

## **NAUKA EFEKTYWNEJ ENERGETYCZNEJ JAZDY SAMOCHODEM ELEKTRYCZNYM – ANALIZA WYNIKÓW SZKOLENIA Z WYKORZYSTANIEM SYMULATORA JAZDY SAMOCHODU OSOBOWEGO**

### **TEACHING OF ENERGY EFFICIENT ELECTRIC CAR DRIVING – ANALYSIS OF THE TRAINING RESULTS WITH USE OF THE CAR SIMULATOR**

**Anna Skarbak-Żabkin**

**Arkadiusz Matysiak**

Instytut Transportu Samochodowego

ul. Jagiellońska 80

03-301 Warszawa

e-mail: [anna.skarbak@its.waw.pl](mailto:anna.skarbak@its.waw.pl)

e-mail: [arkadiusz.matysiak@its.waw.pl](mailto:arkadiusz.matysiak@its.waw.pl)

**Abstract:** The efficiency of electric motors and the development of the advanced energy storage make that electric vehicles are a technical and economical alternative to combustion vehicles. The electric vehicles have certain advantages, which increase the interest in of the transport in this type. In the first place on the user side, replace the lower operating costs and higher energy efficiency. A further reduction in energy costs can be achieved by recovering braking energy and charge the battery during lower tariff. An important element is the training of novice drivers of electric vehicles at the aim of the energy efficient driving. During training at the Motor Transport Institute students go through a theoretical course, which is aimed to explore the principles of electric cars, the elements of the dynamics of electric vehicles movement and the principles of energy efficient driving.

**Keywords:** driving simulator, car driving, energy efficient driving.

#### **Wprowadzenie**

Szkolenie dla kierowców pojazdów elektrycznych odgrywa istotną rolę we wspieraniu energooszczędnego stylu jazdy. Celem szkolenia jest optymalizacja zużycia energii poprzez efektywne techniki jazdy. Instruktor prowadzący szkolenie jest odpowiedzialny za ocenę zachowania kursanta podczas jazdy, sprawności i komfort fizycznego. Sprawność kursanta jest testowana w zakresie energooszczędnego stylu jazdy i użycia systemów pokładowych w sposób, który mógłby wpłynąć na optymalizację zużycia energii. Jako że wskaźniki skuteczności zależą od indywidualnych cech psychofizycznych, liczba i rodzaj scenariuszy szkoleniowych musi być indywidualnie dostosowana. Badania prowadzone były na symulatorze samochodu osobowego AS 1200-6, który znajduje się w

Instytucie Transportu Samochodowego. Ulokowany jest w pomieszczeniu specjalnie zaadaptowanym na potrzeby przeprowadzenia badania (odpowiednie warunki dla kierowcy oraz dla operatora symulatora, który nadzoruje przebieg szkolenia na pulpicie sterowniczym).

#### **Symulator samochodu osobowego AutoSim AS 1200-6**

Wykorzystany do badań symulator jazdy AS 1200-6 jest stosowany do oceny zachowania kierowców w sytuacjach przedwypadkowych, w stanie po spożyciu leków, alkoholu, pod wpływem narkotyków oraz w stanie dużego zmęczenia. Służy również do prowadzenia badań i oceny zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego, wynikającego z używania przez kierowcę telefonu

komórkowego lub nawigacji satelitarnej w trakcie jazdy samochodem. Umożliwia prowadzenie badań np. czasu reakcji na zagrożenie w ruchu drogowym, w bezpiecznych warunkach laboratoryjnych przy zachowaniu powtarzalności warunków eksperymentu [1].

Jazda symulatorem samochodu osobowego stwarza wrażenie uczestnictwa w realnym ruchu drogowym za sprawą pełnowymiarowej kabiny pojazdu oraz układu prezentacji obrazu o wysokiej rozdzielczości.

Symulator zbudowany jest z (rys. 1):

- pełnowymiarowej i w pełni funkcjonalnej kabiny pojazdu marki Opel Astra IV,
- systemu 4 projektorów wyświetlających obraz drogi na cylindrycznym ekranie pokrywającym 200° pola widzenia,
- systemu 3 monitorów pełniących funkcje lusterek,
- ruchomej platformy o sześciu stopniach swobody, pozwalającej na symulowanie ruchów kabiny:
  - kątowych (przemieszczenie  $\pm 22^\circ$ , prędkość  $\pm 30^\circ/\text{sekundę}$ , przyspieszenie  $\pm 500^\circ/\text{sekundę}$ ,

- liniowych (przemieszczenie  $\pm 0,25$  m, prędkość  $\pm 0,5$  m/sekundę, przyspieszenie  $\pm 0,6$  g),

- stanowiska operatora.

