

Kamil SŁOMCZYŃSKI, Jarosław JAJCZYK\*

## **ROWER ELEKTRYCZNY Z DEDYKOWANYM AKUMULATOREM**

W pracy przedstawiono zagadnienie dotyczące budowy i projektowania roweru z napędem elektrycznym. Scharakteryzowano rowery elektryczne oraz omówiono zasadę ich działania. Wymieniono i opisano elementy składowe roweru elektrycznego. W ramach pracy zaprojektowano, dedykowany do zbudowanego roweru, akumulator o dopasowanych wymiarach umożliwiających montaż w ramie. Przeprowadzono testy opracowanego akumulatora oraz testy drogowe zbudowanego roweru.

**SŁOWA KLUCZOWE:** rower elektryczny, baterie w pojazdach elektrycznych, eksploatacja pojazdów elektrycznych, zasięg pojazdów elektrycznych.

### **1. WPROWADZENIE**

Aspekty ekologiczne oraz w coraz większej mierze ekonomiczne przyczyniają się do wzrostu zainteresowania alternatywnymi (niekonwencjonalnymi) metodami zasilania pojazdów. W ostatnim czasie na popularności zyskują pojazdy o napędzie elektrycznym. Jednym z ciekawych rozwiązań jest zastosowanie napędu elektrycznego w rowerach.

Pierwsze konstrukcje rowerów elektrycznych pojawiły się w 1895 roku, gdzie wykorzystywano silnik elektryczny montowany w piaście [1]. Rowery elektryczne w późniejszym okresie czasu zostały zapomniane. Tendencje zaczynają się zmieniać, ponieważ obecnie stają się coraz popularniejsze.

Argumentami przemawiającymi za stosowaniem rowerów elektrycznych są ich cechy ekologiczne, tj. minimalna emisja hałasu i brak emisji zanieczyszczeń do powietrza podczas ruchu. Nie bez znaczenia są niższe koszty eksploatacji takich pojazdów niż np. skuterów. Istnieje możliwość konwersji klasycznego roweru na rower elektryczny, zmniejszając koszty budowy. Te cechy pozwalają przypuszczać, że w przyszłości będą one popularnym środkiem transportu. Rowery umożliwiają w sposób szybki i płynny pokonywać zatłoczone ulice. Możliwość ich przechowywania np. w domu minimalizuje ryzyko negatywnego wpływu warunków atmosferycznych (zwłaszcza na baterie) lub osób trzecich. Niewątpliwie, skutkiem takiej sytuacji będzie wzrastające zapotrzebowanie na

---

\* Politechnika Poznańska

energię elektryczną. Coraz więcej urządzeń oraz pojazdów wymaga zasilania energią elektryczną. Aby móc korzystać z roweru elektrycznego, niezbędne jest naładowanie akumulatora. Możliwość ładowania pojazdu z gniazdka elektrycznego, rozwiązuje problem dostępności punktów ładowania.

## 2. CHARAKTERYSTYKA ROWERÓW ELEKTRYCZNYCH

Rowery elektryczne dzieli się ze względu na umiejscowienie silnika napędzającego rower [2]. Istnieją dwie możliwości zamontowania silnika:

- w piaście koła, odpowiednio w przednim lub tylnym kole,
- centralnie w ramie roweru.

Jedną z głównych korzyści z umiejscowienia silnika w tylnym kole jest rozłożenie wagi takiego pojazdu. Rama jest najczęściej wykonana z metalu, ze względu na niski koszt produkcji oraz łatwość łączenia elementów poprzez spawanie. W związku z tym, rama pojazdu jest bardzo masywna, co przekłada się na masę własną konstrukcji. Kolejnym atutem jest ochrona konstrukcji. Silnik umiejscowiony wewnątrz koła jest osłonięty przed uszkodzeniami mechanicznymi i zanieczyszczeniami. Następną zaletą jest prostota naprawy. Dostęp do silnika jest nieskomplikowany. Największym atutem tego rozwiązania jest możliwość konwersji klasycznego roweru na rower z napędem elektrycznym. Tylna piasta zostaje zastąpiona przez silnik, a obręcz może być wykorzystana w istniejącej konstrukcji. Większość rowerzystów decyduje się na to rozwiązanie z powodu braku konieczności mechanicznych przeróbek w rowerze.

