

# Spis treści

<b>Przedmowa</b> .....	<b>vii</b>
<b>1 Wstęp</b> .....	<b>1</b>
Kilka definicji .....	1
Dla kogo jest ta książka?.....	2
Społeczność użytkowników dronów .....	2
Krótka historia lotów autonomicznych .....	3
Sterowany radiowo model samolotu.....	3
Nadejście mikrochipów .....	4
Technologia dronów .....	4
Wprowadzenie systemu GPS .....	5
Internet.....	5
Smartfon .....	6
Mały kontroler lotu – autopilot .....	6
Zasady lotu .....	7
Siła ciężkości/grawitacja.....	7
Siła nośna.....	7
Siła oporu.....	8
Siła ciągu.....	8
Manewrowanie lotem: ruchy statku powietrznego odwzorowane na drążku.....	9
Przepustnica .....	10
Odchylenie/sterowanie.....	11
Pochylenie .....	11
Przechylenie .....	12
<b>2 Kadłub</b> .....	<b>15</b>
Czym jest kadłub?.....	15
Ciągi wektorowane.....	15
Projekty statków powietrznych.....	16
Materiały .....	18
Utrzymanie równowagi .....	18
Budowanie kadłuba Little Dipper.....	19

Alternatywne opcje ram.....	20
Instrukcje budowania krok po kroku.....	21
Krok 1: instalacja separatorów.....	22
Krok 2: kończenie składania ramy brudnej.....	24
Krok 3: składanie ramy czystej.....	29
Krok 4: łączenie dwóch podram ze sobą.....	34
<b>3 Układ napędowy .....</b>	<b>37</b>
Śmigła .....	37
Kierunek.....	37
Rozmiar i skok .....	38
Wyważanie śmigieł.....	40
Silniki .....	42
Rozmiary .....	42
Wartość kV .....	42
Łączenie z właściwymi śmigłami.....	43
Całkowita siła nośna.....	44
Elektroniczne kontrolery prędkości .....	44
Bateria lotnicza .....	45
Instrukcje budowania krok po kroku.....	47
Krok 1: montaż płyty dystrybucji mocy (PDB) .....	48
Krok 2: lutowanie złączy typu bullet .....	50
Krok 3: montaż kontrolerów prędkości .....	58
Krok 4: lutowanie źródła zasilania.....	61
Krok 5: montaż silników bezszczotkowych.....	66
Krok 6: podłączanie silników bezszczotkowych .....	69
Krok 7: sprzątanie.....	70
Podsumowanie.....	70
<b>4 Kontroler lotu .....</b>	<b>71</b>
Co to jest kontroler lotu?.....	71
Rozwiązania otwarte a zamknięte .....	71
Czujniki.....	72
Charakterystyki lotu .....	73
Oprogramowanie towarzyszące .....	74
Instrukcje budowania krok po kroku.....	75
Krok 1: montaż kontrolera lotu.....	75
Krok 2: przyłączanie kabli do wyjścia kontrolera lotu.....	77
Krok 3: łączenie dwóch podram ze sobą .....	80
Podsumowanie.....	81

<b>5 GPS, kompas i monitor baterii.....</b>	<b>83</b>
GPS.....	83
Tryby lotu.....	84
Kompas.....	86
Monitor baterii.....	87
Instrukcje budowania krok po kroku.....	88
Krok 1: montaż bloku GPS .....	88
Krok 2: łączenie GPS i kompasu z APM .....	89
Krok 3: instalacja monitora baterii.....	93
Podsumowanie.....	96
<b>6 Nadajnik.....</b>	<b>97</b>
Co to jest nadajnik? .....	97
Najczęstsze pasma częstotliwości.....	98
Różne tryby na całym świecie.....	98
Modulacja PWM a PPM.....	98
Instrukcje budowania krok po kroku.....	100
Krok 1: rozpoznawanie potrzeb.....	100
Krok 2: montowanie odbiornika.....	101
Krok 3: podłączanie odbiornika.....	102
<b>7 Radia telemetryczne .....</b>	<b>103</b>
Oprogramowanie monitorujące i sterujące.....	103
Instrukcje budowania krok po kroku.....	104
Krok 1: montaż naziemnej stacji radiowej.....	104
Krok 2: przygotowanie radia statku powietrznego do montażu...	105
Krok 3: podłączanie radia.....	107
Krok 4: montaż radia statku powietrznego.....	107
<b>8 Kamera i sprzęt FPV .....</b>	<b>109</b>
Popularne kamery do dronów.....	109
Aparaty mikro 4:3.....	110
Kamera Mobius ActionCam.....	111
Widok FPV dla transmisji strumieniowej na żywo .....	112
Instrukcje budowania krok po kroku.....	114
Krok 1: mocowanie elementów montażowych kamery.....	114
Krok 2: mocowanie płyty izolującej wibracje .....	116
Krok 3: Umieszczanie kamery w uchwycie montażowym.....	117
<b>9 Konfiguracja kontrolera ArduPilot Mega (APM) .....</b>	<b>119</b>
Instrukcje budowania krok po kroku.....	119
Krok 1: aktualizacja oprogramowania układowego .....	119