Wewnątrz kabiny symulatora generowane są bodźce mechaniczne (wibracje kabiny i fotela) oraz efekty dźwiękowe (czterokanałowy system nagłośnienia wewnątrz kabiny). Symulator pozwala na przygotowanie eksperymentów uwzględniających różne warunki drogowe, przy czym umożliwia kontrolowanie zachowań uczestników ruchu. Umożliwia też pełną kontrolę warunków otoczenia: pogodowych i oświetleniowych. Na stanowisku operatora możliwe jest sterowanie programem symulacji, a także rejestrowanie przebiegu jazdy. System akwizycji pozwala na zapisywanie parametrów ruchu wszystkich pojazdów w programie symulacji, zdarzeń występujących w czasie jazdy oraz reakcji kierowcy związanych z prowadzeniem pojazdu (naciśnięcie pedałów, ruchy kierownicą, etc.) [1].



Rys. 1. Symulator samochodu osobowego AS1200-6 [fot. ITS].

Rozbudowane oprogramowanie symulatora dopuszcza projekcję do 100 obiektów drogowych jednocześnie i naśladowanie jazdy po ponad 200 km wirtualnych dróg w różnych warunkach atmosferycznych i drogowych. Różnorodne parametry wygenerowane przez komputer dają możliwość tworzenia nieskończenie wielu scenariuszy badań.

Symulator AS1200-6 jest wysokiej klasy urządzeniem przeznaczonym do badania kierowców w zakresie wpływu istotnych dla funkcjonowania w ruchu drogowym czynników np. tendencji do podejmowania zachowań ryzykownych. Te czynniki wiążą się z [2]:

Kierowcą:

- doświadczenie w prowadzeniu pojazdów,
- zaburzenia stanu zdrowia,
- przyjmowanie środków odurzających,

- sprawność psychomotoryczna (czas reakcji, widzenie zmierzchowe, podzielność uwagi, koordynacja wzrokowo-ruchowa, widzenie stereoskopowe),

- sprawność intelektualna,

- cechy osobowości;

Infrastrukturą:

- oznakowanie dróg,
- rozmieszczenie elementów dodatkowych na drodze (np. urządzeń rejestrujących),
- modelowanie zachowań kierowców na danym segmencie drogi,
- komunikacja infrastruktura-pojazd;

Pojazdem:

- systemy wspomagania jazdy (nawigacje samochodowe),
- ergonomia kokpitu,

- dodatkowe elementy wpływające na bezpieczeństwo (telefon komórkowy).

### Program szkolenia i scenariusze szkoleniowe

Pierwsza część szkolenia dotyczy wprowadzenia do szkolenia i przeprowadzana jest w następującej kolejności [3]:

- adaptacja do środowiska symulacyjnego,
- wstępne sprawdzenie umiejętności w prowadzeniu,
- teoretyczne wprowadzenie,
- ćwiczenia ukierunkowane na energooszczędność,
- ostateczne sprawdzenie umiejętności w prowadzeniu ze wskazówkami instruktora.

Sesja adaptacyjna jest wykonywana na samym początku sesji treningowych. Specjalnie zaprojektowane scenariusze symulacyjne ukierunkowane są na zjawiska *choroby symulatorowej* w celu przyzwyczajenia kursanta do specyfiki środowiska symulacyjnego. Scenariusz adaptacji uwzględnia trasy w ruchu miejskim, podmiejskim i autostradowym - i oswaja kierowcę z ruchami i pochyleniami platformy. Adaptacja jest przeprowadzona jednorazowo. Aby szkolenie było rzetelne kursant musi być w dobrym stanie psychicznym i fizycznym po adaptacji. Zwykle jest to sprawdzane za pomocą dedykowanego Kwestionariusza Chorobowy

Symulatorowej - takie podejście jest zgodne z powszechnie stosowanym szkoleniem na symulatorze jazdy i metodologiami badawczymi. Stan kursanta oceniany jest przez instruktora zgodnie z udzielonymi odpowiedziami w kwestionariuszu, a także poprzez ocenę ogólnego wyglądu i zachowania kursanta po przejściu sesji adaptacyjnej.

