

Ewa WASIK, Piotr CZECH, Tomasz FIGLUS, Katarzyna TURON, Robert KALUŻA

ROWER ELEKTRYCZNY JAKO PRZYSZŁOŚĆ EKOTRANSPORTU

Rowery elektryczne stają się w Polsce coraz bardziej popularne. Stanowią one źródło rekreacji i aktywności fizycznej dla osób z chorobami układu krążenia lub układu ruchu. Budowa tych pojazdów nie różni się znacząco od zwykłego roweru, wyróżnia go jedynie silnik wraz z akumulatorem stanowiące pomoc w procesie napędzania. W artykule scharakteryzowano aktualny stan rozwoju rowerów elektrycznych w aspekcie ich stosowania jako przyszłościowe ekologiczne środki transportu.

WSTĘP

Rower może być traktowane jak „urządzenie” służące poprawie zarówno stanu fizycznego, jak i umysłowego człowieka. Ludzie traktują pojazdy jednośladowe jako codzienny środek transportu podczas dojazdów do pracy, czy szkoły, ale także jako źródło relaksu i sposób rekreacji, podczas dłuższych wypraw rowerowych w czasie wolnym. Jednak, co zrobić żeby ułatwić korzystanie z tej formy rekreacji ludziom z ograniczeniami np. fizycznym? Rozwiązaniem w tej kwestii stał się rower ze wspomaganie elektrycznym [37-50].

Pierwszymi udokumentowanymi przodkami współczesnych rowerów były tzw. maszyny do biegania, na których użytkownik odpychał się nogami od ziemi. Pojazdy te pojawiły się już w wieku XVIII w Paryżu, a za ich twórcę uchodzi Francuz de Sivrac. Pojazdy tego typu wykonane były z drewna, składały się z dwóch kół połączonych żerdzią, na której umocowane było siedzenie. Pojazd nie zachwycał funkcjonalnością, aby zmienić kierunek ruchu kierujący musiał zejść z pojazdu i przestawić go pod odpowiednim kątem, wszystko to spowodowane było nieruchomością przedniego widelca. Kolejnym minusem tej maszyny był brak hamulców, co powodowało brak kontroli nad pojazdem podczas zjazdów, kiedy za hamulce służyły jedynie buty użytkownika. Maszyna ta nie zyskała wielu zwolenników, przypuszczać można, że spowodowane to było zarówno brakiem funkcjonalności, jak również brakiem komfortowych warunków jazdy. Mimo braku zainteresowania tego typu maszynami, odegrały one dużą rolę w historii rozwoju rowerów.



Rys. 1. Maszyna do biegania de Sivraca [39]

W 1816 roku Niemiec Karl von Drais de Sauerbrun ulepszył maszynę wyposażając ją w ruchomy przedni widelec połączony z kierownicą, co umożliwiło skręcanie pojazdu. W 1839 roku Szkot Kirkpatrick MacMillan opracował nowy pojazd wykorzystujący do poruszania się naprzemienne ruchy nogami do przodu i do tyłu.

Dalsze prace nad unowocześnianiem jednośladowców trwały we Francji, kiedy to w 1860 roku Pierre Michaux wzbogacił oddaną mu do naprawy drezynę w pedały, które umocował do przedniego koła. Równocześnie był on pierwszym producentem rowerów. Pojazd Michaux, został nazwany welocypedem. Następcą welocypedu były bicykl, który był pojazdem wyposażonym w ogromne przednie koło i tylne niewielkich rozmiarów. Za twórcę roweru z obecnie stosowanym sposobem przekazywania napędu – za pomocą łańcucha połączonego z tylnym kołem, można przyjąć Anglika Harrego Johna Lawsona (1879 rok). Natomiast dopiero John Starley dokonał zmian konstrukcyjnych roweru, w tym zastosowaniem kół o tej samej wielkości, rozpoczynając w 1885 roku seryjną produkcję pojazdu o nazwie „Rover” (rys. 2).



Rys. 2. Rover Johna Starley'a [39]

Następnym krokiem w celu poprawy jakości podróży jednośladowcami było pneumatyczne ogumienie, które opatentował John Dunlop w 1890 roku.

W 1902 roku James Archer i Henry Sturmej stworzyli przekładnię, umożliwiającą zmianę biegów podczas jazdy.

Duże zainteresowanie jednośladowcami zaczęło pojawiać się na przełomie XX i XXI wieku. Spowodowane było to przede wszystkim wzrostem świadomości ludności na temat ochrony środowiska i ekologii, zainteresowaniem zdrowym trybem życia, a także stale rosnącym zakorkowaniem ulic w miastach.

W ostatnich latach obserwuje się wciąż rosnące zainteresowanie turystyką rowerową. Wiele gmin inwestuje w tworzenie nowej lub modernizację istniejącej infrastruktury. Zaczęto brać również pod uwagę potrzeby pojazdów wymagających zasilania energią elektryczną [1,3,4,14-16,19,20,32,34].

Niezwykle istotną kwestią są aspekty bezpieczeństwa drogowego [2,5,9,10,13,22-26,29,30]. Należy przy tym pamiętać, że jest ono zależne od wielu czynników, w tym od kierującego, stanu tech-

nicznego pojazdów oraz infrastruktury. Warto zauważyć, że w tych kwestiach na całym świecie prowadzone są liczne badania zmierzające do poprawy istniejącego stanu. Do takich badań niewątpliwie należą badania mające na celu zwiększenie niezawodności elementów pojazdów oraz ich właściwa diagnostyka [6-8,11,12,17,18,21,27,31,33,35,36].

1. CHARAKTERYSTYKA ROWERU ELEKTRYCZNEGO

Rower elektryczny jest to pojazd jednośladowy zbliżony budową do zwykłego roweru, który jest napędzany siłą ludzkich mięśni jednak dodatkowym źródłem energii jest silnik elektryczny.

Rower elektryczne są bardziej ekonomiczne niż pojazdy wyposażone w silniki spalinowe. Utrzymanie roweru elektrycznego jest tańsze, niż eksploatacja samochodu. Przejechanie 100 km samochodem kosztuje nawet do około 50 zł, natomiast przebycie takiego samego dystansu rowerem elektrycznym może kosztować około 1 zł. Przy stałych wzrostach kosztów paliw podróż rowerem elektrycznym wydaje się idealnym zastępstwem dla pojazdów silnikowych. Rower elektryczny nie wymaga rejestracji ani ubezpieczenia komunikacyjnego, co zmniejsza koszt utrzymania pojazdu.

Rysunek 3 pokazuje porównanie kosztów przejechania 100 km różnymi środkami transportu.



