

Andrzej Dębowski^{*}, Paweł Stankiewicz^{**}, Marek Marczak^{**}

^{*}Politechnika Bydgoska¹⁾, Bydgoszcz

^{**}ARP E-VEHICLES Sp. z o.o., Solec Kujawski

ANALIZA ZUŻYCIA ENERGII PRZEZ AUTOBUS ELEKTRYCZNY EKSPLOATOWANY W RUCHU MIEJSKIM

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION BY ELECTRIC BUS OPERATED IN CITY TRAFFIC

Streszczenie: W artykule omówiono wyniki obserwacji pracy układu napędowego autobusu elektrycznego PILEA wyprodukowanego przez ARP E-VEHICLES w Solcu Kujawskim, prowadzonych w czasie jego jazdy miejskich w Czechowicach-Dziedzicach. Wyniki pomiarów podstawowych wielkości charakteryzujących pracę jego akumulatorowego napędu elektrycznego z silnikiem PMSM, rejestrowane w samym układzie sterowania napędu pozwoliły na dokonanie oceny rzeczywistej efektywności energetycznej pojazdu z takim napędem. Dzięki temu sprawdzono także poprawność modelu zastępczego używanego do opisu zachowania się pojazdu w trakcie pokonywania tras o różnych profilach pionowych i różnych harmonogramach jazdy. Model taki umożliwia prognozowanie spodziewanej wielkości zwrotu energii elektrycznej do baterii (czyli tzw. rekuperacji), oraz wskazanie dla danej trasy optymalnego harmonogramu jazdy.

Abstract: The article presents the results of observations of the drive system operation in the PILEA electric bus manufactured by ARP E-VEHICLES in Solec Kujawski, carried out during its city rides in Czechowice-Dziedzice. The results of measurements of the basic quantities characterizing the operation of its battery sourced electric PMSM drive, recorded in the drive control system itself, made it possible to assess the actual energy efficiency of a vehicle with such a drive. As a result, the correctness of the substitute model used to describe the behavior of the vehicle while driving on routes with different vertical profiles and different driving schedules was also checked. Such a model makes it possible to forecast the expected amount of electricity return to the battery (i.e. recuperation), and to indicate the optimal driving schedule for a given route.

Słowa kluczowe: publiczny transport miejski, autobus elektryczny, napęd PMSM, zasilanie akumulatorowe, odzyskiwanie energii elektrycznej

Keywords: city public transport, electric bus, PMSM drive, battery power supply, electricity recovery

1. Wstęp

Mały autobus elektryczny omawiany w tym artykule (Rys. 1) jest przykładem elektrycznego pojazdu komunikacji miejskiej należącego do grupy BEV (z ang. *Battery Electric Vehicle*), a więc pojazdem z mobilnym magazynem energii elektrycznej w postaci baterii akumulatorowej. Bateria ta zasila jednostkę napędową składającą się ze sterowanego wektorowo silnika PMSM (z ang. *Permanent Magnet Synchronous Motor*) połączonego z falownikiem specjalnie dla niego zaprojektowanym. Silnik i falownik chłodzone są cieczą, co pozwala uzyskiwać dużą moc przy ograniczonych wymiarach napędu. Dzięki temu – a także dzięki płaskiej konstrukcji baterii, możliwe było ulokowanie napędu w podwoziu, co znacząco obniżyło środek ciężkości pojazdu.

Oczywiście bateria tego autobusu musi być co pewien czas systematycznie ładowana poprzez podłączenie go odpowiednim kablem do stacji ładowania pojazdów elektrycznych.



Rys. 1. Dwie przykładowe wersje wykonania autobusu PILEA: z lewej strony – jako autobusu komunikacji miejskiej, oraz z prawej strony – jako autobusu szkolnego.

¹⁾ Przed 01.09.2021 uczelnia nosiła nazwę:
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

2. Wyniki pomiarów rzeczywistego zużycia energii elektrycznej

Przykładem, na podstawie którego w dalszej części tego artykułu omawia się zużycie energii przez autobus PILEA, jest jeden z jego kursów z pasażerami w Czechowicach-Dziedzicach (na linii 3), opisany raportem systemowym:

Start time	09-07-2021 11:50
End time	09-07-2021 12:56
Time in service	01:05
Time driving	00:54
Battery used	21.0 %
Distance	29.7 km
Average speed	32.6 km/h
Energy used in service	21.05 kWh
Energy regenerated	11.36 kWh
Consumption in service	0.71 kWh/km

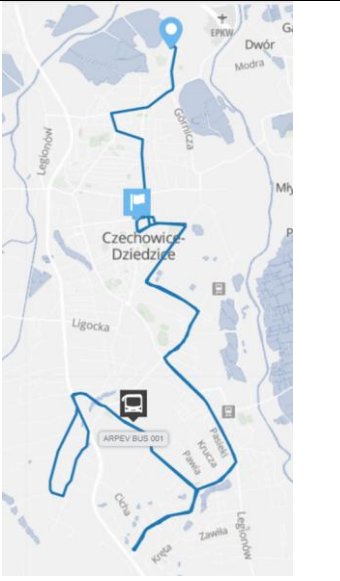
W tabelicy 1, obok fragmentu rozkładu jazdy dla tej linii, na tle wycinka mapy przedstawiono dokładną trasę dla wybranego przykładowego przejazdu autobusu, odtworzoną na podstawie informacji pochodzących z GPS. Poniżej, także w oparciu o dane uzyskane z GPS, na rysunku 2