Początkowe badanie dostarcza informacji o umiejętnościach kursanta związane z manewrowaniem oraz z oszczędną energetycznie jazdą. Całkowita trasa obejmuje zarówno środowisko miejskie i pozamiejskie, ponieważ istnieją dwa istotne elementy scenariusza. Pierwszy z nich jest realizowany w mieście, z wieloma skrzyżowaniami, sygnalizacją świetlną i w ruchu drogowym. Druga część trasy została wyznaczona na autostradzie z dość intensywnym ruchem i ledwo wystarczającym miejscem na manewrowanie. Głównym celem tego scenariusza jest uzyskanie pomiarów, które później służą jako punkt odniesienia dla końcowej oceny postępów kierowcy.

Kursanci przechodzą przez kurs teoretyczny (rys. 2), który jest ukierunkowany na poznanie zasad prowadzenia samochodów elektrycznych, charakterystycznych elementów dynamik poruszania się pojazdów elektrycznych oraz zasad efektywnej energetycznie jazdy. Trwający 45 minut wykład jest prowadzony przez eksperta szkoleniowego.



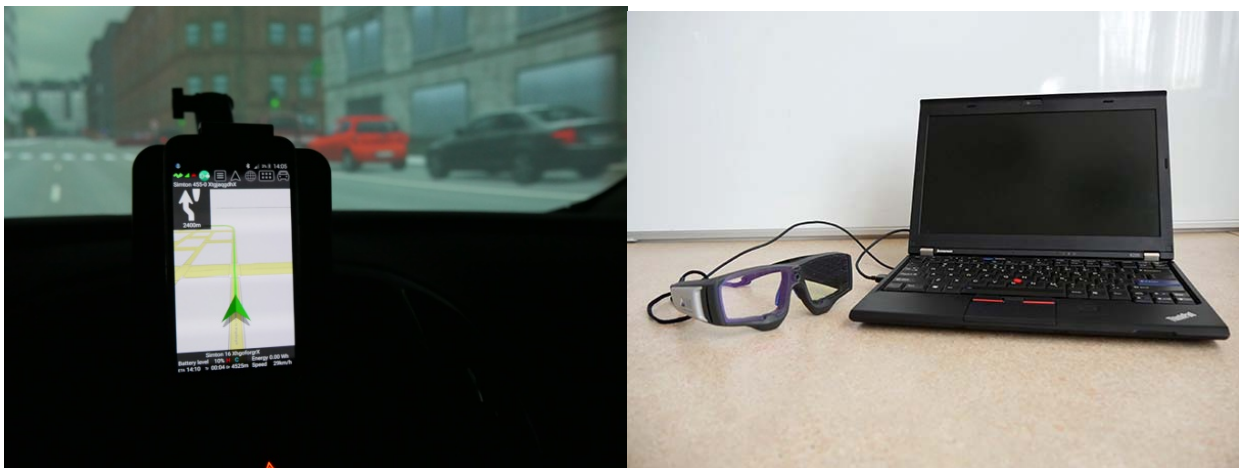
Rys. 2. Kurs teoretyczny dla kierowców pojazdów elektrycznych prowadzony na terenie Instytutu Transportu Samochodowego [fot. ITS].

Pierwszy scenariusz szkoleniowy miał na celu zwiększenie umiejętności efektywnego energetycznie zachowania na drodze, czyli przyspieszania, jednostajnej jazdy oraz hamowania w sposób, który maksymalizuje odzysk energii. Zadaniem kursanta było przyspieszenie w najbardziej energooszczędny

sposób, a następnie jechanie ze stałą prędkością 50 km/h przez 30 sekund i wreszcie zatrzymanie używając najbardziej efektywnej strategii hamowania odzyskującego energię. Parametry jazdy, takie jak średnia prędkość, średnie przyspieszenie, średnie zwalnianie i intensywność naciskania

pedału, a także wartości chwilowe są zapisywane w celu podsumowania jazdy. Każdy kursant jest proszony o wykonanie dwa razy tego samego ćwiczenia. W ten sposób kursant uświadamia sobie faktyczny postęp w kierowaniu. Drugi scenariusz szkoleniowy polegał na przejechaniu trasy w warunkach miejskich i podmiejskich (przejazd po ulicach w terenie gęsto zabudowanym ze skrzyżowaniami sterowanymi oraz wyjazd na odcinek autostrady przy średnim natężeniu ruchu). Ostatnia sesja jazdy szkoleniowej ma ten sam scenariusz szkoleniowy, co początkowa sesja. Głównym celem tej części szkolenia jest, aby ocenić postęp poczyniony w ramach procesu szkolenia w ustalonych warunkach zewnętrznych i bodźcach drogowych. W celu wspierania przyswajania umiejętności ekojazdy, instruktor siedzi w symulatorze obok praktykanta i daje odpowiednie wskazówki podczas całego przejazdu. Pod koniec szkolenia, każdy kursant otrzymuje kwestionariusz obejmujący wszystkie zagadnienia wymienione w trakcie szkolenia. Ten sam formu-