Krok 2: podłączanie i obowiązkowa konfiguracja.....	124
Krok 3: opcjonalny sprzęt .....	135
Tryby lotu.....	138
Strefa Geo Fence .....	139
Podstawowe strojenie .....	139
Rozszerzone strojenie .....	140
Parametry standardowe.....	141
Dane lotu.....	142
Plan lotu.....	143
<b>10 Bezpieczny i odpowiedzialny lot.....</b>	<b>147</b>
Bezpieczeństwo ponad wszystko.....	147
Szkolenia.....	147
Zasoby.....	148
Ważne łącza.....	148
Najważniejsze zasady bezpieczeństwa lotu .....	149
Loty w trybie FPV .....	150
Kiedy i gdzie latać .....	151
Lista kontrolna przed lotem i informacje w dzienniku lotu .....	152
Inspekcja statku powietrznego.....	154
Dzienniki lotów i konserwacji.....	154
Prawa i regulacje .....	155
<b>11 Zastosowania w świecie rzeczywistym .....</b>	<b>157</b>
Dobroczynne drony .....	157
Fotografia lotnicza .....	157
Kartografia i geodezja .....	159
Rolnictwo precyzyjne .....	160
Poszukiwania i ratownictwo .....	161
Inspekcja infrastruktury .....	162
Ochrona przyrody.....	164
<b>12 Rozszerzanie możliwości drona.....</b>	<b>165</b>
Dodawanie kamery i możliwości widoku FPV .....	165
Zbieranie większej ilości danych za pomocą innych czujników.....	167
Zmieniamy prędkość: do startu, gotowi, start!.....	168
Zwiększanie czasu lotów .....	170
Rozwiązywanie problemów w społeczności dronów.....	170
Dziękujemy!.....	171
<b>O autorach .....</b>	<b>176</b>
<b>Indeks.....</b>	<b>177</b>

# Przedmowa

Nazywamy się Belinda i Terry Kilby. Jesteśmy entuzjastami dronów, fotografami lotniczymi, majsterkowiczami, szkoleniowcami i zespołem mąż–żona. Łącząc swoje życia, połączyliśmy także siły i pasje dotyczące technologii i sztuki. Od roku 2010 w naszej firmie Elevated Element projektujemy i budujemy małe bezzałogowe statki powietrzne (UAV), które służą do artystycznej i praktycznej fotografii lotniczej. Jako pionierzy staliśmy się nieoficjalnymi rzecznikami technologii UAV dla mediów w naszym regionie. Możemy reprezentować konstruktorów i użytkowników dronów z perspektywy artystycznej i innowacyjnej, ponieważ nieustannie nadążamy za udoskonaleniami sprzętu, oprogramowania i nowinkami dotyczącymi dronów.

## Poprzednia książka na ten temat

Jesienią roku 2013 wydaliśmy książkę *Drone Art: Baltimore*, pierwszy album fotografii wykonanych tylko przy użyciu małych, samodzielnie budowanych pojazdów UAV. Wprowadzenie zawiera opis początków naszej działalności oraz rozwoju sprzętu i sztuki. Zdjęcia są prezentowane chronologicznie, aby pokazać postęp jakości w miarę doskonalenia technik konstrukcji, sterowania lotem i fotografowania. Premiera książki, którą zaaranżowaliśmy w Office of Promotions and the Arts w Baltimore, odbyła się na wystawie Baltimore World Trade Center, na piętrze widokowym o nazwie „Top of the World”. Lokalizacja była doskonała, ponieważ perspektywa z okien na 27 piętrze przypominała tematy prezentowane w naszej pracy: widok z lotu ptaka.

## Cel książki

Celem tej książki jest przekazanie wiedzy dotyczącej robotyki powietrznej na przykładzie budowy quadcoptera klasy 300 o nazwie Little Dipper. Instrukcje krok po kroku i porady zawarte w tej książce pozwolą dowiedzieć się, jak działają quadcoptery i jak rozwiązywać niektóre związane z nimi zagadnienia inżynierskie. W miarę możliwości będziemy także sugerować alternatywne opcje do wypróbowania lub porównywać części, pozwalając na

dokonanie samodzielnego wyboru. Bez względu na to, czy zdecydujesz się na budowę quadcoptera, czy octocoptera, przedstawione koncepcje będą miały zastosowanie.

Projekt Little Dipper jest otwarty, a pliki projektu można pobrać ze strony <http://gettingstartedwithdrones.com/little-dipper-build/>. Alternatywnie można zamówić pełen zestaw Little Dipper z całym sprzętem z witryny [www.MakerShed.com](http://www.MakerShed.com).

## Jak używać tej książki

Każdy rozdział tej książki obejmuje porcję informacji na temat technologii bezzałogowych statków powietrznych. Mamy tu m.in. rozdział dotyczący różnorodnych typów kadłubów (ram) i inny, prezentujący sposoby użycia systemu GPS (Global Positioning System) do wspomagania lotu. Świadomie dołożyliśmy starań, aby poruszyć jak najwięcej tematów, ale nadal jest to książka dla początkujących, a nie pełna encyklopedia dotycząca statków UAV. Jeśli ta technologia jest dla Ciebie nowością, zyskasz wiele informacji do przetrawienia. Jeśli znasz się już na dronach, zapewniamy, że nadal znajdziesz smakowite kąski, o które warto uzupełnić bazę wiedzy.

