

Article citation info:

Łukjanow S, Zieliński W. Examination and assessment of electric vehicles' operational safety. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2016; 74(4): 59-82, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL74.ART5>

Examination and assessment of electric vehicles' operational safety

Badania i ocena bezpieczeństwa użytkowania samochodów elektrycznych

Sławomir Łukjanow¹, Wiesław Zieliński²

Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Summary

Increasingly stringent environmental protection requirements and the implementation of the most modern technologies compel automotive manufacturers to develop the production of environment-friendly vehicles with electric drive systems. In difficult road conditions, vehicle participants are exposed to various hazards, especially to health and life. This forced the Automotive Industry Institute (PIMOT) to attack the important problem named “Electric Vehicles' Operational Safety (EVOS)”, which is related to a number of new issues, not sufficiently explored yet. The tests carried out until now on electric vehicles to check their conformity with the Regulations and Directives in force do not cover many issues that were identified within this project as having an important impact on vehicle riding safety and comfort. This work included the formulation and implementation of a three-level EVOS examination and assessment concept.

This article presents results of comparative testing and assessment of the EVOS level for four electric vehicles, i.e. Mega E-City, Citroen C-Zero (Mitsubishi i-MiEV car manufactured by Citroen under a licence), Renault Fluence, and Opel Ampera. The presented results of testing the sample electric vehicles show how much the vehicles differ from each other and how much work still has to be done for improvement of the safety of their operation. Based on the work results, detailed EVOS assessment criteria may be prepared.

Streszczenie

Wzrastające wymagania ochrony środowiska oraz wdrażanie najnowszych technologii powodują, że koncerny samochodowe rozwijają produkcję aut z napędem elektrycznym przyjaznych dla środowiska. 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 zagadnienia. Dotychczas stosowane badania pojazdów EV na zgodność z Regulaminami lub Dyrektywami nie obejmują szeregu zagadnień, które zostały opracowane w trakcie

¹ Przemysłowy Instytut Motoryzacji, ul. Jagiellońska 55, 01-301 Warszawa, Polska; e-mail: s.lukjanow@pimot.eu.

² Przemysłowy Instytut Motoryzacji, ul. Jagiellońska 55, 01-301 Warszawa, Polska; e-mail: w.zielinski@pimot.eu.

wykonywania pracy a szczególnie wpływających na bezpieczeństwo i komfort jazdy. W pracy przedstawiono i zrealizowano trzystopniową koncepcję badań i oceny BUSE.

W pracy przedstawiono wyniki badań porównawczych i ocenę BUSE czterech samochodów elektrycznych: Mega E-city, Citroen C-zero (licencja Mitsubishi iMiEV), Renault Fluence i Opel Ampera. Wyniki badań przedstawionych pojazdów EV wykazują jak bardzo te pojazdy różnią się między sobą i jak dużo jeszcze jest do zrobienia dla poprawy ich bezpieczeństwa użytkowania. Na podstawie wyników pracy mogą być opracowane szczegółowe kryteria BUSE.

Keywords: electric vehicle, tests of electric vehicle, safety of electric vehicle

Słowa kluczowe: samochody elektryczne, badania pojazdów EV, bezpieczeństwo pojazdów EV

1. Wprowadzenie

Coraz powszechniejsze korzystanie z pojazdów elektrycznych, a także tendencje do ich upowszechniania, wpływają na konieczność podjęcia problemu bezpieczeństwa użytkowania nowych rodzajów pojazdów z napędem elektrycznym. W pojazdach tych mogą występować nowe, dotychczas nierozpoznane zjawiska (wiążące się z bezpieczeństwem użytkowania), a nie ujęte w obowiązujących Regulaminach EKG oraz Dyrektywach i Rozporządzeniach WE.

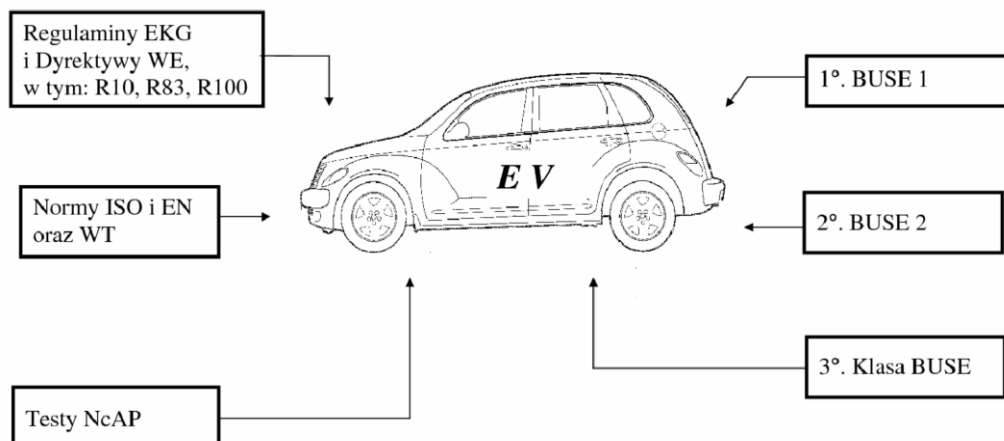
W pracy przedstawiono zrealizowaną w PIMOT trzystopniową koncepcję badań i oceny Bezpieczeństwa Użytkowania Samochodów Elektrycznych (BUSE) obejmującą:

