

# 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 wyposażyć 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 największą przyjemnością 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 największej 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.

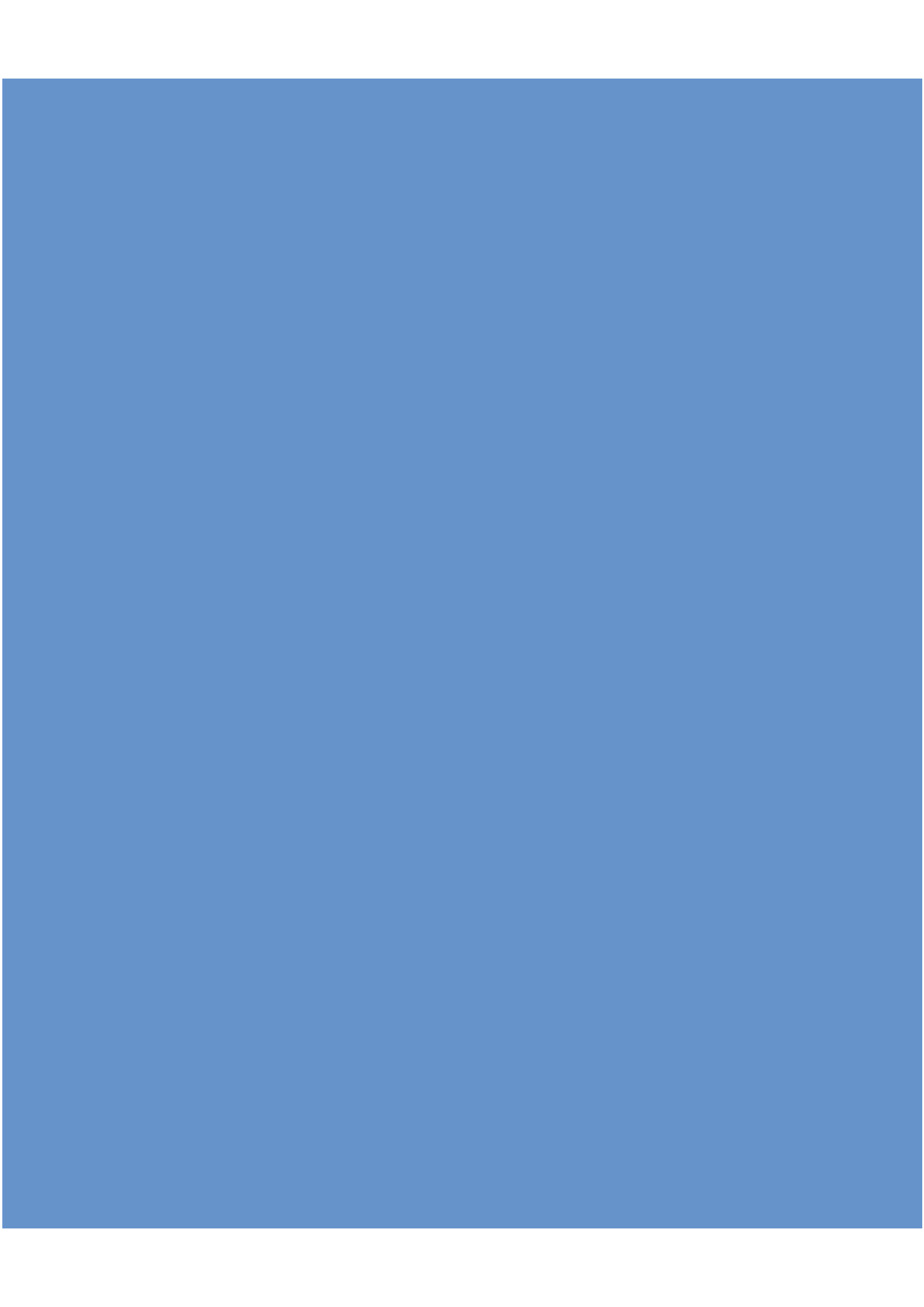
Szczególne podziękowania dla Moniki Pedersen i Gaute Muncha z firmy LEGO, którzy pokazali mi, że nawet wielki koncern może mieć bardzo ludzką twarz.

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**



# 1

## 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 przesuując 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.

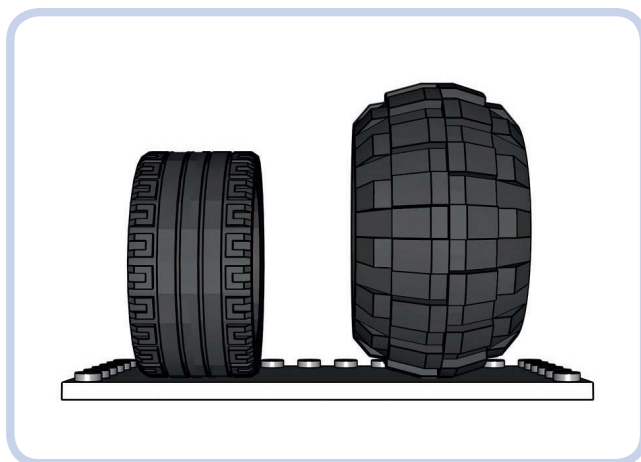
W mechanizmach skonstruowanych z LEGO warto zwrócić uwagę na następujące punkty tarcia: między dwoma ząbionymi kołami zębatymi, między otworem a obracającą się w nim osią oraz między kołami i powierzchnią, po której się toczą. Znaczna wielkość tarcia wynikająca z dużej liczby ruchomych części może sprawić, 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.



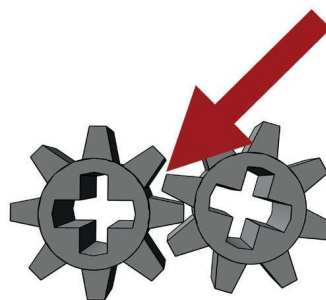
Rysunek 1-2: Typowe opony terenowe, które są miękkie i pękate, mają szczególnie wysoki opór toczenia. Najwyraźniej nadrabiają to smakiem.

