

Anna PIEC<sup>1</sup>

Opiekun naukowy: Jacek NOWAKOWSKI<sup>2</sup>

## **ANALIZA PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH SAMOCHODÓW ELEKTRYCZNYCH**

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono wyniki badań zużycia energii elektrycznej przez samochód elektryczny w różnych warunkach eksploatacyjnych wymagających nagrzewania/chłodzenia kabiny pasażerskiej oraz wykorzystania dodatkowych urządzeń zasilanych energią elektryczną. Obiektem badań był samochód elektryczny Fiat 500e. W ramach badań przeprowadzono pomiar i rejestrację zużycia energii elektrycznej oraz analizę porównawczą dla różnych warunków eksploatacyjnych pojazdu na hamowni podwoziowej. Badania doświadczalne przeprowadzono w Laboratorium Katedry Silników Spalinowych i Pojazdów Uniwersytetu Bielsko-Bialskiego.

**Słowa kluczowe:** samochód elektryczny, zużycie energii, warunki ruchu, parametry eksploatacyjne

## **ANALYSIS OF OPERATIONAL PARAMETERS OF ELECTRIC CARS**

**Summary:** The paper presents the results of research on the consumption of electricity by an electric car in various operating conditions requiring heating/cooling of the passenger cabin and the use of additional devices powered by electricity. The object of the research was the Fiat 500e electric car. As part of the research, electrical energy consumption was measured and recorded, as well as a comparative analysis for various vehicle operating conditions on a chassis dynamometer. Experimental research was carried out in the Laboratory of the Department of Combustion Engines and Vehicles of the University of Bielsko-Biala.

**Keywords:** electric car, energy consumption, traffic conditions, operational parameters

### **1. Wprowadzenie**

Koncepcja wykorzystania silnika elektrycznego do napędu pojazdów znana była już u schyłku XIX wieku. Dostępne wówczas technologie nie pozwalały jednak na wykorzystanie go na szerszą, ekonomicznie opłacalną skalę. Globalne

---

<sup>1</sup> mgr inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, kierunek: Mechanika i Budowa Maszyn, specjalność: Pojazdy i silniki, email: [anna.piec.1987@gmail.com](mailto:anna.piec.1987@gmail.com)

<sup>2</sup> prof. ATH dr hab. inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: [jnowakowski@ubb.edu.pl](mailto:jnowakowski@ubb.edu.pl)

zainteresowanie zanieczyszczeniem środowiska naturalnego, dziś będącym głównym czynnikiem napędowym rozwoju elektromobilności, wówczas praktycznie nie istniało. Z początkiem XX wieku, pojazdy elektryczne zostały niemal całkowicie wyparte przez dynamiczny rozwój tłokowych silników spalinowych, które okazały się być wówczas zdecydowanie bardziej praktyczne w zastosowaniu do napędu środków transportu kołowego. Pojazdy elektryczne cechowały się wtedy małym zasięgiem, niewielkimi osiąganymi i rozwijanymi prędkościami [1].

Do badań nad napędem elektrycznym pojazdów powrócono po II wojnie światowej, nadal jednak brakowało rozwiązań technologicznych, które zapewniałyby wystarczające parametry użytkowe, mogące konkurować z napędami spalinowymi. Największym problemem okazały się baterie, które były zbyt duże i ciężkie, a przy tym zapewniały zbyt mały zasięg pojazdu [2, 3].

