

doi:10.15199/48.2020.10.13

Bezpieczeństwo użytkowania małych samochodów elektrycznych

Streszczenie. Stosowane dotychczas powszechnie samochody z silnikami spalinowymi o zapłonie iskrowym (ZI) i zapłonie samoczynnym (ZS) mimo coraz ostrzejszych norm emisji spalin stanowią szczególnie w ruchu miejskim ogromne zagrożenie dla środowiska a zwłaszcza mieszkańców. Udział motoryzacji w smogu szacuje się na ok. 20%. W Polsce sytuację pogarsza jeszcze fakt masowego importu używanych samochodów z których ponad 90% stanowią stare auta. Trudne warunki drogowe powodują, że kierowcy i pasażerowie pojazdów są narażeni na liczne zagrożenia, szczególnie ich zdrowia i życia. Spowodowało to konieczność podjęcia w PIMOT ważnego problemu Bezpieczeństwa Użytkowania Samochodów Elektrycznych (BUSE). W pracy przedstawiono założenia systemu BUSE oraz szczegóły wymagań technicznych do badań i oceny pojazdów EV, w oparciu o koncepcję prezentowaną przez autorów na konferencji KONMOT 2016. Przedstawiono również wyniki badań pojazdów i oceny BUSE sześciu małych samochodów elektrycznych: RENAULT ZOE, MITSUBISHI i-MiEV, SAM EV, MEGA E-CITY, MELEX N.CAR i OPEL Astra BLE. Wyniki badań przedstawionych pojazdów EV wykazują jak bardzo te pojazdy różnią się między sobą i jak dużo jeszcze jest do zrobienia dla poprawy bezpieczeństwa użytkowania. Opracowane kryteria i wyniki badań mogą być wykorzystane w pracach badawczych dotyczących samochodów elektrycznych, przy produkcji pojazdów i komponentów oraz przy dystrybucji.

Abstract. Cars used so far with spark-ignition (ZI) and compression-ignition (ZS) combustion engines, despite of increasingly stringent exhaust emission standards, they pose a particularly serious threat to the environment and especially to residents in urban traffic. The share of automotive in smog is estimated at around 20%. In Poland, the situation is aggravated by the mass import of used cars, of which over 90% are old cars. Difficult road conditions mean that drivers and passengers of vehicles are exposed to numerous hazards, especially their health and life. This resulted in the need for PIMOT to address the important problem of Safety of Electric Cars (BUSE). The paper presents the assumptions of the BUSE system and the details of technical requirements for testing and evaluation of EV vehicles, based on the KONMOT 2016 conference presented by the authors. The results of vehicle tests and BUSE evaluation of six small electric cars are also presented: RENAULT ZOE, MITSUBISHI i-MiEV, SAM EV, MEGA E-CITY, MELEX N.CAR and OPEL Astra BLE. Test results of the presented EV vehicles shows how much these vehicles differ from each other and how much more needs to be done to improve safety. The developed criteria and test results can be used in research work on electric cars, in the production of vehicles and components, and in distribution. **Safe use 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. Wstęp

Stosowane dotychczas powszechnie samochody z silnikami spalinowymi o zapłonie iskrowym (ZI) i zapłonie samoczynnym (ZS) mimo coraz ostrzejszych norm emisji spalin stanowią szczególnie w ruchu miejskim ogromne zagrożenie dla środowiska a zwłaszcza mieszkańców. Występuje zjawisko smogu szczególnie w Polsce, która pod względem tych zanieczyszczeń znajduje się na samym końcu krajów Unii Europejskiej. Udział motoryzacji w smogu szacuje się na ok. 20%. W Polsce sytuację pogarsza jeszcze fakt masowego importu używanych samochodów z których ponad 90% stanowią stare auta. W ubiegłym roku 2019 do Polski sprowadzono ponad milion samochodów a początki tego roku wskazują, że ten trend dalej będzie się utrzymywał.

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]

Względy ochrony 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 podjęcia w PIMOT ważnego problemu Bezpieczeństwa Użytkowania Samochodów Elektrycznych (BUSE), w którym występują nowe dotychczas nierozpoznane zagrożenia. 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. W artykule opublikowanym na Konferencji KONMOT 2016 [5], zorganizowanej przez Politechnikę Krakowską, autorzy przedstawili trzystopniową koncepcję badań i oceny BUSE.

2. Założenia Systemu BUSE w badaniach i ocenie pojazdów elektrycznych

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,
- testy NCAP.

