

Projekt roweru w stylu retro z przekładnią dwubiegową jako przykład zastosowania CAD i RP we wzornictwie przemysłowym

Project of the retro bike with two-speed gearbox as an example of use the CAD and RP in industrial design

JADWIGA PISULA
BRYGIDA DRABICKA *

DOI 10.17814/mechanik.2016.3.29

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAx 2015

Prezentowana koncepcja rozwiązania konstrukcyjnego roweru w stylu retro. Zaprezentowano budowę i zasadę działania napędu dwubiegowego w postaci zespołu przekładni trójdrożnych umieszczonego w piaście koła przedniego. Opisano sposób przygotowania modelu do wykonania prototypu napędu za pomocą technik RP.

SŁOWA KLUCZOWE: projektowanie wspomagane komputerowo, szybkie prototypowanie, wzornictwo przemysłowe

This paper presents a design solution concept in the retro style bike. The work shows the construction and operating principle of the two-speed drive in the form of a three-way gearbox assembly which is placed in the hub of the front wheel. Moreover, there is given a method of preparing a drive model for a prototype manufacturing by RP methods.

KEYWORDS: computer-aided design, rapid prototyping, industrial design

Rowery należą do najpopularniejszych na świecie pojazdów napędzanych siłą mięśni za pomocą odpowiednio skonstruowanej przekładni. Istnieją od blisko dwóch wieków, a od ok. 130 lat są konstruowane według jednego ogólnie przyjętego wzorca.

W ostatnich latach można zaobserwować wzrost popularności rowerów jako miejskiego środka transportu. Temu zjawisku z uwagą przygląda się świat mody. Rower stanowi co prawda dopracowany już projekt, ale to nie oznacza, że niemożliwe jest wprowadzanie zmian w jego wyglądzie czy też usprawnianie jego budowy. W każdym roku producenci sprzętu zaskakują formą i funkcjonalnością oferowanych modeli. Przede wszystkim nowe jednoślady powstają z trwalszych, lżejszych i bardziej niezawodnych materiałów. Ciągłemu udoskonalaniu podlega ergonomia części i geometria roweru, a także wykorzystywane w nim mechanizmy. Przykładem tego są rowery IzzyBike (polskiego projektanta Marka Jurka), Concept 1865 (firmy BASF oraz biura projektowego ding3000) i Oneybike (projekt Petera Vargi) [9÷11].

Przyjęło się, że współczesny rower miejski musi charakteryzować wygodą, styl i piękno. Wszystkie te cechy stanowią gwarancję komfortowego przemieszczania się, a odnaleźć je można zarówno w tradycyjnych „holendrach”, jak i nowych projektach. Takie podejście decyduje o powrocie do rozwiązań zaczerpniętych z ubiegłych stuleci.

Bardzo ważną rolę w procesie projektowania wyrobu odgrywają systemy typu CAD. Nie tylko umożliwiają tworzenie modeli geometrycznych, ale także pozwalają na opracowanie koncepcji danego produktu, własności materiałowych, analizę i ocenę cech wytrzymałościowych czy funkcjonalnych

oraz generowanie dokumentacji technicznej 2D. Dodatkowo stworzony w ten sposób model geometryczny jest podstawą do zaplanowania procesu wytwarzania.

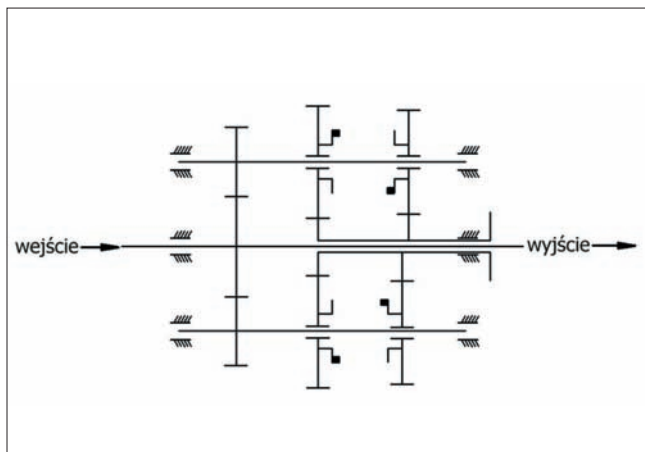
Koncepcja rozwiązania konstrukcyjnego roweru