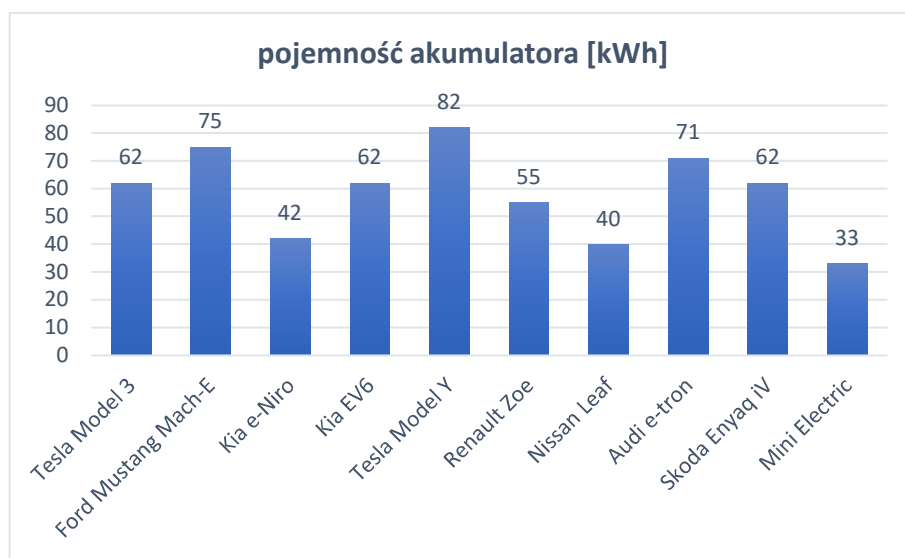
Produkcja samochodów zelektryfikowanych rozwinęła się ponownie na początku lat 90 XX wieku, wraz z prezentacją Toyoty Prius – pojazdu hybrydowego, będącego, patrząc z dzisiejszej perspektywy, milowym krokiem ku elektryfikacji napędu pojazdów samochodowych [4]. Rosnąca również w tym czasie świadomość ekologiczna sprawiła, że zaczęto szerzej przyglądać się zagadnieniu emisji gazów cieplarnianych oraz wpływem zanieczyszczeń pochodzących z pojazdów spalinowych na zdrowie człowieka. Instytut Badań Rynku Motoryzacyjnego podaje, że w I kw. 2022 roku zarejestrowano 2 252 samochody elektryczne. Stanowiły one 10,4 procent wszystkich aut zelektryfikowanych (PHEV i HEV). Jeszcze 3 lata temu, rynek był w stanie wchłonąć jedynie kilkaset egzemplarzy aut elektrycznych przez cały rok. W I kwartale 2022 roku zarejestrowano w Polsce w sumie 102 041 samochody osobowe z wszystkimi rodzajami napędów, pojazdy elektryczne stanowiły więc 2,2 procent pojazdów [5, 6].

Na rysunkach 1-3 przedstawiono porównanie najważniejszych parametrów eksploatacyjnych najczęściej kupowanych samochodów elektrycznych w pierwszym kwartale 2022 r. w Polsce (wersje bazowe) w oparciu o dane podawane przez producentów.

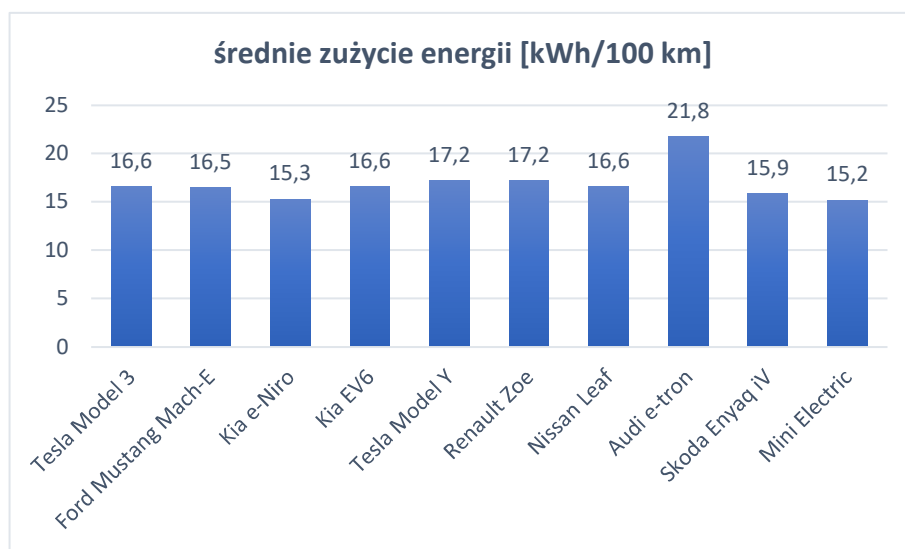


Rysunek 1. Zestawienie porównawcze - zasięg całkowity

W szczególności przedstawiono dane następujących pojazdów, (kolejność według liczby sprzedanych egzemplarzy): Tesla Model 3, Ford Mustang Mach-E, Kia e-Niro, Kia EV6, Tesla Model Y, Renault Zoe, Nissan Leaf, Audi e-tron, Skoda Enyaq iV, Mini Electric [5, 6].



