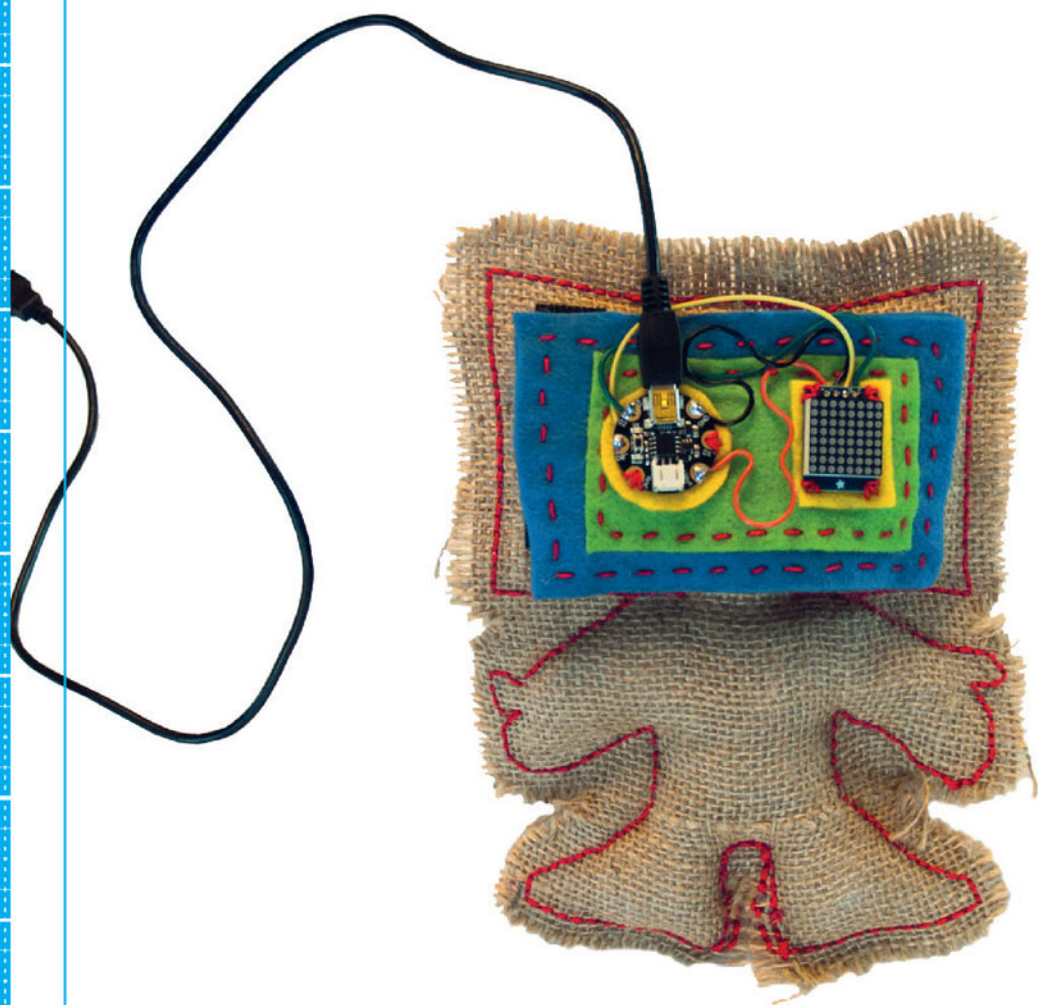


# Budowa prostych robotów



Niezwykłe projekty  
ze zwykłych materiałów

**Kathy Ceceri**

**Helion**

Tytuł oryginału: Making Simple Robots

Tłumaczenie: Konrad Matuk

ISBN: 978-83-283-0507-6

© 2015 Helion S.A.

Authorized Polish translation of the English edition of Making Simple Robots, ISBN 9781457183638 © 2015 Kathy Ceceri, published by Maker Media Inc.

This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to publish and sell the same.

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 biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz Wydawnictwo HELION nie ponoszą 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](mailto:helion@helion.pl)  
WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

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

Printed in Poland.

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

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

---

# Spis treści

---

<b>Przedmowa</b> .....	<b>7</b>
<b>Wstęp</b> .....	<b>13</b>
<b>1. Roboty zbudowane z interesujących materiałów</b> .....	<b>19</b>
Projekt: poruszający się papier .....	21
Do czego to służy? .....	21
Skąd się to wzięło? .....	22
Jak to działa? .....	24
Wykonanie projektu .....	26
Projekt: zbuduj pompowanego robota .....	40
Do czego to służy? .....	40
Skąd się to wzięło? .....	40
Jak to działa? .....	42
Wykonanie projektu .....	43
<b>2. Roboty, które się poruszają</b> .....	<b>49</b>
Projekt: wykonaj robota wyposażonego w napęd naprężeniowo-integralny (tensegrity) .....	51
Do czego to służy? .....	51
Skąd się to wzięło? .....	52
Jak to działa? .....	53
Wykonanie projektu .....	55
Projekt: wykonaj hybrydę kół i nóg .....	62
Do czego to służy? .....	62
Skąd się to wzięło? .....	62

Jak to działa? .....	63
Jak działa drukarka 3D? .....	64
Wykonanie projektu .....	67
<b>3. Roboty, które nie poddały się ewolucji .....</b>	<b>83</b>
Projekt: budowa chmary ślizgających się robotów wibracyjnych .....	86
Czym jest robot wibracyjny? .....	86
Do czego to służy? .....	86
Skąd się to wzięło? .....	86
Jak to działa? .....	87
Wykonanie projektu .....	88
Projekt: budowa robota BEAM zasilanego energią słoneczną, poruszającego się dzięki drganiom .....	92
Czym jest robot BEAM? .....	92
Do czego to służy? .....	92
Skąd się to wzięło? .....	93
Jak to działa? .....	94
Wykonanie projektu .....	94
<b>4. Roboty — pomocnicy i przyjaciele .....</b>	<b>115</b>
Projekt: napisz program będący chatbotem .....	117
Czym jest chatbot? .....	117
Do czego to służy? .....	117
Skąd się to wzięło? .....	117
Jak to działa? .....	118
Wykonanie projektu .....	120
Projekt: Twoja podobizna w dolinie niesamowitości .....	133
Czym jest dolina niesamowitości? .....	133
Do czego to służy? .....	133
Skąd się to wzięło? .....	134
Jak to działa? .....	135
Wykonanie projektu .....	137
<b>5. Roboty — zabawa i sztuka .....</b>	<b>145</b>
Projekt: zbuduj plotera opartego na projekcie firmy littleBits .....	146
Czym jest ploter? .....	146
Do czego to służy? .....	147
Skąd się to wzięło? .....	147
Jak to działa? .....	149
Wykonanie projektu .....	150

Projekt: zbuduj FiberBota — robota wykonanego z e-tekstyliów, sterowanego za pomocą Arduino ....	161
Czym są e-tekstylia? .....	161
Do czego to służy? .....	162
Skąd się to wzięło? .....	162
Jak to działa? .....	163
Wykonanie projektu .....	164
<b>Posłowie. Czego nauczyłam się podczas pracy nad tą książką? .....</b>	<b>197</b>
<b>Skorowidz .....</b>	<b>201</b>



# Roboty zbudowane z interesujących materiałów

# 1

Pracujemy nad geometrią, algorytmami i procesami produkcyjnymi nowatorskich materiałów, które mają być przeprogramowywane, materiałów o szerokim spektrum zastosowań, które mają wypełniać granice pomiędzy inżynierią materiałową, informatyką, biologią i matematyką.

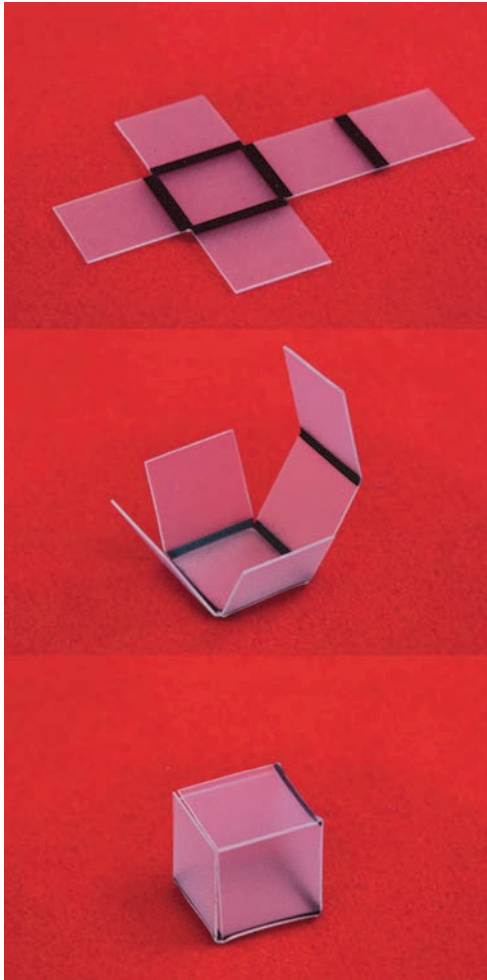
— Otherlab

Jak myślisz, z jakich materiałów wykonuje się roboty? Konstrukcje występujące w klasycznych filmach i książkach z gatunku fantastyki naukowej są prawie zawsze wykonane z metalu. Roboty domowego użytku i roboty będące zabawkami są prawie zawsze wykonane z grubego plastiku. Naukowcy pracujący nad robotami w laboratoriach na całym świecie analizują zastosowanie wszelkich możliwych materiałów. Dzisiejsze supernowoczesne materiały i procesy produkcyjne otwierają wiele nowych możliwości przed konstruktorami robotów. Naukowcy starają się zastąpić ciężkie, sztywne korpusy cienkimi, giętymi powłokami, dzięki którym konstrukcje robotów będą na tyle elastyczne, że roboty będą giętkie i gibkie. Jednym z celów konstruktorów jest tworzenie robotów, które naśladują organizmy występujące w naturze. Roboty tego typu poruszają się tak, jakby były żywymi stworzeniami, a ponadto nie wymagają tworzenia dla nich skomplikowanych programów ani nie pobierają dużej ilości prądu. Ponadto zwykle są one bardziej „uległe” od standardowych robotów — po uderzeniu w człowieka lub przeszkodę stojącą na ich drodze cofają się, nie próbują pokonać przeszkody na siłę.

Jeszcze bardziej ekscytującą wizją wydaje się „inteligentny korpus” — molekularna konstrukcja sterująca pracą robota. Korpus taki można zbudować z programowalnych materiałów, takich jak polimery i stopy charakteryzujące się **pamięcią kształtu**. Materiały te mogą zostać przystosowane do zmiany swojego fizycznego kształtu i rozmiaru pod wpływem zewnętrznych bodźców, takich jak światło lub ciepło. Na przykład drut wykonany ze stopu z pamięcią po włożeniu do szklanki z gorącą wodą może samoczynnie wygiąć się i przyjąć kształt sprężyny.

Niektórzy naukowcy pracują nad inteligentnymi korpusami zbudowanymi z materiału, z którego wykonywane są zabawki dla dzieci takie jak na przykład Shrinky Dinks (arkusze wykonane z plastycznego materiału, który po włożeniu do piekarnika kurczy się i utwardza, zachowując kształt). Materiał ten po podgrzaniu zmniejsza

swoje wymiary do około 60% początkowej wielkości. Dzieci malują ten materiał, a majsterkowicze mogą wydrukować na nim różne wzory i wykonać kolorowe wisiorki. Naukowcy z Uniwersytetu Stanowego Karoliny Północnej nadrukowali na tym materiale czarne linie i naświetlili go światłem podczerwonym, które ma właściwości rozgrzewające (zobacz rysunek 1.1). Czarne linie zostały rozgrzane, a obszar niepokolorowany na czarno pozostał zimny — arkusz materiału wygiął się. W ten sposób otrzymano arkusz plastiku, który samoczynnie składa się w trójwymiarowy sześcian.



**Rysunek 1.1.** Arkusz aktywowanego ciepłem samoczynnie składającego się plastiku

Autorzy: Ying Liu i Jacob Thelen, Uniwersytet Stanowy Karoliny Północnej

Co prawda wspomniany wcześniej materiał po zmianie kształtu nie może samoczynnie wrócić do swojej pierwotnej formy, ale istnieją inne materiały, które charakteryzuje taka możliwość. Naukowcy stosują tego typu wyginające się materiały do tworzenia sztucznych mięśni, które można określić mianem **siłowników**



napędzających roboty. W 2009 roku Ray Baughman pracownik University of Texas w Dallas pokazał światu sztuczne mięśnie wykonane z polimeru z pamięcią kształtu — karbonowych nanorurek. Atomy karbonowych nanorurek tworzą kształt plastra miodu będącego kopułą geodezyjną. Materiał ten przy próbie odginania w jednym kierunku jest twardy jak stal, ale przy próbie odginania w kierunku przeciwnym okazuje się być bardzo plastyczny. Materiał może być użytkowany w ekstremalnych temperaturach, a więc doskonale nadaje się do stosowania podczas misji kosmicznych. Zespół kierowany przez Baughmana początkowo stosował ten materiał w formie aerożelu, określanego czasem mianem „zamarzniętego dymu”. Aerożel jest ciałem stałym tak lekkim, że mającym niemalże taką samą gęstość jak powietrze. Karbonowe nanorurki pod wpływem prądu elektrycznego wydłużają się 10 razy bardziej i 1000 razy szybciej niż naturalne włókna mięśniowe. Baughman opracował ostatnio pasma nanorurek wypełnionych woskiem, które rozszerzały się, gdy wosk topniał pod wpływem wysokiej temperatury. Z czasem projekt ten może ewoluować i doprowadzić do stworzenia inteligentnego materiału, który będzie zmieniał kształt pod wpływem zmiany temperatury.