W projekcie roweru przyjęto następujące założenia:

- Zdecydowano o powrocie do jednego z pierwszych rozwiązań konstrukcyjnych napędu w rowerach ze względu na jego szereg zalet. Przede wszystkim rezygnacja z łańcucha wiąże się z małą awaryjnością, minimalizuje opory występujące w układzie napędowym, a także eliminuje problem wystających elementów oraz brudzenia się odzieży podczas jazdy.
- Użytkownicy rowerów miejskich w równym stopniu cenią sobie nowoczesne, zgodne z panującą modą wzornictwo i komfortową jazdę. Projektowany rower odznacza się stosunkowo prostą budową, brakiem lub ograniczeniem do minimum wymagań związanych z utrzymaniem oraz dużą funkcjonalnością i uniwersalnością.
- W konstrukcji i wyglądzie projektowanego roweru połączono cechy dziewiętnastowiecznych bicykli oraz rowerów składanych. Zrezygnowano z kół o takiej samej średnicy. Przednie koło jest 34-calowe, a tylne – stanowiące rodzaj podpory – dwukrotnie mniejsze (17"). Piastrę koła zespolono z wieńcem za pomocą odpowiednio wyprofilowanych ramion, których liczba jest uzależniona od średnicy koła.
- W nawiązaniu do dziewiętnastowiecznych bicykli napęd w projektowanym jednoślady został przeniesiony na przednie koło. Dlatego w osi przedniego koła roweru została osadzona przekładnia zębata. Tradycyjne bicykle nie miały przekładni, a pełny obrót przedniego koła był równoznaczny z obrotem pedałów o 360°. Zastosowanie przekładni zębatej pozwala na zmniejszenie średnicy przedniego koła bez konieczności rezygnacji z osiągania znacznych prędkości.
- Zmniejszenie średnicy koła przedniego powoduje obniżenie położenia środka ciężkości, podwyższając stabilność roweru podczas jazdy.
- Przełożenie pierwszego biegu w projektowanej przekładni zostało dobrane w oparciu o stosunek wielkości przedniego koła w dziewiętnastowiecznym bicyklu oraz modelowanym rowerze. Stosunek obu tych średnic wskazuje na to, że iloraz średnicy koła centralnego do średnicy satelity wynosi 2,2:1. Przełożenie takie uzyskano poprzez pracę dwóch zespołów kół zębatach, przy czym składowe przełożenia wynoszą kolejno 1,7:1 oraz 1,3:1. Zastosowanie trzeciego zespołu kół o przełożeniu 1,7:1, przy współpracy z pierwszą przekładnią, pozwoliło na uzyskanie całkowitego przełożenia równego 2,9. Wszystkie przedstawione przełożenia są zgodne z wymaganiami ergonomii i zostały dobrane na podstawie odpowiednich norm. Przekładnia zębata w piaście rowerowej pełni rolę miniaturowej skrzyni biegów. Otrzymanie

* Dr inż. Jadwiga Pisula (jpisula@prz.edu.pl), mgr inż. Brygida Drabicka (brygida_drabicka@wp.pl) – Politechnika Rzeszowska

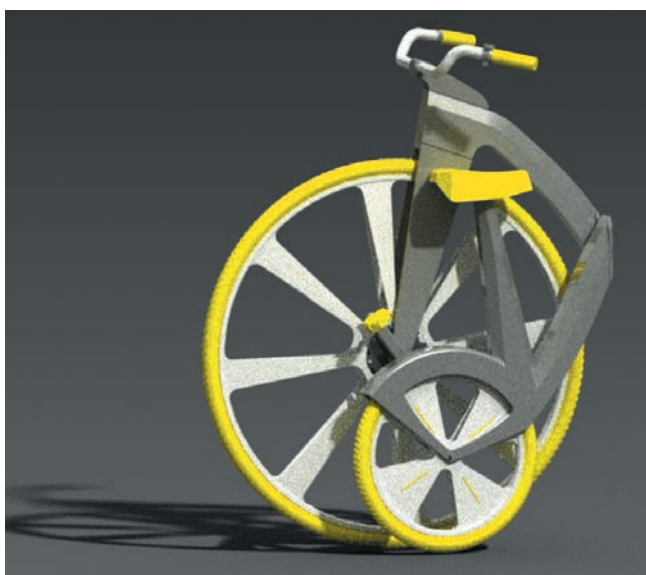
mechanizmu zmiany biegów w tak małym rozmiarze możliwe jest m.in. dzięki temu, że moment przekazywany jest trzema ścieżkami, co wpływa znacząco na zmniejszenie gabarytów kół zębatych. Ponadto siły wzajemnego oddziaływania kół zębatych – centralnego i satelitów – za sprawą równomiernego rozkładu znoszą się wzajemnie i nie generują momentu gnącego na wałku kół centralnych. Schemat przekładni zastosowanej w rowerze przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat kinematyczny projektowanej przekładni dwubiegowej [1]