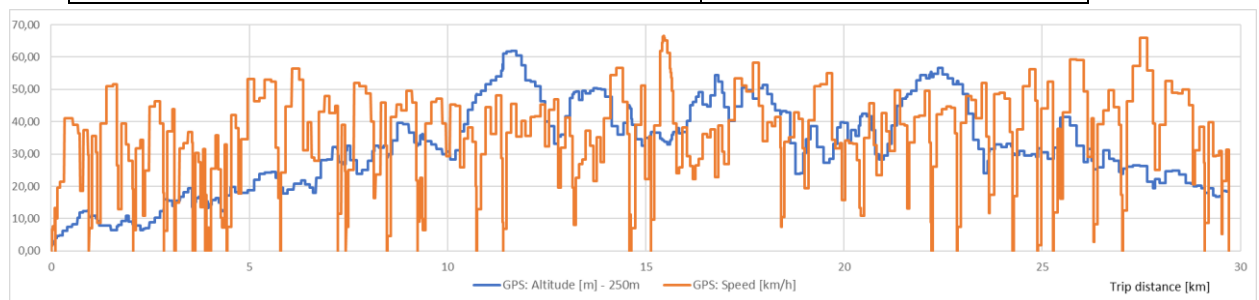
sporządzono wykres wzniesienia terenu, przez który przebiegała ta trasa, wykreślony w funkcji drogi przebywanej przez omawiany pojazd - mierzonej wzdłuż trasy przejazdu od jej punktu początkowego, pokazany na tle naniesionych wartości chwilowych jego prędkości.

Zamieszczane na dalszych rysunkach wykresy sporządzano już w funkcji czasu, który upływa od chwili wyruszenia autobusu na trasę do chwili zakończenia tego wybranego kursu – dla ułatwienia porównań, po kilka wielkości jednocześnie na jednym rysunku.

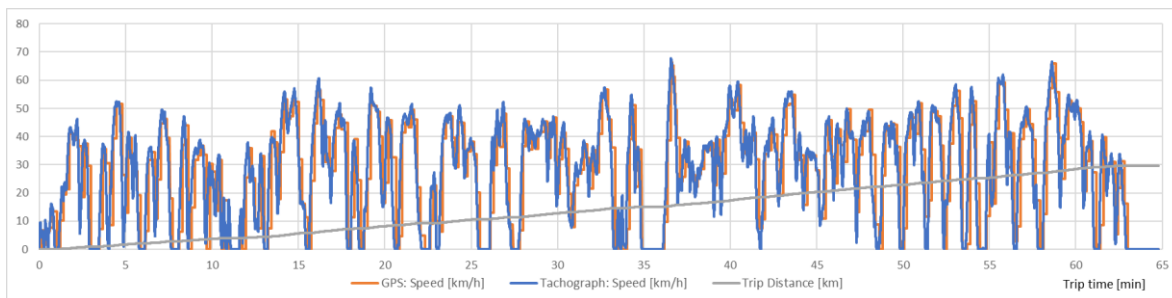
Rysunek 3 zawiera trzy wykresy: pierwszy z nich to przebieg przyrostu drogi przebywanej przez pojazd, zaś drugi i trzeci, to przebiegi dwóch prędkości pojazdu – tej widocznej dla kierowcy, czyli rejestrowanej w tachografie (nieco zawyżanej, zgodnie z przepisami), oraz dla porównania – także tej podawanej przez GPS, (teoretycznie mierzonej dokładniej, lecz także i ona nie może być tu uznana za wartość rzeczywistą, gdyż podawana jest z niewielkim i zmiennym opóźnieniem).

Tablica 1. Planowy rozkład jazdy obowiązujący w czasie wybranego przejazdu autobusu PILEA na linii 3