- 1° BUSE uwzględnia wymagania dotyczące: drgań mechanicznych nadwozia, hałasu wewnętrznego, kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) i ochrony przeciwporażeniowej,
- 2° BUSE stanowi rozszerzoną wersję w stosunku do 1° o wymagania dotyczące wyposażenia bezpieczeństwa pojazdu. W ocenie wg 2° wprowadzono tzw. współczynnik systemów bezpieczeństwa uwzględniający postęp techniczny i wyposażenie pojazdów EV w te systemy.
- 3° klasa BUSE obejmuje 5 klas i może być przyznawana na podstawie oceny 2° dla danego typu pojazdu EV i jego różnych wersji wyposażenia oferowanego Klientom.

W pracy przedstawiono również wyniki badań porównawczych i ocenę BUSE czterech samochodów elektrycznych: Mega E-City, Citroen C-Zero (licencja Mitsubishi iMiEV), Renault Fluence i Opel Ampera. 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.

W czasie eksploatacji pojazdów EV występują liczne zagrożenia, a szczególnie niebezpieczne jest pojawienie się napięcia niebezpiecznego ze względu na porażenie osób. Aby nawet kolizja nie spowodowała pojawienia się tego napięcia na obudowach urządzeń i nadwoziu pojazdu. Potrzebne jest opracowanie wytrzymałych elektrycznie i mechanicznie obudów, szczególnie baterii akumulatorów. Osobnym zagadnieniem jest pożar baterii. Konieczne jest wykonanie pojazdu w wersji spełniającej wymagania Regulaminu nr 100 EKG. Innym zagrożeniem jest działanie pola elektromagnetycznego od urządzeń i okablowania. Podstawowe wymagania w tym zakresie zawierają przepisy homologacyjne, które musi spełniać pojazd EV. Ze względu na ograniczenia badawcze w pracy zaproponowano najbardziej charakterystyczne parametry do ewentualnej dyskusji tego problemu i do dalszych prac.

Stosowane do pojazdów EV kryteria badań bezpieczeństwa wg dokumentów normatywnych oraz systemu BUSE ilustruje rys. 1.



Rys. 1. Systemy badań i oceny pojazdów EV w zakresie bezpieczeństwa z uwzględnieniem BUSE

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

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.

2. Wymagania techniczne BUSE

2.1. 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).

2.2. 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 1. Proponowana punktacja dla stopni dyskomfortu (przy pomiarach rms)

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 nasilenia doznań subiektywnych odczuwanych przez człowieka na podstawie pomiaru drgania pojazdu EV wg poniższej tabeli. W kolumnie trzeciej tej tabeli podana jest liczba punktów proponowanych do oceny.

Tabela 2. Proponowana punktacja na podstawie doznań subiektywnych człowieka (przy pomiarach przyspieszeń)

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 [16].

2.3. 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, 100 i 130 km/h. Poziom tła powinien być niższy, o co najmniej 10 dB od wartości mierzonych hałasu.

Do oceny hałasu wewnętrznego proponuje się przyjąć następującą punktację dla:

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

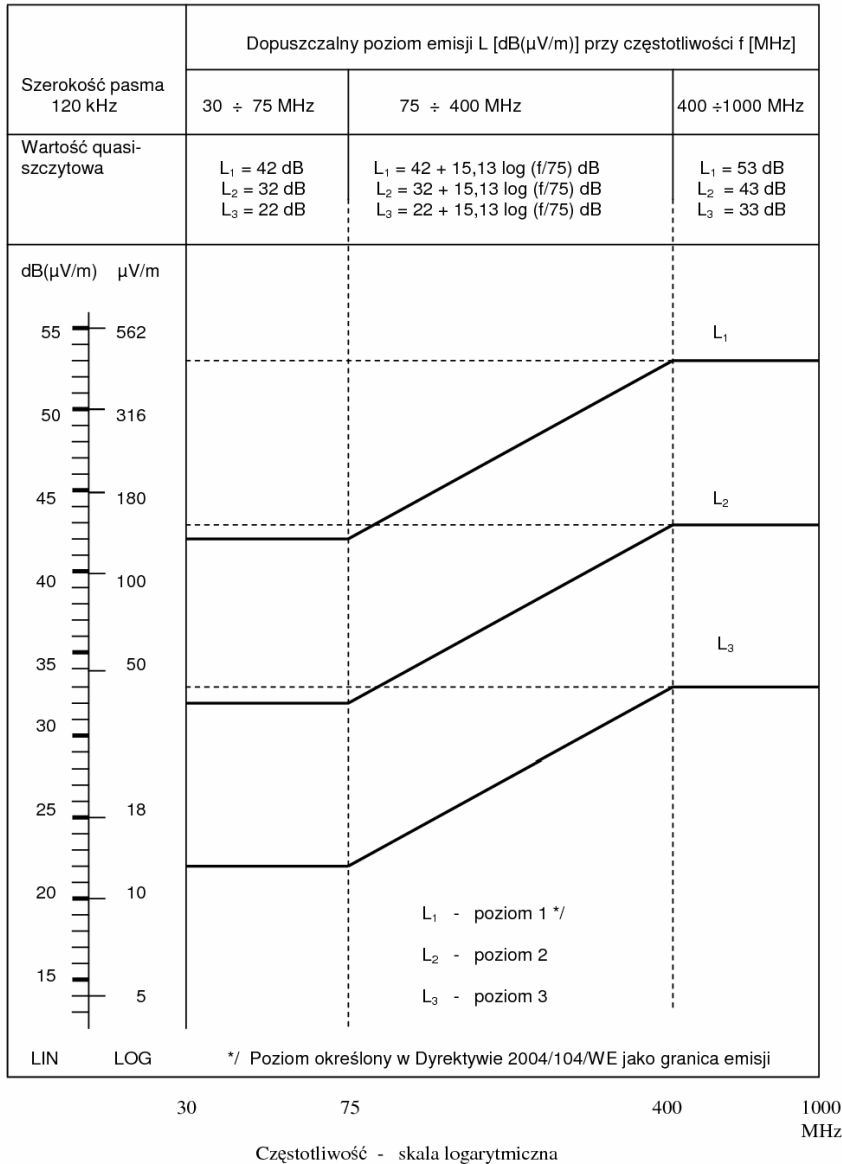
Przyjęto wyższe wymagania w stosunku do ww. normy, biorąc pod uwagę upływ czasu od opublikowania normy, dokonany postęp techniczny w wyciszaniu samochodów oraz fakt, że pojazdy EV wykazują niższy poziom hałasu niż pojazdy spalinowe.

