

# Metoda badania i oceny konstrukcji małych samochodów elektrycznych

**Streszczenie.** Stosowane dotychczas metody badania i oceny szczególnie małych samochodów elektrycznych w oparciu o dokumenty normatywne i dane katalogowe parametrów nie zapewniają możliwości dokładnej oceny porównawczej. W artykule zaproponowano nową metodę punktowej oceny konstrukcji w oparciu o innowacyjne wskaźniki: energetyczny, mechaniki ruchu, dynamiki pojazdu, bezpieczeństwa i funkcjonalności nadwozia. Zostały wykorzystane doświadczenia zdobyte w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji (PIMOT) przy opracowywaniu systemu Bezpieczeństwa Użytkowania Samochodów Elektrycznych – BUSE. W opracowaniu porównano według zaproponowanej metody konstrukcje 8 pojazdów EV: RENAULT ZOE, FIAT 500, SMART, VOLKSWAGEN UP, MITSUBISHI i-MiEV, DACIA Spring, MELEX N.CAR i OPEL Astra BLE. Artykuł jest kontynuacją tematyki konstrukcji i oceny małych samochodów elektrycznych szczególnie ważnych w dziedzinie elektromobilności.

**Abstract.** The methods used so far to test and evaluate especially small electric cars based on normative documents and parameter catalog data do not provide the possibility of accurate comparative evaluation. The article proposes a new method of scoring the design based on innovative indicators: energy, motion mechanics, vehicle dynamics, safety and body functionality. The experience gained at the Automotive Industry Institute (PIMOT) in the development of the Electric Vehicle Safety System - BUSE - was used. The study compares, according to the proposed method, the designs of 8 EVs: RENAULT ZOE, FIAT 500, SMART, VOLKSWAGEN UP, MITSUBISHI i-MiEV, DACIA Spring, MELEX N.CAR and OPEL Astra BLE. The article continues on the topic of design and evaluation of small electric cars particularly important in the field of electromobility. (**Method of testing and evaluating the design of small electric cars**)

**Słowa kluczowe:** małe samochody elektryczne, badania samochodów elektrycznych, bezpieczeństwo pojazdów elektrycznych  
**Keywords:** small electric cars, electric car tests, electric vehicle safety

## 1. Wprowadzenie

Ochrona środowiska jak również prognozy wyczerpywania się światowych zasobów ropy naftowej obligują producentów pojazdów z silnikami spalinowymi do poszukiwania alternatywnych źródeł napędu. W tym kontekście postęp we wdrażaniu najnowszych technologii powoduje, że koncerny samochodowe rozwijają produkcję aut z napędem elektrycznym. Trudne warunki drogowe powodują, że kierowcy i pasażerowie pojazdów są narażeni na liczne zagrożenia, szczególnie ich zdrowia i życia. Spowodowało to konieczność podjęcie w PIMOT ważnego problemu Bezpieczeństwa Użytkowania Samochodów Elektrycznych (BUSE), w którym występują nowe dotychczas nierozpoznane zagadnienia. Dotychczas stosowane badania pojazdów EV na zgodność z Regulaminami lub Dyrektywami nie obejmują szeregu zagadnień, które zostały opracowane w trakcie wykonywania pracy a szczególnie wpływających na bezpieczeństwo i komfort jazdy.

Opracowany system BUSE jest rozszerzeniem dotychczas stosowanych metod badań pojazdów elektrycznych (EV) i ujmuje szereg nowych zagadnień dotychczas nie stosowanych i umożliwia ocenę porównawczą jakości różnych marek, typów i modeli pojazdów EV. W opracowaniu [22] przedstawiono wyniki badań grupy małych pojazdów elektrycznych, bo takie dotychczas najliczniej występują na rynku oraz są szczególnie predysponowane do ruchu miejskiego. Określenie mały samochód elektryczny nie jest w literaturze dokładnie określone. Przyjęto na potrzeby opracowania, że są to samochody o mocy silnika do 100 kW (136 KM), przewożące do 4 osób a ich dopuszczalna masa całkowita (DMC) nie przekracza 2000 kg łącznie z akumulatorami.

System BUSE obejmuje koncepcję trzystopniowej oceny i badań:

1° - BUSE 1 uwzględnia wymagania dotyczące: drgań mechanicznych nadwozia, hałasu wewnętrznego, kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) i ochrony przeciwporażeniowej,

2° - BUSE 2 stanowi rozszerzoną wersję w stosunku do BUSE 1 o wymagania dotyczące wyposażenia bezpieczeństwa pojazdu. W ocenie wg BUSE 2

wprowadzono tzw. współczynnik systemów bezpieczeństwa uwzględniający wyposażenie pojazdów EV w systemy samochodowe bezpieczeństwa (SSB) i postęp techniczny, 3° - Klasa BUSE obejmuje 5 klas i może być przyznawana na podstawie oceny BUSE 2 dla danego typu pojazdu EV i jego różnych wersji wyposażenia oferowanego Klientom.

Artykuł jest kontynuacją tematyki oceny małych samochodów elektrycznych i obejmuje nowe zagadnienia związane z konstrukcją tych pojazdów.

## 2. Założenia Systemu Oceny Konstrukcji

Rozpowszechnianie samochodów elektrycznych zwłaszcza mniejszych (duże są bardzo drogie) jest potrzebne w dużych aglomeracjach miejskich. Temu kierunkowi ma sprzyjać przyjęta w Polsce Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. [16]

Dotychczas najbardziej rozpowszechnionymi są następujące dokumenty normatywne:

- Regulaminy Europejskiej Komisji Gospodarczej EKG ONZ (UN ECE) a szczególnie regulaminy: 10, 83 i 100,
- normy ISO i EN STS, w tym ISO 26262
- testy NCAP.

Stosowane dotychczas metody oceny małych samochodów elektrycznych w oparciu o wyżej wymienione i inne dokumenty normatywne nie zapewniają możliwości dokładnej oceny porównawczej tych pojazdów. W artykule zaproponowano ocenę metodą punktową konstrukcji małych samochodów elektrycznych w oparciu o dotychczasowe wyniki i nowe dotychczas nigdzie nie publikowane.

