

Aleksander UBYSZ
Eugeniusz KAŁUŻA

COMPOUND BIKE - ROWER O NAPĘDZIE HYBRYDOWYM

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono możliwości zabudowy na rowerze dodatkowego napędu wspomagającego, czyniącego z niego jakościowo pojazd o napędzie hybrydowym. Teoretycznie uzasadniono zalety i wady takiego pojazdu, zaprezentowano różne, znane autorom rozwiązania elektrycznych i spalinowych napędów stosowanych w kraju.

COMPOUND BIKE - BICYCLE WITH HYBRID DRIVE

Summary. Possibilities of installing assisted drive in the bicycle have been presented in this paper. Such drive would make out of a bike a completely new vehicle with hybrid drive. Several versions of technical design of such a new drive (electric or fuel) have been presented together with their advantages and disadvantages.

1. WSTĘP

Na progu trzeciego tysiąclecia nauka światowa stoi przed ogromnymi zadaniami, których potrzeba realizacji oraz jaskrawiej rysuje się na tle globalnych zagrożeń środowiska i życia na Ziemi. Najważniejsze z nich to ograniczenie tak niefrasobliwego wykorzystania energii do napędu pojazdów, której zasoby są wszak ograniczone. Drugie, nie mniej ważne zadanie, to ograniczenie ilości toksyn oraz CO₂ emitowanych przez te pojazdy w czasie ich często nie w pełni uzasadnionej eksploatacji. W wielu krajach w celu poprawy wskaźnika wykorzystania możliwości przewozowych samochodów osobowych przy dojeżdżaniu do pracy stosuje się zachęty finansowe dla osób dojeżdżających jednym samochodem zamiast dwu lub więcej (np. Szwecja). Opracowane są programy badawcze nad lekkimi, inteligentnymi samochodami nowej generacji. Na poczesnym miejscu, z uwagi na najniższą masę własną, znalazł się rower napędzany silnikiem, tzw. Sub Car [1]. Na Zachodzie wiele firm samochodowych, takich jak:

Mercedes, BMW, Porsche czy Daewoo, widząc ogromne perspektywy przed tym, dotąd niedocenionym pojazdem, podjęło produkcję rowerów.

W obecnie produkowanych rowerach stosuje się często najlepsze materiały i nowoczesne technologie, a ceny takich rowerów osiągają poziom najtańszych samochodów osobowych. W celu poprawy właściwości eksploatacyjnych coraz częściej stosuje się napędy pomocnicze (wspomagające) zarówno spalinowe, jak i elektryczne. Rowery z napędem elektrycznym są bardziej przydatne w ruchu miejskim jako pojazdy o emisji "zerowej", ale są droższe w eksploatacji i mają ograniczony zasięg działania napędu wspomagającego. Produkują je tak znane firmy rowerowe, jak Sachs, Zap i Estelle. Kto wie, czy przyszłość transportu pasażerskiego w centrach dużych miast nie będzie należeć do tzw. citybików wspomaganych napędem elektrycznym.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

2.1. Warunki ogólne

Wiadomo, że rower, szczególnie w małych miastach i na wsi, stanowi ważny składnik transportu. Bardziej złożona sytuacja jest w dużych miastach i metropoliach. Ogromny ruch samochodowy (w Polsce średnio jest 250 samochodów osobowych na 100 mieszkańców, na Zachodzie Europy 500/1000, w USA 750/1000) przy braku dróg rowerowych stanowi w Polsce poważne utrudnienie i zniechęca do korzystania z transportu rowerowego.