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 niniejszym opracowaniu 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.

Najważniejszym aspektem zastosowania systemu BUSE powinno być zwiększenie bezpieczeństwa przez wskazanie na lepsze pojazdy EV pod względem BUSE.

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 BUSE powinno przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa ruchu drogowego przez ograniczenie zagrożeń stwierdzonych w badaniach. W dalszych pracach celowe byłoby opracowanie oceny BUSE dla samochodów hybrydowych stanowiących już znaczący segment rynku.

3. Ogólne kryteria oceny BUSE

1°. Ocena BUSE 1. Do oceny BUSE 1 wykorzystuje się wyniki badań przeprowadzonych na zgodność z wymaganiami szczegółowymi zawartymi w p. 4 niniejszego opracowania. Wyniki oceny uzyskuje się przez obliczanie „wskaźnika zintegrowanego” oceny BUSE na podstawie wzoru na średnią ważoną podanego niżej. Dla czterech uwzględnionych wskaźników parametrów wzór ten przyjmuje postać:

$$(1) \quad W_{B1} = \frac{W_1 * u_1 + W_2 * u_2 + W_3 * u_3 + W_4 * u_4}{u_1 + u_2 + u_3 + u_4}$$

gdzie: W_{B1} - zintegrowany (ogólny) wskaźnik oceny BUSE1; W_1 - ocena punktowa drgań mechanicznych; W_2 - ocena punktowa hałasu wewnętrznego; W_3 - ocena punktowa EMC; W_4 - ocena punktowa bezpieczeństwa elektrycznego; u_1, u_2, u_3, u_4 - udziały poszczególnych wskaźników w całości

W wyniku analizy przyjęto następujące udziały (wagi) w

całości $\sum u = 1$:

$$\begin{aligned} u_1 &= 0,25 \\ u_2 &= 0,20 \\ u_3 &= 0,25 \\ u_4 &= 0,30 \end{aligned}$$

Po uwzględnieniu tych wartości wzór (1) do obliczenia wskaźnika W_{B1} przyjmie postać:

$$(2) \quad W_{B1} = 0,25 W_1 + 0,20 W_2 + 0,25 W_3 + 0,30 W_4$$

2°. Ocena BUSE 2. Do oceny BUSE 2 wykorzystuje się wyniki badań i oceny pojazdu EV wg BUSE 1. Ocena jest rozszerzona o ocenę wyposażenia pojazdu w SSB. Wynik oceny BUSE 2 otrzymuje się przy użyciu poniższego wzoru na ogólny wskaźnik:

$$(3) \quad W_{B2} = W_{B1} * (B_x + 1)$$

W którym B_x oznacza współczynnik systemów bezpieczeństwa danego pojazdu.

Po wstawieniu do wzoru (3) zależności (1) otrzymamy wzór na obliczenie ogólnego wskaźnika BUSE 2:

$$(4) \quad W_{B2} = \frac{W_1 * u_1 + W_2 * u_2 + W_3 * u_3 + W_4 * u_4}{u_1 + u_2 + u_3 + u_4} * (B_x)$$

Przy czym B_x oblicza się dla przyjętej w tabeli 7 liczby układów i zespołów bezpieczeństwa wg poniższej zależności:

$$(5) \quad B_x = \frac{\sum_{i=1}^{i=l} S_i}{l_p}$$

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

l_p = maksymalna liczba punktów oceny.
Po przyjęciu wg tabeli $l_p = 10 \times 10 = 100$ oraz zapisie

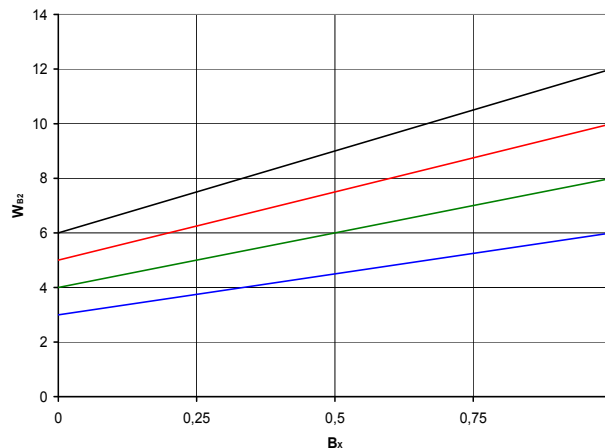
$$(6) \quad \sum_{i=1}^{i=l} S_i = S_1 + S_2 + \dots + S_{10}$$

wzór (5) zapiszemy w postaci dogodnej do obliczeń

$$(7) \quad B_x = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_{10}}{100}$$