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 zębach.

## 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, łożyska 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.

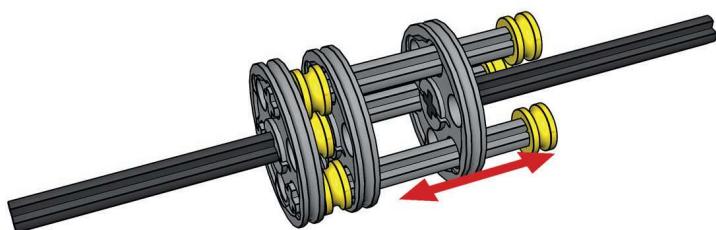
## kąt skrętu

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 łożyskowe, 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 przesuwają 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 pędą tylko przednią osią ma *napęd na przednie koła*, czyli FWD, a samochód z pędą 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 samojazdne 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 pędą 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 gaśnicowych. Ponieważ gaśnice mają słabą przyczepność na gładkich powierzchniach, rozkład masy znacznie wpływa na to, jak pojazd gaśnicowy skręca oraz pokonuje przeszkody. Na przykład pojazdy gaśnicowe 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.

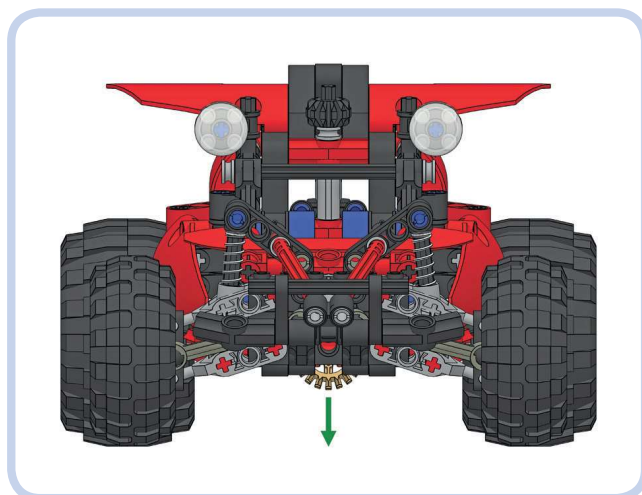
W przypadku pojazdów LEGO środek ciężkości zależy głównie od położenia najcięższych elementów pojazdu, takich jak pojemniki na baterie, i powinien być zawsze położony możliwie najniżej. Dlatego konstruktorzy pojazdów terenowych, które muszą być bardzo stabilne, zawsze próbują umieścić pojemniki z bateriami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

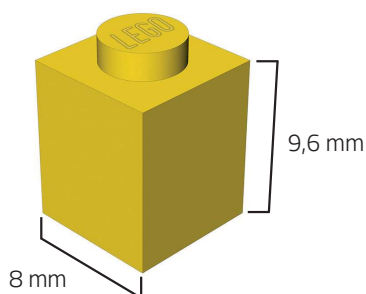
## podstawowe jednostki i części

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.

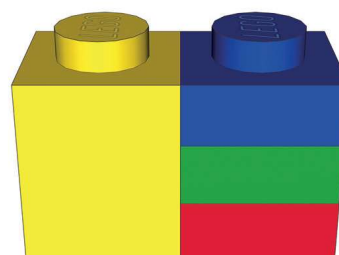
Z kolei *wysokość* budowli LEGO jest zwykle mierzona w odniesieniu do wysokości klocka lub płytki. Na przykład mówimy, że coś ma *wysokość jednego klocka* lub *wysokość jednej płytki*.



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.

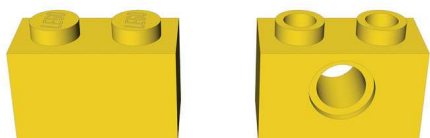


Rysunek 2-2: Kłoczek LEGO (po lewej) ma tę samą wysokość, co trzy ułożone na stosie płytki LEGO (po prawej).

**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

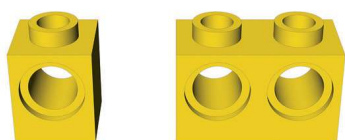
Tak jak w klasycznym systemie LEGO, podstawowym elementem konstrukcyjnym w systemie Technic są *klocki*: znane i lubiane przez nas wszystkich części, które łatwo łączą się ze sobą. Ale jak widać na rysunku 2-3, klocki Technic są trochę inne. Ich study są wydrążone, co utrudnia rozdzielanie klocków, a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



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

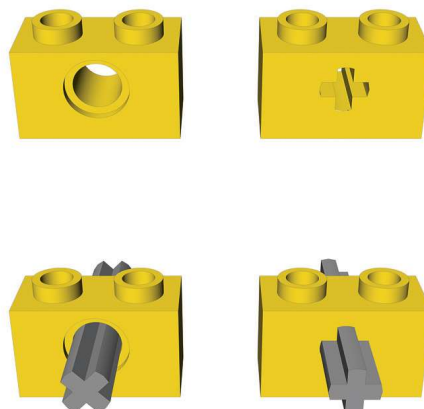
między studami: klocek 1x2 ma jeden otwór, klocek 1x4 ma trzy otwory itd. Otwory w częściach Technic są istotne dla systemu konstrukcyjnego LEGO Technic, ponieważ pozwalają łączyć części za pomocą pinów lub umieszczać w nich osie.

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.