Rysunek 2. Zestawienie porównawcze - pojemność akumulatora



Rysunek 3. Zestawienie porównawcze - średnie zużycie energii

## 2. Badania doświadczalne

Celem badań była analiza zużycie energii elektrycznej przez samochód elektryczny w różnych warunkach eksploatacyjnych wymagających nagrzewania czy też chłodzenia kabiny pasażerskiej oraz wykorzystania dodatkowych urządzeń zasilanych energią elektryczną. Badania samochodu doświadczalnego przeprowadzono na hamowni podwoziowej, dla różnych warunków obciążenia układu napędowego pojazdu odbiornikami energii elektrycznej. Obiektem badań był samochód osobowy Fiat 500e najnowszej generacji, zasilany silnikiem prądu zmiennego z magnesami trwałymi, wyposażony w baterie litowo-jonowe (rys. 4-5).

### Dane techniczne:

#### Silnik

Rodzaj silnika	elektryczny (jeden)
Maks. moc	87 kW (118 KM)
Maks. moment obrotowy	220 Nm
Typ silnika	synchroniczny prądu zmiennego z magnesami trwałymi
Napęd	oś przednia
Przeniesienie napędu	pojedyncze przełożenie

#### Osiągi

Prędkość maksymalna	150 km/h
Przyspieszenie (0 - 100 km/h)	9 s

#### Bateria i zasięg

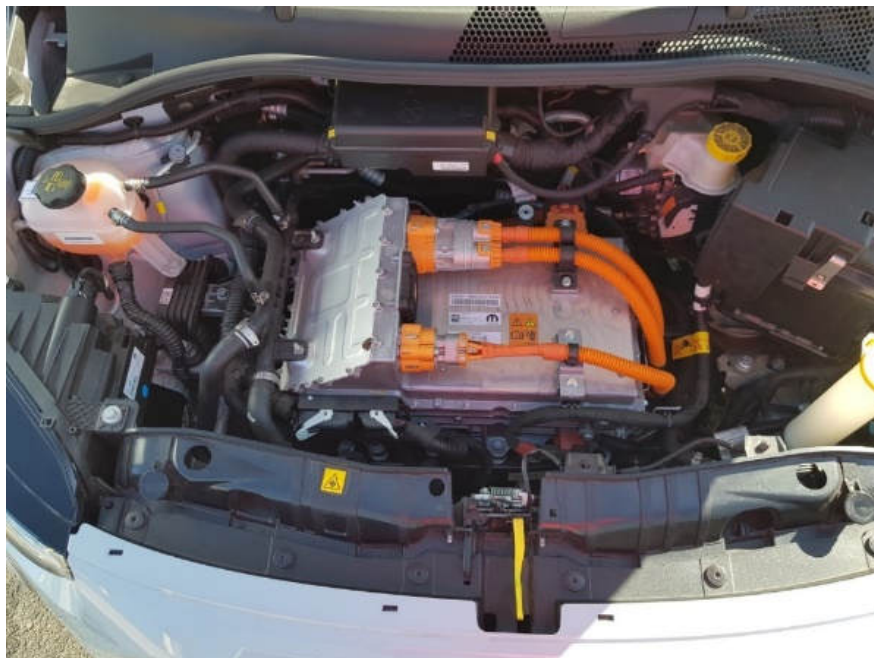
Typ baterii	litowo-jonowa
Pojemność baterii	42 kWh
Zasięg (WLTP)	320 km
Średnie zużycie energii	14 kWh/100 km