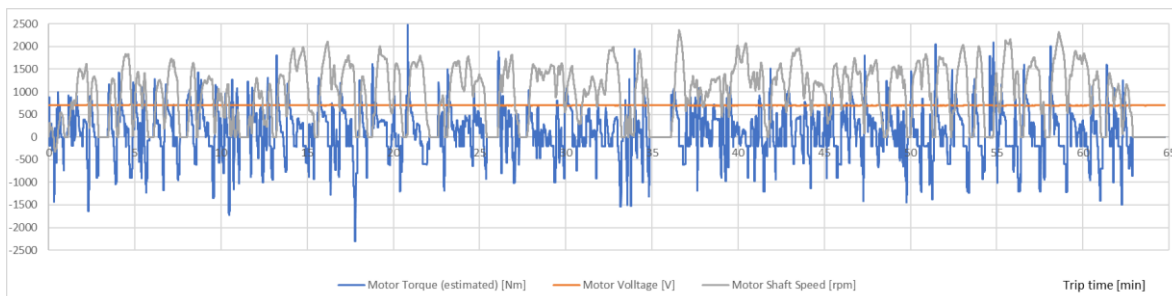
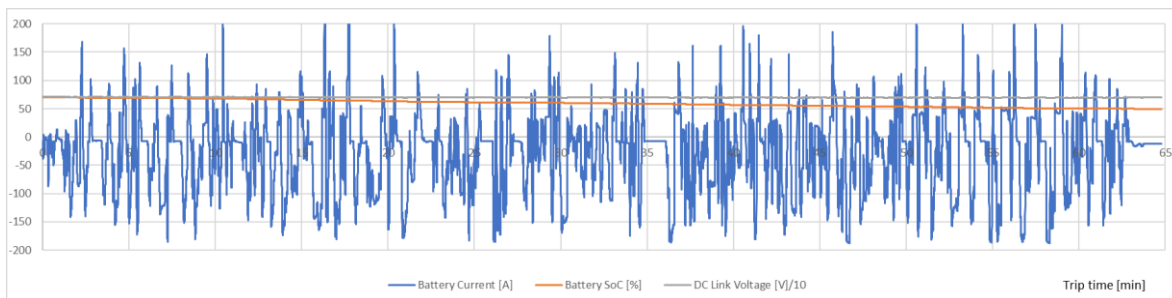
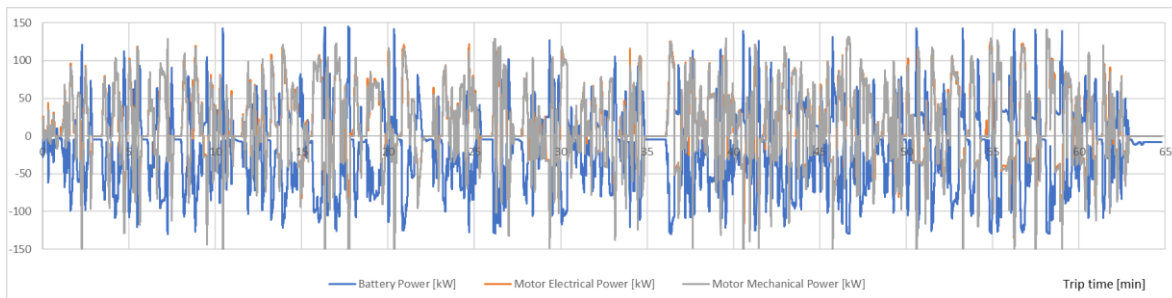
Czechowice-Dziedzice Silesia	11:50	Kopernika/Przełęczna	12:24	
Górnica/Wąglowa/Urząd Skarbowy	11:51	Kopernika/Cienista	12:25	
Wąglowa/Kościół Św. Barbary	11:52	Czechowice Górne/Pętla	12:26	
Wyspiańskiego/Osiedle Północ	11:55	Mazańcowska/Wiewiórcza	12:27	
Traugutta/ZSTIL	11:57	Mazańcowska/Przełęczna	12:28	
Czechowice-Dziedzice Dworzec	12:00	Mazańcowska/Zaplecze	12:29	
Niepodległości/Skwer Stulecia		Mazańcowska/Multispedytor	12:30	
Legionów/Niepodległości/MOSiR		Zamkowa/Kopernika/Palac Kotulskich	12:31	
Legionów/Kopernika Gliksmanka		Zamkowa/Partyzantów	12:32	
Słowackiego/Sienkiewicza/Park	12:01	Zamkowa/Słowicza	12:33	
Barlickiego/Lotos	12:03	Lipowska/Kręta/Brozysko	12:35	
Prusa/Barlickiego	12:04	Świerkowiec/Pętla	12:36	
Prusa/Lukasiewicza	12:06	Lipowska/Kręta/Brozysko	12:37	
Lukasiewicza/Lukowa	12:08	Lipowska/SP-3	12:38	
Legionów/Gigant	12:10	Lipowska/Pasieki	12:39	
Legionów/Południowe	12:11	Legionów/Południowe	12:41	
Lipowska/Pasieki	12:13	Legionów/Gigant	12:42	
Lipowska/SP-3	12:15	Lukasiewicza/Lukowa	12:44	
Lipowska/Kręta/Brozysko	12:16	Prusa/Lukasiewicza	12:46	
Świerkowiec/Pętla	12:17	Barlickiego/Prusa	12:48	
Lipowska/Kręta/Brozysko	12:18	Barlickiego/Lotos	12:49	
Zamkowa/Słowicza	12:20	Słowackiego/Sienkiewicza/Park	12:50	
Zamkowa/Partyzantów	12:21	Legionów/Kopernika Gliksmanka		
Zamkowa/Kopernika/Palac Kotulskich	12:22	Legionów/Niepodległości/MOSiR		
Mazańcowska/Multispedytor	12:23	Niepodległości/Skwer Stulecia		
Kopernika/Przełęczna	12:24	Czechowice-Dziedzice Dworzec	12:52	
		Traugutta/ZSTIL		
		Wyspiańskiego/Osiedle Północ		
		Wąglowa/Kościół Św. Barbary		
		Górnica/Wąglowa/Urząd Skarbowy		
		Czechowice-Dziedzice Silesia		