Natomiast w miastach zachodniej Europy rower stanowi ważny element systemu komunikacyjnego. Jego udział w realizacji podróży kształtuje się na poziomie 15-30%. Szczególnie istotne jest jednak, że znaczna część podróży rowerowych odbywa się w zatłoczonym centrum miasta, co z jednej strony pozwala na łatwe przemieszczanie się w tym rejonie, a z drugiej nie powoduje obciążenia środowiska hałasem, spalinami i zatłoczeniem, jak ma to miejsce w przypadku samochodów. Rower jest właściwie jedynym w pełni ekologicznym środkiem transportu. Dodatkową jego zaletą jest to, że pełniąc codziennie funkcje komunikacyjną sprzyja zachowaniu dobrego stanu zdrowia. Przy spełnionych warunkach bezpieczeństwa ruchu jest to również pojazd najbezpieczniejszy i z punktu widzenia dotarcia do celu na odległość nawet do 6-10 km, najszybszy. Również pod względem kosztów transportu rowerowy jest znacznie oszczędniejszy od pozostałych środków lokomocji. Budowa dróg rowerowych jest co najmniej 80-krotnie tańsza niż budowa dróg

samochodowych, a zajęcie terenu dla potrzeb ruchu samochodowego jest 17-krotnie większe niż na rower [2].

U podstaw "sukcesu" roweru jako pojazdu leży jego stosunkowo lekka konstrukcja, która daje najkorzystniejszy ze wszystkich wskaźnik sprawności przewozowej, wyrażony stosunkiem masy ładunku do masy własnej pojazdu (tabela 1).

Wymienione zalety okupione są znacznym niedostatkiem, związanym z jazdą rowerem, a mianowicie minimalny komfort jazdy oraz ograniczony zasięg dojazdu. W naszej strefie klimatycznej warunki pogodowe nie narzucają większych ograniczeń. Istnieją jednak biologiczno-estetyczne oraz psychologiczno-społeczne ograniczenia sięgania po rower jako środek transportu. W pierwszym przypadku przyczyną tego jest nadmierne pocenie się kierującego po zatrzymaniu i wejściu do pomieszczenia (w trakcie jazdy zjawiska pocenia może nie być dzięki subtelnej równowadze cieplnej, w jakiej znajduje się odpowiednio ubrany rowerzysta, chłodzony powietrzem w pozycji wyprostnej). Uniknąć tego można pokonując końcowy odcinek trasy z wykorzystaniem wspomagającego napędu.

Tabela 1

Wskaźnik sprawności przewozowej wybranych rodzajów pojazdów wyrażony stosunkiem ładowności pojazdu do jego masy własnej

Rodzaj pojazdu	Samochody osobowe	Samochody ciężarowe	Autobusy	Tramwaj	Rower
Wskaźnik	0,1 - 0,4	0,25 - 1,4	0,1 - 1,2	0,05 - 1,0	2,0 - 15

Psychologiczno-społeczne ograniczenia korzystania z roweru jako środka transportu, to przede wszystkim złe samopoczucie rowerzysty wynikające z nieprzychylnego odnoszenia się kierowców innych pojazdów, jakoby był on użytkownikiem drogi niższej kategorii oraz aspiracje Polaków do takich symptomów społeczeństwa zamożnego, jak masowa motoryzacja, w której rower spełnia jedynie rolę sportowo-rekreacyjną. Nic więc dziwnego, że zaciążył na rowerze balast środka komunikacji dla ubogich i trudno jest przełamać ten niekorzystny stereotyp. Stąd pełne podziwu oczy całego świata zwrócone są na Amsterdam, w którym na 1000 mieszkańców przypada zaledwie 170 samochodów osobowych, podczas gdy w Warszawie ponad dwa razy więcej.

Ostatnie lata pokazują, że złe mity kruszą się. Potrzebne jest wzajemne wspieranie się. "Lobby rowerowe" to nie tylko użytkownicy, producenci, handlowcy i miłośnicy rowerów, to również politycy (J. Kuroń, J. Onyszkiewicz), profesorowie, lekarze i wszyscy, którzy cenią

zdrowie, sport i turystykę. Nie bez wpływu na nasze zachowania i kierunki zainteresowań jest to, co dzieje się w tym zakresie na Zachodzie.