Każdy zainstalowany w pojeździe układ lub zespół (oznaczony w tabeli 7, jako S_1, S_2, \dots, S_{10}) otrzymuje w wyniku oceny punktację s_1, s_2, \dots, s_{10} . Suma tych punktów wstawiona do zależności (7) pozwala na obliczenie współczynnika B_x . Przebieg graficzny funkcji $W_{B2} = f(B_x)$ prezentują wykresy na rys. 1. Do analizy przyjęto cztery wartości początkowe punktacji

$W_{B1} = 3, 4, 5, 6$.



Rys. 1. Przebieg funkcji $W_{B2} = f(B_x)$

3°. Klasa BUSE. Klasę BUSE może otrzymać pojazd EV, który ma ocenę BUSE 2.

Dla poszczególnych klas przyjmuje się punktację podaną w poniższej tabeli oraz na rys. 1.

Tabela 1. Punktacja dla poszczególnych klas

Klasa BUSE	Punktacja BUSE 2
AA	10,0 ÷ 12,0
A	8,0 ÷ 10,0
B	6,5 ÷ 8,0
C	5,0 ÷ 6,5
D	3,8 ÷ 5,0

4. Szczegółowe wymagania techniczne

Identyfikacja pojazdu EV. Identyfikację pojazdu EV dostarczonego do badań przeprowadza się w oparciu o dane zawarte w wyciągu homologacji (pojazdy nowe) lub dane zawarte w dowodzie rejestracyjnym (pojazdy używane).

Wymagania dotyczące drgań mechanicznych. Wymagania dotyczące drgań mechanicznych pojazdu EV oparte są na określeniu stopnia dyskomfortu wg norm ISO 2631-1 i BS 6841 i podane są w poniższej tabeli. W kolumnie trzeciej tej tabeli podana jest liczba punktów proponowanych do oceny.

Tabela 2. Liczba punktów proponowanych do oceny

Przyspieszenie rms [m/s ²]	Odczucie	Punktacja
Mniej niż 0,315	Nie występuje odczucie dyskomfortu	6
0,315 ÷ 0,63	Lekki dyskomfort	5
0,5 ÷ 1,0	Umiarkowany dyskomfort	4
0,8 ÷ 1,6	Dyskomfort	3
1,25 ÷ 2,5	Silny dyskomfort	2
Powyżej 2	Ekstremalny dyskomfort	1

Alternatywnie zamiast pomiarów przyspieszeń rms i odczuć określających dyskomfort możemy określić nasilenie drgań subiektywnych odczuwanych przez człowieka na podstawie pomiaru drgań pojazdu EV wg tabeli 3. W kolumnie trzeciej tej tabeli podana jest liczba punktów proponowanych do oceny.

Tabela 3. nasilenie drgań subiektywnych odczuwanych przez człowieka

Wartości względne przyspieszeń [m/s ²]	Wrażenia subiektywne	Punktacja
< 0,001	Drgania nieodczuwalne	6
< 0,01	Drgania słabo odczuwalne	5
< 0,1	Drgania dobrze odczuwalne	4
< 1	Nieprzyjemne doznania subiektywne o niewielkim nasileniu	3
< 10	Nieprzyjemne doznania subiektywne	2
> 10	Nieprzyjemne doznania subiektywne o bardzo silnym nasileniu	1

Analiza oddziaływania drgań na pasażerów pojazdu została przedstawiona m. in. w pracy [18].

Wymagania dotyczące hałasu wewnętrznego

Wymagania dotyczące hałasu wewnętrznego w pojeździe EV nie są obligatoryjne i nie obejmują ich Regulaminy EKG ONZ i Dyrektywy WE.

Pomiary hałasu wewnętrznego w pojeździe samochodowym można wykonać wg normy PN-90/S-04052. Norma ta powstała dla samochodów z silnikami spalinowymi i jest nadal aktualna.