Rys. 3. Porównanie kosztów przejechania 100 km różnymi środkami transportu [40]

Rower elektryczne oprócz niższych kosztów utrzymania posiadają wiele innych korzyści. Pojazd elektryczny nie generuje spalin, które powstają w wyniku użytkowania pojazdów z silnikami spalinowymi, dzięki temu dba się o środowisko naturalne. E-bike wspomagają poprawę kondycji i samopoczucie poprzez dostarczenie codziennej dawki ruchu na świeżym powietrzu, jednocześnie ograniczając wysiłek fizyczny, dzięki czemu nawet w największe upały można skorzystać z tego środka transportu w drodze do pracy, czy szkoły. Kolejną zaletą rowerów elektrycznych jest możliwość wspomagania rehabilitacji przy urazach ortopedycznych, czy schorzeniach kardiologicznych. Korzystanie z rowerów elektrycznych to także wygoda, dzięki możliwości łatwej wymiany baterii oraz łatwości jej naładowania. Można to zrobić w każdym miejscu z dostępem do sieci elektrycznej, nie wymaga to specjalistycznego sprzętu.

Na rynku rowerów elektrycznych można znaleźć wiele typów pojazdów, które należy wybierać w zależności od sposobu użytkowania. Wyróżnić można:

- rowery miejskie (do codziennych dojazdów do pracy, czy na wycieczki weekendowe);

- rowery trekkingowe (do pokonywania długich tras, zwykle kilkuniedniowych);
- składaki (na krótkie wycieczki, można je zapakować do każdego bagażnika);
- rowery górskie (do jazdy w terenie).

Zasada działania roweru elektrycznego jest ściśle powiązana z jego budową, jednak nie odbiega znacząco od działania rowerów tradycyjnych. Różnice wynikają z obecności silników elektrycznych.

Uruchomienie silnika, który jest w przypadku roweru elektrycznego jedynie uzupełniającym systemem napędowym następuje równocześnie z naciśnięciem pedałów i uruchomieniem tradycyjnego napędu. Aby jednak w ogóle mogło nastąpić włączenie silnika, akumulator musi być podłączony i w wystarczającym stopniu naładowany.

Moc przekazywana z silnika wspomaga tradycyjny napęd dzięki programom wprowadzonym do pamięci kontrolera, który z kolei reguluje parametry pracy silnika. Programy wprowadzone do pamięci urządzenia mogą zostać zmienione przez użytkownika, natomiast zakres możliwych modyfikacji ogranicza z jednej strony konstrukcja roweru, a z drugiej przepisy. Użytkownik może wprowadzić do pamięci kontrolera inny program lub zmienić już wprowadzony, co powoduje wyłączenie silnika przy innej prędkości. Maksymalna prędkość, jaką może osiągnąć rower elektryczny przy włączonym silniku elektrycznym uzależniona jest od parametrów silnika oraz akumulatora, a także ustawień programu z kontrolera. Rower elektryczne wyposażone w akumulatory o dużym napięciu są w stanie rozwinąć prędkość rzędu 45 km/h, jednak cały czas należy pamiętać o ograniczeniach formalnych.

Samoczynne wyłączenie hamulca nastąpi w chwili ustąpienia nacisku na pedały – jeśli nie pracuje podstawowy system napędowy, nie uruchamia się także system wspomagający. Inną możliwością jest wyłączenie silnika z poziomu kontrolera. Dzięki nastawom programowym użytkownik może silnik wyłączyć za pomocą uruchomienia odpowiedniego programu (spowoduje to pozostawienie włączonego komputera, ale silnik nie będzie pracował).

Użytkownik roweru może za pośrednictwem kontrolera wybrać program wspomagania napędu przez silnik elektryczny. Ilość wprowadzonych do pamięci urządzenia programów jest różna i zazwyczaj oscyluje wokół pięciu. Każdy z programów charakteryzuje się przede wszystkim odmienną mocą, jaką silnik będzie przekazywał na układ napędowy roweru, aczkolwiek zmiany mogą dotyczyć także prędkości wyłączenia jednostki.

Dzięki zastosowaniu elektrycznego silnika zmniejsza się opór, jaki musi pokonać rowerzysta naciskający na pedały. Wspomagający system napędowy ułatwia obrót korbą, jednak nie służy do rozwijania prędkości znacząco większych, niż rowerzysta mógłby osiągnąć na typowym rowerze pozbawionym silnika.

2. BUDOWA ROWERU ELEKTRYCZNEGO

Rower elektryczny jest to pojazd jednośladowy zbliżony budową do zwykłego roweru, który jest napędzany siłą ludzkich mięśni jednak dodatkowym źródłem energii jest silnik elektryczny.

Interpretując zapis dotyczący roweru elektrycznego zawarty w ustawie Prawo o ruchu drogowym, która definiuje rower jako:

„pojazd o szerokości nieprzekraczającej 0,9 m poruszany siłą mięśni osoby jadącej tym pojazdem; rower może być wyposażony w uruchamiany naciskiem na pedały pomocniczy napęd elektryczny zasilany prądem o napięciu nie wyższym niż 48 V o znamionowej mocy ciągłej nie większej niż 250 W, którego moc wyjściowa zmniejsza się stopniowo i spada do zera po przekroczeniu prędkości 25 km/h”,

można wywnioskować, że za rowery elektryczne uważane będą te pojazdy, które spełniają jednocześnie warunki:

- napęd elektryczny musi być uruchamiany poprzez nacisk siły ludzkich mięśni na pedały roweru,
- znamionowa moc ciągła silnika może wynosić maksymalnie 250 W,
- napięcie zasilania pojazdu nie może być wyższe niż 48 V,
- moc wyjściowo ma zmniejszać się stopniowo do 0 przy prędkości 25 km/h.

Wymienione parametry starają się spełniać producenci jednośladow elektrycznych poprzez dobór odpowiedniego osprzętu rowerowego tj.: pakietu akumulatorowego z ładowarką, silnika, kontrolera sterującego silnikiem oraz różnego typu elektroniki niezbędnej do funkcjonowania roweru wspomaganego elektrycznie.

Obecnie najbardziej popularne w napędach rowerów elektrycznych są akumulatory kwasowo-olowiowe lub litowo-jonowe (Lilon). Konstrukcja tych pierwszych składa się z elektrody ołowiowej, elektrody z tlenku ołowiowego i elektrolitu, który stanowi wodny roztwór kwasu siarkowego IV. Spowodowany ryzykiem wycieku elektrolitu rozwój technologii zaowocował wzbogaceniem roztworu kwasu siarkowego IV o środki żelujące np. w postaci żywic silikonowych, które zmniejszają możliwość wycieku i parowania wody, w ten sposób powstały akumulatory zwyczajnie akumulatory kwasowo-olowiowe stały się akumulatorami żelowymi.