Rys. 2. Model zaprojektowanego roweru w stylu retro o nowatorskim designie, zgodnym z wymaganiami użytkowymi oraz istniejącymi normami [1]



Rys. 3. Model zaprojektowanego roweru w wersji złożonej [1]

- Aby zapewnić ergonomię jazdy, niektóre rozwiązania zaczerpnięto z klasycznych rowerów miejskich w stylu holenderskim. Kierownica ma kształt typu jaskółka. Jest szeroka i odpowiednio wygięta, tak aby cyklista mógł przyjąć wyprostowaną lub nieco pochyloną (pod kątem ok. 70° - 80° względem podłoża) pozycję pleców. Prosta pozycja rowerzysty sprzyja zapewnieniu bardzo dobrej widoczności, co jest szczególnie ważne podczas jazdy po mieście.

- W konstrukcji projektowanego pojazdu wykorzystano pewne cechy charakterystyczne dla rowerów składanych. Użytkownik może szybko i w prosty sposób zmienić rozmiary jednoślada bez użycia narzędzi. W tym celu zastosowano zawiasy. Są one wbudowane w ramę oraz kierownicę, a ich odblokowanie pozwala na złożenie pojazdu do rozmiarów znacznie ułatwiających jego przenoszenie czy transport.

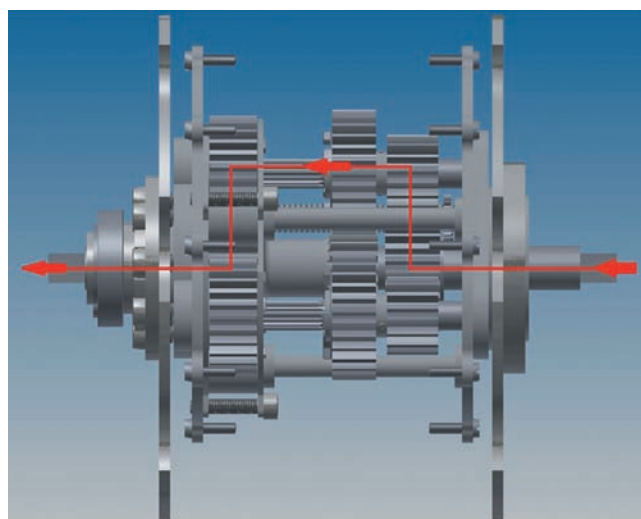
- Poza samym wzornictwem i konstrukcją ulega zmianie również utarty schemat dużej masy roweru typu ATB. Ciężar projektowanego modelu został zredukowany dzięki rezygnacji z klasycznie wykorzystywanych materiałów konstrukcyjnych. Użycie stali i chromo-molibdenu ograniczono do niezbędnego minimum (osi kół i hamulców). Większość stanowią komponenty wykonane z kompozytów węglowo-epoksydowych, natomiast rama oraz kierownica rowerowa są wykonane z włókien karbonizowanych.

Na podstawie przedstawionych założeń wykonano model roweru, który zaprezentowano na rys. 2 oraz 3.

Projekt przekładni dwubiegowej

Model przekładni dwubiegowej powstawał z wykorzystaniem pakietu narzędzi Design Accelerator zawartych w programie Autodesk Inventor Professional 2015. Dostępne kreatory w pełni automatyzują proces budowy mechanizmów, dzięki czemu możliwe jest skupienie się na funkcji, którą ma spełniać tworzona konstrukcja. Projektowanie standardowych elementów maszyn za pomocą narzędzi Design Accelerator opiera się na fizycznych parametrach pracy określonego komponentu, co pozwala na przeprowadzanie obliczeń wytrzymałościowych i sprawdzających [3, 8].

