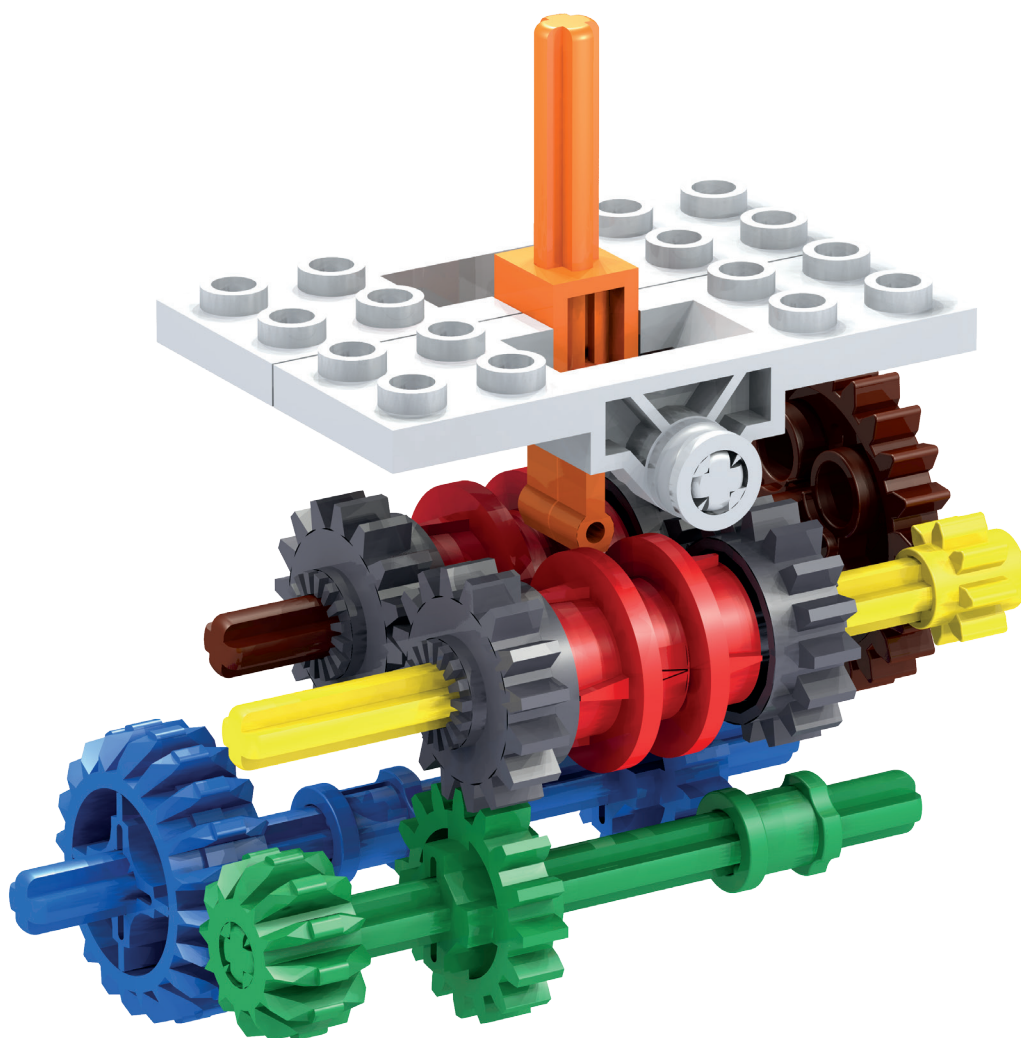




NIEOFICJALNY PRZEWODNIK KONSTRUKTORA LEGO® TECHNIC

Paweł „Sariel” Kmiec



WHAT WILL YOU BUILD?™

System LEGO® Technic to nowe możliwości budowania. Dzięki zastosowaniu silników elektrycznych, kół zębatach, mechanizmów pneumatycznych, krążków, prostowodów oraz innych elementów możemy projektować modele LEGO, które naprawdę działają.

Książka *Nieoficjalny przewodnik konstruktora LEGO Technic* jest pełna wskazówek pomagających budować mocne, a równocześnie dobrze wyglądające maszyny i mechanizmy przy użyciu systemu Technic. Jej autor, Paweł „Sariel” Kmieć, uczy podstaw konstruowania z klocków LEGO Technic, od prostych maszyn, poprzez zaawansowane mechanizmy, aż po informacje, jak tworzyć realistyczne modele w odpowiedniej skali. Sariel, światowej sławy ekspert LEGO Technic, oferuje unikalny wgląd w zasady mechaniki dotyczące momentu obrotowego, mocy i przełożenia, a wszystko to przy użyciu klocków Technic. Dowiedz się, jak:

- * Tworzyć mocne połączenia odporne na duży nacisk.
- * Odtwarzać specjalistyczne części LEGO, takie jak obejmę i przegub Cardana, oraz budować własne rozwiązania, takie jak łączniki Schmidta i Oldhama, gdy żadne standardowe części nie wystarczają.

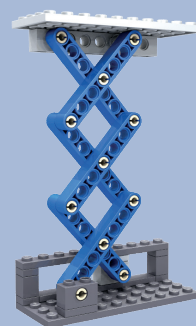
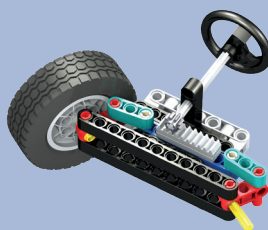
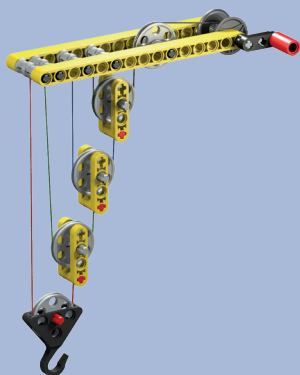
- * Budować własne dyferencjały, układy zawieszenia, skrzynie biegów i układy kierownicze.
- * Dobierać silniki do zadań – i przekształcać ich właściwości według potrzeb.
- * Łączyć techniki budowania ze studami i bez studów, aby Twoje modele wyglądały lepiej.
- * Tworzyć zdalnie sterowane pojazdy, systemy oświetlenia, kompresory napędzane silnikiem elektrycznym oraz silniki pneumatyczne.

Ta wspaniale ilustrowana, kolorowa książka inspirowana pomysłami budowy tak zdumiewających pojazdów, jak czołgi z zawieszeniem gąsienicowym, supersamochody, dźwigi, buldożery i wiele innych. Twoja przygoda z LEGO Technic właśnie się zaczyna!

o autorze

Paweł „Sariel” Kmieć (<http://sariel.pl/>) konstruuje i opisuje modele Technic. Jest najpopularniejszym konstruktorem LEGO Technic w serwisie YouTube oraz gościnnie publikuje na oficjalnym blogu LEGO Technic, był także Ambasadorem LEGO na Polskę w kadencji 2012.

INSPIRUJĄCE MODELE, WYCZERPUJĄCE PORADY DLA KONSTRUKTORÓW ORAZ INSTRUKCJE BUDOWANIA PONAD 40 MECHANIZMÓW



Książka ta nie jest autoryzowana ani zatwierdzona przez LEGO Group.

Poznaj ofertę wydawnictwa Promise na stronie
www.ksiazki.promise.pl

CENTRUM EDUKACYJNE
PROMISE
GRUPA APN PROMISE



THE FINEST IN GEEK ENTERTAINMENT™
www.nostarch.com

CENA Z VAT: 79,80 zł

ISBN 978-83-7541-143-0



9 788375 411430

Paweł „Sariel” Kmiec

NIEOFICJALNY PRZEWODNIK KONSTRUKTORA LEGO® TECHNIC

Przekład: Maria Chaniewska

APN Promise, Warszawa 2013



Nieoficjalny przewodnik konstruktora LEGO® Technic

Original edition copyright © 2013 by Paweł „Sariel” Kmieć. All rights reserved.

Authorised translation of **The Unofficial lego® Technic Builder's Guide**, ISBN 978-1-59327-434-4, published by arrangement with No Starch Press, Inc.

Polish edition copyright © 2013 by APN Promise SA. All rights reserved.

ISBN: 978-83-7541-143-0

Printed in Poland

APN PROMISE SA, ul. Kryniczna 2, 03-934 Warszawa

tel. +48 22 35 51 600, fax +48 22 35 51 699

e-mail: mspress@promise.pl

Wszystkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki nie może być powielana ani rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie i w jakikolwiek sposób (elektroniczny, mechaniczny), włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmę lub przy użyciu innych systemów bez pisemnej zgody wydawcy.

LEGO®, MINDSTORMS®, konfiguracja klocków oraz minifigurki są znakami towarowymi firmy LEGO Group, która nie sponsorowała, nie autoryzowała ani nie aprobowwała tej książki.

Dołożyliśmy wszelkich starań, aby zapewnić najwyższą jakość tej publikacji. Jednakże nikomu nie udziela się rękojmi ani gwarancji. Ani autor, ani No Starch Press, Inc., ani APN PROMISE SA nie są w żadnym wypadku odpowiedzialne za jakiegokolwiek szkody będące następstwem korzystania z informacji zawartych w niniejszej publikacji, nawet jeśli APN PROMISE została powiadomiona o możliwości wystąpienia szkód.

Ilustracja na okładce: Eric „Blakbird” Albrecht

Projekt układu: Octopod Studios

Recenzent techniczny: Eric „Blakbird” Albrecht

Źródła ilustracji:

Rysunki 3-17, 3-18, 3-19, 3-20, 3-21, 3-22, 3-23, 3-24, 3-44, 4-5, 6-11, 10-24, 11-29, 11-37, 14-16, 16-4, 19-3, 19-4, 19-8, 19-14 oraz 19-15 – Eric „Blakbird” Albrecht

Rysunek 15-13 – Jano Gallo, użyty na podstawie Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported

Schematy konstrukcyjne (rysunki 19-2, 19-5, 19-6, 19-18, 19-19, 19-20, 20-1, 20-6, 20-7, 20-8 oraz 20-9) to obrazy *royalty-free* zakupione w The-Blueprints.com.