Przewód zmieniający kształt wykonany z nitinolu (metalicznego stopu niklu i tytanu) jest używany w roli siłownika poruszającego bardzo małymi i bardzo giętкими konstrukcjami robotów. W 2012 roku Octopus Project zaprezentował film pokazujący pracę podwodnego robota, który pęłzał na kończynach napędzanych za pomocą materiału zmieniającego swój kształt. Naukowcy z Virginia Tech pracują nad Robojelly — robotem mającym kształt meduzy, który porusza się pomocą macek napędzanych siłą generowaną przez materiał z pamięcią kształtu. Robojelly umożliwiał naukowcom badania nad meduzami bez konieczności dbania o żywą meduzę. Być może w przyszłości materiały z pamięcią kształtu pozwolą na konstrukcję napędu łodzi podwodnych.

Naukowcy poza opracowywaniem nowych materiałów szukają również inspiracji w przeszłości — prowadzą badania nad prostymi materiałami takimi jak guma i papier. Są one lekkie i sprężyste, a więc można je z łatwością sproszkować. Są też tanie i łatwo dostępne, a więc doskonale nadają się do prac projektowych. Niektórzy naukowcy uważają, iż materiały te są tak tanie, że być może w przyszłości zostaną opracowane jednorazowe roboty, które będą wykonywały pewne badania lub czynności, a następnie będą mogły być porzucone — nie trzeba będzie się martwić o ich powrót do punktu wyjściowego.

Projekty przedstawione w tym rozdziale pozwolą Ci rozpocząć przygodę z budową prostych robotów — zaczniemy od zabawy z interesującymi materiałami, które są używane do konstrukcji współczesnych, nowoczesnych robotów: drutu wykonanego ze stopu z pamięcią kształtu, papieru i gumy. W zasadzie nie będziesz pracować nad robotami, a nad eksperymentalnymi konstrukcjami, które mają udowodnić pewne właściwości wspomnianych wcześniej materiałów. W sekcji „[Modyfikacja i rozbudowa](#)” znajdziesz wskazówki, które pozwolą Ci na dalsze zgłębianie tej tematyki. Odwiedź strony internetowe wymienione w ramkach umieszczonych w tym rozdziale — znajdziesz tam wiele dodatkowych informacji, a także poradniki.

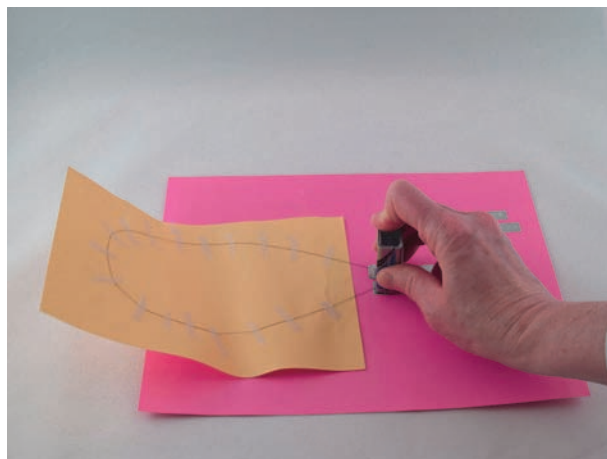
## Projekt: poruszający się papier

---

Poruszający się papier jest konstrukcją wykonaną z materiału, który może się poruszać dzięki pamięci kształtu.

### Do czego to służy?

Papier pełniący funkcję siłownika może, w zależności od potrzeb, składać się i rozkładać, przybierając różne kształty. Naukowcy próbują zastosować tego typu materiał do budowy robotów ogólnego stosowania, które mogłyby dostosowywać swój kształt do aktualnych potrzeb. Roboty mogące ulegać transformacji byłyby bardzo przydatne na misjach kosmicznych lub w innych miejscach, w których surowce są trudno dostępne.



Artyści i projektanci korzystają z poruszającego się papieru podczas pracy nad ruchomymi rzeźbami i elementami wnętrza. Przy użyciu sensorów oraz poruszającego się papieru możliwe jest stworzenie struktur reagujących na zmiany otoczenia

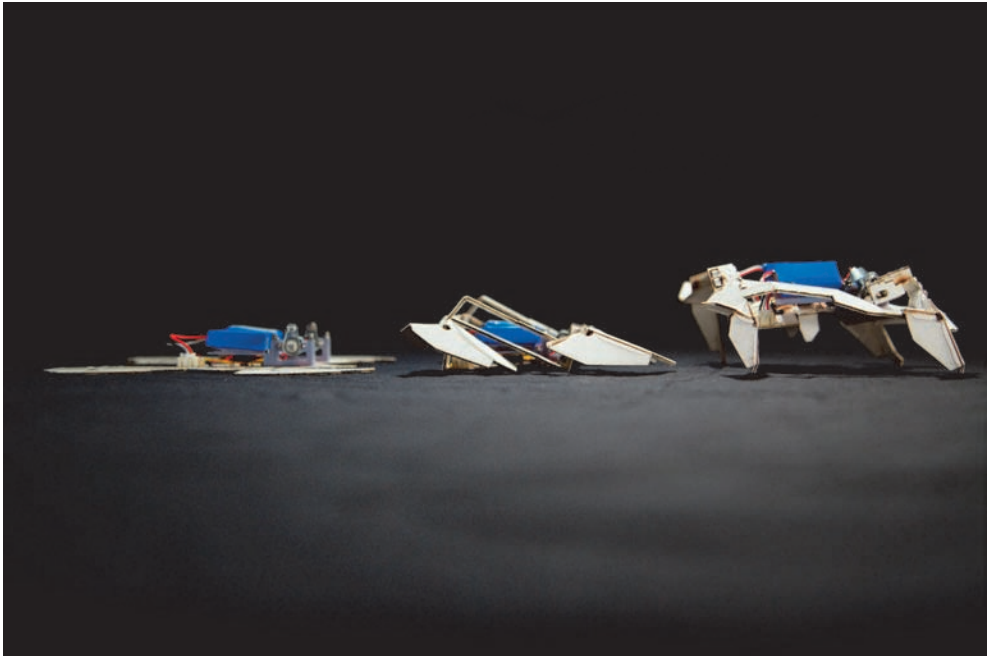
## Skąd się to wzięło?

Papier wynaleziono w Chinach w około 105 roku naszej ery. Wynalazek ten otworzył zupełnie nowe możliwości przed czymś, co obecnie nazywamy projektowaniem produktów. Papier doskonale nadawał się do druku, w związku z tym bardzo szybko zastąpił pergamin i papirus, które były wcześniej używane do produkcji książek, a także metal, który był wcześniej używany do produkcji pieniędzy. Papier był na tyle cienki, że można go było zginać, na tyle sztywny, że samoczynnie nie zmieniał kształtu, a także na tyle lekki, że z łatwością można było go przenosić; bardzo szybko zaczęto go stosować do produkcji pudełek, opakowań, zabawek i elementów dekoracyjnych. Do początku XVIII wieku mechanizacja procesu produkcji papieru rozwinęła się tak bardzo, że jego ceny spadły na tyle, że zwyczajni ludzie mogli pozwolić sobie na jego zakup. Tworzenie różnych rzeczy z papieru stało się popularnym hobby mieszkańców Europy i Azji.

Inspiracją do zastosowania papieru jako materiału konstrukcyjnego robotów była tradycyjna japońska sztuka tworzenia figur z papieru oraz książki z „otwierającymi się” obrazkami. Ilustracje tego typu spotykane są w książkach dla dzieci oraz na kartach okolicznościowych. To składane konstrukcje, które gdy ich okładki są złożone, są płaskie, a po otwarciu okładek zmieniają się w elementy przestrzenne. Origami, tradycyjna japońska sztuka, jest rozrywką lubianą przez dzieci, ale jednocześnie jest wyższą formą sztuki. Łączenie ze sobą małych, pojedynczych elementów umożliwia tworzenie bardzo skomplikowanych i pięknych projektów (jest to tzw. technika modułowa). Pracę nad skomplikowanymi elementami ułatwia zginanie techniczne (składanie papieru tak, aby przybierał różne geometryczne kształty jeszcze przed przystąpieniem do wykonywania właściwej konstrukcji). Origami to również sztuka wykonywania konstrukcji, które poruszają się po przyciśnięciu lub pociągnięciu pewnego elementu. Tradycyjnymi przykładami takich ruchomych konstrukcji są żaby, wspaniałe wirujące spirale i wypadające z siebie pudełka. Osoby zajmujące się origami udostępniają wskazówki pozwalające innym na wykonanie zaprojektowanych przez nie dzieł. Wskazówki te mają formę pisemnych instrukcji i graficznych diagramów pokazujących miejsca, w których papier ma być zginany.

W ciągu ostatnich kilku lat naukowcy zaczęli badać origami. W 2009 roku Erik Demaine oraz inni pracownicy naukowi Instytutu Technologicznego w Massachusetts udowodnili, że jeden ze sposobów składania papieru —

kostka origami — może być użyty do stworzenia dowolnego kształtu. Następnie Demaine, Daniela Rus z tego samego instytutu, a także Robert Wood z Harvardu stworzyli z papieru składanego w kostkę, stopów z pamięcią kształtu oraz magnesów konstrukcję, która mogła samodzielnie złożyć się w kształt przypominający samolot albo łódź (zobacz rysunek 1.2). W 2014 roku ten sam zespół opublikował artykuł, w którym opisał robota origami aktywowanego za pomocą ciepła i stworzonego z papieru, miedzi, a także polimeru z pamięcią kształtu.

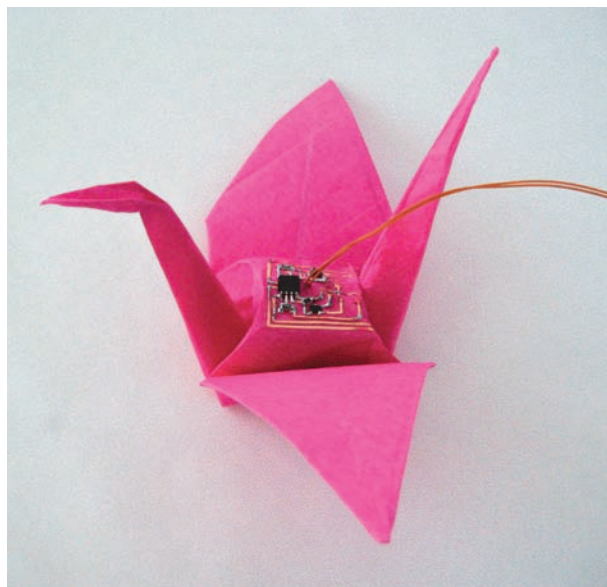


**Rysunek 1.2.** Robot wykonany z papieru i polimeru z pamięcią kształtu aktywowaną zmianą temperatury, stworzony przez naukowców z Harvardu i Instytutu Technologicznego w Massachusetts — konstrukcja ta samodzielnie składa się i rozkłada  
Autor: Seth Kroll — Wyss Institute w Harvardzie

Wewnętrzna warstwa wykonana z miedzi została wytrawiona tak, aby powstały na niej ścieżki, po których może płynąć prąd elektryczny. Po podłączeniu do prądu, mikroprocesor dopuszcza do przepływu prądu przez te ścieżki, co prowadzi do podgrzania polimeru i rozpoczęcia procesu składania. Robot tego typu może zostać zaprogramowany tak, aby przyjmować różne kształty. Jeden z zaprezentowanych modeli, po przyjęciu kształtu owada mógł poruszać się na czterech zmotoryzowanych kończynach.

Inni naukowcy tacy jak Jie Qi z Media Lab Instytutu Technologicznego w Massachusetts starają się łączyć ze sobą sztukę oraz inżynierię origami, tworząc żurawie machające skrzydłami lub papierowe „pnącza”, które wyginają się po dotknięciu (zobacz rysunek 1.3).

Elementy wykonane z poskładanego papieru są również używane do budowy robotów biomimetycznych. Naukowcy z laboratorium Biomimetic Millisystems Lab z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley budują miniaturowe roboty z kartonu, stosując przy tym proces, który nazwali tworzeniem inteligentnych, kompozytowych mikrostruktur. Giętka warstwa plastiku jest umieszczana pomiędzy dwoma warstwami kartonu. Gdy model robota jest składany i wyginany wzdłuż naciętych wcześniej bruzd, wewnętrzna warstwa plastiku



**Rysunek 1.3.** Ruchoma papierowa rzeźba stworzona przez Jie Qi — papier jest poruszany dzięki drutowi wykonanemu ze stopu z pamięcią kształtu Autor: Jie Qi

staje się giętkim przegubem, który nie generuje praktycznie żadnych oporów. Wykonanie pracującego robota w tej technologii trwa mniej niż godzinę, a zastosowanie tanich materiałów ułatwia naukowcom wprowadzanie poprawek, a także tworzenie i testowanie następnych prototypów.