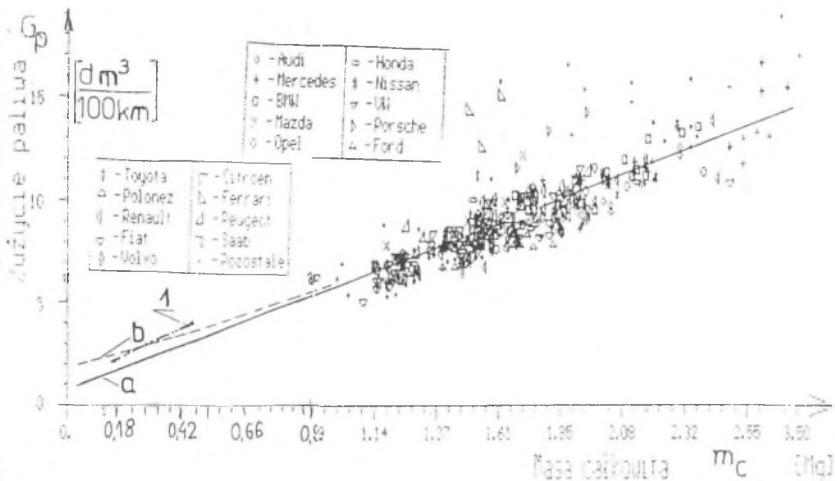
Tak więc dojazd do pracy ma rekreacyjny charakter, o ile odbywa się drogą o stosunkowo niedużym zanieczyszczeniu. Konieczne jest więc znalezienie tras dojazdowych o niedużym ruchu lub dobrym przewietrzaniu przestrzeni nad jezdnią. Im bardziej "czystą" znajdziemy drogę, tym bardziej rekreacyjny charakter będzie miał nasz dojazd do pracy, łączący w tym przypadku przyjemne z pożytecznym. Przy braku takiej drogi dojazdowej pozostaje nam dojazd na rowerze do pracy tylko z wykorzystaniem obcego napędu [3].

2.2. Uzasadnienie energetyczne

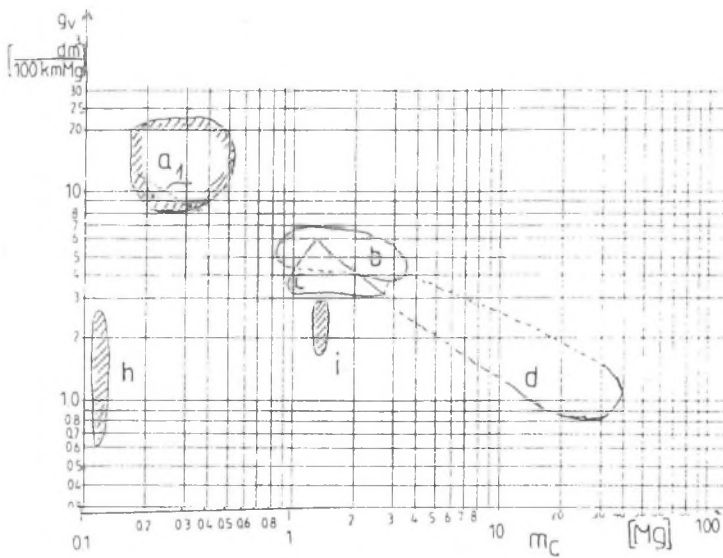
Jednym z najprostszych sposobów zmniejszenia zużycia paliwa przez samochody osobowe jest obniżenie masy własnej samochodów. Jak wiadomo z uściślonych danych literaturowych, każde zwiększenie masy samochodu o 100 kg powoduje wzrost zużycia paliwa o 0,48 $\text{dm}^3/100\text{km}$ w przypadku napędu silnikami ZI oraz 0,27 $\text{dm}^3/100\text{km}$ - silnikami ZS [4]. Na rys. 1 przedstawiono tę zależność dla wszystkich samochodów osobowych napędzanych silnikami ZI z ekstrapolacją jej przebiegu na pojazdy o niższej masie całkowitej (prosta a). Na przykładzie motorowerów i skuterów (linia 1) wiadomo, że taka zależność jest mało prawdopodobna, gdyż ze spadkiem masy całkowitej środków transportu ich sprawność energetyczna spada, a tym samym zużycie paliwa będzie mieć tendencję lekko rosnącą (linia aproksymacyjna b). W przypadku napędu elektrycznego, ze względu na wielokrotną transformację energii sprawność ta spada dodatkowo (sprawność energetyczna całkowita samochodów o napędzie elektrycznym wynosi 12 - 24%) [1].