Analiza źródeł hałasu w środkach transportu, a szczególnie pojazdach samochodowych została dokonana m. in. w pracy [1].

2.4 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 zaburzeń szerokopasmowych. Dopuszczalne poziomy tej emisji dla odległości pomiarowych anteny od pojazdu 3 m przedstawia wykres na rys. 2. Poziomy oznaczone linią L_1 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.



Rys. 2. Proponowane poziomy emisji zaburzeń szerokopasmowych dla pojazdów

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 . Koncepcja oceny poziomów emisji elektromagnetycznej w oparciu o linie L_1 , L_2 i L_3 podano w pracy [5].

Do oceny proponuje się punktację w poniższej tabeli.

Tabela 3. Proponowana punktacja dla promieniowania elektromagnetycznego (emisja zaburzeń szerokopasmowy)

Przebieg emisji	Punkty
poniżej L ₃	6,0
między L ₃ i L ₂	4,5
między 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 wyposażone w systemy i urządzenia elektroniczne nie najwyższej jakości. Znak * oznacza, że punktacja powinna być stosowana w pojazdach używanych.

2.5. 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.

Stopnie ochrony urządzeń elektrycznych – IP podano w tabeli 4.

Tabela 4. Oznaczenia stopni ochrony IP urządzeń elektrycznych

Zasady oznaczeń dla stopni ochrony IP		
Oznaczenie	Znaczenie	Uwagi
Oznaczenie literowe IP	Ochrona przed dotknięciem i przed przedostaniem się do wnętrza obcych ciał stałych i wody.	IP oznacza skrót od anglojęzycznego terminu International Protection = międzynarodowy stopień ochrony.
1. cyfra; 0 do 6	Stopnie ochrony przed dotknięciem części i przedostaniem się do wnętrza ciał obcych, np. kurzu.	Dla dużej liczby odbiorników energii elektrycznej w oznaczeniu stopnia ochrony IP mogą nie występować wszystkie cyfry.
2. cyfra; 0 do 8	Stopnie ochrony przed przedostaniem się do wnętrza wody.	
<i>Jeżeli w oznaczeniu stopnia ochrony występuje tylko jedna cyfra, to w miejscu, dla którego stopień ochrony nie jest określony, wstawia się literę X.</i>		
Znaczenie oznaczeń cyfrowych dla stopni IP		
Rodzaj ochrony	Znaczenie	Uwagi

<i>Ochrona przed dotknięciem i przedostaniem się ciał obcych stałych</i>		
IP 0X	Brak ochrony przed dotknięciem, brak ochrony przed przedostaniem się ciał obcych	(Oznaczenia graficzne - patrz niżej)
IP 1X	Ochrona przed przedostaniem się ciał obcych $o \geq \phi 50$ mm	„Ochrona przed dotknięciem dłonią”
IP 2X	Ochrona przed przedostaniem się ciał obcych $o \geq \phi 12,5$ mm	„Ochrona przed włożeniem palca”
IP 3X	Ochrona przed przedostaniem się ciał obcych $o \geq \phi 2,5$ mm	„Ochrona przed włożeniem narzędzia”
IP 4X	Ochrona przed przedostaniem się ciał obcych $o \geq \phi 1$ mm	„Ochrona przed włożeniem drutu”
IP 5X	Ochrona przed szkodliwym osadzaniem się pyłu we wnętrzu	„Ochrona przed wnikaniem pyłu”
IP 6X	Ochrona przed wnikaniem pyłu	„Pyłoszczelność”
<i>Ochrona przed przedostawaniem się wody</i>		
IP X0	Brak ochrony przed przedostawaniem się wody	„Ochrona przed kroplami wody”
IP X1	Ochrona przed kroplami wody padającymi pionowo	„Kropłoszczelność”
IP X2	Ochrona przed kroplami wody padającymi ukośnie (15° względem linii pionowej)	„Ochrona przed deszczem”
IP X3	Ochrona przed bryzgami wody padającymi pod kątem do 60 ° od pionu	„Prawie ochrona bryzgoszczelna”
IP X4	Ochrona przed bryzgami wody kierowanymi z dowolnej strony	„Ochrona bryzgoszczelna”
IP X5	Ochrona przed strugami wody	„Prawie ochrona strugoszczelna”
IP X6	Ochrona przed silnymi strugami wody kierowanymi z dowolnej strony	„Ochrona strugoszczelna”
IP X7	Ochrona przed krótkotrwałym zanurzeniem w wodzie	„Ochrona wodoszczelna”
IP X8	Ochrona przed długotrwałym zanurzeniem w wodzie	„Ochrona ciśnieniowo-wodoszczelna”