Przykładowy akumulator pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Akumulator CSB EVX 12120 (12 V 12 Ah) [41]

Przeoglądając oferty producentów akumulatorów rowerowych można zauważyć, że baterie kwasowo-olowiowe są znacznie tańsze niż Lilon. Jednak pomimo niższych kosztów zakupu cechuje je również wiele niekorzystnych własności. Są one wrażliwe na niskie temperatury, powinno się ograniczyć ich używanie w temperaturach poniżej 0°C, gdyż powoduje to spadek pojemności. Podwyższona temperatura również niekorzystnie wpływa na cechy użytkowe akumulatora, znamionowa temperatura pracy akumulatora żelowego wynosi 20°C, przechowywanie i użytkowanie w wyższej temperaturze powoduje skrócenie cyklu życia produktu. Z tego względu ważne jest również zachowanie około półtora centymetrowego odstępu wokół akumulatora, umożliwienie swobodnej wentylacji, a także przechowywanie go z dala od źródeł ciepła. Stan akumulatora przechowywanego przez dłuższy czas należy sprawdzać raz w miesiącu i doładowywać go raz na trzy miesiące, aby zapewnić dłuższy cykl życia produktu. Należy go przechowywać w stanie naładowanym, w suchym i chłodnym miejscu.

Drugi typ akumulatorów stosowany w jednośladowach elektrycznych to akumulatory litowo-jonowe. Są to najbardziej znane akumulatory stosowane w dzisiejszej elektronice, towarzyszą nam w życiu codziennym w laptopach i telefonach komórkowych. Ogniwo składa się z dwóch elektrod (elektroda ujemna to węgiel porowaty

a dodatnia to LiCoO₂) i separatora (sole litowe rozpuszczone w rozpuszczalnikach organicznych) znajdującego się między nimi, dla zwiększenia powierzchni w formie nawiniętych razem cienkich folii. Skład chemiczny elektrod i elektrolitu zależy od producenta i typu baterii.

Przykładowy akumulator pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Akumulator Li-Ion 48 V 12 Ah Headway HW4812R [41]

Swoją popularność w rowerach elektrycznych zawdzięczają zdecydowanie mniejszym rozmiarom i wadze niż akumulatory kwasowo-olowiowe omawiane wcześniej, przy jednoczesnej możliwości poboru większej ilości prądu. Wadą tych akumulatorów jest wyższa cena, porównując ofertę na rynku cena akumulatora litowo-jonowego jest około 7 razy wyższa niż cena akumulatora kwasowo-olowiowego. Negatywną właściwość tego typu baterii to konieczność elektronicznego nadzoru pracy pakietu.

Ważnym czynnikiem wpływającym na długość cyklu życia akumulatora pojazdu elektrycznego jest jego ładowarka. Urządzenie powinno być zawsze dopasowane do konkretnego typu stosowanych akumulatorów. Szczególnie polecane przez producentów pakietów akumulatorowych są tzw. inteligentne ładowarki impulsowe, które dostosowują parametry ładowania do stanu pakietu. Od mocy urządzenia ładującego zależy czas trwania procesu ładowania, jednak nie zaleca się używania ładowarek o większej mocy niż zalecana do danego modelu akumulatora, nawet jeżeli skracaloby to czas trwania procesu, gdyż może to spowodować trwałe uszkodzenie akumulatorów. Aby ułatwić użytkownikowi ładowanie baterii urządzenia wyposażone są w diody sygnalizujące stopień naładowania akumulatorów, zwykle zielona dioda sygnalizuje w pełni naładowany akumulator, wówczas należy odłączyć ładowarkę od źródła zasilania. Decydując się na kupno roweru elektrycznego należy pamiętać, że baterie kwasowo-olowiowe powinny być ładowane natychmiast po rozładowaniu, a litowo-jonowe jeżeli są długo nieużywane powinny pozostawać stale naładowane do poziomu 80%. Pozostawienie ich rozładowanych na kilka dni może spowodować zniszczenie akumulatorów.

Przykładowe ładowarki pokazano na rysunkach 6 i 7.

Aby można było mówić o rowerze z napędem elektrycznym potrzebny jest element zwany silnikiem. Najprostszym rozwiązaniem przeniesienia napędu w rowerze jest zamontowanie silnika elektrycznego w piaście koła przedniego, rzadziej tylnego. W tańszych rozwiązaniach stosuje się silniki komutatorowe prądu stałego i strukturze tarczowej (typu „pancake”), w droższych i bardziej nowoczesnych silniki bezszczotkowe prądu stałego (BLDC).



Rys. 6. Ładowarka baterii Li-Ion 24 V [41]



Rys. 7. Ładowarka automatyczna EST – 513 36 V 2,5 A [41]

Zasada działania silnika typu „pancake” polega na wzbudzeniu go za pomocą magnesów osadzonych na obwodzie stojana. Zaletą tego typu napędu jest proste i tanie zasilanie dzięki niezawodnym przerywaczom. Silnik połączony jest z przekładnią mechaniczną w szczelnej obudowie, przymocowanej i osadzonej w kole roweru za pomocą szprych. Dużą wadą silników typu „pancake” jest niska moc silnika, co obrazuje tabela 1, a także problemy eksploatacyjne związane z zastosowaniem szczotek i komutatora.

Tab. 1. Parametry silników serii PM firmy Golden Motor [1]

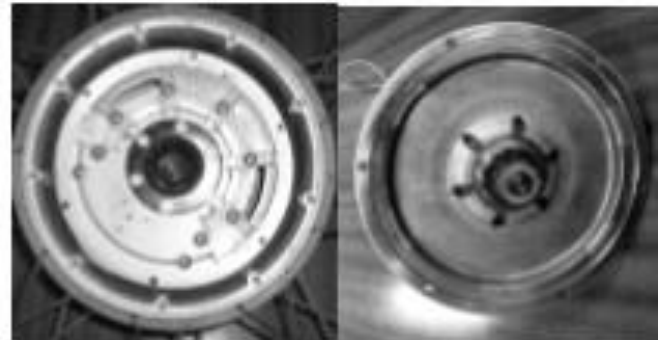
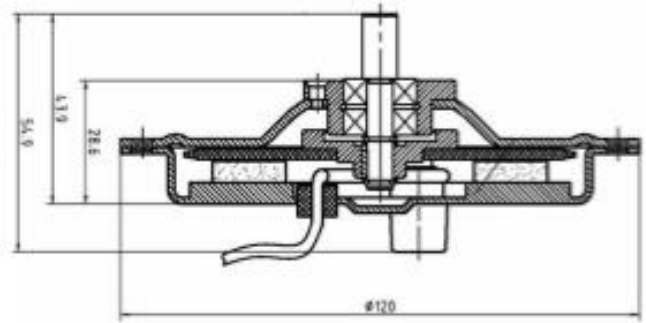
Model	PM-12	PM-24	PM-36	PM-48
Napięcie, V	12	24	36	48
Moc, W	75	180	300	500
Prąd, A	10,2	10,8	11,2	15,4
Prędkość obrotowa, obr/min	1600	3300	3000	4600
Waga, kg	0,7	1,5	1,8	2,0
Sprawność, %	68	76	80	82