larz jest również rozdawany przed pierwszymi jazdami. Porównanie liczby prawidłowych odpowiedzi może również oznaczać wzrost wiedzy wynikający z samego kursu. Podczas szkolenia używana była mobilna aplikacja IEM-ADAS. Aplikacja wgrana jest na urządzenie Samsung Galaxy 5S (rys. 3), który umieszczony jest na desce rozdzielczej pojazdu. Przez wszystkie przejazdy, IEM-ADAS wyświetla parametry związane ze zużyciem energii i wizualizacji rzeczywistego wpływu sposobu kierowania na zużycie energii. Kierowca jest wyposażony w urządzenie śledzące ruch oczu i podawane są mu kolejne zadania, które wymagają od niego wykonywania operacji, takich jak znalezienie odpowiedniego przycisku lub wybieranie odpowiedniej opcji w aplikacji. Urządzenie śledzące ruch oczu, a także tempo realizacji poleceń dostarcza wskaźników psychomotorycznych, takich jak liczba fiksacji w jednym miejscu, czas ich trwania, zmienność pozycjonowania sakady itp. [3].



Rys. 3. Urządzenia wykorzystywane podczas szkolenia [fot. ITS].

## Analiza wyników

W ramach działań rekrutacyjnych do szkolenia wybrano 16 osób w wieku od 21 do 38 lat. Ostatecznie do właściwego szkolenia przystąpiło 15 osób podzielonych na trzy 4-osobowe i jedną 3-osobową grupę. Żadna z osób nie przerwała jazdy adaptacyjnej, jednak w trakcie realizacji drugiego przejazdu w warunkach miejskich i podmiejskich jeden ze szkolonych zrezygnował z dalszego uczestnictwa w szkoleniu ze względu na wystąpienie silnych objawów choroby symulatorowej.

Ostatecznie 14 osób wzięło udział w pełnym zakresie szkolenia.

Niestety, w związku z problemami technicznymi wyniki z przejazdów w warunkach miejskich i podmiejskich dla trójki kolejnych kursantów musiały zostać wykluczone z ostatecznego podsumowania realizacji szkolenia. W rezultacie przedstawione poniżej wyniki szkolenia obejmują przejazdy 14 osób szkolonych w ramach obu przejazdów nakierowanych na utrzymywanie stałej prędkości 50 km/h w kontrolowanych warunkach drogowych oraz 11 osób z przejazdów w warunkach miejskich i podmiejskich.

Pierwszy etap analizy wyników z poszczególnych przejazdów realizowany był już w trakcie przejazdu poprzez ocenę ekspercką pracowników Instytutu oraz zewnętrznego instruktora jazdy specjalizującego się w tematyce ecodrivingu. Ocena ekspercka obejmowała takie elementy kierowania pojazdem w środowisku symulacyjnym, jak charakterystyka przyspieszania i hamowania, intensywność naciśnięcia pedałów gazu i hamulca, prędkość chwilowa oraz antycypacja sytuacji na drodze poprzez dostosowanie do niej parametrów ruchowych pojazdu. Wyniki oceny eksperckiej przedstawiano kursantom podczas sesji teoretycznych, realizowanych po każdej z praktycznych sesji treningowych, w formie prostej w swojej formie informacji zwrotnej, która pozwoliła na wyczulenie kursantów na poszczególne elementy konieczne do poprawy przy kierowaniu pojazdem elektrycznym.