Proponuje się przyjąć dla urządzeń napędu i sterowania pojazdu EV następującą punktację:

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

Do oceny napięć pracy proponuje się przyjąć następującą punktację:

Tabela 5. Proponowana punktacja napięć pracy urządzeń

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.

Do oceny rezystancji izolacji proponuje się przyjąć następującą punktację:

Tabela 6. Proponowana punktacja rezystancji izolacji urządzeń

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 ww. czynników bezpieczeństwa elektrycznego. Opis stopni ochrony IP przytoczony jest w tabeli 4.

2.6. 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 bezpieczeństwa, monitoringu i sterowania automatycznego w pojeździe [11].

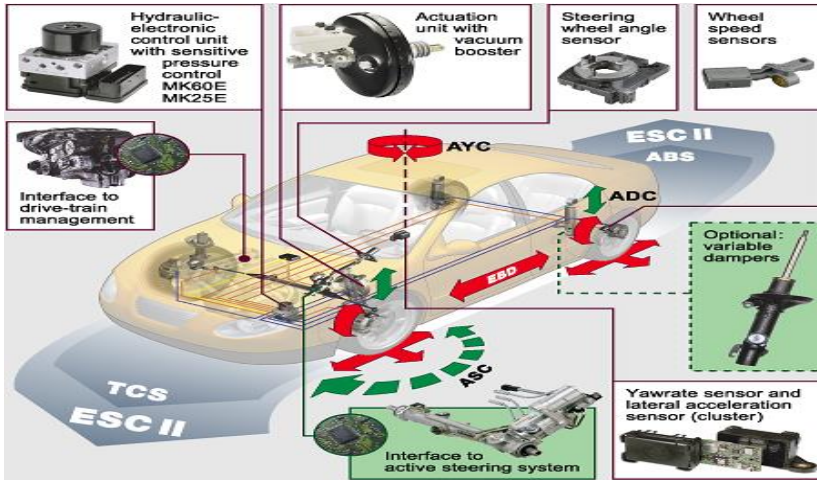
Ich wybrane spośród wielu przykłady zestawiono poniżej:

ABC – Active Body Control – aktywna regulacja zawieszenia (kontrola przechyłów)

ABD – Automatic Blocking of Differential – automatyczne blokowanie mech. różnicowego

ABS – Antilock Brake System – układ zapobiegający blokowaniu kół podczas hamowania
ACC – Active Cruise Control – aktywna kontrola odstępów od poprzedzającego pojazdu
ACR – Automatic Code Reader – automatyczny przyrząd diagnostyczny umożliwiający odczytanie kodów usterek ze sterownika samochodowego
AFS – Adaptive Frontlighting System – adaptacyjny system przednich świateł
ALL – Automatic Load Leveling – automatyczne poziomowanie samochodu
ALR – Automatic Locking Retractor – automatyczne blokowanie napinacza pasów
ALS – Advanced Lighting System – system sterowania światłami na zakręcie
APS – Acoustic Parking System – akustyczny system wspomaganie parkowania
AS – Active Suspension – zawieszenie aktywne
ASC – Anti Slip Control – układ sterowania antypoślizgowego
ASR – Acceleration Slip Regulation – automatyczna regulacja trakcji
BA – Brake Assist – wspomaganie hamowania awaryjnego
BAS – Brake Assist System – elektroniczne wspomaganie układu hamulcowego
CBS – Control Brake System – system kontroli hamulców
CCS – Cruise Control System – układ regulacji prędkości jazdy
CDL – Central Door Locking – centralne blokowanie drzwi
EAS – Electronically Assisted Steering – elektroniczne wspomaganie kierowania
EBD – Electronic Brake Distributor – sterowanie rozdziałem siły ham. pomiędzy osiami
EBS – Electronic Breaking System – elektroniczny system hamulcowy
EC4WD – Electronically Controlled 4WD – elektroniczne sterowanie napędem 4 kół
EC4WS – Electronically Controlled 4WS – elektroniczne sterowanie skrętem 4 kół
ESC – Electronic Stability Control – elektroniczny system stabilizacji toru jazdy
ESP – Electronic Stability Program – elektroniczny system stabilizacji toru jazdy
FLS – Forward Looking System – system rozpoznawania przeszkód przed pojazdem
HDC – Hill Descent Control – system kontroli zjazdu z pochyłości
HUD – Head Up Display – wyświetlanie parametrów na szybie
ICC – Intelligent Cruise Control – system sterowania prędkością jazdy dostosowujący prędkość do poprzedzającego pojazdu
ISS – Integrated Safety System – zintegrowany system bezpieczeństwa firmy Delhi
LAS – Lane Assist System – System asystenta kierowcy zapobiegający zjechaniu z pasa
OBD – On Board Diagnostics – znormalizowany system samodiagnozy
OCS – Occupant Characterization System - system określający stan zajęcia fotela
PA – Park Assist – wspomaganie parkowania
PAS – Power Active Steering – wspomaganie układu kierowniczego
PDC – Park Distance Control – kontrola odstępów przy parkowaniu
PDL – Powered Door Locks – system zamków sterowanych centralnie
PHS – Parking Heater System – system ogrzewania przy postoju
PTS – Parktronic System – system wspomaganie parkowania
RABS – Rear Antilock Brake System – system antypoślizgowy kół tylnych
RCM – Restraint Control Module – moduł sterowania poduszek powietrznych
RDS – Rear Detect System – system wykrywający zagrożenia z tyłu
SAHR – Saab Active Head Restraint – system aktywnych zagłówek firmy Saab
SBDS – Service Bay Diagnostic System – kompleksowy system diagnostyczny firmy Ford
SCS – Stability Control System – system kontroli stabilności jazdy
SDS – Side Detect System – system wykrywający zagrożenie kolizji bocznych