Do oceny proponuje się następujące parametry: wskaźnik energetyczny, współczynnik mechaniki ruchu, wskaźnik dynamiki konstrukcji, wskaźnik systemów bezpieczeństwa oraz wskaźnik funkcjonalności nadwozia.

Opracowane kryteria mogą być wykorzystane w pracach badawczych dotyczących samochodów elektrycznych, przy produkcji pojazdów i komponentów oraz przy wyborze pojazdów szczególnie przez firmy transportowe. Wdrożenie opracowanych kryteriów oceny powinno przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa ruchu drogowego przez

ograniczenie zagrożeń stwierdzonych w badaniach. W dalszych pracach celowe byłoby opracowanie oceny konstrukcji dla samochodów hybrydowych HEV i PHEV stanowiących już znaczący segment rynku, obecnie znacznie przewyższających grupę pojazdów BEV.

### 3. Proponowane wskaźniki oceny punktowej i maksymalna liczba punktów:

Tabela 1.

Wskaźnik oceny	Maksymalna liczba punktów
3.1. wskaźnik energetyczny	10
3.2. współczynnik mechaniki ruchu	10
3.3. wskaźnik dynamiki pojazdu	10
3.4. wskaźnik systemów bezpieczeństwa	10
3.5. wskaźnik funkcjonalności nadwozia	10
Razem	50 pkt.

Łączna maksymalna liczba punktów dla pojazdu „idealnego” może wynieść 50 punktów.

Do porównań konstrukcji wybrano 8 pojazdów:

- RENAULT ZOE, FIAT 500, SMART, VOLKSWAGEN Up  
- MITSUBISHI i-MiEV, DACIA Spring, MELEX N.Car, - OPEL Astra BLE \*

Cztery z nich oznaczone \* miało już ocenę BUSE publikowaną w Przeglądzie Elektrotechnicznym nr 10/2020. Widok ogólny przedstawiają fotografie (Rys. 1 .... 8).

Ogólny wskaźnik oceny punktowej konstrukcji małego pojazdu elektrycznego oblicza się ze wzoru:]

$$(1) \quad W_p = W_e + W_x + W_d + W_b + W_n \text{ [pkt]}$$

gdzie:  $W_e$  - wskaźnik energetyczny,  $W_x$  - współczynnik mechaniki ruchu,  $W_d$  - wskaźnik dynamiki pojazdu,  $W_b$  - wskaźnik systemów bezpieczeństwa,  $W_n$  - wskaźnik funkcjonalności nadwozia

### 4. Ocena wskaźnika energetycznego

Wskaźnik energetyczny pojazdów samochodowych zwłaszcza elektrycznych i hybrydowych umożliwia przejrzystą ocenę i porównanie tego samego rodzaju pojazdu. Wskaźnik ten zawiera syntetyczne zestawienie najważniejszych parametrów energetycznych pojazdu takich jak jego zużycie energii na 100 km, całkowitą energię w zasobnikach, straty energii, własną masę pojazdu, masę zasobników oraz masę użytkową. Wskaźnik energetyczny według patentu [20] oblicza się ze wzoru:

$$(2) \quad W_e = R_p \frac{E_{100} * \sum m_z}{(E_c - \Delta E) * (m_w + m_u)} e^x$$

w którym oznaczono:  $W_e$  - wskaźnik energetyczny pojazdu (bezwymiarowy),  $R_p$ - stała zależna od rodzaju pojazdu,  $E_{100}$ - zużycie energii [kWh/100 km ],  $E_c$  - energia całkowita w zasobnikach energii [kWh],



Rys. 1. RENAULT ZOE



Rys. 2. FIAT 500



Rys. 3. SMART



Rys. 4. VOLKSWAGEN Up



Rys. 5. MITSUBISHI i-MiEV



Rys. 6. DACIA Spring



Rys. 7. MELEX N.CAR



Rys. 8. OPEL ASTRA BLE

Po przyjęciu stałych  $R_p = 100$  i  $e^0 = 1$  wzór (2) ma prostszą postać do obliczeń:

$$(3) \quad W_{eu} = 100 \frac{E_{100} * \sum m_z}{(E_c - \Delta E) * (m_w + m_u)}$$

$m_w$ - masa własna pojazdu [kg],  $m_u$ - masa użytkowa pojazdu [kg],  $\sum m_z = (m_1 + m_2 + \dots + m_n)$  - masa całkowita w zasobnikach energii [kg],  $e^x$ - funkcja nieliniowości wskaźnika.

Tabela 2.

Marka i typ pojazdu	Wskaźnik energetyczny	Miejsce zajęte w ocenie
RENAULT ZOE	9,9	2
FIAT 500	8,3	1
SMART	10,1	3
VOLKSWAGEN UP	16,3	6
MITSUBISHI i-MiEV	12,6	5
DACIA Spring	11,0	4
MELEX N.CAR	27,7	7
OPEL Astra BLE	33,0	8

Tabela 3.

Wartości liczbowe $W_e$	Punktacja do oceny [pkt.]
> 30 ... 50	0,5 ... 2
> 20 ... 30	2 ... 4
> 15 ... 20	4 ... 6
> 10 ... 15	6 ... 8
< 10	8 ... 10

Porównuje się otrzymane wartości liczbowe obliczonych wskaźników energetycznych dla sprawdzanych pojazdów. Im mniejsze wartości tym pojazd lepszy. Dla samochodów osobowych M1 i ciężarowych N1 (do 3,5 t DMC) przypisuje się rozpiętość wartości liczbowej  $W_e$  od 1 do 35.

Wskaźnik  $W_e$  umożliwia również proste obliczenie zasięgu pojazdu, parametru bardzo ważnego dla użytkownika szczególnie pojazdu elektrycznego [20].

Wyniki obliczeń wskaźnika energetycznego z zależności (3) dla ocenianych pojazdów EV przedstawia tabela 2.

