

# Inżynieria mechaniczna dla majsterkowiczów

**Prosty przewodnik  
po praktycznych  
zagadnieniach**

Brian Bunnell, Samer Najia



**Helion**

Tytuł oryginału: Mechanical Engineering for Makers: A Hands-on Guide to Designing and Making Physical Things

Tłumaczenie: Maciej Sidorowicz

ISBN: 978-83-283-9324-0

© 2022 Helion S.A.

Authorized Polish translation of the English edition of *Mechanical Engineering for Makers* ISBN 9781680455878 © 2020 Brian Bunnell & Samer Najja.

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

Polish edition copyright © 2022 by Helion S.A.

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 wydawca dążyli 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 wydawca nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

<https://helion.pl/user/opinie/imemaj>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Helion S.A.

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: <https://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Printed in Poland.

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

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



# Spis treści

## 1

### Inżynieria mechaniczna z perspektywy majsterkowicza ...1

- Podstawy inżynierii mechanicznej ...1
- Maszyny proste ...3
- Materiały ...4
- Naprężenie ...6
- Konstrukcje statyczne i układy dynamiczne ...7
- Termomechanika płynów ...8
- Elektrotechnika i układy elektromechaniczne ...9
- Projekt i narzędzia do projektowania ...10
- Wytwarzanie ...11
- Dwie opowieści o inspiracjach majsterkowiczów ...13

## 2

### A więc masz już projekt — no to go zrealizujmy! ...17

- Proces realizacji projektu ...17
- Zdefiniuj pomysł projektowy ...18
- Zdefiniuj specyfikację ...18
- Skonkretyzuj (naszkcuj) koncept ...20
- Dokonaj przeglądu ...22
- Wytwórz prototyp projektu ...23
- Przetestuj i ulepsz projekt ...28
- Projekt klaksonu ...29
- Modularyzacja projektu ...42
- Programowanie obiektowe ...44

## 3

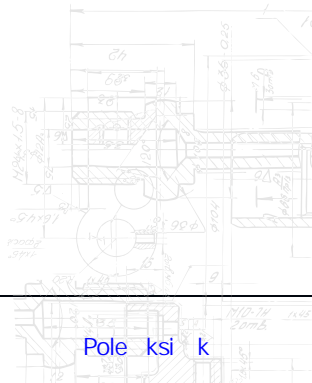
### Dobór materiałów — tworzywa sztuczne, drewno, metale ...47

- Właściwości materiałów do rozważenia ...47
- Typy materiałów ...48
- Przykłady kształtów materiału ...60
- Ochrona przed czynnikami środowiskowymi ...62
- Dostępność narzędzi ...62
- Dostępność materiałów ...62
- Lista materiałów na „czotg dla brzdąca” Briana ...64
- Lista materiałów na „czotg dla dorosłego” Samera ...73

## 4

### Nieodłączny świat łączników i klejów ...79

- Typy łączników ...79
- Jednostki miary gwintowanych łączników ...84
- Podstawy łączenia ...86
- Korozja ...88
- Naprawianie błędów związanych z łącznikami ...89
- Kleje ...91
- Łączniki użyte w „czotgu dla brzdąca” ...93



# 5

## Wróćmy do formy — konstrukcja Twojego projektu ...99

Zagadnienia projektowe przy konstrukcjach ...100

Przykład konstrukcji statycznej — nadwozie „czołgu dla brzdąca” ...106

Przykład konstrukcji dynamicznej — gąsienice „czołgu dla brzdąca” ...108

# 6

## Dźwignie — zadbajmy o równowagę ...113

Klasy dźwigni ...114

Wieloklasowy mechanizm dźwigniowy ...117

Harmonijka ...127

# 7

## Bloczki — zabawa w przeciąganie liny ...133

Eksperymenty z bloczkami i zaczepem ...135

Klamrowy zaczep ramy drzwi (KZR) ...136

Eksperymenty z bloczkami ...144

Żuraw przetadunkowy z PVC (ŻPP) ...152

# 8

## Koła i przekładnie zębate — co tak zgrzyta? ...167

Rodzaje kót zębatach ...168

Uogólnione nazewnictwo przy kołach zębatach ...171

Przełożenia przekładni ...172

Zwyczajny otwieracz do puszek ...175

Omówienie urządzenia opartego na kołach zębatach — mechanizm różnicowy ...176

Kołkowy mechanizm różnicowy (KMR) ...179

# 9

## Dlaczego masz na tym poprzestać? ...189

Rzeczywistość majsterkowania kontra inżynieria ...189

Pneumatyczne „rakiety” z papieru ...190

Budowa pneumatycznej (papierowej) rakiety ...191

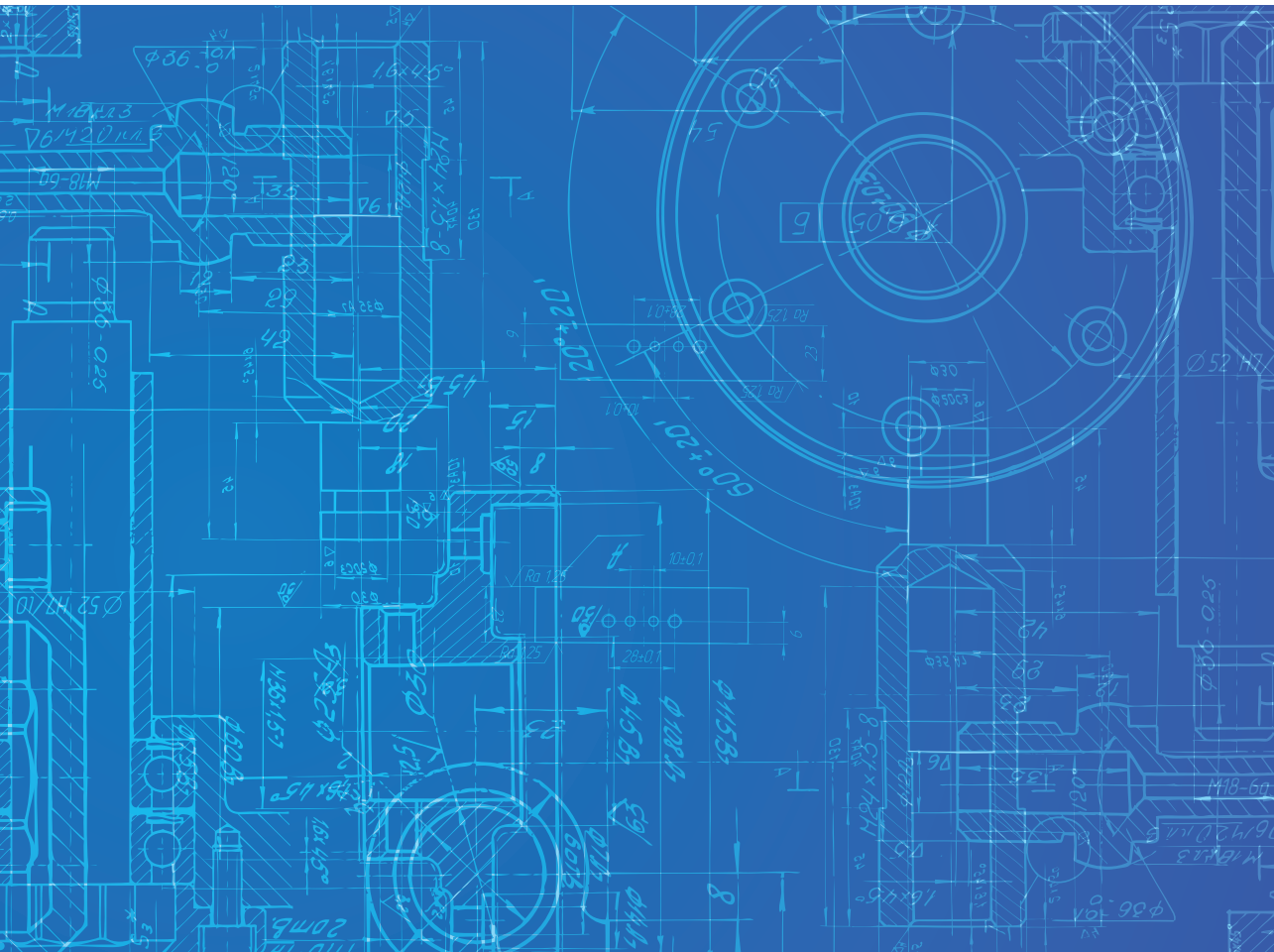
Wyrzutnia rakiet pneumatycznych ...194

Odtaczany/wymienny stopień dopalacza modelu rakiety ...199

Działo pneumatyczne — poskramiając potęgę powietrza ...202

Działo pneumatyczne — jak to działa ...203

Wysokościowy moduł zrzutu ładunku ...206



# 3

## Dobór materiałów — tworzywa sztuczne, drewno, metale... O RETY!

**Materiały** — pierwiastki, składniki lub substancje, z których jest lub może być wykonany przedmiot — były ważne dla ludzkości od czasów starożytnych. Służą nawet za określenie epok historycznych: epoka kamienia, epoka brązu, epoka żelaza, epoka rzymska (otowiu) i epoka przemysłowa (stal). Człowiek używa każdego typu materiału, łącznie z kamieniem, cementem/betonem, drewnem, ceramiką, tekstyliami, szkłem, metalem, papierem, tworzywami sztucznymi, gumą, materiałami magnetycznymi i biologicznymi.

Pomimo że wszystkie materiały są ważne i przydatne w określonych sytuacjach, niektóre z nich są częściej wykorzystywane przez inżynierów mechaników i majsterkowiczów niż pozostałe. Są to metale, drewno, tworzywa sztuczne, materiały piankowe i niektóre materiały kompozytowe. Jako majsterkowicz zapoznasz się z właściwościami tych różnorodnych materiałów, abyś mógł dokonywać najlepszego możliwego doboru materiałów do Twoich projektów.

### Właściwości materiałów do rozważenia

Dobór właściwych materiałów podczas projektowania i budowania nowego projektu decyduje o jego sukcesie. By zapobiec problemom, których da się uniknąć w trakcie całego procesu, powinieneś poświęcić czas na rozważenie następujących wymagań stawianych materiałom:

- **Funkcjonalność** — czy materiał zapewni wymaganą funkcjonalność?
- **Wytrzymałość i trwałość** — czy materiał wytrzyma bez odkształceń lub uszkodzeń naprężenia i siły, jakim będzie trwale poddawany?
- **Obrabialność** — czy kształt materiału może być łatwo modyfikowany, tłoczony lub wytworzony przy użyciu posiadanych narzędzi lub takich, które zamierzasz kupić lub wypożyczyć?
- **Estetyczność** — czy materiał wnosi estetykę do wyglądu projektu końcowego bez negatywnego wpływu na inne aspekty, jak trwałość czy koszt?
- **Bezpieczeństwo** — czy materiał jest bezpieczny przy pracy nad nim przy użyciu dostępnych Ci narzędzi i warunków pracy?
- **Koszt** — czy materiał jest wydajny kosztowo bez negatywnego wpływu na inne aspekty, jak funkcjonalność, bezpieczeństwo i estetyczność?

Każdy z materiałów ma unikalną kombinację tych właściwości i jest omówiony w dyskusji nad surowymi materiałami w dalszej części rozdziału. Dobór materiałów, które zapewniają odpowiednią równowagę między tymi własnościami, bezpośrednio wpłynie na sukces Twoich projektów.



**A** Miska wykonana z twardego gatunku drewna



**B** Miękki gatunek drewna (sosna)



**C** Sklejka



**D** Płyta pilśniowa średniej gęstości (MDF)

## Typy materiałów

Jest wiele materiałów dostępnych majsterkowiczom, a każda z cech materiałowych przemawia za ich wyborem do określonych sytuacji. Dokonamy przeglądu materiałów, na które prawdopodobnie natkniesz się przy majsterkowaniu, i przyjrzymy się ich unikalnym właściwościom i ich typowemu życiu.

### DREWNO

Drewno i produkty na bazie drewna należą do najbardziej powszechnych materiałów używanych przez majsterkowiczów. Drewno jest dostępne w różnych formach, takich jak bloki, deski, drażki czy płyty. Jest niesamowicie wszechstronne i łatwe w obróbce. Może być użyte do prototypowania, jak również do gotowych produktów. Istnieje cały przemysł narzędziowy wraz z materiałami szkoleniowymi dotyczącymi stolarstwa.

Powszechne typy materiałów drewnianych obejmują:

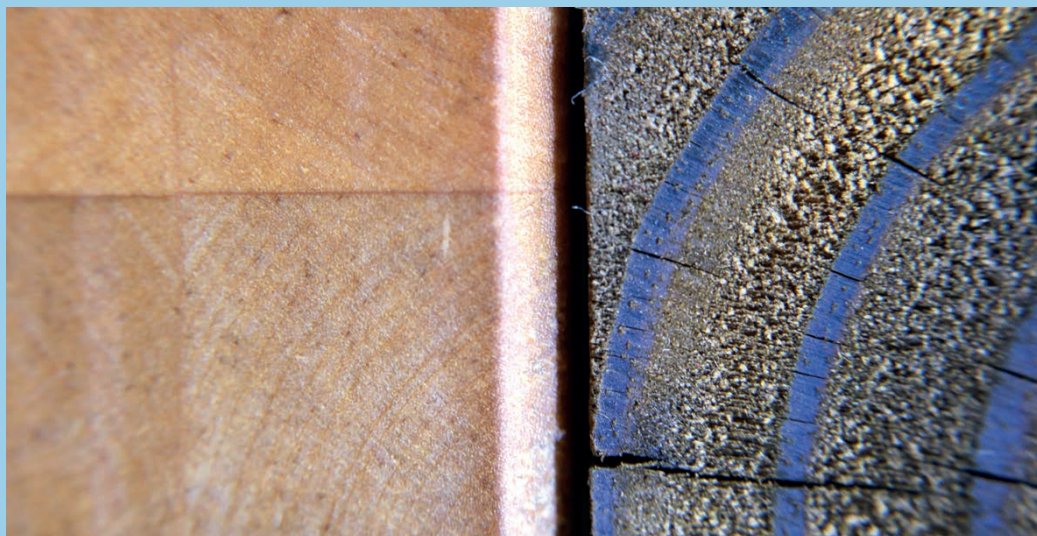
- **Drewno twarde** — twarde gatunki drewna (rysunek **A**), takie jak dąb czy orzech, mają dużą gęstość, są ciężkie i mocne. Ich ciasno upakowane stoje tworzą zwartą, charakterystyczną strukturę, która jest odporna na intensywne użytkowanie i jest zarazem piękna. Twarde gatunki są ciężkie, solidne i sztywne. Ten typ drewna nie jest tak elastyczny jak drewno typu miękkiego, dlatego ma większą tendencję do łamania się przy przeciążeniu niż do wyginania. To drewno jest zazwyczaj droższe i rzadsze niż drewno miękkie. Twarde gatunki są typowym materiałem na meble, szafki, deski podłogowe i w innych zastosowaniach, gdzie liczy się estetyka, wytrzymałość i trwałość.
- **Drewno miękkie** — miękkie gatunki drewna (rysunek **B**), takie jak sosna czy cedr, są bardziej podatne i elastyczne niż twarde drewno. Są również lżejsze i mają mniejszą gęstość. Ale nadal są bardzo wytrzymałym materiałem strukturalnym. Tego rodzaju drewno jest względnie tanie, łatwiej dostępne i łatwe w obróbce. Miękkie gatunki są powszechnie używane na konstrukcje budynków, ozdoby, półki i domowe projekty stolarskie. W większości przypadków miękkie drewno używane do projektów na zewnątrz budynku musi być poddane impregnacji ciśnieniowej. Impregnacja ciśnieniowa jest chemicznym procesem, który sprawia, że drewno jest odporne na próchnienie, owady i pleśń. Obrobione drewno jest droższe niż niezaimpregnowane.
- **Sklejka** — sklejki (rysunek **C**) są laminatami złożonymi z cienkich warstw różnych gatunków drewna ze skrzyżowanymi stojami, co oznacza, że linie naprężeń



## Warto pamiętać: rozdzielenie drewna twardego i miękkiego

*Podstawy biologii:* miękkie gatunki drewna pochodzą z drzew iglastych (tj. wiecznie zielonych), a twarde gatunki drewna pochodzą z drzew liściastych (których liście na zimę opadają). Ale w jaki sposób pomoże Ci to w rozróżnieniu, które jest które w sklepie? Trudno jest powiedzieć, czy blok drewna jest wykonany z twardego gatunku, czy z miękkiego, tylko na podstawie oględzin. Na szczęście jest parę metod, na podstawie których da się określić różnicę.

