

Michał GEĆA
Mirosław WENDEKER
Łukasz GRABOWSKI

PTNSS–2015–3387

The research on the operation of on-board photovoltaic structures installed in a city bus with a diesel engine

This paper presents the results on the operation of the system of flexible photovoltaic panels installed on a roof of a city bus. Over day operation, the PV system supplies electricity to electrical receivers and recharges batteries. The research was done for the Mercedes Conecto 12LF city bus fitted with a Euro IV standard diesel engine. The research covered various routes in Lublin over the year. The paper presents detailed electricity consumption in the bus which was accompanied by parallel electricity consumption measurements done on a stationary test stand with identical PV panels. The results on solar radiation and electricity generated on the roof of the bus were compared with those obtained from the stationary test stand. Over the year, the photovoltaic system installed on the roof of the bus received on average by 18,9% solar energy less than the identical system installed on a roof of a building. The energy balance which was supported by real research confirmed that 28% of on-board electricity consumption in a city bus can be replaced by solar energy, which leads to a reduced fuel consumption by about 3% and CO₂ emissions by about 1.8 tons per year.

Key words: photovoltaic panel, diesel engine, electric energy consumption

Badania eksploatacyjne struktur fotowoltaicznych zamocowanych na pokładzie autobusu miejskiego z silnikiem diesla

W artykule przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych systemu elastycznych paneli fotowoltaicznych zamocowanych na dachu autobusu miejskiego. W ciągu dnia system PV zasila elektryczne odbiorniki i doładowuje akumulatory. Obiektem badań był autobus miejski Mercedes Conecto 12LF wyposażony w silnik o zapłonie samoczynnym spełniający normę Euro IV. Badania zawierające różne trasy w Lublinie przeprowadzono w ciągu całego roku. Przedstawiono szczegółowe wyniki badań zużycia energii elektrycznej przez autobus. Równoległe pomiary trwały na stanowisku stacjonarnym wyposażonym w takie same panele PV. Pomiary wartości nasłonecznienia i ilości generowanej energii elektrycznej na dachu autobusu porównano z wartościami uzyskanymi ze stacjonarnego stanowiska. System fotowoltaiczny zamontowany na dachu autobusu odbiera średnio w ciągu roku o 18,9% mniej energii słonecznej, niż ten sam system zamontowany na dachu budynku. Bilans energii elektrycznej potwierdzony badaniami rzeczywistymi potwierdził, że 28% zużycia energii elektrycznej na pokładzie autobusu miejskiego może zostać zastąpione energią ze słońca. Prowadzi to do zmniejszenia zużycia paliwa o około 3% i emisji CO₂ o około 1,8 t rocznie.

Słowa kluczowe: panel PV, silnik diesla, zużycie energii elektrycznej

1. Wstęp

Sektor transportu jest kluczowym sektorem do rozwoju ekonomicznego i miejskiego. Jednakże ma znaczący wpływ na jakość życia w mieście. Około 40% emisji w Unii Europejskiej pochodzi z transportu drogowego [1]. Międzynarodowy związek transportu publicznego podaje, że 50 największych miejskich przedsiębiorstw przewozowych posiada w swojej bazie około 55 000 autobusów. Każdego roku 5 największych europejskich producentów produkuje 12 000 autobusów miejskich.

Duży nacisk kładzie się obecnie na stosowanie ekologicznych i ekonomicznych środków transportu w ruchu miejskim. Zamawiane autobusy miejskie muszą spełniać normy emisji EURO 6. Przedsiębiorstwa transportowe zmuszane są dzisiaj do wykorzystania wszystkich możliwości redukcji zużycia paliwa w celu utrzymania swojej konkurencyjności.

Dominują jednostki napędowe z silnikami wysokoprężnymi, zasilane układem Common Rail, połączone z automatyczną hydrokinetyczną skrzynią biegów z retarderem. Przełączanie biegów jest zarządzane i optymalizowane elektroniczną jednostką sterującą. Kolejnym sposobem redukcji zużycia paliwa jest optymalizacja stylu jazdy kierowcy, który potrafi zwiększyć zużycie paliwa o (5 – 10)% lub je zmniejszyć o (3 – 6)% [2]. Moduł wspomaganie techniki jazdy (asystent stylu jazdy) informuje kierowcę autobusu jeśli gwałtownie przyspiesza lub przekracza dopuszczalną prędkość. Dodatkowo system identyfikuje kierowców w systemie na podstawie kodu PIN zapewniając szybką analizę techniki jazdy i jej wpływu na stan techniczny pojazdu i zużycie paliwa.