Proponowane wartości wskaźnika energetycznego do oceny punktowej przedstawiono w tabeli 3.

## 5. Współczynnik mechaniki ruchu

Dotychczas jednym z bardziej prostych sposobów porównania własności ruchowych pojazdu było określenie siły napędowej na kołach. Porównanie sił napędowych nie daje jednoznacznej odpowiedzi jak dany pojazd zachowuje się w porównaniu z innymi, bo może mieć te same wartości zarówno dla małych i dużych wartości parametrów  $N$  i  $V$ .

Obecnie najczęściej stosowanym w katalogach wskaźnikiem oceny dynamicznej pojazdu jest przyspieszenie podawane jako czas rozpędzania od 0 km/h do np. 100 km/h.

Do określenia oporów powietrza stosowano i stosuje się tzw. współczynnik oporów powietrza  $c_x$  zwany też współczynnikiem kształtu, którego wyznaczenie wymaga stosowania kosztownych badań modeli nadwozia np. w tunelach aerodynamicznych lub kompletnych pojazdów na poligonach pomiarowych. Dane dotyczące  $c_x$  są trudno dostępne.

Do określenia wszystkich oporów ruchu pojazdu samochodowego (powietrza, mechanizmów napędu, toczenia) można zastosować współczynnik mechaniki ruchu  $m_x$  określony z zależności podanej w opisie patentowym PIMOT nr PL237481 [19]. W artykule proponuje się obliczanie współczynnika  $m_x$  według zmodyfikowanego wzoru:

$$(4) \quad m_x = \frac{F - 1}{k_v} + L$$

gdzie:  $F = \frac{N}{V}$  - wskaźnik siły napędowej,  $k_v = \frac{100}{V}$  - stała prędkościowa,  $L$  - wskaźnik kategorii homologacyjnej pojazdu (1 dla kategorii M1 i N1, 1,5 dla kat., M2 i N2 oraz 2 dla kat., M3 i N3),  $N$  - moc maksymalna silnika [KM] lub 1,36 P [kW],  $V$  - prędkość maksymalna pojazdu [km/h]

Przyjmuje się minimalną wartość współczynnika  $m_x = 0,1$  dla samochodów osobowych. Parametry samochodów osobowych z uwzględnieniem współczynnika mechaniki ruchu  $m_x$  podano w tabeli 4. Są to pojazdy opracowane w latach 1925 ... 2015.

Współczynnik mechaniki ruchu  $m_x$  określa również ekologię i ekonomię konstrukcji pojazdu samochodowego. Im mniejsza jest jego wartość tym pojazd zużywa mniej paliwa, bo maleją jego opory ruchu. Znając wartość współczynnika  $m_x$  dla danego pojazdu można szacunkowo obliczyć średnie zużycie paliwa na 100 km z zależności:

$$(5) \quad Q_1 = Q_0(2m_x + 1)$$

lub

$$(6) \quad Q_2 = Q_0(m_x + 1,25)$$

przy czym:  $Q_0$  - bazowe zużycie paliwa [l/100 km],  $Q_1$  - zużycie paliwa dla pojazdów -  $m_x \leq 0,25$ ,  $Q_2$  - zużycie paliwa dla pojazdów -  $m_x > 0,25$

Zależność (5) stosuje się dla współczynnika  $m_x \leq 0,25$  natomiast zależność (6) stosuje się dla współczynnika  $m_x > 0,25$ .

W opracowaniu ustalono na podstawie analizy wartości zużycia paliwa dla samochodów osobowych (aktualnie produkowanych i innych opracowanych w tym stuleciu) tzw. wartość zużycia paliwa początkowego  $Q_0$  (bazowego). Przyjęto dla silników benzynowych  $Q_0 = 5$  l/100km, dla silników wysokoprężnych i napędów hybrydowych  $Q_0 = 4$  l/100km. Zostało zaproponowane analityczne szacunkowe ustalenie zużycia paliwa  $Q_x$  w oparciu o współczynnik mechaniki ruchu  $m_x$ . Przebieg zależności  $Q_x = f(m_x)$  przedstawia wykres na rys. 9. Przebiegi te mają kształt linii składającej się z dwu odcinków prostych.

Tabela 4. Parametry samochodów osobowych z uwzględnieniem współczynnika mechaniki ruchu  $m_x$ 