Po przeczytaniu pierwszego rozdziału możesz zacząć zauważać wyłaniający się ważny wzorzec: większość rozdziałów składa się z wstępnej części teoretycznej oraz instrukcji budowania krok po kroku naszego przykładu. Nie ma znaczenia, czy budujesz pokazany w tej książce statek powietrzny, część teoretyczna każdego rozdziału będzie dotyczyć prawie dowolnego typu drona – od małych quadcopterów klasy 250 do olbrzymich octokopterów klasy 1 000. Jeśli nie budujesz równolegle naszej konstrukcji demonstracyjnej, możesz pominąć instrukcje budowania i wchłonąć możliwie najwięcej teorii.

Bez względu na to, czy jesteś doświadczonym pilotem dronów, czy początkującym hobbystą, myślimy, że każdy skorzysta z części teoretycznych poszczególnych rozdziałów. Zalecamy przeczytanie ich wszystkich. Jeśli równolegle wykonujesz przykładową konstrukcję, możesz swobodnie budować z marszu albo przeczytać najpierw całą teorię, a po zakończeniu wrócić i zacząć budowanie. Dokładne zrozumienie ujętej teorii może tylko pomóc, gdy nadejdzie czas budowania statku powietrznego.

Nie zrażaj się niepowodzeniami. Każdy popełnia błędy. Ważne jest tylko, aby nieustannie próbować, działać i majsterkować. Robotyka powietrzna polega na praktycznym rozwiązywaniu rzeczywistych problemów metodą prób i błędów, a w końcu ciężko zdobytą mądrością. Najmniejsza różnica rozłożenia ciężaru lub zmiana prędkości może oznaczać sukces lub katastrofę.

## Konwencje użyte w tej książce

W książce używamy następujących konwencji typograficznych:

### *Kursywa*

Wskazuje nowe terminy oraz adresy URL i e-mail.

---



Ten element oznacza ogólną notatkę, wskazówkę lub sugestię.

---



Ten element wskazuje ostrzeżenie lub przestrożę.

---

## Kontakt z nami

Komentarze i pytania dotyczące tej książki można przesyłać do wydawcy:

Make:

1160 Battery Street East, Suite 125

San Francisco, CA 94111

877-306-6253 (w USA i Kanadzie)

707-639-1355 (międzynarodowo lub lokalnie)

Mamy stronę internetową dotyczącą tej książki, która zawiera erratę, przykłady i inne dodatkowe informacje. Jest dostępna pod adresem [http://bit.ly/gs\\_w\\_drones](http://bit.ly/gs_w_drones).





# 1 Wstęp

## Kilka definicji

Jeśli choć trochę zdajesz sobie sprawę z tego, co się dzieje na świecie, prawdopodobnie masz świadomość, jak często słowo *dron* występuje w wiadomościach. W wielu nagłówkach na temat dronów termin ten jest używany do opisu szerokiej gamy statków powietrznych – od małych zdalnie sterowanych zabawek przez autonomiczne roboty latające do pełnowymiarowych uzbrojonych modeli obserwacyjnych do zastosowań militarnych. Wynika to z różnych definicji słowa *dron* w różnych źródłach. Gdzie dokładnie leży granica, czyli co sprawia, że dron jest dronem? Zacznijmy od podstawowej definicji. Definicja terminu *dron* w słowniku Merriam-Webster to:

*bezzałogowy statek powietrzny sterowany zdalnie lub za pomocą komputerów pokładowych*

Ta definicja prezentuje bardzo szerokie znaczenie tego słowa, co wpływa na zbytne uogólnienie i niedoinformowanie, które widzimy w raportach medialnych na temat konkretnych typów bezzałogowych statków powietrznych. Bądźmy bardziej dokładni. Terry uważa, że granica między statkiem powietrznym sterowanym radiowo (RC) a dronami leży we wprowadzeniu systemu GPS i autopilotów. Gdy statek powietrzny ma zdolność samodzielnego pilotowania, choćby w celu utrzymywania stałej pozycji, jest jego zdaniem dronem. W tej książce używamy następujących konwencji:

### Dron

Bezzałogowy pojazd powietrzny sterowany autonomicznie przy użyciu GPS.

### Zdalnie sterowany statek powietrzny (RPA – *Remotely Piloted Aircraft*)

Model statku powietrznego, którego lot jest sterowany przez pilota na ziemi przy użyciu nadajnika radiowego lub innego sprzętu komputerowego.

## Bezzałogowy statek powietrzny (UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*)

Statek powietrzny, którego lot może być sterowany zdalnie przez pilota lub kontrolowany autonomicznie przy użyciu oprogramowania komputerowego i GPS.

## Małe bezzałogowe systemy lotnicze (sUAS – *Small Unmanned Aerial Systems*)

Wszystkie powiązane procesy biorące udział w bezzałogowej technologii powietrznej.