W drugim rozwiązaniu największą zaletą jest nisko umieszczony środek ciężkości. Silnik montowany jest w dolnej części ramy, obok korb oraz tzw. suportu rowerowego. Należy on do części układu napędowego. Umiejscowiony nisko środek ciężkości pozwala na pokonywanie zakrętów z większą prędkością. Dodatkowym atutem tego rozwiązania jest wizualna jedność silnika z ramą. Silnik wpasowuje się w stylistykę pojazdu, tworzący z ramą zgraną całość. Porównując to rozwiązanie z silnikiem w tylnym kole, w tym przypadku demontaż czy naprawa są trudniejsze i wymagają specjalistycznego sprzętu. Ze względu na umiejscowienie silnika blisko ziemi, jest on narażony na wystające przeszkody, które mogą trwale uszkodzić mechanizm. Ponadto, w tej konstrukcji w większym stopniu zużywają się inne komponenty. Moment obrotowy przenoszony z użyciem łańcucha do napędzenia tylnej piasty powoduje przyspieszone zużycie np. przerzutki czy kasety [2].

Rower elektryczny składa się z kilku podstawowych elementów. Jedne z nich zwiększają bezpieczeństwo użytkowania, inne poprawiają komfort jazdy. Na rysunku 1 przedstawiono schemat roweru z napędem elektrycznym z zaznaczonymi elementami składowymi.



Rys. 1. Rower elektryczny z przedstawieniem poszczególnych elementów [3]: 1 – kierownica wraz z wyświetlaczem, 2 – sterownik, 3 – amortyzator przedni, 4 – rama, 5 – hamulec przedni oraz tylny, 6 – korby z pedałami i suportem, 7 – siodełko ze szyćką, 8 – akumulator, 9 – amortyzator przedni (damper), 10 – silnik, 11 – koło przednie oraz tylne z kasetą

W związku z tym, że rower elektryczny posiada dużą masę własną, musi być zbudowany z wytrzymałych i niezawodnych podzespołów. Począwszy od kierownicy, na której umieszczona jest manetka gazu, poprzez dźwignię hamulców oraz przyciski sterujące. Dodatkowo w centralnej części kierownicy zamontowany jest wyświetlacz. Ma on za zadanie prezentować parametry jazdy oraz układu zasilająco-napędowego.

Elementem odpowiedzialnym za współpracę wszystkich elektrycznych podzespołów jest sterownik. Sterownik ma za zadanie odczytać sygnał położenia manetki gazu i korygować wartość energii elektrycznej przekazywanej do silnika [4]. Do kontrolera podłączone są wszystkie elementy elektryczne.

Ważnym elementem konstrukcyjnym jest specjalna rama, która charakteryzuje zastosowanie roweru. Ramy dzielą się na nieamortyzowane oraz amortyzowane. W przypadku ram bez amortyzacji, czyli bez tzw. dampera, rama ma zastosowanie głównie do jazdy w mieście. Jest bardzo stabilna, idealnie sprawdza się przy jeździe po równej nawierzchni. Konstrukcja ta, nie jest jednak tak wygodna, jak rama z amortyzacją. Takie zawieszenie, ma zastosowanie głównie w kolarstwie grawitacyjnym. Komfort jazdy jest wyższy, ponieważ konstrukcja zapewnia maksymalną przyczepność z nierównym podłożem. Najbardziej popularne są ramy metalowe (stalowe lub aluminiowe) ze względu na dostępność i cenę materiału [5]. Bezpośrednio do ramy przymocowany jest amortyzator oraz wewnątrz ramy – damper. Obydwa elementy mają za zadanie tłumić drgania i nierówności.

Hamulce rowerowe są elementem koniecznym. Rozwiązanie hydrauliczne spełnia wymagania stawiane pojazdom elektrycznym i zapewnia odpowiednią siłę hamowania [5].