Tak więc z punktu widzenia sprawności energetycznej pojazdu rower napędzany silnikiem spalinowym stanowi w swojej klasie mało efektywny pojazd, którego sprawność energetyczna wyrażona wskaźnikiem jednostkowego zużycia paliwa przez pojazd g_v zawiera się w przedziale zajmowanym przez motorowery i skutery, tj. 8 - 12 $\text{dm}^3/100\text{km/Mg}$ (co odpowiada wskaźnikowi syntetycznemu $E_{ml} = 250 - 500 \text{ MJ}/100\text{km/Mg}$) - rys. 2 [5].

Jak wskazują wstępne obliczenia, na niższym poziomie obydwa wskaźniki będą się kształtować w przypadku napędu roweru silnikiem elektrycznym. Różnica wynikająca z zastosowania obu rodzajów napędów polega na tym, że w pierwszym przypadku każdy silnik trzeba będzie zaopatrzyć w indywidualny katalizator spalin, zapobiegający nadmiernej emisji toksyn do atmosfery, podczas gdy w drugim zaopatrzyć w niego należy tylko kominy elektrowni, wytwarzającej dla nas energię elektryczną.



Rys.1. Ekstrapolacja zużycia paliwa przez samochody osobowe napędzane silnikiem ZI na pojazdy o znacznie mniejszej masie całkowitej (a i b) oraz zużycie paliwa przez motorowery i skutery (1)
 Fig.1. Extrapolation of fuel consumption by automobiles with ZI driven engine on vehicles of considerably smaller total mass



Rys.2. Sprawność energetyczna współczesnych pojazdów silnikowych wyrażona jednostkowym zużyciem paliwa przez pojazd G_v z zaznaczeniem motorowców i skuterów (1): a- motorowery i skutery, b, c-samochody osobowe z silnikami ZI i ZS, d- samochody ciężarowe
 Fig.2. Watt-hour efficiency of contemporary engine driven vehicles expressed by unitary fuel consumption for G_v vehicle

Nas jednak bardziej interesuje, jakim kosztem zużytej energii przemieszcza się na określonej drodze nie jednostka masy całkowitej pojazdu, lecz ładunek, czyli w tym przypadku pasażer. Okazuje się [6], że transport rowerowy kształtuje się pod względem energochłonności na poziomie pociągu podmiejskiego, a nawet nieco poniżej (tabl. 2), [6].

Inaczej przedstawia się zróżnicowanie energochłonności środków transportu w transporcie pasażerskim RFN. Na rys. 3 scharakteryzowano poszczególne środki transportu tego kraju pod względem zużycia energii pierwotnej w zależności od prędkości jazdy z naniesionym przez autora obszarem zajmowanym przez rowery z silnikowym napędem. Przedstawione na wykresie zakresy prędkości poszczególnych grup pojazdów transportowych Niemiec są bliższe polskim warunkom komunikacyjnym niż dane francuskie.

Z przedstawionych danych wynika jednoznacznie, że transport samochodowy jest najbardziej energochłonnym transportem pasażerskim i dlatego w niektórych krajach w celu zaoszczędzenia energii opracowuje się systemy transportu kombinowanego, i polegającego na przewożeniu pasażerów koleją na dalsze odległości, a lokalnie stosuje się zachęty do stosowania roweru, jak np. w niektórych landach Niemiec i w Holandii.

Tabela 2

Energochłonność poszczególnych rodzajów transportu według danych francuskich

Środki transportu	Prędkość [km/h]	wskaznik [E/pas.km]
Rower	15-20	0,8
Pociąg podmiejski	70	1 ^x
Pociąg ekspresowy	200	1,3
Autobus	80	1,5
Samochód (2 osoby)	90	9,4
Samochód (1 osoba)	90	18,8
Samolot	900	16,0

^x Jest to wartość odniesienia, tj. ilość energii potrzebnej na przewiezienie 1 pasażera/km.