Czy nam się to podoba, czy nie, słowo *dron* będzie nadal używane w rozległym zakresie. Przyjmujemy to słowo i zmierzamy ułatwić zmianę negatywnych konotacji, pokazując korzystne zastosowania technologii małych statków UAV. Mając to na uwadze, rozszerzamy naszą wiedzę, aby łatwiej poruszać się w szale medialnym spowodowanym manią dronów. Podczas gdy Federalna Administracja Lotnictwa USA próbuje ustalić wyczerpujące przepisy dotyczące użycia komercyjnego małych statków UAV, sami staramy się, aby nasze dążenia powietrzne były możliwie najbardziej odpowiedzialne i bezpieczne.

## Dla kogo jest ta książka?

Ta książka jest zbiorem instrukcji (z dodatkowymi sugestiami po drodze) budowy autonomicznego quadcoptera. Ogólne zrozumienie koncepcji związanych z robotyką i elektroniką znacznie ułatwia konstruowanie robotów powietrznych. Pomocna jest także znajomość podstawowych narzędzi i przyrządów, w tym lutownicy, aby osiągnąć długofalowy sukces w projektowaniu własnych małych statków UAV.

Jeśli jesteś majsterkowiczem i lubisz wytrwale rozwiązywać problemy metodą prób i błędów podczas budowania czegoś, robotyka powietrzna będzie dla Ciebie źródłem radości. Możliwości zbudowania latającego robota oraz oglądania widoków z całkowicie nowych perspektyw są warte czasu i wysiłku.

## Spoleczność użytkowników dronów

Czasami droga do sukcesu w przewyciężaniu problemów polega na znajomości właściwych pytań, które możemy komuś zadać. Nawiązywanie kontaktów z ludźmi, którzy podzielają zainteresowanie robotami powietrznymi, jest bezcennym źródłem pomocy w namierzaniu problemów i znajdowaniu rozwiązań. Fora online są cudownym sposobem, aby poznawać sposoby rozwiązywania podobnych problemów przez inne osoby. Jedną z ulubionych witryn Terry'ego jest *MultiRotorForums.com*. Uczestnicy tego forum niezwykle

zyczliwie dzielą się swoim doświadczeniem i spostrzeżeniami dotyczącymi budowy małych statków UAV.

Być może w Twojej okolicy jest również zorganizowana grupa entuzjastów UAV lub klub modelarstwa lotniczego. Zapewne na ich spotkaniach mile widziane są nowe twarze. Spróbuj poszukać na witrynie *Meetup.com* grup użytkowników dronów (znowu to słowo). Innym miejscem, gdzie warto zajrzeć, jest Academy of Model Aeronautics (<http://www.modelaircraft.org/>). AMA to największe na świecie stowarzyszenie lotnicze działające od 1936 roku. Mamy wspaniałe grupy tutaj w Baltimore i rejonie Waszyngtonu, które mają duży wkład w udostępnienie technologii UAV w naszym regionie. Naprawdę doceniamy każdego, kto pomaga nam utrzymać tę pasję.



Stowarzyszenie AMA udostępnia wspaniałą dokumentację PDF zawierającą praktyczne wskazówki ([http://bit.ly/ama\\_afsc\\_guidelines](http://bit.ly/ama_afsc_guidelines)) dotyczące bezpiecznych i odpowiedzialnych lotów.

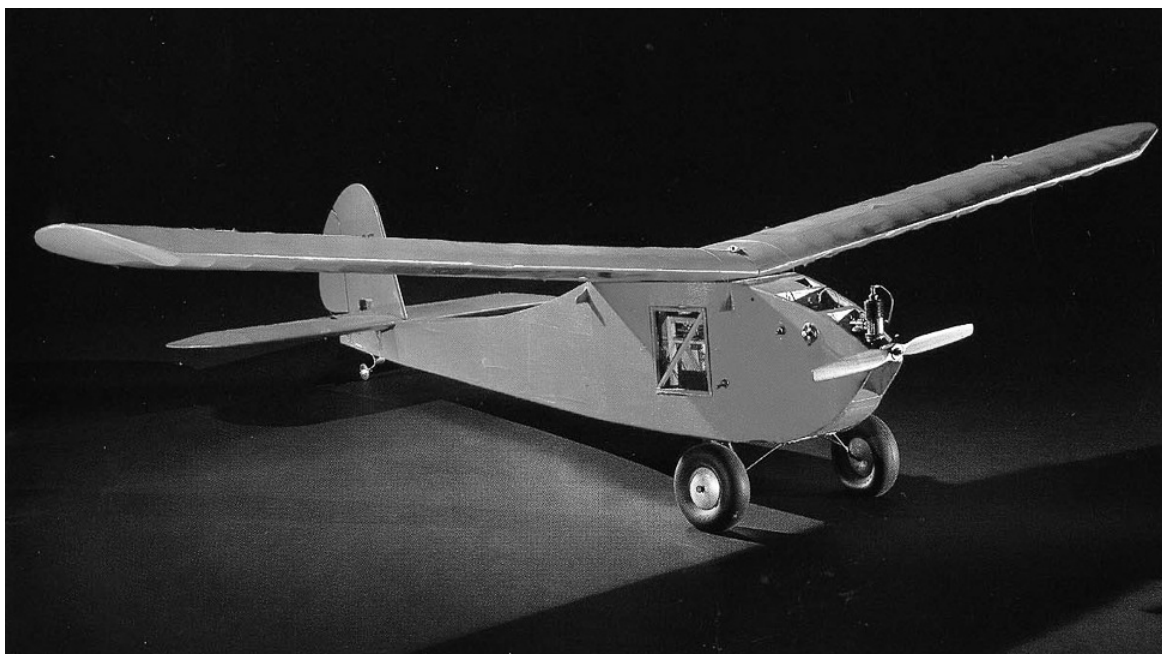
---

## Krótką historia lotów autonomicznych

Najważniejsze wynalazki, które w naszej opinii wpłynęły najbardziej na technologię dronów, obejmują sterowane radiowo modele samolotów, mikrochipy, GPS, Internet oraz smartfony. Przyjrzyjmy się im.