Jednym z pierwszych miniaturowych robotów wykonanych w tej technologii był insektoid o nazwie RoACH (*Robotic Autonomous Crawling Hexapod*). Robot ten porusza się dzięki drutowi wykonanemu ze stopu z pamięcią kształtu. Druty te pociągają ruchome płytki przyczepione do jego sześciu nóg. Robot ten posiada dwa **stopnie mobilności** — może poruszać się w dwóch kierunkach. Płytki mogą poruszać się do góry i do dołu, w ten sposób podnosząc i opuszczając nogi, a także do przodu i do tyłu, dzięki czemu robot może kroczyć w przód i w tył. Sześć kończyn zaprojektowanego później robota DASH (*Dynamic Autonomous Sprawled Hexapod*) jest napędzanych za pomocą silników. DASH w ciągu sekundy może pokonać odległość 15 razy większą od długości swojego korpusu. Ponadto robot ten bez szwanku wychodzi z upadku z dachu kilkupiętrowego budynku. Konstrukcja ta została przekształcona przez Dash Robotics w zestaw do samodzielnego montażu przeznaczony dla uczniów i robotyków amatorów. Urządzenie to (zobacz rysunek 1.4) może być sterowane za pomocą smartfona lub tabletu.

## Jak to działa?

Papier, jako materiał służący do budowy robotów, jest wystarczająco sztywny, aby samoczynnie się nie odkształcać, a także wystarczająco mocny — wytrzymuje niewielkie obciążenia. Jednocześnie jest on dość giętki — po złożeniu może działać jak sprężyna. W robotach wykonanych z papieru, takich jak DASH i RoACH, zastosowano rozwiązanie przypominające przegub, zwane mechanizmem Sarrusa. Mechanizm ten jest wklęsłym równoległobokiem, który może wprawiać w ruch kończyny robota. Ruchome modele origami, takie jak podskakująca żaba, poruszają się dzięki energii potencjalnej wygenerowanej podczas zginania przyciskanego papieru.



**Rysunek 1.4.** DASH jest robotem przypominającym insekta; jego konstrukcja została wykonana z kartonowych elementów wycinanych za pomocą lasera  
Źródło: Dash Robotics

Nitinol został odkryty w 1959 roku przez Williama J. Buehlera, który był naukowcem pracującym dla wojska (nazwa tej substancji jest angielskim akronimem, informującym o tym, że jest to stop niklu z tytanem uzyskany w laboratorium badawczym marynarki wojennej Stanów Zjednoczonych). Materiał ten jest bardzo giętki i wytrzymały. Stosuje się go w ortopedii, w chirurgii układu sercowo-naczyniowego, a także do budowy silników cieplnych, wytwarzania złącz hydraulicznych stosowanych w samolotach, produkcji opravek okularów oraz zabawek. Materiał ten charakteryzuje się pamięcią kształtu, ponieważ atomy w każdej molekułe nitinolu przyjmują kształt krystaliczny zależny od temperatury. W wysokich temperaturach atomy wchodzą w **fazę austenityczną**, w której każdy atom niklu jest otaczany ośmioma atomami tytanu, co prowadzi do stworzenia przestrzennej konstrukcji przypominającej sześciąt. W niższych temperaturach atomy wchodzą w **fazę martenzytu** — tworzą jeszcze bardziej złożony układ. Istnieją różne rodzaje nitinolu, które mogą być przystosowane do zmiany fazy przy różnych temperaturach. Poszerza to znacznie zakres zastosowań tego stopu. Niektóre produkty wykonane z nitinolu mogą być zaprogramowane przez użytkownika. Możliwości takiej nie posiadają wszystkie produkty wykonane z tego stopu.

Konstruktorzy robotów często korzystają z Flexinolu — drutu wykonanego z nitinolu produkowanego przez Dynalloy. Drut ten kurczy się o około 5 – 10%, kiedy zostanie ogrzany przez płynący przez niego prąd elektryczny. Po ostygnięciu materiał ten może być odgięty i przyjąć początkowy kształt. Zmiana rozmiaru jest niewielka, a materiał musi zostać rozciągnięty do początkowego rozmiaru przez zewnętrzną siłę, a więc działanie siłownika zbudowanego w oparciu o Flexinol zależy od konstrukcji robota i zastosowanych materiałów. Jeżeli Flexinol ma zostać przyczepiony do sztywnego materiału, takiego jak metal lub drewno, to można go rozciągać do początkowej długości za pomocą gumy. W przypadku konstrukcji wykonanej z papieru Flexinol może być rozciągany siłą grawitacji lub sprężystości papieru. W przypadku prostych papierowych konstrukcji ruch generowany przez siłownik wykonany z Flexinolu jest zwykle dość nikiły. Rozwiązanie takie nadaje się

doskonale do delikatnego falowania papierowych rzeźb, dzięki któremu wydają się one żywe. Jednakże stworzenie robotów-insektów, które będą biegały lub latały, wymaga zastosowania o wiele bardziej zaawansowanych rozwiązań technologicznych.

## Wykonanie projektu

Jeżeli chodzi o budowę robotów, to nie ma prostszych rozwiązań od konstrukcji wykonanej ze zgiętego papieru. Podczas pracy nad tym projektem nie zbudujesz robota, który chodzi i mówi, ale zdobędziesz praktyczne umiejętności w pracy nad prototypami robotów, wykorzystując do tego materiały, które znajdują się w każdym domu. Ponadto nauczysz się w praktyce łączyć komponenty obwodów elektrycznych i dowiesz się, jak można stosować programowalny materiał przyszłości, jakim jest Flexinol. Materiał ten może wchodzić w skład papierowych konstrukcji, które skaczą, kołyszą się i falują.

Niemalże wszystkie materiały niezbędne do wykonania tego projektu znajdziesz w swoim domu i w sklepie z artykułami krawieckimi lub budowlanymi. Wyjątek stanowi drut wykonany z nitinolu, który będzie trzeba zamówić przez internet. Zamów większą ilość Flexinolu, niż potrzeba do wykonania tego projektu — bez sterownika lub komponentów ochronnych istnieje duże prawdopodobieństwo przepalenia tego drutu. Ponadto zapas Flexinolu przyda Ci się do realizacji własnych pomysłów i zabawy z poruszającymi się modelami wykonanymi z papieru i innych materiałów.



Nie zapomnij o prowadzeniu dokumentacji podczas pracy!

---

## Parametry projektu

- Czas potrzebny na wykonanie projektu: 2 – 3 godziny;
- Koszt: 50 – 150 zł;
- Trudność: łatwy – umiarkowanie trudny;
- Zagrożenia: niektóre baterie 9 V są fabrycznie „przeładowane” i na początku użytkowania mogą dostarczać prąd o zbyt wysokim napięciu. Zachowaj ostrożność i podłączaj baterie do obwodu na bardzo krótki czas — dzięki temu nie przegrzejesz drutu z pamięcią kształtu. Nie dopuszczaj do iskrzenia w okolicy papierowego modelu.

## Co musisz wiedzieć?

- Posiadane przez Ciebie umiejętności: przydadzą Ci się umiejętności krawieckie (szycie i peretkowanie), ale nie są one wymagane.
- Umiejętności, których nabędziesz podczas pracy nad projektem: łączenie obwodu elektrycznego.

## Materiały niezbędne do wykonania projektu

- Drut Flexinol o długości przynajmniej 60 cm. Podczas pracy nad swoją wersją projektu korzystałam z drutu oznaczonego symbolem HT (wysoka temperatura) o średnicy 0,20 mm, ale możesz również zaopatrzyć się w drut o średnicy 0,15 mm, który według producenta może być stale podłączony do prądu bez ryzyka przepalenia się. RobotShop (<http://www.robotshop.com/>) oferuje szpulę z 5 metrami Flexinolu za równowartość około 90 zł;
- Taśma papierowa;



- Szczypce do cięcia drutu;
- Szczypce półokrągłe;
- Przynajmniej dwa małe metalowe zaciski do koralików (w sklepach krawieckich zaciski te są sprzedawane w paczkach zawierających po 50 sztuk);
- Aluminiowa taśma klejąca. Małe rolki taśmy wykonanej z aluminium znajdziesz w sklepach budowlanych, w działach z artykułami związanymi z ogrzewaniem. Unikaj metalizowanych, kolorowych taśm klejących;
- Długopis;
- Nożyczki;
- Papier — standardowy papier do kserokopiarek formatu A4 lub brystol;
- Przezroczysta, szeroka taśma opakunkowa;
- Bateria 9 V (kup zwykłą baterię, a nie akumulator).

## Wskazówki

### Krok 1. Lista wymagań

Projekt ten ma na celu poznanie różnych zastosowań sprężystości zgiętego papieru użytego do konstrukcji robotów i innych ruchomych modeli. Ponadto dowiesz się, jak wzmocnić siłę sprężystości za pomocą Flexinolu.

### Krok 2. Planowanie projektu

Flexinol może być połączony z papierem za pomocą kilku różnych technik. Najprostszymi i najbardziej widowiskowymi rozwiązaniami są zwijanie paska papieru i poruszanie klapą za pomocą papierowego zawiasu. Jeżeli nie chcesz marnować zbyt dużej ilości drutu z pamięcią kształtu, możesz zbudować platformę testową, która pozwoli Ci na sprawdzenie działania różnych konstrukcji za pomocą tego samego kawałka drutu.

### Krok 3. Zatrzymaj się, powtórz i poszukaj pomocy

Przed przystąpieniem do pracy nad projektem możesz poszerzyć swoją wiedzę dotyczącą technik origami. Wykonaj modele, które Cię zainteresują. Odwiedzając strony wymienione w ramce „Przydatne adresy”, zdobądź wiedzę dotyczącą tradycyjnych technik, a także nowatorskich rozwiązań. Znajdziesz tam odwołania do filmów instruktażowych, których autorem jest Jeremy Shafer. Możesz również zajrzeć do książek napisanych przez Roberta J. Langa.

Więcej informacji na temat nitinolu, a także jego działania znajdziesz w serwisach takich jak Dynalloy i RobotShop. Adresy tych serwisów są również podane we wspomnianej wcześniej ramce. W serwisie Make znajdziesz artykuł napisany przez Jie Qi z Media Labs Instytutu Technologicznego w Massachusetts. Na stronie internetowej Jie Qi zobaczysz wiele inspirujących ruchomych konstrukcji wykonanych z papieru.

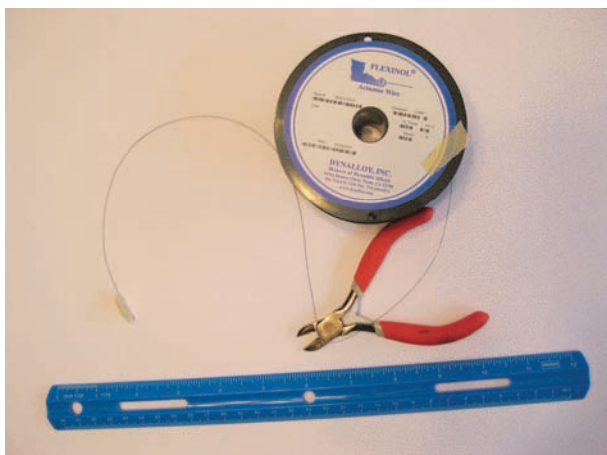


Drut podłączaj do prądu tylko na kilka sekund — odłączaj go od prądu, gdy przestanie się kurczyć. Przegrzanie drutu może doprowadzić do jego „rozprogramowania” albo — co gorsza — zapalić papier.

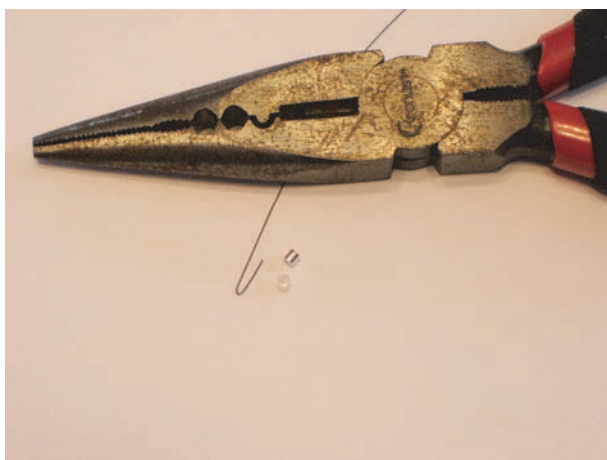
### Krok 4. Budowa prototypu

Aby zbudować platformę przeznaczoną do testowania drutu z pamięcią kształtu, wykonaj następujące czynności:

1. Wytnij kawałek Flexinolu o długości 45 cm za pomocą szczypiec (jeżeli posiadasz drut o średnicy 0,20 mm). Jeżeli posiadasz drut o średnicy 0,15 mm, to wystarczy Ci kawałek o długości 23 cm. Oznacz drut, oklejając go kawałkiem taśmy papierowej. Jest on cienki i sprężysty, więc łatwo go zgubić.

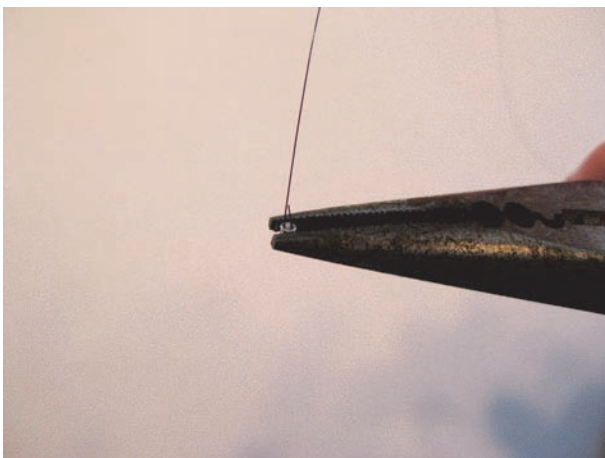


2. Na końcach drutu wykonaj pętelki i załóż na nie zaciski do koralików. Ułatwi to pracę z drutem, a także poprawi przewodnictwo elektryczne. Zaciski te należy zakładać na drut, który chcemy do czegoś przylutować, ponieważ spoiwo lutownicze ma tendencję do odpadania od kurczącego się lub rozciąganego drutu. Zegnij 6 mm drutu znajdującego się na każdym z końców, tak aby utworzył on kształt litery U (czynność tę wykonaj za pomocą szczypiec). Na krańce drutu nasuń zaciski do koralików, a następnie przesuń je przez zgięte części drutu. Odciągnij zacisk tak, aby objąć nim również zgięty fragment drutu.



