiana w ruch. Koła zębate, przekładnie, napędy to kluczowe elementy, obok których żaden pasjonat majsterkowania nie przejdzie obojętnie! Jeżeli chcesz poznać skuteczne techniki ruchomego łączenia części, jeżeli chcesz zbudować maszynę wprawianą w ruch, to trafieś na rewelacyjną książkę, która wprowadzi Cię w świat mechanizmów.

Sięgnij po nią i poznaj najczęściej stosowane materiały oraz dowiedz się, jak je łączyć i gdzie ich szukać. Na kolejnych stronach znajdziesz cenne informacje na temat mocowania różnych elementów oraz poznasz kluczowe pojęcia: siły, tarcia i momentu obrotowego. Uzbrojony w tę wiedzę, przystąpisz do poznawania źródeł mocy mechanicznej i elektrycznej oraz zbudujesz pojazd zasilany pułapką na myszy! Na sam koniec zobaczysz, jak korzystać z łożysk i sprzęgieł, oraz nauczysz się łączyć proste maszyny w złożone układy. W tej unikalnej publikacji pokazano liczne projekty, których realizacja sprawi Ci mnóstwo frajdy. Książka ta musi znaleźć się na półce każdego szanującego się majsterkowi cz!



Sięgnij po tę książkę i:

- wybierz właściwe materiały do Twojego projektu
- poznaj połączenia rozłączne oraz nierozłączne
- opanuj techniki obliczania siły i momentu obrotowego
- wykorzystaj łożyska, sprzęgła, sprężyny i śruby
- zbuduj zaawansowaną maszynę



Dustyn Roberts — inżynier mechanik, nauczycielka. Założycielka firmy doradczej Dustyn Roberts. Posiada szeroką wiedzę zdobytą w trakcie studiów na Uniwersytecie Carnegie Mellon, Uniwersytecie Delaware oraz Politechnice Nowojorskiej.

sięgnij po **WIECEJ**



MOJA KOPISZKA

Helion

30377
www.helion.pl
Informatyka i Internet

<http://helion.pl>

Skontaktuj się z nami

☎ **0 601 339900**

📱 **0 601 339900**

Informatyka w najlepszym wydaniu

Sprzedaż i dystrybucja promocyjnie
☎ <http://helion.pl/promocje>
☎ helion@helion.pl
☎ <http://helion.pl/wskazywany>
Zamówienia i reklamacje
☎ <http://helion.pl/reklamacje>

Helion SA
ul. Świdkowska 14, 44-100 Gliwice
tel.: 32 330 34 63
www.helion.pl
<http://helion.pl>

ISBN 978-83-246-9857-8



9 788324 698578

cena: 59,00 zł