### Sterowany radiowo model samolotu

W roku 1937 Ross Hull i Clinton DeSoto, należący do stowarzyszenia American Radio Relay League, dokonali pierwszej publicznej demonstracji lotów sterowanych zdalnie. Latem i jesienią roku 1937 zaprojektowali i zbudowali szybowce o rozpiętości skrzydeł 13 stóp (prawie 4 m), odbywając ponad 100 pomyślnych sterowanych radiowo lotów w Hartford w stanie Connecticut. W tym czasie Hull nadał tempo domowemu projektowaniu aparatury radiowej. Zwiększył wydajność nadajnika, skracając fale nośne, i jako pierwszy opisał znacznie lepszy, jednolampowy odbiornik dla modeli lotniczych. Bracia bliźniacy Walter i William Good zdobyli pierwsze miejsca w latach 1940 i 1947 na mistrzostwach US National Aeromodeling Championships. Ich ikoniczny sterowany radiowo model samolotu o nazwie Guff jest obecnie własnością muzeum Smithsonian National Air and Space Museum (patrz rysunek 1-1).



Rysunek 1-1. Sterowany radiowo samolot Guff braci Good.

## Nadejście mikrochipów

W lecie 1958 roku Jack Kilby – nowy pracownik Texas Instruments i młody wówczas wynalazca – zrewolucjonizował branżę elektroniczną wynalazkiem układu scalonego. Ten prekursor mikrochipu składał się z tranzystora i innych komponentów na cienkim kawałku germanu o wymiarach  $\frac{7}{16} \times \frac{1}{16}$  cala. Wiedząc, że wiele komponentów elektronicznych, takich jak pasywne oporniki i kondensatory, można zrobić z tego samego materiału jako aktywne tranzystory, Kilby stwierdził, że można wykonywać ich konfiguracje w formie kompletnego obwodu. Wiele urządzeń elektronicznych używanych obecnie nie byłoby możliwych bez małego chipa Kilby'iego. Zmienił on komputery zajmujące pokój w mikrokomputery sprzedawane obecnie.

## Technologia dronów

W pewnym momencie modelarstwo lotnicze osiągnęło maksymalny poziom, jaki mogły wnieść projekt sprzętowy, sygnały radiowe i impulsy elektroniczne. Aby pójść dalej, konieczna była implementacja mniej namacalnych technologii, które objęły inteligentną komunikację i sterowanie.

# Wprowadzenie systemu GPS

Oficjalna witryna *GPS.gov* (<http://www.gps.gov/>) opisuje system GPS w następujący sposób:

*Global Positioning System (GPS) to narzędzie własności USA, które dostarcza użytkownikom usługi pozycjonowania, nawigacji i czasu. System składa się z trzech segmentów: kosmicznego (sieci satelitów), sterowania oraz użytkownika. Siły powietrzne USA rozwijają i utrzymują segment kosmiczny i sterowania oraz operują nimi.*

Należące do systemu 36 satelitów stale nadaje strumień zakodowanych czasowo i geograficznych danych do użytkowników na Ziemi. Dowolne urządzenie z odbiornikiem GPS może użyć danych z dowolnych czterech satelitów (tzw. fix), aby obliczać swoją lokalizację względem tych satelitów. Utrzymywanie niezakłóconej linii łączności z satelitami GPS jest kluczowe, a dokładność wzrasta, gdy łączymy się z więcej niż czterema satelitami. Z powodu wymagania linii łączności czasami może być trudne uzyskanie wiarygodnych danych GPS w pomieszczeniach. Omówimy, jak to wpływa na loty dronów w pomieszczeniach w rozdziale 5.



## Więcej informacji o GPS

Dodatkowe szczegóły można znaleźć na następujących stronach:

- „How GPS Works” ([http://bit.ly/gps\\_ed\\_poster](http://bit.ly/gps_ed_poster)) (w języku angielskim);
  - „GPS Applications” ([http://bit.ly/gps\\_apps](http://bit.ly/gps_apps)) (j.w.);
  - <http://www.technologiagps.org.pl/> (w języku polskim).
- 

## Internet

Osobiste, cywilne drony nie byłyby dziś tak popularne bez Internetu. Sklepy internetowe, media społecznościowe i forma pozwalają ludziom ciągle wymieniać się informacjami i uczyć się od osób w dowolnym miejscu na świecie. Terry doszedł do budowy swojego początkowego quadcoptera, obserwując projekty innych osób i zadając pytania online. Wraz ze wzrostem inteligencji statków UAV coraz większą rolę będzie odgrywać Internet w przyszłych zastosowaniach dronów.