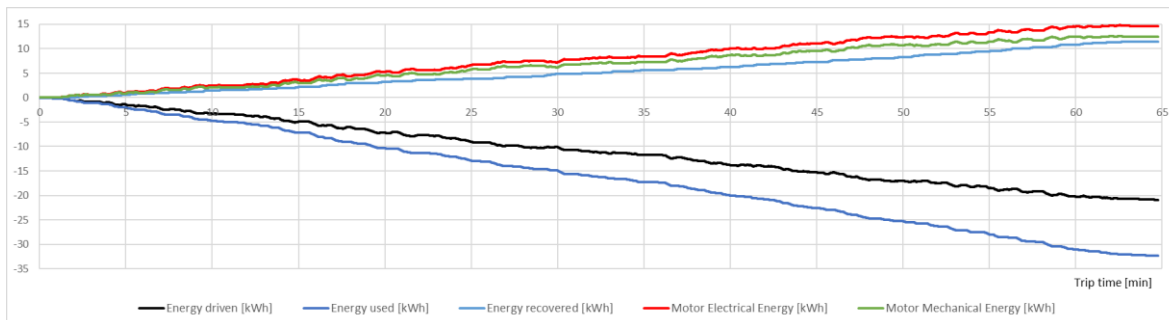
Rys. 2. Profil pionowy trasy jazdy autobusu PILEA na tle chwilowych wartości prędkości pojazdu (wg GPS)



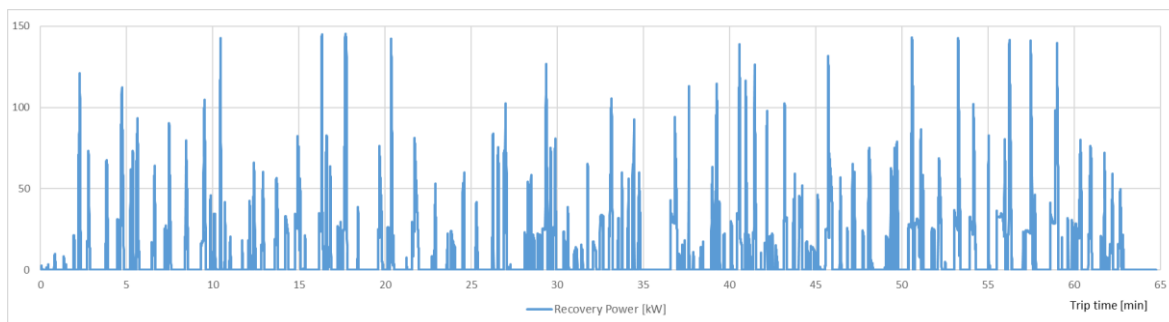
Rys. 3. Wykresy czasowe drogi przebywanej przez autobus PILEA i dwóch pomiarów prędkości



Rys. 4. Wykresy czasowe wybranych wielkości pomierzonych podczas przejazdu autobusu PILEA: grupa 1 – przebiegi mocy: elektrycznej pobieranej z baterii, elektrycznej dostarczonej do silnika, oraz mechanicznej oddawanej na wale silnika do przekładni, grupa 2 – przebiegi obrazujące chwilowy stan baterii w czasie przejazdu, grupa 3 – przebiegi obrazujące chwilowy stan silnika napędowego



Rys.5. Wykresy czasowe stanu zużycia poszczególnych składników energii elektrycznej w trakcie przejazdu autobusu PILEA po wybranej trasie (z harmonogramem zmian prędkości pokazanym na rys. 3, z takim jak zarejestrowano



Rys. 6. Przebieg czasowy wartości chwilowych mocy dotyczących odzyskiwania energii elektrycznej przy hamowaniu elektrodynamicznym ARPEV-busa w trakcie przejazdu omawianej trasy

Systemy sterujące zastosowane w autobusie PILEA pozwalały na jednoczesne dokonywanie wielu pomiarów i ich przetwarzanie w czasie rzeczywistym, a zapamiętywane wyniki były opatrzone dokładnym „stemplem czasowym”. Dzięki temu pojawiła się okazja sprawdzenia przydatności najprostszej metody dyskretnego całkowania tak próbkowanych sygnałów (tj. metody Eulera, czyli tzw. trapezów, do obliczeń związanych z dynamiką ruchu pojazdu.

Pierwszym takim przykładem było obliczenie drogi przebytej przez autobus PILEA w czasie omawianego przejazdu przeprowadzone w trybie off-line (w Excelu) poprzez scałkowanie obu mierzonych wartości prędkości chwilowej pojazdu (z tachometru oraz z GPS). Otrzymane wartości: 29,935 km (dla pomiarów z tachometru), 29,704 km (dla pomiarów z GPS-a), oraz 29,715 km (odczytane z licznika autobusu jako przebyta droga) drogi), wskazały, że pomiary prędkości z GPS-a, choć dokonywane rzadziej, są bardziej odporne na pojawianie się błędów obliczania przebytej drogi przy dłuższej trwającej operacji całkowania.