Silniki typu „pancake” wykorzystywane są w elektrycznych pojazdach jednośladowych ze względu na swoją niską cenę oraz stosunkowo małą wagę. Produkowane są w czterech odmianach, które zależą od napięcia zasilania, które może wynosić 12, 24, 36 lub 48 V. Wraz ze wzrostem napięcia rośnie również moc i prędkość obrotowa oraz sprawność, jednak minusem jest jednocześnie wzrost wagi silnika.

Budowę silnika typu „pancake” zobrazowano na rysunku 8.

W nowszych rozwiązaniach napędów rowerów elektrycznych stosowane są silniki bezszczotkowe prądu stałego, co pozwala na wyeliminowanie części problemów eksploatacyjnych związanych z zastosowaniem w silniku szczotek. Silniki BLDC przymocowane są do osi mocującej koło do ramy roweru poprzez stojan osadzony na nieruchomym wale. Wirmik (wykonany jest z odpowiedniego materiału magnetycznego np. ferrytu o parzystej liczbie na przemian porozmieszczanych biegunów magnetycznych N i S) na zewnątrz którego przymocowane są magnesy trwałe (neodymowe) umiesz-

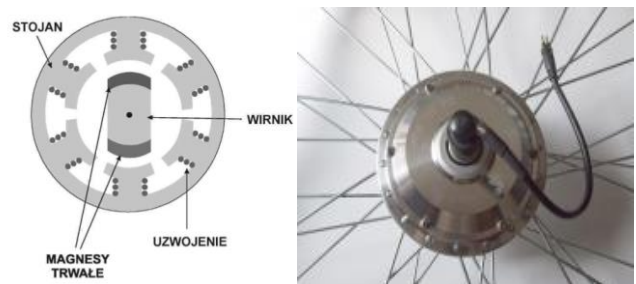
czony jest na dwóch łożyskach, szczelnie zamkniętych w metalowej obudowie.



Rys. 8. Budowa silnika typu „pancake” PM-36, przekładnia zintegrowana z obudową i połączona z kołem [1]

Zasada działania bezszczotkowego silnika prądu stałego jest prostsza niż silnika komutatorowego i polega na wzajemnym oddziaływaniu pomiędzy biegunami stojana, a magnesami trwałymi umieszczonymi na wirniku. Główną zaletą silników bezszczotkowych jest dużo wyższa trwałość i niezawodność wynikająca z wyeliminowania z konstrukcji szczotek, będących najczęstszą przyczyną awarii oraz najszybciej zużywającym się elementem mechanicznym silnika. Eliminacja szczotek dodatkowo zapewnia cichszą pracę silnika oraz wyższą sprawność energetyczną, a także zapewnia rzadszą konieczność prac konserwacyjnych niż silniki szczotkowe. Główną wadą silników bezszczotkowych stanowi wyższy koszt zastosowania. Jest on wynikiem konieczności zastosowania specjalnych sterowników elektronicznych.

Budowę silnika BLDC pokazano na rysunku 9.



Rys. 9. Budowa silnika BLDC (przekrój poprzeczny), silnik zamontowany do koła roweru [1,41]

Kolejnym elementem wchodzącym w skład wyposażenia roweru elektrycznego są sterowniki i manipulatory silników. Są to urządzenia energoelektryczne umożliwiające wszystkie czynności silnika elektrycznego takie jak: hamowanie, uruchamianie i zatrzymanie. Kontroler umożliwia przesyłanie energii z baterii do silnika i tym samym steruje jego pracą. Jest swoistym centrum dowodzenia, w którym skupione są wszystkie kable potrzebne do sprawnego funk-

cjonowania napędu elektrycznego jednośladu. To właśnie ten element budowy roweru elektrycznego steruje wspomaganie jazdy. Czujnik, który rejestruje obroty korby, dostosowując się do pracy mięśni rowerzysty automatycznie, dzięki pomocy kontrolera, przesyła informacje do silnika, aby uruchomić funkcje wspomaganie jazdy. Gdy wspomaganie nie jest potrzebne wystarczy przestać pedałowac lub nacisnąć lekko dźwignie hamulca, przez co automatycznie wyłączy się praca silnika elektrycznego.

Warto przy omawianiu tego elementu wspomnieć o urządzeniach jakie można podpiąć do kontrolera. W oparciu o przykładowy model kontrolera przedstawionego na rysunkach 10-12 (KU62-36V 250W Ecitypower) do wyposażenia roweru elektrycznego zaliczyć można oczywiście akumulatory oraz silnik, które zostały już omówione, ale także wiele innych elementów takich jak: ogranicznik prędkości, hamulec, tempomat, manetka oraz czujnik PAS (Pedal Assist Sensor).

Połączenie kontrolera z hamulcem umożliwia rozłączenie pracy silnika w momencie naciśnięcia klamki hamulcowej, ogranicza to niekontrolowaną pracę silnika w przypadku ruszania, nagłego zatrzymania czy jazdy przy włączonym tempomacie. Tempomat pozwala ustalić stały poziom wspomaganie silnika, dzięki czemu zwalnia użytkownika z konieczności ciągłego przytrzymywania manetki przyspiesznika. Połączenie kontrolera z manetką umożliwia wysterowanie prędkości pojazdu elektrycznego, jednak jej puszczenie powoduje powrót do punktu zerowego, czyli takiego w którym silnik elektryczny nie pracuje. Czujniki PAS (Pedal Assist Sensor) pozwalają na uruchomienie wspomaganie silnikiem w momencie wykonania ruchu pedałami. Zwykle jest on zaprogramowany na osiągnięcie maksymalnej prędkości dozwolonej na drogach publicznych czyli 25 km/h, po osiągnięciu tej prędkości czujnik rozłącza pracę silnika.