3. Ściśnij zacisk za pomocą szczypiec najmocniej, jak tylko potrafisz (zacisk powinien zrobić się płaski). Sprawdź, czy zacisk może poruszać się po drucie — jeżeli może, to zaciśnij szczypce na zacisku pod nieco innym kątem. W ten sam sposób zamontuj zacisk na drugim końcu drutu.

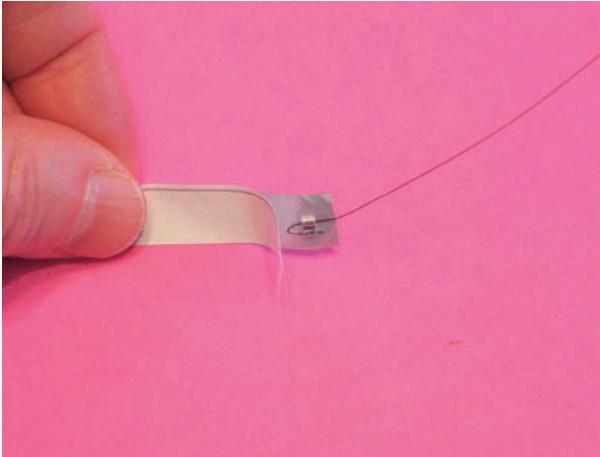




4. Teraz czas na wykonanie **ścieżek** (elementów obwodu przewodzących prąd) z wąskich pasków aluminiowej taśmy samoprzylepnej (rozwiązanie to wymyślił Chris Connors — redaktor publikujący artykuły na łamach czasopisma „Make”). Odetnij kawałek taśmy wykonanej na bazie folii aluminiowej o długości około 15 cm.

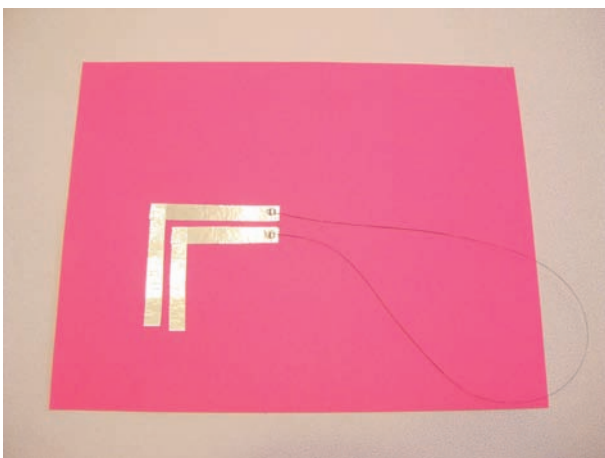
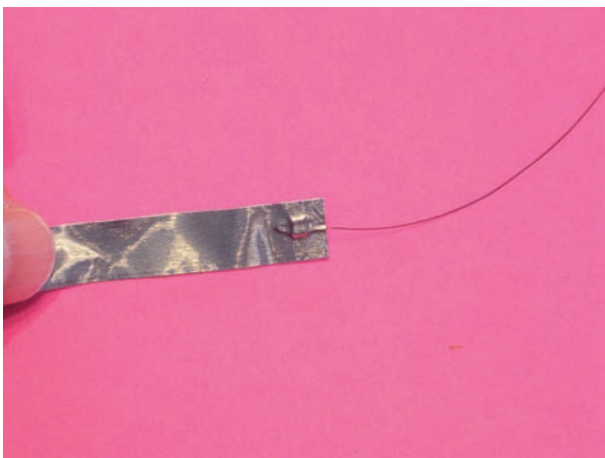


- Odwróć taśmę tak, aby u góry znajdowała się jej papierowa strona. Zaznacz na niej za pomocą długopisu linie dzielące taśmę na pięć długich pasków o szerokości 1 cm, a następnie przetnij taśmę wzdłuż narysowanych linii.
5. Weź jeden z wąskich pasków wyciętych z taśmy i przetnij go na dwa paski — jeden z nich powinien mieć długość 8 cm, a drugi 6 cm. Weź jeden z tych pasków i usuń z niego znajdującą się z tyłu warstwę papieru na odcinku o długości 1,25 cm. Chwyć drut za jeden z końców, na których zamocowałeś wcześniej zaciski do korallików, i przyłóż go do odsłoniętego fragmentu folii aluminiowej.



Przyłóż papierową osłonę z powrotem w to miejsce. Przyciśnij zacisk z drutem do folii tak, aby pomiędzy tymi elementami powstało połączenie galwaniczne. Czynność tę powtórz, pracując nad drugim kawałkiem folii i drugim zaciskiem założonym na drut.

6. Wykonaj podstawę platformy testowej — weź kartkę papieru lub brystolu i połóż ją na stole tak, aby była ona zorientowana poziomo. Nieco poniżej środka kartki nanieś za pomocą długopisu dwa oznaczenia. Powinny one być oddalone od siebie o 3 mm. Weź jeden z pasków folii, do których przymocowałeś drut, i ponownie odsłoń ten sam fragment taśmy. Przyłóż pasek do papieru i powoli usuń całą warstwę zabezpieczającą taśmę aluminiową. Czynność tę należy powtórzyć z drugim paskiem. Paski powinny zostać przyklejone w niewielkiej odległości od siebie. Nie przejmuj się zwojem drutu leżącym na kartce.
7. Jeżeli chcesz, to rozbuduj obwód, przedłużając obie ścieżki wykonane z taśmą. Przetnij następny pasek na dwa równe odcinki. Weź jeden z tych odcinków i połóż go pod kątem prostym na koniec jednego z wcześniej przyklejonych pasków. Oderwij ochronny papier i mocno go przyciśnij, tak aby górny



fragment folii dobrze przylegał do dolnego. W ten sam sposób przedłuż również drugi odcinek taśmy. Obwód możesz rozbudowywać dalej, ale pamiętaj o tym, że połączenia wykonane za pomocą kleju mogą okazać się zawodne. Bardzo długie ścieżki wykonane z folii aluminiowej mogą mieć walory dekoracyjne, ale nie mają walorów użytkowych. Tak naprawdę potrzebujesz tylko fragmentów znajdujących się najbliżej drutu z pamięcią kształtu.

8. Jeżeli nie chcesz, aby Twoja platforma testowa porwała się podczas przyczepiania lub zdejmowania papierowych modeli, osłoń jej górną część ochronną warstwą taśmy. Zabezpieczanie platformy rozpocznij od miejsca położonego nad paskami folii aluminiowej. Osłoń przestrzeń aż do górnego brzegu kartki. Najlepiej w tym celu jest zastosować szeroką, przezroczystą taśmę opakunkową, ale możesz skorzystać również z taśmą papierowej. Musisz po prostu naklejać kolejne paski taśmy obok siebie.

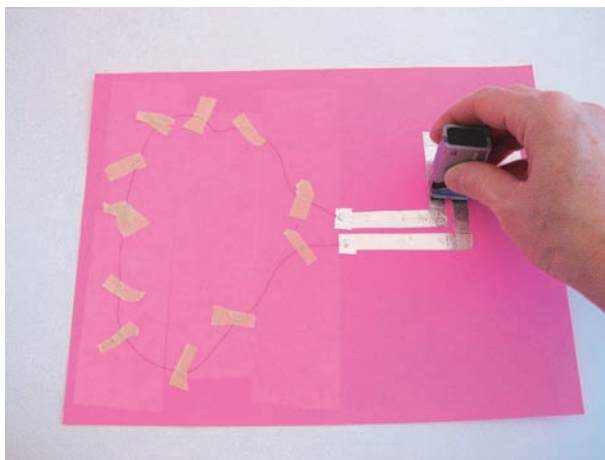
#### *Krok 5. Sprawdzanie działania prototypu*

Przed przystąpieniem do pracy nad papierowymi modelami rozgrzej drut i upewnij się, czy działa poprawnie, a następnie rozciągnij go. Przyczep pętlę drutu do platformy testowej za pomocą kilku cienkich pasków taśmy papierowej opasującej drut. Najłatwiej jest to wykonać, odwijając dłuższy kawałek taśmy ze szpuli,

a następnie nacinając go wzdłuż jednej z krawędzi — w ten sposób będziesz mógł uzyskać paski o dowolnej długości. Naklej pasek na drut prostopadłe do niego. Przyklejając środek taśmy do drutu, stosuj mniejszą siłę nacisku niż przy przyklejaniu jej krańców do papieru — drut pod taśmą powinien się ruszać. Takie opaski wykonane z taśmy papierowej mogą być użyte kilkakrotnie. Taśma papierowa po skręceniu w rulon tak, aby klej znalazł się po jego zewnętrznej stronie, może być użyta do przyczepiania modelu do platformy testowej.



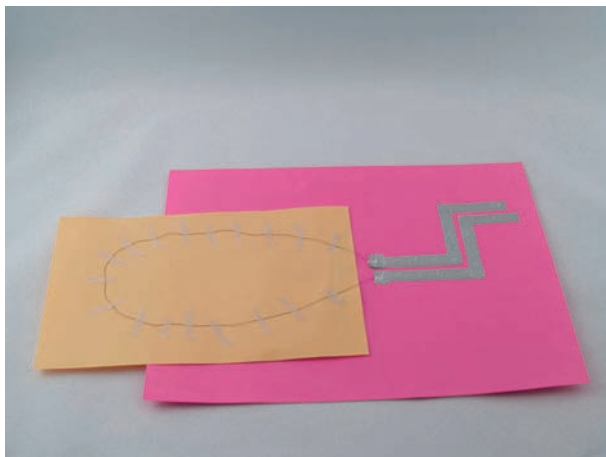
Upewnij się, że końce przewodów są dobrze unieruchomione. Nie powinny one dotykać do siebie, gdy drut będzie się poruszał.



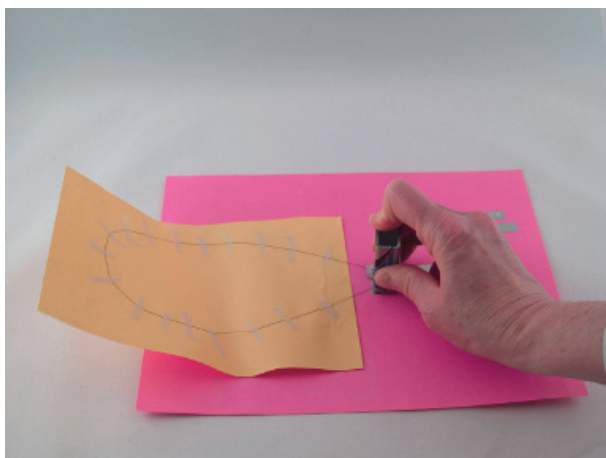
Teraz możesz wziąć baterię 9 V i na chwilę dotknąć jej biegunami do ścieżek wykonanych z folii aluminiowej. Drut powinien zgiąć się i skręcać. Odłącz baterię od ścieżek, gdy drut przestanie się poruszać — nie dotykaj baterią do ścieżek przez więcej niż 3 – 4 sekundy. Zbyt długie zasilanie drutu może prowadzić do jego przegrzania, co może skutkować jego deformacją. Po sprawdzeniu działania drutu możesz przystąpić do pracy z papierowymi modelami. Oto dwa proste przykładowe modele:

### *Pełzająca klapka*

1. Weź kartkę formatu A4 i wytnij z niej prostokąt o wymiarach 22×14 cm (pozostałą część kartki możesz zachować na później). Wykonaj rurkę z taśmy papierowej (klej powinien znajdować się na zewnątrz rurki), a następnie za jej pomocą przyklej wycięty pasek papieru do platformy w pobliżu pasków folii aluminiowej (w dolnej części przestrzeni testowej Twojej platformy). Papierowa klapka powinna leżeć płasko na platformie, ale jeżeli jej górna część nieco od niej odstaje, to nie stanowi to problemu.
2. Ułóż pętlę z drutu z pamięcią kształtu w górnej części papierowej klapki. Przyklej przewód do kartki za pomocą opasek z taśmy papierowej. Opaski powinny być oddalone od siebie o około 1,25 cm (w górnej części pętli opaski należy umieszczać gęściej niż w dolnej).



3. Dotknij biegunami baterii 9 V do ścieżek wykonanych z folii aluminiowych. Papierowa klapka powinna się zwinąć lub pofalować. Ruch klapki możesz zmodyfikować, zmieniając miejsca, w których przyklejone są paski taśmy papierowej. Zegnij klapkę w jednym lub kilku miejscach i zobacz, jak taki zabieg wpływa na ruch papieru.