Układy i systemy mechatroniczne podnoszące bezpieczeństwo samochodu podlegają coraz większej integracji. Przykładem może być przedstawiony na rys. 3 system ESC II [17], który oprócz podstawowych funkcji stabilizacji toru jazdy (poprzez hamowanie i napęd) ma sprzężenia ze sterownikami aktywnego układu kierowniczego oraz aktywnego układu zawieszenia



Rys. 3. Schemat ideowy systemu ESC II [17]

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 wyposażenie zainstalowane w pojeździe przedstawionym do badań, ale mające znaczny wpływ na poprawę bezpieczeństwa użytkowania. 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 7. Proponowana punktacja wyposażenia bezpieczeństwa pojazdu EV

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 i inne	0 ÷ 10
S4	Stabilizacja toru jazdy	ESP	0 ÷ 10
S5	Aktywny tempomat	ACC	0 ÷ 10
S6	Automatyczne hamowanie do 50 km/h, rozpoznawanie przeszkód	różne	0 ÷ 10
S7	Kontrola: zmęczenia kierowcy, pasa ruchu	różne	0 ÷ 10
S8	Oświetlenie i widoczność	różne	0 ÷ 10
S9	Monitorowanie zdarzeń drogowych	e-Call	0 ÷ 10
S10	inne		0 ÷ 10
Razem max. punktów			100

3. Kryteria oceny BUSE

Zgodnie z przyjętą koncepcją w p. 1 niniejszego opracowania ocena BUSE obejmuje trzy stopnie:

- 1° - Ocena BUSE 1,
- 2° - Ocena BUSE 2,
- 3° - Klasa BUSE.

1°. Ocena BUSE 1

Do oceny BUSE 1 wykorzystuje się wyniki badań przeprowadzonych na zgodność z wymaganiami zawartymi w p. 2.1 ÷ 2.5 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:

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

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 $\sum u = 1$:

$u_1 = 0,25$
 $u_2 = 0,20$
 $u_3 = 0,25$
 $u_4 = 0,30$

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

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

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:

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

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:

$$W_{B2} = \frac{W_1 * u_1 + W_2 * u_2 + W_3 * u_3 + W_4 * u_4}{u_1 + u_2 + u_3 + u_4} * (B_X + 1) \quad (4)$$

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

$$B_X = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} s_i}{l_p} \quad (5)$$

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

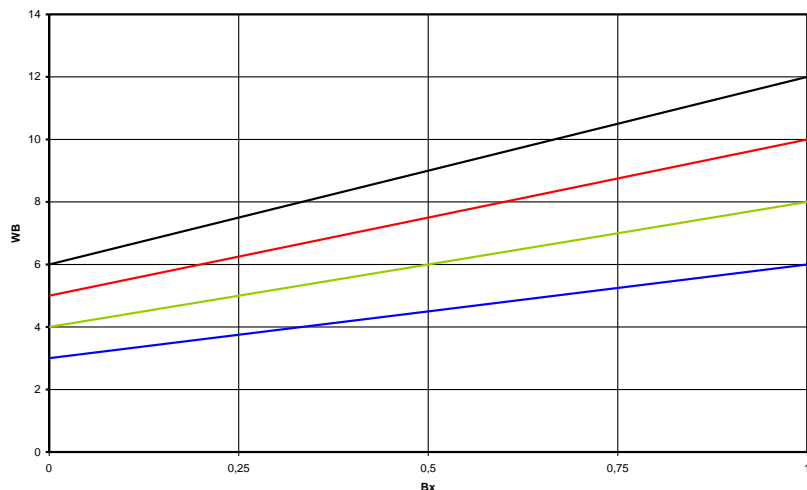
l_p - maksymalna liczba punktów oceny
 Po przyjęciu wg tabeli $l_p = 10 \times 10 = 100$ oraz zapisie

$$\sum_{i=1}^{i=k} s_i = s_1 + s_2 + \dots + s_{10} \quad (6)$$

wzór (5) zapiszemy w postaci dogodnej do obliczeń

$$B_x = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_{10}}{100} \quad (7)$$

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. 4. Do analizy przyjęto cztery wartości początkowe punktacji $W_{B1} = 3, 4, 5, 6$.