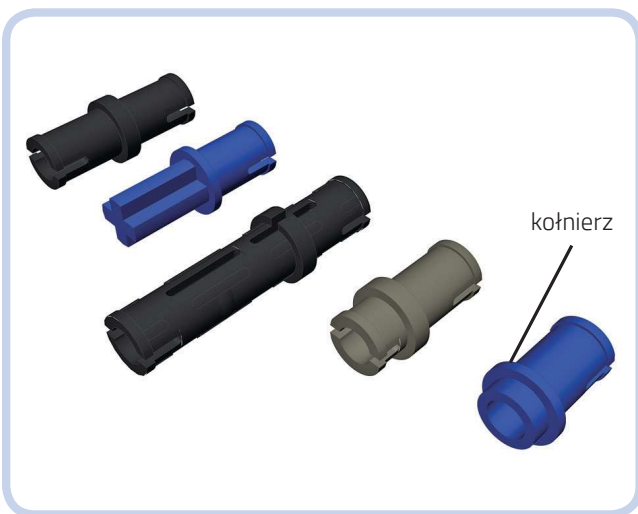


Rysunek 2-5: Otwory okrągłe (po lewej) pozwalają na obracanie osi, natomiast otwory krzyżowe (po prawej) zapobiegają ich obrotom.

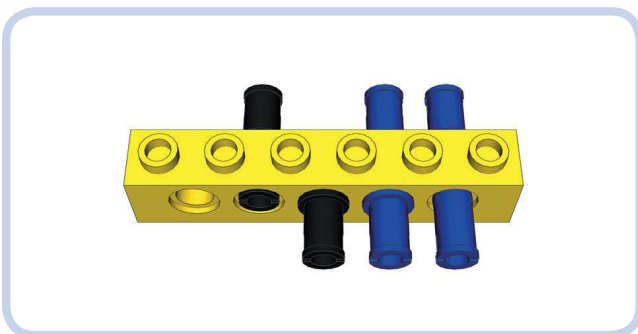
## piny do łączenia i obracania

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 kołnierze, 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, 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.

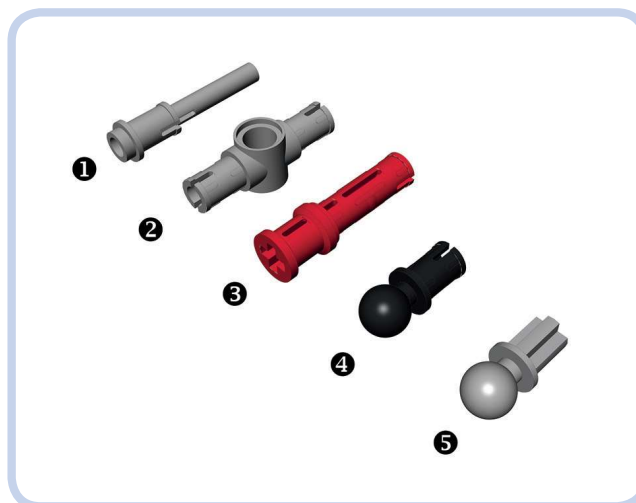
Rysunek 2-8 przedstawia przegląd najczęściej występujących pinów w różnych kolorach.



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.



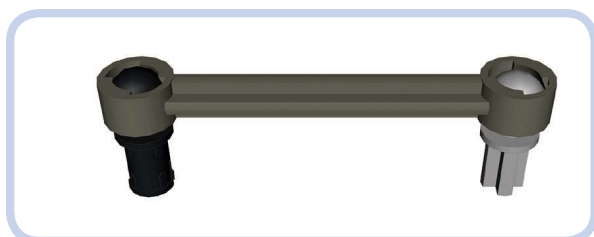
Rysunek 2-9: Zbiór pinów specjalnych

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).

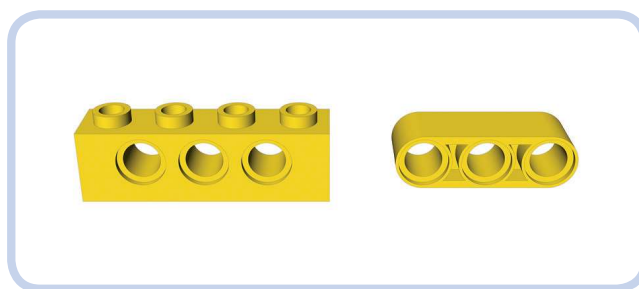
- ❷ **pin długi z otworem** Istnieje tylko zwykły (jasnoszary, czarny lub czerwony).
- ❸ **pin długi z nakładką** Istnieje tylko bez luzu, w różnych kolorach. Ten pin może służyć jak zwykły pin oporowy 2L, ale nakładka pozwala na jego łatwe wyciągnięcie. Jest często używany w zestawach Technic do połączeń 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 zawieszenia, 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: Kłoczek 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).

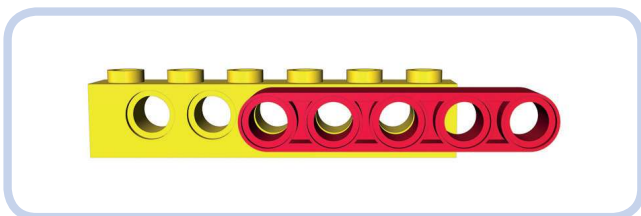
Wiele części bez studów ma skomplikowane kształty, które nie mają odpowiedników w częściach ze studami, co możemy zauważyć na rysunku 2-13.



Rysunek 2-13: Skomplikowane kształty części bez studów



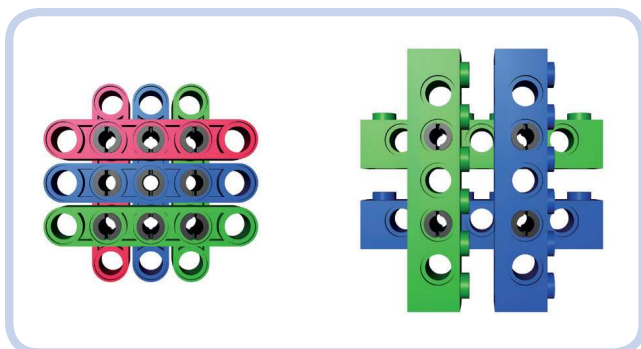
Klocki mają proporcję wysokości do szerokości 6:5, natomiast belki zachowują proporcję 7:8. Prosta belka może mieć do 15 studów długości, ale zawsze ma 1 stud (8 mm) szerokości i 7 mm wysokości. Na rysunku 2-14 widoczna jest przykładowa różnica między klockiem o wysokości 9,6 mm a belką o wysokości 7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



Rysunek 2-14: Kłoczek (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.