3. WSPÓŁCZESNE ROZWIĄZANIA NAPĘDU WSPOMAGAJĄCEGO ROWERU

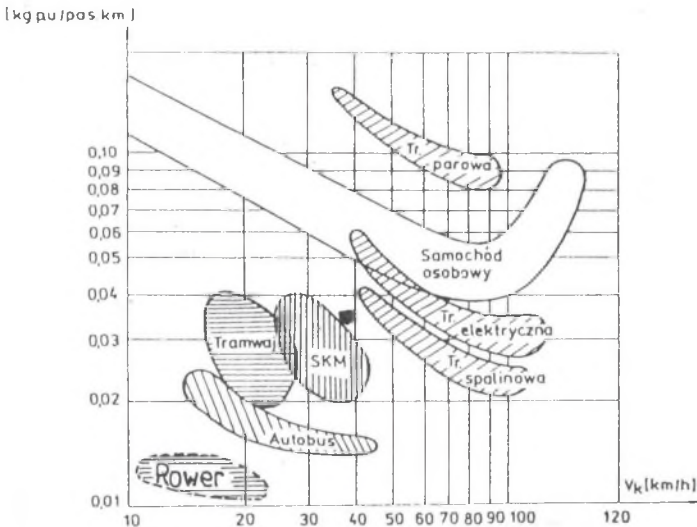
3.1. Zalety i wady roweru z napędem wspomagającym

Poniższe rozważania dotyczą tylko rowerów z napędem wspomagającym, czyli takich które nie tracą w wyniku montażu dodatkowych zespołów napędowych walorów sportowo-rekreacyjnych. Montowane na rowerach zespoły napędowe mogą powodować poważne o-

graniczenia konstrukcyjne, jak np. brak możliwości zastosowania wielobiegowej przekładni w napędzie siłą mięśni, jak w rowerze Apollo z silnikiem spalinowym. Dlatego też przy wyborze rozwiązania napędu wspomagającego należy brać pod uwagę następujące kryteria:

- ceny i kosztów eksploatacyjnych,
- uniwersalności rozwiązania (łatwość montażu w każdym rowerze),
- rodzaju zastosowanego napędu (elektryczny lub spalinowy).

O ile dwa pierwsze kryteria nie nasuwają wątpliwości, to wybór rodzaju napędu jest bardzo ważny z punktu widzenia zamierzonych celów. Po pierwsze istotny jest przebieg tras



Rys. 3. Jednostkowe zużycie energii pierwotnej w transporcie pasażerskim w Niemczech w zależności od jego rodzaju (autor zaznaczył transport rowerowy) [2]

Fig.3. Unitary consumption of primary energy in passenger transport in Germany depending on a meanof transportation (cycling has been distinguished by the writer)

dojazdowych. Jeżeli znaczna ich część przebiega w mieście, to bardziej wskazane jest używać droższego z punktu widzenia kosztów eksploatacji napędu elektrycznego. Natomiast na długich trasach wycieczkowych ze względu na masę własną i pojemność zasobnika energii efektywniejszy jest napęd spalinowy.

Najczęściej zespoły te nie mają możliwości zmiany przełożeń siły napędowej zespołu wspomagającego (brak biegów), zatem ich zakres optymalnego wspomaganiania jest ograniczony do określonego- wybranego przez konstruktora - zakresu prędkości jazdy. Tak więc każda z

konstrukcji rowerów o napędzie hybrydowym jest przystosowana do jazdy na wspomaganie przy niższych prędkościach (10-18 km/h) w terenie górzystym przy trudnych podjazdach lub z większą prędkością (20-30 km/h) w terenie równinnym lub pagórkowatym.

U podstaw koncepcji compound bike'a, czyli roweru z napędem wspomagającym, leży wyrównanie dzięki niemu szans jazdy z określoną prędkością osób o zróżnicowanej sprawności fizycznej, a stopień wykorzystania napędu dodatkowego będzie zależny od woli kierującego. Poza tym można znacznie zwiększyć długość tras jezdnych pokonywanych w krótszym czasie, a w przypadku rowerów z przerzutkami bardziej równomiernie eksploatować go na poszczególnych biegach.