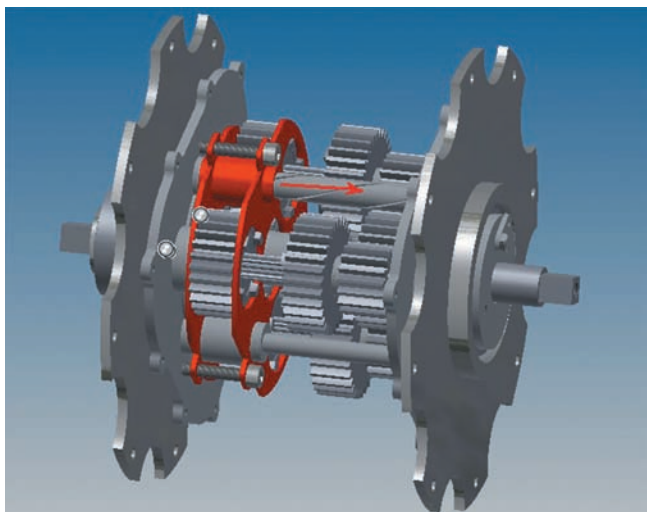
Skonstruowana dwubiegowa przekładnia ma umożliwić różnicowanie prędkości bez konieczności stosowania bardzo dużego przedniego koła w rowerze oraz uzyskanie mechanizmu zmiany biegów o kompaktowych wymiarach gabarytowych. Zasada działania przekładni jest następująca: Napęd uruchamiany jest obrotem korby z pedałami. W ten sposób napędzany jest wał główny i osadzone na nim koło zębate centralne pierwsze. To z kolei skutkuje wprawieniem w ruch jego trzech satelitów. Każdy z satelitów jest osadzony za pomocą połączenia wpustowego na dodatkowym wałku przymocowanym do bocznych pokryw przekładni. W wyniku



Rys. 4. Przepływ mocy w przekładni pracującej na pierwszym biegu [1]

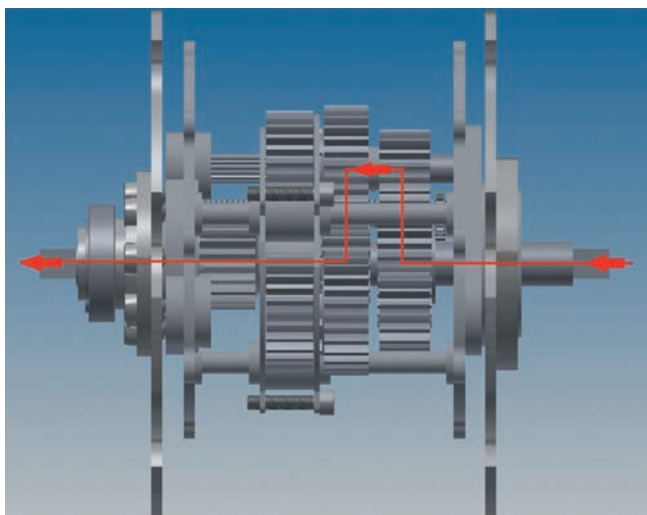
obrotu satelitów wałki te rozpoczynają ruch obrotowy wokół osi wału głównego. Obrót trzech wałków uruchamia drugi zespół kół zębatych. Osiągnięta w ten sposób współpraca dwóch zestawów kół zębatych daje przełożenie 2,2 : 1. Pracę przekładni na pierwszym biegu przedstawiono na rys. 4.

Rowerzysta, zmieniając bieg za pomocą osadzonej na kierownicy manetki, powoduje naprężenie linki i odpowiedni obrót niewielkiej dźwigni zamontowanej w przekładni. Wskutek tego po śrubie o dużym skoku przemieszczają się tuleja przesuwna i przytwierdzone do niej tarcze sterujące (rys. 5).