## Przydatne adresy: papierowa robotyka

Poradnik dotyczący pracy ze stopami z pamięcią kształtu: <http://makezine.com/2012/01/31/skill-builder-working-with-shape-memory-alloy/>;

Jie Qi: <http://technologie.com/>;

Robert J. Lang: <http://www.langorigami.com/>;

Strona laboratorium zajmującego się biomimetyką Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley: <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~ronf/Biomimetics.html>;

Dash Robotics: <http://dashrobotics.com/>;

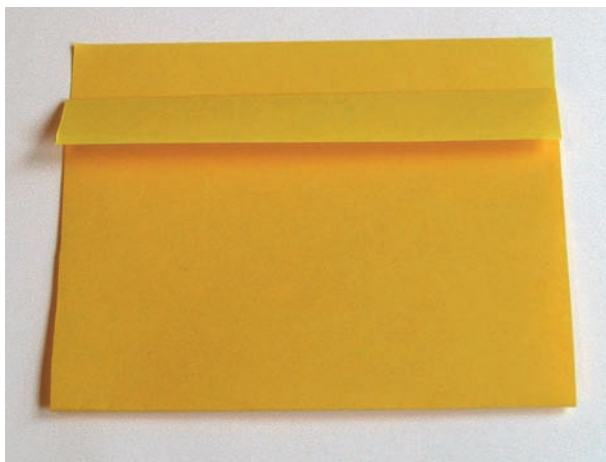
Kanał Jeremy'ego Shafera w serwisie YouTube: <https://www.youtube.com/user/jeremyshaferorigami>.

*Do projektu dodaj papierowe usta*

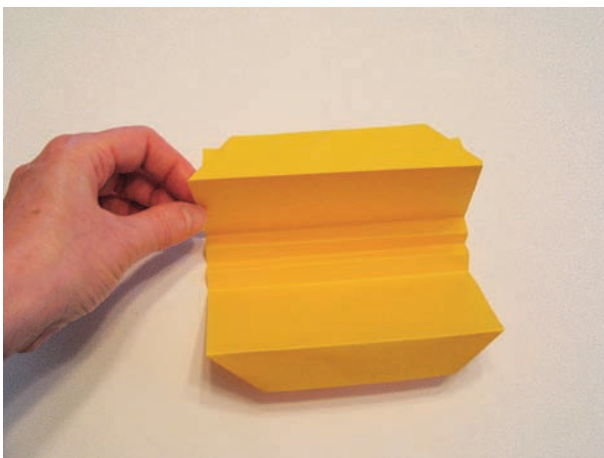


W sztuce origami mówi się o „dolinach” będących zagięciami skierowanymi w dół i „górach” — zagięciach skierowanych ku górze.

1. Z kartki papieru wytnij prostokąt o wymiarach 22×14 cm. Połóż go tak, aby jego dłuższy bok był zwrócony w Twoją stronę. Złóż go na pół — dolna i górna krawędź prostokąta powinny stykać się ze sobą. Następnie chwyć za górną krawędź i zegnij ją w dół na odcinku o długości około 2 cm. Odegnij ją. Zegnij róg kartki tak, aby znalazł się on na równi z wykonanym wcześniej zagięciem. Tę samą czynność wykonaj z drugim rogiem. Odwróć całą konstrukcję i opisaną czynność powtórz dla drugiej krawędzi. Ustaw krawędzie tak, aby znajdowały się pod kątem prostym w stosunku do reszty kartki papieru. W ten sposób skonstruowałeś zewnętrzną część ust.

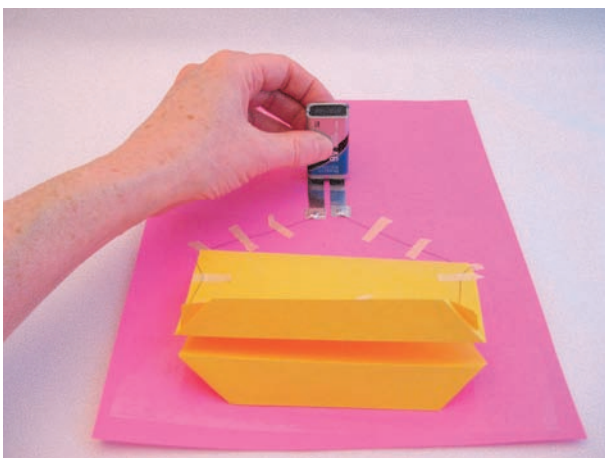
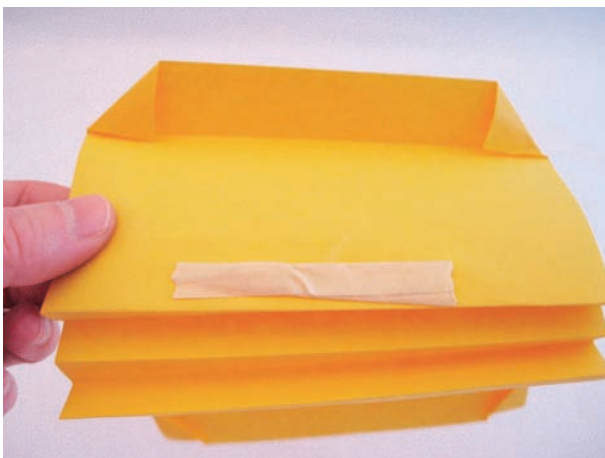


2. Ułóż papier tak, aby wykonane zagięcia były zwrócone ku górze. Zegnij po raz kolejny górną część kartki na odcinku o długości 1,25 cm. Nie rozkładaj tego złożenia, odwróć całą konstrukcję i złóż ją jeszcze raz na takim samym odcinku. Ostatnie zagięcie powinno być zwrócone do Ciebie. Rozłóż wykonane złożenia i rozprostuj papier tak, aby boki kartki miały kształt litery V. Popraw zgięcia tak, aby papier wyglądał jak akordeon (papier powinien być złożony według wzoru dolina-góra-dolina-góra-dolina).



3. Złóż model i połóż go na boku. Właśnie wykonałeś papierowe „usta”, które samoczynnie zamykają się po otwarciu. Wygnij ku górze górne rogi tak, aby małe papierowe trójkąty wystawały zza ukośnie zgiętych rogów — w ten sposób stworzysz parę „oczu”.
4. Taśmę papierową zwiń w rulon tak, aby na zewnątrz rulonu znalazła się klejąca część taśmy. Rulon przyklej wzdłuż dolnej krawędzi papierowego modelu — obok zgięć wyglądających jak akordeon. Przyklej krawędź z taśmą do platformy tak, aby usta były zwrócone w kierunku przeciwnym do folii aluminiowej.
5. Przyczep pętlę drutu z pamięcią kształtu do górnej części modelu za pomocą opasek wykonanych z taśmy papierowej. Drut powinien biec w górę równoległe do bocznych krawędzi modelu i w poprzek zewnętrznej strony górnego złożenia. Nadmiar drutu przyczep do platformy testowej.
6. Odwróć platformę testową tak, aby usta były zwrócone ku Tobie. Dotknij biegunami baterii 9 V do ścieżek wykonanych z folii aluminiowej. Usta powinny otworzyć się powoli. Odłącz baterię od obwodu, a usta zaczną powoli się zamykać dzięki sprężystości zgiętego papieru





#### *Krok 6. Usuwanie usterek i dopracowywanie prototypu*

W celu uzyskania jak najlepszego efektu drut powinien być maksymalnie naprężony. Jeżeli drut po rozciąganiu luzuje się, to pociągnij go w stronę ścieżek wykonanych z folii aluminiowej. Zachowaj ostrożność podczas wykonywania tej czynności i nie przerywaj drutu. Następnie przenieś model w górę platformy — napnij przewód tak, aby nie marszczył papieru, do którego jest on przyczepiony.

Jeżeli nic się nie dzieje, kiedy dotykasz baterię do ścieżek, to przyciśnij ją mocniej. Jeżeli zbudowałeś ścieżki składające się z kilku połączonych ze sobą fragmentów taśmy, to dotknij biegunami baterii bezpośrednio do fragmentów, do których podłączyłeś drut. Jeżeli fragmenty taśmy nie są ze sobą prawidłowo połączone, to spróbuj je docisnąć mocniej.

Pamiętaj o tym, że ten projekt dość szybko rozładowuje baterię, a więc jeżeli nagle przestanie działać, to może to wynikać z rozładowania baterii. W takim przypadku skorzystaj z innej, nowej baterii.



### *Krok 7. Modyfikacja i rozbudowa*

Naukowcy stale prowadzą badania nad zastosowaniami poruszającego się papieru. Platformę testową możesz wykorzystać do prowadzenia eksperymentów z różnymi materiałami i komponentami:

*Wypróbuj papier, który jest cięższy, lżejszy, sztywniejszy lub bardziej giętki.*

Warto wypróbować kwadratowy papier origami, który jest lżejszy od papieru przeznaczony do kserokopiarek. Jie Qui z Instytutu Technologicznego w Massachusetts zbudowała jeden ze swych ruchomych modeli origami z papieru woskowego.

*Eksperymentuj z różnymi bateriami, napięciami i średnicami drutu z pamięcią kształtu.*

Zamiast podłączać do drutu baterię 9 V, możesz go zasilać za pomocą ogniw AA lub AAA, ale musisz w tym celu kupić specjalny koszyk. Na stronie Dynalloy ([http://www.dynalloy.com/tech\\_data\\_wire.php](http://www.dynalloy.com/tech_data_wire.php)) znajdziesz tabelę, która ułatwi Ci określenie właściwego natężenia prądu.

*Wykonaj solidniejszą i ostateczną wersję modelu.*

Zamiast przyklejać drut do papieru za pomocą papierowej taśmy klejącej, możesz go przyszyć za pomocą nici wykonanej z bawełny lub innego materiału nieprzewodzącego prądu. Wykonaj kilka małych szwów na skos lub prostopadle do drutu. Dzięki temu drut będzie poruszał się swobodnie.

*Pobaw się rezystancją.*

Folia aluminiowa nie jest idealnym przewodnikiem prądu, a więc im dłuższe ścieżki dodałeś do obwodu, tym większa jest jego rezystancja. Oczywiście rezystancja wpływa na przepływ prądu w obwodzie. Dotykaj baterię do różnych punktów ścieżek i zobacz, jaki to ma wpływ na zachowanie kurczącego się drutu.

*Wykonaj solidniejsze połączenia elektryczne.*

Zamiast przyklejać do siebie kawałki taśmy wykonanej z folii aluminiowej, spróbuj zgiąć koniec przyłączanego fragmentu taśmy tak, aby dotykał on do pierwszego fragmentu taśmy stroną, na którą nie naniesiono kleju. Połączenie takie zabezpiecz dodatkowym kawałkiem taśmy. W sklepach elektronicznych możesz znaleźć również taśmę miedzianą, którą możesz nakleić na łączone ze sobą paski folii aluminiowej, a następnie połączyć stykające się elementy za pomocą spoiwa lutowniczego. Więcej informacji na temat wykonywania połączeń lutowniczych znajdziesz w opisie drugiego projektu przedstawionego w [rozdziale 3](#). Instruktaż dotyczący lutowania metalowych taśm znajdziesz na stronie internetowej prowadzonej przez Jie Qi.

## Podstawowe informacje dotyczące obwodów

Budowa obwodów elektrycznych to bardzo szerokie zagadnienie, ale teorią obwodów rządzi jedna ogólna zasada: prąd musi płynąć przez zamkniętą pętlę (stąd termin **obwód**). Elektryczność jest ruchem elektronów przeskakujących z jednego atomu do drugiego. Jak zapewne pamiętasz z lekcji fizyki, atom jest najmniejszą cząstką substancji takich jak tlen, hel, uran czy miedź. W środku atomu znajdują się neutrony oraz posiadające dodatni ładunek protony. Wokół tych nukleonów krążą ujemnie naładowane elektrony. Bateria lub ogniwo słoneczne dostarcza energię, która

wprawia elektrony w ruch. Pracując nad obwodami wchodzącymi w skład projektów opisanych w tej książce, możesz wyobrazić sobie przepływ prądu jako ruch ładunków wypływających z dodatniego zacisku baterii (oznaczonego znakiem +), płynących przez elementy obwodu, a następnie wpływających do ujemnego zacisku baterii (oznaczonego znakiem -). W skład obwodu zwykle wchodzi urządzenie korzystające z energii elektrycznej, takie jak żarówka lub silnik.

Jeżeli nigdy wcześniej nie budowałeś obwodów elektrycznych od podstaw, to spróbuj podłączyć diodę LED lub silnik prądu stałego do baterii (zanim to zrobisz, przeczytaj do końca tę ramkę). Komponenty te możesz zamówić przez internet lub kupić w lokalnym sklepie z artykułami elektronicznymi. Możesz je również uzyskać w wyniku demontażu breloczka do kluczy wyposażonego w latarkę lub starej elektrycznej szczoteczki do zębów. Szybko odkryjesz, że diody LED są dość kapryśne. Zwykle dodatnie złącze diody LED jest dłuższe, a okolica diody znajdująca się obok ujemnego złącza jest nieco spłaszczona. Łatwo to zapamiętać, kojarząc, że do dodatniego bieguna coś dodano, a od ujemnego bieguna coś ujęto. Jeżeli dioda LED zostanie podłączona do baterii niepoprawnie (dodatnie złącze diody powinno być podłączone do dodatniego bieguna baterii, a ujemne złącze diody powinno być podłączone do ujemnego bieguna baterii), to dioda ta nie będzie świecić. Silniki prądu stałego, z których korzystamy w tej książce, można podłączać do baterii w dowolny sposób, będą one działały, ale obracały się w różnym kierunku w zależności od sposobu podłączenia biegunów silnika do biegunów baterii.