3.2. Zespoły napędowe elektryczne

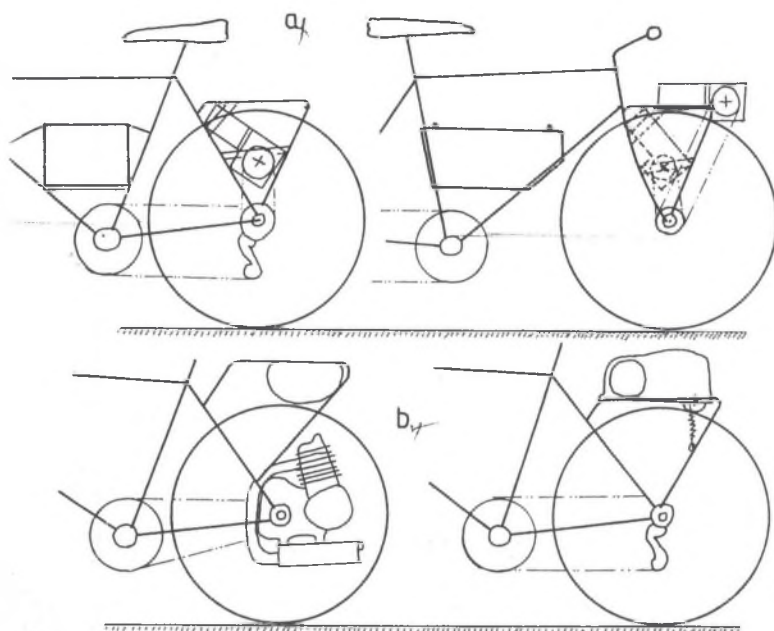
Jak wspomniano na wstępie wiele firm produkuje tzw. **eobiki**, czyli rowery o wspomaganie elektrycznym. Są to najczęściej rowery zespolone poprzez tylną piastę z zespołem napędowym elektrycznym, składającym się z silnika prądu stałego, przekładni planetarnej, ślimakowej lub innej o znacznej zdolności redukcyjnej prędkości obrotowej i sprzęgła jednokierunkowego. Całość jest na lewym kołnierzu piasty szczelnie zabudowana i tworzy z nią jeden zespół. Zasobnikiem energii są specjalnie do roweru przystosowane akumulatory zasadowe, przystosowane do głębokiego rozładowywania i wielokrotnego ładowania. Ich żywotność jest obliczona na kilka sezonów (6-10 tys. km przebiegu). Wykonane są najczęściej w kształcie szuflady wsuwanej pod bagażnik. Sterowanie odbywa się za pomocą manetki sprzężonej z typowymi elektronicznymi układami sterującymi. Masa całkowita takiego zespołu waha się, zależnie od mocy silnika i pojemności akumulatora, w przedziale 12-18 kg, a cena 400 do 800 dolarów amerykańskich.

3.3. Napęd silnikami spalinowymi

W rozwiązaniach z silnikami spalinowymi jest duże podobieństwo budowy do napędów elektrycznych. Stosowane silniki dwusuwowe o pojemności skokowej 20-30 cm³ są poprzez przekładnię redukcyjną i sprzęgło sprzężone z lewym kołnierzem tylnej piasty (rys. 4b lewy).

Masa tych zespołów nie przekracza 6-7 kg. Zużycie paliwa przy jeździe na samym silniku waha się w zależności od rozwiązania i prędkości jazdy w przedziale 1,0-1,5 dm³/1000km benzyny wysokooktanowej zmieszanej z olejem w stosunku 1:50 lub 1:100. Jednym z pierwszych producentów tego rodzaju rowerów bezprzerzutkowych jest firma ZUT z Czechowic-Dziedzic, która w swoich rowerach „Apollo” montuje kompletne zespoły włoskie

MFM. Rozruch silnika odbywa się na postoju za pomocą linki samozwijającej (jak w piłach łańcuchowych lub silnikach łodzi motorowych).