Zdjęcie autora – Magda Andrzejewska

Do utworzenia ilustracji wykorzystano następujące oprogramowanie:

MLCAD autorstwa Michaela Lachmanna

LDView autorstwa Trvisa Cobbsa i Petera Bartfai

LPub autorstwa Kevin Clague

Przekład: Maria Chaniewska, Paweł „Sariel” Kmieć

Redakcja: Marek Włodarz

Korekta: Ewa Świędrowska

Skład i łamanie: MAWART Marek Włodarz

o autorze

Paweł „Sariel” Kmieć jest entuzjastą LEGO Technic z Warszawy. Zajmuje się budowaniem modeli z klocków i ich dokumentacją, a jego kreacje pojawiały się w wielu magazynach i na najpopularniejszych blogach poświęconych LEGO, a nawet skłoniły firmę LEGO do skorzystania z jego pomocy przy pracy nad niektórymi produktami. Sariel został zaproszony do blogowania na oficjalnej stronie LEGO Technic i był Ambasadorem LEGO na Polskę w kadencji 2012. Zalicza się do najczęściej oglądanych budowniczych LEGO Technic na YouTube. Jego modele i nie tylko można zobaczyć pod adresem *sariel.pl*.



o recenzencie technicznym

Eric „Blakbird” Albrecht jest inżynierem lotnictwa z północnego zachodu Stanów Zjednoczonych. Prowadzi znaną na całym świecie Technicopedię, w której dokumentuje historię każdego zestawu Technic, poczynając od roku 1977, i każdy zestaw posiada u siebie w domu. Eric chętnie wykorzystuje też narzędzia LEGO CAD, przy pomocy których stworzył ponad 1000 fotorealistycznych wizualizacji oficjalnych zestawów, jak i konstrukcji fanowskich. Ma na koncie dziesiątki instrukcji do niektórych z najlepszych konstrukcji Technic na świecie, średnio liczących sobie po 1500 części. Jego strona dostępna jest pod adresem *technicopedia.com*.



skrócony spis treści

słowo wstępne	xiii
przedmowa	xv
podziękowania	xvi

część I podstawy

rozdział 1	podstawowe pojęcia	3
rozdział 2	podstawowe jednostki i części	9
rozdział 3	ze studami czy bez?	17
rozdział 4	osie, nakładki i przeguby	31

część II mechanika

rozdział 5	koła zębate i podstawy przenoszenia mocy	43
rozdział 6	łańcuchy i krążki	57
rozdział 7	dźwignie i prostowody	67
rozdział 8	rozwiązania mechaniczne własnej konstrukcji	77
rozdział 9	system pneumatyczny LEGO	103
rozdział 10	urządzenia pneumatyczne	115
rozdział 11	solidne konstrukcje	137

część III silniki

rozdział 12	przegląd silników LEGO	163
rozdział 13	system LEGO Power Functions	171

część IV mechanika zaawansowana

rozdział 14	układy kierownicze pojazdów kołowych	191
rozdział 15	układy zawieszenia pojazdów kołowych	203
rozdział 16	pojazdy i zawieszenia gąsienicowe	241
rozdział 17	skrzynie biegów	251
rozdział 18	sumatory i subtraktory	277

część V modele

rozdział 19	forma kontra funkcjonalność	295
rozdział 20	skalowanie modelu	307
rozdział 21	proces modelowania	315
	poślowie	325
	indeks	326

szczegółowy spis treści

słowo wstępne	xiii
przedmowa	xv
podziękowania	xvi

CZĘŚĆ I PODSTAWY

1	
podstawowe pojęcia	3
prędkość	3
moment obrotowy	3
moc	3
tarcie	4
przyczepność	4
opór toczenia	4
luz	5
sprawność	5
pojęcia dotyczące pojazdów	5
wał napędowy	6
układ napędowy	6
przeniesienie napędu	6
kąt skrętu	6
promień skrętu	6
rodzaje napędów	7
rozkład masy	7
środek ciężkości	7
prześwit	8
2	
podstawowe jednostki i części	9
kłosek Technic	9
piny do łączenia i obracania	10
belki – alternatywa bez studów	12
połowa studa jako minimalna jednostka konstrukcyjna	14
dwa triki – konstruowanie co pół studa	15
3	
ze studami czy bez?	17
ewolucja LEGO	17
budowanie ze studami	18
wzmacnianie konstrukcji ze studami	19
zalety konstrukcji ze studami	20
wady konstrukcji ze studami	20
budowanie bez studów	20

tworzenie sztywnych połączeń bez studów	21
zalety konstrukcji bez studów	22
wady konstrukcji bez studów	23
łączenie technik	23
czerpanie inspiracji z zestawów Technic	24
metody łączenia klocków i belek	27
parzyste a nieparzyste	28

4

osie, nakładki i przeguby	31
osie	31
osie standardowe	32
osie zmodyfikowane	33
osie elastyczne	34
nakładki	35
nakładka $\frac{1}{2}$	35
nakładka zwykła	37
nakładka z pinem długim	37
przeguby Cardana	38

CZĘŚĆ II MECHANIKA

5

koła zębate i podstawy przenoszenia mocy	43
koła napędzające, napędzane i pośredniczące	44
przełożenia	45
sprawność a koła zębate	46
luz a koła zębate	47
określanie kierunku obrotu	47
rodzaje kół zębatych	48
przekładnia ślimakowa	48
koło zębate z 8 zębami	49
koło zębate stożkowe jednostronne z 12 zębami	50
koło zębate stożkowe dwustronne z 12 zębami	50
koło zębate z 14 zębami	50
koło zębate z 16 zębami	50
koło zębate z 16 zębami i sprzęgłem	50
koło zębate stożkowe jednostronne z 20 zębami	51
koło zębate stożkowe jednostronne z 20 zębami i otworem okrągłym	51
koło zębate stożkowe dwustronne z 20 zębami	51
koło zębate z 24 zębami	52
Koło zębate z 24 zębami i sprzęgłem	52
koło zębate z 24 zębami i koroną	53
koło zębate z 36 zębami	53
koło zębate z 40 zębami	53
obudowy dyferencjału	53
obrotnice	54

knob	55
koło zębate z zestawu Hailfire Droid	55
wycofane koła zębate	56
6	
łańcuchy i krążki	57
łańcuchy	57
krążki	59
wielokrążki	61
wielokrążek zwykły	62
wielokrążek różnicowy	63
wielokrążek potęgowy	65
7	
dźwignie i prostowody	67
dźwignie	67
klasy dźwigni	68
od dźwigni do prostowodów	69
prostowody	71
prostowód Czebyszewa	73
prostowód Hoekena	73
pantograf	73
komórka Peaucelliera–Lipkina	74
prostowód Sarrusa	74
prostowód Scotta-Russella	75
mechanizm nożycowy	75
prostowód Watta	76
8	
rozwiązania mechaniczne własnej konstrukcji	77
mocniejszy dyferencjał	77
blokada dyferencjału	78
dyferencjał własnej konstrukcji	79
oś z blokadą dyferencjału	81
mechanizmy zębatkowo-zapadkowe	82
sprzęgła liniowe	83
mechanizmy mimośrodowe	84
mechanizmy jarzmowe	85
mechanizm jarzmowy	86
łączniki Oldhama	87
łącznik Oldhama	87
łączniki Schmidta	88
silniki krokowe	88
mechanizm maltański	89
mechanizm maltański	90
światła cofania	90
migacze	91
kierunkowskazy	92

złożone kierunkowskazy	94
przenoszenie napędu dwiema osiami przez obrotnicę	96
przenoszenie napędu przez dwie osie i obrotnicę	97
mocny przegub Cardana	101
przegub Cardana	101

9

system pneumatyczny LEGO	103
stary system	103
nowy system	104
przegląd części pneumatycznych	105
pompa pneumatyczna (stary system)	105
pompa pneumatyczna (nowy system)	105
mała pompa pneumatyczna (nowy system)	106
blok rozdzielczy (stary system)	106
zawór ze studami	106
zawór bez studów (nowy system)	107
duży siłownik (stary system)	107
siłownik 6L (stary system)	107
mały siłownik (nowy system)	108
duży siłownik z podstawą kwadratową (nowy system)	108
duży siłownik z podstawą okrągłą (nowy system)	108
rurki i przewody pneumatyczne	108
trójnik (stary system)	109
trójnik (nowy system)	110
złącze przewodów z otworem krzyżowym (nowy system)	110
klamra do siłowników	110
zbiornik powietrza	111
manometr	112
modyfikacje systemu pneumatycznego	112
przewody nie produkowane przez firmę LEGO	112
zbiorniki powietrza nie produkowane przez firmę LEGO	112
usuwanie sprężyn, aby utworzyć kompresory zasilane	113
zawieszenia pneumatyczne	113
zamiana systemu pneumatycznego w hydrauliczny	113

10

urządzenia pneumatyczne	115
kompresory napędzane silnikiem elektrycznym	115
kompresor kołyszący	118
zawory sterowane silnikiem elektrycznym	119
zawór automatyczny	120
zawór sterowany silnikiem elektrycznym	121
zawór automatyczny	122
automatyczny przełącznik ciśnieniowy	123
silniki pneumatyczne	124
silnik jednocyldrowy	125
silnik pneumatyczny dwucylindrowy	128

silnik pneumatyczny dwucylindrowy z suwakami	131
prezentacja konstruktora	135
działająca ciśnieniowa pompa wodna	135
11	
solidne konstrukcje	137
przyczyny rozłączania się części	137
znajdowanie słabych ogniów	138
wyznaczanie miejsc wzmocnień	138
właściwe sposoby wzmacniania	140
zasady wzmacniania	142
wzmocnione obejmy dyferencjału	144
cztery wzmocnione obejmy dyferencjału	145
wzmocnione obejmy przekładni ślimakowej	149
trzy wzmocnione obejmy przekładni ślimakowej	150
struktury nośne	151
podłużnice, podwozia i ramy	151
kratownice	154
wybór właściwej kratownicy	157
wybieranie najmocniejszych części	159

CZĘŚĆ III SILNIKI

12	
przegląd silników LEGO	163
2838, pierwszy silnik 9V	164
71427, popularny i mocny silnik 9V	165
43362, lżejszy silnik 9V	165
47154, silnik 9V w półprzezroczystej obudowie	166
Micromotor	166
silnik NXT	167
silnik E systemu Power Functions	167
silnik Medium (M) systemu Power Functions	168
silnik L systemu Power Functions	168
silnik XL systemu Power Functions	169
silnik Servo systemu Power Functions	169
silnik RC	170
13	
system LEGO Power Functions	171
ręczne sterowanie silnikami	171
zdalne sterowanie silnikami	172
źródła zasilania	174
pojemnik na baterie AA	174
pojemnik na baterie AAA	174
akumulator	175
odbiornik	175

piloty	176
pilot podstawowy	177
pilot z regulacją prędkości	177
modyfikacje pilotów	177
pilot podstawowy z kierownicą	178
pilot podstawowy z dźwignią na boki	179
pilot kontroli prędkości z centralną kierownicą	181
siłowniki liniowe	183
siłownik liniowy duży	183
siłownik liniowy mały	185
siłowniki liniowe a elementy pneumatyczne	185
kable przedłużające	186
różne elementy	187
przełącznik	187
diody świecące	187

CZĘŚĆ IV MECHANIKA ZAAWANSOWANA

14

układy kierownicze pojazdów kołowych	191
podstawowe układy kierownicze LEGO	191
układ kierowniczy z centrowaniem	194
geometria skrętna Ackermanna	195
proste ramię skrętne z geometrią Ackermanna	198
zbieżność osi	199

15

układy zawieszenia pojazdów kołowych	203
osie napędzane	203
układy zawieszenia: koncepcja i kategorie	204
rodzaje zawiesznień	205
niezależne zawieszenie o dwóch wahaczach poprzecznych	206
zawieszenie typu Tatra	207
zawieszenie kolebkowe	208
zawieszenie z wahaczami wleczonymi (zawieszenie osi pływającej)	209
osie kierowane i zawieszone	210
zawieszenie kolebkowe z obrotnicami	210
stabilizowane zawieszenie kolebkowe	211
osie portalowe (zwolnice)	213
stabilizowane zawieszenie kolebkowe z osią portalową	214
zawieszenie typu Tatra stabilizowane czterema amortyzatorami	217
zawieszenie niezależne	220
oś pływająca z czterema cięgnami	222
osie sterowane i zawieszone	225
kolebkowa oś kierowana	225
niezależna oś kierowana	226
osie napędzane, kierowane i zawieszone	227

oś niezależna	227
wzmocniona portalowa oś kolebkowa	230
oś kolebkowa z przekładnią ślimakową	236

16

pojazdy i zawieszenia gąsienicowe	241
gąsienice gumowe	241
gąsienice plastikowe	242
układy kół w pojazdach gąsienicowych	244
układy zawieszenia	246
wózki	246
zawieszenie z wahaczami wleczonymi na amortyzatorach	247
zawieszenie z wahaczami wleczonymi na drążkach skrętnych	248
eksperymentowanie z kołami jezdnyymi	249