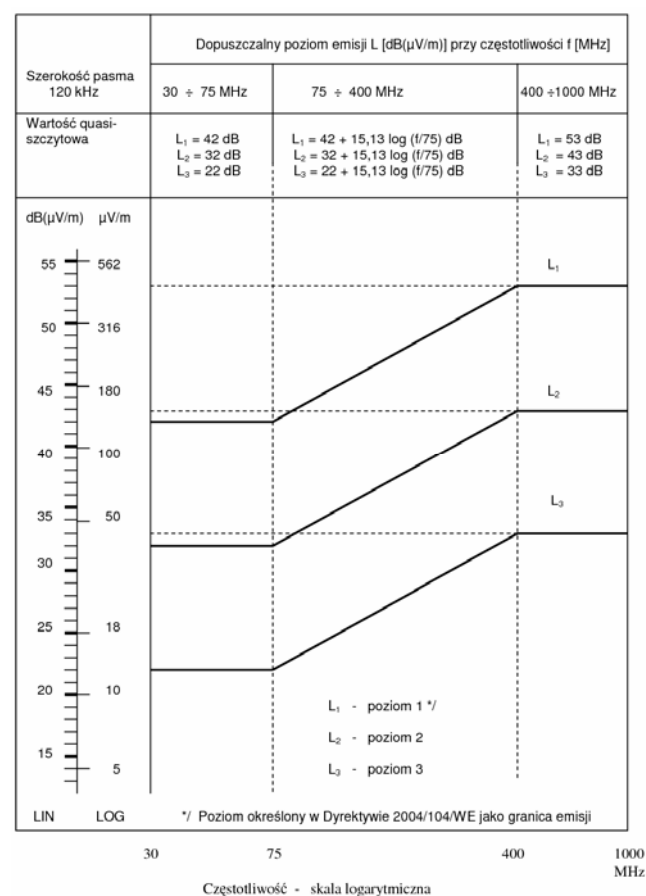
Nie ma odrębnej normy dla pojazdów EV. Zgodnie z wymaganiami tej normy dopuszczalny poziom hałasu wewnętrznego pojazdu wynosi dla samochodów osobowych 79 dB (A). Pomiary wykonuje się dla samochodów z jednym rzędem siedzeń dla pojedynczego punktu pomiarowego przy siedzeniu kierowcy. Dla samochodów osobowych z dwoma rzędami siedzeń wykonuje się pomiary dodatkowo dla drugiego punktu pomiarowego. Pomiary wykonuje się przy przyspieszaniu samochodu od prędkości początkowej ustalonej wg norm do 120 km/h lub 90% prędkości obrotowej mocy maksymalnej.

W testach czasopism motoryzacyjnych pomiary przeprowadza się przy stałych prędkościach 50 i 100 km/h (Motor) lub 50, 90 i 130 km/h (Auto Świat). Poziom tła powinien być niższy, o co najmniej 10 dB od wartości mierzonych hałasu.

Do oceny hałasu wewnętrznego proponuje się przyjąć następującą punktację dla:

- 74 dB - 1 pkt,
- 72 dB - 2 pkt,
- 70 dB - 3 pkt,
- 68 dB - 4 pkt,
- 66 dB - 5 pkt,
- 64 dB - 6 pkt.

Przyjęto wyższe wymagania w stosunku do ww. normy, biorąc pod uwagę upływ czasu od opublikowania normy, dokonany postęp techniczny w wyciszaniu samochodów oraz fakt, że pojazdy EV wykazują niższy poziom hałasu niż pojazdy spalinowe. Analiza źródeł hałasu w środkach transportu, a szczególnie pojazdach samochodowych została dokonana m. in. w pracy [2].



Rys. 2. Proponowane poziomy emisji zakłóceń szerokopasmowych dla pojazdów

Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC).

Wymagania dotyczące EMC są oparte na postanowieniach Regulaminu nr 10 EKG ONZ i odpowiadającej mu Dyrektywie 2004/104/WE (wersja aktualna). Pomiary pojazdu EV przeprowadza się na polu pomiarowym o najniższej emisji tła elektromagnetycznego lub w komorze elektromagnetycznej semibezodbiowej. Do oceny przyjmuje się porównanie emisji zakłóceń szerokopasmowych. Dopuszczalne poziomy tej emisji dla odległości pomiarowych anteny od pojazdu 3 m przedstawia wykres na rys. 2. Poziomy oznaczone linią L1 są określone wg wymagań ww. dokumentów

normatywnych. Poziomy oznaczone liniami L_2 i L_3 obniżone są o 10 dB i 20 dB w odniesieniu do poziomu L_1 stanowią podwyższone wymagania. Dla odległości pomiarowej 10 m przyjmuje się poziomy oznaczone liniami L_2 i L_3 obniżone o 8 dB i 16 dB w odniesieniu do poziomu L_1 . Koncepcję oceny poziomów emisji elektromagnetycznej w oparciu o linie L_1 , L_2 i L_3 podano w pracy [5].