Z jednej strony układy napędowe mają coraz większą sprawność zamiany energii chemicznej paliwa na energię mechaniczną, z drugiej rośnie

zużycie energii elektrycznej na pokładzie pociągając za sobą zmniejszenie całkowitej sprawności autobusu i zwiększone zużycie paliwa. Na pokładzie autobusu montuje się coraz większą liczbę odbiorników elektrycznych, które pozwalają spełnić wymagania komfortu podróży pasażerów. Należy do nich system mechanicznej wentylacji z klimatyzacją i nagrzewaniem, komunikacja audiowizualna z podświetlanymi tablicami i monitorami LCD, podgrzewane kasowniki i biletomaty, oświetlenie wewnętrzne oraz system GPS. Pomimo stosowania odbiorników elektrycznych oszczędzających energię (np. technologia LED) całkowita moc odbiorników elektrycznych na pokładzie autobusu może wynosić nawet 1,9 kW [3]. Zużycie energii elektrycznej w autobusie miejskim jest istotnym strumieniem energii w całkowitym bilansie mocy autobusu miejskiego. Badania rzeczywiste autobusu miejskiego napędzanego silnikiem o zapłonie samoczynnym i szacunki autorów pracy [4] wykazały, że 10% paliwa rocznie jest wykorzystywana na generowanie energii elektrycznej.

W pojeździe wyposażonym w silnik spalinowy są dwa podstawowe źródła energii: akumulator i alternator. Wejściowym źródłem energii jest energia chemiczna zgromadzona w paliwie. Sprawność zamiany energii chemicznej na mechaniczną w przypadku silnika o zapłonie samoczynnym w ruchu miejskim wynosi średnio (25 – 30)% [5, 6]. Napęd pasowy przekazuje 95% energii na alternator [7], który zamienia energię mechaniczną na elektryczną ze sprawnością (50–62)% [8, 9, 10]. Litry oleju napędowego zawiera 9,7 kWh chemicznej energii. Biorąc pod uwagę fakt, że podczas pracy silnika akumulator pracuje jako stabilizator, całkowita sprawność zamiany energii chemicznej paliwa na energię elektryczną w skrajnych warunkach wynosi tylko 14% [11]. Sprawność ta na podstawie rzeczywistych pomiarów wynosi średnio 20%, co oznacza, że do wygenerowania 1 kWh energii elektrycznej potrzeba 0,76 dm³ oleju napędowego [4].

Sposobem na zmniejszenie tego zużycia paliwa jest zastosowanie dodatkowego układu generowania energii elektrycznej, nie opartego na paliwie silnikowym. Panele fotowoltaiczne zamontowane na dachu autobusu zapewniają energię elektryczną, która zasila odbiorniki na pokładzie autobusu i uzupełnia energię w akumulatorach. Pozwala to zmniejszyć zużycie paliwa i emisję składników toksycznych [12]. W tym roku Miejskie Zakłady Transportowe w Warszawie zamówiły 80 autobusów z systemem poprawiającym bilans energetyczny autobusu zawierający system paneli fotowoltaicznych o mocy minimum 1,5 kWp.

Istnieje niedostatek prac związanych ze wspomaganiami generowania energii elektrycznej na pokładzie pojazdu wyposażonego w wysokosprawny silnik z zapłonem samoczynnym. Szczególnie brak prac dotyczących autobusów, w których potencjał związany z powierzchnią paneli PV do zain-

stalowania jest szczególnie duży. Większość prac zawiera opracowania systemów PV do pojazdów z napędem elektrycznym i hybrydowym [13, 14]. Pojazdy mimo, że mają małą powierzchnię dachu to warunki jazdy powodują, że dziennie nie potrzebują dużej ilości energii do napędu.

Ogniwa PV mogą posłużyć do wspomagania urządzeń montowanych na pokładzie pojazdu. Przykładem są wyniki projektu FIVE, w którym ogniwa PV służyły do zasilania systemów pokładowych karetki [15]. W pracach autorzy opisali koncepcje i badania eksploatacyjne ciężarówki z agregatem chłodniczym [16, 17] czy układem klimatyzacji kabinowej [18] wspomaganym zestawem paneli fotowoltaicznych na dachu naczepy.