17

skrzynie biegów	251
typy skrzyń biegów	251
działanie pierścieni skrzyni biegów LEGO	252
projekty skrzyń biegów	254
2-biegowa synchronizowana skrzynia biegów	254
2-biegowa sekwencyjna mocna skrzynia biegów	254
2-biegowa skrzynia biegów z silnikiem RC	255
2-biegowa obiegowa skrzynia biegów	255
2-biegowa zapadkowa skrzynia biegów	256
3-biegowa sekwencyjna skrzynia biegów	256
4-biegowa skrzynia biegów z dwiema dźwigniami	257
4-biegowa synchronizowana skrzynia biegów	257
5-biegowa sekwencyjna skrzynia biegów	258
10-biegowa synchronizowana skrzynia biegów	259
bezstopniowa skrzynia biegów	260
skrzynie rozdzielcze	260
2-biegowa synchronizowana skrzynia biegów	261
2-biegowa sekwencyjna mocna skrzynia biegów	262
2-biegowa skrzynia biegów z silnikiem RC	264
2-biegowa obiegowa skrzynia biegów	266
2-biegowa zapadkowa skrzynia biegów	267
3-biegowa sekwencyjna skrzynia biegów	268
4-biegowa synchronizowana skrzynia biegów	270
10-biegowa synchronizowana skrzynia biegów	271
bezstopniowa skrzynia biegów	276

18

sumatory i subtraktory	277
sprzęganie na sztywno	277
sprzęganie silników przy użyciu sumatorów	277
sumowanie momentu obrotowego za pomocą sumatora	277
dodawanie większej liczby silników niż dwa	280

subtraktory	280
powody do używania subtraktora	281
subtraktor wzdłużny	282
subtraktor wzdłużny	283
subtraktor poprzeczny	288
subtraktor poprzeczny	289
subtraktor poprzeczny bez studów	291

CZĘŚĆ V MODELE

19	
forma kontra funkcjonalność	295
samochody	295
ciężarówki	296
motocykle	299
pojazdy gąsienicowe	299
modele lotnicze	302
samoloty	302
helikoptery	302
20	
skalowanie modelu	307
schematy	307
punkty odniesienia	309
skalowanie	309
21	
proces modelowania	315
rozmiar ma znaczenie	315
koła	316
inne okrągłe elementy	319
kolory	319
diabeł tkwi w szczegółach	320
budowanie pod dziwnymi kątami	321
budowanie z głową	323
kolejny krok: sterowanie modelami	323
pośłowie	325
indeks	326

słowo wstępne

Klocek LEGO został nazwany „Zabawką Stulecia” przez magazyn *Fortune* i przez Brytyjskie Stowarzyszenie sprzedawców zabawek, pokonując wieloletnich faworytów, takich jak pluszowy miś. Dlaczego? Zabawa LEGO to radość i rywalka, ale także istotne wartości edukacyjne. I bardziej niż jakakolwiek inna zabawka, LEGO pozwala naszym pomysłom przybrać fizyczną formę – jeśli czytasz tę książkę, wiesz dokładnie o czym mowa.

LEGO Technic wykracza poza tradycyjny system LEGO zapewniając wyzwanie w budowaniu. Trzy zasadnicze koncepcje stojące za LEGO Technic – Autentyczność, Funkcjonalność i Wyzwanie (przez firmę LEGO nazywane *strategią AFC*) – pozwalają nam tworzyć realistyczne modele istniejących urządzeń z wieloma działającymi funkcjami.

Współczesne zestawy LEGO Technic wprowadzają te koncepcje w życie lepiej niż kiedykolwiek i z założenia mają stawiać wyzwanie. Wielu budowniczych ma jednak trudności z samodzielnym tworzeniem w ramach tego systemu – i tu z pomocą przychodzi niniejsza książka. Tworzenie z LEGO Technic to świetna zabawa, ale wymagająca sporej wiedzy.

Paweł wyjaśnił tajniki budowania z Technic w najlepszy możliwy sposób i cieszę się, że jego pomysły są teraz dostępne dla wszystkich budowniczych i fanów LEGO. Znajdziecie tu wiele przykładów, sztuczek i praktycznych porad pomagających tworzyć solidne i przydatne mechanizmy. Dowiedzie się także sporo o historii i ewolucji elementów LEGO Technic, na przykład o rozwoju systemu pneumatycznego LEGO.

Nieoficjalny przewodnik konstruktora LEGO Technic z pewnością pomoże wprowadzić wielu młodych konstruktorów w świat kreatywnych możliwości, jakie zapewnia LEGO Technic. Jeśli dopiero zaczynasz, wiele atrakcji czeka na Ciebie już w pierwszych rozdziałach... jeśli masz sporo praktyki, ta książka pomoże Ci się rozwinąć. Jeśli natomiast jesteś już doświadczonym budowniczym, znajdziesz tu unikalne informacje i inspiracje, żeby podnieść poprzeczkę jeszcze wyżej. Mimo że sam mam duże doświadczenie, wiele się nauczyłem

o systemie Technic z tej książki. Mam nadzieję, że przyda się ona też Tobie.

Poznałem Pawła i jego prace w roku 2007, wkrótce po tym jak zdecydowałem się prowadzić bloga poświęconego LEGO Technic, nazwanego TechnicBRICKs. Jego wybitny umysł dał się poznać, kiedy przedstawił społeczności fanów kilka własnych mechanizmów – automatyczny zawód pneumatyczny, nakładka na pilota Power Functions pozwalająca na bardziej intuicyjne sterowanie, czy wspaniałe automatyczne kierunkowskazy, które stosuje on w swoich modelach ciężarówek, to tylko kilka przykładów.

Z niniejszej książki nauczysz się technik budowania od jednego z najbardziej doświadczonych konstruktorów na świecie. Mimo że Paweł nie ma wykształcenia technicznego (jest lingwistą z wykształcenia, a zawodowo zajmuje się projektowaniem graficznym), jego zainteresowanie mechaniką i doświadczenie z klockami świadczą o edukacyjnym potencjale Technicowych klocków. Co więcej, ma on nieprzerwanie płynący strumień kolejnych pomysłów. Wszystko to czyni go jednym z najbardziej płodnych budowniczych LEGO. Wśród modeli Pawła znalazła się maszynaria budowlana, samochody, łaziki, motocykle, hotrody, ciężarówki, czołgi i wiele więcej. Przy wielu z nich trzyma się on stylistyki Model Team podniesionej do najwyższego poziomu: starannie dopieszczony wygląd, mnóstwo złożonych funkcji i ogrom szczegółów. I w tym leży zapewne jego największy talent, w niesamowitym odwzorowaniu tego, z czym spotykamy się na co dzień. Mogę z czystym sumieniem powiedzieć, że Paweł zalicza się do ścisłej czołówki budowniczych LEGO Technic.

Mam nadzieję, że niniejsza książka przyda Ci się w tworzeniu i zapewni Ci wsparcie w czekających na Ciebie wyzwaniach.

Fernando Correia
Redaktor naczelny TechnicBRICKs.com
Lizbona, 2012

przedmowa

Książka, którą trzymasz w rękach, powstała dość okrężną drogą. To pewnego rodzaju znak czasów, że została pierwotnie napisana po angielsku przez Polaka i wydana w Stanach Zjednoczonych, zanim staraniem polskiego wydawcy wróciła do kraju pochodzenia. Polska edycja jest efektem przekładu powstałego prawie rok po wydaniu oryginału, dzięki czemu pozbawiona jest kilku błędów drukarskich i drobnych nieaktualności.

Założeniem niniejszej książki było przekazanie całej wiedzy o budowaniu z LEGO Technic, jaką zebrałem w ciągu wielu lat tworzenia z użyciem tego medium. W trakcie pracy nad nią konieczne było pewne okrojenie materiału dla zachowania rozsądnej objętości, co na szczęście udało się zrobić, pomijając tylko informacje mało uniwersalne i dotyczące wycofanych już z produkcji elementów. Wiedza, którą tu znajdziesz, została zebrana z myślą o współczesnych konstruktorach, którzy mają dostęp do najnowszych zestawów LEGO Technic, ale obejmuje także wiele zestawów i elementów już historycznych. Bez względu na to, czy dopiero zaczynasz przygodę z klockami, czy też wracasz do nich po latach, z pewnością znajdziesz tu coś dla siebie.

Zachęcam, aby nie poprzestawać na wiedzy tu zebranej – zabawa z klockami obejmuje wiele innych tematów, których nie byłem w stanie zawrzeć w tej książce. Na szczególną uwagę zasługuje duża liczba elementów, które nie mają odpowiedników wśród produkowanych dziś części, a także zestawy LEGO MINDSTORMS i NXT, pozwalające zgłębiać tajemnice robotyki, którym poświęcono wiele odrębnych książek.

Pisząc tę książkę, zdecydowałem się pójść pod prąd zasadom, jakie znamy z oficjalnych zestawów LEGO. Zamiast zebrać tu gotowe instrukcje bez słowa wyjaśnienia, jak działa dany mechanizm, starałem się wyposażać Czytelnika w narzędzia pomocne w rozpoczęciu własnej przygody z LEGO Technic. Temu właśnie celowi służą kolejne rozdziały objaśniające rodzaje i zastosowania podstawowych elementów, aby następnie móc wejść w świat coraz bardziej skomplikowanych mechanizmów i zgłębiać wyzwania wiążące

się z budową własnych modeli. Dużo uwagi poświęciłem mechanizmom składowym, takim jak skrzynie biegów czy systemy zawieszenia, tak byś mógł łatwo wykorzystać je w swoich konstrukcjach. Podczas gdy zestawy LEGO zawierają kompletne instrukcje pozbawione jakichkolwiek objaśnień, ta książka stara się być ich dokładną odwrotnością. A to dlatego, że moim zdaniem najwięcej przyjemności daje własna kreatywność uwolniona dzięki klockom LEGO, a nie wykonywanie krok po kroku wymyślonej przez kogoś instrukcji.

W książce tej znajdziesz dziesiątki konstrukcji, z których żadna nie jest tak naprawdę wersją ostateczną – zawsze istnieje możliwość przeróbek i poprawek. Niektóre z przedstawionych tu mechanizmów celowo korzystają z podstawowych części LEGO z myślą o osobach, których kolekcja klocków jest niewielka. Mając nowsze, bardziej wyspecjalizowane części możesz z łatwością dokonać ulepszeń. Jeśli zaś nie masz zbyt wielu klocków do wykorzystania, pamiętaj, że ograniczenia często pobudzają do kreatywnego myślenia.

Niniejsza książka używa nazw i numerów części, a także nazw kolorów z katalogu serwisu BrickLink.com. Katalog ten należy do największych i najbardziej aktualnych, a jednocześnie służy jako wirtualny rynek, na którym sprzedawcy z całego świata wystawiają swoje klocki. Każda część, jaką znajdziesz w tym katalogu, może zostać zakupiona paroma kliknięciami i dostarczona w dowolne miejsce.

Mam nadzieję, że ta książka spełni Twoje oczekiwania. Pamiętaj jednak, że ma ona jedynie dać Ci narzędzia pomocne w samodzielnym tworzeniu – od Ciebie zależy, jak je wykorzystasz. Klocki LEGO – jak mało które inne medium – pozwalają doświadczyć radości tworzenia, która sprawia, że nawet najfajniejszy zestaw LEGO nie daje takiej satysfakcji, jak zbudowanie samemu czegoś zupełnie nowego i działającego dokładnie tak, jak chciałeś.