Tabela 4. Punktacja proponowana do oceny

Przebieg emisji	Punkty
poniżej L_3	6,0
pośród L_3 i L_2	4,5
pośród L_2 i L_1	3,0
powyżej L_1 ale nie:	-
więcej niż 2 dB	1,5 *
wyższy od ww.	0,0

Przyjęta ocena emisji zaburzeń szerokopasmowych dopuszcza niewielkie przekroczenia (o 2 dB) biorąc pod uwagę, że mogą być badane pojazdy używane czasami doposażone w systemy i urządzenia elektroniczne nie najwyższej jakości. Znak * oznacza, że punktacja powinna być stosowana w pojazdach używanych.

Wymagania dotyczące bezpieczeństwa elektrycznego.

Wymagania te dotyczą oceny bezpieczeństwa związanego z możliwością porażenia prądem elektrycznym osób w pojeździe i przy pojeździe nieruchomym jak również np. podczas ładowania akumulatorów. Instalacja elektryczna pojazdu EV musi spełniać wymagania zawarte w Regulaminie nr 100 EKG ONZ i odpowiadającej mu Dyrektywy WE.

Do wstępnej oceny przyjęto spośród wielu trzy czynniki wpływające na bezpieczeństwo elektryczne wynikające ze stosowania urządzeń elektrycznych i energoelektrycznych w pojazdach EV:

- stopień ochrony osłon urządzeń elektrycznych – IP,
- napięcie pracy w instalacjach napędu i sterowania elektrycznego,
- rezystancję izolacji.

Do oceny stopnia ochrony proponuje się następującą punktację:

- IP 42 – 2 pkt.
- IP 44 – 3 pkt.
- IP 54 – 4 pkt.
- IP 56 – 5 pkt.
- IP 66 – 6 pkt.

Tabela 5. Punktacja do oceny napięcia pracy

Napięcie [V]	Punkty
<60	6 pkt.
60 ÷ 100	5 pkt.
100 ÷ 200	4 pkt.
200 ÷ 300	3 pkt.
300 ÷ 400	2 pkt.
400 ÷ 500	1 pkt.

Tabela 6. Punktacja do oceny rezystancji izolacji

Rezystancja izolacji [Ω/V]	Punkty
500 ÷ 750	3 pkt.
750 ÷ 1000	4 pkt.
1000 ÷ 1250	5 pkt.
>1250	6 pkt.

Do oceny przyjmuje się wartość średnią powyższych czynników bezpieczeństwa elektrycznego.

Wymagania dotyczące wyposażenia bezpieczeństwa pojazdu.

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 [10].

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, S9, 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 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.

Tabela 7. Zmodyfikowana tabela oceny

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

5. Badania wybranych małych samochodów elektrycznych

Badania bezpieczeństwa użytkownika BUSE wg podanych w punktach 3 i 4 kryteriów oceny i wymagań technicznych przeprowadzono na 6-ciu następujących pojazdach:

- RENAULT ZOE,
- MITSUBISHI i-MIEV,

- SAM EV,
- MEGA E-CITY,
- MELEX N.CAR,
- OPEL ASTRA BLE.

Ostatni z powyższych pojazdów jest prototypem dostarczonym do laboratorium BLE PIMOT powstałym po konwersji seryjnie produkowanego pojazdu z silnikiem spalinowym (ZI) na EV [19]. Widok ogólny pojazdów EV do badań przedstawiają fotografie na rys. 3 ... 8..

Tabela 8. Dane techniczne tych pojazdów

Parametr	RENAULT ZOE	MITSUBISHI i-MiEV	SAM EV	MEGA E-CITY	MELEX N.CAR	OPEL Astra BLE
Rodzaj nadwozia:	Hatch.	Hatch.	Osob.	Hatch.	Pic-up	Kombi
- liczba drzwi	5	5	2	3	2	5
- liczba miejsc	4	4	2	2	2	4
Masa własna [kg]	1470	1110	750	759	748	1400
Masa całkowita [kg]	1965	1450	1055	1025	998	1710
Pojemność bagażnika [l]	335	256	bd	60	300	360
Silnik elektryczny	AC	AC	AC	DC	DC	DC
- moc ciągła [kW]	68	49	14,7	8	4	14,1
- napięcie znamionowe [V]	400	330	110	48	48	72
Baterie akumulatorów:						
- energia [kWh]	22 / 41	16	ok.10	12	5	18
- rodzaj	lit.	lit.	lit.	kwas.	kwas.	kwas.
Prędkość maksymalna [km/h]	135	130	65	45	45	90
Zasięg [km]	240 / 400	150	ok. 100	80	50	ok. 100
Wymiary nadwozia:						
- długość [cm]	409	348	307	296	297	429
- szerokość [cm]	173	148	158	149	121	171
- wysokość [cm]	156	161	159	151	177	151