Podczas pracy nad obwodami musisz zwracać również uwagę na napięcie oraz natężenie prądu. Jeżeli urządzenie będzie zasilane zbyt słabym prądem, to nie będzie działać poprawnie. Zasilanie urządzenia zbyt mocnym prądem może doprowadzić do jego przegrzania. Napięcie określa ilość energii, która może być dostarczona przez źródło, a dokładniej różnicę potencjałów pomiędzy dwoma punktami obwodu. Natężenie prądu (wyrażane w **amperach**) określa ilość energii, która może przepływać przez obwód w danej jednostce czasu. Jeżeli wyobrazisz sobie, że obwód elektryczny jest zamkniętym układem hydraulicznym składającym się z rur wypełnionych wodą, to napięcie możesz porównać do ciśnienia wody, a natężenie do szybkości, z jaką woda płynie.

Większość diod LED zaczyna świecić po podłączeniu do źródła prądu o napięciu nieco wyższym od 2 V, a przepali się po podłączeniu do baterii o napięciu 9 V. Do bezpośredniego, chwilowego zasilania diod LED można zastosować płaskie baterie o napięciu znamionowym 3 V, które są używane do zasilania zegarków (tego typu rozwiązanie zastosowano w tzw. rzutkach — zobacz ramkę „Przełam kod: rzutki”). Jeżeli chcesz zasilać diodę LED przez dłuższy czas, to musisz połączyć ją z baterią za pośrednictwem rezystora. Rezystor jest małym komponentem utrudniającym przepływ prądu elektrycznego. W przypadku zastosowanej wcześniej analogii do przepływu wody w rurach, rezystancję można porównać ze średnicą rur. Im większa średnica rury, tym więcej wody może przez nią przepłynąć w danej jednostce czasu. Na stronie internetowej firmy SparkFun znajdziesz poradnik dotyczący parowania rezystorów z diodami LED. Artykuł ten sugeruje stosowanie rezystorów charakteryzujących się rezystancją 330  $\Omega$ . Zbyt wysoka rezystancja sprawi, że dioda LED będzie świecić ciemniej, a rezystor zacznie się przegrzewać. W takich sytuacjach należy zastosować rezystor charakteryzujący się niższą rezystancją. Jeżeli zastosujesz zbyt niską rezystancję, dioda LED się przepali. W takim przypadku należy zastosować rezystor charakteryzujący się wyższą rezystancją.

Następnymi elementami obwodu są przewodniki łączące ze sobą różne komponenty. W przypadku budowy obwodu dla zabawy komponenty możesz łączyć za pomocą dowolnych izolowanych przewodów, a także taśmy izolacyjnej. Lepiej jednak, abyś łączył komponenty za pomocą krótkich przewodów mających z obu stron zaciski typu „krokodylki”, które pozwalają na błyskawiczne wprowadzanie zmian w obwodzie. Swoje pierwsze obwody na kartce papieru możesz wykonać dość szybko za pomocą metalicznej taśmy, ale jeżeli chcesz, aby połączenia pomiędzy komponentami były niezawodne, to należy je wykonać za pomocą spoiwa lutowniczego.



**Unikaj zwarcia** — bezpośredniego połączenia ze sobą biegunów baterii. Pomiedzy biegunami baterii zawsze umieszczaj jakiś odbiornik prądu. W przeciwnym wypadku bateria bardzo szybko się rozładuje, a w przypadku długotrwałego zwarcia może eksplodować lub pęknąć.

## Przełam kod: rzutki

Najprostszym obwodem zawierającym diodę LED jest rzutka (*Throwie*). Jest to po prostu płaska bateria włożona pomiędzy złącza diody LED. Ich nazwa wzięła się stąd, że oryginalnie urządzenia te zawierały mały magnes i były zaprojektowane tak, aby można było je rzucać w kierunku metalowych powierzchni mostów, rur lub drzwi ewakuacyjnych — rzutki

miały być używane do tworzenia świecących komunikatów na poczekaniu. Rozwiązanie to zostało opracowane przez nowojorskie Graffiti Research Lab w 2006 roku i zyskało dużą popularność po opublikowaniu na łamach witryny <http://www.instructables.com/>.

## Przydatne adresy: obwody elektryczne

Instrukcja budowy obwodów firmy SparkFun: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-a-circuit>;

Jak działają obwody: <http://science.howstuffworks.com/environmental/energy/circuit.htm>;

Podstawy elektroniki (serwis Science Buddies): [http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project\\_ideas/Elec\\_primer-intro.shtml](http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project_ideas/Elec_primer-intro.shtml);

*Elektronika. Od praktyki do teorii*, Charles Platt, Helion, 2015: <http://helion.pl/ksiazki/elektronika-od-praktyki-do-teorii-charles-platt,eleodp.htm>;

*Getting Started in Electronics*, Forrest M. Mims, Master Publishing, 2003: [http://www.masterpublishing.com/engineers\\_mini\\_notebook.html](http://www.masterpublishing.com/engineers_mini_notebook.html).

## Przełam kod: prawo Ohma

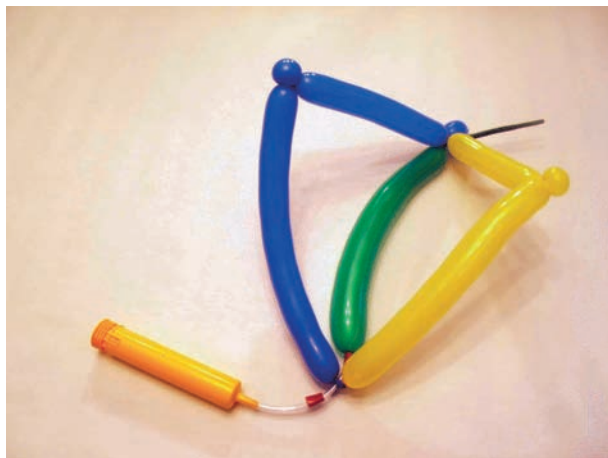
Jeżeli zapytasz inżyniera lub doświadczonego konstruktora o obwody, to nie zdziwi się, że osoby takie mogą zacząć recytować prawo Ohma. Prawo to jest równaniem opisującym zależność pomiędzy napięciem, natężeniem i rezystancją. Jeżeli przy danym napięciu rezystancja wzrasta, to natężenie prądu maleje. Według prawa Ohma wielkości te można obliczyć za pomocą równania  $U = I \times R$ , gdzie  $U$  symbolizuje napięcie wyrażone w woltach,  $I$  natężenie prądu wyrażone w amperach, a  $R$  rezystancję wyrażoną w omach. Innymi słowy: napięcie równe jest iloczynowi natężenia i rezystancji.

Przy zbyt niskiej rezystancji przez obwód płynie prąd o zbyt wysokim natężeniu, a prąd o zbyt wysokim natężeniu może uszkodzić komponenty. Prawo Ohma przydaje się do obliczenia rezystancji, która pozwoli na bezpieczne zasilenie komponentu. Jeżeli znasz napięcie panujące w obwodzie i wiesz, jakie jest maksymalne dopuszczalne natężenie prądu płynącego przez dany komponent, to stosując prawo Ohma, możesz obliczyć właściwą wartość rezystancji.

Pracując nad projektami opisanymi w tej książce, nie będziesz musiał dokonywać żadnych obliczeń, ale gdy ktoś będzie chciał wytłumaczyć Ci prawo Ohma, to będziesz mógł się do niego uśmiechnąć i poinformować, że już je znasz.

## Projekt: zbuduj pompowanego robota

---



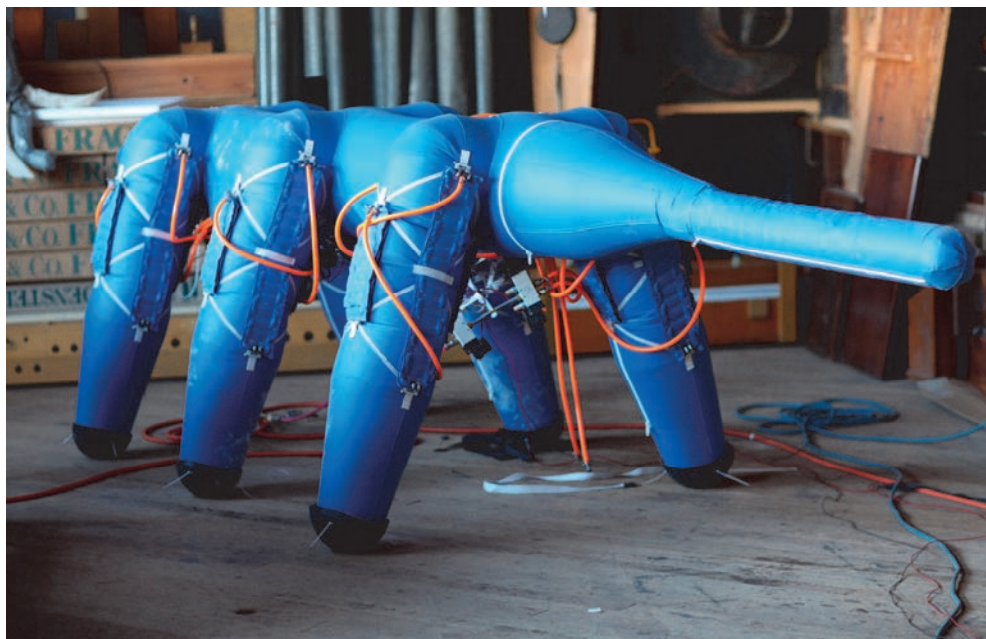
Pompowany robot lub pompowany element robota charakteryzuje się miękką, rozciągliwą powierzchnią zewnętrzną i przynajmniej jedną wewnętrzną komorą powietrzną. Element tego typu może się poruszać lub zmieniać kształt w zależności od ilości powietrza znajdującego się w komorach.

### Do czego to służy?

Pompowane roboty i elementy robotów są tanie, lekkie, wytrzymałe i mogą się składać. Dzięki temu łatwo jest je przechowywać i przenosić. Pompowane silniki, zwane również powietrznymi mięśniami lub sztucznymi pneumatycznymi mięśniami, pozwalają robotom poruszać się w bardziej naturalny sposób od standardowych silników wyposażonych w przekładnie.

### Skąd się to wzięło?

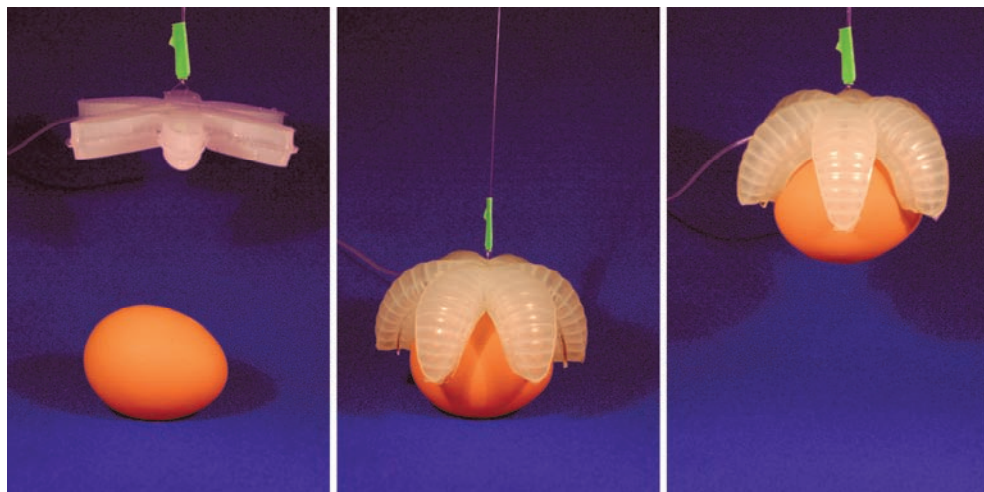
Jeżeli widziałeś wyprodukowany przez wytwórnię Disneya film *Wielka Szóstka*, którego głównym bohaterem był Baymax, to widziałeś miękkiego, pompowanego robota w akcji. Pompowane roboty spotykane w rzeczywistości są inspirowane przez pompowane obiekty codziennego użytku. Saul Griffith — kalifornijski wynalazca, publikujący artykuły na łamach czasopisma „Make” — oraz jego firma Otherlab tworzą konstrukcje pompowane powietrzem, zwane pneubotami (zobacz rysunek 1.5), które swym wyglądem przypominają nieco plażowe zabawki — słonie. Ich wierzchnia powłoka została wykonana z materiału podobnego do tego, który jest stosowany do wykonywania ogrodowych trampolin, a prototypy powietrznych pęcherzy zostały wykonane z gumowych dętek rowerowych. Roboty te są miękkie, ale charakteryzują się dużą wytrzymałością. Model o nazwie Ant-Roach może przewozić na swoim grzbiecie jednocześnie kilka osób. Firma iRobot z Massachusetts — tam sama firma, która wykonała zautomatyzowany odkurzacz Roomba — pracuje nad pompowanymi wojskowymi robotami, które będzie można spłaszczyc, gdy wykonają już swoją pracę; ma to umożliwić przenoszenie robotów w plecaku. Wspomniany wcześniej bohater filmu *Wielka Szóstka*, Baymax, został zainspirowany pompowanym ramieniem robota opracowanym w Carnegie Mellon University w Pittsburgh. Ramię to miało służyć do czynności pielęgnacyjnych, takich jak karmienie niepełnosprawnych pacjentów



**Rysunek 1.5.** Miękkie, lekkie i silne — pneuboty, czyli pompowane roboty

Źródło: Otherlab

w szpitalach. Naukowcy z Harvardu pracują nad silikonowymi chwytakami (zobacz rysunek 1.6), które mogą chwycić przedmioty swoimi palcami, a także nad konstrukcjami pełzającymi na wielu nogach, które wyginają się i poruszają na skutek pompowania powietrza do określonych komór.