Życzę Ci jak najwięcej tej radości.



podziękowania

W trakcie pracy nad niniejszą książką spotkał mnie zaszczyt otrzymania niezwykle dużej, bezinteresownej i niezawodnej pomocy od społeczności fanów LEGO. Mogłem polegać na wielu wybitnych konstruktorach, których pomoc i ekspertyza znacząco podniosły jakość tej książki. Przede wszystkim chcę podziękować Ericowi „Blakbirdowi” Albrechtowi za jego cierpliwość do poprawek, za podzielenie się fachową wiedzą i liczne uwagi, z których z powodzeniem dałoby się zebrać osobną książkę. Pragnę także podziękować Philippe „Philo” Hurbainowi, który wielokrotnie przychodził mi z pomocą i którego ogromny (i darmowy) wkład pracy w narzędzia używane przez konstruktorów jest nie do przecenienia. Jestem też pewien, że nie miałbym szansy napisania tej książki, gdyby nie Fernando „Conchas” Correia i jego blog TechnicBRICKs, na którym prezentował moje kreacje wielokrotnie, pomagając mi zyskać rozpoznawalność i nawiązać kontakty z międzynarodową społecznością fanów LEGO.

Chcę podziękować moim rodzicom, którzy zaczęli to wszystko ponad 20 lat temu, kiedy wybrali dla swojego dziecka najlepszą z zabawek, w najmniejszym stopniu nie podejrzewając, do czego to kiedyś doprowadzi.

Liczne podziękowania należą się utalentowanym konstruktorom, którzy byli dla mnie inspiracją i pomocą lub przyczynili

się do niniejszej książki w inny sposób, a wśród których znaleźli się Paul „Crowkillers” Boratko, Jetro de Château, Jennifer Clark, Kris Kelvin, Arjan „Konajra” Kotte, Peer „Mahjqa” Kreuger, Erik Leppen, David Luders, Marek „M_Longer” Markiewicz, Emil „Emilus” Okliński, Marcin „Mrutek” Rutkowski, Ingmar Spijkhoven i Maciej „dmac” Szymański.

Jestem również wdzięczny polskiej społeczności LEGO, LUGPolowi, za wytrzymanie ze mną przez lata, za bycie domem dla wielu niesamowitych i inspirujących twórców, postaci i kreacji; za stałe skłanianie bym starał się bardziej i za pokazanie mi, że poza linią Technic istnieje jeszcze cały świat LEGO.

Szczególne podziękowania dla Moniki Pedersen i Gaute Muncha z firmy LEGO, którzy pokazali mi, że nawet wielki koncern może mieć bardzo ludzką twarz.

Jestem również wdzięczny Tylerowi Ortmanowi, Alison Law i reszcie załogi No Starch Press za zaufanie początkującemu autorowi z bardzo ambitnym planem.

Na końcu chcę podziękować wielu osobom, które śledziły moją pracę przez lata, okazując swoje zainteresowanie w dyskusji, sugestiiach i stawianiu wyzwań. Mam nadzieję, że ta książka będzie dla Was równie satysfakcjonująca, jak Wasze wsparcie jest dla mnie.

CZĘŚĆ I

podstawy

podstawowe pojęcia

Ten rozdział wyjaśnia podstawowe pojęcia dotyczące konstruowania maszyn i pojazdów. Skupia się on na wiedzy czysto praktycznej i na prawach fizyki istotnych podczas budowania działających mechanizmów LEGO, a nie na stworzeniu kompletnego leksykonu potrzebnego zawodowemu inżynierowi czy fizykowi. Zaczniemy od podstaw.

prędkość

Prędkość to wielkość określająca, jak szybko poruszają się obiekty. Pod pojęciem prędkości zwykle rozumiemy odległość, jaką pojazd może przebyć w określonej jednostce czasu. Jest to *prędkość liniowa* i mierzymy ją w kilometrach na godzinę (km/h).

Istnieje też inny rodzaj prędkości, nazywany *prędkością obrotową*, który informuje nas, jak szybko obiekt się obraca. Zrozumienie prędkości obrotowej będzie nam potrzebne, ponieważ napęd większości mechanizmów LEGO zawiera obracające się osie, które wprawiają w ruch koła lub gąsienice i w ten sposób wpływają na prędkość liniową pojazdu. Prędkość obrotowa jest mierzona w obrotach na minutę (RPM – od Rotations Per Minute). Różne typy silników LEGO zapewniają różne prędkości obrotowe – od niespełna 20 RPM do ponad 1000 RPM.

moment obrotowy

Moment obrotowy opisuje przyłożoną do obiektu siłę. Na przykład napędzanie osi za pomocą silnika LEGO polega na przyłożeniu momentu obrotowego do tej osi. Im większy moment obrotowy jest zastosowany, tym ruch jest silniejszy i tym większy opór jest potrzebny do jego zatrzymania.

Przykładowo silnik, który ma wystarczający moment obrotowy, aby napędzać pojazd o masie na przykład 1 kg, może ulec zatrzymaniu, gdy spróbujemy nim napędzać pojazd o masie 2 kg.

W LEGO Technic moment obrotowy silników LEGO jest mierzony w jednostkach nazywanych niutonocentymetrami (N·cm) i jest stały dla danego źródła zasilania: na przykład najsłabsze silniki LEGO dostarczają moment siły równy 0,5 N·cm, a najsilniejsze 16,7 N·cm. Sytuacja jest inna, gdy napędzamy mechanizm ręcznie – wielkość momentu obrotowego jest zmienna i zależy od zastosowanej siły fizycznej. Zrozumienie momentu obrotowego jest niezbędne do zrozumienia możliwości silników i napędzanych przez nie mechanizmów, a także ograniczeń części LEGO. Duży moment obrotowy tworzy naprężenia, które mogą je uszkodzić. W rozdziale 11 dowiemy się, jak zapobiegać takim sytuacjom, a ponadto zbadamy związek między momentem obrotowym a prędkością.

moc

W tej książce *moc* dotyczy *mocy mechanicznej*, która jest iloczynem momentu siły i prędkości obrotowej. Moc mechaniczna jest zwykle mierzona w watach (W). Silniki LEGO zapewniają różne poziomy mocy w zależności od ich typu, od 0,021 W do 2,38 W.

Chociaż pojęcie mocy jest dość złożone, będziemy używać go głównie jako szybszego sposobu powiedzenia „prędkość obrotowa i moment siły razem”.

Moc konkretnego silnika LEGO zależy od *napięcia* jego źródła zasilania (czyli baterii). Większość nowoczesnych silników LEGO jest dostosowana do napięcia 9V. Możemy je zasilac niższym napięciem, osiągając niższą moc, natomiast wyższe napięcie może je uszkodzić.

tarcie

Tarcie to siła oporu, która występuje, gdy co najmniej dwie powierzchnie stykają się przesuając się względem siebie. Tarcie pojawia się zawsze, gdy dwie zetknięte części LEGO poruszają się z różnymi prędkościami. Dlatego wpływa ono na każdy mechanizm LEGO i, aby go napędzać, musimy je przewyciężyć. Tarcie zmniejsza moc wejściową stosowaną do mechanizmu i w ten sposób redukuje zarówno moment siły, jak i prędkość.

Wielkość tarcia wzrasta, gdy części naciskają na siebie mocniej, a ponadto zależy od typu powierzchni: gładkie, twarde powierzchnie generują mniej tarcia niż szorstkie i miękkie. Tarcie można zmniejszyć, nawilżając stykające się powierzchnie, np. za pomocą smaru.

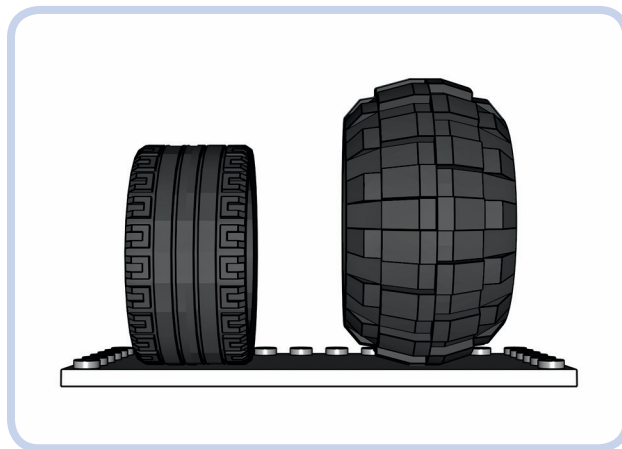
W mechanizmach skonstruowanych z LEGO warto zwrócić uwagę na następujące punkty tarcia: między dwoma zazębianymi kołami zębatymi, między otworem a obracającą się w nim osią oraz między kołami i powierzchnią, po której się toczą. Znaczna wielkość tarcia wynikająca z dużej liczby ruchomych części może sprawić, że mechanizm będzie bezużyteczny i uszkodzić, a nawet zniszczyć części LEGO. (Oczywiście siły tarcia są obecne również w statycznych, nieruchomych połączeniach między częściami LEGO. Dlatego właśnie trzymają się one ze sobą).

pryczepność

Pryczepność określa maksymalną siłę tarcia, która może być wytworzona między dwoma powierzchniami, zanim przesuną się względem siebie. Będziemy używać tego terminu przy opisie opon – opony z dobrą przyczepnością nie przesuwają się po podłożu tak łatwo jak opony ze słabą przyczepnością.

Pryczepność zależy głównie od twardości i kształtu opon, a także od typu materiału, z którego są zrobione. Na przykład opony gumowe zawsze mają lepszą przyczepność niż opony z tworzywa sztucznego, ponieważ guma jest miękka i lepka w porównaniu z twardym plastikiem. Różnice w kształcie wynikają z profilu (kształtu) opony i typu jej bieżnika. Ponadto przyczepność jest lepsza, gdy opona styka się z płaszczyzną drogi na dużej powierzchni. Profil i bieżnik opony decyduje, jak duża jest powierzchnia takiego styku. Jak widać na rysunku 1-1, opony o płaskim profilu i małym, płytkim bieżniku mają większą powierzchnię styku z gładkimi płaszczyznami niż opony, które mają okrągły profil i duży, głęboki bieżnik.

Z drugiej strony opony z okrągłym profilem i głębokim bieżnikiem lepiej stykają się z nieregularnymi, piaszczystymi



Rysunek 1-1: Opona o płaskim profilu i małym bieżniku (po lewej) ma lepszy kontakt z płaską powierzchnią niż opona o okrągłym profilu i dużym bieżniku (po prawej).

lub błotnistymi powierzchniami. Dlatego właśnie pierwszy rodzaj opon jest typowy dla sportowych samochodów szosowych, a drugi rodzaj opon jest typowy dla samochodów terenowych jeżdżących po nierównościach. Również szerokość opon ma znaczenie, ponieważ szersze opony mają szerszą powierzchnię styku z podłożem.

W większości przypadków chcemy, aby opony były jak najbardziej przyczepne. Wyjątkiem jest sytuacja, gdy chcemy, aby pojazd wchodził w poślizg. Przykładowo zestaw LEGO 8366 Supersonic RC zawiera dwa komplety tylnych opon: jeden z gumowymi, zwykłymi oponami do normalnej jazdy i drugi z twardego plastiku do poślizgów.

opór toczenia

Opór toczenia jest generowany przez toczenie obiektu po powierzchni i szczególnie dotyczy kół. Koła bez opon mają zbliżony opór toczenia, natomiast w przypadku kół z oponami zależy on od charakterystyki opon.