Rys. 5. Sposób zmiany przełożenia przekładni za pomocą przesuwnej tulei wraz z tarczami sterującymi [1]

Ruch tych elementów powoduje przesunięcie się satelitów z drugiego zespołu kół. Koło centralne pozostaje w pierwotnym położeniu. Satelity zintegrowano ze sprzęgłami kłowymi. W wyniku ich zazębienia następuje przeniesienie siły napędowej na trzeci zespół kół zębatych. Pracę przekładni na drugim biegu przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Przepływ mocy w przekładni pracującej na drugim biegu [1]

Wykonanie prototypu przekładni

Techniki szybkiego prototypowania (RP) pozwalają na znaczne zintensyfikowanie procesu projektowania. Szybkie prototypowanie nie tylko ułatwia i przyspiesza wprowadzanie na rynek nowego wyrobu, ale również zmniejsza koszty związane z otrzymaniem prototypu [2, 6, 7]. Wykonanie wersji demonstracyjnej przekładni ma na celu przede wszystkim wizualizację zaprojektowanych obiektów oraz sprawdzenie

poprawności ich działania w zespole. Do wykonania prototypu przekładni dwubiegowej wykorzystano metodę MEM.

Metoda MEM (*melted and extruded modeling*) polega na budowaniu modelu z materiału termoplastycznego, najczęściej z odpowiedniego tworzywa sztucznego (ABS, PC, PCL, PES). Materiał podawany jest do maszyny w postaci włókien nawiniętych na szpulę. Nanoszenie kolejnych linii i warstw odbywa się przez dyszę, która jest rozgrzana do temperatury topnienia wykorzystywanego budulca [4].

Zaletą metody MEM jest możliwość stosowania materiałów zróżnicowanych pod względem właściwości wytrzymałościowych oraz temperatury topnienia, w tym również materiałów odpowiadających tym, które są używane w przemyśle. Ponadto metoda ta umożliwiła tworzenie wytrzymałych modeli już w chwili wyjmowania z urządzenia.

Znaczący wpływ na dokładność produktu otrzymanego w procesie szybkiego prototypowania ma przygotowanie danych. Dane, które są eksportowane z systemu CAD, muszą pozwalać na wytworzenie modelu fizycznego z jak najwyższą dokładnością oferowaną przez urządzenie RP. Podczas eksportowania danych w programie Autodesk Inventor do pliku .stl przyjęto parametry uzyskania modelu o najlepszej jakości odwzorowania.

Urządzeniem wykorzystanym do wykonania fizycznego prototypu przekładni była drukarka UP! 3D Plus 2 (rys. 7). Dane w postaci plików .stl przekazywane są do drukarki za pośrednictwem specjalnego oprogramowania. Po wstawieniu modeli do wirtualnej komory drukującej odpowiednio rozmieszczono je na płycie. Dobrano preferencje drukowania



Rys. 7. Druk elementów przekładni dwubiegowej na drukarce UP! 3D Plus 2 [1]



Rys. 8. Etap oddzielania wydrukowanych elementów od platformy roboczej [1]

dotyczące grubości warstwy, opcji podpór oraz wypełnienia modelu.

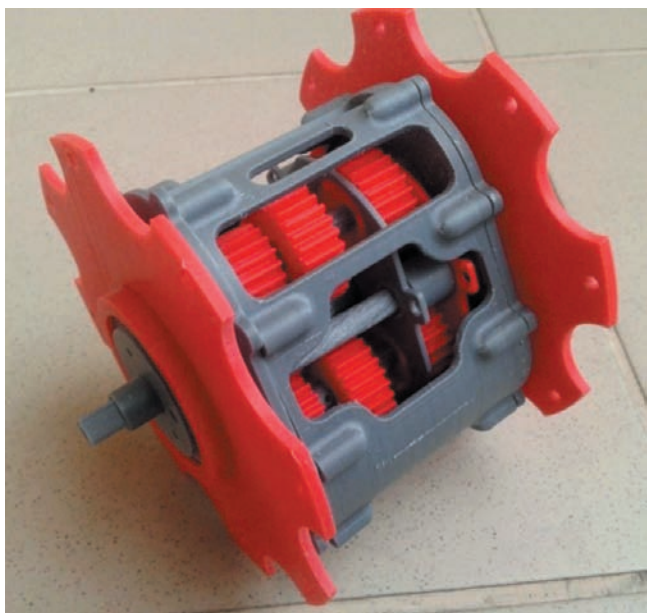
Kolejne etapy wykonania modelu fizycznego przedstawiono na rys. 8 oraz 9. Po zakończeniu wydruku w ramach post-processingu oddzielono wydrukowane elementy od platformy roboczej i poddano je obróbce. Następnie odbył się montaż podzespołów przekładni (rys. 10).