2. Obiekt badań

Obiektem badań był autobus miejski Mercedes Conecto 12LF z zamontowaną instalacją fotowoltaiczną opisaną w dalszej części. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe dane autobusu i jego jednostki napędowej. Autobus klasy MAXI mierzy 12 metrów długości. Jednostka napędowa składająca się z doładowanego silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego układem Common Rail spełnia normę czystości spalin EURO 4. Rocznie autobus zużywa 27 000 dm³ oleju napędowego (średnio 39 dm³/100 km). Autobus wyposażony został w układ klimatyzacji. Zasilanie odbiorników elektrycznych na pokładzie autobusu zapewniają 2 alternatory o łącznym maksymalnym prądzie 200A oraz alternator o maksymalnym prądzie 140 A w pojazdach z klimatyzacją.

Tab. 1. Parametry Mercedes Conecto 12 LF
Tab 1. Mercedes Conecto 12 LF parameters [19]

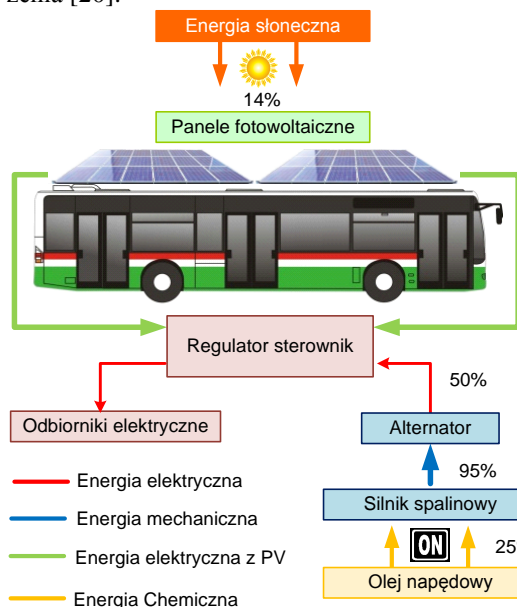
| | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Wymiary | 11950 x 2550 x 3076 mm |
| Powierzchnia dachu | 24 m ² |
| Prąd maks. w instalacji elektrycznej | 340A |
| Silnik | OM 926 LA |
| Typ | 4-suwowy, rzędowy diesel, 6 cylindrów |
| Pojemność skokowa | 7201 cm ³ |
| Moc | 210 kW |
| Moment | 1120 Nm/1300 RPM |
| Zużycie paliwa | 39 dm ³ /100 km |
| Standard emisji | EURO 4/EEV |

Na dachu autobusu zamontowano instalacje fotowoltaiczną, której schemat przedstawia rysunek 1. Podstawą jej budowy była synteza dostępnych technologii paneli fotowoltaicznych i pokładowego źródła energii elektrycznej bazującej na spalaniu oleju napędowego. Kolorem zielonym oznaczono dodatkowy przepływ energii elektrycznej pochodzący z zamocowanych płasko na dachu paneli

fotowoltaicznych, która jest przesyłana razem z energią elektryczną z alternatora i akumulatora do sterownika rozdziału energii.

Standardowe panele PV z szybą używane do budowy farm fotowoltaicznych są ciężkie i wrażliwe na obciążenia mechaniczne. Dodatkowo konieczne jest stosowanie specjalnych mocowań i panele te nie dopasowują się do zakrzywienia powierzchni dachu. Ze względu na wagę mogą nadmiernie obciążać dach pojazdu i zwiększać zużycie paliwa. Z tego względu wybrano technologię elastycznych paneli polikrystalicznych. Zastosowano optymalną liczbę oraz rozmiar paneli PV, by maksymalnie wykorzystać dostępną powierzchnię dachu autobusu. Zastosowany system zawiera 464 ogniw o łącznej mocy 1883W, które zajmują 54% powierzchni dachu (12,84 m²) i ważą około 35 kg.

Płaskie położenie paneli nie zwiększa oporu powietrza pojazdu, ale negatywnie wpływa na sprawność paneli fotowoltaicznych, która jest mniejsza o 13% w stosunku do optymalnego położenia [20].



Rys. 1. Schemat systemu fotowoltaicznego PV w autobusie miejskim

Fig. 1. Scheme of photovoltaic system in the city bus.