- Miękkie gatunki drewna mają zazwyczaj szersze odstępy między stojami niż drewno twarde, gdyż drzewa o miękkim drewnie rosną o wiele szybciej. Dlatego jednym ze sposobów określenia różnicy między drewnem twardym a miękkim jest przyjrzenie się, jak gęste jest ułożenie stojów. Wzór stojów drewna twardego będzie znacznie drobniejszy niż drewna miękkiego. Rysunek poniżej prezentuje przykład wzoru ułożenia stojów drewna twardego po lewej i drewna miękkiego po prawej.
- Kiedy przesuniesz paznokciem po powierzchni drewna i zostawi to ślad w drewnie, najprawdopodobniej masz do czynienia z drewnem miękkim. Drewna twarde mają zazwyczaj większą twardość niż Twój paznokieć i dlatego nie będzie łatwo zostawić w nim śladu w taki sposób.
- Drewno twarde nie ma tak intensywnego zapachu jak drewno miękkie. Dlatego jeśli czujesz coś, co przywodzi Ci na myśl wakacje (tj. sosnę lub cedr), to na pewno jest to drewno miękkie!



Przykład wzoru ułożenia stojów drewna: twardego po lewej, miękkiego po prawej

(stoję) jednej warstwy laminatu są ułożone prostopadle względem stojów warstw powyżej i poniżej. Ten efekt krzyżowania stojów sprawia, że sklejka jest relatywnie lekka i bardzo wytrzymała. Arkusze sklejki mogą być gięte i dowolnie kształtowane, a niektóre mają warstwę zewnętrzną, którą da się szlifować dla lepszego wykończenia. Sklejka jest używana w konstrukcjach domów, przy budowie mebli, a nawet w przemyśle lotniczym, gdzie służy do pokrycia ram i powierzchni elementów nośnych lekkich samolotów.

- **MDF** — płyta pilśniowa średniej gęstości (ang. *medium density fiberboard*) jest kompozytem syntetycznym (rysunek **D**) wykonanym z włókien drewna i żywicy. MDF jest bardzo wytrzymałe i łatwo chłonie farbę, więc jest często używane na półki i drzwiczki szafek. Wadą MDF jest duży ciężar i brak odporności na wodę — zniszczy się przy kontakcie z nią (tj. napuchnie i się rozejdzie). Płyty MDF można sklejać i skręcać, lecz śruby łatwo jest wyrwać przy dużym obciążeniu potężnym.



**A** Asortyment aluminium



**B** Asortyment mosiądzu



**C** Rura miedziana



**D** Stal niskowęglowa

## METALE

Metale to kolejne powszechne materiały używane przez majsterkowiczów w ich projektach. Metale mogą być użyte w formie czystej lub w formach stopów. **Stop** jest mieszaniną pierwiastków metali połączonych w celu wzmocnienia materiału końcowego i/lub nadania mu odporności na korozję.

Metale ogólnie klasyfikuje się na dwie kategorie: **żelazne** i **nieżelazne**. Nie zagłębiając się w szczegóły materiałoznawstwa, można powiedzieć, że główną różnicą między tymi kategoriami jest to, że metale żelazne zawierają w swoim składzie żelazo (Fe), podczas gdy metale nieżelazne żelaza nie zawierają. Oto kilka typów dostępnych metali, reprezentujących każdą kategorię:

### METALE I STOPY NIEŻELAZNE (BEZ ŻELAZA)

- **Aluminium** — wytrzymałe, lekkie, odporne na korozję, łatwe do cięcia, obróbki skrawaniem i odlewania. Występuje w formie elementów o różnych grubościach, kształtach i wytrzymałości i może być zakupione od różnych dostawców (rysunek **A**). Alumiuniowa blacha jest świetna na powłoki i pokrywy, na przykład w samolotach lub zamkniętych przyczepach. Płyta alumiuniowa ma lepszą strukturę i może być cięta, zginana i spawana.

- **Mosiądz** (rysunek **B**) — stop miedzi i cynku, używany jako metal inżynierski od wieków. Mosiądz można nabyć w formie blachy, rur i sztang. Jest bardzo **kowalny** i ciągliwy, co oznacza, że może być formowany plastycznie do dowolnego kształtu bez pęknięcia. Jest też raczej miękki, więc łatwo się go obrabia na tokarce. Jest używany do tworzenia domowych dekoracji (takich jak świeczniki), tusek do nabojów i instrumentów muzycznych, jak trąbki i tuby. Właściwości cieplne umożliwiają zastosowanie mosiądzu do modeli silników parowych, a jego właściwości antykorozyjne znajdują zastosowanie w przemyśle stoczniowym. Złączki w instalacjach sprężonego powietrza, tuleje dystansowe i inny sprzęt również często jest wykonany z mosiądzu.
- **Miedź** (rysunek **C**) — doskonały przewodnik prądu o kowalności podobnej do mosiądzu. Miedź jest często wykorzystywana do rur wodnych i w instalacjach elektrycznych (jednak oddzielnie od siebie — inaczej byłoby to niebezpieczne!). Miedź łatwo się lutuje przy użyciu lutownicy lub palnika, topnika i lutu. (**Lutowanie** jest procesem łączenia metali, w którym metal o mniejszej temperaturze topnienia jest podgrzany do jego stopienia i wpuszczany w szczelinę między

łączonymi elementami metalowymi). Miedź łatwo się utlenia, tworząc niebieskozieloną patynę — Statua Wolności jest pokryta miedzianą powłoką, dlatego ma niebieskozieloną barwę.

## METALE I STOPY ŻELAZNE (ZAWIERAJĄCE ŻELAZO)

- **Stal** — stop żelaza, węgla i innych metali. Stal jest bardzo twarda i zazwyczaj koroduje (rdzewieje). Stal jest szeroko wykorzystywana jako materiał konstrukcyjny. Obróbka skrawaniem stali może być nieco trudniejsza niż w przypadku innych metali, ale stal jest obrabialna przy użyciu odpowiednich narzędzi. Jest wiele odmian stali, każda o unikalnych właściwościach:
  - **Stale niskowęglowe** — stopy żelaza z węglem o zawartości węgla od 0,05% do 0,25%. Stal niskowęglowa jest najczęściej używaną stalą, ponieważ jest tania, wytrzymała, kowalna, ma właściwości magnetyczne i nie jest krucha. Jej wadą jest podatność na korozję (rysunek **D**).
  - **Stale nierdzewne** — są stopami opartymi na żelazie o minimalnej zawartości chromu 10,5% (rysunek **E**). Chrom zapobiega rdzewieniu stali. W porównaniu ze stalą niskowęglową stal nierdzewna generalnie jest mniej wytrzymała, ale jest od niej twardsza i wymaga mniej obsługi. Wygląda ładniej, ale jest też dużo droższa.
  - **Stal „chromoly”** (rysunek **F**) — stal oparta na żelazie zawierająca również chrom i molibden. Gęstość chromoly (Cr-Mo 4130) jest porównywalna z gęstością stali niskowęglowej, jednak jest prawie dwa razy wytrzymalsza. Innymi słowy, ma o wiele większy **stosunek wytrzymałości do masy** (tj. wytrzymałość właściwą). Praktycznie rzecz biorąc, jeśli wykonujesz ramę z metalowych rur, możesz użyć o wiele cieńszych rur ze stopu chromoly, niż gdybyś używał innego stopu stali. Ma dużą wytrzymałość na rozciąganie, ale jest bardziej krucha i łatwiej ją uszkodzić niż inną stal. Nie posiada również takiej odporności na korozję, jaką ma stal nierdzewna. Chromoly jest szeroko używana w przemyśle lotniczym i rowerowym.
  - **Żeliwo** (rysunek **G**) — kruchy, niekowalny stop żelaza z węglem, który topnieje w relatywnie niskiej temperaturze i jest łatwy do odlewania w formach. Wykończone przedmioty z żeliwa są bardzo twarde i nie można ich zginać, ale są łatwo obrabialne, odporne na wodę i względnie tanie. Przedmioty takie jak patelnie i garnki, rury oraz niektóre części samochodowe są wykonane z żeliwa.



**E** Stal nierdzewna



**F** Rura ze stopu chromoly



**G** Żeliwny kociotek



**A** Pęknięte szkło odprężone (tafla)



**B** Zbita szyba ze szkła hartowanego



**C** Szkło bezpieczeństwa (szyba samochodowa)



Kolba ze szkła borokrzemowego

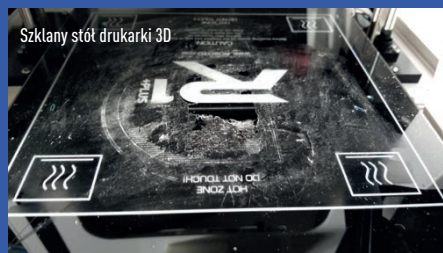
**D**

## SZKŁO

Szkło jest niekryształicznym, amorficznym materiałem (czyliś pomiędzy płynem a ciałem stałym) i jest zazwyczaj wykonane z krzemionki, ale może być wytworzone z innych substancji. Występuje w niesamowicie wielu różnych formach i czasami może być naprawdę trwałe. Do typów szkła należą:

- **Szkło odprężone:** szkło odprężone (określenie zapożyczone, powszechnie używane w obróbce metalu) jest szkłem, które pozostawiono do powolnego ochłodzenia po jego końcowym formowaniu. Powolne chłodzenie pozwala na usunięcie wewnętrznych naprężeń, co sprawia, że obiekt końcowy jest bardziej wytrzymały. Szkło odprężone może być bardzo niebezpieczne w razie jego pęknięcia, gdyż rozбивa się na wiele ostrych odłamków i odprysków. Szkło używane w przedmiotach codziennego użytku, jak w oprawie obrazu na rysunku **A** (czasami nazywane jest taflą szkła), w butelkach i w niedrogich szklankach to przykład użycia szkła odprężonego.
- **Szkło hartowane** — jest obrobione (chemicznie lub termicznie) w taki sposób, że zewnętrzne warstwy szkła są poddawane naprężeniom ściskającym, a wewnętrzne warstwy naprężeniom rozciągającym. To nadaje szkłu większą wytrzymałość i sprawia, że przy uderzeniu kruszy się ono na małe części zamiast na ostre niebezpieczne odłamki. Przykłady użycia szkła hartowanego to kabiny prysznicowe, boczne i tylne szyby samochodowe i drzwi wewnątrz sklepów i budynków biurowych (rysunek **B**).
- **Szkło laminowane** — jest wykonane z wielu warstw szkła (zazwyczaj hartowanego) i plastikowych „przekładek” pomiędzy każdą warstwą szkła. Przekładka przywiera do warstw szkła i to przywieranie zapobiega wyrwaniu popękanych kawałków z przekładek w przypadku uderzenia. Ponieważ popękane kawałki są utrzymywane przez ich sklejenie z przekładkami, szkło laminowane jest również nazywane „szkłem bezpieczeństwa”. Przednie szyby samochodowe są wykonane z hartowanego szkła laminowanego, co da się ewidentnie zauważyć przy uderzeniu w nie kamieniem lub innym twardym przedmiotem. Pęknięcie rozprzestrzenia się na zewnątrz miejsca uderzenia, tworząc wzór „pajęczyny” na szybie, podczas gdy kawałki szkła pozostają przyklejone do przekładek (rysunek **C**).
- **Szkło borokrzemowe** — jest wykonane z krzemionki i trójtlenku boru. Najważniejszą właściwością tego szkła jest jego odporność na szok termiczny, dlatego jest wykorzystywane do produkcji naczyń żaroodpornych, szkła laboratoryjnego (rysunek **D**), stołów drukarek 3D i lustranych elementów teleskopów zwierciadlanych.

Każda tafla szkła, czy to z okna, czy ze skanera, może być przez Ciebie do czegoś wykorzystana. Szkło borokrzemowe jest użyteczne jako stół drukarki 3D, a inne tafle szkła mogą być użyte jako okna lub przeźierne elementy obudów. Szkło może być pozyskane z wielu starych komponentów, na przykład z okien i drzwi starego domu, biurowych urządzeń wielofunkcyjnych lub z ram obrazów.



## TWORZYWA SZTUCZNE

Potocznie zwane są plastikami i są dostępne jako sztywne lub elastyczne materiały. Są podzielone na dwie obszerne kategorie: duroplasty i termoplasty.

### DUROPLASTY

Duroplasty są wstępnie formowane, a następnie „ustalane” za pomocą ciepła. Po wstępnym uformowaniu i ustaleniu duroplast nie może być ponownie formowany pod działaniem ciepła. Żywice fenolowe, silikonowe i epoksydowe są przykładami duroplastów. Żywice to powszechnie używane duroplasty złożone z dwóch lepkich płynów (żywica podstawowa i utwardzacz), które po połączeniu wywołują reakcję utwardzania, która zmienia plastik w bardzo mocny materiał.

- **Żywice poliestrowe** — te żywice są łatwe w obróbce i stosunkowo szybko twardnieją. Często są stosowane z włóknami szklanymi, a także są używane w rzemiośle i przy tworzeniu biżuterii (rysunek **E**) z powodu ich dostępności i niskiej ceny. Innym powszechnym zastosowaniem żywicy poliestrowej jest toner do drukarki laserowej, w którym żywica jest mieszana z węglem i barwnikiem, a następnie topiona na papierze.

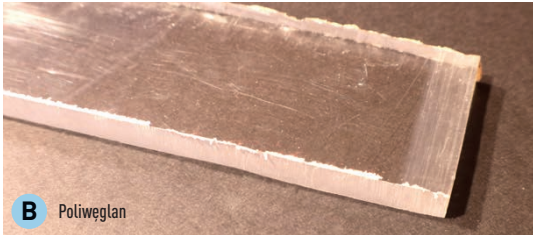
### TERMOPLASTY

Termoplasty są tworzywami sztucznymi, które mogą być ponownie uplastycznione i wytłoczone w nowy kształt. Filament używany w drukarkach 3D jest dobrym przykładem termoplastu. Nylon, PVC, poliwęglan, polietylen, polipropylen i „pleksiglas” — wszystkie są termoplastami. Plasterki tej klasy mogą być wyginane lub formowane w różne kształty poprzez działanie ciepła. Po ostudzeniu tworzywo zachowa swój kształt.