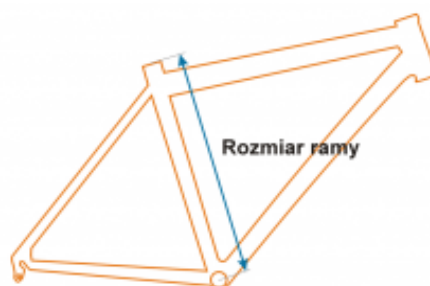


Rys. 12. Kontroler – sterownik model KU62-36V 250W Ecitypower z oznaczonymi połączeniami [41]

Rower elektryczny to urządzenie nieskomplikowane. Dodatkowo możliwości, jakie daje nam dzisiejszy rynek pojazdów elektrycznych (zakup gotowego roweru elektrycznego lub konwersja własnego tradycyjnego roweru na rower ze wspomaganie) zachęcają do korzystania z tego typu udogodnień. Należy jednak przy zakupie pamiętać, w jakim celu pojazd ma być wykorzystywany. Jeśli planuje się poruszanie po drogach publicznych polskie prawo ogranicza maksymalną prędkość jazdy do 25 km/h, reguluje także maksymalną moc silnika do poziomu 250 W oraz dopuszczalne napięcie do 48 V [28]. Należy również pamiętać o wyposażeniu jednośladu w asystenta pedałowania – PAS.

3. PODSTAWOWE PARAMETRY ROWERÓW ELEKTRYCZNYCH

Podstawowym parametrem przy wyborze roweru zarówno tradycyjnego, jak i wyposażonego w elektryczne wspomaganie napędu jest wielkość ramy pojazdu. Wielkość ramy ustalany jest poprzez pomiar odcinka łączącego koniec rury podsiodłowej ze środkiem osi suportu. Zazwyczaj wielkość ta opisana jest w calach lub centymetrach, rzadziej spotykane jest oznaczenie literowe od XS do XL. Wybór wielkości ramy (rys. 13) powinien zależeć od typu roweru i wzrostu rowerzysty.



Rys. 13. Rozmiar ramy roweru [39]

Rama roweru górskiego jest mniejsza niż rama roweru szosowego, zazwyczaj charakteryzuje się także slopingiem, czyli lekkim obniżeniem górnej rury ramy przy siodełku. Dobór ramy w kolarstwie szosowym ma wpływ na osiągane wyniki stąd też przykłada się większą wagę do rozmiaru tego elementu. Zwykle rozmiar ramy roweru górskiego podają się w calach (26-29), a rowerów szosowych w centymetrach (47-67). Zupełnie inaczej wygląda rama roweru miejskiego, która zazwyczaj pozbawiona jest



Rys. 10. Kontroler – sterownik model KU62-36V 250W Ecitypower [41]

```
EcityPower DC Brushless Controller
Model: KU62-36V      Voltage: 36V
Brake: Low Voltage Level
Phase: 120  Throttle voltage: 1-4V
```

```
Battery: + red, - black, key: orange, red
Throttle: + orange, - black, signal: blue
Motor: yellow, blue, green
Sensor: red, black, blue, green, yellow
PAS: + red, - black, signal: blue
Brake: black, yellow
Speed limit: white, white www.ecitypower.com
```

Rys. 11. Oznaczenia na kontrolerze KU62-36V 250W Ecitypower [41]

górną rury lub jest ona poprowadzona bardzo nisko, co zapewnia komfort jazdy. Szczególną uwagę przy wyborze ramy roweru powinny zwracać kobiety, których ciało jest zbudowane nieco inaczej niż ciało mężczyzny, mają one dłuższe nogi i krótszy tułów, więc rama jednoślada powinna mieć krótszą górną rurę ramy i obniżony środek suportu. Tak skonstruowane rowery zapewniają panią większy komfort jazdy, dlatego też na rynku pojazdów jednośladowych można znaleźć rowery popularnie nazywane „damkami”.

Istnieją tabele pokazujące zależność między rozmiarami literowymi, w calach i w centymetrach, w praktyce jednak warto przymierzyć rower, dlatego że każdy producent pojazdów może wytwarzać ramy o nieco innej geometrii. Należy zapamiętać kilka prostych zasad, które ułatwią nam dobór wielkości roweru do naszego wzrostu. Stojąc bezpośrednio nad ramą blisko siodełka, odległość pomiędzy górną rurą a naszym krokiem nie powinna być mniejsza niż 10cm (do jazdy rekreacyjnej) lub 15cm (do jazdy sportowej), po zajęciu pozycji na siodełku i oparciu pięty o pedały nogi powinny być prawie wyprostowane bez maksymalnie podniesionego siodełka, niedopuszczalne jest natomiast, aby nie dosięgać pacami stóp do ziemi siedząc na siodełku.

Rozmiary ram rowerów górskich zostały zestawione w tabeli 2, natomiast rowerów miejskich i trekkingowych w tabeli 3.

Tab. 2. Rozmiar ramy rowerów górskich [39]

Rozmiar	Wielkość ramy, cale	Wielkość ramy, cm	Wzrost, cm
XS	14	36	152-157
S/M	15	38	157-162
S	16	41	162-167
S/M	17	43	167-174
M	18	45	174-179
M/L	19	48	179-185
L	20	51	185-190
L/XL	21	53	191-195
XL	22	55	

Tab. 3. Rozmiar ramy rowerów miejskich i trekkingowych [39]

Rozmiar	Wielkość ramy, cale	Wielkość ramy, cm	Wzrost, cm
S	17	42-43	152-162
S/M	18	46	162-167
M	19	48	167-172
M/L	20	51	172-175
L	21	53	175-177
L/XL	22	55	177-181
XL	23	58	181-187

Innym sposobem doboru wielkości ramy jest metoda oparta na długości nogi. Należy zmierzyć nogę od kroku do podłoża i otrzymaną wartość przemnożamy przez współczynnik odpowiedni dla typu roweru (tab. 4).