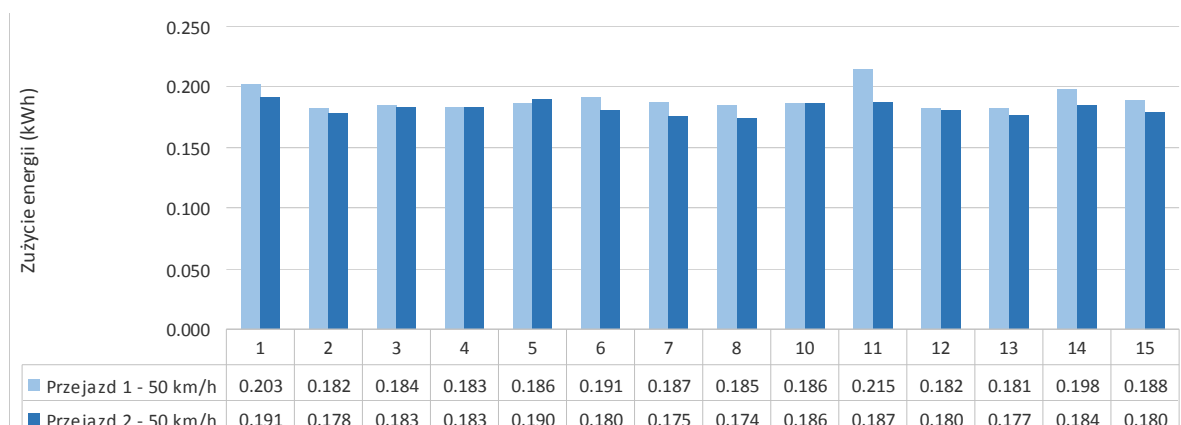
Przedstawione poniżej wyniki charakterystyki przejazdów kursantów stanowią końcowy etap oceny wydajności energetycznej przejazdu, właściwy dla potwierdzenia efektywności zaproponowanego programu szkolenia ze względu na stawiane założenia. Zgodnie z powszechnie przyjętą w ramach szkoleń ecodrivingowych metodologią, jako kluczowe dla przedstawienia skuteczności pilotażowego szkolenia uznano trzy parametry:

- całkowite zużycie energii podczas przejazdu,
- średnia prędkość przejazdu,
- całkowity czas przejazdu.

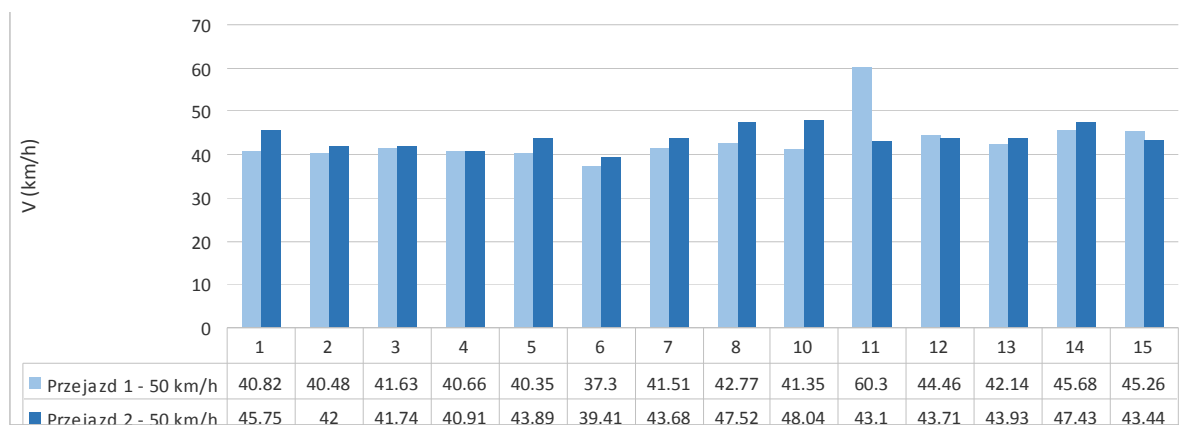
Gdy pomiar pierwszego z nich wydaje się oczywisty, pozostałe parametry stanowią weryfi-

kację powiązania mniejszego zużycia energii z płynniejszym stylem jazdy przekładającym się na krótszy czas przebycia zadanej trasy i większą średnią prędkość przejazdu. Są to też elementy kluczowe z punktu widzenia przekazywania wiedzy kursantom, pozwalające na przedstawienie realnych korzyści z prowadzenia pojazdu w sposób efektywnie energetyczny.