**Rysunek 1.6.** Silikonowy chwytak poruszany dzięki sile pompowanego do niego powietrza podnosi nieugotowane jajko

Autor: Filip Llievski, Whitesides Group, Uniwersytet Harvarda (zdjęcie podlega licencji CC BY-SA 4.0)



Pneumatyczne mięśnie zostały wymyślone w 1957 roku przez fizyka jądrowego Josepha L. McKibbena na poligonie atomowym w Los Alamos w stanie Nowy Meksyk. McKibben został poproszony o stworzenie sztucznego mięśnia przypominającego prawdziwe mięśnie. Mięsień ten miał pomagać osobom z osłabionymi kończynami, takim jak na przykład jego chora na polo córka. Stworzył rozwiązanie wykonane na bazie zbiornika z dwutlenkiem węgla, który był używany do rozciągania i kurczenia gumowej rurki umieszczonej wewnątrz rękawa wykonanego z tkaniny. Opracowany mięsień był bardzo silny — mógł podnosić ciężar 400 razy większy od własnego (dla porównania standardowy silnik prądu stałego zasilany baterią może w najlepszym wypadku ciągnąć ciężar 16 razy większy od własnego). Dzisiaj rozwiązanie to jest nadal stosowane w robotyce, a także medycynie.

Większość pneumatycznych mięśni jest wykonanych na bazie gumowej rurki, jednakże student mechaniki Wyatt Felt stworzył mięsień wykonany ze zwykłego balonu do skręcania (tego typu balony są używane do tworzenia konstrukcji przypominających zwierzęta). W swoim projekcie Felt zastosował również sterowaną elektronicznie pompę powietrza, która może zostać zaprogramowana do pompowania balonu, a także spuszczenia z niego powietrza.

## Jak to działa?

Mięśnie powietrzne działają dzięki zmianie ciśnienia znajdującego się wewnątrz nich powietrza. Mięśnie te kurczą się i rozciągają podobnie jak prawdziwe mięśnie. Zdolność robota do wyginania się, skręcania i rozciągania zależy od materiałów użytych do konstrukcji jego zewnętrznych powłok (zwykle są to rozciągliwe tkaniny lub gumy). Twardość mięśnia zależy od ilości znajdującego się w nim gazu lub powietrza. Przy niższych ciśnieniach wewnątrz mięśnia znajduje się mniej gazu, którego cząsteczki mogą poruszać się z łatwością podczas wywierania na mięsień nacisku. Im wyższe ciśnienie wewnątrz mięśnia, tym bardziej ściśnięte są cząsteczki gazu, co powoduje wzrost sztywności mięśnia.

Przyjrzyjmy się dętkom rowerowym. Rowery szosowe przeznaczone są do szybkiej jazdy po drogach utwardzonych, ich opony są zwykle pompowane do ciśnienia około 9 barów (bar jest jednostką ciśnienia). Opona roweru szosowego po napompowaniu do takiego ciśnienia jest na tyle twarda, że nie da się jej wgiąć, naciskając na nią kciukiem. Rowery górskie są przeznaczone do jazdy po nierównym terenie, a więc ich dętki są pompowane do niższego ciśnienia, oscylującego w granicach 3 – 4,5 bara, dzięki czemu trudniej o ich przebicie. Ta sama zasada odnosi się do ramienia robota stworzonego przez Otherlab. Ramię to po napompowaniu do około 14 barów może podnieść człowieka, ale przy ciśnieniu 1,4 bara może podnieść już tylko jedną piątą tej masy.

Mięśnie skonstruowane zgodnie z projektem opracowanym przez McKibbena są wyposażone w wewnętrzną, rozciągliwą dętkę, która jest umieszczona wewnątrz rękawa wykonanego z plecionej tkaniny. Jeden koniec rurki jest uszczelniany, a na drugim jej końcu znajduje się zawór umożliwiający przepływ powietrza. Pleciony rękaw działa jak chińska pułapka na palce, która zaciska się podczas rozciągania, a luzuje, gdy oba jej końce są do siebie zbliżane. Gdy mięsień znajduje się w pozycji wyjściowej, to pleciony rękaw jest długi i cienki. Rękaw jest wypełniony gumową rurką, która pęcznieje po wpompowaniu do niej powietrza, co powoduje poszerzenie rękawa i zbliżenie do siebie końców mięśnia.

Pneumatyczny chwytak opracowany w Harvardzie przypomina swoją konstrukcją prawdziwe mięśnie. Zamiast jednej dużej komory powietrznej, jego miękkie, płaskie korpus zawiera wiele wąskich kanałów powietrznych. Chwytak mający kształt rozgwiazdy wykonano, wlewając płynną gumę silikonową do formy i czekając na jej zastygnięcie. Otrzymano w ten sposób giętkie ciało stałe wypełnione siecią komór powietrznych, które po napompowaniu sprawiają, że chwytak wygina się jak chwytak stosowany w automatach do łapania zabawek. Po napompowaniu powietrza palce chwytaka zginają się do dołu i są w stanie objąć dowolny przedmiot znajdujący się pod chwytakiem.

Mięsień oparty na balonie do modelowania opracowany przez Wyatta Felta porusza się w nieco inny sposób. Mięsień ten, w przeciwieństwie do konstrukcji McKibbena, pcha, a nie ciągnie. Kiedy spuści się powietrze z balonu pełniącego funkcję komory powietrznej mięśnia Felta, mięsień ten staje się krótki i wąski. Kiedy się go napompuje, mięsień staje się grubszy i dłuższy. Model zaprezentowany przez Felta był wyposażony w elektronicznie sterowaną pompę mającą zawór dolotowy i wylotowy. Podczas prezentacji mięśnie napędzwały „nogi” wykonane z wygiętych plastikowych elementów. Kończyny te były prostowane na skutek działania mięśnia. Jednakże w przypadku pierwszego prototypu struktura nóg i mięsień były wykonane z balonów pompowanych za pomocą ręcznej pompki.

## Wykonanie projektu

Poniższy projekt jest oparty na prototypie mięśnia wykonanego przez Wyatta Felta na bazie balonu do modelowania. Nieco zmodyfikowaliśmy projekt Felta. Zamiast nóg, które zginają się i prostują, zbudujemy projekt, w którym będziemy zamykać i otwierać **mechanizm Sarrusa** — parę zawiasów ustawionych względem siebie pod kątem prostym (rozwiązanie tego typu zastosowano w robotach takich jak na przykład RoACH, bazujących na otwierających się papierowych konstrukcjach). W zaprezentowanej zmodyfikowanej wersji mięśnia Felta zastosowano mechanizm zaworu rozluźniającego mięsień, którego wykonanie zajmuje zaledwie minutę.

### Parametry projektu

- Czas potrzebny na wykonanie projektu: 1 godzina;
- Koszt: mniej niż 40 zł;
- Trudność: łatwy;
- Bezpieczeństwo: uważaj na pękające balony!

### Co musisz wiedzieć?

- Posiadane przez Ciebie umiejętności: nadmuchiwanie balonów.
- Umiejętności, których nabędziesz podczas pracy nad projektem: techniki skręcania balonów.

### Materiały niezbędne do wykonania projektu

- Balony do modelowania (znajdziesz je w sklepach z artykułami imprezowymi);
- Ręczna pompka do balonów;
- Giętka winylowa rura o średnicy 0,5 cm (produkt dostępny w sklepach budowlanych);
- Taśma izolacyjna;
- Nożyce.

### Wskazówki

#### *Krok 1. Lista wymagań*

Pracując nad tym projektem, chcemy stworzyć miękkie, ruchome element roboty, w którym pompowane gumowe materiały będą pełniły funkcję elementu generującego siłę oraz elementu będącego obudową.

#### *Krok 2. Planowanie projektu*

Projekt nie wymaga jakiegos szczególnego planowania, o ile nie będziesz chciał rozbudowywać projektu, korzystając z sugestii umieszczonych w dalszej części tego rozdziału. Balony, podobnie jak inne nadmuchiwane rzeczy, nie są wytrzymałe, więc zaopatr się w ich zapas.

### Krok 3. Zatrzymaj się, powtórz i poszukaj pomocy

Prawdopodobnie nie zdziwi Cię to, że ludzie tacy jak Erik Demaine z Instytutu Technologicznego w Massachusetts zginali balony na podstawie przeprowadzonych wcześniej obliczeń matematycznych. Więcej informacji na ten temat znajdziesz w artykule napisanym przez Damaine'a i miłośniczkę matematyki i muzyki — Vi Hart (zobacz ramka „[Przydatne adresy: pompowany robot](#)”).

### Krok 4. Budowa prototypu

Aby zbudować mięsień z balonu, wykonaj następujące czynności:

1. Za pomocą pompki ręcznej napompuj dwa balony (na końcach balonów pozostaw nienapompowane odcinki o długości 10 – 12 cm). Nienapompowany fragment każdego z balonów można określić mianem jego czubka. Odłącz pompkę od balonów i wypuść z nich nieco powietrza (odgłos wydawany przez balony podczas wykonywania tej czynności może być określony mianem bekania). Nienapompowany fragment balonu ułatwia skręcanie balonu i zapobiega jego pęknięciu. Wykonaj węzeł uszczelniający koniec balonu. Praktyczna wskazówka: balon należy rozciągnąć kilkakrotnie przed napompowaniem.



2. Chwyć jeden z balonów około 8 cm od węzła. Skręć go trzy razy. Tę samą czynność wykonaj z drugim balonem, a następnie połącz oba balony, spletając je razem w miejscach, w których zostały wcześniej skręcone.
3. W celu wykonania zawiasu z pierwszego balonu zegnij go w pół. W miejscu zgięcia chwyć w palce część balonu o wielkości piłki do golfa.

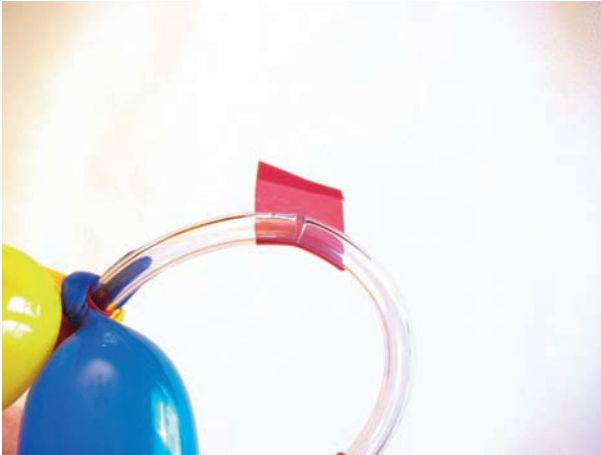
Skręć balon trzykrotnie, obracając nim tak, jakby był tarczą telefonu. Miejsce zgięcia obróć wokół własnej osi o  $360^\circ$ . Zawias powinien wyglądać jak zgięte kolano. Opisane czynności wykonaj jeszcze raz — z drugim balonem.

4. Zwiąż ze sobą czubki balonów — skorzystaj z nienapompowanego nadmiaru gumy. Około 1 cm nad pierwszym węzłem zwiąż drugi. Balony powinny utworzyć kształt diamentu z zawiasami na środku.
5. Wytnij winylową rurkę o długości około 25 cm. Wykonaj zawór do spuszczenia powietrza. Natnij rurkę za pomocą nożyc lub noża. Nacięcie powinno sięgać do jej połowy. Uważaj, aby nie przeciąć całej rurki. Nacięcie powinno otwierać się po wygięciu rurki do tyłu. Wytnij pasek taśmy izolacyjnej

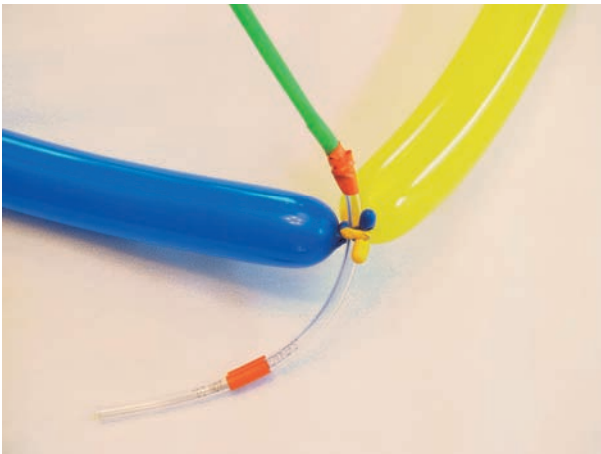




o długości około 5 cm i oklej nim nacięcie. Na końcu paska taśmy wykonaj zakładkę umożliwiającą odklejenie taśmy i odstonięcie nacięcia. Powietrze można wypuścić z rurki, wyginając ją do tyłu. Po wypuszczeniu powietrza otwór można ponownie uszczelnić za pomocą odklejonego wcześniej kawałka taśmy izolacyjnej. Szczelność zaworu możesz sprawdzić za pomocą pompki.



6. Jeden z końców rurki włóż w otwór pomiędzy dwoma węzłami wykonanymi w punkcie 3. Weź trzeci balon, napompuj go, a następnie wypuść z niego powietrze. To jest Twój pneumatyczny mięsień. Nasadź otwarty koniec balonu tworzącego mięsień na koniec rurki, który znajduje się pomiędzy węzłami. Balon powinien być nasunięty na około 2 cm rurki. Zabezpiecz nałożony balon za pomocą taśmy izolacyjnej.