Tab. 4. Rozmiar ramy w zależności od długości nogi [39]

Wysokość kroku (długość nogi), cm	Rama klasyczna	Rama sloopingowa	MTB	Trekkingowy
	Przelicznik: 0,67	Przelicznik: 0,58	Przelicznik: 0,57	Przelicznik: 0,63
70	47	41	40	44
72-74	48-49,5	42-43	41-42	45-46,5
76-78	51-52	44-45	43-44,5	48-49
80-84	53,5-56	46,5-49	45,5-48	50,5-53
86-88	57,5-59	50-51	49-50	54-55,5
90-92	60-62	52-53,5	51-52,5	56,5-58
94-96	63-64,5	54,5-56,5	53,5-55	59-60,5
98-100	65,5-67	57-58	56-57	61,5-63

Kolejnym parametrem, który należy wziąć pod uwagę kupując rower jest rozmiar kół. Do niedawna wybór rozmiaru tego elementu był stosunkowo prosty. Do typu roweru był dopasowany odpowiedni rozmiar koła i tak do rowerów trekkingowych i szosowych dedykowane były koła 28 cali, a dla rowerów górskich 26 cali. Dziś natomiast wśród tych standardowych rozmiarów producenci polecają nam również koła 27,5 i 29 cali. Wybierając rowery szosowe zwykle mamy tylko jeden rozmiar kół (28"). Przystosowane są one do osiągania wyższych prędkości i pokonywania niezbyt dużych przeszkód poziomych. Rowery miejskie zwykle wyposażone są w koła wielkości 26 lub 28". Wybór kół w takim typie pojazdu nie ma większego znaczenia, jedyną przewagą większych kół jest łatwość pokonywania poprzecznych przeszkód na trasie takich jak krawężniki, lub nieznaczna przewaga przy podjazdach. Największy wybór kół mamy w rowerach górskich (26, 27,5 i 29"). Duże koła mają wiele zalet poczynając od szybkości zarówno na podjazdach jak i zjazdach przez pokonywanie przeszkód takich jak dziury kończąc na większej pewności prowadzenia i większej przyczepności niż koła rozmiaru 26". Jednak nie są one ani zwrotne ani dynamiczne i nie można ich wykorzystywać w trudniejszych warunkach terenowych. Zdecydowanie nie nadają się do pojazdów użytkowanych przez osoby będące wzrostu poniżej 160 centymetrów. Złotym środkiem więc wydaje się koło rozmiaru 27,5". Łączy ono w sobie cechy obu poprzednio omówionych rozmiarów. Cechuje je zwinność i sterowność typowa dla kół mniejszych rozmiarów w połączeniu z lepszymi parametrami toczenia, trójki i komfortu charakterystycznymi dla kół większych. Wybierając rozmiar kół jednoślada należy przede wszystkim skupić się na celu zakupu. Jeżeli ma być to rower miejski, służący nam do dojazdów do szkoły, pracy czy na zakupy rozmiar koła nie ma znaczenia, warto przejechać się przy zakupie na rowerze o kołach 26" i 28" i sprawdzić, na którym pojeździe jest wygodniej. Kobiętom zwykle poleca się rower o kołach 26" podobnie jak mężczyznom średniego wzrostu, dla których rower ma być środkiem do rekreacyjnych przejażdżek za miasto. Przy każdym zakupie roweru, niezależnie od przeznaczenia pojazdu warto jednoślad wypróbować podczas jazdy testowej w sklepie rowerowym, aby upewnić się że jazda na wybranym modelu jest komfortowa i będzie źródłem satysfakcji i przyjemności.

Dodatковым parametrem, na który powinniśmy zwrócić uwagę przy wyborze roweru elektrycznego jest moc silnika. Najprościej ujmując jest to ilość energii, którą można uzyskać w jednostce czasu. Opierając się na przepisach zawartych w ustawie Prawo o Ruchu Drogowym, znamionowa moc silnika rowerowego nie może być wyższa niż 250 W, należy tu wyjaśnić że jest to znamionowa moc ciągła silnika. W praktyce silnik taki podczas ruszania daje trochę więcej mocy, a do utrzymania prędkości ok. 25 km/h na płaskim terenie pobiera tylko 170-190 W. Moc silnika elektrycznego oznacza jego „siłę”, czyli tempo przyspieszania roweru, a nie jego maksymalną prędkość.

Ważnym wyróżnikiem, na który należy zwrócić uwagę przy wyborze pojazdu ze wspomaganie elektrycznym jest napięcie elektryczne akumulatorów. Na rynku rowerów elektrycznych znaleźć można baterie o napięciu 12, 24, 36 lub 48 V. Należy zwrócić uwagę na pojemność akumulatorów, bo od tego zależy największy możliwy do przejechania dystans. Pojemność baterii mierzona jest w amperogodzinach [Ah]. Bateria o pojemności 1Ah jest w stanie dostarczać prądu o natężeniu 1A przez godzinę, prądu o natężeniu 0,5A przez dwie godziny, itp. Analizując rynek jednośladowych pojazdów elektrycznych aktualnie najczęściej stosowane są baterie o pojemności 8-12 Ah, przy napięciu 24 V.

Od wyboru akumulatorów rowerowych zależy dystans jaki można pokonać na jednorazowo naładowanej baterii. Producenci zwykle podają zasięg około 50 km., jednak rzeczywisty zasięg

zależy zwykle od wielu czynników: mocy baterii (pojemności i napięcia pracy), stanu technicznego baterii, trybu pracy silnika a także warunków klimatycznych (wiatr) czy ukształtowania terenu.

Parametrem, na który należy zwrócić uwagę jest trwałość baterii, którą producenci zazwyczaj określają na około 500 cykli ładowania. Zależy to przede wszystkim od technologii ogniw zastosowanych w bateriach, czasu użytkowania i sposobu ładowania oraz oczywiście warunków przechowywania. Dzięki kalkulatorowi pojemności akumulatora dostępnemu przykładowo na stronie internetowej <http://www.electricbikesimulator.com> można oszacować minimalne parametry napędu dla uzyskania zakładanej prędkości i zasięgu roweru elektrycznego. Przykładowe parametry przedstawiono na rysunkach 14 i 15.

Prędkość:	25	km/h
Zasięg na jednym ładowaniu baterii:	25	km
Waga całkowita pojazdu:	80	kg - więcej informacji
Napięcie nominalne napędu:	24	V

Inne parametry jazdy są ustawione dla typowego roweru elektrycznego, czyli:
 Współczynnik oporu toczenia: 0.013; Współczynnik aerodynamiki: 0.9; Powierzchnia czołowa: 0.46m²

SUGEROWANE MINIMALNE PARAMETRY NAPĘDU:

Moc silnika:	199	W
Energia zgromadzona w baterii:	199	Wh
Pojemność baterii:	8.3	Ah - więcej informacji

Rys. 14. Parametry napędu dla roweru Ecotrump przy minimalnym zasięgu 25 km i wadze pojazdu 80 kg [40]

Prędkość:	25	km/h
Zasięg na jednym ładowaniu baterii:	50	km
Waga całkowita pojazdu:	80	kg - więcej informacji
Napięcie nominalne napędu:	36	V

Inne parametry jazdy są ustawione dla typowego roweru elektrycznego, czyli:
 Współczynnik oporu toczenia: 0.013; Współczynnik aerodynamiki: 0.9; Powierzchnia czołowa: 0.46m²