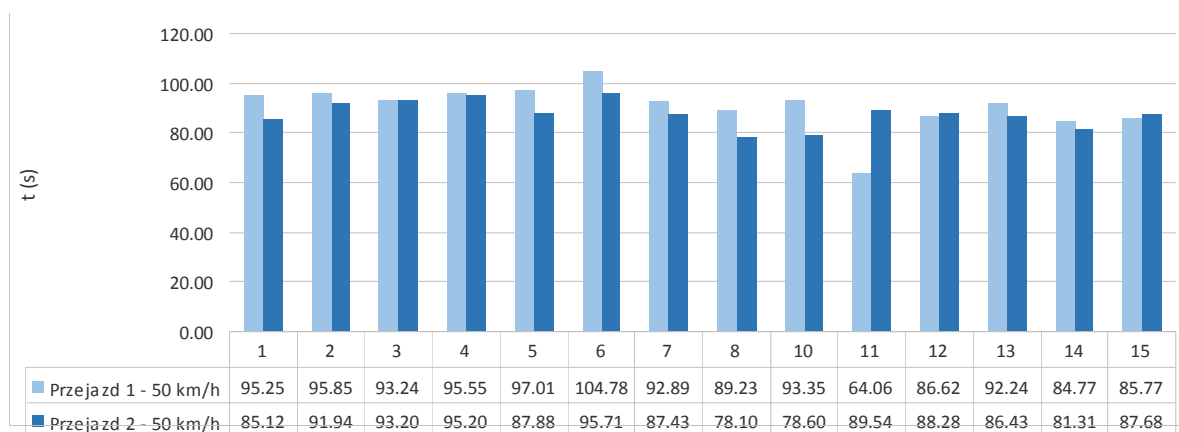
Pierwszy scenariusz szkoleniowy, polegający na osiągnięciu 50 km/h i utrzymaniu stałej prędkości na jezdni o jednym pasie przy braku innych pojazdów, pozwolił na wdrożenie efektywnych energetycznie zachowań u znaczącej większości kursantów. 13 na 14 uczestniczących w przejazdach kierowców zużyło mniej energii podczas swojego drugiego przejazdu (rys. 4), 11 kursantów zwiększyło również średnią prędkość uzyskaną na odcinku, co przełożyło się też na krótszy czas przejazdu. Średnio cała grupa zużyła w swoim drugim przejeździe o 4% energii mniej, odnotowując jednocześnie zwiększenie średniej prędkości o ok. 0,7 km/h (rys. 5) i skrócenie czasu przejazdu o średnio 3,16 s (rys. 6). Biorąc pod uwagę całkowitą długość trasy do przebycia w ramach zadania (nieco ponad 1000 m) wydaje się to być wynikiem znaczącym. Należy również zwrócić uwagę na ostateczny wynik osób o wyraźnie dynamicznym stylu jazdy, tak jak w przypadku kursanta nr 11. Zmniejszenie zużycia energii o ok. 13% pozwala stwierdzić, że przyjęte założenia szkoleniowe dla opisywanego scenariusza sprawdziły się.



Rys. 4. Zużycie energii podczas przejazdów w ramach 1-go scenariusza szkoleniowego.



Rys. 5. Średnia prędkość przejazdów w ramach 1-go scenariusza szkoleniowego.



Rys. 6. Całkowity czas przejazdów w ramach 1-go scenariusza szkoleniowego.

W przypadku przejazdów realizowanych w ramach drugiego scenariusza szkoleniowego, polegającego na przejechaniu trasy w warunkach miejskich i podmiejskich (przejazd po ulicach w terenie gęsto zabudowanym ze skrzyżowaniami sterowanymi oraz wyjazd na odcinek autostrady przy średnim natężeniu ruchu), przyjęto podobne kryteria oceny kierowców, jak w przypadku scenariusza pierwszego. Jednakże, ze względu na brak powtarzalnych warunków wynikających z charakterystyki środowiska symulacyjnego szczególną wagę przyłożono przede wszystkim do uzyskanych wartości zużycia energii, traktujących pozostałe uzyskane wyniki jako pogładowe.

Dane z przejazdów 11 kursantów, uwzględnione ostatecznie do analizy wyników, wskazały znaczące polepszenie efektywności energetycznej – średnie zużycie energii w grupie zmniejszyło się o 18,88% podczas drugiego przejazdu (rys. 7), a jedynie jeden kursant nie poprawił swojego wyniku