Podczas eksploatacji roweru z napędem elektrycznym następuje stopniowe rozładowanie akumulatora. Sterowania w rowerach elektrycznych z tak zwaną pełną mocą realizowane jest pomocą manetki przyspieszenia zwanej *rollgaz*, która jest montowana na kierownicy roweru.

Konieczne jest odpowiednie zabezpieczenie instalacji elektrycznej roweru przed warunkami atmosferycznymi oraz uszkodzeniami mechanicznymi. Elementem niezbędnym jest izolacja akumulatorów przed wodą. W przypadku nieszczelności układu, kontakt elementów pod wysokim napięciem z wodą jest bardzo niebezpieczny dla kierującego.

Silnik zamontowany jest w tylnych hakach ramy w taki sposób, że obracając się wokół własnej osi, nadaje prędkość pojazdowi. W rowerze elektrycznym możliwe jest również napędzanie pojazdu siłą mięśni poprzez zastosowanie łańcucha łączącego tylną kasetę z korbą w ramie. W przypadku rozładowania akumulatora, jest to przydatne udogodnienie.

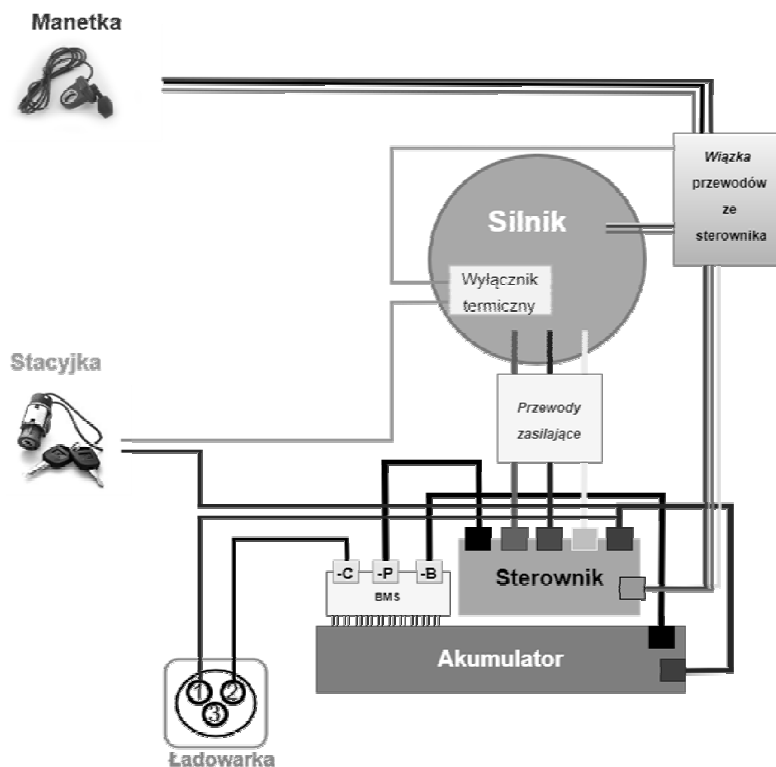
Innym rozwiązaniem stosowanym w rowerach elektrycznych jest zastosowanie silnika elektrycznego do wspomagania rowerzysty podczas napierania na pedały. Rowery ze wspomaganiami nazywane są rowerami typu *pedelec* (z ang. *pedal electric cycle*). W przeciwieństwie do poprzedniego rozwiązania, aby uzyskać wspomaganie elektryczne, kierujący musi wykonywać pracę pedału. Po przekroczeniu prędkości 25 km/h, wspomaganie elektryczne zostaje dezaktywowane [6].

### 3. PROJEKT ROWERU Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM

Projektując rower elektryczny poza uwzględnieniem wszystkich aspektów mechanicznych związanych z rowerami (pojazdami jednośladowymi) istotne jest odpowiednie skonfigurowanie elementów elektrycznych. Połączenie wszystkich układów elektrycznych i elektronicznych jest możliwe dzięki instalacji elektrycznej. Jej konfiguracja i parametry w dużej mierze zależą m. in. od napięcia pokładowego.