Opony, które są miękkie i szerokie, takie jak pokazane na rysunku 1-2, generują większe tarcie toczne niż opony, które są twarde i wąskie. Na opór toczenia wpływa też ciężar pojazdu, ponieważ odkształca on opony, zwiększając ich tarcie toczne. Ostatnim czynnikiem, który weźmiemy pod uwagę, jest podłoże, z którym stykają się koła. Gładkie, płaskie, twarde powierzchnie – takie jak asfalt lub szkło – zmniejszają opór toczenia, a sypkie, bagniste, miękkie i lepkie powierzchnie – takie jak piasek, błoto lub trawa – zwiększają go.



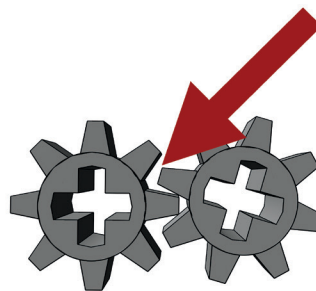
Rysunek 1-2: Typowe opony terenowe, które są miękkie i pękate, mają szczególnie wysoki opór toczenia. Najwyraźniej nadrabiają to smakiem.

Opór toczenia jest ważnym czynnikiem przy wyborze kół i opon, ale zwykle mniej ważnym niż przyczepność. Jest tylko kilka typów opon LEGO, w których opór ten jest poważnym problemem, więc w większości przypadków możemy uznać, że zwiększona przyczepność jest warta lekkiego zwiększenia oporu. Prawie zawsze jest on Ceną za dobrą przyczepność.

luz

Luz opisuje przerwy między współpracującymi elementami, takimi jak dwa koła zębate pokazane na rysunku 1-3. Praktycznie każde połączenie LEGO Technic ma pewien luz, a nadmiar luzu jest wysoce niepożądany. Gdy uruchamiamy lub zatrzymujemy mechanizm lub zmieniamy kierunek jego pracy, luz powoduje opóźnienie w ruchu między wejściem a wyjściem mechanizmu. Więcej luzu skutkuje większym opóźnieniem, które sprawia, że cały mechanizm jest niedokładny i powolny.

Podczas budowania należy pamiętać, że luz wielu ruchomych współpracujących ze sobą części sumuje się, czyli akumuluje, w całym mechanizmie. Dlatego mechanizm z czterema kołami zębatymi ma więcej luzu niż mechanizm z dwoma kołami zębatymi. Luz możemy zredukować na dwa sposoby: budując mechanizmy w możliwie najprostszy sposób lub zastępując elementy o dużym luzie, takie jak koła zębate, elementami o małym luzie, takimi jak siłowniki pneumatyczne (patrz rozdział 9) lub siłowniki liniowe (patrz rozdział 13).



Rysunek 1-3: Luz w postaci przerwy między zębami dwóch stykających się kół zębatych jest szczególnie duży w przypadku kół o 8 zębami.

sprawność

Sprawność opisuje, jaka część mocy zastosowanej do mechanizmu jest rzeczywiście wykorzystywana, a jaka część jest tracona w postaci tarcia. Zwykle wyrażamy ją jako procent: na przykład sprawność 50% oznacza, że mechanizm zużywa faktycznie połowę dostarczonej mocy, a pozostała połowa jest tracona.

W mechanizmach LEGO sprawność jest zwykle niska, ponieważ części LEGO są proste i nie zawierają złożonych rozwiązań mechanicznych przeznaczonych do zmniejszania tarcia, takich jak łożyska kulkowe. Trudno dokładnie zmierzyć sprawność dowolnego mechanizmu LEGO – zamiast tego powinniśmy się skupić na zminimalizowaniu tarcia w nim.

Jedynym sposobem zwiększenia sprawności jest redukcja tarcia w naszym mechanizmie. Najprostszym rozwiązaniem jest ograniczenie liczby ruchomych części. Istotna jest też waga, ponieważ ciężkie ruchome części generują więcej tarcia niż lekkie. Istotny jest też rozmiar, gdyż większe części z reguły są cięższe. W uproszczeniu: im prostszy i lżejszy mechanizm, tym jest bardziej sprawny.

pojęcia dotyczące pojazdów

W tym momencie powinniśmy już dobrze rozumieć podstawowe koncepcje fizyczne i inżynierskie dotyczące różnych konstrukcji. Teraz skupimy się na pojęciach związanych z pojazdami. Będziemy się do nich często odwoływać w treści tej książki, ponieważ pojazdy stanowią znaczącą większość zarówno zestawów LEGO, jak i konstrukcji amatorskich.

wał napędowy

Wał napędowy to element mechaniczny, zwykle oś, który przenosi moc z silnika do mechanizmu. Łączy – czasami pośrednio – dwa elementy: jeden, który *generuje* moc, i drugi, który ją *odbiera*. Na przykład typowy samochód ma jeden wał napędowy, który łączy skrzynię biegów z jedną lub dwoma osiami. Innymi słowy, wał napędowy łączy silnik pośrednio, przez skrzynię biegów, z *mechanizmem odbiorczym*, którym w tym przypadku są koła samochodu.

Wały napędowe mogą także zawierać przeguby kardana lub sekcje wydłużane, jak na rysunku 1-4. Elementy te pozwalają na modyfikacje położenia i odległości między źródłem mocy a mechanizmem odbiorczym.

układ napędowy

Układ napędowy to grupa elementów, które generują moc i dostarczają ją w pojeździe.

Grupa ta zwykle obejmuje silnik, skrzynię biegów, wał napędowy, osie i napęd końcowy (koła, gąsienice lub śruby napędowe). Podczas gdy elementy składające się na układ napędowy mogą być różne – na przykład może nie być skrzyni biegów – końce przeniesienia napędu pozostają takie same: jednym jest silnik napędowy (lub silniki), a drugim jest napęd końcowy.

przeniesienie napędu

Przeniesienie napędu stanowią trzy elementy końcowe: wał napędowy, oś i napęd końcowy. Innymi słowy przeniesienie napędu to układ napędowy bez silnika i skrzyni biegów. Jeżeli weźmiemy jako przykład zwykły rower, układ napędowy będzie obejmował rowerzystę (działającego jako silnik),

pedały, przerzutki, łańcuch i koło tylne (jako napęd końcowy). Natomiast przeniesienie napędu będzie zawierać tylko łańcuch i koło tylne.

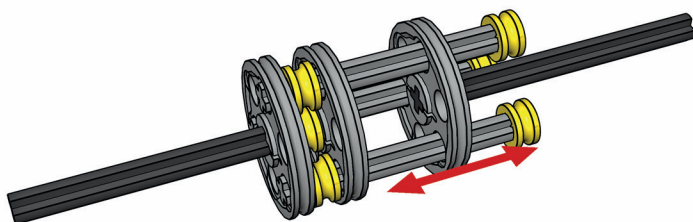
kąt skrętu

Kąt skrętu to maksymalny kąt, pod którym można skrócić koła na osi kierowanej. Zwykle im większy kąt skrętu, tym lepiej, ponieważ pozwala to ostrzej skręcać. Jednak bardzo duży kąt skrętu może być niepożądany, ponieważ pozwala pojazdowi na bardzo szybką zmianę kierunku, co może spowodować niestabilność, oraz obciąża układ kierowniczy. Na rysunku 1-5 widoczny jest model z dużym kątem skrętu.

promień skrętu

Promień skrętu, nazywany też kołem zawracania, jest promieniem najwęższego skrętu w kształcie litery U, jaki może wykonać pojazd. Ponieważ nadwozie pojazdu zwykle wystaje poza koła, promień skrętu może być mierzony z obrysem nadwozia (promień skrętu *obrysowy*) lub bez niego, z uwzględnieniem tylko samych kół (promień skrętu *teoretyczny*).

Na promień skrętu wpływa wiele czynników, w tym maksymalny kąt skrętu koła skrętnego, rozstaw osi i liczba osi skrętnych. Im mniejszy jest ten promień, tym lepiej dla pojazdu, ponieważ może on wykonywać manewry na mniejszej powierzchni. Warto zauważyć, że pewne pojazdy, takie jak czołgi i inne pojazdy gąsienicowe, mogą się obracać w miejscu, czyli mają zerowy promień skrętu.



Rysunek 1-4: Sekcja wydłużana wału napędowego składająca się z dwóch osi z trzema kołami klinowymi (cienkie szare dyski) i dodatkowych trzech osi wewnątrz nich. Trzy osie przenoszą ruch obrotowy pomiędzy wszystkimi dyskami i mogą przesuwawać się przez pojedynczy dysk pokazany po prawej, w rezultacie zmieniając długość wału napędowego nawet wtedy, gdy się on obraca.



Rysunek 1-5: Mój model podnośnika kontenerowego (reach stacker) ma tylną oś (po prawej) ze szczególnie dużym kątem skrętu, podobnie jak prawdziwy pojazd. Podnośniki te są przeznaczone do ustawiania kontenerów w obszarach załadunkowych portów i muszą manewrować na ograniczonej powierzchni.

rodzaje napędów

Skróty FWD, RWD, 4x4, 4WD i AWD oznaczają typy układów osi pędnych w pojeździe. Na przykład samochód z pędną tylko przednią osią ma *napęd na przednie koła*, czyli *FWD*, a samochód z pędną tylko tylną osią ma *napęd na tylne koła*, czyli *RWD*.

Pojazd 4x4 to samochód, którego cztery koła są napędzane. W pojazdach LEGO 4x4 mamy do czynienia z tzw. *napędem na cztery koła*, czyli *4WD*, gdzie moc silnika jest rozdzielana równo na wszystkie koła. Prawdziwe pojazdy 4x4 mogą mieć też *napęd na wszystkie koła*, czyli *AWD*, gdzie rozkład mocy jest stale dostosowywany do warunków jazdy przez elementy elektroniczne – coś, co niezwykle trudno osiągnąć przy użyciu części LEGO.

Warto zwrócić uwagę, że do zapisu 4x4 można dodać trzecią liczbę. Na przykład klasyczne SUVy lub Jeepy to pojazdy 4x4x2, co oznacza, że mają w sumie cztery koła, z których cztery są pędne, a dwa kierowane. Takie opisy są szczególnie ważne w przypadku pojazdów o wielu osiach, takich jak dźwigi samojezdne i transportery opancerzone, które mają więcej

osi pędnych i kierowanych. Na przykład małe transportery opancerzone to pojazdy 6x6x4, co oznacza, że mają w sumie sześć kół, wszystkie pędne, w tym cztery kierowane.

rozkład masy

Rozkład masy, a w szczególności to, czy cięższy jest przód, czy tył, ma duży wpływ na działanie pojazdu.

Rozkład masy wpływa głównie na przyczepność pojazdu, a w ten sposób na jego sterowność. Wyobraź sobie samochód z dwoma osiami: jedną kierowaną z przodu, a drugą pędną z tyłu. Jeżeli samochód jest cięższy z przodu, ma lepszą przyczepność kierowania, ponieważ jego koła przednie są bardziej obciążone. Jeżeli ten samochód jest cięższy z tyłu, będzie miał lepsze przyspieszenie, ponieważ jego koła tylne będą miały lepszą przyczepność dzięki większemu obciążeniu.