SUGEROWANE MINIMALNE PARAMETRY NAPĘDU:

Moc silnika:	199	W
Energia zgromadzona w baterii:	397	Wh
Pojemność baterii:	11	Ah - więcej informacji

Rys. 15. Parametry napędu dla roweru Ecotraveller Luxm przy minimalnym zasięgu 50 km i wadze pojazdu 80 kg [40]

PODSUMOWANIE

Wzrost liczby samochodów, zanieczyszczenie powietrza, hałas, kongestia oraz wypadki drogowe wpływają na konieczność zastanowienia się nad stworzeniem nowej kultury mobilności w miastach [20,32]. Zielona Księga Transportu UE zawiera przykładowe sposoby jej kształtowania [34]. Pojawiają się wymagania dotyczące równoważenia rozwoju systemu transportowego poprzez rezygnację z indywidualnych środków transportu na rzecz transportu zbiorowego oraz środków transportu wykorzystujących alternatywne źródła energii. Nie należy zapominać o wsparciu dla działań tworzących lepsze warunki w miastach do promowania się pieszo lub z wykorzystaniem roweru. Komunikacja rowerowa posiada cały szereg zalet, w tym: wykorzystuje stosunkowo niewielką

przeźnię, nie emituje zanieczyszczeń i hałasu, nie zużywa ograniczonych zasobów paliw kopalnych, a także przynosi korzyści zdrowotne.

Rower może być wykorzystywany jako środek transportu umożliwiający odbycie całej podróży lub jej części.

Należy zauważyć, że w dzisiejszych czasach przy stałym wzroście zainteresowania zdrowym trybem życia dużą popularnością cieszy się turystyka rowerowa. Jest to forma spędzania czasu wolnego, która poprawia stan zdrowia człowieka i chroni przed negatywnymi skutkami chorób cywilizacyjnych, takich jak miażdżyca, czy cukrzyca.

Równocześnie nie należy zapominać o osobach, dla których wykorzystanie roweru nawet dla celów rekreacyjnych stanowi problem ze względu na problemy zdrowotne. W takich przypadkach niezastąpione mogą wydawać się rowery elektryczne. Budowa takich rowerów nie różni się bardzo od klasycznych rowerów. Wy różnia je jedynie silnik stanowiący pomoc przy pedalowaniu.

Dobór odpowiedniego roweru elektrycznego nie jest skomplikowany. Warto skupić się na parametrach, które bierze się pod uwagę przy wyborze tradycyjnego roweru, takich jak rozmiar ramy czy koła. Warto jednak przed kupnem jednośladowego pojazdu ze wspomaganie elektrycznym dowiedzieć się jakie parametry techniczne powinien posiadać akumulator oraz silnik, aby jazda na rowerze była wygodna, a użytkownik mógł czerpać przyjemność z podróży turystycznych. Warto dopasować parametry techniczne do naszego stylu jazdy, a także podłoża po którym planujemy się poruszać, gdyż ma to duży wpływ na wybór modelu pojazdu.

BIBLIOGRAFIA

1. Adamczyk D., Michna M., *Przegląd i analiza układów napędowych stosowanych w rowerach elektrycznych*, „Zeszyty Problematyczne – Maszyny elektryczne” 2010, Nr 88.
2. Ambrożak A., *Rear impact to bicycle. A new look on accident analysis*, XII Konferencja Problemy Rekonstrukcji Wypadków drogowych. Zakopane 2011.
3. Czerwiński A., *Współczesne chemiczne źródła prądu*, UW-ICHP, Warszawa 2001.
4. Flaszka J., Orlik M., Małota M., Seweryn M., *Projekt i wykonanie trójkołowego pojazdu elektrycznego*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe”, 2013, nr 3.
5. Green J. M., *Bicycle accident reconstruction for the forensic engineer*, 2001.
6. Grega R., Homišin J., Krajiňák J., Urbanský M., *Analysis of the impact of flexible couplings on gearbox vibrations*, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport” 2016, vol. 91, p. 43-50. ISSN: 0209-3324, DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2016.91.4>.
7. Harachová D., *Deformation of the elastic wheel harmonic gearing and its effect on toothing*, „Grant journal” 2016, vol. 5, no. 1, p. 89-92, ISSN: 1805-0638.
8. Homišin J., Kaššay P., Puškár M., Grega R., Krajiňák J., Urbanský M., Moravič M., *Continuous tuning of ship propulsion system by means of pneumatic tuner of torsional oscillation*, „International Journal of Maritime Engineering: Transactions of The Royal Institution of Naval Architects” 2016, vol. 158, no. Part A3, p. A231-A238, ISSN: 1479-8751.
9. Jamroz K., Kustra W., *Bezpieczeństwo ruchu drogowego w Polsce na tle krajów Unii Europejskiej*, X Konferencja Naukowo-Techniczna „Systemy Transportowe – Teoria i praktyka”. Katowice 2013.
10. Jannoško I., *Efektywność hamowania wybranych modeli rowerów*, „Paragraf na drodze” 2008, vol. 9.