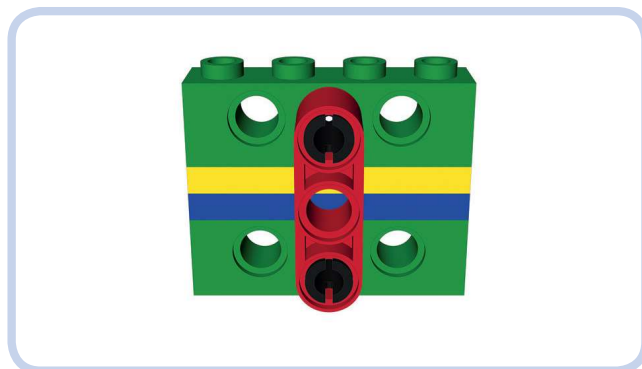
Rysunek 2-15: Porównanie konstrukcji z belek (po lewej) z konstrukcją z klocków (po prawej)

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.



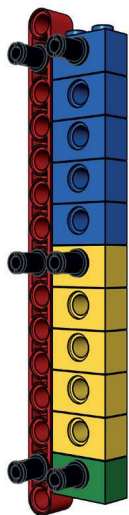
Rysunek 2-16: Podstawowa reguła wyrównania części bez studów i ze studami: otwory w dwóch klockach oddzielonych dwoma płytkami są oddalone dokładnie o 3 study.

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 oddalę 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 kłoczek 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 5 studów: 11 klocków ułożonych pionowo ma 13 studów wysokości itd.

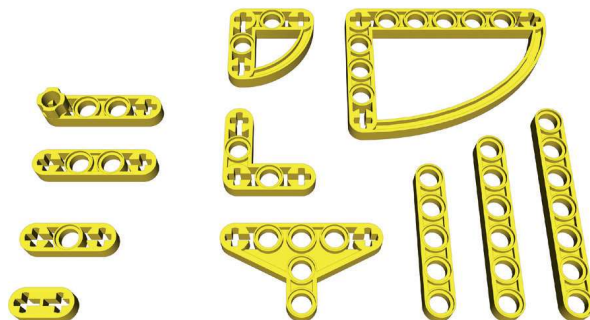


Rysunek 2-18: Otwory pomiędzy klockami ułożonymi w pionie a pionową belką wyrównują się co każde 5 studów.

## połowa studa jako minimalna jednostka konstrukcyjna

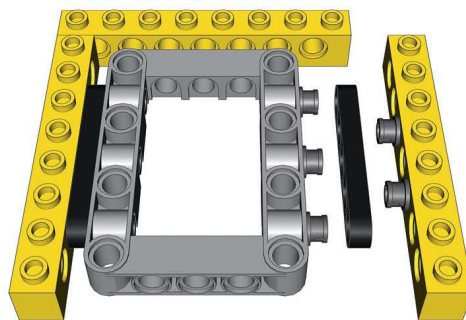
Chociaż podstawową jednostką konstrukcyjną w świecie LEGO jest jeden stud, niektóre części są mniejsze. Na przykład płytki mają  $\frac{1}{3}$  studa wysokości, a niektóre belki mają pół studa grubości. Jak widać na rysunku 2-19, części bez studów, które mają pół studa grubości, zwykle zawierają wiele 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  $\frac{3}{4}$ .



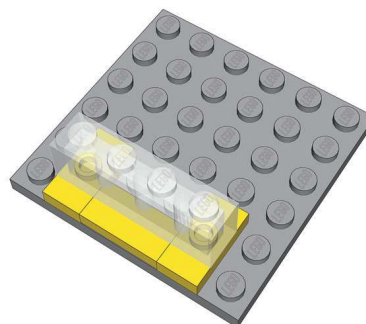


Rysunek 2-21: Od lewej do prawej: pin  $\frac{1}{2}$ , pin  $\frac{3}{4}$  i pin zwykły, użyte do mocowania belki o grubości  $\frac{1}{2}$  studa

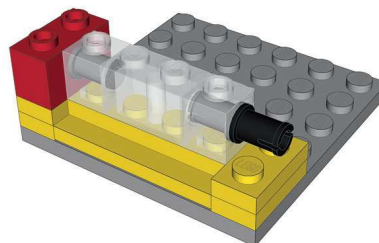
Piny  $\frac{1}{2}$  nie sprawdzają się w tej roli, ponieważ wchodzą w otwór głęboki na pół studa tylko częściowo i mogą łatwo wypaść. Natomiast piny  $\frac{3}{4}$  wchodzą w takie otwory całkowicie, nie wypadając ani nie wystając z nich. Zwykłe piny również mogą wejść w taki otwór, ale wystają z niego 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