Rys. 9. Obróbka części [1]



Rys. 10. Montaż poszczególnych elementów zespołu przekładni [1]



Rys. 11. Prototyp przekładni dwubiegowej do roweru [1]

Dzięki zastosowaniu ABS do druku modele otrzymane metodą MEM charakteryzuje wysoka wytrzymałość mechaniczna oraz bardzo dobra jakość prototypów [5]. Wydrukowane elementy z powodzeniem mogą pełnić funkcję części współpracujących, bez ryzyka ich szybkiego uszkodzenia.

Ponadto ABS charakteryzuje się dobrą obrabialnością, dlatego nie ma większych problemów z obróbką wykończeniową. Polega ona przede wszystkim na oczyszczeniu, poprawie właściwości mechanicznych i wizualnych oraz zmniejszeniu chropowatości.

Wygląd wykonanego prototypu przekładni dwubiegowej do roweru przedstawiono na rys. 11.

Podsumowanie

Zaprojektowany zgodnie z przyjętą koncepcją rower odznacza się przede wszystkim nowoczesnym designem, zgodnym z wymogami ergonomii. Konstrukcja pozwalająca na składanie pojazdu do rozmiarów ułatwiających jego transport bez wątplenia zyskuje na funkcjonalności. Oryginalność zapewnia również zastosowanie przedniego napędu. Dwubiegowa przekładnia trójdrożna umożliwia zróżnicowanie osiągniętych przez rowerzystę prędkości i ma niewielkie rozmiary.

Powstające użytkowe wzory przemysłowe powinny stanowić odpowiedź na panującą modę, ale nie tracić przy tym na funkcjonalności. Bardzo ważnym elementem każdego wyrobu jest nowatorski design. Powinien być on jednak zgodny z wymaganiami praktycznymi oraz istniejącymi normami, np. ergonomicznymi czy BHP.

Zastosowanie systemów typu CAD w procesie projektowania pozwala na tworzenie rozbudowanych wizualizacji wyrobu. Dzięki kreatorom elementów typowym znacznemu skróceniu ulega czas modelowania. Konstruktor nie skupia się na sposobach tworzenia danej części, ale przede wszystkim na jej funkcjonowaniu w zespole. Systemy typu CAD pozwalają również na przeprowadzanie analiz wytrzymałościowych.

W procesie budowania prototypu metodami RP niezbędny jest model utworzony w systemie CAD. To od jego prawidłowego eksportu do formatu *.stl* i dobranego stopnia dokładności zależy wygląd fizycznego modelu.

LITERATURA

1. Drabicka B. „Projekt roweru w stylu retro z przekładnią dwubiegową”. Praca dyplomowa. Rzeszów 2015.
2. Giergiel J., Budzik G., Kurc K., Szybicki D. „Mechatroniczne prototypowanie podzespołów robota”. *Mechanik*. Nr 12 (2015): streszczenie s. 973, pełny tekst na CD: K 074, s. 74÷79.
3. Jaskulski A. „Autodesk Inventor Professional 2015PL/2015+/FUSION 360. Metodyka projektowania”. Warszawa: Wydawnictwo PWN, 2015.
4. Kaziunas F.A. „Świat druku 3D. Przewodnik”. Gliwice: Wydawnictwo Helion, 2014.
5. Masood S.H., Song W. “Development of new metal/polymer materials for rapid tooling using Fused deposition modeling”. *Materials and Design*. Vol. 25, Iss. 7 (2004): pp. 587÷594.
6. Rokicki P., Budzik G., Kubiak K., Bernaczek J., Dziubek T., Magniszewski M., Nowotnik A., Sieniawski J. “Rapid prototyping in manufacturing of core models of aircraft engine blades”. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal*. No. 86/4 (2014): pp. 323÷327.
7. Saigopal N., Vadim S. “Representation and analysis of additively manufactured parts”. *Computer-Aided Design*. Vol. 67–68 (2015): pp. 13÷23.
8. Waguespack C. „Mastering Autodesk Inventor 2015 and Autodesk Inventor LT 2015”. Canada: SYBEX, 2014.
9. www.izzybike.eu (dostęp: 30.11.2015).
10. www.petovdesign.com/works/oneybike.html (dostęp: 30.11.2015).
11. www.ding3000.com/en/concept1865.html (dostęp: 30.11.2015). ■