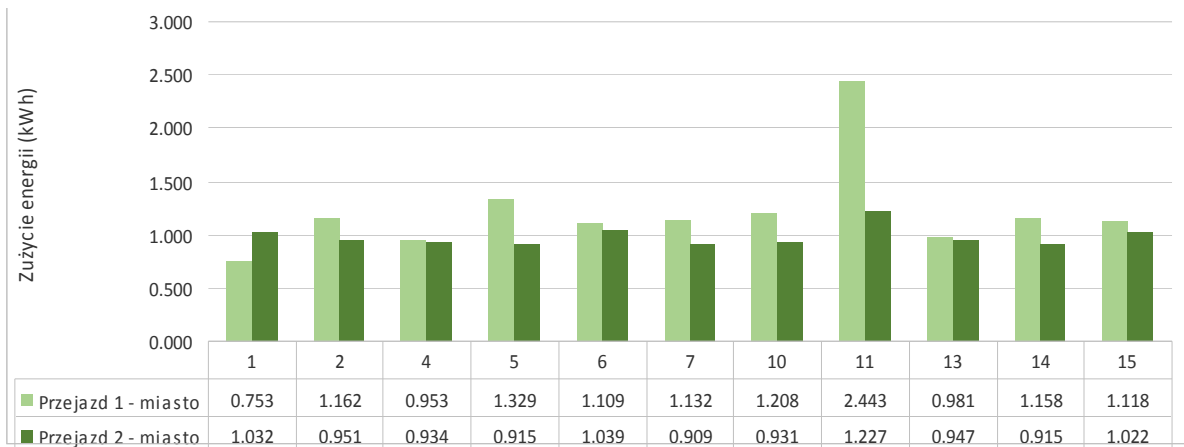
w odniesieniu do przejazdu nr 1. Średnia prędkość podczas przejazdów zmniejszyła się nieznacznie, o ok. 0,9 km/h (rys. 8) przekładając się na skrócenie czasu jazdy o 2,14 s (rys. 9) na całym odcinku.

Jak wspomniano, w trakcie realizacji zadań szkoleniowych zbierano również informacje na temat zachowania kierowców na drodze, w tym przede wszystkim tych niepożądanych z punktu widzenia założeń szkolenia. Zebrano również informację zwrotną od samych kierowców. Jak okazało się, największe trudności kursanci przejawiali w opanowaniu efektywnego energetycznie hamowania oraz utrzymywaniu stałej prędkości poprzez podtrzymywanie minimalnej wymaganej do tego intensywności naciśnięcia pedału gazu. Co ważne jednak, przebieg drugiej serii ćwiczeń na symulatorze jazdy pokazał, że umiejętności te mogą zostać opanowane w stosunkowo krótkim czasie.

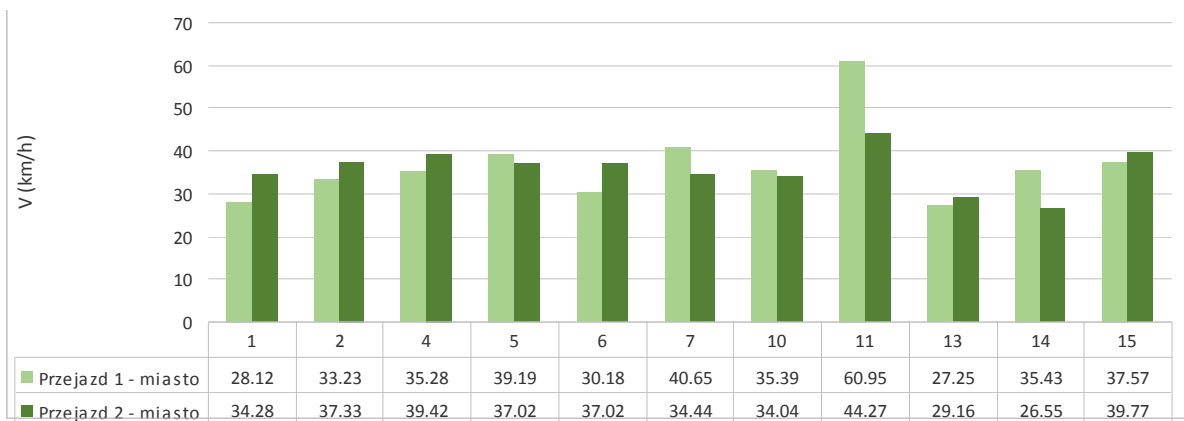
Tematyka i przebieg szkolenia zostały pozytywnie odebrane przez samych kursantów. Zwracali oni

przede wszystkim uwagę na dynamiczny sposób prowadzenia szkoleń, możliwość stałego kontaktu z instruktorem, możliwość obserwacji dokonań pozostałych kursantów. Kierowcy zwrócili również uwagę na dodatkowe korzyści, jakie niesie ze sobą