Marka	Model, typ	Pojemność skokowa [l]	Moc katalogowa [KM]	Prędkość maks. [km/h]	Masa własna [kg]	Wskaźnik mocy jedn. [KM/t]	Współczynnik mechaniki ruchu $m_x$	Rok oprac. prototypu	
<b>Samochody w latach 1925 ... 1937</b>									
PZInż.	CWS T1		2,98	61	105	1680	36,3	0,56	1925
PZInż.	POLSKI FIAT 524		2,51	55	95	1400	39,3	0,60	1931
PZInż.	POLSKI FIAT 508		0,99	24	95	760	31,6	0,29	1932
PZInż.	LUX SPORT (prototyp)		3,88	100	135	1800	55,5	0,65	1935
PZInż.	POLSKI FIAT 518 Mazur		1,94	45	110	1070	42,1	0,35	1937
PZInż.	POLSKI FIAT 518 Łazik		1,94	45	95	1100	40,9	0,50	1937
<b>Samochody w latach 1951 ... 1979</b>									
FSO	WARSZAWA, M20		2,12	50	105	1350	37,0	0,45	1951
FSO	SYRENA 100 (prototyp)		0,74	27	100	950	28,4	0,27	1953
BKPMot	SMYK (prototyp)		0,34	15	70	470	31,9	0,45	1957
FSO	SYRENA, 101 ... 103		0,75	27	102	900	30,0	0,25	1960
FSO	SYRENA SPORT (prototyp)		0,70	35	120	710	49,3	0,15	1960
BKPMot	BETA (prototyp)		0,97	45,6	110	710	64,2	0,36	1962
FSO	WARSZAWA, 223		2,12	70	130	1250	56,0	0,40	1964
FSO	SYRENA 110 (prototyp)		0,84	40	120	770	51,9	0,20	1966
FSO/FSM	SYRENA 104, 105		0,84	40	120	850	47,0	0,20	1966
FSO	POLSKI FIAT, 125p		1,5	70	155	970	72,2	0,15	1967
FSM	POLSKI FIAT, 126p		0,59	23	105	580	39,6	0,18	1972
BOSMAL	SYRANA BOSTO		0,84	40	100	950	42,1	0,40	1975
FSO	POLONEZ, 1500		1,3	75	150	1115	63,1	0,25	1976
PIMOT	FIAT 126 pw (prototyp)		0,59	23,8	106	603	39,5	0,18	1977
<b>Samochody od roku 1980</b>									
FSM	Panda		0,65	30	115	650	46,1	0,15	1980
PIMOT	ANALOG 1,2 L (prototyp)		1,20	60	140	900	66,7	0,20	1980
BOSMAL	BESKID (prototyp)		0,59	28	120	630	47,6	0,10	1983
FSO	WARS, 1,3 (prototyp)		1,1	54	140	780	69,2	0,15	1985
FSM	CINQUECENTO		0,70	30	118	675	44,4	0,12	1991
BOSMAL	BOSMAL CABRIO		0,70	25	100	690	36,2	0,25	1991
FSM	SEICENTO		0,90	39	125	720	54,1	0,14	1997
PIMOT	POLONEZ Truk Duo (prototyp)		0,89	41 + 10	100	1730	23,7	0,41	2000
FSO	LANOS		1,3	106	170	1011	104,9	0,36	2004
FSM	FIAT, 500		0,90	80	160	865	92,5	0,20	2007
AMZ-PIMOT	SYRENKA S201 RETRO		1,39	89	154	910	97,8	0,35	2014
AMZ-PIMOT	SYRENKA RETRO-EV		-	57	125	1250	45,6	0,32	2015

Przykładowe wartości zużycia paliwa dla 5 samochodów osobowych z silnikami benzynowymi przedstawiono w formie graficznej na rys. 10. Na tym rysunku przedstawiono zużycie paliwa w cyklu mieszanym WLTP oznaczone  $Q_m$ , wyniki badań czasopisma „Auto Świat” oznaczone jako  $Q_t$  oraz szacunkowe zużycie paliwa wg  $m_x$  oznaczone jako  $Q_x$ . Przedstawione wyniki na tym rysunku obrazują dużą zbieżność  $Q_t$  i  $Q_x$  i możliwość wykorzystania współczynnika mechaniki ruchu  $m_x$  do ustalenia w sposób prosty szacunkowego zużycia paliwa samochodów osobowych. Proponowane do oceny punktowej wartości współczynnika mechaniki ruchu podano w tabeli 5.

Tabela 5. Proponowane wartości współczynnika mechaniki ruchu do oceny punktowej

Wartości liczbowe $m_x$	Punktacja do oceny [Wx]
< 0,1	10
0,1 ... 0,15	9
0,15 ... 0,25	8
0,25 ... 0,35	7
0,35 ... 0,45	6
0,45 ... 0,55	5
0,55 ... 0,65	4
0,65 ... 0,75	3
0,75 ... 1,0	2
> 1	1

## 6. Dynamika ruchu pojazdu

Do porównania konstrukcji samochodów osobowych wg tabeli 4 przyjęto również wskaźnik mocy jednostkowej z zależności:

$$(7) \quad q = \frac{N}{T}$$

gdzie:  $N$  – moc maksymalna silnika jak w zależności (4),  $T$  – masa własna pojazdu [tony]

Dla pełnej oceny porównawczej (punktowej) konstrukcji danego pojazdu proponuje się obliczenie współczynnika dynamiki konstrukcji z zależności:

$$(8) \quad K_d = \frac{0,1 q}{m_x + 1} \quad [pkt]$$

gdzie:  $q$  – jak w zależności (7),  $m_x$  – jak w zależności (4)

Dla małych samochodów elektrycznych EV rozpatrywanych w artykule przyjmuje się wskaźnik dynamiki pojazdu z zależności:

$$(9) \quad W_d = \frac{0,135 q}{m_e + 1} \quad [pkt]$$

przy czym:  $q = \frac{P}{T}$  – wskaźnika mocy jednostkowej EV,

$m_e = \frac{P-V}{100} + 1$  – współczynnik mechaniki ruchu EV, 0,135 – stała przeliczenia jednostek,  $P$  – moc silnika [kW],  $T$  – masa własna pojazdu [tony]



W zależności od wartości liczbowej współczynnik dynamiki konstrukcji określa się w czterech grupach od najniższej: A (0,5 ... 2,5), B (2,5 ... 5,0), C (5,0 ... 7,5), D (7,5 ... 10,0). Wyniki obliczeń współczynnika  $K_d$  przedstawiono w tabeli 6 w kolejności konstrukcji dla pojazdów zestawionych w tabeli 4 o najmniejszym współczynniku  $m_x$  do 0,25.

Tabela 6. Wartości współczynnika dynamiki konstrukcji  $K_d$  wybranych samochodów osobowych

Marka	Model, typ	Wartość $K_d$ [pkt]	Grupa konstrukcyjna
FIAT	500	7,7	D
FSO	125p	6,3	C
FSO	WARS	6,0	C
PIMOT	ANALOG	5,6	C
FSO	POLONEZ	5,1	B
FSO	SYRENA	4,3	B
BOSMAL	BESKID	4,3	B
FSM	PANDA	4,0	B
FSM	126p	3,4	B
FSO	SYRENA	2,4	A

### 7. Wskaźnik systemów bezpieczeństwa

Zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego, jakie towarzyszą motoryzacji, stymulują rozwój układów podnoszących bezpieczeństwo czynne (przedwypadkowe) i bierne (powypadkowe) samochodów i ich użytkowników. Sprzyja temu rozwój techniki, a zwłaszcza osiągnięcia w dziedzinie czujników wielkości mechanicznych, radarów, lidarów, kamer cyfrowych, systemów pozycjonowania opartych na GPS (Global Positioning System), systemów radiowej transmisji danych (zwłaszcza GSM – Global System for Mobile Communication), przetworników sygnałów, mikroprocesorów i komputerów z oprogramowaniem do przetwarzania danych w czasie rzeczywistym, sieci transmisji danych (zwłaszcza sieci lokalnej CAN – Control Area Network), a także precyzyjnie działających serwo mechanizmów i innych urządzeń wykonawczych. Na bazie wymienionych tu elementów opracowano szereg układów i systemów mechatronicznych realizujących wycinkowe zadania monitoringu i sterowania automatycznego w pojeździe [22].