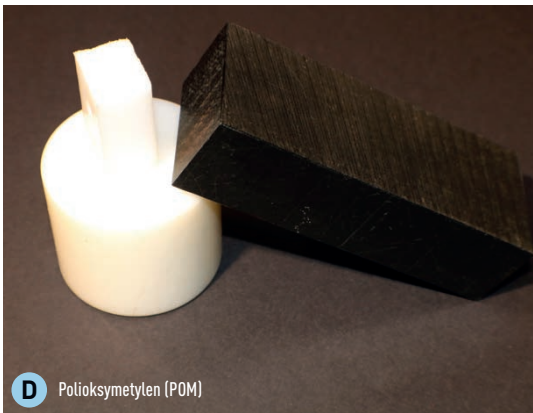
- **Polichlorek winylu (PVC)** — występuje w dwóch podstawowych formach: sztywnej i elastycznej. Rury wodne z PVC są przykładem formy sztywnej (rysunek **F**). Izolacja kabli jest zazwyczaj wykonana z elastycznej formy. PVC jest świetnym materiałem dla majsterkowiczów, gdyż jest całkiem mocny, łatwo dostępny i względnie tani. PVC jest również łatwy do cięcia, wiercenia, szlifowania oraz wyginania (z zastosowaniem odrobiny ciepła). Czytając tę książkę, przekonasz się, że szerokie spektrum projektów może być zbudowane przy użyciu PVC.
- **Żywice epoksydowe** — te żywice są do czterech razy twardsze niż żywice poliestrowe i są odporniejsze na zużycie fizyczne i chemiczne, jak również na działanie wody i innych czynników środowiskowych. Większa



**A** Poli(metakrylan metylu) (PMMA, „pleksiglas”)



**B** Poliwęglan



**D** Polioksymetylen (POM)



**C** Wahacze zdalnie sterowanego samochodu z nylonu



**E** Proteza łąkotki kolana z polietylenu UHMW

wytrzymałość i odporność sprawia, że są droższe, ale szybciej twardnieją i nie wydzielają nieprzyjemnego zapachu jak ich poliestrowi krewni. Z powodu ich doskonałej wytrzymałości i wodoodporności żywice epoksydowe są używane w wielu kompozytach włóknistych, które omówimy w dalszej części tego rozdziału.

- **Poli(metakrylan metylu) (PMMA, „pleksiglas”)** — jest świetnym materiałem używanym, gdy wymagana jest przezierność lub przezroczystość. Arkusze „pleksiglasu” (rysunek **A**) można nabyć w różnych grubościach i formatach, doskonale się nadają na przezroczyste panele. Materiał ten jest też względnie łatwo obrabialny, jednak ma tendencję do pęknięcia. Musisz być ostrożny przy wierceniu lub cięciu „pleksiglasu”, ponieważ może łatwo pęknąć. Po podgrzaniu „pleksiglas” staje się ciągliwy i może być wyginany w dowolne kształty lub być użyty do wtopienia w niego części, takich jak gwintowane wkładki.

- **Poliwęglan** — to naprawdę mocna rzecz. Kuloodporne szyby są zazwyczaj wykonane z poliwęglanu, ponieważ jest bardzo mocny i zarazem przezroczysty. Jest wytrzymałym materiałem, który łatwo ciąć, wiercić w nim lub gwintować, by bezpośrednio wkręcać w niego łączniki. W przeciwieństwie do „pleksiglasu” nie jest kruchy i nie pęka łatwo. Poliwęglan (rysunek **B**) jest zazwyczaj droższy niż „pleksiglas” i nie wygina się łatwo pod działaniem ciepła. Może być kształtowany metodą „gięcia na zimno”, czyli może być wyginany w temperaturze pokojowej przez przegięcie go o większy kąt, niż jest to potrzebne, a materiał będzie sprężynował, ale nie wróci całkowicie do pierwotnej postaci. Przyciemniony poliwęglan jest czasem używany do zatrzymywania wybranych długości fal światła. Na przykład poliwęglan zabarwiony na zielono może zatrzymać szkodliwe światło niebieskie, dlatego jest doskonały na przesłony graweru laserowego lub na szkła ochronne.

Innymi przykładami przedmiotów codziennego użytku wykonanych z poliwęglanu są butelki do wody, płyty CD/DVD i plastikowe naczynia.

- **Nylon** — jest rodziną plastików dostępnych w różnych formach, takich jak arkusze, bloki, pręty, sztangi, nici i filament. Posiada szerokie spektrum zastosowania, od tkanin syntetycznych, do zastosowań konstrukcyjnych (rysunek **C**). Filament nylonowy jest również wykorzystywany do wytwarzania przedmiotów za pomocą drukarek 3D.
- **Polioksymetylen (POM)** — znany jako poliacetal lub Delrin (rysunek **D**) jest wytrzymałym termoplastem, który jest wykorzystywany do precyzyjnych części. POM jest szeroko używany w przemyśle motoryzacyjnym, jak również na łożyska kulkowe, małe koła zębate, łożyski, oprawki okularów i wiązania narciarskie. Polioksymetylen jest zazwyczaj nieprzezroczysty w białym kolorze, ale występuje również w innych kolorach.
- **Polietylen o bardzo dużej masie cząsteczkowej (UHMW)** — ten typ plastiku jest naprawdę fajny. Jest nieprzezroczystym plastikiem, który ma doskonałą trwałość i niski współczynnik tarcia, co czyni go świetnym materiałem na łożyska. W protezie kolana UHMW jest używany na materiał panewki w stawie kolanowym (jako łożysko, jak pokazano na rysunku **E**). Obróbka UHMW może być nieco pokrętna, ponieważ jest on trochę miękkki i gumowaty przy cięciu i wierceniu.
- **Filament do drukarek 3D** — druk 3D stał się powszechny i dostępny majsterkowiczom, zarówno do prototypowania, jak i do końcowych wersji projektów. Spośród wielu rodzajów filamentu 3D najczęściej występujące to:
  - **Poliaktyd [PLA, poli(kwas mlekowy)]** — ma niską temperaturę topnienia i nie wymaga podgrzewanego stołu (niemniej podgrzanie stołu do temperatury 50 – 60°C pomaga). Może zostać wytworzony ze skrobi kukurydzianej lub z trzciny cukrowej, przez co jest biodegradowalny. PLA ma większą gęstość (jest cięższy) niż inne filamenty plastikowe i trudno się wypacza podczas drukowania. Najnowocześniejsze materiały PLA dorównują wytrzymałością tworzywu ABS.
  - **Terpolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy [ABS]** — topi się w wysokiej temperaturze i wymaga podgrzewanego stołu w drukarce. Generalnie ma mniejszą gęstość (jest lżejszy) niż PLA i często wymaga sprawnego chłodzenia i przygotowanego stołu, by pierwsze warstwy się nie wypaczyły, zwłaszcza na dużych powierzchniach. ABS może być trudniejszy do druku niż PLA, ale końcowe produkty będą trwalsze.



**F** Popiersie Nefretete wydrukowane w 3D przy użyciu filamentu z domieszką drewna

- **Niestandardowe** — dzisiejsze filamenty mogą być domieszkowane drewnem (rysunek **F**), metalem lub nawet aramidem/kevlarem. Wyobraź sobie, że możesz wytworzyć coś, co może przewodzić prąd (jak płytka drukowana), lub część, którą można namagnesować bez użycia oddzielnego magnesu. Filamenty z domieszkami włókien kevlarowych lub węglowych dodają wytrzymałości bez używania dodatkowych warstw materiału, termoformowania próżniowego lub innych technik wytwarzania.

Warto pamiętać o tym, że przedmioty drukowane w 3D można pokryć samopoziomującymi żywicami, które wypetnią niedoskonałości na powierzchni druku. Te żywice nadają również wytrzymałość, trwałość i gładką powierzchnię, wymagając lekkiego szlifowania (lub niewymagając go wcale) czy innej obróbki wykańczającej.



**A** Wkład basenowy z włókien szklanych



**B** Tyłne skrzydło samochodu wyścigowego z włókien węglowych



**C** Wojskowa kamizelka kuloodporna z kevlaru

## KOMPOZYTY WZMACNIANE WŁÓKNAMI

Kompozyty wzmacniane włóknami są materiałami wykonanymi z mieszanki włókien (szklanych, aramidowych/kevlarowych czy węglowych) i materiału osnowy (najczęściej żywicy duroplastowej) połączonych w celu zwiększenia wytrzymałości i trwałości. Kombinacja orientacji (ułożenia) włókien i żywicy użytej do ich spojenia wpływa na całościowe właściwości materiału. Generalnie kompozyty wzmacniane włóknami mają wysoki stosunek wytrzymałości do masy, zapewniają dobre tłumienie drgań, zazwyczaj są wodoodporne, odporne na zmęczenie, ekstremalne temperatury, korozję i zużycie.

- **Włókna szklane** — najwięcej kompozytów wzmacnianych włóknami jest wykonanych z włókien szklanych. Włókna szklane są wytwarzane jako pasma i mogą być ze sobą splatane w przędzę lub formowane w tkaninę. Włókno szklane jest cięższe i bardziej elastyczne niż włókno węglowe (następnie najczęściej wykorzystywane włókno). Elastyczność pozwala włóknom szklanym na większą odporność na uderzenia i uszkodzenia przed zniszczeniem. Kompozyty z włókna szklanego mają szerokie zastosowanie: w przemyśle stoczniowym, lotniczym i motoryzacyjnym, a nawet w przydomowych basenach (rysunek **A**).
- **Włókna węglowe** — włókna węglowe również są powszechnie wykorzystywane w kompozytach wzmacnianych włóknami, jednak są one droższe. Są wykonywane jako ciągłe pasma, które mogą być formowane w taśmy lub w tkaninę, i są powszechnie wykorzystywane w zastosowaniach o wysokiej wydajności, takich jak samochody wyścigowe, samoloty czy statki kosmiczne. Włókna węglowe zapewniają wysoką wytrzymałość i sztywność, a także mają niski współczynnik rozszerzalności cieplnej. Są mocniejsze niż włókna szklane i aramidowe (opisane poniżej), ale są również mniej odporne na zniszczenie wskutek uderzenia (rysunek **B**).
- **Włókna aramidowe** — kompozyty z włóknem aramidowym, znane jako kevlar, są powszechnie używane w produkcji wojskowych pancerzy i środków ochrony osobistej (rysunek **C**). Włókna aramidowe mają świetną odporność na uderzenia i względnie dobrą elastyczność, co czyni je idealnym materiałem ochronnym.

## MATERIAŁY PIANKOWE

Materiały piankowe są dla majsterkowiczów bardzo użyteczne, ponieważ pianka jest lekka, zapewnia dobrą strukturę wewnętrzną i jest relatywnie tania. Pianka jest łatwa do obrobienia i nadania jej skomplikowanych kształtów,



których wykonanie w przypadku drewna lub metalu byłoby trudne. Konstrukcje wykonane z piankowego rdzenia i kompozytowej wzmacniającej „skóry” dorównują metalom pod względem stosunku wytrzymałości do masy i **stosunku sztywności do masy** (tj. modułu właściwego). Skrzydła lekkich samolotów, które muszą być bardzo lekkie, mocne i wytrzymałe, są zazwyczaj w ten sposób wykonane, by zredukować ciężar bez utraty właściwości wytrzymałościowych.

Majsterkowicze zazwyczaj używają sztywnych materiałów piankowych, chociaż są inne typy pianek, jak miękka, gąbczasta pianka używana w poduszkach czy siedziskach foteli. Głównymi typami sztywnej pianki, które przydają się większości majsterkowiczów (a czasem bywają niezastąpione) w ich projektach, są styropian, niebieska lub różowa pianka, płyty piankowo-kartonowe i pianka dwuskładnikowa.

● **Styropian** — jest wykonany z wielu matych (od 1,5 do 4 mm) kuleczek z polistyrenu, które podgrzano i sprasowano w wielkie arkusze. Pod względem objętości składa się w większości z powietrza, więc jest lekki, ale nie jest sztywny. Styropian jest świetnym materiałem, gdy liczy się ciężar, na przykład przy budowie modelu samolotu. Rysunek **D** przedstawia mały, bardzo lekki szybowiec, który w całości jest wykonany ze styropianu. Ten typ pianki może być również użyty jako materiał rdzenia, który może być pokryty lub powleczony innym materiałem, takim jak drewno lub włókno szklane, gdy chce się wykonać bardzo sztywną, lekką konstrukcję. W niektórych zdalnie sterowanych samolotach używa się pianki jako rdzenia w konstrukcji ich skrzydeł. Styropian jest najtańszym rodzajem pianki, jaki wykorzystują majsterkowicze, jednak jego kształtowanie metodami szlifowania czy strugania może sprawiać trudności. Dzięki granularnej, kulkowej strukturze, która jest podstawą budowy styropianu, ma on tendencję do kruszenia się przy próbach strugania czy szlifowania. Jednak ten typ pianki może być z łatwością cięty i formowany za pomocą narzędzia do cięcia gorącym drutem. **Gorący drut** (rysunek **E**) jest zwykłym drutem rozpiętym na tuku z izolacyjnego materiału, podgrzewanym przez przepływający przez niego prąd. Gorący drut wycina lub nadaje kształt piance, topiąc ją w ścisłej bliskości drutu, gdy drut wcina się w piankę. W serwisie YouTube na kanale FliteTest dostępny jest film wyjaśniający działanie gorącego drutu i sposób jego użycia. Łącze do filmu: <https://www.youtube.com/watch?v=fi3CAtpvJJs>.



**D** Szybowiec wykonany ze styropianu

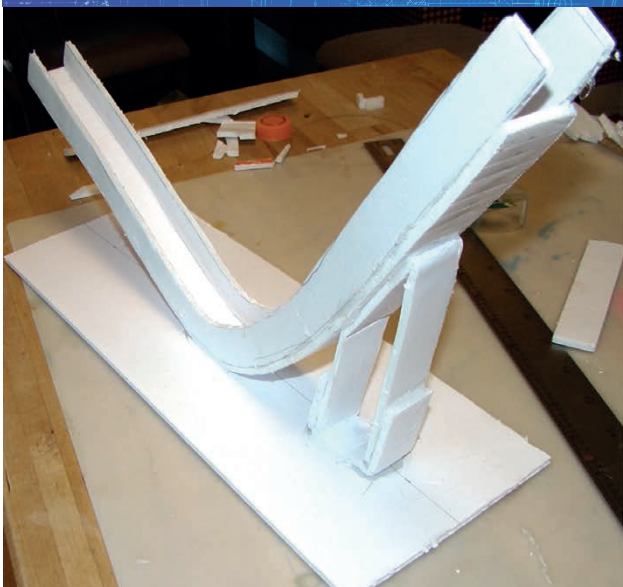


**E** Narzędzie do cięcia gorącym drutem



**F** Rdzeń kadłuba poduszkowca wykonany z „niebieskiej pianki”

● **Styrodur** — pianka niebieska i różowa to właściwie ten sam materiał (różne kolory są oferowane przez różnych producentów), ale zazwyczaj mówi się o nich styrodur, „niebieska pianka” lub XPS (ang. *extruded polystyrene* — polistyren ekstrudowany). W konstrukcjach najczęściej jest używana jako materiał izolacyjny. Niebieska pianka jest formowana w procesie ekstruzji, w którym wytwarza się wiele ciasno opakowanych pasm włókien polistyrenowych, czego rezul-



**A** Rampa i spirala toru dla kuleczek wykonane z płyt piankowo-kartonowych



**B** Rozdęta i wyschnięta pianka dwuskładnikowa

tatem jest materiał gęstszy od styropianu. Biorąc pod uwagę zwiększoną gęstość, styrodur jest znacznie cięższy, ale też jednocześnie sztywniejszy niż styropian. Styrodur może być cięty gorącym drutem, chociaż ze względu na jego strukturę może być kształtowany innymi metodami, jak szlifowanie czy struganie. Z tego powodu styrodur jest dobrym wyborem przy tworzeniu bardziej skomplikowanych kształtów. Rysunek **F** pokazuje rdzeń kadłuba projektu poduszki, wykonany z różowej wersji pianki tego typu.