#### Masa i wymiary

Masa własna:	1365 kg
Długość:	363 cm
Szerokość:	168 cm
Wysokość:	153 cm



*Rysunek 4. Obiekt badań - Fiat 500e*



*Rysunek 5. Silnik samochodu Fiat 500e*



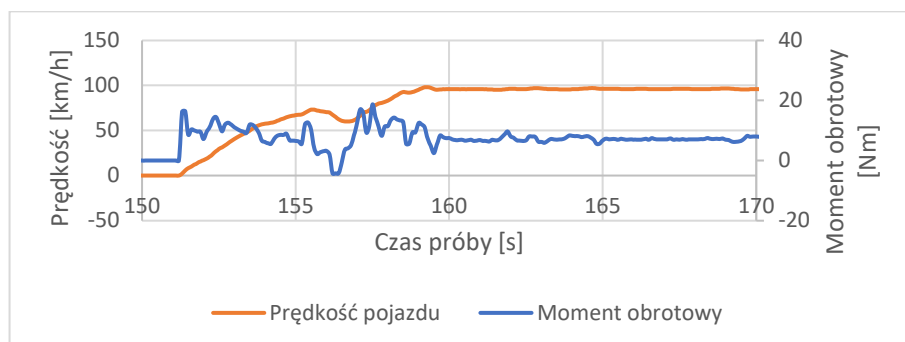
- wizualizację parametrów na kolorowym wyświetlaczu dotykowym,
- zapis na kartę pamięci wszystkich parametrów z częstotliwością 1 Hz do pliku tekstowego,
- współpracę z aplikacją dla hamowni podwoziowej – komunikacja za pomocą sieci LAN.



Rysunek 7. Widok skanera parametrów elektrycznych FIAT 500e

### 3. Zakres badań doświadczalnych

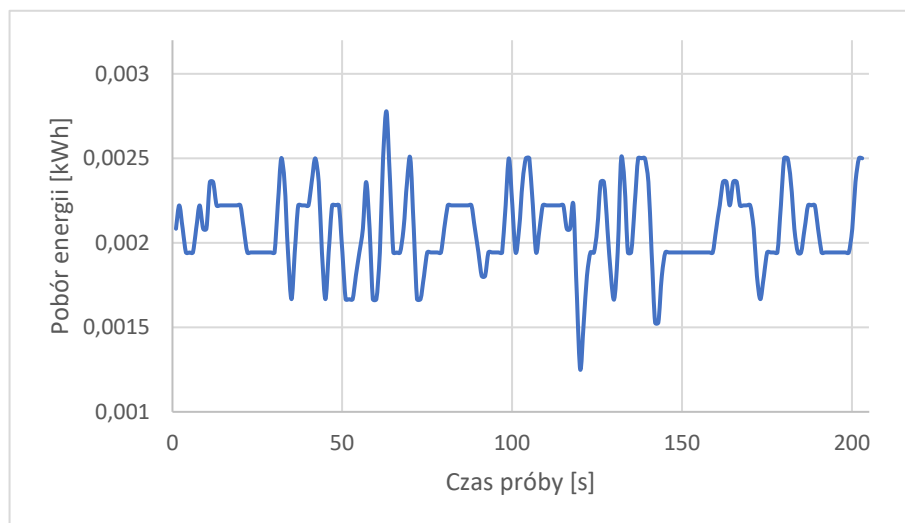
Zakres badań obejmował pomiar parametrów elektrycznych pojazdu doświadczalnego w teście WLTP oraz podczas gwałtownego przyspieszania i jazdy ze stałą prędkością. Test WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure) to test, który jest używany do porównywania wskaźników efektywności paliwowej lub energetycznej dla wszystkich samochodów - napędzanych silnikiem ZI, silnikiem ZS jak również elektrycznych i hybrydowych. Od roku 2017 stopniowo zastępował stosowaną wcześniej wersję - test NEDC. Podczas gdy starszy test - NEDC określał wartości testowe na podstawie teoretycznego profilu jazdy, cykl WLTP został opracowany na podstawie rzeczywistych danych z jazdy zebranych z całego świata, co powoduje jego większą zgodność z eksploracją pojazdu w warunkach rzeczywistych. Cykl jazdy WLTP jest podzielony na cztery części o różnych średnich prędkościach: niska, średnia, wysoka i bardzo wysoka. Każda część zawiera różne fazy jazdy: zatrzymania, fazy przyspieszania i hamowania. Na rys. 8 przedstawiono fragment pomiaru obejmujący gwałtowne przyspieszanie i jazdę ze stałą prędkością, gdzie widać, że wzrost oporów ruchu pojazdu wynikający przede wszystkim ze wzrostu oporu powietrza, znajduje odzwierciedlenie w wykonanym pomiarze, ponieważ przebieg zmiany wydatku energetycznego/momentu na kołach ma identyczny przebieg. Wahania momentu obciążającego spowodowane są konstrukcją hamowni opartą o hamulec wodny (łopatkowy typu Froude). Cechą hamulców wodnych jest brak stabilności momentu hamującego zwłaszcza w stanie dynamicznym.