Na rysunku 2 przedstawiono system PV zainstalowany na dachu badawczego autobusu, a w tabeli 2 podstawowe parametry pojedynczego panela fotowoltaicznego. Identyczne panele zostały zamontowane na dachu niezacienionego budynku i na dachu autobusu. Moc w ustalonych warunkach pojedynczego panelu zawierającego 36 ogniw wynosi 144 Wp. Została ona zmierzona standardowych warunkach testowania (STC) przy temperaturze 25°C, nasłonecznieniu 1000 W/m² i gęstości atmosfery równej 1,5. Wraz ze wzrostem tej temperatury sprawność generowania energii elektrycznej maleje, a wraz z jej spadkiem rośnie.



Rys. 2. System fotowoltaiczny zamontowany na dachu Mercedes Connecto 12LF nr 2311.

Figure 2. Photovoltaic system mounted on the roof of Mercedes Connecto 12LF no 2311.

Tab. 2. Parametry panela PV

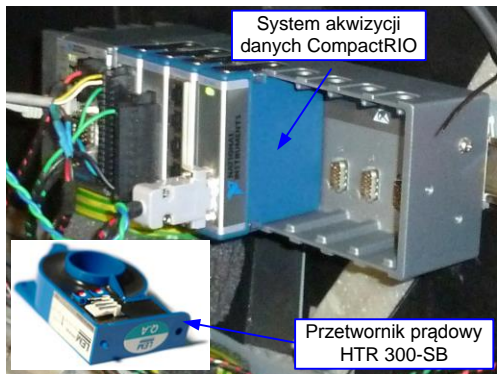
Tab. 2. Parameters of PV panel [21]

| | |
|-------------------|----------------------|
| Wymiary | 1640 x 700 x 25,8 mm |
| Waga | 2,68 kg |
| Ilość i typ ogniw | 36 polikrystaliczne |
| Moc maksymalna | 144Wp |
| Sprawność | 14,2% |
| Tolerancja mocy | ± 3% |

3. Stanowisko badawcze

W celu wykonania badań opracowano dwa układy pomiarowe: jeden stacjonarny na dachu budynku oraz drugi, zamontowany w autobusie należącym do Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie. Opracowano badawczy układ pomiarowo-rejestrujący natężenie promieniowania słonecznego oraz zapotrzebowania na energię elektryczną w pojeździe oraz układ pomiarowy oparty na informacjach zawartych w transmisji diagnostycznej autobusu (protokół transmisji PROFIBUS). Autobusy zostały wyposażone w zaawansowane systemy rejestracji danych, w czasie rzeczywistym, oparte na Compact RiO nrRIO 9024 firmy National Instruments. W autobusach opracowano i zamontowano system rejestrujący w czasie rzeczywistym natężenie prądu oraz napięcie przy wyjściu z alternatora oraz na wyjściu z akumulatora. Pomiar prądu zrealizowano za pomocą przetworników prądowych HTR (rysunek 3).

Do pomiaru natężenia promieniowania słonecznego zastosowano pyranometr SR03 firmy Hukseflux. Ponadto opracowano i zamontowano elektroniczne układy pomiarowe oraz opracowano oprogramowanie w środowisku LabView.



Rys. 3. Układ pomiarowy w autobusie badawczym
Fig. 3. Measurement system in research bus

Równolegle opracowano stacjonarne stanowisko pomiarowe (rysunek 4), które zostało oparte o kartę pomiarową NI Campaq DAQ oraz PXI. Stanowisko umożliwia rejestrację natężenia prądu i napięcia paneli fotowoltaicznych oraz promieniowania słonecznego. W tym celu zabudowano na dachu budynku Wydziału Mechanicznego pyrometr SR12 firmy Hukseflux. Energia elektryczna uzyskana z paneli została rozproszona w postaci ciepła na radiatorach. Został także opracowany układ obciążający panele fotowoltaiczne.



Rys. 4. Stacjonarny system badawczy
Fig. 4. Stationary research system

4. Metodologia badań

Opomiarowane i wyposażone w system fotowoltaiczny pojazd eksloatowany był na różnych liniach komunikacyjnych w Lublinie charakteryzujących się różnym obciążeniem, długością oraz zasięgiem. Dane pomiarowe rejestrowano codziennie w godzinach 5:00-24:00, z częstotliwością zapisu wynoszącą 2 Hz w ciągu całego roku.