Rys. 3. RENAULT ZOE



Rys. 6. MEGA E-CITY



Rys. 4. MITSUBISHI i-MiEV



Rys. 7. MELEX N.CAR



Rys. 5. SAM EV



Rys. 8. OPEL ASTRA BLE

6. Wyniki badań

Przeprowadzona identyfikacja pojazdów nr: 1 ... 6 wykazała zgodność danych w dokumentach pojazdów (Dowody Rejestracyjne) i podanych w pojazdach.

Sprawdzenie drgań mechanicznych

Tabela 9. Uzyskane wyniki pomiarów drgań mechanicznych badanych pojazdów

Nr pojazdu	Wartość przyspieszeń rms [m/s ²]	Punktacja (pkt.)	Pojazd
1	0,69	4	RENAULT ZOE
2	0,75	4	MITSUBISHI i-MiEV
3	0,97	3	SAM EV
4	1,1	3	MEGA E-CITY
5	1,2	3	MELEX N.CAR
6	0,77	4	OPEL Astra BLE

Sprawdzenie hałasu wewnętrznego

Tabela 10. Hałas wewnętrzny

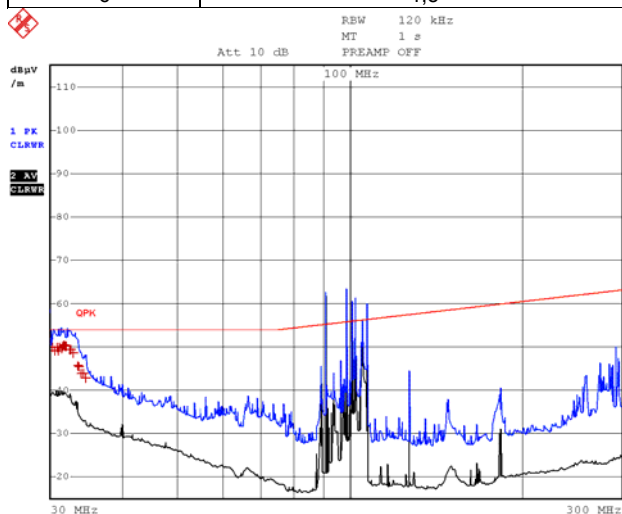
Nr pojazdu	Wartość poziomu ciśnienia akustycznego [dB(A)]	Punktacja (pkt.)
1	65,8	5
2	67,3	4
3	68,9	3
4	71,6	3
5	69,1	3
6	66,3	4

Sprawdzenie EMC

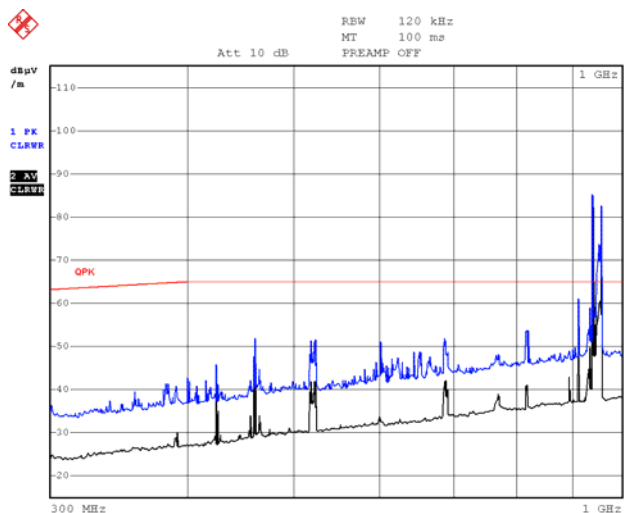
Sprawdzenie wykonano w zakresie emisji zaburzeń elektromagnetycznych szerokopasmowych w dwóch zakresach częstotliwości (30...300) MHz i (300...1000) MHz przy użyciu dwóch systemów antenowych. Wyniki badań przedstawia tabela 11. Przykładowy przebieg emisji szerokopasmowej dla pojazdu SAM EV przedstawiają wykresy na rys. 9 i 10.