Rys. 4. Przebiegi funkcji $W_{B2} = f(B_x)$

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

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. 4.

Tabela 8. Proponowana klasa BUSE w zależności od uzyskanej punktacji

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	4,0 ÷ 5,0

4. Badania wybranych pojazdów EV

Cel badań

Celem badań było przeprowadzenie badań porównawczych wybranych pojazdów EV na zgodność z opracowanymi w niniejszej pracy wymaganiami technicznym w punkcie 2 do oceny Bezpieczeństwa Użytkowania Samochodów Elektrycznych (BUSE).

Obiekty badań

Obiektami badań były cztery samochody z napędem elektrycznym aktualnie produkowane:

1. MEGA E-CITY
2. CITROEN C-ZERO (licencja Mitsubishi MiEV)
3. RENAULT FLUENCE
4. OPEL AMPERA

Sylwetki pojazdów nr: 1, 2, 3 i 4 przedstawiają fotografie na rysunkach 5 ÷ 8.



Rys. 5. MEGA E-CITY



Rys. 6. CITROËN C-ZERO



Rys. 7. RENAULT FLUENCE



Rys. 8. OPEL AMPERA

Wyniki badań

Przeprowadzona identyfikacja pojazdów nr: 1, 2, 3 i 4 wykazała zgodność danych w dokumentach pojazdów (Dowody Rejestracyjne) i podanych pojazdach.

Sprawdzenie drgań mechanicznych

Sprawdzenie wykonano wg pkt. 2.2.

Wyniki badań przedstawia tabela 9.

Tabela 9. Uzyskane wyniki pomiarów drgań mechanicznych badanych pojazdów

Nr pojazdu	Wartość przyspieszeń rms [m/s^2]	Punktacja (pkt.)
1	1,1	3
2	0,75	4
3	0,66	4
4	0,43	5

Sprawdzenie hałasu wewnętrznego

Sprawdzenie wykonano wg pkt. 2.3.

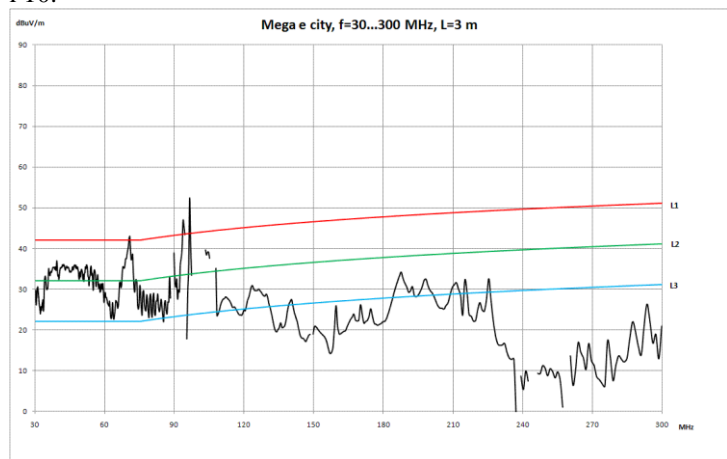
Wyniki badań przedstawia tabela 10.

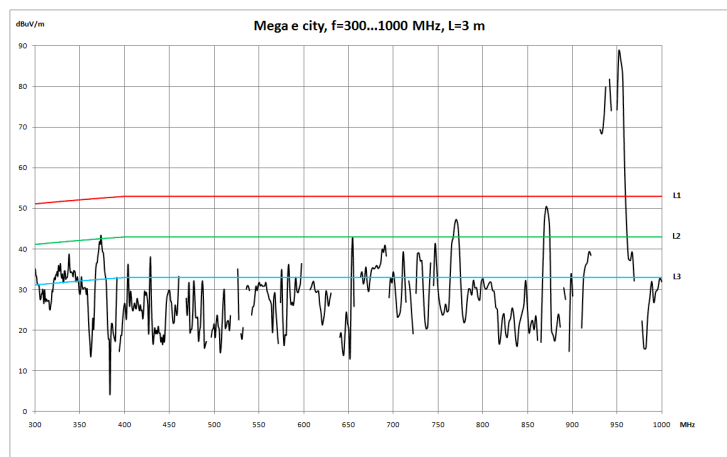
Tabela 10. Uzyskane wyniki pomiarów hałasu wewnętrznego badanych pojazdów

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

Sprawdzenie EMC

Sprawdzenie wykonano wg pkt. 2.4 w zakresie emisji zaburzeń elektromagnetycznych szerokopasmowych w dwóch zakresach częstotliwości ($30 \div 300$) MHz i ($300 \div 1000$) MHz przy użyciu dwóch systemów antenowych. Wyniki badań przedstawia tabela 11. Przykładowy przebieg emisji szerokopasmowej dla pojazdu MEGA E-CITY przedstawiają wykresy na rys. 9 i 10.