Spośród wielu układów, zespołów, urządzeń i modułów tworzących Samochodowy System Bezpieczeństwa (SSB) do oceny wybrano 10 pozycji przedstawionych w tabeli poniżej. Pozycja 10 obejmuje „inne”, co oznacza, że może tam być uwzględnione dodatkowo wyposażenie zainstalowane w pojeździe przedstawionym do badań, ale mające znaczny wpływ na poprawę bezpieczeństwa użytkownika. Dla tej części oceny BUSE przyjmuje się punktację dla każdej pozycji S1, S2, ..... S10, od 0 do 10 pkt., co daje łącznie maksymalną liczbę punktów 100. Przy ocenie zintegrowanej BUSE otrzymane punkty przelicza się na odpowiedni współczynnik systemów bezpieczeństwa  $B_x$  powiększający całkowitą ocenę.

Tabela 7.

Symbol wyposażenia	Opis układu lub zespołu	Oznaczenia producentów	Liczba punktów
S1	Pasy bezpieczeństwa i napinacze	SRS	0 ÷ 10
S2	Poduszki bezpieczeństwa „airbagi”	różne	0 ÷ 10
S3	Układ hamulcowy przeciwblokujący i przeciwpoślizgowy	ABS, ASR, EBO, EBS	0 ÷ 10

Symbol wyposażenia	Opis układu lub zespołu	Oznaczenia producentów	Liczba punktów
		i inne	
S4	Stabilizacja toru jazdy	ESP	0 ÷ 10
S5	Aktywny tempomat	ACC	0 ÷ 10
S6	Automatyczne hamowanie i rozpoznawanie przeszkód	różne	0 ÷ 10
S7	Kontrola: pasa ruchu i zmęczenia kierowcy	różne	0 ÷ 10
S8	Widoczność i oświetlenie	różne	0 ÷ 10
S9	Monitorowanie zdarzeń drogowych	e-call	0 ÷ 10
S10	Inne	różne	0 ÷ 10
Razem max. punktów			100

Tabela 7 może być jeszcze rozszerzona o inne urządzenia mające znaczący wpływ na bezpieczeństwo użytkownika. Wtedy ogólna liczba punktów ulegnie zwiększeniu, ale w ocenie należy zamieścić tabelę po modyfikacji.

Wskaźnik systemów bezpieczeństwa oblicza się z podanej w artykule [22] zależności:

$$(10) \quad B_x = \frac{\sum_{i=1}^{i=l} S_i}{l_p}$$

gdzie:  $\sum_{i=1}^{i=10} S_i$  - liczba rzeczywiście uzyskanych punktów

oceny,  $l_p = m$ , aksymalna liczba punktów oceny.

Po przyjęciu wg tabeli 6

$$l_p = 10 \times 10 = 100$$

oraz zapisie:

$$(11) \quad \sum_{i=1}^{i=l} S_i = S_1 + S_2 + \dots + S_{10}$$

wzór (10) zapiszemy w postaci dogodnej do obliczeń:

$$(12) \quad B_x = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_{10}}{100}$$

Każdy zainstalowany w pojeździe układ lub zespół (oznaczony w tabeli 7, jako S1, S2, ..... , S10) otrzymuje w wyniku oceny punktację  $s_1, s_2, \dots, s_{10}$ . Suma tych punktów wstawiona do zależności (12) pozwala na obliczenie współczynnika  $B_x$ .

Do obliczeń oceny punktowej przyjmuje się wskaźnik systemu bezpieczeństwa:

$$(13) \quad W_b = 10B_x \text{ [pkt]}$$

### 8. Wskaźnik funkcjonalności nadwozia

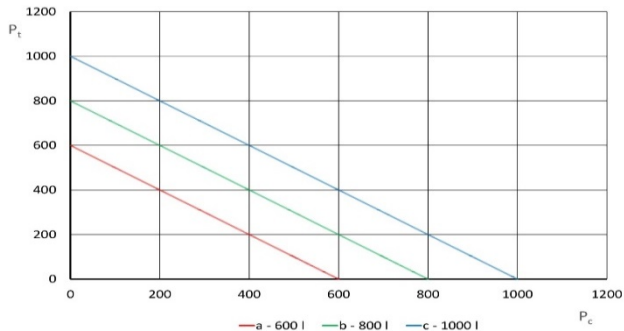
Wskaźnik ten określa przystosowanie pojazdu do codziennej eksploatacji przy przewozie pasażerów i drobnych ładunków. Istnieje szereg czynników wpływających na funkcjonalność nadwozia pojazdu samochodowego. Dla rozpatrywanych małych pojazdów elektrycznych proponuje się do oceny punktowej funkcjonalności nadwozia przyjąć sumy trzech następujących czynników: rodzaj nadwozia ( $R_n$ ), miejsce kierowcy ( $M_k$ ) i przestrzeń pasażerską ( $P_p$ ), co wyraża zależność:

$$(14) \quad W_n = R_n + M_k + P_p$$

Zakres i opis punktacji ww. czynników:  $R_n$ ,  $M_k$  i  $P_p$  przedstawiono w tabeli 8.

Rodzaj nadwozia określa się w zależności od dostępu do wnętrza pojazdu w zależności od liczby drzwi.