Rysunek 8. Fragment przebiegu momentu obrotowego wg testu WLTP

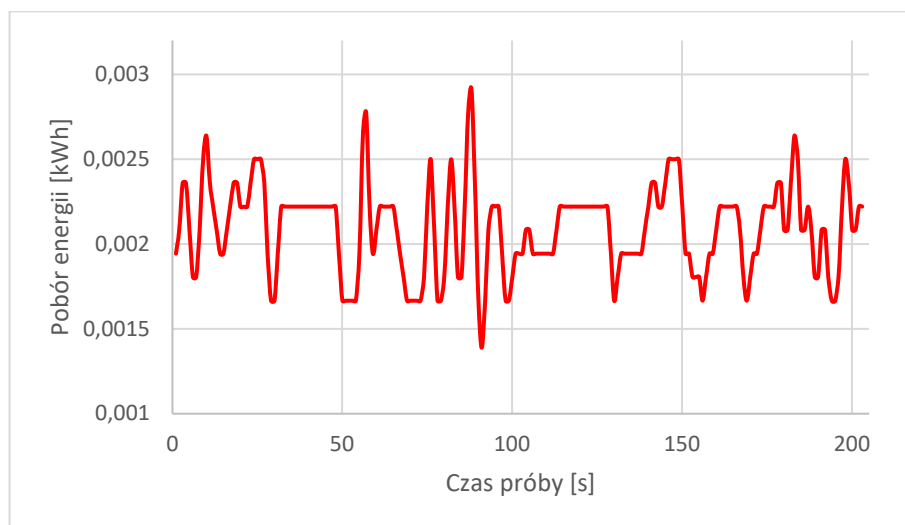
#### 4. Porównanie zużycia energii elektrycznej przy włączonych i wyłączonych odbiornikach prądu

W tym teście, pojazd został rozpędzony do prędkości 70 km/h a następnie prędkość ta była utrzymywana przez 200 sekund. Zmierzone i porównano zużycie energii elektrycznej najpierw dla przebiegu, w którym główne odbiorniki prądu tj. oświetlenie zewnętrzne, wentylatory, pozostawały wyłączone (rys. 9), a w drugiej kolejności po ich włączeniu (rys. 10). Następnie zestawiono oba pomiary (rys. 11).