- Płyty piankowo-kartonowe** — płyty piankowo-kartonowe, czasem zwane płytami z rdzeniem z pianki, występują w formie cienkich arkuszy pianki pokrytych z obu stron grubym papierem. Są dobrym przykładem laminatu: materiału złożonego z różnych warstw sczepionych lub sklejonych razem. Płyty są dostępne w różnych grubościach, z których najpopularniejsze to 3 mm, 5 mm i 10 mm. Płyty piankowo-kartonowe można łatwo ciąć nożykiem do papieru, żyłką czy też gorącym drutem. Jest użytecznym materiałem do prototypowania i modelowania struktur w skali, na przykład makiet architektonicznych. Rysunek **A** przedstawia dwie części projektu toru dla kuleczek wykonanego z płyt piankowo-kartonowych. Tor dla kuleczek jest serią tras i innych elementów, które prowadzą kuleczkę z punktu startowego do mety. Konstrukcja po lewej to rampa. Konstrukcja po prawej to tor spiralny.
- Pianka dwuskładnikowa** (rysunek **B**) — pianka dwuskładnikowa jest wykonana z poliuretanu (PU). Ten typ pianki tworzy się z połączenia dwóch płynów, które po zmieszaniu wchodzi w reakcję chemiczną i rozprężają się jako materiał piankowy. Pianka dwuskładnikowa może być sztywna lub elastyczna, w zależności od jej składu. W przeciwieństwie do typów pianek opisanych powyżej pianki dwuskładnikowe mogą być odlewane lub wytłaczane w celu formowania konkretnych kształtów. Te pianki mogą również być kształtowane przez struganie, szlifowanie lub cięcie nożem czy gorącym drutem.

## Warto pamiętać: przy pracy z materiałami

Często rozmawiamy o bezpieczeństwie w pracy z narzędziami. Ale powinniśmy być także ostrożni przy pracy z konkretnymi materiałami. Najczęściej, gdy pracujesz z materiałem, który ma ostre krawędzie, jak arkusz metalu, szkła lub włókna szklanego, prawdopodobnie pamiętasz o założeniu rękawic. A okulary ochronne są zawsze konieczne przy cięciu materiałów. Jednak są pewne nieoczywiste obszary bezpieczeństwa, które należy wziąć pod uwagę:

- **Prasowane drewno** — jest wspaniałym, niedrogim i wytrzymałym materiałem do obróbki, ale chemikalia w nim zawarte, które sprawiają, że jest odporny na próchnienie i owady, mogą być szkodliwe też dla Ciebie. Przez ostatnie lata zakazywano kilku różnych typów chemikaliów do prasowania, zawierających najbardziej szkodliwe trucizny (włączając w to arsen). Najlepiej jednak traktować prasowane drewno w ten sam, podany poniżej sposób, zwłaszcza jeśli nie kupujesz go sam i nie wiesz, jakie chemikalia zawiera.
  - Zakładaj maskę przeciwpyłową podczas cięcia prasowanego drewna, by zapobiec wdychaniu trującego pyłu.
  - Nie pal prasowanego drewna (zwłaszcza w ognisku lub na ogniu do gotowania), ponieważ spalanie uwalnia substancje chemiczne do powietrza.
  - Wyciągnij drzazgi najszybciej jak to możliwe, gdyż mogą podrażnić Twoją skórę. Jeszcze lepiej będzie, jeśli założysz rękawice do pracy z tym materiałem, by zapobiec wbijaniu drzazg.
- **Tworzywa sztuczne i pianki** — te materiały występują pod różnymi postaciami, więc najlepiej jest zachowywać wskazania dotyczące pracy nad konkretnym materiałem. Generalnie postępuj według podanych poniżej zasad.
  - Nie spalaj plastików i pianek, gdyż dym z ich spalania jest toksyczny, nie wspominając o jego złym wpływie na środowisko.
  - Jeśli podgrzewasz tworzywo sztuczne, by je uformować, rób to w dobrze wentylowanym pomieszczeniu. Załóż maskę ochronną, by uniknąć wdychania oparów. Tych środków ostrożności powinniśmy również przestrzegać przy cięciu gorącym drutem.

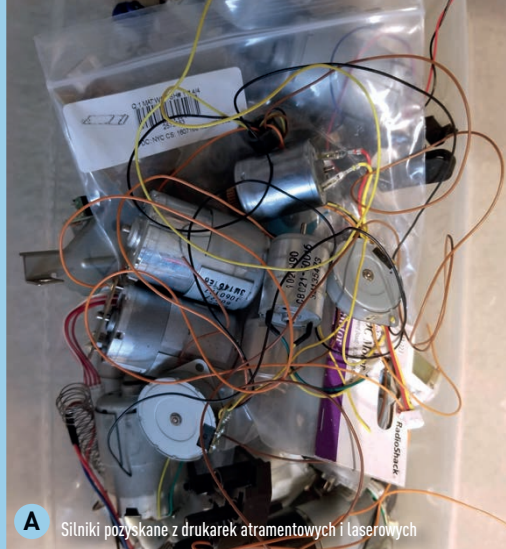
- Musisz wiedzieć, że niektóre plastiki bardzo szybko zmieniają stan skupienia z miękkiego ciała stałego do cieczy przy ich podgrzewaniu, przez co możesz przypadkowo utworzyć katużę stopionego materiału pod Twoim obszarem roboczym. Zachowaj ostrożność i zastosuj środki ochrony na taką ewentualność. Na przykład noszenie sandałów w takiej sytuacji jest dobrym pomysłem!
- **MDF** — jak wcześniej opisano, płyta pilśniowa średniej gęstości z włókien drzewnych jest tanim i uniwersalnym materiałem, jednak często jest wykonana z użyciem spoiwa na bazie formaldehydu, więc powinniśmy zadbać o ochronę przed nim.
  - Jedną z najbardziej uciążliwych właściwości płyty MDF jest pył powstający podczas cięcia. Ten pył jest ekstremalnie drobny i wchodzi w każdą szczelinę. Zakładaj maskę przeciwpyłową za każdym razem, gdy tniesz MDF, nawet gdy robisz to na zewnątrz.
  - Nie spalaj płyt MDF, ponieważ chemikalia zawarte w spoiwie mogą być toksyczne.
- **Włókno szklane i włókno węglowe** — mimo że są to wspaniałe materiały, to wiążą się z nimi pewnie niebezpieczeństwa.
  - Zawsze zakładaj rękawice przy pracy z nimi. Małe włókna mogą łatwo zamienić się w drzazgi.
  - Jeśli planujesz ciąć materiały włókniste, zakładaj maskę przeciwpyłową, by zapobiec wdychaniu fragmentów włókna zawieszonych w powietrzu.
  - Wiele żywic epoksydowych używanych jako osnowy do kompozytów włóknistych, zwłaszcza żywica poliestrowa używana z włóknem szklanym, emituje toksyczne opary, więc zakładaj maskę ochronną, by zapobiec ich wdychaniu.
- **Stara farba** — był taki czas, gdy typowe farby używane w domach zawierały ołów. Gdy ryzyko dla zdrowia związane z ołowiem zostało lepiej zrozumiane, w 1987 roku zakazano użycia ołowiu jako dodatku do farb. Ponowne używanie materiałów to spora część majsterkowania, więc jeśli używasz malowanego drewna, które jest datowane na lata przed zakazem, unikaj jego cięcia, skrobienia i szlifowania bez maski przeciwpyłowej. Ani go nie spalaj. Jeśli nie jesteś pewien, to dla własnego bezpieczeństwa załóż, że malowane drewno zawiera ołów.  
— John Manly

## Warto pamiętać: komponenty i przerabianie materiałów

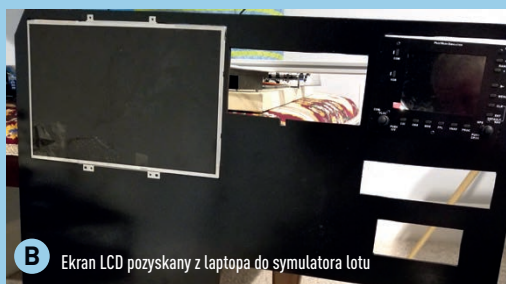
Komponenty są prefabrykowanymi przedmiotami, takimi jak łożyska, skrzynie biegów, rolki bloczków i gotowe ramy, które możesz wykorzystywać w swoim projekcie w stanie, w jakim są. Można je również przerobić, by wykorzystać inne sposoby ich użycia. Ich oryginalne przeznaczenie może być kompletnie niezwiązane z potrzebami Twojego projektu, ale dlaczego by nie wykorzystać ponownie czegoś, co już jest dostępne?

Nie wyobrażasz sobie, ile łączników (wkrętów, nakrętek, śrub, podkładek) i sprężyn zawiera drukarka atramentowa, nie wspominając o silniczkach! Jeśli rozbierzesz starą drukarkę, będziesz bogatszy o kilka małych torebek z wkrętami Torx, wkrętami z gniazdem krzyżowym, wkrętami z łbem stożkowym, wkrętami z łbem płaskim, wkrętami samogwintującymi (rysunek **A**)... a lista się wydłuża. Nieskończona liczba robotów powstała dzięki silniczkom z zepsutych zabawek lub z dysków twardych, które wyzionęły ducha. Do czego użyjesz tych części, zależy tylko od Ciebie.

Czasem odzyskana część jest tak właściwie całym układem. Na przykład Samer ma zwyczaj rozbierania starych laptopów i ponownego wykorzystania ekranów LCD jako monitory do układów wbudowanych (rysunek **B**). Łapie się często na wykorzystywaniu materiałów z różnych źródeł jako osłony, a zasilacz od laptopa służy na końcu jako zasilanie tego samego ekranu, który był w tym laptopie.



**A** Silniki pozyskane z drukarek atramentowych i laserowych



**B** Ekran LCD pozyskany z laptopa do symulatora lotu

By zobaczyć przykład rozbierania i pozyskiwania części, zwłaszcza z drukarek laserowych, odwiedź Instructables na stronie <https://www.instructables.com/Harvesting-parts-from-a-Laser-Printer/>.

## Przykłady kształtów materiału

### SKUPMY SIĘ NA METALACH

Materiały (włącznie z drewnem, metalem, szkłem i plastikiem) są dostępne w różnych rozmiarach i kształtach (pręt, sztangą, rury, arkusze itd.) i znajdują bardzo szerokie pole zastosowań. Oto przykłady różnych kształtów materiałów metalowych.

- **Arkusze blachy** — arkusze metalowej blachy są zazwyczaj cieńsze niż 5 mm i są sprzedawane w płaskich arkuszach lub w rolkach. Cieńsze arkusze mogą być zrolowane, grubsze natomiast nie (rysunek **C**).
- **Płyta** — metalowe płyty, podobnie jak blacha, występują w formie arkuszy, jednak mają grubość 5 mm i więcej (rysunek **D**). Metalowa płyta może być docięta i wykorzystana na ramę, wstawki wzmacniające i inne elementy konstrukcyjne.



**C** Arkusze metalowej blachy



**D** Metalowe płyty



**E** Metalowe sztangy

- **Sztangi** — sztanga to ogólna kategoria kształtu. Są to podłużne bryły metalu dostępne w różnych kształtach przekroju: okrągłym, kwadratowym, prostokątnym i sześciokątnym (rysunek **E**). Można je nabyć w różnych rozmiarach i długościach. Okrągła sztanga jest też nazywana metalowym prętem, a niektóre pręty są gwintowane.
- **Profile zamknięte** — są to podłużne elementy puste w środku, dostępne w wielu kształtach przekroju, na przykład okrągłym, kwadratowym czy prostokątnym (rysunek **F**). Można je zdobyć w różnych rozmiarach i grubościach ścianki. Okrągłe profile metalowe nazywane są też rurami.
- **Ekstrudowane profile aluminiowe T-slot** — pojęcie ekstruzji jest zazwyczaj stosowane w opisie procesu nadawania materiałowi określonego kształtu. Jednak na potrzeby naszych zastosowań ekstruzja będzie się odnosiła konkretnie do ekstrudowanego aluminium T-slot. Mimo że aluminium ekstrudowane występuje w wielu formach, profile T-slot są najpopularniejsze (pokazano je na rysunku **G**). Aluminiowe profile ekstrudowane T-slot są niezwykle mocne jak na swój ciężar. Przekrój poprzeczny profilu T-slot pokazuje ścieżki w kształcie litery T, które można wykorzystać wraz ze specjalnymi nakrętkami do T-slotów i śrubami do łączenia ze sobą profili lub przykręcania do nich różnych przedmiotów.



**F** Profile zamknięte



**G** Ekstrudowane profile aluminiowe T-slot

## Warto pamiętać: jak oznacza się profil zamknięty okrągły i rurę

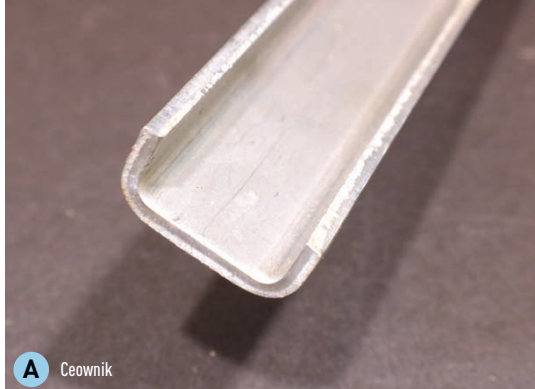
Pomimo że zarówno profil okrągły, jak i rura są okrągłymi, pustymi w środku elementami, to są przeznaczone do innych celów, dlatego oznaczane są w różny sposób.

Profile okrągłe są zazwyczaj stosowane jako elementy konstrukcyjne, więc ich średnica zewnętrzna jest istotnym wymiarem. Dlatego profile okrągłe są oznaczane jako średnica zewnętrzna i grubość ścianki, na przykład 30×3 (wymiary w milimetrach). Aby nie było za łatwo, grubość ścianki może być również określona jako „miara” (ang. *gauge*), którą można odczytać z tabel odniesienia miar. Nasz przykładowy profil może więc być oznaczony jako 30 mm średnicy zewnętrznej × miara 11, ponieważ miara 11 odpowiada około 3 mm.

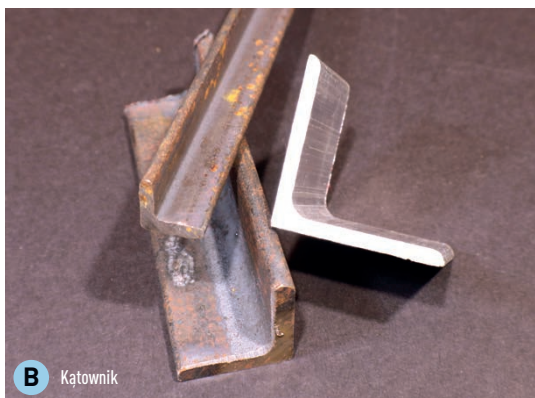
Rura jest zazwyczaj wykorzystywana jako naczynie do przesyłu gazów i cieczy, więc istotna jest objętość rury. Dlatego rura jest oznaczana przez średnicę wewnętrzną i grubość ścianki. Wymiarowana średnica wewnętrzna jest średnią wewnętrzną średnicą mieszczącą się w polu tolerancji rury i jest również określana jako nominalny wymiar rury (ang. *NPS — nominal pipe size*). (Mimo że majsterkowicze rzadko używają grubych rur, należy wiedzieć, że nominalny wymiar rur o średnicy większej niż 12 cali odnosi się do średnicy zewnętrznej).