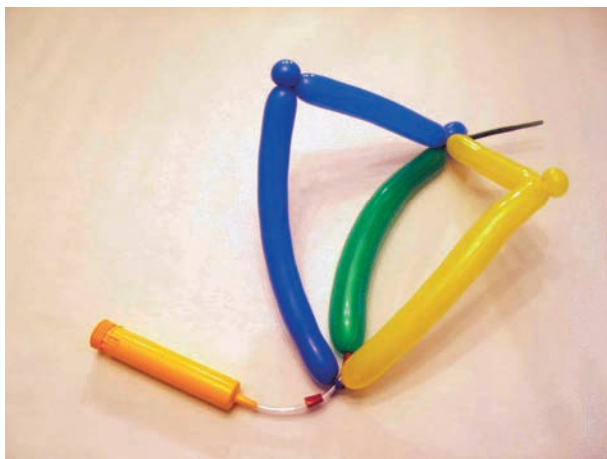
7. Chwyc górne i dolne ranty rombu i przyciśnij je do siebie. To właśnie ten ruch będzie wykonywany przez Twój pneumatyczny zawias. Zdecyduj się na to, jak bardzo te elementy mają się zbliżyć do siebie, a następnie przywiąż czubek balonu tworzącego mięsień do czubków dwóch pozostałych balonów.

8. Załóż wolny koniec rurki na końcówkę pompki (postaraj się wsunąć końcówkę pompki jak najdalej). W razie potrzeby zabezpiecz to połączenie za pomocą taśmy izolacyjnej.



#### *Krok 5. Sprawdzanie działania prototypu*

Powoli i ostrożnie napompuj balon mięśnia za pomocą pompki. Mięsień pod wpływem wtłaczanego powietrza powinien otwierać zawias wykonany z pozostałych balonów. Aby zamknąć zawias, wypuść powietrze z balonu mięśnia, korzystając z zaworu spustowego — usuń taśmę izolacyjną z nacięcia, a następnie zegnij rurkę tak, aby nacięcie otworzyło się. Po spuszczeniu powietrza balon powinien skurczyć się — jego długość będzie taka sama, jak przed napompowaniem.



#### *Krok 6. Usuwanie usterek i dopracowywanie prototypu*

Jeżeli pompowanie balonu sprawia Ci problemy, to sprawdź działanie pompki na innym, nieużywanym wcześniej balonie. Tanie pompki psują się dość łatwo. Sprawdź szczelność balonu.

### Krok 7. Modyfikacja i rozbudowa

#### Wykonaj pozostałe elementy robota.

Do wykonanego elementu robota dodaj pozostałe elementy takie jak korpus, ramiona i głowa (w ramce „[Przydatne adresy: pompowany robot](#)” znajdziesz adres przewodnika, który przeprowadzi Cię przez ten proces). Możesz również popracować nad obliczeniami związanymi z konstrukcją balonowego modelu.

#### Wykonaj rozdzielacz umożliwiający jednoczesną aktywację kilku mechanizmów robota.

Weź krótki kawałek rurki i wykonaj w nim otwór o kształcie rombu, w którym zmieści się następny kawałek rurki. Jeżeli chcesz jednocześnie pompować więcej elementów, to możesz wykonać więcej otworów. W każdy z wykonanych otworów wsadź kawałek rurki. Otwory z rurkami uszczelnij za pomocą masy plastycznej lub uniwersalnej klejarki pistoletowej — zapobiegnie to uciekaniu powietrza z układu.

#### Wykonaj mięsień zaprojektowany przez McKibbena.

Włóż skręcony balon w chińską pałapkę na palce lub w krótki, pleciony i rozciągliwy rękaw (rolę takiego rękawa może pełnić na przykład siatka do kabli lub wspomniana wcześniej zabawka do ćwiczenia palców). W ramce „[Przydatne adresy: pompowany robot](#)” znajdziesz adres instruktażowego materiału zamieszczonego w serwisie YouTube.

#### Za pomocą drukarki 3D wykonaj silikonowy chwytak.

Więcej informacji na temat druku 3D znajdziesz w [rozdziale 2](#). Instrukcje dotyczące budowy chwytaka znajdziesz w materiale instruktażowym opublikowanym przez Bena Finio.

### Przydatne adresy: pompowany robot

Siłownik pneumatyczny wykonany na bazie balonów, zaprojektowany przez Wyatta Felta: <http://www.instructables.com/id/Twisty-Balloon-Pneumatic-Actuator/>;

Vi Hart — matematyka i balony (PDF): <http://archive.bridgesmathart.org/2010/bridges2010-515.pdf>;

Podstawy skręcania balonów: <http://www.professorwonder.com/twists.htm>;

Dylan Gelinus — instruktaż budowy prostych robotów z balonów: <https://www.youtube.com/watch?v=I2m8lk8QS5w>;

Phil Teare — instruktaż budowy mięśnia McKibbena: <https://www.youtube.com/watch?v=cc5Ge49eL2A>;

Instruktaż budowy silikonowego chwytaka zaprojektowanego na Uniwersytecie Harvarda: <http://www.instructables.com/id/Air-Powered-Soft-Robotic-Gripper/>.

---

# Skorowidz

---

## A

aerożel, 21  
animacja, 182  
Arduino, 121, 163

## B

baterie, 166  
BEAM, 93  
    aspekt biologiczny, 93  
    aspekt elektroniczny, 93  
    aspekt estetyczny, 93  
    aspekt mechaniczny, 93  
Beatty Robotics, 9  
biblioteka TinyWireM, 179  
biotensegrity, 54

## C

CAD, 68  
chatbot, 116–120, 132  
CNC, 65  
czujnik, 125, 127  
    światła, 152

## D

DASH, 25  
diagram doliny niesamowitości, 135  
dioda, 99  
    półprzewodnikowa, 100  
dolina niesamowitości, 133, 134, 143  
dron, 49  
drukarka 3D, 48, 64, 82  
druty, 166  
działanie chatbota, 125, 132

## E

e-tekstylija, 161

## F

faza  
    austenityczna, 25  
    martenzytu, 25  
FiberBot, 164  
firma Adafruit, 168  
Flexinol, 26  
frezarki CNC, 65

## G

generator  
impulsów, 152  
losowych impulsów, 152  
grot lutownicy, 97

## H

hybryda kół i nóg, 63

## I

informacje dotyczące obwodów, 37  
instalowanie sterownika, 176

## J

język Scratch, 121  
języki programowania, 121

## K

karbonowe nanorurki, 21  
knot rozlutowniczy, 96  
koła  
typu Whæg, 67  
z nogami, 64  
komunikat błędu, 177, 179  
kondensator  
elektrolityczny, 100  
monolityczny, 100  
tantalowy, 100  
walcowy, 100  
konstrukcje naprężeniowo-integralne, 52, 62  
kopia twarzy, 138  
kwadrokopter, 49

## L

lutowanie, 95, 98  
lutownica, 96

## Ł

łączenie metodą na pająka, 105

## M

magiczny dym, 98  
materiały, 19  
mazaki suchościernalne, 152  
M-Blocks, 84  
mechanizm  
Sarrusa, 24, 43  
Strandbeest, 85  
metoda na pająka, 105  
mięsień McKibbena, 48  
mikrokontroler  
Adafruit Gemma, 164  
Arduino, 164  
Gemma, 169, 171  
model biotensegrity, 54  
modelina, 138  
moduły  
littleBits, 55, 60, 152  
M-Blocks, 84  
mostek, 97

## N

napęd naprężeniowo-integralny, 51, 52  
narzędzie Alice, 121  
nitinol, 21, 25

## O

obwody elektryczne, 37, 39  
ogniwo fotowoltaiczne, 100  
okulary ochronne, 96  
oprogramowanie CAD, 68

## P

pamięć kształtu, 19, 21  
panele fotowoltaiczne, 108  
papier origami, 37  
papierowa robotyka, 34  
pełzająca klapka, 33  
pętla, 127  
Plotclock, 148  
ploter, 146, 161  
littleBits, 150  
płytki  
Arduino, 163  
Gemma, 173

- plyty montażowe littleBits, 160
- połączenia elektryczne, 37
- pompowany robot, 48
- porady dotyczące nauki, 198
- potencjometr, 59
- prawo Ohma, 39
- problem komiwojażera, 149
- program
  - Ardublock, 122
  - LabVIEW, 121
  - Tinkercad, 70
- programowanie
  - robotów, 121
  - wizualne, 133
- projekt
  - budowa plotera, 146
  - budowa robota BEAM, 92
  - hybryda kół i nóg, 62
  - podobna w dolinie niesamowitości, 133
  - poruszający się papier, 21
  - program będący chatbotem, 117
  - robot wibracyjny, 86
  - robot z napędem naprężeniowo-integralnym, 51
  - zbuduj pompowanego robota, 40
- projekty otwarte, 60
- przestrzeń skryptu, 124

## Q

Quattroped, 62

## R

- rezystancja, 37
- robot
  - badawczy i przemysłowy, 116
  - BEAM, 92
  - Colour Chaser, 145
  - Geminoid HI-4, 136
  - Hanako 2, 134
  - modułowy, 84
  - modułowy, 85
  - origami, 23
  - Plotclock, 153
  - poruszający się, 49, 51
  - poruszający się dzięki drganiom, 92
  - ślizgający się, 87, 92
  - towarzyski, 117

- tworzący naleśniki, 66
- wibracyjny, 86
- zasilany energią słoneczną, 92
- zbudowany z modułów littleBits, 60

roboty i sztuka, 146

rozmowa z chatbotem, 132

rzutki, 39

## S

- Scratch, 121, 124
- sejsmograf, 148
- serwomotor, 150
- silnik, 109
  - prądu stałego, 100
- siłownik, 20
- składający się plastik, 20
- skrypt chatbota, 125
- spiekanie, 65
- spoiwo lutownicze, 96
- statyw lutownicy, 96
- sterownik, 176
- stopnie mobilności, 24
- struktura naprężeniowo-integralna, 53
- szczytce półokrągłe, 96
- szkic, 163
  - animacji oka, 183
  - Blink, 179

## Ś

ścieżka, 29

## T

- taśma piankowa, 89
- technologia motion capture, 134
- termoplastyczny filament, 65
- Tinkercad, 70
  - menu Adjust, 79
  - menu Design, 80
  - menu Geometric, 76
  - menu Helpers, 76
  - menu Shape Generators, 72
- okno Inspector, 76, 81
- opcja Align, 79
- opcja Duplicate, 77
- opcja Extrusion, 72

opcja Snap, 73  
opcja Snapping, 71  
pole Inspector, 72  
przycisk Edit Grid, 71  
zakładka Geometric, 70, 71  
zakładka Holes, 77  
 tranzystor NPN, 100  
triskelion, 63  
twarz, 138

## U

układ odwracający fazę, 152

## W

WaterColorBot, 148  
wiatrołap, 101  
włącznik napięciowy, 100, 102  
wygląd robotów, 115  
wykonywanie ścieżek, 29  
wyrażenia, 129  
wyświetlacz diodowy, 165, 168, 171

## Z

zagnieżdżanie, 124



# 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>

# Naucz się budować proste roboty!

Co to jest robot? Gdyby zadać to pytanie przypadkowej osobie na ulicy, z pewnością odpowiedziałaby, że jest to konstrukcja zbudowana z drogich materiałów, zawierająca skomplikowane układy elektroniczne oraz profesjonalne oprogramowanie. Nic bardziej błędnego! Czy wiesz, że prostego robota możesz zbudować nawet z papieru? Sięgnij po tę książkę i zacznij pracę nad swoim pierwszym projektem!

Autorka tego podręcznika udowodni Ci, że każdy może wcielić się w rolę konstruktora, nawet bez zaawansowanych umiejętności elektronicznych. W dodatku może wykorzystać w tym celu najróżniejsze materiały. Dzięki informacjom zawartym w tej książce zbudujesz robota zasilanego energią słoneczną oraz takiego, który porusza się dzięki wibracjom. Ponadto w trakcie lektury kolejnych rozdziałów przekonasz się, jak wykorzystać płytkę Arduino do zapanowania nad robotem wykonanym z e-tekstyliów. Poznasz też ciekawostki związane z drukiem 3D, platformą littleBits oraz robotami BEAM. Przekonaj się, jak łatwo możesz spełnić swoje marzenia o budowie robota!

## Dzięki tej książce:

- » poznasz podstawy elektroniki i robotyki
- » zbudujesz papierowego robota
- » wykorzystasz w pracy technologię druku 3D
- » przygotujesz ploter wykonujący rysunki
- » poznasz możliwości platformy littleBits

**Kathy Ceceri** — autorka książek edukacyjnych, projektantka. Wielka pasjonatka nauki, historii, sztuki i technologii. Stara się połączyć te pozornie niezależne dziedziny w jedną całość. W trakcie swoich podróży organizuje cieszące się popularnością praktyczne warsztaty dla studentów, nauczycieli i rodzin.

**Helion**

37324 numer katalogowy

księgarnia internetowa

<http://helion.pl>

zamówienia telefoniczne



0 801 339900



0 601 339900

Sprawdź najnowsze promocje:

● <http://helion.pl/promocje>

Książki najchętniej czytane:

● <http://helion.pl/bestsellery>

Zamów informacje o nowościach:

● <http://helion.pl/novosci>

Helion SA  
ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice  
tel.: 32 230 98 63  
e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)  
<http://helion.pl>

sięgnij po WIĘCEJ



KOD KORZYŚCI

ISBN 978-83-283-0507-6



9 788328 305076

cena: 39,90 zł

Informatyka w najlepszym wydaniu

**Make:**  
makezine.com