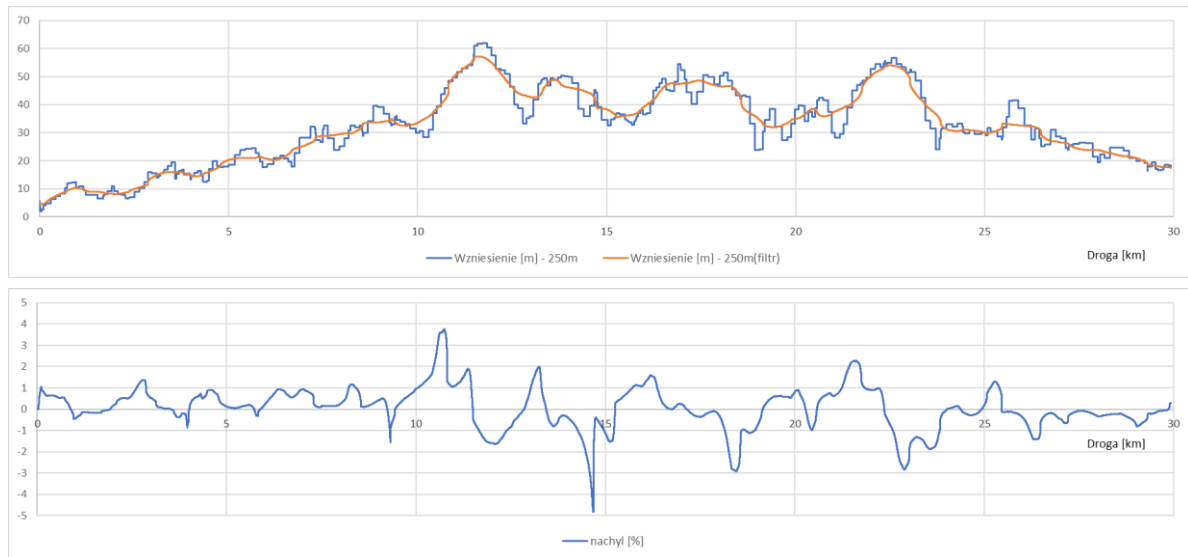
Drugim przykładem były obliczenia dotyczące wielkości poszczególnych składników energii przepływającej między baterią a stykającymi się z nawierzchnią drogi kołami autobusu, oparte na całkowaniu różnego rodzaju mocy chwilowych, możliwych także do wykonania off-line (w Excelu) na podstawie dostępnych pomiarów odpowiednich wielkości. Na rysunku 5 przedstawiono wyniki tych obliczeń, zaś jako przykład przebiegu wykorzystywanego w takim całkowaniu numerycznym, niżej - na rysunku 6 pokazano przebieg czasowy mocy chwilowej opisującej proces rekuperacji (tj. odzyskiwania energii elektrycznej z energii kinetycznej jaką dysponuje rozpędzona masa pojazdu). Przebieg na rysunku 6 otrzymano po wymnożeniu ze sobą wartości pomiarów dokonywanych w tych

samych chwilach czasowych: napięcia stałego w obwodzie pośredniczącym, czyli na wejściu falownika, oraz prądu zwracanego do baterii (wartości prądu baterii pobieranego – czyli o znaku przeciwnym, były w tych obliczeniach w Excelu podstawiane jako zerowe). Okazało się, że końcowe wartości przepływającej energii i jej składników (odczytane w chwili osiągnięcia punktu docelowego trasy), były w pełni zgodne z wartościami wyliczonymi na bieżąco (on-line) w sterowniku napędu autobusu. Wyniosły one: 32,37 kWh całkowitej energii pobranej, 20,92 kWh energii zużytej (w tym 12,46 kWh energii wykorzystanej w układzie jezdny, 2,20 kWh energii zużytej na pokrycie strat w układzie napędowym oraz 6,26 kWh energii pobranej przez inne urządzenia autobusu), a także 11,46 kWh energii zwróconej do baterii.