Grubość ścianki rury jest częściej określana „klasą” (ang. *schedule*) niż miarą. Większość rur w typowym sklepie z materiałami budowlanymi ma klasę 40, która dla rury 1-calowej wynosi 3,38 mm. Czasami możesz znaleźć rurę klasy 80, która dla rury o średnicy 1 cala będzie miała grubość ścianki 4,55 mm. Klasa 80 jest przeznaczona do sytuacji, gdzie mamy do czynienia z wysokim ciśnieniem.

Oto przykład tego, jak klasa może wpływać na wymiary wewnętrzne rury. Rura z PVC o nominalnym wymiarze 1 cala klasy 40 ma teoretycznie średnicę wewnętrzną 1,049 cala, podczas gdy 1-calowa rura z PVC klasy 80 ma teoretycznie średnicę wewnętrzną 0,957 cala. Objętość tych rur nieco się różni, chociaż ich średnica zewnętrzna jest taka sama dla obu (1,315 cala). Średnica zewnętrzna jest dlatego taka sama (nieważne, jakiej klasy), aby można było dopasować rurę wewnątrz króćców złączek, które geometrycznie mają ten sam rozmiar (nawet jeśli złączki klasy 80 mają grubsze ścianki).

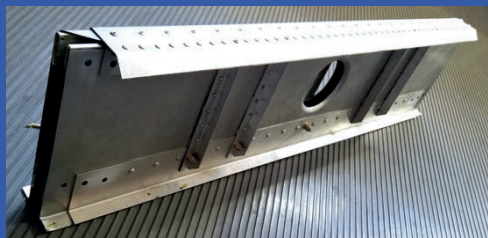


**A** Ceownik



**B** Kątownik

Dwuteowniki i ceowniki są bardzo powszechnymi elementami konstrukcyjnymi. W branży konstrukcji stalowych można je znaleźć wszędzie, w każdym budynku podtrzymują podłogi i sufity. Dwuteownik (przedstawiony poniżej) jest po prostu kawałkiem materiału, którego przekrój poprzeczny wyglądem przypomina dwie połączone litery T (lub jedną literę H). Ten kształt zapewnia wysoką wytrzymałość na obciążenia zginające przyłożone na dowolnym końcu belki. Ceownik to właściwie dwuteownik przecięty przez środek przekroju poprzecznego w taki sposób, że jego przekrój wygląda jak litera C.



Dźwigar skrzydła wykonany z płaskowników, wygiętych i nitowanych w taki sposób, by utworzyć dwa ceowniki połączone ze sobą „plecami”

● **Kształtowniki** — kształtowniki w wydajny sposób rozmieszczają geometrycznie materiał, by wytrzymać obciążenie, zachowując przy tym jak najmniejszy ciężar. Różne kształty przekroju poprzecznego są zaprojektowane do różnych typów obciążeń. Niektóre kształty są przeznaczone do przenoszenia głównie zginania, podczas gdy inne przenoszą głównie skręcanie. Te kształty są również zaprojektowane w taki sposób, by zapewnić ich wygodny montaż z różnych stron elementu. Dwa powszechne przykłady kształtowników to ceownik (rysunek **A**) i kątownik (rysunek **B**).

## Ochrona przed czynnikami środowiskowymi

Czynniki środowiskowe, na które narażone są Twoje materiały, muszą również być brane pod uwagę, by zapewnić pomyślne działanie Twojego projektu przez długi czas. Jeśli konstrukcja jest wykonana ze stali węglowej, musisz odpowiednio pomalować stal, by była odporna na działanie środowiska. (Pamiętaj, że wywiercone otwory również powinny być pomalowane lub zabezpieczone przed korozją farbą podkładową, by nie było nieostoiętego metalu). Drewno nieprasowane powinno być zabezpieczone przed działaniem żywołów. Niektóre tworzywa sztuczne stają się bardzo kruche pod wpływem kwaśnych deszczów lub promieni ultrafioletowych.

## Dostępność narzędzi

Generalnie dobieraj materiały na podstawie dostępnych Ci narzędzi lub takich, które zamierzasz nabyć lub mieć do nich dostęp. Jednak nie czuj się ograniczony do wyboru materiałów tylko dlatego, że nie masz narzędzi lub doświadczenia w pracy z nimi. Poszukaj w sieci otwartych warsztatów, hackerspace'ów, fab lab'ów, wypożyczalni narzędzi i społeczności w Twojej okolicy, gdzie mógłbyś uzyskać dostęp do narzędzi, jak i ludzi, którzy mogliby Cię nauczyć, jak się ich używa. Pomyśl o swoim nowym projekcie jako o okazji do nauczenia się radzenia sobie z nowymi materiałami czy używania nowych narzędzi.

## Dostępność materiałów

Zawsze bierz pod uwagę, ile masz dostępnego materiału na projekt. Jeśli potrzebujesz więcej materiału do ukończenia swojego projektu, upewnij się, że zdobędziesz go, ZANIM go będziesz potrzebował. Unikaj sytuacji, w których Twój projekt utknie na długie tygodnie z powodu oczekiwania na dodatkowy materiał.



**C** Rama „czołgu dla dorosłego” wykorzystana ponownie jako rama pojazdu terenowego

Większość surowców, z jakimi będziesz pracował przy majsterkowaniu, jest dostępna w marketach i lokalnych sklepach z materiałami. Jeśli możesz trochę poczekać, materiały zamów online. Jednak istnieją inne źródła materiałów na projekty. Oto kilka sugestii.

### PONOWNE WYKORZYSTANIE MATERIAŁÓW

Majsterkowiczów i zawodowych inżynierów łączy potrzeba oszczędzania. Przy doborze materiałów na projekt weź pod uwagę to, co najlepiej odpowiada Twoim potrzebom w ramach planowanej funkcjonalności i ograniczeń działania Twojego projektu, jak również dostępność i koszt potencjalnych materiałów. Następnym razem podczas spaceru po lokalnym markecie budowlanym zwróć uwagę na materiały na wystawie — płyty, metale, rury PVC — z myślą o ich wykorzystaniu w obecnym i przyszłych projektach. Zanim jednak rzucisz się w zakupowym szale na nowe materiały, pomyśl o tych, które już możesz mieć. Możesz zaoszczędzić mnóstwo pieniędzy, jeśli kreatywnie wykorzystasz ponownie rzeczy, które Ci zalegają w domu lub warsztacie. Poza oszczędnością pieniędzy:

- **Zaoszczędzisz czas** — oszczędź sobie wycieczki do marketu budowlanego i zdobądź części już teraz! Jeśli masz już materiały, nie potrzebujesz czasu na ich nabycie. Nawet jeśli nie są dokładnie tym, czego potrzebujesz, możesz przy minimalnym wysiłku zaadaptować do swoich potrzeb coś, co już masz.

- **Wytworzysz mniej odpadów** — przyznaj nam rację w tym, że ponowne wykorzystywanie jest FAJNE! Zmniejszanie ilości śmieci zawsze jest dobrym pomysłem, więc nawet jeśli przedmiot nadaje się do recyklingu, a nie musisz go wykorzystywać od razu, zachowaj go do użycia w przyszłości.
- **Zwolnisz miejsce** — staramy się jak najbardziej wykorzystać materiał, który już mamy pod ręką, po prostu po to, by zrobić więcej miejsca w garażu!

Zawsze staramy się pozyskać części i surowce z poprzednich projektów. Na przykład rama pierwotnie użyta w „czołgu dla dorosłego”, wykonana z drewna, została wykorzystana na ramę pojazdu terenowego/„monsterkarta”, gdy rama czołgu została przerobiona na w pełni metalową (rysunek **C**).

Majsterkowicze zazwyczaj wykorzystują ponownie materiały, które po prostu naokoło zalegają. Oto przykłady przedmiotów, które uznaliśmy za szczególnie przydatne:

- **Zawiasy do drzwi** — używamy ich w projektach do obracania się części. Jeśli potrzebujesz czegoś, co się składa, nie ma nic prostszego niż użycie zwykłych zawiasów do drzwi lub drzwiczek szafki.
- **Części komputerowe** — obudowy nieużywanych komputerów są często wykonane ze stali, a panele boczne są bardzo użytecznym materiałem. Zazwyczaj odcinamy zagięcia i odstające części i wykorzystujemy pozostałą płaską część. Szyny do szaf serwerowych, które są

## Warto wiedzieć: „zbieractwo”

Wiele otwartych warsztatów organizuje wydarzenia „rozbiórkowe”. Demontowanie starych komponentów i maszyn jest dobrym sposobem na nauczenie się, jak coś działa, ale również jest dobrym sposobem na pozyskanie części do przyszłych projektów. Najwięcej pozyskujemy z elektronicznych komponentów (wyświetlacze LCD, lasery lub silniki z napędów DVD), ale pozyskujemy również pręty z utwardzonej stali (drukarki atramentowe i laserowe dostarczają świetnych materiałów), łożyska, koła zębate, które na pewno będą ze sobą pasowały (i do wspomnianych prętów), przetaczniki, tafle szkła, a nawet tworzywo ABS, które możesz, jeśli jesteś skłonny to zrobić, potamać na drobne kawałki, nadtopić i wycisnąć, by wytworzyć filament do Twojej drukarki 3D. Nie gromadź bezużytecznego złomu, bądź wybiórczy przy tym, co zachowasz, ale wykorzystaj cenne materiały ze starych komponentów.

Są też inne formy „zbieractwa”! Wszystko wykonane z tworzywa ABS może być potamane na małe kawałki i załadowane do czegoś w rodzaju „filastrudera” lub innego ekstrudera filamentu, byś mógł wytworzyć swój własny filament do drukarki 3D. Nie próbuj jednak odlewać ABS, jest lepiej przystosowany do wtryskiwania do form. Przy próbie odlewania może się zapalić.

Na koniec bardziej ekstremalna forma „zbieractwa” może być reprezentowana przez zwyczaj naszego przyjaciela, polegający na tworzeniu aluminiowych wlewków z puszek (jak pokazano poniżej). Zbiera puszki po napojach konsumowanych przez jego rodzinę i przyjaciół, a następnie topi je, tworząc wlewki odlewane do foremek na babeczki. Te metalowe wlewki mogą być topione ponownie i odlewane w dowolne użyteczne kształty. Według niego potrzeba około 150 puszek, by wytworzyć pojedynczy wlewek rozmiaru babeczki, a każda puszka składa się w około 50% z farby (według masy). To jest dopiero ekstremalne „zbieractwo”!



Stos aluminiowych wlewków z puszek po napojach, odlanych w formach do babeczek



**A** Szyny do szaf serwerowych tworzące ceownik do późniejszego wykorzystania jako element konstrukcyjny

właściwie stalowymi kątownikami, mogą być użyte na elementy składowe większych konstrukcji. Na rysunku **A** dwie szyny zostały ze sobą skręcone, by utworzyć ceownik. Niektóre obudowy komputera są wystarczająco solidne same w sobie, by posłużyć jako rama z pustą przestrzenią w środku na poprowadzenie kabli lub do przechowywania baterii i innych drobnych części.

- *Drewno z ulepszonych projektów* — ulepszanie projektów zazwyczaj skutkuje zbędnym drewnem, z którego większość przeznaczona jest do wyrzucenia. Pozyskaj elementy z tego drewna, kiedy tylko się da. Na przykład odzyskane sosnowe kantówki o wymiarach 5 cm × 10 cm × 2,4 m wykorzystano w projekcie „czotgu dla dorosłego” jako mocowanie układu napędowego. Wystarczyło wyciągnąć parę gwoździ i odciąć popękane końce.

Rozejrzyj się! Może masz jakieś pozostałości i proste części w garażu lub w piwnicy, które mogłyby posłużyć jako baza pod nowy projekt?

## Lista materiałów na „czotgu dla brzdąca” Briana

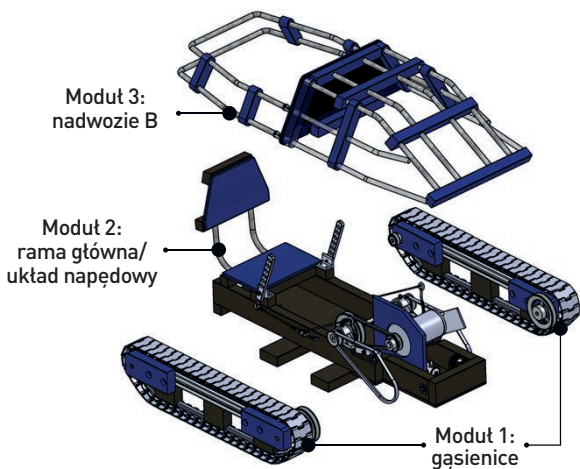
By podsumować i rozbić proces doboru materiałów na pojedyncze kroki, przejdźmy przez elementy tworzące „czotgu dla brzdąca” opisany w rozdziale 1. Spójrzmy na każdy z modułów (rysunek **B**) pod względem użytego materiału i powodów, dla których Brian ich użył. Jak wkrótce zauważysz, większość materiałów używanych w czotgu jest powszechna, tania i łatwo dostępna (z paroma wyjątkami).

„Czotgu dla brzdąca” jest doskonałym przykładem doboru materiałów „w stylu majsterkowicza”. Użyte materiały obejmują wykorzystane ponownie części, przez zakupione surowce, aż po części z rozbiórki i z odzysku. Pamiętajmy, że czotgu jest podzielony na trzy główne podzłożenia lub moduły. Moduły są następujące:

- *Moduł 1* — gaśnienie.
- *Moduł 2* — rama główna/układ napędowy.
- *Moduł 3* — nadwozie.

Przy konkretyzowaniu, projektowaniu i budowaniu „czotgu dla brzdąca” Brian zaczął od gaśnienia. W zasadzie to zdobycie właściwego materiału na gaśnienie zrodziło w nim pomysł na zbudowanie czotgu.



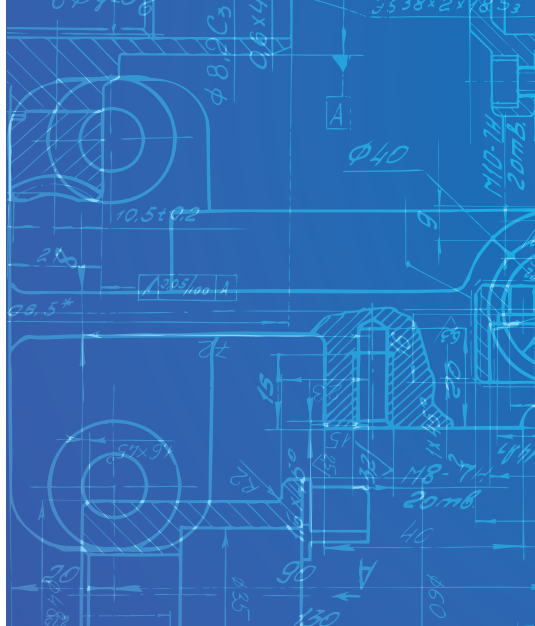


Moduł 3:  
nadwozie B

Moduł 2:  
rama główna/  
układ napędowy

Moduł 1:  
gąsienice

**B** Moduły „czołgu dla brzdąca”



**C** Kontenery na odpady do recyklingu



**D** Część rolki tańcucha przenośnika do butelek (inspiracja „czołgu dla brzdąca”)

Brian pracuje dla przedsiębiorstwa zajmującego się budową i sprzedażą nowego sprzętu pakującego oraz przebudową starych, zużytych lub dawnych maszyn pakujących. Po przebudowie sprzęt jest jak nowy, a w niektórych przypadkach lepszy niż nowy. Przy przebudowie maszyn wiele komponentów mechanicznych i elektrycznych wymienia się, a stare części są wyrzucane lub umieszczane w wielkich metalowych pojemnikach na odpady do recyklingu (rysunek **C**).