W projektowanym rowerze zastosowano silnik o napięciu znamionowym 48 V stąd napięcie pokładowe również przyjęto na tym poziomie. W konsekwencji odpowiednio zaprojektowano akumulator, aby uzyskać żądaną wartość napięcia.

Instalacja elektryczna odpowiada za prawidłowe i bezpieczne działanie pojazdu elektrycznego (akumulator, silnik, sterownik, wyświetlacz, manetka, stacyjka). Na rysunku 2 została przedstawiona instalacja elektryczna zaimplementowana w zbudowanym rowerze elektrycznym.



Rys. 2. Podglądowy schemat instalacji elektrycznej

Elementem scalającym wszystkie podzespoły roweru elektrycznego jest sterownik. Sterownik wymaga zasilania, stąd połączenie między sterownikiem a akumulatorem. Ze sterownika wyprowadzone są trzy przewody zasilające silnik. Do instalacji została dodana stacyjka. Uruchomienie roweru jest możliwe po przekręceniu kluczyka, które skutkuje zasileniem sterownika głównego. Zastosowanie stacyjki przyczynia się do braku poboru energii z akumulatora w sytuacji, gdy rower nie jest włączony. Akumulator jest połączony ze sterownikiem baterii (BMS – Battery Management System) [7].

Założono, że projektowany rower elektryczny powinien posiadać duże możliwości terenowe, dlatego zastosowano silnik o mocy znamionowej 3 kW. Ze względu na prawie bezgłośną pracę wybrano silnik bezszczotkowy. Moc generowana przez silnik w dużej mierze zależy od podłączonego sterownika. Użyty w rowerze sterownik pozwala przy napięciu 48 V sterować prądem o wartości do 60 A. Daje to maksymalną moc elektryczną na poziomie 2880 W. Taka wartość spełnia oczekiwania i pozwala na długotrwałą i efektywną pracę przy pełnym obciążeniu.

Istotnym elementem układu roweru elektrycznego jest akumulator. W zależności od jego parametrów uzyskuje się odpowiednią funkcjonalność. W ramach

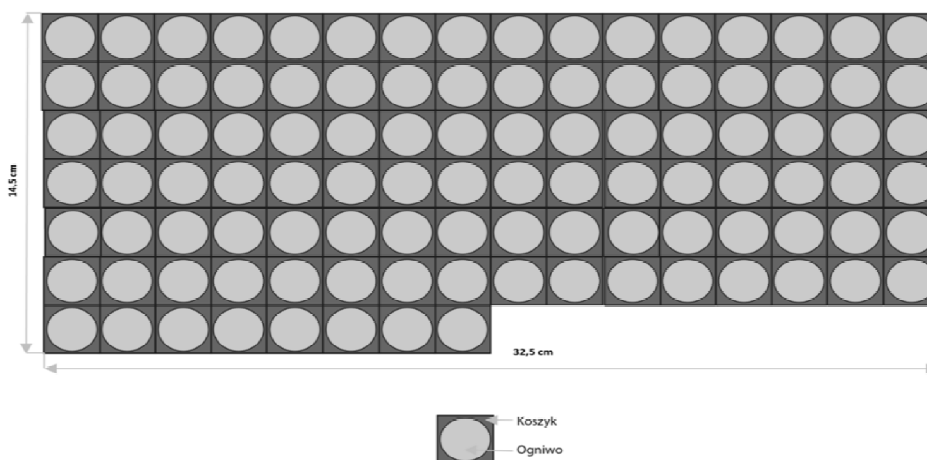
pracy został zbudowany akumulator z zastosowaniem ogniw litowo-jonowych [8]. Decydującymi o wyborze cechami są brak efektu pamięci, łatwa dostępność ogniw oraz najlepszy stosunek pojemności do masy [9].