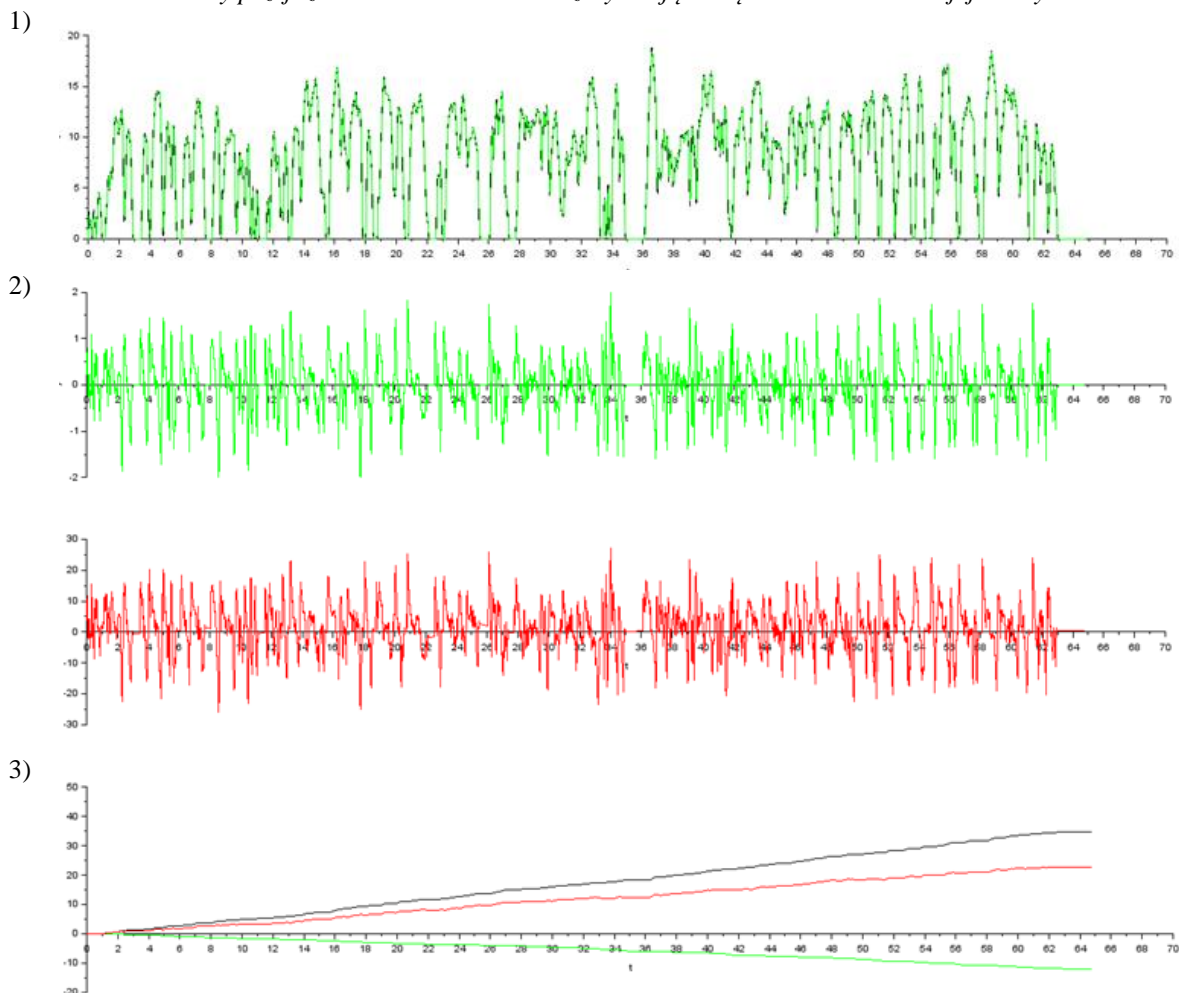
3. Model zastępczy pojazdu przyjęty do szacowania zużycia energii

W symulacyjnych obliczeniach zużycia energii podczas jazdy autobusu PILEA wykorzystano uproszczony model jego dynamiki oparty na II zasadzie dynamiki Newtona. W najprostszym ujęciu opisuje ruch masy skupionej w jednym punkcie poddanej działaniu wypadkowej siły zewnętrznej i mówi, że wartość pochodnej pędu (a więc będąca wektorem jako iloczyn skalarnej punktowej masy i wektora jej prędkości)) w każdej chwili jest dokładnie równa wektorowi wypadkowej siły działającej na tę masę.

Jeśli zastosować tę zasadę do opisanego dynamiki pojazdu kołowego poruszającego się po trasie prostoliniowej, to przy wszelkich analizach dotyczących zużycia energii można ten pojazd w nieco uproszczonym opisie potraktować dwójako – w zależności od wyboru układu odniesienia, w którym jest podawany algorytm sterowania ruchem tego pojazdu. Gdy ruch tego



Rys. 7. Przyjęte w obliczeniach symulacyjnych „wygładzenie” danych GPS o profilu pionowym trasy przejazdu autobusu PILEA oraz wynikające stąd lokalne wartości jej nachylenia



Rys. 8. Wyniki symulacji komputerowej odtworzenia omawianego przejazdu trasy autobusu PILEA jedynie na podstawie pomiarów jego prędkości chwilowej z tachografu oraz wzniesienia terenu z GPS-a:

- 1) przebiegi prędkości chwilowych [km/godz] - zarejestrowanej i „wygładzonej” w celu umożliwienia eliminacji wpływu szumów kwantowania przy odtwarzaniu chwilowych wartości przyspieszenia pojazdu,
- 2) przebiegi przyspieszenia pojazdu [m/s^2] oraz siły trakcyjnej [kN] w miejscu styku koła z jezdnią,
- 3) przebiegi podstawowych składników energii [kWh] przetwarzanej w czasie tego przejazdu (od góry):

całkowita energia pobierana z baterii, energia bezpowrotnie zużywana (rozpraszana), oraz energia zwracana do baterii dzięki możliwości jej rekuperacji

pojazdu obserwujemy „z zewnątrz” (czyli w sposób tradycyjny), to może być on uznany za bryłę sztywną o określonej masie, która wzdłuż prostoliniowej trasy przemieszcza się ruchem równoległym i na którą działają siły oporów ruchu przyłożone do środka tej masy. Zaś gdy ten sam poruszający się pojazd obserwujemy „od wewnątrz” (czyli od strony wału silnika elektrycznego, cały czas sztywno sprzęgniętego z kołami), to może być on uznany także za pewną inną bryłę, lecz obracaną przez ten wał, oraz dodatkowe zewnętrzne momenty obrotowe obciążający ten wał.