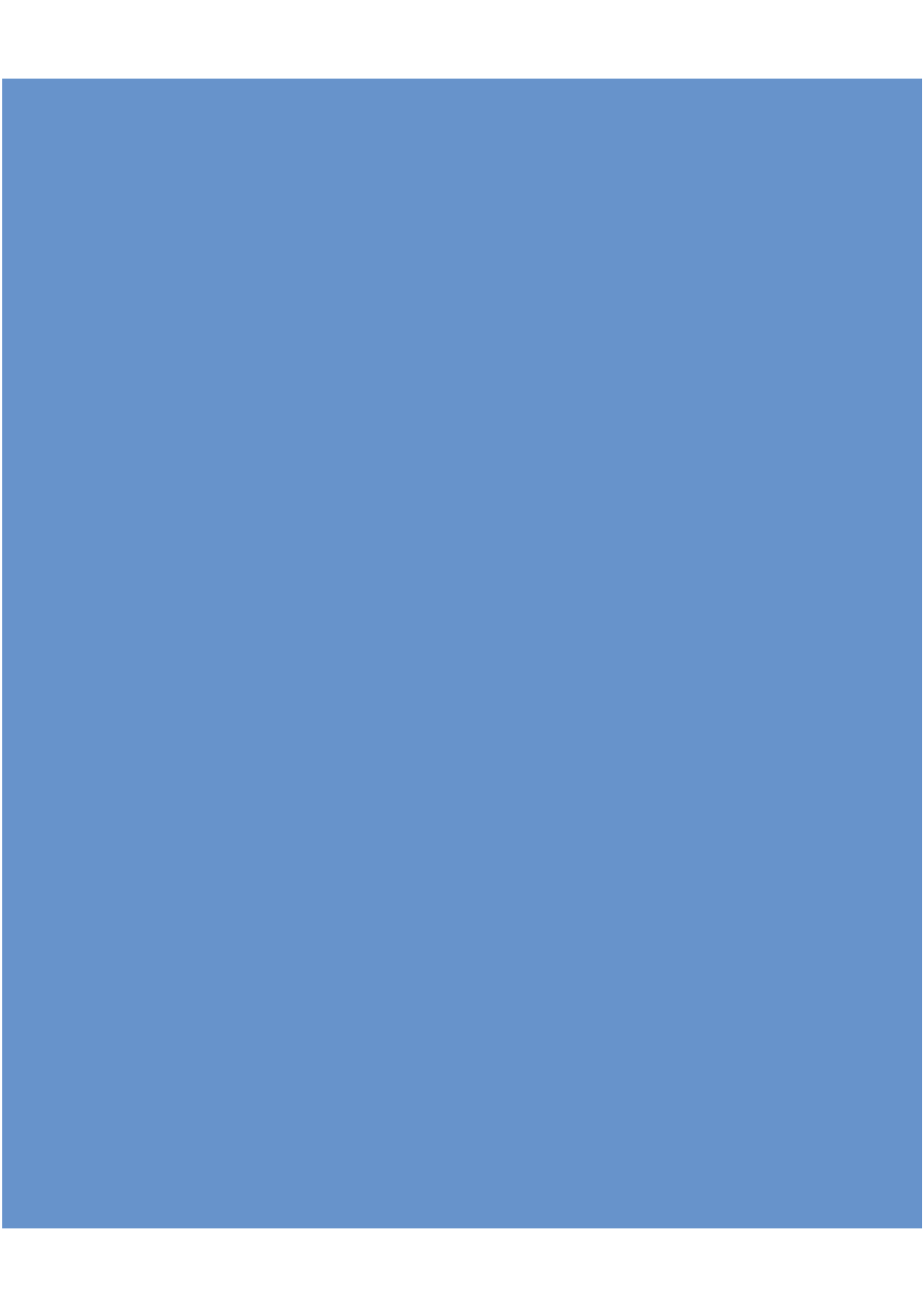
Podczas budowania z klocków LEGO nie musimy używać jednego studa jako najmniejszej jednostki: dwie techniki pozwalają odsuwać klocki LEGO o pół studa. Pierwsza z technik, pokazana na rysunku 2-22, korzysta z *płytki ze studem pośrodku*, czyli płytki 1x2 z jednym centralnym studem na wierzchu, aby umieścić klocek przesunięty o połowę studa. Na rysunku 2-23 widać drugą technikę, z zastosowaniem pinów Technic: łącząc pinem klocek 1x1 z otworem i klocek 1x2 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 przyjrzelśmy 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.

Zacniemy 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).



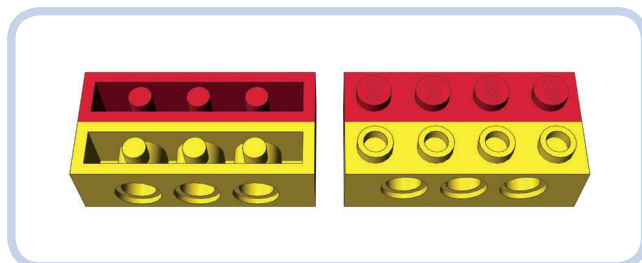
Rysunek 3-1: Mój model Monster Truck jest zgodny z podejściem dzisiejszych zestawów LEGO Technic: został zbudowany prawie całkowicie bez studów, a części ze studami służą jedynie do drobnych detali, takich jak osłona chłodnicy.



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.



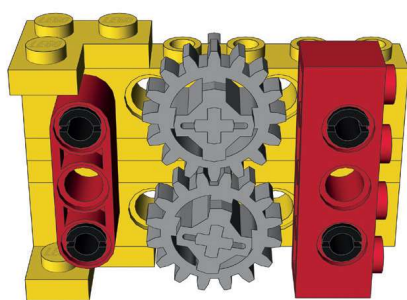
Rysunek 3-3: Porównanie obok siebie zwykłego klocka LEGO (czerwonego) i klocka LEGO Technic (żółtego)



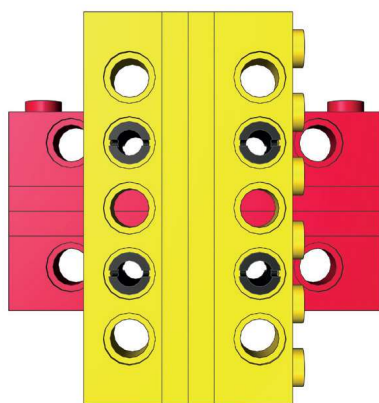
Dzięki tym odstępstwom klocki Technic są mniej podatne na rozłączenie przy nacisku z boku (ale w razie potrzeby wciąż możemy je łatwo rozdzielić). Aby konstrukcje były odporne na duże obciążenia, konieczne jest wzmocnienie klocków przy użyciu pinów i innych części. Jednocześnie części bez studów pozwalają na lepsze wykorzystanie dostępnej przestrzeni, co widać na rysunku 3-4.