Akumulator powinien zajmować tak mało miejsca, jak to możliwe, dlatego w pracy zaprojektowano i zbudowano dedykowany akumulator do budowanego roweru. Zastosowano ogniwa firmy Samsung 35E o napięciu pracy 3,7 V i pojemności 3,5 Ah [10]. Na podstawie informacji na temat zasilania sterownika i silnika napięciem o wartości 48 V został zaprojektowany akumulator o konfiguracji  $13s8p$ , w którym ogniwa połączone w sposób mieszany:

- szeregowo ( $13s$ ) – napięcie akumulatora wynosi:  $13 \cdot 3,7 V = 48,1 V$ ,
- równolegle ( $8p$ ) – pojemność akumulatora wynosi:  $8 \cdot 3,5 Ah = 28 Ah$  oraz maksymalny prąd rozładowania wynosi:  $8 \cdot 10 A = 80 A$ .

W projekcie zostały użyte 104 ogniwa Samsung 35E. Akumulator składa się z 8 połączeń równoległych złożonych każde z 13 ogniw połączonych szeregowo.

Kolejny etap budowy roweru to zaprojektowanie kształtu akumulatora. Ze względu na szeroką ramę w rowerze, opracowany akumulator ma kształt prostokątny. Na rysunku 3 zostały przedstawione wymiary akumulatora.



Rys. 3. Wymiary akumulatora z opisem elementów

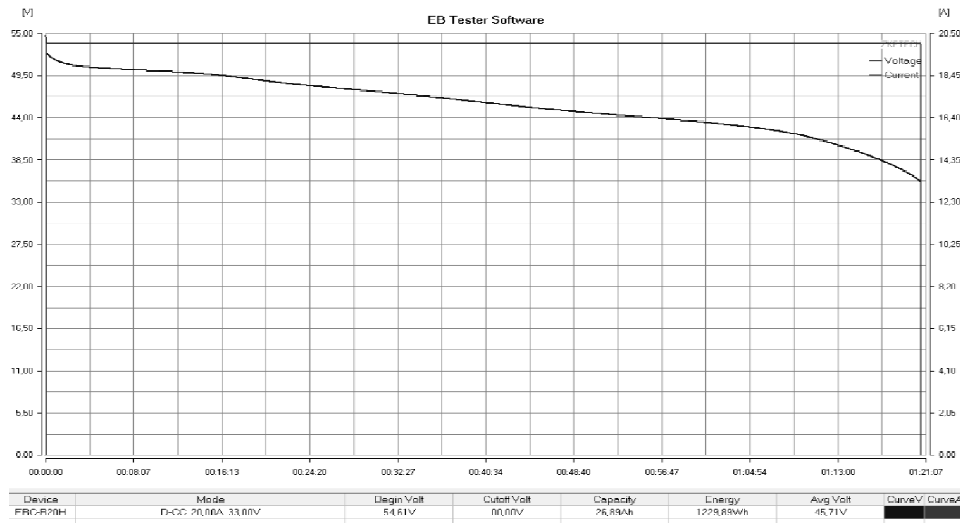
Akumulator jest tak zaprojektowany, że cele łączone są podwójnie (w górnej i dolnej warstwie). Zmontowany akumulator został połączony ze sterownikiem baterii (BMS). Odpowiedzialny jest za nadzorowanie ładowania oraz rozładowania całego akumulatora. Spełnia kilka zadań takich jak: wyrównywanie napięcia w celach, niedoprowadzenie do całkowitego rozładowania akumulatora oraz samoczynne odcinanie ładowarki po wykryciu awarii w celach. Zapewnia to zwiększenie niezawodności akumulatora. Aby zwiększyć bezpieczeństwo wprowadzono dodatkową ochronę obwodów montując w akumulatorze dwa

bezpieczniki: bezpiecznik 80 A zwłoczny (zabezpieczający proces rozładowania akumulatora) oraz bezpiecznik 15 A zwłoczny (istotny podczas ładowania akumulatora). Akumulator został ponadto zabezpieczony mechanicznie. Użyto do tego arkuszy wykonanych z preszpanu.

Akumulator został wyposażony we wskaźnik naładowania. Urządzenie wskazuje poziom naładowania (pokazywany w %) oraz wartość napięcia (w V). Zbudowany akumulator zabezpieczono przed zalaniem i zawilgoceniem. W tym celu użyto rękawa termokurczliwego, który został założony na akumulator z wcięciem na ekran wyświetlacza. Z akumulatora zostały wyprowadzone dwa złącza. Jedno złącze służące do ładowania oraz drugie złącze odpowiedzialne za rozładowanie akumulatora.