Ponieważ w tym artykule algorytmy sterowania stanami dynamicznymi silnika elektrycznego pojazdu nie mają istotnego wpływu na wyniki przeprowadzanej analizy zużycia energii przez pojazd, to model dynamiki przyjęty dla tego pojazdu wygodniej jest opisywać w układzie „zewnętrznym”, a więc przyjmować go w postaci bilansu sił działających na ten pojazd widziany jako pewną zastępczą bryłę sztywną, poruszającą się ruchem równoległym.

Wzory stanowiące podstawę takich obliczeń zostały podane i omówione we wcześniejszych publikacjach autorów, np. [4], [5]. Zaś wartości parametrów potrzebne w przypadku autobusu PILEA do ich przeprowadzenia podano w dodatku na końcu artykułu. Dotyczą one opisu zastępczej bryły tego pojazdu, falownikowego napędu z silnikiem PMSM, oraz użytej w tym pojeździe baterii zasilającej.

Dokładne wyznaczenie chwilowych wartości przyspieszenia występującego w czasie ruchu pojazdu na podstawie znanych przebiegów jego prędkości, jest ważne dla możliwie wiernego obliczenia chwilowej wartości siły dynamicznej będącej podstawą opisu przyjętego modelu zastępczego autobusu. Ma to m.in wpływ na właściwe odwzorowanie energii zwracanej do baterii w procesie rekuperacji. Zauważono, że w analizowanym przypadku raczej warto się posługiwać pomiarami prędkości z GPS (lecz odpowiednio obrobionymi), niż otrzymywanymi z tachometru.

Wyniki badań symulacyjnych przedstawiono na rysunkach 7 i 8. Wartości dotyczące przepływu energii i jej składników pomiędzy układem jezdny autobusu oraz baterią elektryczną dotyczące omawianego przejazdu autobusu, a otrzymane na drodze obliczeń symulacyjnych

były bardzo podobne do tych wartości, zweryfikowanych w rozdziale 2. Obliczenia te wykonano w programie Scilab-Xcos w oparciu o dane zamieszczone na końcu artykułu przy założeniu, że w pojeździe przy całym czasie poza kierowcą znajdowała się stała liczba pasażerów – przyjęto, że było to 10 osób. Odpowiednie wartości otrzymane w wyniku przeprowadzonej symulacji wyniosły: 34,64 kWh energii pobranej z baterii, 22,71 kWh energii bezpowrotnie zużytej, oraz 11,93 kWh energii elektrycznej zwróconej do baterii.

4. Podsumowanie

Dokonane w artykule porównanie wyników obliczeń dokonanych na podstawie pomiarów rejestrowanych on-line w czasie przejazdu trasy przez autobus PILEA z wynikami badań jego prostego modelu symulacyjnego pokazały, że budowa tego modelu jest możliwa i przydatna. Pozwala on bowiem prognozować w prosty sposób procesy zużycia i przemiany energii w pojeździe elektrycznym w razie eksploatacji go w rozmaitych z góry znanych warunkach. Zaobserwowane różnice pomiędzy pomiarami zarejestrowanymi w czasie przejazdu autobusu PILEA po wybranej trasie, a wynikami obliczeń symulacyjnych wykonanych dla jego modelu można wyjaśnić przede wszystkim zmienną (a trudną *post factum* do dokładnego ustalenia) liczbą pasażerów, korzystających rzeczywiście z tego pojazdu. Poza tym wyraźny wpływ na zauważalne rozbieżności pomiędzy pomiarami a wynikami symulacji, mają zawsze także inne okoliczności towarzyszące temu przejazdowi, takie jak: zmienne opory ruchu wynikające ze zmian rodzaju nawierzchni jezdni, dodatkowy wiatr o nieznanym kierunku i sile, niezbyt dokładna znajomość sprawności elementów układu napędowego (falownika, silnika i przekładni) zmieniającej się wraz z aktualnym punktem pracy napędu. Różnice te można zmniejszyć do akceptowalnego poziomu po odpowiednim doborze wartości parametrów używanych w opisie modelu, dokonany po analizie danych pomiarowych zebranych ze znacznie większej liczby tras przejechanych przez autobus w rzeczywistych warunkach.

5. Literatura

- [1]. M. Miszewski, M. Marczak „Hamowanie odzyskowe miejskich autobusów elektrycznych”, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty problemowe*, Nr 78, str. 109-114, 2007.
- [2]. M. Biernacki, P. Majewski „Analiza pracy źródła zasilania elektrycznego autobusu miejskiego”, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty problemowe*, Nr 2 (118), str. 23-28, 2018.
- [3]. K. Woźniak, M. Andrzejewski, P. Daszkiewicz, Ł. Rymaniak „Badania zużycia energii przez pojazdy w warunkach rzeczywistych”, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty problemowe*, Nr 2 (122), str. 103-110, 2019.
- [4]. A. Dębowski, P. Stankiewicz, M. Marczak „Wpływ warunków eksploatacji autobusu elektrycznego na efektywność energetyczną jego napędu”. *Mat. XIV KKN Sterowanie w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym (SENE)*, Politechnika Łódzka, [art.50], 2019.
- [5]. A. Dębowski „Elektryczny napęd trakcyjny”, *Wyd. WNT (Copyright PWN), Warszawa*, 2019.
- [6]. TM4 Electrodynamic Systems “SUMO-TG-0154_4 System Specification”, 2015-2016.
- [7]. UITP Project ‘SORT’ - Standardised On-Road Test Cycles (new ed. 2014)”, *International Association of Public Transport*, 2014.