Te pojemniki to prawdziwa skrzynia skarbów z materiałami, a Brian był znany z tego, że dostownie nurkował w tych pojemnikach od czasu do czasu. Jednak jeśli chodzi o czołg, nie musiał grzebać w kontenerach po materiał na

gąsienice: jego współpracownik, znając entuzjazm Briana do dębienia i majsterkowania, powiedział: „Mam dla ciebie coś ciekawego. Nie mam pojęcia, do czego mógłbyś tego użyć, ale jestem pewien, że coś wymyślisz”.

Po przejściu z nim z części biurowej do części produkcyjnej, z tyłu fabryki, Brian znalazł około 9 m tańcucha z przenośnika do butelek o szerokości 8 cm z przebudowanej maszyny, zwiniętego w rolkę i przeznaczonego do recyklingu. Łańcuch do przenośnika butelek (rysunek **D**) jest wykonany ze sztywnych plastikowych ogniw i jest używany typowo w liniach butelkujących lub pakujących. Służy do transportowania butelek, na przykład do napojów gazowanych lub piwa.

## Warto pamiętać: zdobywanie materiałów

Jest kilka ważnych lekcji dla majsterkowicza, związanych ze zdobywaniem materiałów i komponentów, które mogą być przydatne dla Twoich projektów. Pierwsza z nich: daj znać innym, że jesteś majsterkowiczem. Rozmawiaj z ludźmi. Powiedz im, nad czym pracujesz lub co zamierzasz zbudować. Gdy ludzie dowiedzą się tego, automatycznie pomyślą o Tobie, kiedy zobaczą materiały lub komponenty, które można wykorzystać w jakimś projekcie.

Druga lekcja jest taka, by nie bać się zanurkować w śmietniku. (Tylko najpierw zdobądź pozwolenie od właściciela śmietnika). Miej oczy otwarte i wykorzystuj nadarżające się okazje do zdobycia materiałów. Często będzie tak, że znalezione lub podarowane materiały zainspirują Cię do myślenia o nowych projektach, a nie na odwrót!



**A** Gąsienice „czołgu dla brzdąca”



**B** Napinanie gąsienicy

Myśli Briana natychmiast przeszły w tryb rasowego majsterkowicza. Wymyślał rzeczy, które mógł zbudować z wykorzystaniem łańcucha. Szybko stało się jasne, że łańcuch będzie świetnym rozwiązaniem na materiał gąsienic matego czołgu. Wtedy narodziła się koncepcja „czołgu dla brzdąca”: Brian zdecydował, że nie zbuduje pociągu, ale użyje jak najwięcej komponentów przygotowanych do budowy pociągu, by wykorzystać je przy budowie czołgu.

Mimo że to kluczowy komponent modułu 1 (rysunek **A**), sam łańcuch to nie jedyna część składowa modułu gąsienic. Łańcuch musi mieć konstrukcję, która będzie go podtrzymywać, oraz coś, co go napędzi.

Centralnym elementem konstrukcji wsporczej jest jej „rdzeń”. Wiedząc, że ten rdzeń musi być bardzo mocny, względnie lekki i pozwalający na łatwe mocowanie do niego innych elementów, Brian szybko wybrał aluminiowe profile T-slot jako najlepszy materiał. Ekstrudowane aluminium T-slot jest ekstremalnie mocne jak na swój ciężar, a sloty T bardzo utatwiają montowanie do niego innych części, zwłaszcza tych, które będą musiały być przesuwane wzdłuż osi tych profili. Przy rdzeniu gąsienic był to bardzo przydatny aspekt tego materiału. Napinanie gąsienic czołgu realizowano po prostu przez przesuwanie końca z zespołem łożyskowym i kołem łańcuchowym wzdłuż rdzenia w slotach T (rysunek **B**).

Następnym wyzwaniem było określenie, jak podeprzeć łańcuch, a przez to cały ciężar czołgu i prowadzącego. Projekt czołgu miał być od początku tak prosty, jak to możliwe, więc skomplikowany układ zawieszenia i kół do podparcia łańcucha gąsienic nie wchodził w grę. Materiał na podparcie miał być wystarczająco sztywny do wspierania łańcucha na całej długości jego kontaktu z podłożem, umożliwiając jednocześnie przesuwanie łańcucha wzdłuż niego przy minimalnym tarcu. Znowu wykorzystano rozwiązanie ze świata przenośników: szyna prowadząca przenośnika (rysunek **C**) była idealnym materiałem na podparcie łańcucha i zapewniała powierzchnię ślizgu.

Szyna jest wykonana z długich elementów z polietylenu UHMW (ang. *Ultra High Molecular Weight* — o bardzo dużej masie cząsteczkowej), który jest wsunięty w kanał wykonany ze stali nierdzewnej. Ten typ tworzywa sztucznego ma świetne właściwości zużyciowe i dobrą smarowność, co znaczy, że przedmioty łatwo się z niego zsuwają. Kanał ze



**C** Szyna prowadząca łańcuch

## Warto pamiętać: wyginanie końców szyny prowadzącej

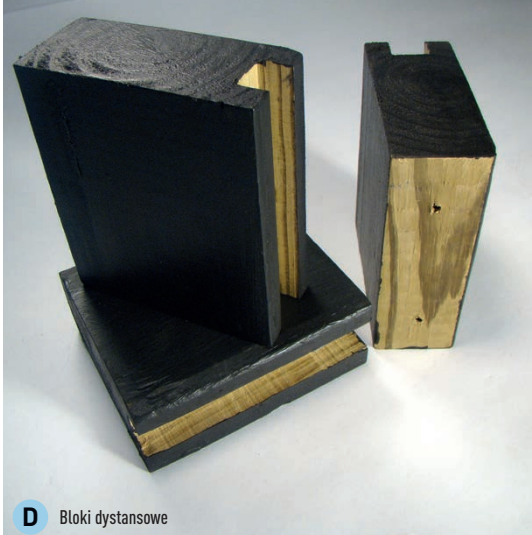
Czasem napotkasz materiały, które przy małej modyfikacji mogą spełnić wymagania projektowe. Dla „czołgu dla brzdąca” końce szyn musiały być wygięte w górę, by mieć gładkie, zaokrąglone rogi z końcówkami pod odpowiednim kątem do podłoża, zapewniające wprowadzenie i wyjście tańcucha.

Szyna prowadząca była docięta do długości całkowitej, metalowa listwa była skrócona na obu końcach, a polietylen UHMW (tworzywo sztuczne) wygięty do góry na obu końcach, by zapewnić odpowiedni kąt natarcia tańcucha gąsienicy w kierunku kót tańcuchowych.

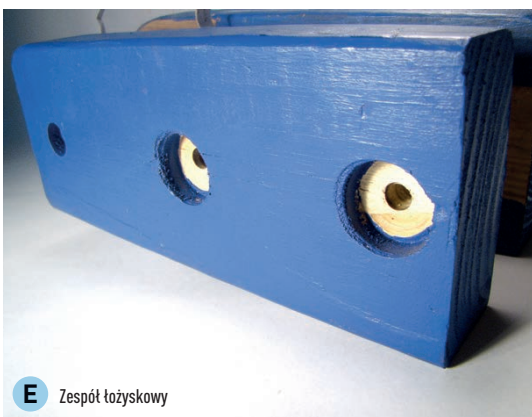
By skrócić metalowy element szyny prowadzącej, zsunęto element plastikowy z jednej strony metalowego kanatu, zostawiając wystającą na około 16 cm metalową część z drugiej strony szyny. Wystającą część ze stali nierdzewnej odcięto, a pozostałą metalową część kanatu nasunięto z powrotem i wyśrodkowano na plastikowej części, zostawiając po około 8 cm nieostroniętego tworzywa na obu końcach.

W celu wygięcia plastikowych końców jeden nieostronięty plastikowy koniec uchwycono w imadle. Tworzywo w okolicy stali nierdzewnej delikatnie podgrzano za pomocą palnika propanowego (uważając przy tym, by nie stopić plastiku, tylko go zmiękczyć!) i wygięto w stronę stalowego elementu na kąt około 20°, jak pokazano poniżej. Ten sam proces powtórzono dla drugiego końca. **Ku przestrodze: zawsze podgrzewaj tworzywo sztuczne w dobrze wentylowanym pomieszczeniu. Większość plastików wytwarza szkodliwe gazy podczas ich podgrzewania, topienia i spalania.**

**WSKAZÓWKA:** Lekko przegnij plastik i przytrzymaj go w tej pozycji, zanim ostygnie, lub polej go wodą, by schłodzić go jeszcze szybciej. Po ochłodzeniu i zwolnieniu jego pozycji plastik będzie sprężynował i wróci do pozycji o odpowiednim kącie.



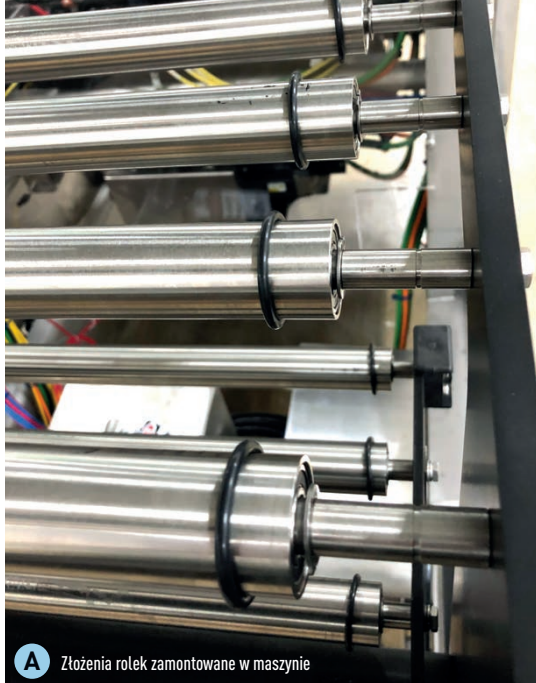
D Bloki dystansowe



E Zespół łożyskowy

stali nierdzewnej mocno usztywnia szynę i jako że jest wykonany ze stali nierdzewnej, jest odporny na korozję.

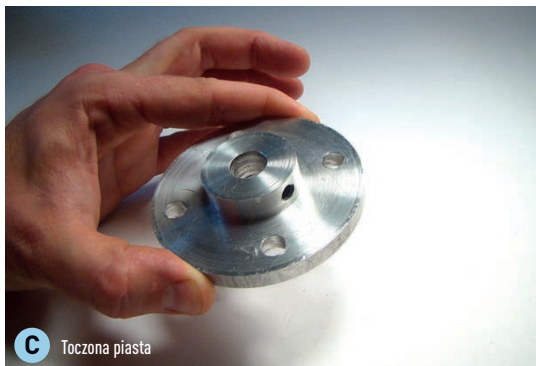
By prawidłowo utrzymać geometrię tańcucha gąsienic, Brian użył bloków dystansowych (rysunek D) między rdzeniem a szyną prowadzącą. Dodał również zespoły łożyskowe (rysunek E) do podparcia napędzanego i luźnego końca tańcucha. Oba zastosowania musiały być wytrzymałe, łatwe do cięcia i wiercenia i relatywnie tanie. Standardowa drewniana belka o wymiarach 5×10 cm miała wszystkie te właściwości, a Brian miał pełno takich kawałków drewna w swoim warsztacie. Użył przecinarki do szybkiego i dokładnego docięcia bloków, wiertła topatkowego i wiertła Forstnera (więcej o wiertłach Forstnera w rozdziale 4.) do wywiercenia otworów na wylot oraz ich pogłębienia (by wpasować w nie osie i łożyska) oraz frezarki krawędziowej do wycięcia kanatu na umieszczenie w nim szyny prowadzącej tańcuch na spodzie każdego z bloków dystansowych.



**A** Złożenia rolek zamontowane w maszynie



**B** Koto tańcuchowe z poliwęglanu (bez piasty)



**C** Toczona piasta

Łożyska, które podpierają wałki napędowe i osie luźnych kół tańcuchowych, to zwykłe jednorzędowe łożyska kulkowe, ale nie zostały zdobyte w normalny, „sklepowy” sposób. W zakładzie pracy Briana rolki są jednymi z elementów, które zawsze się wymienia przy przebudowie maszyny. Dlatego dostępne było stałe źródło zaopatrzenia w używane rolki z kontenera na części do recyklingu. Rolki składają się z pustej metalowej rury z łożyskami kulkowymi wprasowanymi w jej oba końce i lekko dłuższego wałka ze stali przechodzącego przez jej środek. Rysunek **A** pokazuje kilka złożów tych rołek zamontowanych w maszynie. Zamiast kupować nowe łożyska, Brian po prostu wyjął wałek i uciął kilka rur przy końcu łożysk, uzyskując krótkie kawałki rur z włocznymi w nich łożyskami. Średnica zewnętrzna rury z rolki pasowała do rozmiaru standardowego wiertła Forstnera, więc pogłębianie otworów w blokach na zespoły łożyskowe było proste: łożyska z recyklingu lekko wchodziły w pogłębione otwory. Wałki z rolek miały, rzecz jasna, odpowiednią średnicę, by dopasować się do łożysk, więc użyto ich ponownie jako wałków napędowych i luźnych osi. Główny wałek napędowy był bezpośrednio sprzężony z silnikiem.

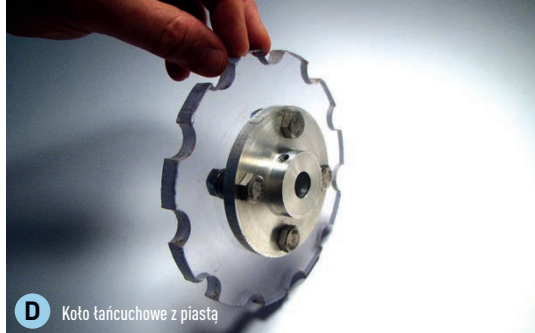
W celu napędzania gaśnic Brian potrzebował koła tańcuchowego pasującego do konkretnego typu tańcucha przenośnika do butelek, którego używał. Znając markę i model tańcucha przenośnika, było całkiem łatwo znaleźć koła tańcuchowe pasujące do tańcucha, ale nie miały one odpowiedniego rozmiaru, którego Brian potrzebował do budowy czotgu, a zakup kół tańcuchowych byłby kosztowny. Czotg potrzebował w sumie czterech kół tańcuchowych (dwóch na gaśnicę: jednego luźnego i jednego napędzającego) i kosztowałyby około 300 dolarów, zakładając, że projekt dałby się tak zmodyfikować, by można było użyć jednego z dostępnych rozmiarów kół! Na szczęście dostawca tańcucha udostępniał w sieci modele przestrzenne (znane również jako pliki CAD 3D) dostępnych kół. Zatem po ściągnięciu jednego z modeli Brian mógł użyć geometrii dostawcy, by zaprojektować koło tańcuchowe w odpowiedniej skali, o odpowiedniej średnicy podziałowej i liczbie zębów (omówimy te zagadnienia później, w rozdziale 8.), które mogłoby być wytworzone przy użyciu zwykłych narzędzi warsztatowych. Materiał na koła tańcuchowe musiał być bardzo mocny, ale nie powinien być ścierny, by nie uszkodzić tańcucha, oraz powinien być łatwy do cięcia i wiercenia. Brian znalazł parę starych, plastikowych potamanych osłon maszyn, wykonanych z poliwęglanu, znanego pod nazwą handlową Lexan, o grubości 10 mm. Grubszy poliwęglan może być wykorzystany do produkcji kuloodpor-

nych szyb, więc ten materiał jest wystarczająco mocny, by użyć go do budowy kół łańcuchowych (rysunek **B**). Dodatkowo poliwęglan jest łatwy w cięciu i wierceniu i w przeciwieństwie do swojego kuzyna z rodziny tworzyw sztucznych, „pleksiglasu”, nie jest kruchy i łatwo nie pęka.