#### 4. BADANIA ZBUDOWANEGO ROWERU ELEKTRYCZNEGO

Opracowany i zbudowany na potrzeby roweru elektrycznego akumulator został poddany badaniom. Test polegał na naładowaniu akumulatora do 100%, a następnie podłączeniu go do urządzenia rozładowującego. Uzyskano w ten sposób informację na temat pojemności baterii oraz napięcia odcięcia akumulatora. Na rysunku 4 zostały przedstawione charakterystyki rozładowania akumulatora przedstawiające wartość napięcia i prądu w czasie.

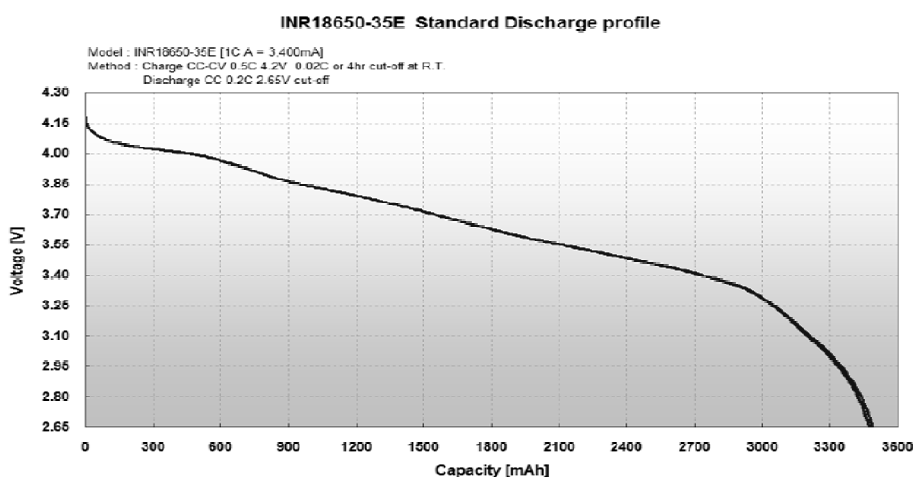


Rys. 4. Charakterystyka rozładowania wykonanego akumulatora

Początkowe napięcie, przy którym rozpoczęto test wynosiło 54,61 V. Testowany akumulator obciążono prądem o wartości 20 A. Wraz z biegiem czasu napięcie akumulatora malało. Z wykresu można odczytać, że napięcie odcięcia (zadziałania sterownika baterii BMS) wynosi  $35,9 \pm 0,1$  V. Napięcie odcięcia

jednego ogniwa wynosi około 2,5 V. Jest to takie napięcie, przy którym akumulator najlepiej natychmiast podłączyć do ładowarki. Na podstawie badania wyznaczono doświadczalnie pojemność zbudowanego akumulatora którą określono na poziomie 26,89 Ah. Jest to wartość nieznacznie niższa niż zakładana (28 Ah). Taki wynik może być spowodowany m.in. niższą temperaturą, w której przeprowadzony był test (była poniżej temperatury 25°C) oraz większym prądem przypadającym na jedno ogniwo (2,5 A) niż podano w karcie katalogowej producenta.

Na rysunku 5 została przedstawiona charakterystyka rozładowania pojedynczego ogniwa Samsung INR-18650-35E (napięcie w funkcji pojemności) [10].



Rys. 5. Charakterystyka rozładowania ogniwa Samsung INR-18650-35E [10]

Porównując wykreśloną charakterystykę rozładowania zbudowanego akumulatora (rys. 4) z charakterystyką rozładowania jednego ogniwa (rys. 5) można zauważyć podobny kształt. Świadczy to o poprawności wykonania akumulatora.