Tabela 11. Emisja zaburzeń elektromagnetycznych

Nr pojazdu	Punktacja (pkt.)
1	3,0
2	4,0
3	3,5
4	3,0
5	3,5
6	1,5



Rys. 9. Przykładowy przebieg emisji szerokopasmowej dla pojazdu SAM EV; f = 30...300 MHz



Rys. 10. Przykładowy przebieg emisji szerokopasmowej dla pojazdu SAM EV ; f = 300...1 000 MHz

Sprawdzenie bezpieczeństwa elektrycznego

Tabela 12. Bezpieczeństwo elektryczne

Nr pojazdu	IP	Punktacja IP	Napięcie [V]	Punktacja napięcia	Punkty (wartość średnia)
1	44	3	400	2	2,5
2	44	3	330	2	2,5
3	42	2	110	4	3,0
4	42	4	950	0	2,0
5	42	2	48	6	4,0
6	42	2	72	5	3,5

W badaniach wstępnych nie sprawdzano rezystancji izolacji. Przyjęto wg Regulaminu nr 100 EKG ONZ wymagane minimum 500 Ω/V.

Sprawdzenia współczynnika systemów bezpieczeństwa B_x

Tabela 13. Wyniki sprawdzeń i obliczeń na podstawie tabeli 7 zależności (5) współczynnika B_x

Nr pojazdu	Oznaczenie układów i zespołów										Σs	B _x
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10		
1	8	8	6	5	0	0	0	5	0	0	33	0,33
2	5	4	2	0	0	0	0	5	0	0	16	0,16
3	2	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0,07
4	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	39	0,04
5	4	0	0	0	0	0	0	5	5	0	15	0,15
6	8	4	4	0	0	0	0	6	4	0	26	0,26

7. Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania porównawcze pojazdów i ich systemów bezpieczeństwa umożliwiły praktyczną weryfikację opracowanej metody oceny BUSE w formie zaproponowanej w koncepcji [17].

1°.

Tabela 14. Wyniki obliczeń BUSE 1 na podstawie wzoru (1) dla badanych pojazdów

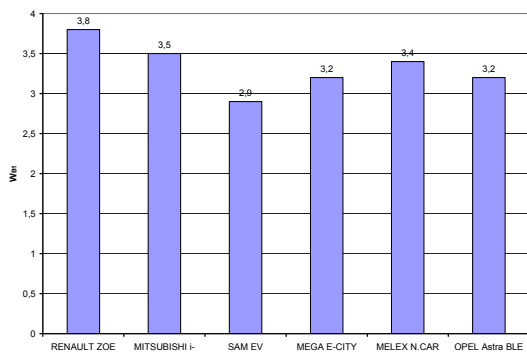
Nr pojazdu	Marka i model	Ocena punktowa				BUSE 1 W _{B1}
		W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	
1	RENAULT ZOE	4	5	4	2,5	3,8
2	MITSUBISHI i-MiEV	4	4	3,5	2,5	3,5
3	SAM EV	3	3	3	3	2,9
4	MEGA E-CITY	3	3	3	4	3,2
5	MELEX N.CAR	3	3	3,5	4	3,4
6	OPEL Astra BLE	4	4	1,5	3,5	3,2

2°.

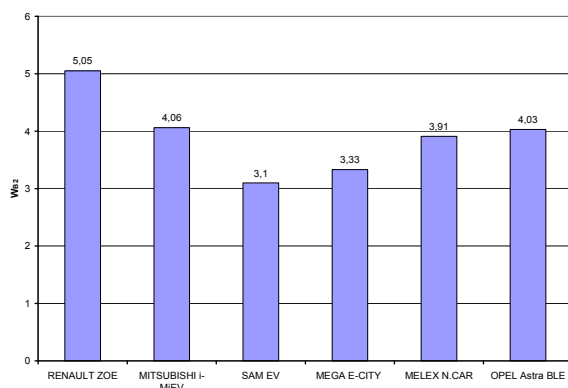
Tabela 15. Wyniki obliczeń BUSE 2 na podstawie wzoru (3) oraz ustalenie współczynnika B_x

Nr pojazdu	Marka i model	Ocena W_{B1}	Współczynnik B_x	BUSE 2 W_{B2}
1	RENAULT ZOE	3,8	0,33	5,05
2	mitsubishi i-MiEV	3,5	0,16	4,06
3	SAM EV	2,9	0,07	3,10
4	MEGA E-CITY	3,2	0,04	3,33
5	MELEX N.CAR	3,4	0,15	3,91
6	OPEL Astra BLE	3,2	0,26	4,03

Rezultaty obliczeń BUSE 1 i BUSE 2 w formie graficznej dla badanych sześciu pojazdów przedstawiają wykresy na rys. 11 i 12.