Dodatek – dane techniczne pojazdu

Parametry trakcyjne pojazdu przyjęto jako:

$m = 14\,200$ kg – masa pojazdu z pasażerami,
(w tym 11 400 kg masa pojazdu gotowego do jazdy + 35 pasażerów x 80 kg)

$g = 9,8067$ m/s² – przyspieszenie ziemskie,
 $k_{wir} = 6,5$ % – wsp. kor. dla mas wirujących,

$D = 19,5$ ” – średnica obręczy koła,

$L_{obw} = 2,644$ m – obwód toczenia się koła,

$R_d = 0,401$ m – dynamiczny promień koła,

$i = 5,78$ – przełożenie mostu napędowego,

$\eta_i = 0,95$ – sprawność przekładni napędowej,

$A = 6,6$ m² – powierzchnia czołowa pojazdu,

$\mu = 0,01$ – współczynnik oporu toczenia,

$C_x = 0,7$ – współczynnik oporu kształtu,

$\rho = 1,189$ kg/m³ – gęstość powietrza,

$P_{agr} =$ do 7 kW – moc pobierana przez agregaty pomocnicze pojazdu (w lecie).

Parametry układu napędowego TM4 SUMO MD (silnik TM4 LSM200C-HV3000 wraz z przekształtnikiem TM4 CO200-HV) podane przez producenta:

$P_c = 140$ kW – dopuszczalna moc na wale przy ciągłym obciążeniu,

$P_{max} = 235$ kW – maksymalna moc na wale przy krótkotrwałym obciążeniu (< 28 s),

$M_c = 1065$ Nm – dopuszczalny moment na wale przy ciągłym obciążeniu,

$M_{max} = 3080$ Nm – maksymalny moment na wale przy krótkotrwałym obciążeniu (< 22 s),

$n_c = 0 - 3000$ obr/min – dopuszczalna prędkość obrotowa wału przy ciągłym obciążeniu,

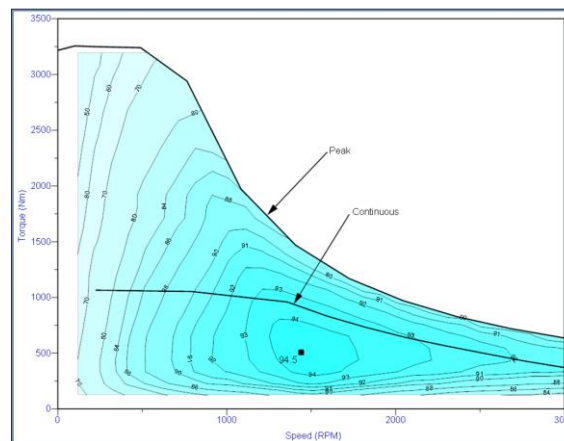
$n_{max} = 3150 - 3600$ obr/min – maksymalna prędkość obrotowa wału przy krótkotrwałym obciążeniu (< 2 min),

$U_c = 750$ V_{DC} – dopuszczalne napięcie zasilania przy ciągłym obciążeniu,

$I_c = 350$ A_{DC} – dopuszczalny prąd zasilania przy ciągłym obciążeniu,

$I_{max} = 615$ A_{DC} – maksymalny prąd zasilania przy krótkotrwałym obciążeniu,

mapa sprawności (dla 45 °C i 600 V_{DC}):



wstępnie przyjęto średnio: $\eta_{sil} = 0,93$, $\eta_{fal} = 0,94$,
czyli: $\eta_{nap} = \eta_{sil} \eta_{fal} \eta_i \approx 0,83$.

Parametry akumulatora (baterii LTO):

$U_d = 710$ V – napięcie baterii,

$I_{dmax} = 200$ A – maksymalny ciągły prąd baterii przy ładowaniu i rozładowywaniu,

$I_{dgran} = 400$ A – graniczny chwilowy (< 10 s) prąd baterii przy rozładowywaniu,

$P_{bmax} = 142$ kW – maksymalna ciągła moc przy ładowaniu i rozładowywaniu,

$P_{bgran} = 284$ kW – graniczna chwilowa (< 10 s) moc przy rozładowywaniu,

$E_{bn} = 142$ kWh – nominalna wartość energii zmagazynowanej w baterii,

$\eta_i = 0,94$ – sprawność baterii.

Autorzy

dr hab. inż. Andrzej Dębowski

Politechnika Bydgoska

al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

e-mail: Andrzej.Debowski@utp.edu.pl

mgr inż. Paweł Stankiewicz

inż. Marek Marczak

ARP E-VEHICLES Sp. z o.o.

ul. Paryska 3, 86-050 Solec Kujawski

e-mail: Pawel.Stankiewicz@arpev.pl

e-mail: Marek.Marczak@arpev.pl