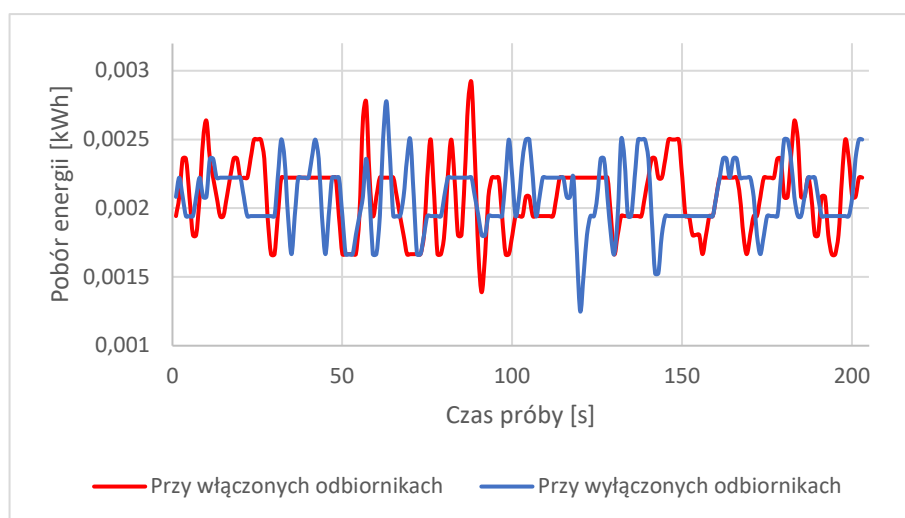


Rysunek 9. Wykorzystanie energii akumulatora przy wyłączonych odbiornikach





Rysunek 10. Wykorzystanie energii akumulatora przy włączonych odbiornikach

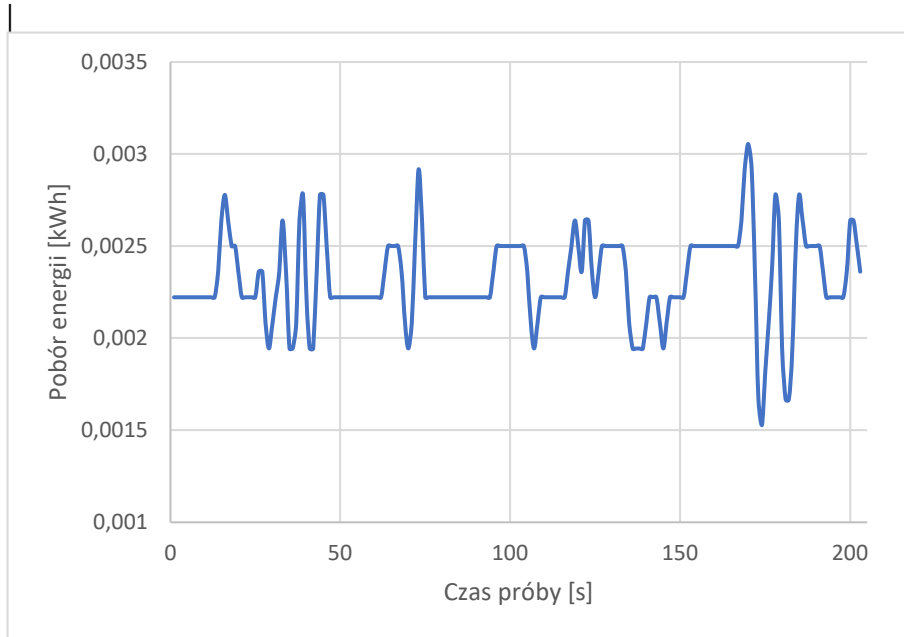


Rysunek 11. Wykorzystanie energii akumulatora przy wyłączonych oraz włączonych odbiornikach

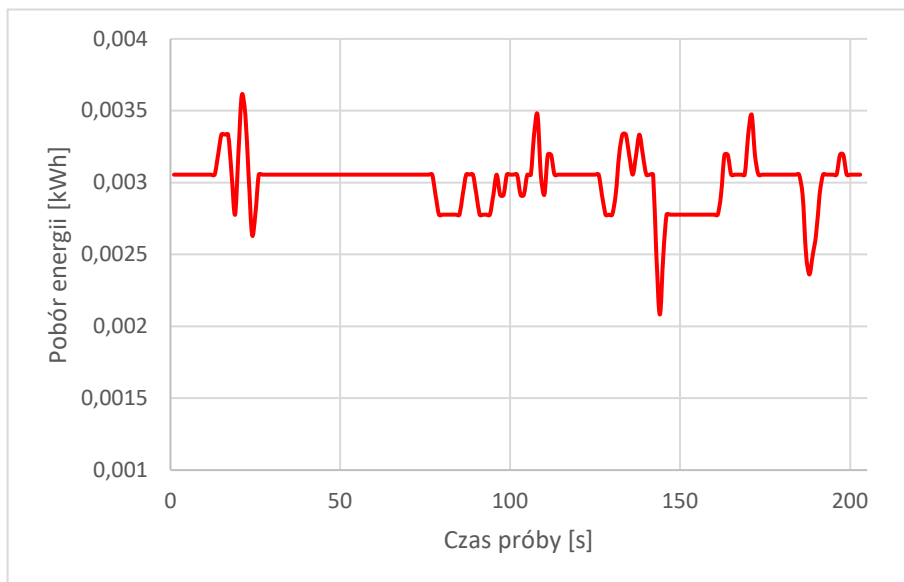
## 5. Porównanie zużycia energii elektrycznej przy chłodzeniu i nagrzewaniu kabiny pasażerskiej