Rys. 9. Przykładowy przebieg emisji szerokopasmowej dla pojazdu MEGA E-CITY; $f = 30-300$ MHz



Rys. 10. Przykładowy przebieg emisji szerokopasmowej dla pojazdu MEGA E-CITY; $f = 300-1000$ MHz

Tabela 11. Uzyskane wyniki badania EMC pojazdów (emisja zaburzeń szerokopasmowych)

Nr pojazdu	Wartość pomiarów emisji zaburzeń	Punktacja (pkt.)
1	Wykresy na rys. w tekście	3
2	Wykresy na rys. w opracowaniu PIMOT *	3
3	Wykresy na rys. w opracowaniu PIMOT *	4,5
4	Wykresy na rys. w opracowaniu PIMOT *	4,5

* - Opracowanie Problemowe nr: BLE.001.14N

Sprawdzenie bezpieczeństwa elektrycznego

Sprawdzenie wykonano zgodnie z pkt. 2.5.

Wyniki sprawdzeń przedstawia tabela 12.

Tabela 12. Uzyskane wyniki sprawdzeń bezpieczeństwa elektrycznego w zakresie stopni ochrony IP i napięcia pracy

Nr pojazdu	IP	Punktacja IP	Napięcie [V]	Punktacja napięcia	Punkty
1	42	2	48	6	4,0
2	44	3	330	2	2,5
3	44	3	398	2	2,5
4	54	4	950	0	2,0

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

Sprawdzenia współczynnika B_x

Sprawdzenie wykonano zgodnie z pkt. 2.6.

Wyniki sprawdzeń przedstawia tabela 13.

Tabela 13. Wyniki sprawdzeń współczynnika systemów bezpieczeństwa B_x badanych pojazdów EV

Nr pojazdu	Oznaczenie układów i zespołów										Σs	B_x
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Pkt.	
1	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0,04
2	5	4	2	0	0	0	0	5	0	0	16	0,16
3	8	8	6	5	0	0	0	5	0	0	33	0,33
4	8	8	8	5	0	0	0	5	0	5	39	0,39

5. Analiza wyników

Przeprowadzone badania porównawcze pojazdów i ich systemów bezpieczeństwa umożliwiły praktyczną weryfikację opracowanej metody oceny BUSE w formie zaproponowanej w koncepcji (pkt. 1 opracowania).

1°. Wyniki obliczeń BUSE 1 na podstawie wzoru (2) dla badanych pojazdów przedstawia tabela 14.

Tabela 14. Wyniki oceny BUSE 1 badanych pojazdów

Nr pojazdu	Marka i model	Ocena punktowa				BUSE
		W_1	W_2	W_3	W_4	W_{B1}
1	MEGA E-CITY	3	3	3	4,0	3,2
2	CITROEN C-ZERO	4	5	3	2,5	3,5
3	RENAULT FLUENCE	4	5	4,5	2,5	3,9
4	OPEL AMPERA	5	5	4,5	2,0	4,1

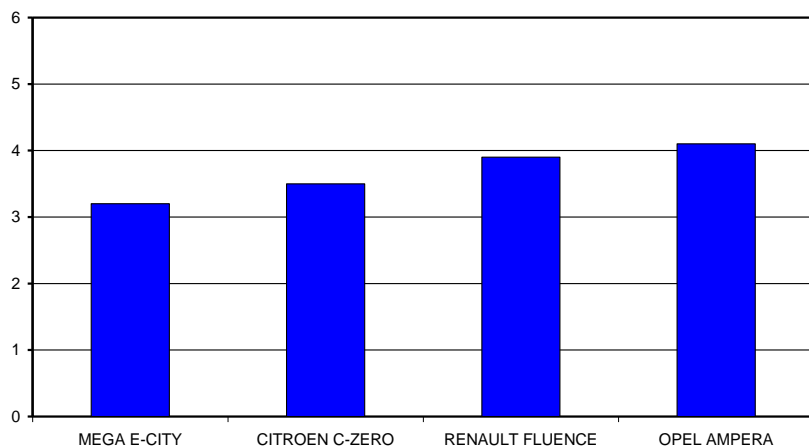
2°. Wyniki obliczeń BUSE 2 na podstawie wzoru (3) oraz ustalenie współczynnika B_x przedstawia tabela 15.

Tabela 15. Wyniki oceny BUSE 2 badanych pojazdów

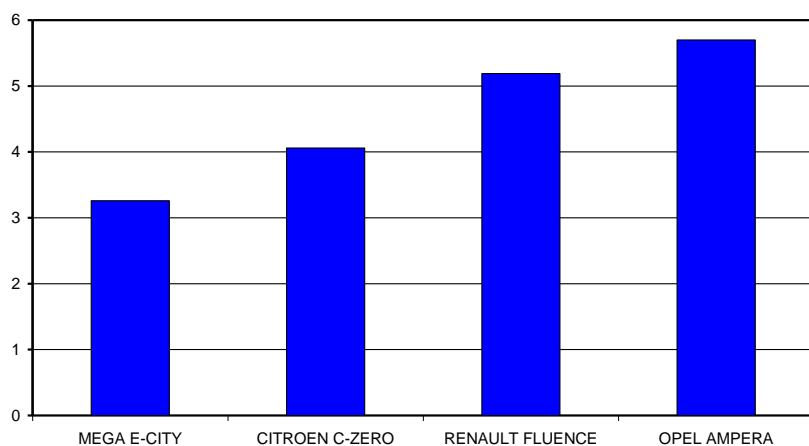
Nr pojazdu	Marka i model	Ocena W_{B1}	Współczynnik B_x	BUSE 2 W_{B2}
1	MEGA E-CITY	3,2	0,04	3,33
2	CITROEN C-ZERO	3,5	0,16	4,06
3	RENAULT FLUENCE	3,9	0,33	5,19
4	OPEL AMPERA	4,1	0,39	5,70