# Smartfon

Przy rozwoju możliwości znacznego zmniejszania rozmiarów procesorów komputerowych i czujników było tylko kwestią czasu, aż ktoś wpadnie na pomysł użycia smartfona wewnątrz modelu statku powietrznego. Gdy obracamy smartfonem, orientacja interfejsu zmienia kierunek. Te same czujniki mogą być używane do kontrolowania małego drona. Jako inżynier oprogramowania mobilnego, Terry znalazł się na programowaniu aplikacji mobilnych i możliwościach systemów operacyjnych smartfonów. Obecnie pracuje nad wieloma różnymi aplikacjami do mapowania przestrzeni wokół drona.

## Mały kontroler lotu – autopilot

Wszystkie te rzeczy – GPS, Internet i smartfon – prowadzą do kontrolera lotu, czyli mózgu drona. Cywilne autopiloty zaczęły się pojawiać na hobbystycznych multicopterach pod koniec pierwszego dziesięciolecia XXI w. Wczesne jednostki z funkcją GPS pochodziły od niemieckiej firmy MikroKopter, a następnie zostały skopiowane przez kilka firm chińskich. Mniej więcej w tym samym czasie powstało kilka projektów open source, takich jak MultiWii (<http://www.multiwii.com/>), Ardupilot (<http://ardupilot.com/>) i Open Pilot (<https://www.openpilot.org/>). Nazwa MultiWii pochodzi od interesującego faktu, że pierwsze jednostki były wykonane z czujników zhakowanych z kontrolera Nintendo Wii. Ardupilot, jak łatwo zgadnąć, został tak nazwany, ponieważ oryginalnie był oparty na Arduino.

Dzisiaj małe autopiloty przeszły długą drogę i mają wiele zaawansowanych funkcji, takich jak loty autonomiczne, powrót do bazy i śledzenie. Wiele z tych funkcji było dostępnych tylko w modelach z górnej półki zaledwie parę lat temu. Możemy w ten sposób zaobserwować, jak szybko ewoluuje ta technologia.

### **Czujniki autopilota potrzebne do kontroli lotu**

Następujące czujniki, chociaż nie są nowością, są w końcu wystarczająco małe i lekkie, aby można było ich używać w autopilotach UAV:

**Magnetometr**

Cyfrowy kompas

## Żyroskop

Mierzy prędkość kątową

## Akcelerometr

Mierzy wielkość i kierunek przyspieszenia

## Czujnik ciśnienia

Oblicza wysokość, mierząc ciśnienie atmosferyczne

Te czujniki w połączeniu tworzą jednostkę nawigacji inercyjnej IMU (*Inertial Measurement Unit*).

## Zasady lotu

Mechanika lotu składa się z paru prostych reguł ze złożonymi interakcjami. Aby je zrozumieć dobrze, nie zaszkodzi poświęcić trochę czasu na przypomnienie praw fizyki Newtona.

Gdy mówimy o *sile*, mamy na myśli proste pchanie lub ciągnięcie. Jeśli siły działające na obiekt się równoważą – pchanie w jednym kierunku spotyka się z pchaniem w przeciwnym kierunku – obiekt jest w stanie stabilnym. Jeśli siły się nie równoważą, obiekt przyspiesza w kierunku działania większej siły.

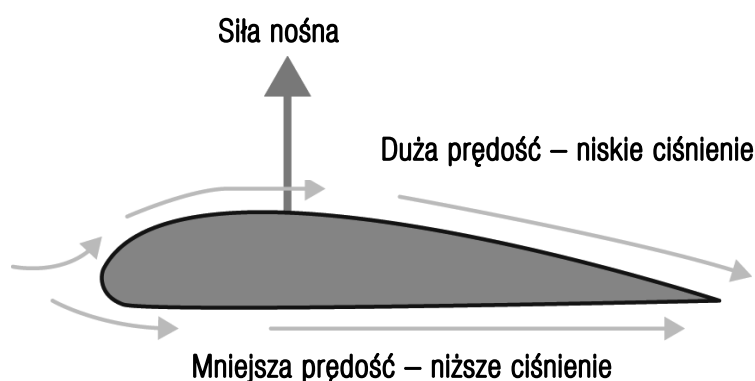
## Siła ciężkości/grawitacja

*Siła ciężkości* to siła działająca na obiekt, spowodowana przez *grawitację*. Sama siła jest również czasami nazywana grawitacją. Aby coś latało, a nawet się unosiło, musi w jakiś sposób ciągle równoważyć lub przewyższać siłę grawitacji (za chwilę zobaczymy, jak to działa). Grawitacja jest nieustająca – nawet chwilowa utrata przeciwdziałającej siły może spowodować rozbitcie statku powietrznego na ziemi. Z jedną interesującą cechą dotyczącą grawitacji będziemy mieć do czynienia w całej tej książce: chociaż siła grawitacji jest rozproszona po całym statku powietrznym, jeden jego punkt – nazywany środkiem ciężkości – ma największy wpływ na zdolność latania.