Podobnie jak poprzednio, pojazd zastał rozpędzony do prędkości 70 km/h a następnie prędkość ta była utrzymywana przez 200 sekund. Zmierzone i porównano zużycie energii elektrycznej najpierw wymuszając chłodzenie wnętrza kabiny pasażerskiej do

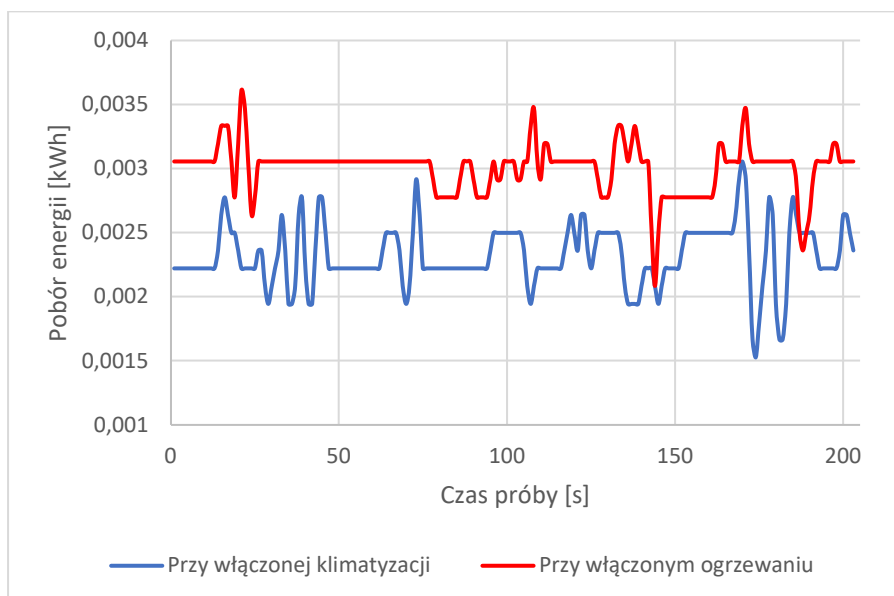
temperatury 17°C (rys. 12), a w drugiej kolejności jej ogrzanie do 35°C (rys. 13) Następnie zestawiono obydwie pomiary (rys. 14) Pozostałe główne odbiorniki prądu pozostały wyłączone. Test został przeprowadzony przy temperaturze zewnętrznej 20° C.



Rysunek 11. Wykorzystanie energii akumulatora przy włączonej klimatyzacji



Rysunek 12. Wykorzystanie energii akumulatora przy włączonym ogrzewaniu



Rysunek 13. Wykorzystanie energii akumulatora przy chłodzeniu i nagrzewaniu kabiny pasażerskiej

## 6. Omówienie wyników badań

Dynamiczny rozwój rynku pojazdów elektrycznych opiera się dziś głównie na dwóch fundamentach: ekologii - ważnej głównie z perspektywy ustawodawców, oraz ekonomii i funkcjonalności ich użytkowania - mającej znaczenie przede wszystkim dla ich potencjalnych nabywców. W obydwu przypadkach zużycie energii elektrycznej przez samochód elektryczny może być uznane za jeden z najważniejszych parametrów eksploatacyjnych. W Tabeli 1 zestawiono wybrane parametry samochodu Fiat 500 i pojazdu doświadczalnego Fiat 500e.