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

Ocena BUSE 1

Rys. 11. Wyniki obliczeń W_{B1}

Ocena BUSE 2

Rys. 12. Wyniki obliczeń W_{B2}

Średnia wartość $W_{B1} = 3,67$ pkt przy maksimum 6 pkt.

Średnia wartość $W_{B2} = 4,57$ 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 8 w punkcie 3 następujące klasy BUSE:

Tabela 16. Ocena klasy BUSE badanych pojazdów EV

Nr pojazdu	Marka i model	Klasa BUSE
1	MEGA E-CITY	-
2	CITROEN C-ZERO	D
3	RENAULT FLUENCE	C
4	OPEL AMPERA	C

6. Podsumowanie

1. Celem pracy było opracowanie wstępnych wymagań technicznych do oceny Bezpieczeństwa Użytkowania Samochodów Elektrycznych (BUSE) oraz przeprowadzenie badań porównawczych.

2. 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.

3. W pracy przedstawiono i zrealizowano trzy stopniową koncepcję oceny BUSE obejmującą:

- 1° - Ocena BUSE 1,
- 2° - Ocena BUSE 2,
- 3° - Klasa BUSE.

BUSE 1 uwzględnia wymagania do oceny przedstawione w opracowaniu (punkty 2.1 ÷ 2.5).

BUSE 2 stanowi rozszerzoną wersję w stosunku do BUSE 1 o wymagania dotyczące wyposażenia bezpieczeństwa pojazdu. W systemie BUSE 2 wprowadzono tzw. współczynnik systemów bezpieczeństwa uwzględniający postęp techniczny i ocenę wyposażenia w SSB pojazdów EV.

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

4. Wyniki badań przedstawionych pojazdów EV wykazują jak bardzo te pojazdy różnią się między sobą i jak dużo jeszcze jest do zrobienia dla poprawy bezpieczeństwa użytkownika. Jeden pojazd nie zakwalifikował się do klasy BUSE, jeden zakwalifikował się do klasy D, a dwa pojazdy do klasy C.

5. Na podstawie wyników pracy mogą być opracowane szczegółowe kryteria BUSE np. w formie Warunków Technicznych, do oceny samochodów EV. WT mogą być podstawą certyfikacji przez akredytowane jednostki np. PIMOT. W dalszych pracach celowe byłoby opracowanie oceny BUSE dla samochodów hybrydowych stanowiących już znaczący segment rynku.

6. 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.

Podziękowanie

Autorzy pracy składają najserdeczniejsze podziękowania Firmom za udostępnienie pojazdów elektrycznych do badań: GM Polska, Renault Polska, Citroen Polska, Keratronik – Arkadiusz Wasikowski.

Literatura

1. Chłopek Z. Pojazdy samochodowe. Ochrona środowiska naturalnego, WKiŁ Warszawa 2002.
2. Chłopek Z. Research on energy consumption by an electric automotive vehicle. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2012; 57(3).
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 (Wydanie I), 2011 (Wydanie II).
5. 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. 2009; 16(1).
6. Materiały z Konferencji Międzynarodowej „Innowacyjne Rozwiązania w Przemysle Transportowym. Pojazdy CNG i Elektryczne”, 8-9 listopada 2011 Warszawa.

7. Merkisz J, Pielecha I. Alternatywne napędy pojazdów. Politechnika Poznańska 2006.
8. McCrone A. – Price of Electric Vehicle Batteries to Fall as Manufacturing Capacity Outstrips Demand. Bloomberg New Energy Finance, 14 September 2011.
9. Olszowiec P. - Gdy zabraknie prądu. Superkondensatory. Energia Gigawat, czerwiec 2002.
10. Projekt Badawczy N509 573 239 MNiSzW pt. Opracowanie i badanie samochodowego systemu bezpieczeństwa w ramach struktury inteligentnego pojazdu, kier. proj. mgr inż. Bogusław Pijanowski, PIMOT 2010 – 2013.
11. Projekt Badawczy N509 573 239 MNiSzW, Zad. nr 3 pt. Opracowanie teoretycznego modelu przepływu i analizy informacji, kier. zesp. prof. nzw. Dariusz Żardecki, PIMOT 2011.
12. Regulamin EKG ONZ nr 10.
13. Regulamin EKG ONZ nr 83.
14. Regulamin EKG ONZ nr 100.
15. Walter F. Going Green with Electric Vehicles, Technology and Engineering Teacher, 11.2010.
16. Więckowski D. Ocena drgań pionowych samochodu oddziałujących na dzieci posadawione w fotelikach. Wydawnictwo Naukowe PIMOT, Warszawa 2013.
17. Available from: <http://safety-car.info/systems/activsystem/2719-esc2.pdf> [cited 2016 Nov 2].