## Siła nośna

*Siła nośna*, przeciwieństwo siły ciężkości, to aerodynamiczna siła, która utrzymuje statek powietrzny w powietrzu (patrz rysunek 1-2). W przypadku samolotów ze skrzydłami siła nośna pochodzi z ruchu powietrza przez kształty

profilu lotniczego skrzydła lub śmigła. Ruch powietrza powyżej profilu lotniczego odbywa się szybciej i dlatego ma mniejsze ciśnienie. Wolniej przemieszczające się powietrze pod skrzydłem ma większe ciśnienie. Dzięki niższemu ciśnieniu powyżej skrzydła samolot lub helikopter jest dosłownie zasysany do nieba. W celu unoszenia lub lotu na jednym poziomie siła nośna musi być równoważna sile ciężkości, a w przypadku wznoszenia siła nośna musi być większa od siły ciężkości.



Rysunek 1-2. Gdy profil lotniczy przesuwa się przez powietrze, wytwarza siłę nośną.

## Siła oporu

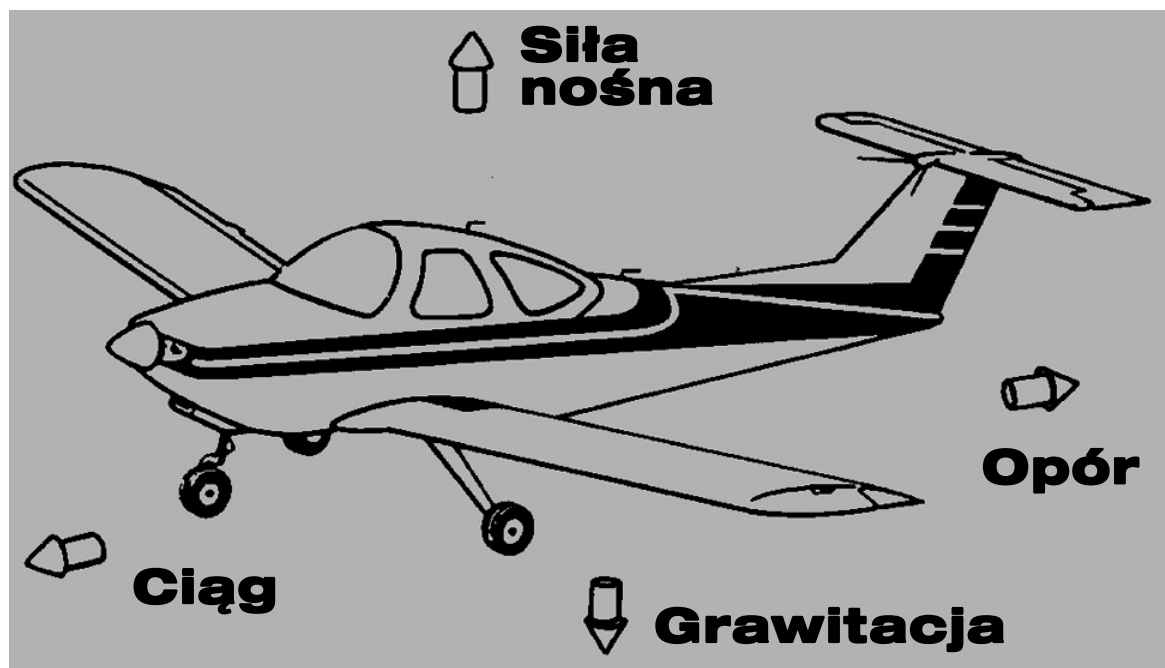
Czy zdarzyło Ci się wystawić rękę z okna jadącego samochodu przy ładnej pogodzie? Odczuwana siła pchająca wstecz jest wspaniałym przykładem *siły oporu*. Obiekt, który porusza się przez atmosferę z dowolną prędkością, będzie doświadczał pewnego poziomu siły oporu, a ta siła zwiększa się z prędkością obiektu. Siła oporu jest powodem, dla którego samoloty, lokomotywy i samochody sportowe mają gładkie opływowe kształty. To usprawnienie pozwala powietrzu przepływać bardziej czysto wokół pojazdu, zmniejszając siłę oporu i zwiększając sprawność pojazdu. Również ze względu na siłę oporu samoloty chowają swoje podwozie po starcie.

## Siła ciągu

*Siła ciągu* lotu jest siłą mechaniczną, która porusza statek powietrzny przez powietrze. Ruch musi być tworzony w pewien sposób przez silniki ze śmigłami, silniki odrzutowe, mięśnie (w przypadku ptaków, które potrafią fruwać) lub dowolny inny system napędowy. Jeśli siła ciągu jest większa niż siła oporu, statek powietrzny zwiększa prędkość. Siła ciągu musi równoważyć siłę ciężkości i przewyższać siłę oporu.



Rysunek 1-3 ilustruje cztery siły lotu.