Czółg potrzebował piast do zamontowania na nich kół łańcuchowych i ustalenia ich pozycji na wałkach napędowych i osiach luźnych kół łańcuchowych. Musiałyby być przy tym lekkie i mocne oraz umożliwiać gwintowanie w celu zastosowania śrub ustalających, by zablokować je na wałkach. Te piasty musiałyby też być odpowiednio grube, by rozłożyć nacisk na sensownej powierzchni wałków. Po dokonaniu przeglądu Brian postanowił kupić okrągły pręt aluminium 6061-T6 docięty na założoną grubość piast. Używając swojej niewielkiej, taniej tokarki do metalu, Brian wytworzył piasty (rysunek **C**) z zakupionego pręta aluminium, by pasowały do ręcznie wykonanych kół łańcuchowych. Rysunek **D** przedstawia koło łańcuchowe z poliwęglanu przykręcone do aluminiowej piasty.

Przy projektowaniu głównej ramy czółga (rysunek **E**) Brian musiał wziąć pod uwagę kilka ważnych wymagań specyfikacyjnych czy też parametrów projektowych. Główna rama musiała zapewnić strukturę do zamontowania gaśienic. Musiała również zapewnić miejsce i podparcie dla różnych kół pasowych, silnika i uchwytów sterujących. Ta rama musiała również pomieścić syna Briana i ochronić go przed mechaniką i elektroniką układu napędowego podczas jazdy czółgiem (rysunek **F**). Innymi słowy, rama musiała zapewnić sposób montowania nadwozia.

Podobnie jak przy module 1., Brian wybrał materiały na moduł 2., równoważąc funkcjonalność, koszt, obrabialność i estetykę. Wybrany materiał na główną konstrukcję ramy to standardowe drewno o przekroju 5×10 cm, które jest wytrzymałym materiałem, łatwym do cięcia i wiercenia, co czyni łatwym montaż elementów do ramy w dowolnym miejscu. Patrząc wstecz, lepiej by było zbudować ramę z ekstrudowanych profili aluminiowych T-slot, jak Brian to zrobił w przypadku rdzenia gaśienic. Profile T-slot mają dużo większy stosunek sztywności do masy niż standardowe drewno 5×10 cm, więc zapewniają taką samą sztywność jak drewno przy o wiele mniejszym ciężarze i polu powierzchni przekroju. Wadami użycia profili aluminiowych jest ich nieco wysoka cena i ograniczenie związane z lokalizacją slotu T jako miejsca możliwego montażu komponentów do profilu. Ale gdy przeznaczysz więcej pieniędzy na materiał ramy i zaplanujesz miejsce montażu komponentów, aluminiowe profile T-slot będą rozwiązaniem dla Ciebie.



**D** Koło łańcuchowe z piastą



**E** Rama główna i napęd



**F** Test dopasowania z Evanem





**A** Kompletne siedzenie

By usztywnić całkowitą strukturę ramy, Brian użył sklejki o grubości 10 mm jako podłogi czołgu. Sklejka jest świetnym materiałem na pokrywanie konstrukcji oraz zwiększenie całkowitej sztywności ram. Jest bardzo mocna, niezbyt droga i łatwa do cięcia, wiercenia i kształtowania.

Sklejka wzmocniła też konstrukcję siedzenia. Postużyła jako siedzisko i oparcie siedzenia kierowcy, ponieważ ładnie wygląda, jest płaska i łatwo obrabialna. Początkowo powierzchnia sklejki była w miarę gładka, ale po lekkim szlifowaniu stała się bardzo gładka z łagodnymi zaokrąglonymi brzegami, jak to widać na rysunku **A**. To było ważną cechą materiału na siedzenie, ponieważ ostra krawędź mogłaby skaleczyć kierowcę.

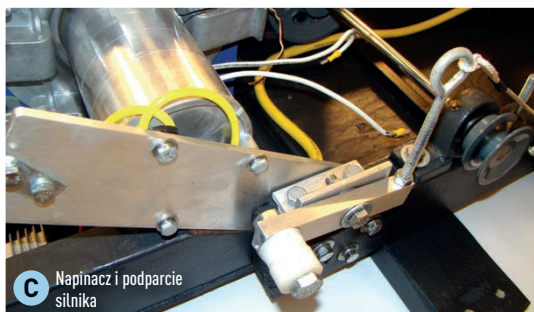
Główne mocowanie silnika również było skonstruowane ze sklejki: w tym wypadku o grubości 12 mm dla zwiększenia sztywności. Brian odwiedził sklep dla majsterkowiczów, gdzie kupił kątownik montażowy wykonany z ocynkowanej stali węglowej. Zamocował go do mocowania silnika, jak pokazano na rysunku **B**, tworząc jedno z dwóch przednich punktów mocujących nadwozia (modułu 3).



**B** Mocowanie silnika

W początkowej fazie silnik czołgu był mocowany do sklejki tylko na jednym końcu metodą **mocowania wspornikowego**. Jednak później, gdy Brian doszedł do wniosku, że mocowanie silnika nie zapewni odpowiednio sztywnego podparcia, dodał aluminiowy płaskownik o grubości 6 mm do podparcia drugiego końca silnika, jak przedstawia rysunek **C**. Ten wspornik był także punktem montażu drugiego kątownika mocującego nadwozie.

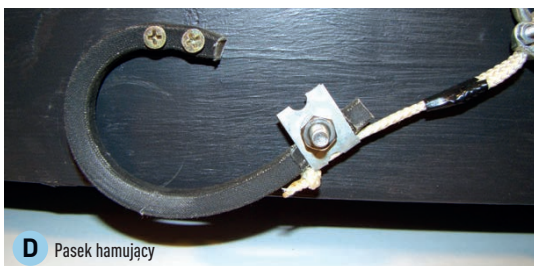
Każda z gąsienic miała koto pasowe zamocowane na wałku luźnego koła łańcuchowego, które służyło za hamulec. Przymocował jeden koniec paska klinowego do ramy, a drugi przywiązał do uchwyty sterującego, tak by po pociągnięciu uchwyty przez kierowcę, który naciągał pasek klinowy (rysunek **D**), wokół hamującego koła pasowego gąsienicy (rysunek **E**) powstawało tarcie generujące siłę hamującą. To dobry przykład ponownego wykorzystania materiału do nieco innego celu, niż oryginalnie go przeznaczone.



**C** Napinacz i podparcie silnika

Uchwyty sterujące (rysunek **F**) i dźwignie napinaczy pasów napędowych (rysunek **G**) były wykonane ze sztangy ze stopu aluminium 6061-T6 o grubości 12 mm, która leżała w warsztacie Briana.

Stop aluminium 6061-T6 jest bardzo wytrzymały przy lekkiej masie, łatwo się tnę, nawierca i gwintuje. Do tego ładnie wygląda. Aluminium matowieje z powodu utleniania na powierzchni, ale nie rdzewieje jak stal wę-



**D** Pasek hamujący



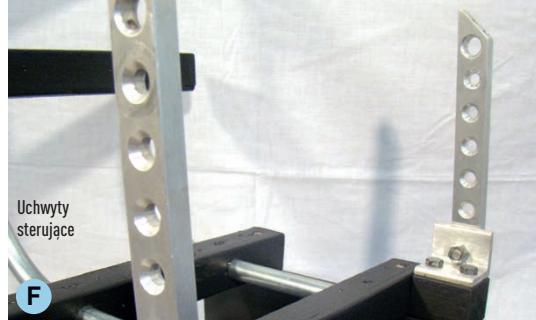
**E** Hamujące koło pasowe

głowa. Możesz również nabyć aluminium, które zostało poddane anodowaniu: procesowi elektrochemicznemu, który pozostawia warstwę niereaktywnych tlenków na powierzchni aluminium. Ekstrudowane aluminium będzie najczęściej bezbarwnie anodowane, jednak czasem występuje w innych kolorach, nierzadko ekstrudowane aluminium jest anodowane na czarno. Wadą stosowania aluminium jest jego dość wysoka cena. Sklejka lub belka z drewna, na przykład dębowego, może często postużyć jako substytut.

Uchwyty sterujące i dźwignie napinaczy pasków napędowych zostały przymocowane do ramy za pomocą kątowników umożliwiających im ich obrót względem ramy. Brian użył aluminiowych kątowników 40×40×6 mm. Przekrój poprzeczny tego materiału zapewnił bardzo mocną konstrukcję przy kompaktowej formie. Kątownik ze stali węglowej spełniłby tak samo swoją funkcję dla tego zastosowania. Kosztowałby mniej, ale wymagałby malowania, by zapobiec rdzewieniu.

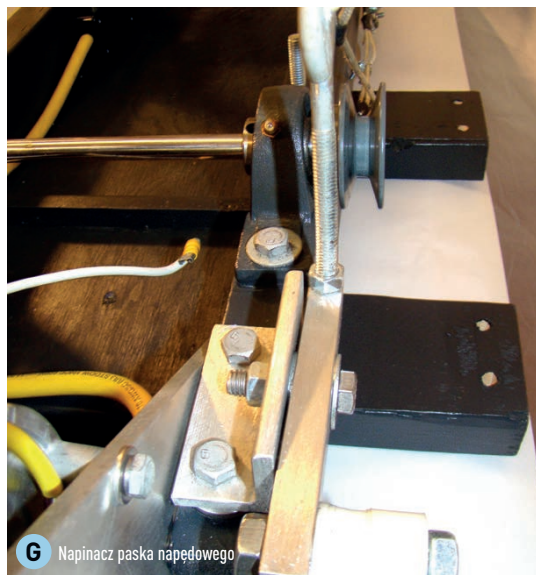
Wcześniej wspomnieliśmy, że siedzenie było usztywnione sklejką w miejscu siedziska i oparcia. Jednak konstrukcja pod spodem była wykonana z dwóch ciekawych, choć bardzo powszechnych elementów.

Dwie błyszczące rury łączące dolną część siedzenia z oparciem (rysunek **H**) to po prostu metalowe peszle do instalacji elektrycznych o średnicy 12 mm. Metalowe peszle to cienkościenne rury stalowe, które poddano galwanizacji dla uzyskania odporności na korozję. Grubość ścianki metalowych peszli to około 1 mm. Są one wspinałym materiałem na lekkie i sztywne konstrukcje. Łatwo się je tnije, gnie na giętarcie ręcznej, są odporne na korozję i bardzo tanie. Brian użył standardowych drewnianych kantówek o przekroju 5×5 cm, by złączyć konstrukcję z peszli.



Uchwyty sterujące

**F**



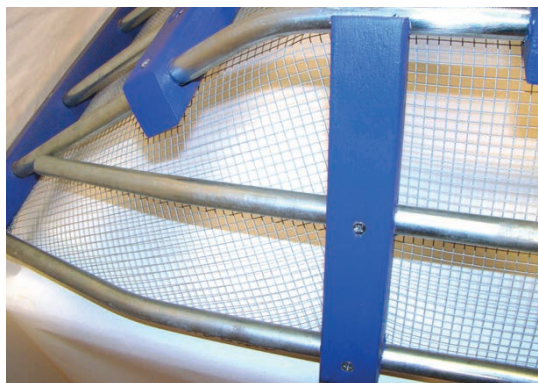
**G** Napinacz paska napędowego



**H** Rama siedzenia



**A** Nadwozie „czotgu dla brzdąca”



**B** Nadwozie z widoczną siatką metalową pod konstrukcją



**C** Kokpit „czotgu dla brzdąca”

Ten rozmiar kantówki był idealny do metalowych peszli. Brian przewiercił kantówki, by przetożyć przez nie peszle, po czym rury zostały zabezpieczone w drewnie za pomocą wkrętów do drewna.

Metody budowy i materiały dla nadwozia (modułu 3), pokazanego na rysunku **A**, bazowały w większości na tych zastosowanych w konstrukcji siedzenia. Główna konstrukcja była wykonana z metalowych peszli o średnicy 12 cm, połączonych standardowymi kantówkami 5x5 cm, tworząc sztywne i względnie lekkie nadwozie. Przednia część nadwozia musiała ostonać kierowcę i wszystkich naokoło czotgu przed kotami pasowymi i paskami napędowymi, jednak ważne dla Briana było to, by elementy układu napędowego i elektrycznego były widoczne, fajnie wyglądały i z punktu widzenia poszukiwania usterek wygodne było obejrzenie w bezpieczny sposób tej przestrzeni podczas działania. Ostonę, wykonaną z galwanizowanej stali w formie metalowej siatki, przyczepiono do głównej konstrukcji, by spełnić te wymagania (rysunek **B**). Metalowa siatka jest niedroga i łatwa do cięcia i kształtowania (używaj rękawic!).

Jedynym innym materiałem użytym na konstrukcję nadwozia była sklejka o grubości 6 mm, użyta na kokpit (rysunek **C**). Łatwo dało się nanieść na nią szablon do wycięcia otworów na wyświetlacze, światełka i przyciski, a następnie wyciąć je za pomocą wiertła i piły ręcznej.



## Lista materiałów na „czołg dla dorosłego” Samera

Gdy Samer zdecydował o budowie jego „czołgu dla dorosłego”, ustalił zestaw zasad (lub specyfikacji) dotyczących jego konstrukcji. Jedną z nich było użycie jak największej ilości materiałów, które już miał lub mógł pozyskać. Czołg Samera musiał podierać dorosłego ważącego około 115 kg, jak również 35 kg baterii, parę 10 kilogramowych silników i, rzecz jasna, ramę i dołączone do niej części i łączniki. Dlatego zdecydował się zbudować swój czołg z ramy swojego gokarta (wykonanej z kantówek o przekroju 10x5 cm), złamanego krzyża z kawiarni służącego za siedzenie i kół wyciętych z płyty aluminiowej.

Samer pożyczył rysunek od Briana, a następnie wystał zmodyfikowaną wersję do znalezionego online posiadacza maszyny do cięcia wodą. Kola zostały wycięte z aluminiowej płyty, nakrętki, śruby i podkładki zakupione w sklepie dla majsterkowiczów, mosiężna tulejka z kotnierzem przyklejona do koła jako łożysko, a inna duża śruba użyta jako oś (rysunek **D**).

Samer użył tego samego projektu koła, z mniejszym otworem centralnym, na napędzane koła tańcuchowe i „przywłaszczył” piastę z projektu robota, by potążyć koła z silnikami (rysunek **E**).

Podczas pracy nad rozwojem projektu czołgu Samer wymyślał różne sposoby zabezpieczania kół nośnych (czyli tych kół, które się toczą po gąsienicy czołgu). Ostatecznie przykręcił koła bezpośrednio do zespołu łożyskowego. Rysunek **F** przedstawia zespół łożyskowy użyty jako część układu przeniesienia napędu.

Mimo że „czołg dla dorosłego” był sukcesem — poruszał sporych rozmiarów dorosłego z zadowalającą prędkością — nie radził sobie zbyt dobrze z dużymi przeszkodami. Pojazd gąsienicowy przy najeździe na przeszkodę z przodu wjedzie na nią, ale pod warunkiem, że nie jest wyższa niż prowadząca (lub tylna) sekcja gąsienicy. Ograniczeniem jest też to, na co mogą wspiąć się gąsienice. Przeszkoda może również przechylić czołg, zwiększając ryzyko jego dachowania. By temu zaradzić, czołg potrzebował układu zawieszenia, który Samer dodał w wersji 2.0 „czołgu dla dorosłego”.