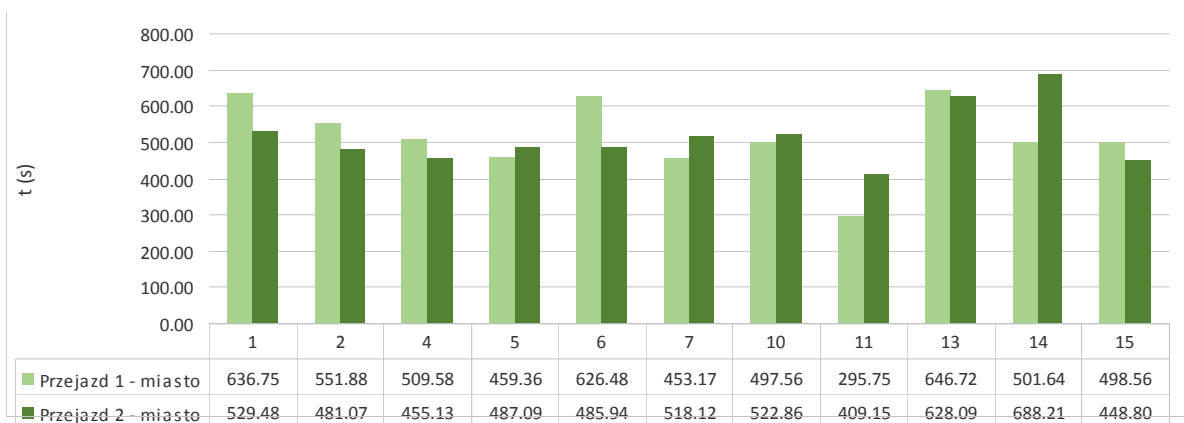
szkolenie nakierowanie na zwiększenie efektywności energetycznej podczas jazdy samochodem elektrycznym, związane ze wzrostem umiejętności w zakresie jazdy defensywnej, w tym przede wszystkim antycypacji sytuacji na drodze.



Rys. 7. Zużycie energii podczas przejazdów w ramach 2-go scenariusza szkoleniowego.



Rys. 8. Średnia prędkość przejazdów w ramach 2-go scenariusza szkoleniowego.



Rys. 9. Całkowity czas przejazdów w ramach 1-go scenariusza szkoleniowego.

## Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki szkolenia dla początkujących kierowców samochodów elektrycznych wskazują adekwatność założeń zaproponowanej metodologii, a także potwierdzają skuteczność symulatorów jazdy jako efektywnego narzędzia szkoleniowego również w przypadku pojazdów elektrycznych. Jasno nakreślona tematyka szkolenia, a także przeprowadzenie go w prostej, zrozumiałej formie przez doświadczonego instruktora jazdy pozwoliły zwielokrotnić efekt edukacyjny. Szczególnie ważne w tym aspekcie wydaje się zindywidualizowanie przekazu, realizowane poprzez ciągły nadzór nad realizacją ćwiczenia w jego trakcie oraz przekazanie szczegółowej infor-

macji zwrotnej indywidualnie dla każdego kursanta. Przedstawione w artykule elementy wdrożone do szkolenia miały jednoznaczny, pozytywny wpływ na jego wyniki. W przypadku obu scenariuszy szkoleniowych znacząca większość kierowców wdrożyła przekazane im informacje z zakresu efektywnego energetycznie prowadzenia pojazdu, co przełożyło się na zmniejszenie zużycia energii (o odpowiednio 4% i 18,88%), a także skrócenie czasu przejazdu i zwiększenie jego średniej prędkości. Zrealizowane sesje treningowe miały więc pozytywny wpływ na zwiększenie umiejętności kierowców w aspektach pożądanym z punktu widzenia założeń szkolenia. Dodatkowo jednak przyczyniły się także do zwiększenia świadomości kursantów w zakresie bezpiecznej jazdy.

## Bibliografia

1. Kruszewski, M., Nader, M., Projekt badań wpływu obciążenia poznawczego zadaniami dodatkowymi na prowadzenie pojazdu przez kierowcę, *Logistyka*, 4, 2015, CD.
2. Materiały Instytutu Transportu Samochodowego, Pierwszy w Polsce symulator samochodu osobowego wysokiej klasy, 2016.
3. Raport EMERALD Final Trials Results – Overall Evaluation of the EMERALD System, 2015.