W pojazdach czterokołowych rozkład masy jest opisywany jako *liczba:liczba* lub *liczba/liczba*. Na przykład rozkład masy 40:60 oznacza, że 40% masy pojazdu spoczywa na osi przedniej, a 60% na tylnej. W samochodach terenowych 4WD za idealny rozkład masy uważany jest rozkład 50:50, natomiast bardzo szybkie samochody wyścigowe z silnikiem centralnym są często bardziej obciążone z tyłu.

Rozkład masy jest także ważny dla pojazdów gąsienicowych. Ponieważ gąsienice mają słabą przyczepność na gładkich powierzchniach, rozkład masy znacznie wpływa na to, jak pojazd gąsienicowy skręca oraz pokonuje przeszkody. Na przykład pojazdy gąsienicowe cięższe z przodu nie będą mogły obracać się idealnie w miejscu, ponieważ ich środek obrotu będzie przesunięty do przodu. Jednak tego typu pojazd będzie dobrze się wspinał na przeszkody dzięki lepszej przyczepności przodu.

środek ciężkości

Środek ciężkości to środkowy punkt rozkładu masy obiektu. Może znajdować się w rzeczywistym środku obiektu – tak jest na przykład w przypadku kuli – lub gdzieś indziej. Położenie środka ciężkości wpływa na ryzyko przewrócenia się obiektu, które jest większe dla obiektów z wysoko położonym środkiem ciężkości niż dla obiektów z nisko położonym środkiem ciężkości. Innymi słowy, nisko położony środek ciężkości zapewnia większą stabilność obiektów.

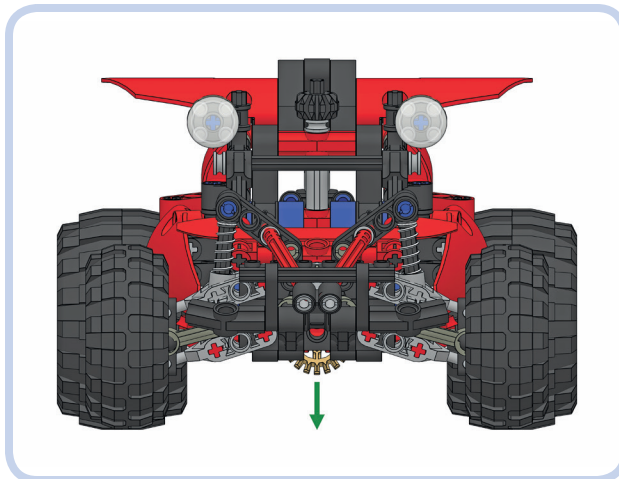
W przypadku pojazdów LEGO środek ciężkości zależy głównie od położenia najcięższych elementów pojazdu, takich jak pojemniki na baterie, i powinien być zawsze położony możliwie najniżej. Dlatego konstruktorzy pojazdów terenowych, które muszą być bardzo stabilne, zawsze próbują umieścić pojemniki z bateriami nisko w podwoziu.

prześwit

Prześwit pod pojazdem, nazywany także po prostu prześwitem, to odległość między spodem podwozia a poziomą płaszczyzną, na której stoi pojazd. Prześwit decyduje o wysokości przeszkód, które pojazd może pokonać bez zahaczenia podwoziem, co widać na rysunku 1-6. Prześwit zależy głównie od rodzaju zawieszenia.

Duży prześwit pozwala pojazdowi na pokonywanie większych przeszkód, ale sprawia, że pojazd jest wyższy i mniej stabilny z powodu wyżej położonego środka ciężkości. Mały prześwit zwiększa stabilność, ale redukuje zdolność do jazdy po nierównym terenie. Dlatego duży prześwit jest typowy dla pojazdów terenowych, natomiast mały prześwit, czasem specjalnie nawet zmniejszony przez obniżenie zawieszenia, występuje często w samochodach sportowych, które są przeznaczone do jazdy po płaskich drogach. Zapewnia on im dużą stabilność, która pozwala skręcać przy większych prędkościach.

Teraz, gdy znamy te podstawy, zacznijmy je wykorzystywać praktycznie!



Rysunek 1-6: Zielona strzałka wskazuje prześwit pod tym prostym łazikiem. Zauważmy, że prześwit jest zwykle mierzony na środku pojazdu widzianego z przodu lub z tyłu, ponieważ ta część jest najczęściej narażona na kontakt z przeszkodami.

2

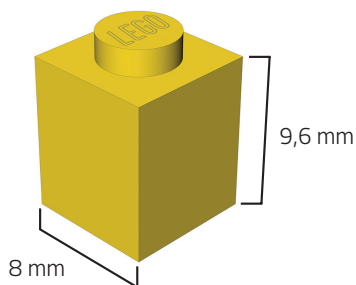
podstawowe jednostki i części

Modele i klocki LEGO są nie są mierzone w calach ani centymetrach, ale w jednostkach o nazwie *stud*. Jeden stud jest równy szerokości najmniejszego klocka, czyli 8 mm. Kłoczek taki ma na wierzchu okrągłą wypustkę, którą nazywamy właśnie studem. Będziemy używać studów do mierzenia również tych części LEGO, które nie mają wypustek, takich jak amortyzatory i osie.

Jeżeli jednostka miary części LEGO jest pominięta, możemy bezpiecznie założyć, że jest to stud – na przykład *kłoczek 1x1*, *kafelek 2x2* itp. W ten sposób będziemy określać części w niniejszej książce.

UWAGA Spotykane są także inne określenia tej jednostki miary, takie jak *moduł*, *FLU* (*fundamental LEGO unit*, czyli podstawowa jednostka LEGO) lub *dot* (punkt). Litera *L* służy do określania długości w studach. Na przykład amortyzator 6,5L ma 6,5 studa długości.

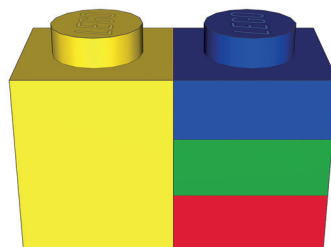
Z kolei *wysokość* budowli LEGO jest zwykle mierzona w odniesieniu do wysokości klocka lub płytki. Na przykład mówimy, że coś ma *wysokość jednego klocka* lub *wysokość jednej płytki*.



Rysunek 2-1: Kłoczek 1x1 ma 8 mm szerokości i 9,6 mm wysokości.

Zauważmy, że wysokość jednego klocka to 9,6 mm, odrobinę więcej niż stud (patrz rysunek 2-1).

Jak widać na rysunku 2-2, *płytki* LEGO mają wysokość 1/3 klocka, co oznacza, że trzy płytki ułożone jedna na drugiej mają tę samą wysokość co jeden kłoczek.

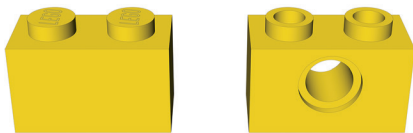


Rysunek 2-2: Kłoczek LEGO (po lewej) ma tę samą wysokość, co trzy ułożone na stosie płytki LEGO (po prawej).

UWAGA Rozmiar okrągłej wypustki (studa) na górze klocka nie jest uwzględniany w wysokości, ponieważ chowa się ona całkowicie wewnątrz klocka znajdującego się wyżej. Dlatego wysokość klocka mierzymy tylko od krawędzi do krawędzi.

kłoczek Technic

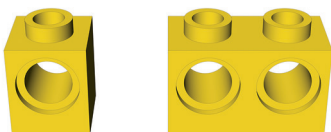
Tak jak w klasycznym systemie LEGO, podstawowym elementem konstrukcyjnym w systemie Technic są *klocki*: znane i lubiane przez nas wszystkie części, które łatwo łączą się ze sobą. Ale jak widać na rysunku 2-3, klocki Technic są trochę inne. Ich study są wydrążone, co utrudnia rozdzielenie klocków, a zarazem pozwala je bardziej obciążać. Większość klocków Technic ma także otwory wyśrodkowane



Rysunek 2-3: Zwyczajny klocek 1x2 (po lewej) ma pełne study i boki, natomiast klocek Technic 1x2 (po prawej) ma studę wydrążoną i centralne położony otwór.

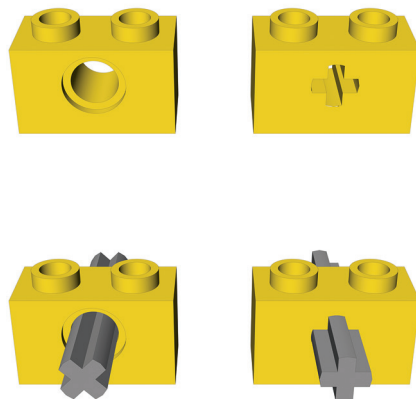
między studami: klocek 1x2 ma jeden otwór, klocek 1x4 ma trzy otwory itd. Otwory w częściach Technic są istotne dla systemu konstrukcyjnego LEGO Technic, ponieważ pozwalają łączyć części za pomocą pinów lub umieszczać w nich osie.

Chociaż otwory w większości klocków Technic są wyrównane między studami, znajdziemy także odmiany klocków 1x1 i 1x2, które mają otwory wyrównane ze studami – przykłady są pokazane na rysunku 2-4. Gdy study są wyrównane z otworami, liczba otworów i studów jest taka sama. Taki układ jest przydatny dla zwartych konstrukcji z gęsto upakowanymi pinami i osiami, ponadto te części mogą służyć do wyrównywania części o połowę studa.



Rysunek 2-4: Dwa typy klocków Technic o otworach wyrównanych ze studami.

Istnieją dwa typy otworów w klockach Technic: *otwory okrągłe* na piny (często nazywane po prostu otworami) i *otwory krzyżowe*. Po przyjrzeniu się kształtowi dowolnej osi LEGO zastosowanie tych otworów powinno być oczywiste: osie włożone do otworów okrągłych mogą się obracać, natomiast osie włożone w otwory krzyżowe – nie mogą (patrz rysunek 2-5). Zwróćmy uwagę, że tylko klocek 1x2 Technic ma otwór krzyżowy.

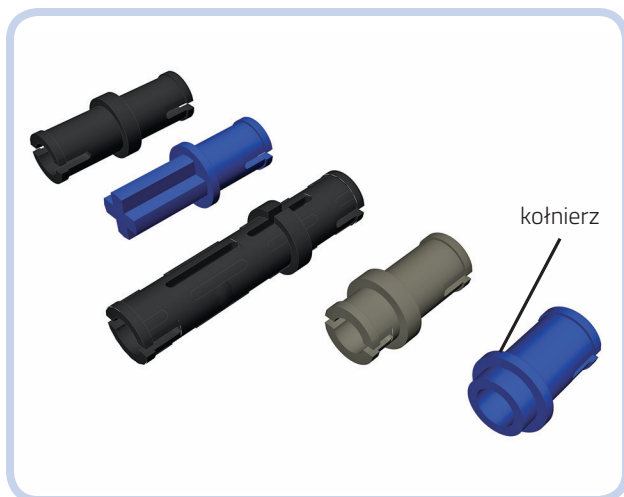


Rysunek 2-5: Otwory okrągłe (po lewej) pozwalają na obracanie osi, natomiast otwory krzyżowe (po prawej) zapobiegają ich obrotom.