Zbudowany rower elektryczny został sprawdzony w warunkach drogowych (zimowych). Temperatura podczas testu wynosiła ok. 5°C. Prędkość maksymalną jaką udało się osiągnąć wyniosła prawie 50 km/h. Pomimo dużej masy całej konstrukcji (około 50 kg) dzięki wysokiemu momentowi napędowemu silnika (60 Nm), w krótkim czasie (około 12 s) uzyskano prędkość wynoszącą 50 km/h. Jazda testowa została powtórzona trzykrotnie, uzyskując bardzo zbliżone wyniki. W przypadku lepszych warunków pogodowych (wyższa temperatura oraz dobra przyczepność nawierzchni) możliwe byłoby uzyskanie wyższej prędkości maksymalnej.



## 5. PODSUMOWANIE

Pojazdy elektryczne, głównie ze względów ekologicznych, zyskują w ostatnich latach na popularności. Szczególnie duży udział w rynku mają w krajach wspierających tego typu środek komunikacji. Możliwość wynajmowania rowerów elektrycznych w dużych miastach pozwala promować ten środek transportu. Społeczeństwo ma możliwość zaznajomienia się z nową technologią alternatywną do pojazdów spalinowych.

Komfort użytkowania pojazdów elektrycznych w głównej mierze zależy od dostępności punktów ładowania, masy pojazdów i pojemności akumulatorów wpływającej na zasięg pojazdu. Im większa pojemność akumulatora, tym dalej pojazd jest w stanie przejechać. Wiąże się z tym jednak większa masa pojazdu z powodu użytej większej liczby ogniw.

W pracy przedstawiono projekt roweru elektrycznego. Dobrano jego podzespoły w sposób zapewniający komfortową eksploatację (silnik o mocy 3 kW). Do silnika zaprojektowano dedykowany akumulator o zakładanej pojemności 28 Ah. Ważnym etapem prac było opracowanie odpowiedniego kształtu akumulatora dopasowanego do ramy. Zbudowany akumulator został poddany testom. Potwierdziły one jego poprawne działanie, choć zweryfikowana doświadczalnie pojemność wyniosła niespełna 27 Ah. Jest to wynik zadawalający i nie wpływa na poprawność eksploatacji roweru i jego osiągi.

## LITERATURA

- [1] <https://www.roweryelektryczne.info/historia-rowerow-elektrycznych.html>, 24.02.2019 r.
- [2] Magazyn Bike Board Rowery Elektryczne, wydanie 2, N.R.G., Kraków 2018 r.
- [3] *Schemat roweru elektrycznego*, <https://endless-sphere.com/forums/viewtopic.php?t=32950>, 12.11.2019 r.
- [4] Markisz J., Pielecha I., *Alternatywny napędy pojazdów*, wydanie 1, WPP, Poznań, 2006 r.
- [5] Korzonek M.J., *Rowery od A do Z - Poradnik rowerowy*, wydanie 1, Dragon, Bielsko-Biała, 2015 r.
- [6] <https://www.bikester.pl/przewodnik-po-rowerach-elektrycznych.html>, 27.11.2018 r.
- [7] Slinn M., *Build Your Own Electric Bicycle*, wydanie 1, McGraw-Hill TAB, United States of America, 2010 r.
- [8] Fic B., *Samochody elektryczne*, wydanie 2, KaBe, Krosno, 2015 r.
- [9] Czerwiński A., *Akumulatory, baterie, ogniwa*, wydanie 1, WKŁ, Warszawa, 2012 r.
- [10] Specification of Product for Lithium-ion rechargeable cell Model name: INR18650-35E, Samsung SDI Co., Ltd. Cell Business Division, 2015.

**ELECTRIC BIKE WITH A DEDICATED BATTERY**

The paper presents the issue of the construction and design of a bicycle with electric drive. The characteristics of electric bicycles were presented, focusing on the principle of vehicle construction. The benefits of using an innovative means of transport were presented. The possibility of converting a classic bicycle into an electric bicycle is described. The components of the electric bicycle have been mentioned and described. A battery with a certain size was designed, allowing installation in a dedicated bike frame. The possibility of disassembling the battery was realized, increasing the scope of operation allowing to power other electric vehicles. The elements of the bike have been presented enhancing the user's safety. Tests were carried out to test the correctness of the battery's performance.

*(Received: 28.02.2019, revised: 10.03.2019)*