Na kolejnych rysunkach możesz zobaczyć ewolucję ramienia zawieszenia, od projektu drążka skrętnego (rysunek **A**), przez projekt wahacza (rysunki **B** i **C**), aż po resorowany wózek (rysunek **A**). Zauważ, że Samer użył różnych materiałów: tworzyw sztucznych, metali i komponentów pochodzących zewsząd. Pręty gwintowe



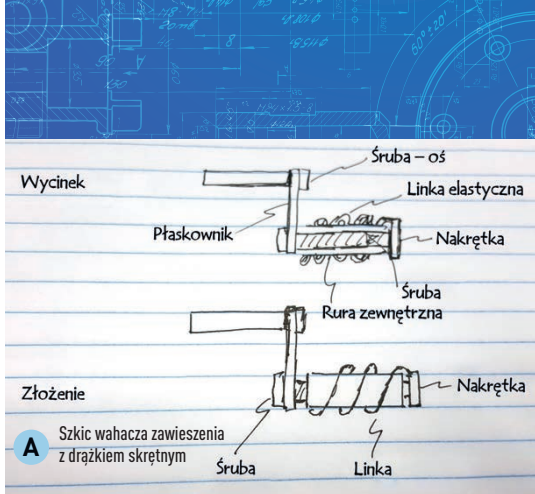
Koła toczne „czołgu dla dorosłego” na wózku do testowania kół



Napędzane koło tańcuchowe z piastą „czołgu dla dorosłego”



Elementy układu przeniesienia napędu wykorzystujące zespół łożyskowy



wane do złożenia elementów drukowanych w 3D pochodzący ze sklepu dla majsterkowiczów, podobnie jak nakrętki. Niebieskie i białe elementy plastikowe były wydrukowane w 3D. Łożyska były zakupione w sieci. (Zanim Samer zaprojektował wahacz, szukał łożysk, które pozwoliłyby mu wykorzystać ponownie posiadane przez niego śruby do kół i zespoły łożyskowe, co konsekwentnie wyznaczało decyzje projektowe). Amortyzator pochodził z dziecięcego roweru BMX; znalazł je w sieci po 10 dolarów za parę. Koła pochodziły z deskorolki, podobnie jak łożyska do nich.

Chodzi w tym wszystkim o to, że gdy rozważasz „złożenie”, staraj się zhermetyzować każdy podukład w Twoim projekcie. Sprawdź, czy któraś z części nie może być wzięta z innej dostępnej rzeczy, i nie przejmuj się wielokrotną zmianą koncepcji. Starając się jak najlepiej projektować na papierze, nigdy nie ustrzeżesz się doży eksperymentowania. To jest to, co nazywamy „prototypowaniem”.

## Wnioski

Mamy nadzieję, że w tym rozdziale znalazłeś pomysły na materiały do użycia w Twoich projektach, a zarazem nauczyłeś się myślenia jak majsterkowicz przy doborze materiałów do projektów. Nie musisz wykorzystywać jakichś egzotycznych rzeczy, jak tańców przenośnika, ale są szanse, że wokół Ciebie są przedmioty, które dadzą się wykorzystać do nowych, ciekawych projektów. Jak możesz wykorzystać rzeczy do spełnienia konkretnych wymagań? Nie zamykaj się w myśleniu, jeśli chodzi o kwestie materiałów do Twojego projektu.

**D** Koncepcja resorowanego wózka

## Warto wiedzieć: źródła materiałów

W tej książce wskazujemy wiele miejsc, gdzie możesz znaleźć materiały, jednak najbardziej oczywistym miejscem jest Twój własny dom. Oto niektóre z użytecznych materiałów, które znalazłem w domu:

- *Plastikowe opakowania po mleku* — większość z nich jest wykonana z polietylenu, który po podgrzaniu można formować w różne kształty, ciąć nożyczkami i sklejać klejem cyjanoakrylowym. Niektóre z potencjalnych zastosowań: małe łatki na dziury, prowizoryczne lejki, izolujące podkładki, dyfuzory do lamp.
- *Plastikowa folia i foliowe torebki* — rozciągają się, tworzą dobre bariery dla powietrza i płynu (jednak nie pod dużym ciśnieniem). Mogą być wykorzystane na przepony dla klaksonów (jak zaprezentowano w projekcie klaksonu w rozdziale 2.), na zakrywanie elementów przy malowaniu sprayem i w wielu innych zastosowaniach.
- *Papier woskowany* — nie przykleja się prawie do niczego. Może być użyty, by zapobiec niechcianemu sklejeniu, jak przy obfitym używaniu kleju, na przykład poliuretanowego, podczas laminowania.
- *Folia aluminiowa* — łatwo nadać jej kształt przy pokrywaniu różnych obiektów. Użyteczna jako materiał kryjący przy malowaniu. Cosplayerzy doceniają ją za możliwość naśladowania metalowych elementów z metalu. Używają pianki lub tworzyw sztucznych do utworzenia kształtu przedmiotu, a następnie pokrywają go aluminiową folią, by przedmiot wyglądał na metalowy.
- *Spinacze do papieru* — zwłaszcza te w formie metalowego drutu. Można je wygiąć i użyć w różnoraki sposób: jako spinacze, małe cięgna, haczyki, drut do zawiązywania itd.
- *Gumki recepturki* — świetne do tymczasowego przytrzymywania razem części do sklejenia lub do szybkiego testu złożenia. Nadają się też jako elementy napinające w mniejszych projektach i mogą być łatwo grupowane w celu regulacji siły sprężystości.
- *Wykałaczki* — zwłaszcza te okrągłe. Są doskonałe do nakładania kleju i farby w ciasnych szczelinach. Mogą być użyte jako osie lub kołki w bardzo małych projektach.
- *Stare zabawki* — prawie w każdym domu można znaleźć stare zabawki. Tu możliwości są prawie nieograniczone. Możesz pozyskać różne rodzaje wkrętów i innego sprzętu, łożysk, kół, a nawet elektroniki, żarówek i głośniczków z tych bardziej skomplikowanych zabawek. Z zabawek zawsze pozyskują przestrzeń na baterie i tańdowarki do baterii do wykorzystania gdzie indziej.
- *Stare sprzęty* — zastosowania podobnie jak dla zabawek, choć przeważnie są od nich solidniejsze. Możesz z nich pozyskać łożyska, wałki, koła zębate, silniki i wiele innych mechanicznych części.
- *Stara elektronika* — kolejna skrzynia ze skarbami. Stare sprzęty audio mają zazwyczaj wiele ładnych przycisków, potencjometrów, wyświetlaczy numerycznych, pokręteł i innych dobroci. Zwłaszcza stare komputery mają zasilacze i kable, które mogą się przydać. Nie zapomnij o ich stylowych metalowych obudowach do użycia jako skrzynki lub na metalowe panele do przyszłych projektów. Wypracuj nawyk zbierania nieużywanych kabli zasilających, które są prawie przy wszystkich. Brian posiada całe pudełko takich do przyszłych zastosowań.
- *Stare ubrania* — nie tylko na szmaty w warsztacie; również napy, guziki, zamki błyskawiczne, paski, a nawet kieszenie mogą być użyte ponownie.
- *Stare pojemniki* — mogą być różnymi przedmiotami: stare pudełko na kanapki spod zlewu ze zgubioną pokrywką, stara puszka po miętówkach, cokolwiek wykonanego z plastiku lub metalu, co nie jest już w użyciu. Te plastikowe są świetne na bezpieczne w dotyku obudowy zasilaczy z odzysku. Nie zapominajmy, że są wspaniałe do magazynowania wszystkich innych materiałów z listy, jak już zaczniesz je kolekcjonować.

Mimo że o niektórych już wspomnieliśmy, jest całkiem dużo innych potencjalnych źródeł części i materiałów, jeśli wiesz, gdzie szukać:

- *Sklepy budowlane i dla majsterkowiczów* — są to prawdopodobnie Twoje miejsca pierwszego wyboru przy nabywaniu materiałów. Znajdziesz tam masę materiałów konstrukcyjnych (drewno, metal, plastik, metalowe siatki itd.), łączniki każdego rodzaju, rury PVC i złączki do nich, peszle, różnorakie części maszyn (łożyska, bloczki, linki i haki), komponenty elektryczne (przełączniki, żarówki i przewody) i, rzecz jasna, narzędzia.

## Warto wiedzieć: źródła materiałów

- *Sklepy z częściami samochodowymi i rolniczymi* — to dobre miejsca do nabycia różnorodnych przedmiotów, takich jak materiały konstrukcyjne (głównie metalowe i plastikowe), łącniki, gumowe węże, koła, opony, rolki, pasy, różne sprzęty (opaski do przewodów i spinki), komponenty elektryczne (przetącniki, żarówk i przewody) i niektóre specjalistyczne narzędzia.
- *Sklepy dla hobbystów* — to dobre źródło styrenu w arkuszach i innych kształtach, jak również niewielkich mosiężnych i aluminiowych rurek, drewna balsowego, papierowych rurek używanych w modelach rakiet i cienkich drucików używanych do tworzenia biżuterii.
- *Sklepy dla rzemieślników* — możesz tu znaleźć te same rzeczy co w sklepach dla hobbystów, a także materiał, wstążki, karton, panele piankowe (laminowane płyty z pianki z papierem po obu stronach) i jeden z moich ulubionych materiałów: „coroplast” (komorowy materiał plastikowy na tabliczki informacyjne). „Coroplast” jest wspaniały do budowy bardzo lekkich i tanich oston.
- *Szroty* — to są miejsca, gdzie możesz znaleźć wytrzymałe części do większych projektów. Łożyska i rolki to oczywiste komponenty. Lecz możesz też znaleźć tu różnego rodzaju metalowe uchwyty i części, które da się wykorzystać ponownie. Silniczk do wycieraczek, silniczk do opuszczania szyb i cewki zamków do drzwi są tu bardzo liczne. Nie zapomnij o opaskach do przewodów, gumowych wężach, przewodach ze złączkami odpornymi na działanie pogody, wiązkach elektrycznych, przetącnikach, pokrętłach, przekaźnikach, żarówkach, klaksonach, głośnikach, gumowych uszczelkach i łącnikach w każdym rozmiarze i kształcie, jaki sobie wyobrazisz (i kilku z nich pewnie sobie nie wyobrazisz).
- *Wyprzedaże garażowe i podwórkowe* — wszystko z powyższej listy „w domu” jest również dostępne w innych domach (kiedy właściciel to sprzedaje, nie kradnij). Jeśli będziesz miał szczęście, możesz zdobyć materiały budowlane z drugiej ręki w rozsądnej cenie lub nawet za darmo. Dołączyłbym do tej kategorii pchle targi i inne ryneczki odsprzedażowe.
- *Nurkowanie w śmietniku* — z tym nie jest tak łatwo. Ale jeśli poprosisz o pozwolenie właściciela, czasem możesz zdobyć użyteczne materiały, które lokalni przedsiębiorcy uznają za śmieci. Na przykład lokalny stolarz może wyrzucić skrawki drewna, które mogą Ci się przydać. Ale uważaj: wielu przedsiębiorców po prostu powie „nie”, by uniknąć potencjalnej odpowiedzialności. Jeśli zdobędziesz pozwolenie, bądź uprzejmy, zachowaj bezpieczeństwo przy stosach materiału i unikaj przedmiotów z niebezpiecznymi i łatwopalnymi chemikaliami. I proszę, nie zostawiaj bałaganu, albo przy próbie ponownej wizyty nikt Cię (lub innych majsterkowiczów) nie wpuści.
- *Online* — to nie byłby XXI wiek, gdybym nie wspomniał internetu jako źródła materiałów. Lista stron z ofertą kupna/sprzedaży/wymiany rośnie cały czas. W momencie pisania tej książki lubię korzystać z Craigslist, Facebooka, Marketplace, Offerup, Letgo i eBaya. Ale możliwości różnią się w zależności od położenia geograficznego. Uważaj na koszty przesyłki, jeśli kupujesz coś ciężkiego, co jest bardzo daleko.
- To nie jest w żadnym wypadku wyczerpująca lista. Ale powinna wystarczyć na początek.
- Ostatnią rzeczą, którą chciałem podkreślić, jest to, że skoro majsterkowanie może być aktywnością grupową, nie powinieneś obawiać się kontaktu z innymi majsterkowiczami. Poza bogactwem doświadczenia, pomysłów i kreatywności, z których możesz skorzystać, inni mogą mieć narzędzia, umiejętności i materiały, na które możesz się wymienić, ewentualnie niedrogo je nabyć.

— John Manly

# PROGRAM PARTNERSKI

— GRUPY 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>

GRUPA  
**Helion** 

# Mechanika — najlepsza przyjaciółka majsterkowicza!

Majsterkowiczów wyróżnia ciekawość. Pasjonuje ich wyjaśnianie, jak działają poszczególne obiekty, i praktyczne stosowanie wiedzy w coraz to ambitniejszych projektach. Bogatym źródłem inspiracji dla wszystkich złotych rączek jest inżynieria mechaniczna. Przydaje się również odrobina wiedzy o prawidłałach fizyki i matematyki. Można ją zdobyć podczas lektury trudnych podręczników akademickich albo na wyczerpujących studiach inżynierskich. Nie jest to jednak droga dla każdego pasjonata czy amatora.

Oto pozycja adresowana specjalnie do majsterkowiczów, którzy chcą poznać podstawowe zasady mechaniki, aby z powodzeniem kończyć swoje projekty. Znajdziesz w niej mnóstwo praktycznych informacji uzupełnionych elementami matematyki stosowanej, fizyki i inżynierii. Te dość trudne zagadnienia przedstawiono w bardzo zrozumiały, ciekawy i zabawny sposób, poprzez pokazanie praktycznego zastosowania opisywanych koncepcji. Zdobytą wiedzę wypróbujesz samodzielnie dzięki kilku projektom — opisanym krok po kroku i bogato ilustrowanym. Do ich wykonania będziesz potrzebować jedynie powszechnie dostępnych, tanich materiałów i narzędzi. Z pewnością przydadzą Ci się również szczegółowe podpowiedzi, które sprawią, że wiele czynności wykonasz łatwiej i szybciej oraz unikniesz często popełnianych błędów.

W książce znajdziesz:

- podstawy inżynierii mechanicznej podane specjalnie dla majsterkowiczów
- ciekawe informacje o różnorodnych materiałach, narzędziach i procesach
- wyjątkowo przydatne spostrzeżenia, wskazówki i ostrzeżenia przed błędami
- projekty do samodzielnego wykonania z użyciem tanich i powszechnie dostępnych materiałów
- przystępne wyjaśnienia kluczowych koncepcji inżynierskich

**Brian Bunnell** jest z wykształcenia inżynierem mechanikiem, ale uważa się za majsterkowicza. Od 2000 roku zajmuje się projektowaniem elementów mechanicznych. Pasją majsterkowania zaraził się w wieku dwunastu lat od swojego ojca.

**Samer Najia** jest inżynierem mechanikiem i natógowym majsterkowiczem. Pierwsze projekty wykonał jako sześciolatek. Szczególnie pasjonuje go budowanie obiektów latających.

**Helion**  
helion.pl  
HELION SA  
ul. Kościuszki 1c  
44-100 Gliwice  
tel.: 32 230 98 63  
helion@helion.pl

KOD KORZYŚCI  
Sięgnij po więcej! ▶



ISBN 978-83-283-9324-0



Cena: 67,00 zł