### wzmacnianie konstrukcji ze studami

Gdy dodajemy dodatkowe części do konstrukcji LEGO celem ich mocniejszego połączenia, *wzmacniamy* je. Klocki Technic

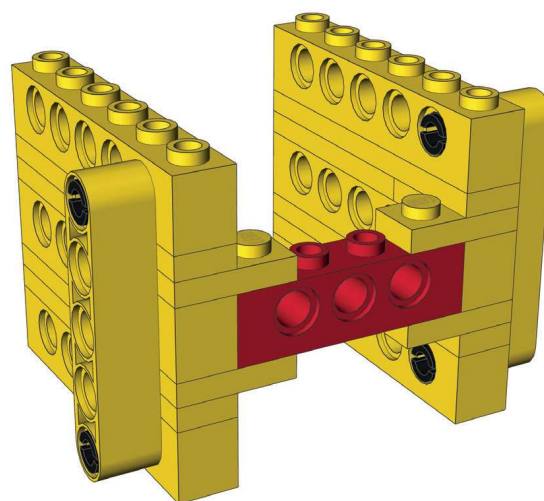


Rysunek 3-4: Dwa klocki 1x6 Technic są spięte pionowo dla wzmocnienia, aby zapobiec przed ich rozłączeniem przy zastosowaniu dużego momentu obrotowego do kół zębatych. Spięcie z użyciem części bez studów (po lewej) w porównaniu z częściami ze studami (po prawej) pozostawia przestrzeń np. na płytki na górze i dole, a także pozwala na użycie większych kół zębatych.

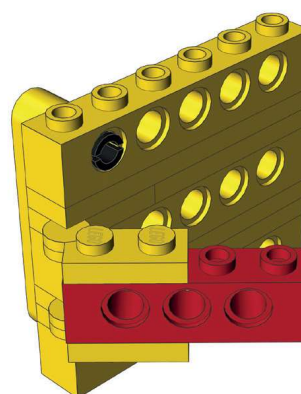


Rysunek 3-5: Kombinacja klocków–dwie płytki–klocek zapewnia taką odległość między klockami, aby dało się je spinać w pionie. Płytki zachowują między otworami w klockach odległość równą dokładnie 1 studowi.

są zwykle łączone z płytkami w celu wzmocnienia w poziomie. Kombinacja *klocek–dwie płytki–klocek* zapewnia prawidłowe odległości w pionie między klockami i ich otworami, pozwalając na dodanie pionowej części jako wzmocnienia (patrz rysunek 3-5). Płytki narożne i płytki z zawiasami pozwalają na połączenia prostopadłe, pokazane na rysunku 3-6, lub pod określonym kątem, pokazane na rysunku 3-7.

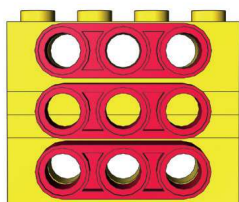


Rysunek 3-6: Choć czerwony klocek nie jest wzmocniony bezpośrednio, został solidnie umocowany za pomocą płytek narożnych w kształcie litery L, które są spięte za pomocą wzmocnionych klocków.



Rysunek 3-7: Dwie wzmocnione płytki z zawiasami obejmują czerwony klocek Technic, pozwalając jednocześnie na ustawienie go pod dowolnym kątem.

Użycie płytek ma jednak swoją wadę: zmniejsza liczbę otworów w porównaniu do struktury całkowicie bez studów o tych samych rozmiarach, co widać na rysunku 3-8. Dlatego w strukturach ze studami możemy zmieścić mniej osi i innych elementów wymagających otworów.



Rysunek 3-8: Jak widać na tych nałożonych obrazach, połączenie klocków i płytek (żółtych) nie tylko zawiera mniej otworów niż połączenie belek bez studów (czerwonych) – sześć w porównaniu z dziewięcioma – ale także zajmuje znacznie więcej miejsca.

Konstrukcje ze studami są z reguły większe i cięższe niż te bez studów, a z uwagi na mniejszą liczbę otworów mechanizmy w ich wnętrzu są mniej zwarte. Konstrukcje takie często wymagają wzmocnienia, ale po jego dodaniu stają się bardzo sztywne. Ponadto istotna jest w nich orientacja części, ponieważ są one asymetryczne, co oznacza, że kierunek ułożenia ich studów określa liczbę możliwych połączeń z innymi częściami.

Dodatkowo konstrukcje ze studami nie współgrają dobrze z elementami pionowymi; trudno na przykład solidnie osadzić w nich pionowe osie.

### zalety konstrukcji ze studami

Ogólne zalety części ze studami są następujące:

- ★ Możemy je łatwo łączyć w poziomie
- ★ Możemy je łatwo łączyć z częściami innymi niż Technic, co pozwala na bardziej kreatywne projekty
- ★ Pozwalają tworzyć bardzo sztywne konstrukcje z mocnymi połączeniami poziomymi
- ★ Pozwalają używać różnych płytek do połączeń pod wieloma kątami
- ★ Pozwalają tworzyć sztywne konstrukcje, w których części nie przemieszczają się