Miejsce kierowcy uwzględnia w pierwszym rzędzie komfort jazdy kierowcy na który wpływają m.in. czynniki jak hałas wewnątrz, zawieszenie (twarde, średnie miękkie), wyposażenie w klimatyzację i systemy teleinformatyczne. Do oceny miejsca kierowcy przyjęto 3 rodzaje pojazdów wg kategorii segmentów rynkowych: małe (A i B), kompaktowe (C) oraz SUV.



Rys. 9. Przebieg zależności  $P_t = f(P_c)$  przy  $P_c = \text{const}$

Dodatkowym czynnikiem oceny funkcjonalności nadwozia jest przestrzeń dla pasażerów w drugim rzędzie siedzeń. Do tej orientacyjnej oceny przyjmuje się pojemność bagażową w przestrzeni od dachu do podłogi bagażnika i złożonych oparć tylnych siedzeń odjętą od pojemności bagażnika. Przestrzeń pozostałą oblicza się z zależności:

$$(15) \quad P_t \approx P_c - P_b$$

gdzie:  $P_t$  – przestrzeń pozostała zmierzona w litrach [l] lub metrach sześciennych [m<sup>3</sup>],  $P_c$  – pojemność całkowita bagażnika objaśniona wyżej w opisie, jednostki jak dla  $P_t$ ,  $P_b$  – pojemność bagażnika wg VDA, jednostki jak dla  $P_t$ .

Graficzny przebieg zależności  $P_t = f(P_c)$  przedstawiono na rys. 9.

Najwyższy wskaźnika przestrzeni pasażerskiej dla ocenianych pojazdów uzyskał Opel Astra BLE:

$$P_t = 1630 - 330 - 360 = 940$$

W tym obliczeniu uzyskano zmniejszenie  $P_c$  o 330 litry (akumulatory), gdyż pojazd jest po konwersji na EV.

$$(16) \quad P_p = 2 * P_t \quad [\text{pkt}]$$

w której  $P_t$  w m<sup>3</sup>

Do oceny punktowej przyjęto zależność:

Wyniki obliczeń oceny punktowej przestrzenności dla pasażerów w drugim rzędzie siedzeń są następujące: Renault ZOE 1,78, Fiat 500 0,72, VW UP 1,42, Mitsubishi i-MiEV 1,21, Dacia Spring 0,66, Opel Astra BLE 1,88.

Dla pojazdów Smart i Melex obliczeń nie przeprowadzono ponieważ nie mają one drugiego rzędu siedzeń.

Wyniki obliczeń oceny punktowej funkcjonalności nadwozia przedstawia tabela 10.

Tabela 8. Dane do oceny punktowej funkcjonalności nadwozia

Zakres punktacji	Rodzaj nadwozia ( $R_n$ )	Miejsce kierowcy ( $M_k$ )	Przestrzeń pasażerska ( $P_p$ )
		(2,0 – 4,0) pkt	(1,0 – 3,0) pkt
Opis czynników:  $R_n$ $M_k$ $P_p$	1 drzwi 2 pkt 2 drzwi 2,5 pkt	Pojazdy małe (A, B): 1,0 – 1,5 pkt	$P_t = P_c - P_b$
	3 drzwi 3 pkt 4 drzwi 3,5 pkt	Pojazdy kompaktowe (C): 1,0 - 2,0 pkt	
	5 drzwi 4 pkt	Pojazdy SUV: 2,0 - 3,0 pkt	$P_p = 2 * P_t$ [pkt]

Tabela 9. Dane techniczne pojazdów EV do oceny porównawczej

Parametr	RENAULT ZOE	FIAT 500	SMART	VOLKSWAGEN UP	MITSUBISHI i-MiEV	DACIA Spring	MELEX N.CAR	OPEL Astra BLE
Rodzaj nadwozia:	Hatch.	Hatch.	Hatch.	Hatch.	Hatch.	SUV	Pic-up	Kombi
- liczba drzwi	5	3	3	5	5	5	2	5
- liczba miejsc	4	4	4	4	4	4	2	4
Masa własna [kg]	1470	1290	1010	1229	1110	970	748	1400
Masa całkowita [kg]	1965	1590	1320	1530	1450	1300	998	1710
Pojemność bagażnika [l]	335	185	220	250	256	290	300	360
Silnik elektryczny	AC	AC	AC	AC	AC	AC	DC	DC
- moc ciągła [kW]	68	87	60	60	49	33	4	14,1
- napięcie znamionowe [V]	400	360	230	374	330	250	48	72
Baterie akumulatorów:								
- energia [kWh]	22 / 41	37	17	36	16	27	5	18
- rodzaj	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	kwas.	kwas.
Prędkość maksymalna [km/h]	135	150	130	130	130	125	45	90
Zasięg [km]	240 / 400	313	160	160	150	230	50	ok. 100
Wymiary nadwozia:								
- długość [cm]	409	363	270	360	348	373	297	429
- szerokość [cm]	173	168	166	164	148	171	121	171
- wysokość [cm]	156	153	156	150	161	151	177	151

## 9. Wyniki oceny konstrukcji

W oparciu o przedstawione proponowane wskaźniki oceny punktowej przeprowadzono ocenę konstrukcji małych samochodów elektrycznych: RENAULT ZOE, FIAT 500,

SMART, VOLKSWAGEN UP, MITSUBISHI i-MiEV, DACIA Spring, MELEX N.CAR i OPEL Astra BLE (konwersja).

Wyniki oceny przedstawiono w formie porównania przyjmując podane parametry w danych technicznych tych

pojazdów zawartych w tabeli w oparciu o dane w katalogach [23] oraz informacjach uzyskanych od producentów [24]. Zestawienie wyników oceny konstrukcji małych samochodów przedstawiono w tabeli 11.

W opracowaniu wykorzystano część danych w publikowanych wcześniej w Przeglądzie Elektrotechnicznym materiałach [22].

Graficzne przedstawienie ogólnej oceny sprawdzonych pojazdów przedstawia rys. 12. Proponowana w artykule metoda oceny punktowej małych EV pojazdów może być zastosowana również do innych pojazdów samochodowych EV przy zastosowaniu różnych od 1 wartości wskaźnika L kategorii homologacyjnej we wzorze (4).