11. Kaššay P., Homišin J., Urbanský M., Grega R., *Transient torsional analysis of a belt conveyor drive with pneumatic flexible shaft coupling*, "Acta Mechanica et Automatica" 2017, vol. 11, p. 69-72. DOI: 10.1515/ama-2017-0011.
12. Kaššay P., Urbanský M., *Torsional natural frequency tuning by means of pneumatic flexible shaft couplings*, "Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport" 2015, vol. 89, p. 57-60, ISSN: 0209-3324, DOI: <https://doi.org/10.20858/sjstst.2015.89.6>.
13. Kohoutek P., *Problems of e-bikes*, XXII Międzynarodowa Konferencja Inżynierii Sądowej, Brno 2014.
14. Łebkowski A., *Electric Vehicle Battery Tester*, "Przegląd Elektrotechniczny", 2017, vol. 93.
15. Łebkowski A., *Electric vehicles trucks - overview of technology and research selected vehicle*, "Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni", 2017, vol. 98.
16. Łebkowski A *Light electric vehicle powertrain analysis*, "Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport", 2017, vol. 94.
17. Mantič M., Kulka J., Kopas M., Faltinová E., Petróci J., *Special device for continuous deceleration of freight cableway trucks*, "Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport" 2016, vol. 91, p. 89-97, ISSN: 0209-3324, DOI: <https://doi.org/10.20858/sjstst.2016.91.9>.
18. Medvecká-Beňová S., *Influence of the face width and length of contact on teeth deformation and teeth stiffness*, "Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport" 2016, vol. 91, p. 99-106, ISSN: 0209-3324, DOI: <https://doi.org/10.20858/sjstst.2016.91.10>.
19. Merkisz-Guranowska A., Stańko K., *Proekologiczne zachowania mieszkańców Poznania związane z transportem miejskim*, "Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe", 2014, nr 5.
20. Okraszewska R., *Wpływ kultury organizacyjnej na decyzje pracowników dotyczące wyboru roweru jako środka transportu w dojazdach do pracy w kontekście tworzenia nowej kultury mobilności w mieście na przykładzie trzech gdańskich firm z branży IT*, X Konferencja Naukowo-Techniczna "Systemy Transportowe – Teoria i praktyka". Katowice 2013.
21. Puskar M., Fabian M., Kadarova J., Blist'an P., Kopas M., *Autonomous vehicle with internal combustion drive based on the homogeneous charge compression ignition technology*, "International Journal of Advanced Robotic Systems" 2017, vol. 14(5). DOI: 10.1177/1729881417736896.
22. Reza A., *Hamowanie, prędkość i przyspieszanie rowerów*, "Paragraf na drodze" 2009, vol. 6.
23. Reza A., *Opóźnienia i przyspieszenia rowerów*, "Paragraf na drodze" 2010, vol. 5.
24. Świder P., *Prędkość roweru jadącego na spadku*, V Konferencja Problemy Rekonstrukcji Wypadków Drogowych, Kraków 1996.
25. Świder P., Gibczyński Z., Jakusz-Gostomski M., *Parametry ruchu rowerów. Część 1: Dynamika podłużna*, "Paragraf na drodze" 2013, vol. 1.
26. Świder P., Gibczyński Z., Jakusz-Gostomski M., *Parametry ruchu rowerów. Część 2: Manewr skrętu w lewo*, "Paragraf na drodze" 2013, vol. 2.
27. Tomko T., Puskar M., Fabian M., Boslaj R., *Procedure for the evaluation of measured data in terms of vibration diagnostics by application of a multidimensional statistical model*, "Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport" 2016, vol. 91, p. 125-131, ISSN: 0209-3324, DOI: <https://doi.org/10.20858/sjstst.2016.91.13>.
28. Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 Prawo o ruchu drogowym. Dziennik Ustaw, nr 98, poz. 602, 1997.
29. Wach K., Wolak S., *Badanie dynamiki ruchu rowerzysty z wykorzystaniem aparatury VBOX*, "Paragraf na drodze" 2013.
30. Wierciński J., Reza A. (red.), *Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego*, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Karków 2011.
31. Vojtková J., *Reduction of contact stresses using involute gears with asymmetric teeth*, "Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport" 2015, vol. 89, p. 179-185. ISSN: 0209-3324. DOI: 10.20858/sjstst.2015.89.19.
32. Zamkowska S., *Bike as a component of urban transport*, X Konferencja Naukowo-Techniczna "Systemy Transportowe – Teoria i praktyka". Katowice 2013.
33. Zelić A., Zuber N., Šostakov R., *Experimental determination of lateral forces caused by bridge crane skewing during travelling*, "Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability" 2018, vol. 20(1), p. 90-99. DOI: <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2018.1.12>. ISSN: 1507-2711.
34. Zielona Księga. W kierunku nowej kultury mobilności w mieście. KOM(2007) 551, Bruksela 2007.
35. Zuber N., Bajrić R., *Application of artificial neural networks and principal component analysis on vibration signals for automated fault classification of roller element bearings*, "Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance And Reliability" 2016, vol. 18(2), p. 299-306. DOI: 10.17531/ein.2016.2.19. ISSN: 1507-2711.
36. Zuber N., Bajrić R., Šostakov R., *Gearbox faults identification using vibration signal analysis and artificial intelligence methods*, "Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance And Reliability" 2014, vol. 16(1), p. 61-35, ISSN: 1507-2711.
37. Portal internetowy: ECOMOTO. Dostępny: <http://www.ecomoto.info/>.
38. Portal internetowy: www.roweryelektryczne.info. Dostępny: <http://www.roweryelektryczne.info/>.
39. Portal internetowy: wRower.pl. Dostępny: <http://wrower.pl/>.
40. Portal internetowy: Electric Bike Simulator. Dostęp: http://www.electricbikesimulator.com/index_pl.html.
41. Portal internetowy: MaxEV. Dostęp: <http://http://www.maxev.pl/>.
42. Portal internetowy: EKONAPĘDY. Dostęp: <http://ekonapedy.com/>.
43. Portal internetowy: EncyklopediaRowerowa.pl. Dostęp: <http://www.encyklopediarowerowa.pl/>.
44. Portal internetowy: geobike rowery elektryczne. Dostęp: <http://www.geobike.com.pl/>.
45. Portal internetowy: PORTAL rOweryowy pl. Dostęp: <http://www.portal-rowerowy.pl/>.
46. Portal internetowy: rower.com.pl. Dostęp: <https://rower.com.pl/>.
47. Portal internetowy: ecobike. Dostęp: <http://www.rowery-elektryczne.pl/>.
48. Portal internetowy: roweryokey.pl. Dostęp: <http://roweryokey.pl/>.
49. Portal internetowy: pinkbike. Dostęp: <http://www.pinkbike.com/>.
50. Portal internetowy: Miasta dla rowerów. Dostęp: <http://www.rowery.org.pl/>.
51. Portal internetowy: Miasta dla rowerów. Dostęp: <http://www.rowery.org.pl/>.

An electric bike as the future of eco-transport

Electric bicycles are becoming more and more popular in Poland. They are a source of recreation and physical activity for people with cardiovascular or motor system diseases. The construction of these vehicles does not differ significantly from the ordinary bicycle, it is distinguished only by the engine and the battery, which help in the process of propulsion. The article describes the current state of development of electric bicycles in the aspect of their use as future-oriented ecological means of transport.

Autorzy:

mgr inż. **Ewa Wasik** – Wydział Elektryczny, Akademia Morska w Gdyni
 dr hab. inż. **Piotr Czech**, prof. PŚ – Wydział Transportu, Politechnika Śląska
 dr hab. inż. **Tomasz Figlus**, prof. PŚ – Wydział Transportu, Politechnika Śląska
 mgr inż. **Katarzyna Turoń** – Wydział Transportu, Politechnika Śląska
 mgr inż. **Robert Kałuża** – Wydział Transportu, Politechnika Śląska

JEL: Q01 **DOI:** 10.24136/atest.2018.173

Data zgłoszenia: 2018.05.24 **Data akceptacji:** 2018.06.15