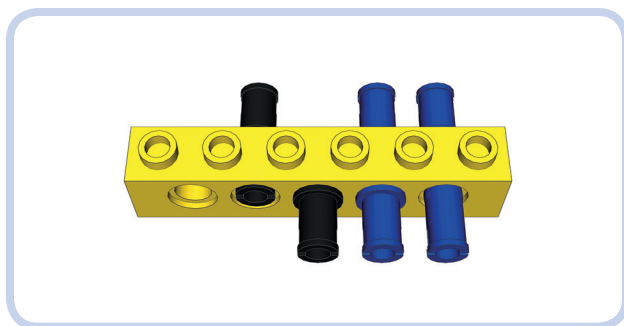
piny do łączenia i obracania

Piny są ważnymi elementami systemu konstrukcyjnego Technic, ponieważ łączą klocki i belki. Pin to mały łącznik, który wkłada się w otwory okrągłe lub krzyżowe, aby połączyć co najmniej dwie części. Jak widać na rysunku 2-6, piny różnią się długością, kształtem, a także tym, czy mogą swobodnie obracać się w otworze. Chociaż nieskomplikowane, piny są niezbędne, aby konstrukcje Technic trzymały się w całości. Największe zestawy Technic mogą zawierać setki pinów. Są one naprawdę bardzo ważne!

Podobnie jak osie, piny mogą być używane zarówno w otworach okrągłych, jak i otworach krzyżowych. W przeciwieństwie do osi każdy pin ma kołnierz, który uniemożliwia przepchnięcie go na drugą stronę otworu. Na przykład najprostszy pin ma 2 study długości, a każdy z jego końców może być wepchnięty na głębokość 1 studa do otworu, ale nie dalej. Pin długi, który ma 3 study długości, ma jeden koniec, który możemy wepchnąć na głębokość 1 studa, i drugi, który możemy wepchnąć na głębokość 2 studów. Kołnierze na pinach zapobiegają przesunięciom, a kształt otworów na piny pozwala je w nich pomieścić (patrz rysunek 2-7).



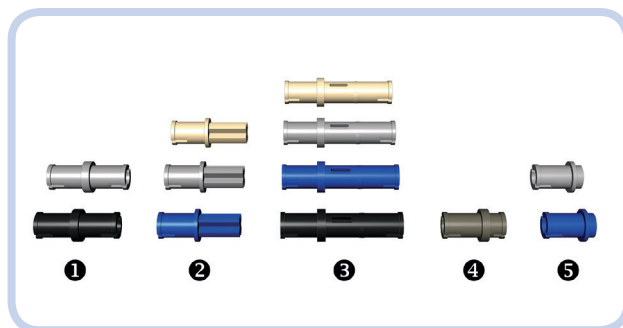
Rysunek 2-6: Najpopularniejsze piny Technic (od lewej do prawej: pin z osi, pin długi, pin $\frac{3}{4}$, pin $\frac{1}{2}$)



Rysunek 2-7: Otwory okrągłe (od lewej do prawej: pusty otwór, dwa otwory z pinami włożonymi z przeciwnych stron i dwa otwory z pinami długimi włożonymi z przeciwnych stron)

Niektóre piny występują w dwóch odmianach: jednej, która może obracać się swobodnie w otworze okrągłym, i drugiej, która wymaga zastosowania pewnej siły. Ten pierwszy typ nazywamy pinem zwykłym, a drugi pinem bez luzu. Typy te różnią się także kolorem.

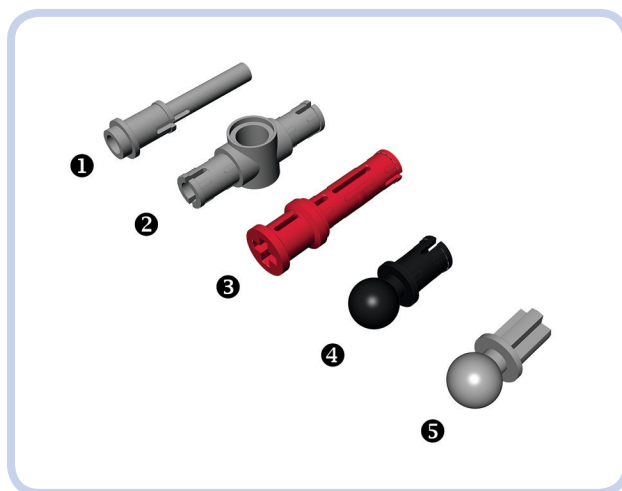
Rysunek 2-8 przedstawia przegląd najczęściej występujących pinów w różnych kolorach.



Rysunek 2-8: Zbiór typowych pinów

- ❶ **pin** Zwykły (jasnoszary); bez luzu (czarny).
- ❷ **pin z osi** Zwykły (jasnobrązowy, wcześniej jasnoszary); bez luzu (niebieski).
- ❸ **pin długi** Zwykły (jasnobrązowy, wcześniej jasnoszary); bez luzu (niebieski, wcześniej czarny).
- ❹ **pin $\frac{3}{4}$** Istnieje tylko zwykły (ciemnoszary lub jasnobrązowy).
- ❺ **pin $\frac{1}{2}$** Istnieje tylko zwykły (niebieski, przedtem jasnoszary).

Teraz, po wprowadzeniu najpopularniejszych pinów Technic, przyjrzymy się paru rzadszym. Rysunek 2-9 przedstawia kolekcję wyspecjalizowanych pinów. W większości przypadków są to odmiany pinów podstawowych, które zostały przystosowane do zadań specjalnych.



Rysunek 2-9: Zbiór pinów specjalnych

❶ pin ½ z drążkiem Istnieje tylko zwykły (jasnoszary). Ten pin łączy zwykły pin ½ z drążkiem 2L, który ma tę samą grubość co zwykła antena lub drążek LEGO. Jak widać na rysunku 2-10, antena lub drążek LEGO pasują do ręki minifigurki LEGO lub do wydrążonego studa na klocku Technic.



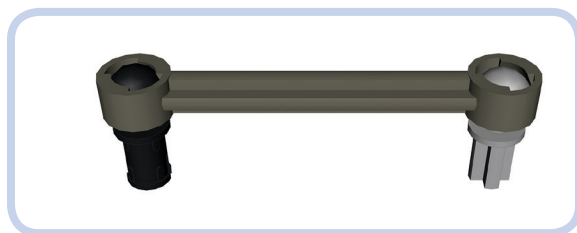
Rysunek 2-10: Minifigurka LEGO trzymająca drążek (zielony) i antenę (czarną).

❷ pin długi z otworem Istnieje tylko zwykły (jasnoszary, czarny lub czerwony).

❸ pin długi z nakładką Istnieje tylko bez luzu, w różnych kolorach. Ten pin może służyć jak zwykły pin oporowy 2L, ale nakładka pozwala na jego łatwe wyciąganie. Jest często używany w zestawach Technic do połączeń strukturalnych, które można łatwo rozdzielać.

❹ pin z kulą Istnieje tylko bez luzu (czarny). Ten pin służy zwykle jako punkt montowania cięgien LEGO, jak widać na rysunku 2-11.

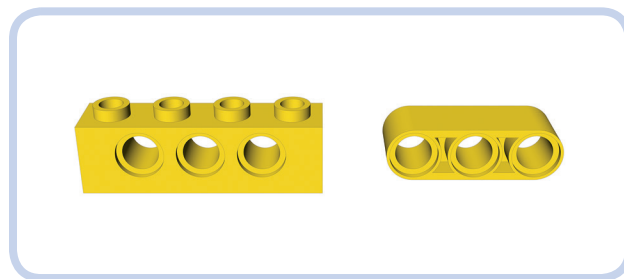
❺ pin z osią i kulą Jest to odmiana zwykłego pina z kulą, występuje w kolorze jasnoszarym.



Rysunek 2-11: Możemy połączyć dwie kule na przykład po to, by złączyć elementy zawieszania, które przesuwają się względem siebie.

belki – alternatywa bez studów

System Technic zawiera oprócz klocków również *belki* (ang. *beams* lub *liftarms*). Jak widać na rysunku 2-12, belki przypominają klocki ograniczone do samych otworów. Występują w wielu rozmiarach i kształtach, a niektóre z nich zawierają także otwory krzyżowe.



Rysunek 2-12: Kłosek 1x4 Technic (po lewej) i belka 1x3 Technic (po prawej)

Ponieważ brakuje w nich studów LEGO, belki określane są jako części *bez studów* (ang. *studless*), natomiast klocki i płytki są określane jako części *ze studami* (ang. *studfull* lub *studded*). Te same nazwy – bez studów i ze studami – dotyczą konstrukcji, które są zbudowane głównie z jednego typu części. Na przykład możemy zbudować samochód z nadwoziem ze studami na podwoziu bez studów. (W rozdziale 3 zostały szczegółowo opisane różnice między częściami ze studami i bez studów. Tutaj przyjrzymy się im jedynie pobieżnie).

Wiele części bez studów ma skomplikowane kształty, które nie mają odpowiedników w częściach ze studami, co możemy zauważyć na rysunku 2-13.



Rysunek 2-13: Skomplikowane kształty części bez studów

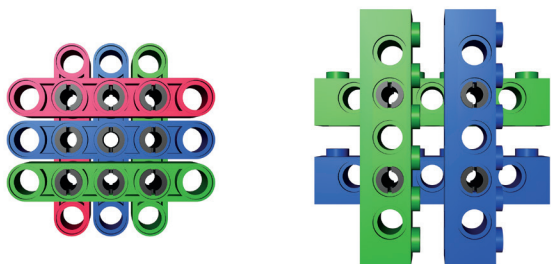
Klocki mają proporcję wysokości do szerokości 6:5, natomiast belki zachowują proporcję 7:8. Prosta belka może mieć do 15 studów długości, ale zawsze ma 1 stud (8 mm) szerokości i 7 mm wysokości. Na rysunku 2-14 widoczna jest przykładowa różnica między klockiem o wysokości 9,6 mm a belką o wysokości 7 mm.



Rysunek 2-14: Kłosek (po lewej) i belka (po prawej) mają różną wysokość.

Zauważmy, że części ze studami mogą być łączone z częściami bez studów przy użyciu otworów.

Części bez studów są symetryczne. Ich wierzchy i spody są identyczne, co sprawia, że są znacznie bardziej uniwersalne niż klocki, jak widać na rysunku 2-15. Podczas budowania z klocków położenie klocka i jego studów jest ważne; w przypadku belek – nie ma znaczenia.



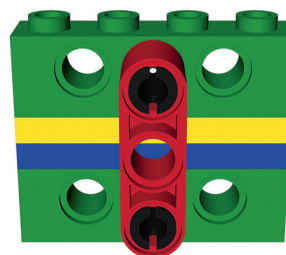
Rysunek 2-15: Porównanie konstrukcji z belek (po lewej) z konstrukcją z klocków (po prawej)

Warto zwrócić uwagę, że blok sześciu belek 1x5 połączonych pinami jest symetryczny: wygląda tak samo bez względu na to, czy obrócimy go o 90, 180, czy 270 stopni. Dla porównania, blok czterech klocków 1x6 połączonych pinami jest asymetryczny. Podczas jego obracania zmienia się położenie klocków i ich studów, co wpływa na sposób dalszego budowania.

Części bez studów prawie całkowicie zastąpiły części ze studami w zestawach LEGO Technic, co sprawia, że użycie klocków i płytek jako miary wysokości jest przestarzałe i stosuje się głównie w odniesieniu do konstrukcji LEGO innych niż Technic. Dzieje się tak, ponieważ dla części bez studów nie ma znaczenia, czy są ułożone pionowo, czy poziomo – belka

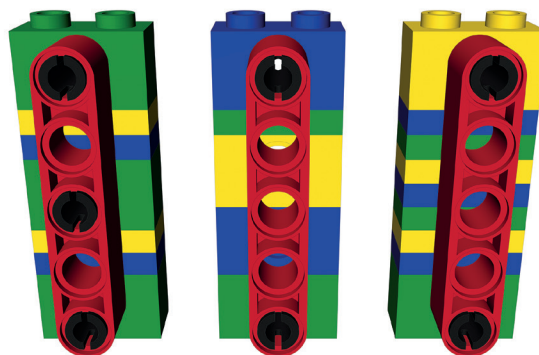
długa na 15 studów może nam równie dobrze służyć jako belka wysoka na 15 studów.