Tabela 10. Wskaźnik funkcjonalności nadwozia  $W_n$

Lp.	Pojazd	$R_n$	$M_k$	$P_p$	Suma
1	RENAULT ZOE	4	2	1,78	7,78
2	FIAT 500	3	1,5	0,72	5,22
3	SMART	3	1	-	4,00
4	VOLKSWAGEN UP	4	1,5	1,42	6,92
5	Mitsubishi i-MiEV	4	2	1,21	7,21
6	DACIA Spring	4	2	0,66	6,66
7	MELEX N.CAR	2,5	1,5	-	3,5
8	OPEL Astra BLE	4	1,5	1,9	7,4

Tabela 11. Ocena punktowa wybranych konstrukcji małych samochodów elektrycznych

Nazwa i typ pojazdu	Wskaźniki oceny punktowej [pkt]					Suma punktów
	Energetyczny $W_e$	Mechaniki ruchu $W_m$	Dynamiki $W_d$	Bezpieczeństwa $W_b$	Funkcjonalności nadwozia $W_f$	
RENAULT ZOE	8,9	7,5	4,7	4,5	7,8	32,9
FIAT 500	9,0	6	6,6	5,0	5,2	31,8
SMART	7,5	7,1	6,9	4,0	4,0	29,5
VOLKSWAGEN UP	5,0	7	5,1	4,4	6,9	28,7
MITSUBISHI i-MiEV	6,0	7	5,0	2,5	7,2	27,7
DACIA Spring	7,0	6	4,2	1,8	6,7	25,7
MELEX N.CAR	3,0	7	1,1	0,8	3,5	15,4
OPEL Astra BLE	1,5	7	1,1	1,1	7,4	18,1

## 10. Podsumowanie

Małe samochody elektryczne stanowią bardzo znaczący segment rynku wszystkich pojazdów elektrycznych. Omówione w artykule konstrukcje są bardzo popularne na rynku europejskim. Modele Renault i Fiat są w ścisłej czołówce rocznej liczby sprzedanych samochodów. Stosowane dotychczas metody oceny konstrukcji tych pojazdów nie zapewniają możliwości dokładnej oceny porównawczej.

W artykule zaproponowano nową metodę oceny punktowej w oparciu o innowacyjne wskaźniki: energetyczny, mechaniki ruchu, dynamiki pojazdu, bezpieczeństwa i funkcjonalności nadwozia. Uzyskane porównanie pokazuje jak bardzo dużo jest jeszcze do zrobienia w opracowaniu nowych bezpiecznych konstrukcji. Na podstawie wykonanych obliczeń pod względem wskaźnika energetycznego  $W_e$  najlepsze wyniki uzyskały pojazdy EV: Fiat 500 (9,0 pkt.) i Renault (8,9 pkt.). Pod względem współczynnika mechaniki ruchu  $W_m$  najlepsze wyniki uzyskały pojazdy EV: Renault (7,5 pkt.) i Smart (7,1). Pod względem dynamiki pojazdu  $W_d$  najlepsze wyniki uzyskały pojazdy EV: Smart (6,9 pkt.) i Fiat 500 (6,6 pkt.). Pod względem wskaźnika systemów bezpieczeństwa  $W_b$  najlepsze wyniki uzyskały pojazdy EV: Fiat 500 (5,0 pkt.) i Renault ZOE (4,5 pkt.). Pod względem funkcjonalności nadwozia najlepsze wyniki uzyskały pojazdy EV: Renault ZOE (7,8 pkt.) i Opel Astra BLE (7,4 pkt.). Niestety w wyniku analizy funkcjonalności nadwozia pod kątem przestrzeni dla pasażerów ciasne okazały się pojazdy Fiat i Dacia.

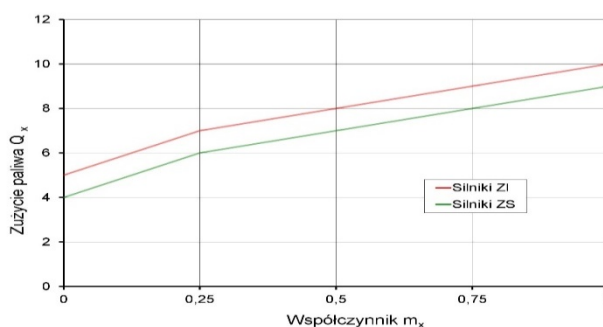
W ogólnej ocenie punktowej konstrukcji najlepsze wyniki uzyskały pojazdy EV: Renault ZOE (32,9 pkt.) i Fiat 500 (31,8 pkt.).

**Do oceny uproszczonej**, gdy mamy dane tylko parametry zawarte w dokumentach homologacyjnych (moc, prędkość, masa) **możemy obliczyć tylko współczynnik mechaniki ruchu  $m_x$  i współczynnik dynamiki pojazdu  $K_d$** . Tą metodą porównano inne pojazdy, których wyniki podano w tabelach 4 i 6.

Proponowana w artykule metoda oceny punktowej małych pojazdów może być zastosowana również do

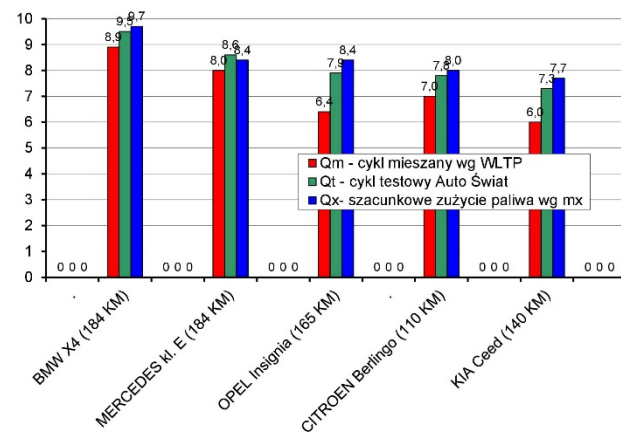
innych pojazdów samochodowych EV przy zastosowaniu różnych od 1 wartości wskaźnika L kategorii homologacyjnej we wzorze (4).