Rys.4. Schematyczne przedstawienie rozwiązań napędu dodatkowego roweru: a-napęd elektryczny, b-silnik spalinowy

Fig.4. Diagrammatic presentation of the design of bicycle's additional drive: a- electric drive, b- fuel drive

W zachodnich rozwiązaniach są w sprzedaży alternatywne rozwiązania rozruchu elektrycznego silnika spalinowego.

Nie pozbawione zalet jest rozwiązanie z napędem od rolki ciernej napędzanej silnikiem. Produkcję takich zespołów uniwersalnych podjęła w Nowej Dębie spółka polsko-francuska Bernard Moteurs Poland, bazując na dwusuwowym silniku krajowej produkcji 029. Wyposażono go w bardziej niezawodny elektroniczny układ zapłonowy i niemiecki gaźnik. Zespół ten można w dowolnym momencie w trakcie jazdy uruchomić lub wyłączyć, a przekładnię redukcyjną zastępuje para "rolka-koło". Sprzęganie i rozłączanie odbywa się za pomocą dźwigni umieszczonej pod siodełkiem roweru. Zabudować zespół można w dowolnym rowerze z kołem od 24 cali wzwyż.

Biorąc pod uwagę cenę poszczególnych rozwiązań i koszty eksploatacji można zauważyć, że rozwiązania z silnikami spalinowymi są znacznie tańsze i tym można tłumaczyć ich pojawienie na naszym rynku. Jak dotąd w kraju nie ma producenta czy importera rozwiązań o napędzie silnikiem elektrycznym.

4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie w rowerze dodatkowego napędu wspomagającego (compound bike) stworzy niewielkim kosztem przed nim nowe możliwości jego wykorzystywania i zastosowania. Z najważniejszych należy wymienić:

1. Napęd wspomagający wyrówna zróżnicowane możliwości fizyczne osób korzystających z roweru jako środka rekreacyjnego (jazda w grupie) i transportowego.

2. Rower z napędem pomocniczym może się stać ważnym składnikiem transportu kombinowanego w dużych aglomeracjach miejskich (kolej-rower) zmniejszając w nim udział energochłonnego transportu samochodami osobowymi.

3. Zachęcająca do wykorzystania compound bike'ów jako środka transportu jest prostota rozwiązań napędu wspomagającego, dowolność doboru udziału energii poszczególnych źródeł napędu i - w przypadku wspomagania elektrycznego - zerowa emisja zanieczyszczeń

Do wad należy zaliczyć niski komfort jazdy czasem w krańcowo trudnych warunkach drogowych.

LITERATURA

1. Szczepaniak C.: Trzy pomysły na pojazd przyszłości - samochód inteligentny. Wykład inauguracyjny na KONMOT'96. Kraków-Szczawnica
2. Billert J.: Rower... to nie wszystko. Rowery nr 7/96
3. Klein w.: Napęd elektryczny roweru. Rowery nr 6/96
4. Ubysz A.: Charakterystyka współczesnych samochodów osobowych i ich silników. Skrypt Pol. Śl. nr 1964, Gliwice 1996

5. Ubysz A.: Ocena współczesnych pojazdów samochodowych pod względem ekonomiczności zużycia paliwa. Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej. IV Seminarium Naukowe, Katowice, 17 maja 1996
6. Merkiż J.: Ekologiczne aspekty stosowania silników spalinowych. Skrypt Pol. Poznańskiej, Poznań 1995
7. Utkin M.: Rower i jego rola we współczesnym świecie. Problemy nr 7/1983

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Jarnuszkiewicz

Wpłynęło do Redakcji 15.02.1997 r.

Abstract

Possibilities of installing additional drive in the bicycle have been presented in this paper. Such drive would make out of a bike a completely new vehicle with hybrid drive.

Several versions of technical design of such a new drive (electric or fuel) have been discussed, as well as advantages and disadvantages of such vehicle together with theoretical justification for developing this kind of solution for the coming 21st century.