Tabela 1. Zestawienie wybranych parametrów samochodu Fiat 500 i Fiat 500e

Parametr	Fiat 500	Fiat 500e
Moc układu napędowego	50 kW	77 kW
Nagrzewnica	z układu chłodzenia silnika	<b>elektryczna 4 kW</b>
Reflektory przednie	H4 60/55 W	D1S 35 W
Lampy tylne	21/5 W	21/5 W
Wentylator kabiny pasażerskiej	150 W	150 W

Średnie zużycie energii elektrycznej w przypadku większości najczęściej kupowanych samochodów elektrycznych w pierwszym kwartale 2022 roku (rys. 3) utrzymuje się na porównywalnym poziomie (poza Audi e-tron, jednak jest to model klasy wyższej -przeznaczonej raczej dla innej grupy odbiorców, dla których inne czynniki, takie jak osiągi czy komfort mogą być ważniejsze od ekonomii ich użytkowania). Na zużycie energii elektrycznej, oprócz technologii wykorzystanych

w samochodzie, wpływają również czynniki takie jak technika jazdy i umiejętności kierowcy, czy używanie odbiorników wykorzystujących energię elektryczną. W części badawczej pracy porównano zużycie energii elektrycznej samochodu elektrycznego jadącego z ustaloną prędkością 70 km/h przez 200 sekund w następujących warunkach:

1. przy wyłączonych głównych odbiornikach prądu zużycie energii elektrycznej wyniosło 0,42 kWh,
2. przy włączonych głównych odbiornikach prądu zużycie energii elektrycznej wyniosło 0,43 kWh,
3. przy wymuszeniu chłodzenia wnętrza kabiny pasażerskiej z 20 do 17° C zużycie energii elektrycznej wyniosło 0,47 kWh,
4. przy wymuszeniu nagrzewania wnętrza kabiny pasażerskiej z 20 do 35° C zużycie energii elektrycznej wyniosło 0,61 kWh.

Pomiary zrealizowane w warunkach 1 i 2 nie wskazują na istotny wpływ wykorzystania podstawowych odbiorników prądu, takich jak oświetlenie pojazdu, czy nawiew powietrza do kabiny pasażerskiej. Pojazd przejechał dystans ok. 4 km, a moc odbiorników elektrycznych stanowi 0,3% mocy układu napędowego, tym samym, zasięg pojazdu zależy przede wszystkim od jego oporów ruchu. Odbiorniki mają pomijalnie mały wpływ na zużycie energii elektrycznej na przejechanym dystansie.

Pomiary zrealizowane w warunkach 3 i 4 wskazują na istotny wpływ wykorzystania nagrzewnicy elektrycznej na zużycie energii elektrycznej, a tym samym na zasięg pojazdu elektrycznego. Moc nagrzewnicy elektrycznej stanowi ok. 5% mocy układu napędowego badanego pojazdu. Włączenie układu klimatyzacji (celem obniżenia temperatury w kabinie pasażerskiej z 20° C do 17° C) nie spowodowało zauważalnego wzrostu poboru energii elektrycznej w analizowanych warunkach ruchu.

Pojazdy napędzane silnikami spalinowymi wykorzystują do nagrzewania kabiny pasażerskiej ciepło generowane przez silnik podczas jego pracy, wykorzystując wymuszony obieg czynnika chłodniczego przez nagrzewnicę kabiny pasażerskiej.

Nie wiąże się to z żadnymi stratami energii, poza tymi, które wynikają z oporów ruchu czynnika chłodniczego w nagrzewnicy i w przewodach do niej prowadzących. Te straty można jednak uznać za pomijalnie małe.

Natomiast w samochodach napędzanych silnikami elektrycznymi nagrzewnica jest osobnym urządzeniem elektrycznym, wykorzystującym energię zmagazynowaną w akumulatorze trakcyjnym.

## LITERATURA

1. DENTON T.: Electric and Hybrid Vehicles. Taylor & Francis Ltd 2022).
2. WILSON K. A.: The Electric Vehicle Revolution: The Past, Present, and Future of EVs. Motorbooks 2023.
3. JOHNSTON C., SOBEY E.: The Arrival of the Electric Car. SAE International 2023.
4. JURGEN R. K.: Electric and Hybrid-Electric Vehicles - Overviews and Viewpoints. SAE International 2010.
5. Raport PSPA Polish EV Outlook 2023: <https://polishevoutlook.pl/>.
6. Serwis internetowy:  
<https://elektrowoz.pl/auta/najchetniej-kupowane-samochody-elektryczne-w-polsce-w-2022-roku-1-tesla-model-3-2-ford-mustang-mach-e-3-kia/>.