Artykuł może być wykorzystany przy analizie i wyborze konstrukcji pojazdu przez konstruktorów, użytkowników i szersze grono interesujących się elektromobilnością.

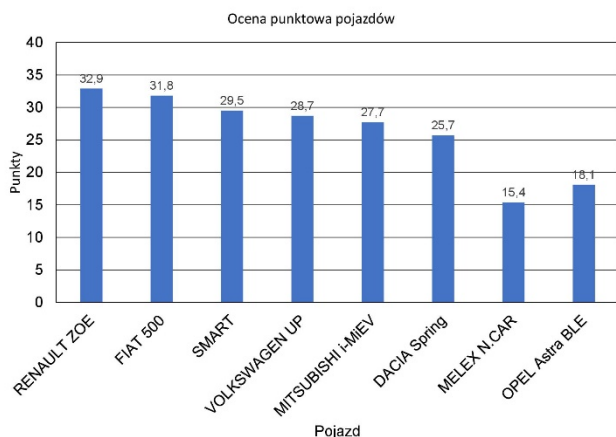


Rys. 10. Przebieg zależności zużycia paliwa  $Q_x = f(m_x)$  przy zużyciu początkowym

$Q_0 = 5$  l/100 km/h (silniki ZI) i  $Q_0 = 4$  l/100 km/h (silniki ZS lub hybrydowe)



Rys. 11. Przykładowe wartości zużycia paliwa dla 5-ciu samochodów osobowych z silnikami benzynowymi (ZI)



Rys. 12. Wyniki oceny punktowej sprawdzanych pojazdów EV

**Autor:** dr inż. Sławomir Łukjanow, prof. emer. PIMOT, Warszawa

#### LITERATURA

- [1] Arczyński S.: Mechanika ruchu samochodu. WNT Warszawa 1993.
- [2] Chłopek Z.: Pojazdy samochodowe. Ochrona środowiska naturalnego (Motor vehicles: Environmental protection). WKiŁ Warszawa 2002.
- [3] Evas S.; Evas J.: A cost comparison of fuel-cell and battery electric vehicles. *Journal of Power Sources* 130, 2004.
- [4] Hussein I.: Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals. 2003 (1 st issue), 2011 (2 nd issue).
- [5] KONMOT 2016, Scientific Conference on Automotive Vehicles and Combustion Engines (KONMOT 2016) IOP Publishing, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 148 (2016) 012058 doi:10.1088/1757-899X/148/1/012058.
- [6] Łukjanow S.; Kołodziejczak M.; Pijanowski, B.: Project of the evaluation and classification system of vehicles and automobile devices in aspect of electromagnetic compatibility. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 16, No. 1, 2009.
- [7] Łukjanow S.; Zieliński W.: Badania samochodu elektrycznego z silnikiem prądu stałego – OPEL Astra po konwersji na pojazd EV, *Wiadomości Elektrotechniczne*, nr 11 2017.
- [8] Merksiz J.; Pielecha I.: Alternatywne napędy pojazdów (Alternative vehicle drive systems). Poznań University of Technology 2006.
- [9] McCrone A.: Price of Electric Vehicle Batteries to Fall as Manufacturing Capacity Outstrips Demand. *Bloomberg New Energy Finance*, 14 September 2011.
- [10] Olszowiec P.: Gdy zabraknie prądu. Superkondensatory (When the power fails. Supercapacitors). *Energia Gigawat*, June 2002.
- [11] Opracowanie i badanie samochodowego systemu bezpieczeństwa w ramach struktury inteligentnego pojazdu (Developing and testing of a vehicle safety system within the intelligent vehicle structure). Research project No. N509 573 239 sponsored by the Ministry of Science and Higher Education, Project Manager: Bogusław Pijanowski, M. Eng., PIMOT 2010-2013.
- [12] Proceedings of the International Conference "Innowacyjne Rozwiązania w Przemśle Transportowym. Pojazdy CNG i Elektryczne (Innovative Solutions in the Transport Industry. CNG and Electric Vehicles). Warszawa, 8-9 November 2011.
- [13] UN ECE Regulation No. 10.
- [14] UN ECE Regulation No. 83.
- [15] UN ECE Regulation No. 100.
- [16] Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych. *Dz.U.* 2018, poz. 317.
- [17] Walter, F.: Going Green with Electric Vehicles. *Technology and Engineering Teacher*, November 2010.
- [18] Więckowski D.: Ocena drgań pionowych samochodu oddziałujących na dzieci posadowione w fotelikach (Evaluation of vertical car vibrations transmitted to children when riding in safety seats). *Wydawnictwo Naukowe PIMOT*, Warszawa 2013.
- [19] Pat. PL 237481 – Sposób sprawdzania i oceny współczynnika mechaniki ruchu pojazdów samochodowych szczególnie osobowych, twórca: Łukjanow S.
- [20] Pat. PL 223701 – Sposób sprawdzania wskaźnika energetycznego pojazdów samochodowych, zwłaszcza elektrycznych i hybrydowych, twórca: Łukjanow S.
- [21] Pat. PL 223882 – Sposób sprawdzania i oceny samochodowych systemów bezpieczeństwa, zwłaszcza do monitorowania zdarzeń drogowych, twórca: Łukjanow S.
- [22] Łukjanow S., Zieliński W. – Bezpieczeństwo użytkowania małych samochodów elektrycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, n1 10/2020.
- [23] KATALOG DER AUTOMOBIL REVUE / CATALOGUE DE LA REVUE AUTOMOBILE 2018, 2019, 2020, GENEVE.
- [24] Materiały informacyjne producentów pojazdów: DACIA, FIAT, MELEX, MITSUBISHI, OPEL, RENAULT, SMART, VOLKSWAGEN.
- [25] Łukjanow S., Piłatowicz R. – Łukasiewicz PIMOT 50 lat wsparcia branży motoryzacyjnej. *Wydawnictwo Naukowe Łukasiewicz*. Warszawa 2023. Monografia