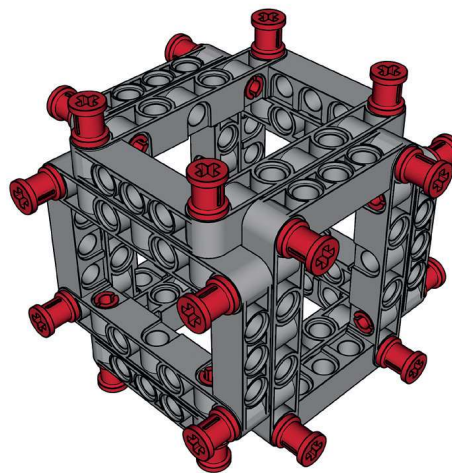
### wady konstrukcji ze studami

Ogólne wady części ze studami są następujące:

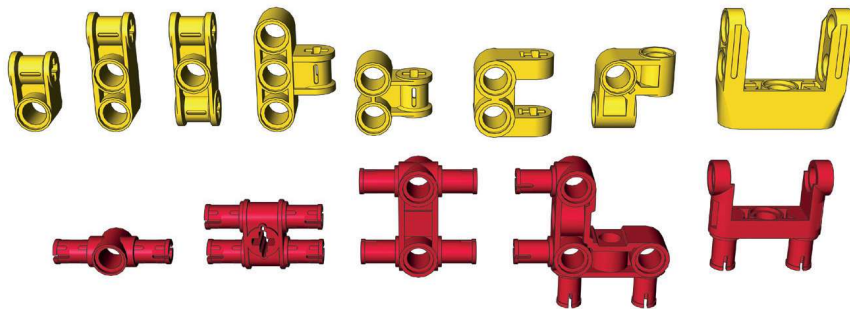
- ★ Wymagają wzmocnień w pionie, aby zapobiec rozdzieleniu pod obciążeniem
- ★ Otwory są rozmieszczone mniej gęsto, więc mechanizm je wykorzystujący musi być mniej zwarty
- ★ Są niesymetryczne, co oznacza, że ich orientacja wpływa na łatwość połączeń
- ★ Trudno je dopasować do większości nowoczesnych części specjalistycznych, takich jak silniki i siłowniki
- ★ Trudno je dopasować do elementów pionowych, takich jak osie i koła zębate
- ★ Są większe i cięższe niż części bez studów

## budowanie bez studów

Konstrukcje bez studów składają się z belek łączonych pinami, a także różnorodnych wyspecjalizowanych łączników. Belki są symetryczne, więc mogą być łączone w dowolnej orientacji i pozwalają na budowanie w trzech wymiarach, co widać na rysunku 3-9. W większości przypadków belki są łączone zwykłymi pinami Technic, ale niektóre łączniki mają piny zintegrowane na stałe, co widać na rysunku 3-10.



Rysunek 3-9: Ta struktura składająca się z ramek bez studów połączonych pinami z nakładkami jest symetryczna, co oznacza, że nie ma jednoznacznie określonego wierzchu ani spodu. W przeciwieństwie do struktur ze studami, możemy do niej włożyć osie w dowolnym kierunku.

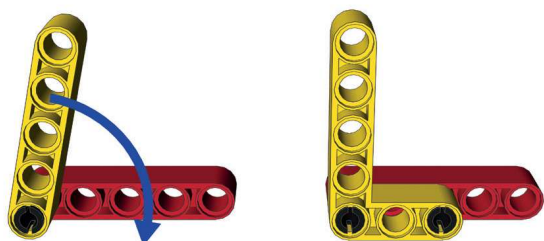


Rysunek 3-10: Choć większość łączników bez studów ma po prostu otwory okrągłe i krzyżowe (żółte), niektóre mają zintegrowane na stałe piny (czerwone).

### tworzenie sztywnych połączeń bez studów

Połączone pinami części bez studów jest znacznie trudniej rozdzielić niż klocki i płytki, ale nie musi to oznaczać, że otrzymujemy sztywne konstrukcje. Ponieważ piny są okrągłe, dowolne dwie części połączone jednym pinem mogą się obracać względem siebie. Użycie pinów bez luzu może taką sytuację utrudnić, ale rzeczywiście sztywne i statyczne konstrukcje osiągniemy po użyciu co najmniej dwóch pinów na każde połączenie.

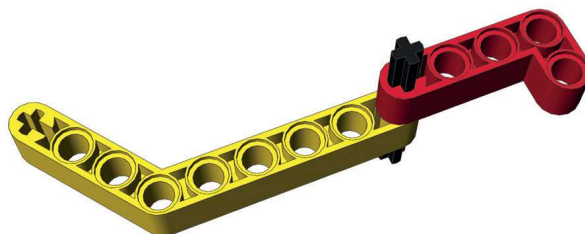
Na rysunku 3-11 widać różnicę między połączeniem sztywnym a ruchomym. Zaletą sztywnych połączeń jest to, że w przypadku części bez studów nie wymagają one żadnego dodatkowego wzmocnienia, nawet gdy dodajemy do nich osie i koła zębate (patrz rysunek 3-12). Sztywne połączenia możemy też łatwo tworzyć przy użyciu otworów krzyżowych, co widać na rysunku 3-13.



Rysunek 3-11: Porównanie ruchomego (po lewej) i sztywnego (po prawej) połączenia części bez studów. W połączeniu ruchomym części są połączone razem, ale ich położenie względem siebie może się zmieniać – żółta belka może się obracać w lewo i w prawo bez względu na typ piny użytego do połączenia. W połączeniu sztywnym części są połączone na stałe względem siebie, dlatego ich położenie nie może się zmieniać.