Rys. 11. Wyniki obliczeń W_{B1}



Rys. 12. Wyniki obliczeń wskaźnika oceny W_{B2}

Wartość średnia współczynnika oceny $W_{B1} = 3,33$ pkt przy maksimum 6 pkt.

Wartość średnia współczynnika oceny $W_{B2} = 3,91$ pkt przy maksimum 12 pkt.

Słaby wynik wartości średniej W_{B2} świadczy m.in. o tym, że wyposażenie pojazdów w SSB nie jest wysokie w odniesieniu do przyjmowanych standardów u przodujących producentów.

3°. Klasa BUSE

Na podstawie przeprowadzonych badań BUSE 2 sprawdzane pojazdy EV mogą otrzymać (zgodnie z tabelą 1 w punkcie 3 następujące klasy BUSE:

Tabela 16. Klasa BUS

Nr pojazdu	Marka i model	Klasa BUSE
1	RENAULT ZOE	B/C
2	MITSUBISHI i-MiEV	D
3	MEGA E-CITY	-
4	MELEX N.CAR	D
5	OPEL Astra BLE	D
6	SAM EV	-

Pojazd podany w pozycji 1 powyższej tabeli może otrzymać klasę B dla oferty w roku modelowym 2020 w najbogatszej wersji wyposażenia INTENS.

8. Podsumowanie

Celem pracy było sprawdzenie na podstawie badań zaproponowanej w pracy [17] koncepcji oceny bezpieczeństwa użytkowania samochodów elektrycznych (BUSE), szczególnie do małych pojazdów EV.

Zadanie badawcze polegało na sprawdzeniu opracowanych kryteriów oceny BUSE szczególnie w aspekcie drgań mechanicznych, hałasu wewnętrznego, promieniowania elektromagnetycznego, ochrony przeciwporażeniowej oraz czynników dodatkowych na konkretnych modelach samochodów.

Przedstawiony system oceny bezpieczeństwa użytkowania pojazdów EV zawiera:

- BUSE 1 (uwzględnia wymagania do oceny przedstawione w opracowaniu - punkty 3 i 4),
- BUSE 2 (stanowi rozszerzoną wersję w stosunku do BUSE 1 o wymagania dotyczące wyposażenia bezpieczeństwa pojazdu).

Klasa BUSE obejmuje 5 klas i może być przyznawana na podstawie oceny BUSE 2 dla danego typu pojazdu EV i jego różnych wersji wyposażenia.

W systemie BUSE 2 wprowadzono tzw. współczynnik systemów bezpieczeństwa uwzględniający ocenę wyposażenia w SSB pojazdów EV i postęp techniczny.

W pracy przedstawiono w oparciu o trzy stopniową ocenę BUSE wyniki badań sześciu różnych pojazdów: RENAULT ZOE, MITSUBISHI i-MiEV, SAM EV, MEGA E-CITY, MELEX N.CAR i OPEL Astra BLE. Wyniki badań przedstawionych pojazdów EV wykazują jak bardzo te pojazdy różnią się między sobą i jak dużo jeszcze jest do zrobienia dla poprawy bezpieczeństwa użytkowania. Jeden pojazd zakwalifikowano do klasy B/C, trzy pojazdy zakwalifikowano do klasy D a dwa pojazdy nie zakwalifikowały się do klasy BUSE.

Opracowane kryteria mogą być wykorzystane w pracach badawczych samochodów elektrycznych, przy produkcji pojazdów i komponentów oraz przy wyborze pojazdów szczególnie przez firmy transportowe. Wdrożenie opracowanych kryteriów oceny BUSE powinno przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa ruchu drogowego przez ograniczenie zagrożeń stwierdzonych w badaniach. W dalszych pracach celowe byłoby opracowanie oceny innych rodzajów pojazdów np. hybrydowych stanowiących już znaczący segment rynku.

Autorzy: dr inż. Sławomir Łukjanow, prof., emer.; mgr inż. Wiesław Zieliński, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Motoryzacji, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, E-mail: w.zielinski@pimot.eu.

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] Evaes S.; Evaes 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 (1st issue), 2011 (2nd 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] Merkisz 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 posadzone w fotelikach (Evaluation of vertical car vibrations transmitted to children when riding in safety seats). Wydawnictwo Naukowe PIMOT, Warszawa 2013.