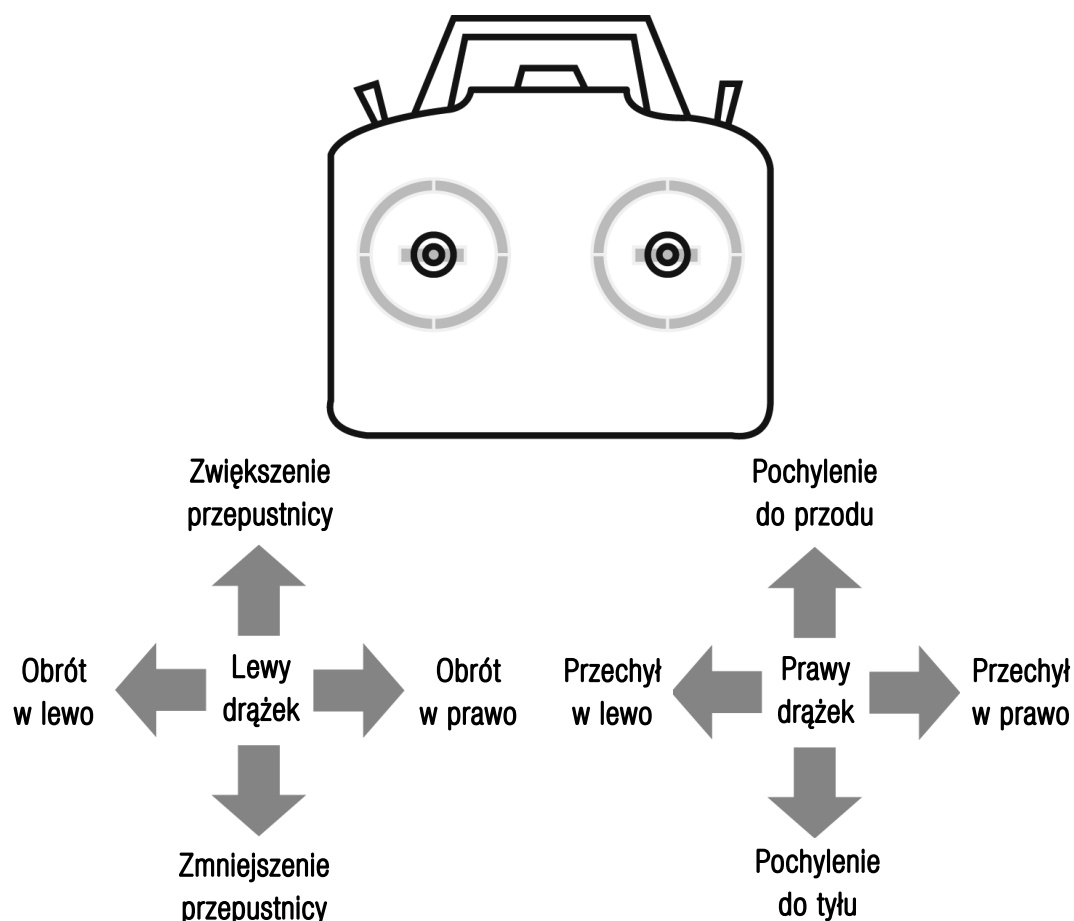


Rysunek 1-3. Samolot z pokazanymi siłami wpływającymi na lot.

## Manewrowanie lotem: ruchy statku powietrznego odwzorowane na drążku

Do sterowania statkami UAV przeważnie używa się standardowych 6-kanałowych (minimalnie) nadajników radiowych, które przypominają układy zdalnego sterowania stosowane od lat do modeli samolotów. Układy te zawierają dwa główne drążki, które poruszają się do przodu i do tyłu oraz w lewo i w prawo. W zależności od modelu mogą mieć także pewną kombinację przełączników, pokręteł i suwaków. Każdy z tych mechanizmów wejściowych zajmuje jeden kanał radia.

Dwa główne drążki są najbardziej ważnymi kontrolerami i zajmują razem cztery kanały, po jednym dla każdej osi, po której drążek może się poruszać. Poza głównymi drążkami, zawsze potrzebny jest co najmniej jeden kanał do kontrolowania ustawień trybu lotu statku powietrznego. Innym powszechnie wymaganym kanałem jest kanał obsługujący funkcję powrotu do bazy RTH (Return to Home). Oba te kanały są przypisane do przełącznika i kontrolowane przez niego. Funkcję RTH i tryby lotu opiszemy szczegółowo dalej w tej książce. Teraz przyjrzyjmy się dokładniej kanałom sterowanym przez dwa główne drążki (patrz rysunki 1-4 i 1-5).



**Rysunek 1-4.** Ruchy poleceń lewego i prawego drążka sterującego nadajnika radiowego w trybie 2.



Opisy kontrolera zamieszczone tutaj dotyczą nadajników radiowych trybu 2, używanych w USA. Inne kraje mogą używać nadajników radiowych trybu 1, które po prostu zmieniają ruchy kontrolowane przez każdy drążek. Wiele nowoczesnych nadajników radiowych obsługuje oba tryby, ale niektóre są skonfigurowane fabrycznie tylko dla jednego z nich<sup>1</sup>.

## Przepustnica

Ruch do przodu/do tyłu lewego drążka steruje przepustnicą statku powietrznego. Zgodnie ze swoją nazwą, przepustnica działa istotnie jak pedał gazu dla statku powietrznego. W większości przypadków im wyższa wartość przepustnicy, tym szybciej obracają się silniki. Oczywiście są od tego wyjątki i omówimy je, odwołując się do autopilota i lotów autonomicznych. Aby statek

<sup>1</sup> <http://www.modelarz.one.pl/porady-modelarskie/teoria-rc/mode-1-czy-mode-2-co-wybrac/>