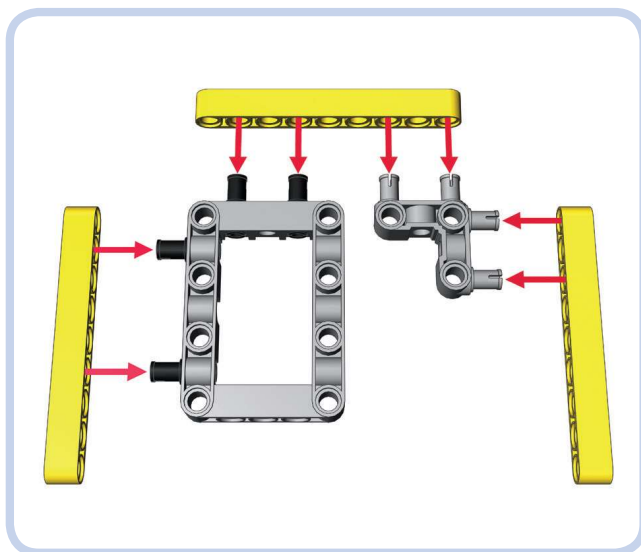


Rysunek 3-12: Części trzymające się razem za pomocą połączenia sztywnego zwykle nie wymagają dodatkowego wzmocnienia, aby się nie rozłączyły pod obciążeniem. Te części działają jak jedna całość dzięki ich sztywnym połączeniom.



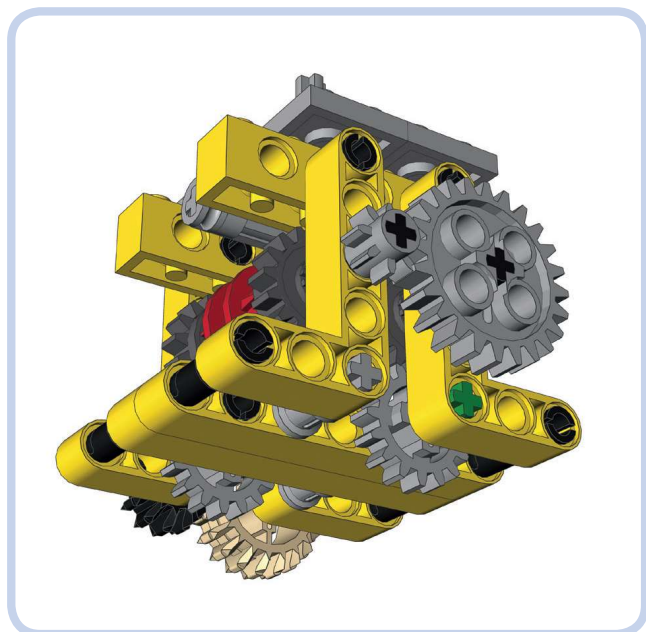
Rysunek 3-13: Gdy dwie części bez studów mają otwory krzyżowe, jedna oś wystarczy, aby je sztywno połączyć. Jednak takie połączenie nie będzie tak mocne, jak składające się z co najmniej dwóch pinów.

Belki są mniejsze i lżejsze niż klocki, ale także bardziej elastyczne. Dlatego pod obciążeniem są bardziej narażone na wygięcie, a nawet złamanie, niż klocki. Z tego względu tworzenie dużych sztywnych struktur bez studów jest trudniejsze niż ze studami i wymaga bardziej skomplikowanych połączeń z użyciem części większych niż płytki. Inna trudność pojawia się, gdy chcemy utworzyć prostopadłe połączenie belek bez umieszczania jednej na drugiej. Jest to możliwe tylko wtedy, gdy zastosujemy łącznik o kącie prostym lub ramkę 5x7 bez studów (patrz rysunek 3-14). Ramki te są dość popularne i świetnie sprawdzają się jako środki wzmacniające konstrukcje.



Rysunek 3-14: Tylko dwa rodzaje części (jasnoszare) pozwalają łatwo tworzyć sztywne połączenia prostopadłych osi na tym samym poziomie.

Obecność otworów zarówno okrągłych, jak i krzyżowych, oznacza, że części bez studów i łączniki mogą być łączone samymi osiami, i tworzyć duże, wytrzymałe struktury. Te rodzaje połączeń wymagają planowania z wyprzedzeniem z powodu złożoności techniki bez studów (patrz rysunek 3-15). Podczas tworzenia strukturalnego połączenia za pomocą osi musimy mieć dobre pojęcie o rozmiarze całej konstrukcji i wiedzieć, które otwory możemy wykorzystać na piny, a które trzeba zarezerwować na osie. Wszystkie te zagadnienia sprawiają, że budowa techniką bez studów jest trudniejsza. Mówi się nawet, że przypomina ono grę w szachy: konstruktor musi planować na kilka ruchów do przodu.



Rysunek 3-15: Użyłem części bez studów do połączenia tej skrzyni biegów. Wymagało to zaplanowania, w które otwory okrągłe włożę osie, a w które piny, ile łączników będzie potrzebnych do utrzymania sztywności struktury, oraz dobrania takich części, które najlepiej pasują kształtem i rozmiarem.

Umiejętność budowania głównie z części bez studów pozwala budować mocniejsze, wytrzymalsze i bardziej zwarte struktury. Dlatego konstrukcje MOC bez studów są zwykle bardziej funkcjonalne, mniejsze i lżejsze niż te ze studami. Jednak tak powstałe modele mają dość szkieletowy, „dziurawy” wygląd. Aby tego uniknąć i uzyskać dobrze wyglądający model bez studów (taki jak Ford GT40 na rysunku 3-16), możemy dodać panele i osie elastyczne lub obudować strukturę bez studów przy użyciu części ze studami. Pomysł ten zgłębijmy dalej w tym rozdziale.

### zalety konstrukcji bez studów

Ogólne zalety części bez studów są następujące:

- ★ Możemy je łatwo łączyć w dowolnym kierunku, co pozwala na budowanie w trzech wymiarach
- ★ Możemy je łatwo łączyć z nowoczesnymi częściami Technic, takimi jak silniki i siłowniki
- ★ Mają gęściej rozmieszczone otwory, co pozwala tworzyć bardziej zwarte mechanizmy
- ★ Rzadko wymagają dodatkowego wzmacniania (jeżeli używamy sztywnych połączeń)
- ★ Są mniejsze i lżejsze niż części ze studami