W terminologii Technic często wyraża się wysokość w studach, a do pomiaru wysokości używa się odległości między otworami w klockach i belkach Technic. Zauważmy, że te dwie odległości mogą być wyrównane przy użyciu płytek. Jak widać na rysunku 2-16, dwa klocki oddzielone dwoma płytkami mają dokładnie 3 study odległości między ich otworami – a więc są wysokie na 3 study.



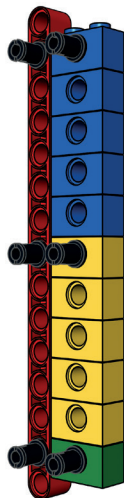
Rysunek 2-16: Podstawowa reguła wyrównania części bez studów i ze studami: otwory w dwóch klockach oddzielonych dwoma płytkami są oddalone dokładnie o 3 study.

Ten trik pokazuje, w jaki sposób możemy układać klocki z płytkami w określonych odstępach, aby wyrównać je z belkami. Na przykład, aby otwory w dwóch klockach były odległe o 5 studów w pionie, musimy oddzielić te klocki za pomocą siedmiu płytek, albo klocka i czterech płytek, lub dwóch klocków i jednej płytki, (zgodnie z zasadą, że klocek jest tak wysoki, jak trzy płytki). Rysunek 2-17 przedstawia te kombinacje.



Rysunek 2-17: Więcej przykładów wyrównania części bez studów i ze studami

Różnica między wysokością pojedynczego studa i wysokością pojedynczego klocka powoduje, że 6 klocków ułożonych pionowo ma dokładnie 7 studów wysokości, jak na rysunku 2-18. Ta zależność powtarza się co każde kolejne 5 studów: 11 klocków ułożonych pionowo ma 13 studów wysokości itd.

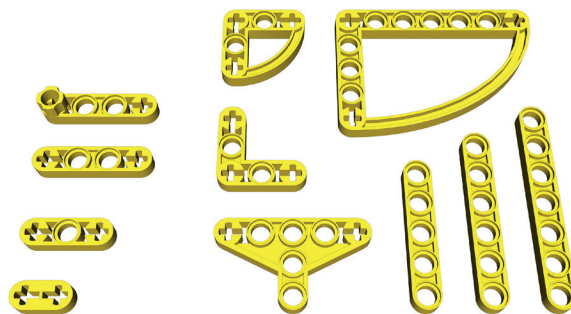


Rysunek 2-18: Otwory pomiędzy klockami ułożonymi w pionie a pionową belką wyrównują się co każde 5 studów.

połowa studa jako minimalna jednostka konstrukcyjna

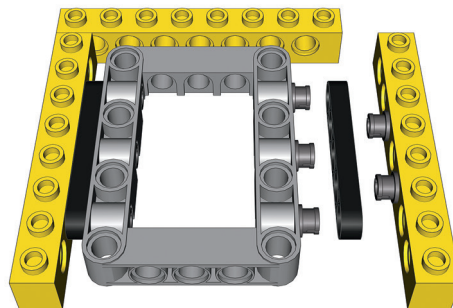
Chociaż podstawową jednostką konstrukcyjną w świecie LEGO jest jeden stud, niektóre części są mniejsze. Na przykład płytki mają $\frac{1}{3}$ studa wysokości, a niektóre belki mają pół studa grubości. Jak widać na rysunku 2-19, części bez studów, które mają pół studa grubości, zwykle zawierają wiele otworów krzyżowych, co sprawia, że są przydatne do tworzenia sztywnych struktur o skomplikowanych kształtach.

Dzięki tym częściom możemy używać połowy studa jako jednostki minimalnej, co przydaje się przy łączeniu struktur

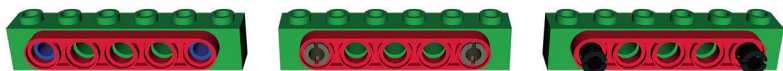


Rysunek 2-19: Różne części o grubości połowy studa

bez studów (zwykle o nieparzystych wymiarach) ze strukturami ze studami (zwykle o parzystych wymiarach). Zwykły pin nie pasuje do otworów w częściach o grubości połowy studa, ale pin $\frac{3}{4}$ mieści się w nich doskonale. Rysunek 2-20 przedstawia sposób łączenia części o grubości połowy studa z częściami o grubości 1 studa za pomocą pinów $\frac{3}{4}$. Jeden koniec pina $\frac{3}{4}$ pasuje dokładnie do otworu o głębokości połowy studa, natomiast drugi koniec pasuje dokładnie do otworu o głębokości 1 studa.



Rysunek 2-20: Ze wszystkich pinów Technic do części o grubości połowy studa najlepiej pasują piny $\frac{3}{4}$.

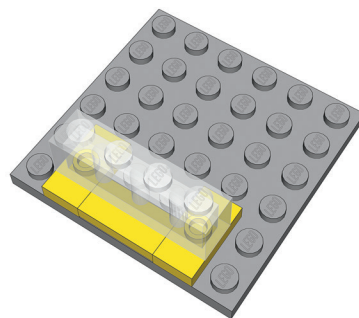


Rysunek 2-21: Od lewej do prawej: pin $\frac{1}{2}$, pin $\frac{3}{4}$ i pin zwykły, użyte do mocowania belki o grubości $\frac{1}{2}$ studa

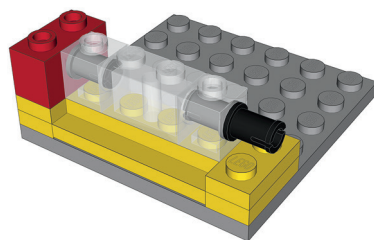
Piny $\frac{1}{2}$ nie sprawdzają się w tej roli, ponieważ wchodzą w otwór głęboki na pół studa tylko częściowo i mogą łatwo wypaść. Natomiast piny $\frac{3}{4}$ wchodzą w takie otwory całkowicie, nie wypadając ani nie wystając z nich. Zwykłe piny również mogą wejść w taki otwór, ale wystają z niego na pół studa, co stwarza ryzyko, że któraś z połączonych tak części będzie luźna. Rysunek 2-21 ilustruje te trzy typy pinów używane do mocowania belki o grubości pół studa.

dwa triki – konstruowanie co pół studa

Podczas budowania z klocków LEGO nie musimy używać jednego studa jako najmniejszej jednostki: dwie techniki pozwalają odsuwać klocki LEGO o pół studa. Pierwsza z technik, pokazana na rysunku 2-22, korzysta z *płytki ze studem pośrodku*, czyli płytki 1×2 z jednym centralnym studem na wierzchu, aby umieścić klocek przesunięty o połowę studa. Na rysunku 2-23 widać drugą technikę, z zastosowaniem pinów Technic: łącząc pinem klocek 1×1 z otworem i klocek 1×2 z otworem uzyskamy przesunięcie o połowę studa.



Rysunek 2-22: Użycie płytki ze studem pośrodku do umieszczenia klocka przesuniętego o pół studa



Rysunek 2-23: Użycie pinów Technic do umieszczenia klocka przesuniętego o pół studa

3

ze studami czy bez?

W rozdziale 2 pobieżnie przyjrzeliliśmy się różnicy między dwiema technikami budowania z części LEGO: bez studów (przy użyciu belek) i ze studami (przy użyciu klocków i płytek). Te dwie techniki znacznie się różnią, a każda z nich ma swoje zalety. Możemy je także łączyć, tak aby wykorzystać zalety obu w jednej konstrukcji. Tak naprawdę w większości dzisiejszych zestawów LEGO Technic i modeli *MOC* (*My Own Creation*, czyli konstrukcji amatorskich) nie stosuje się wyłącznie jednej z tych technik, zamiast tego polegając na kombinacji obu.

Dla udanego budowania istotna jest wiedza, które połączenia działają najlepiej w danej konstrukcji, której techniki użyć jako podstawowej oraz w jakim zakresie uwzględnić drugą technikę. Tymi właśnie kwestiami zajmiemy się w niniejszym rozdziale.

Zacznijmy od omówienia zalet i wad każdej z tych technik i porównamy je ze sobą. Następnie skupimy się nad sposobami ich łączenia dla wykorzystania ich zalet. Posłużymy się przykładami oficjalnych zestawów LEGO i konstrukcji *MOC* (takich jak mój Monster Truck pokazany na rysunku 3-1).

ewolucja LEGO

System LEGO był początkowo w 100% ze studami. Pierwsze części bez studów pojawiły się wraz z wynalezieniem linii LEGO Technic, początkowo tylko uzupełniając konstrukcje ze studami. Jednak wraz z ewolucją zestawów Technic wzrastała popularność części bez studów, a części ze studami wyszły z użytku niemal całkowicie.

Większość dzisiejszych zestawów Technic jest budowana bez studów, a części ze studami służą tylko do uzupełnienia detali estetycznych w mechanicznie kompletnych i sprawnych konstrukcjach. Jeżeli weźmiemy pod uwagę fakt, że większość nowych specjalistycznych elementów, takich jak silniki

elektryczne, przełączniki pneumatyczne, obrotnice i siłowniki, jest dopasowana do techniki bez studów, a nie ze studami, dominacja pierwszej techniki w systemie Technic staje się oczywista. Solidne opanowanie tej techniki jest konieczne dla nadążenia za nowymi dodatkami do systemu Technic.

Nie oznacza to, że należy całkowicie zrezygnować z części ze studami. Wielu amatorskich konstruktorów Technic nie podąża za doktryną firmy LEGO i polega na częściach ze studami, aby tworzyć konstrukcje *MOC*, które są zarówno nie tylko funkcjonalne, ale i dopracowane estetycznie (tak jak moja ciężarówka Kenworth pokazana na rysunku 3-2).



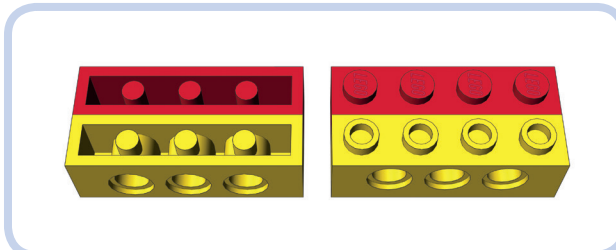
Rysunek 3-1: Mój model Monster Truck jest zgodny z podejściem dzisiejszych zestawów LEGO Technic: został zbudowany prawie całkowicie bez studów, a części ze studami służą jedynie do drobnych detali, takich jak osłona chłodnicy.



Rysunek 3-2: Mój model ciężarówki Kenworth Road Train wygląda z zewnątrz na zbudowany całkowicie z klocków ze studami, chociaż zawiera szereg elementów Mindstorms NXT, które najlepiej pasują do struktur bez studów.

budowanie ze studami

Klocki Technic i zwykłe płytki są podstawą stylu ze studami. Od zwykłych klocków LEGO klocki Technic różnią się tym, że (jak widać na rysunku 3-3) mają wydrążone study i nieco grubsze pręty wewnątrz klocka.



Rysunek 3-3: Porównanie obok siebie zwykłego klocka LEGO (czerwonego) i klocka LEGO Technic (żółtego)