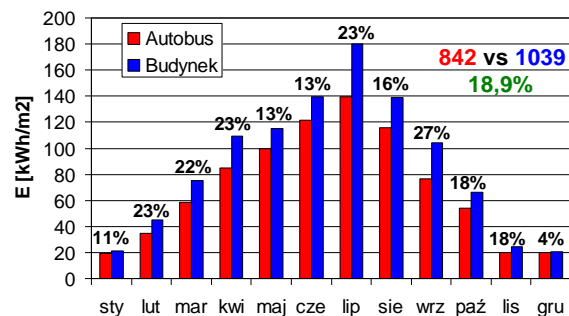
Monitorowano i rejestrowano następujące parametry autobusu: napięcie, natężenie prądu, natężenie promieniowania słonecznego, aktualne położenie autobusu (GPS). Dodatkowo z transmisji diagnostycznej autobusu uzyskano takie informacje jak: prędkość pojazdu, przebieg, czas pracy, położenie APP, temperatura silnika, temperatura zewnętrzna, prędkość obrotowa wału korbowego, przebiegowe zużycie paliwa, godzinowe zużycie paliwa. Odczytanie poszczególnych informacji było

możliwe dzięki opracowaniu oprogramowania-interfejsu, którego zadaniem jest przekonwertowanie danych zawartych w transmisji FMS standard na dane zapisywalne w pliku zgodnie modelem danych typu TDM (LabVIEW Binary Measurement File). Dzięki temu zmniejszono wymaganą przestrzeń dyskową do archiwizacji wyników pomiarów. Umożliwiło to również wykonywanie analizy wyników w programie NI Diadem.

Ze względu na warunki eksploatacji ogniw, zmiany nasłonecznienia mogą być bardziej gwałtowne niż jest to obserwowane w klasycznych instalacjach fotowoltaicznych. Oprócz oczywistych zmian nasłonecznienia wynikających z warunków atmosferycznych należy dodatkowo uwzględnić zmiany wynikające z przemieszczania się autobusu. Szczególnie w terenie miejskim może dochodzić do krótkotrwałych, dużych zmian nasłonecznienia wynikających z częściowego lub całkowitego przesłonięcia paneli przez drzewa, budynki itp. Z tego względu wyniki uzyskane na stanowisku mobilnym porównywano z tymi uzyskiwanymi na stanowisku stacjonarnym.

5. Analiza wyników badań

Na rysunku 5 przedstawiono zbiorczą wartość natężenia promieniowania słonecznego na dachu autobusu i na dachu budynku w kolejnych miesiącach roku odniesioną do 1 m² powierzchni. Pokazano również procentowe różnice pomiędzy wartością nasłonecznienia na dachu budynku i na dachu poruszającego się autobusu.



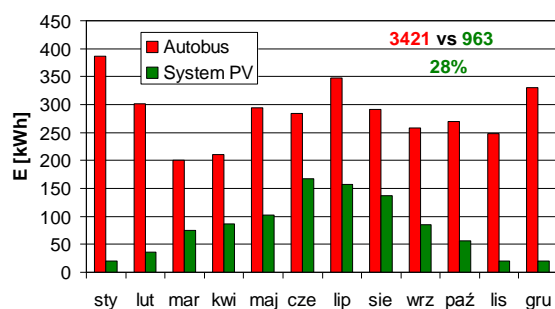
Rys. 5. Wartość natężenia promieniowania słonecznego na dachu autobusu i na dachu budynku w kolejnych miesiącach odniesiona do 1 m²

Fig. 5. Intensities of solar irradiation reaching the bus roof and building roof related to 1 m² of the PV module surface.

Z danych wynika, że wraz ze zwiększającą się wartością nasłonecznienia rosną różnice. Wzrost wartości nasłonecznienia jest ściśle związany z występowaniem większej wartości promieniowania bezpośredniego, które na dachu poruszającego się pojazdu ulega istotnemu zmniejszeniu. Efekt ten jest związany z zaciemnieniami powierzchni paneli fotowoltaicznych przez budynki, drzewa i inne

elementy zabudowanej infrastruktury miejskiej. Największe różnice w ilości energii słonecznej docierającej do nieruchomego i ruchomego panelu zarejestrowano we wrześniu. W miesiącu tym było dużo bezchmurnych dni. Jednocześnie dzień był krótszy, słońce było nisko i z tego powodu panel na autobusie był intensywnie zacieniany. System fotowoltaiczny zamontowany na dachu autobusu odbiera średnio w ciągu roku o 18,9% mniej energii słonecznej niż ten sam system zamontowany na dachu budynku.

Na rysunku 6 przedstawiono zbiorcze wartości energii elektrycznej zużywanej przez Autobus Mercedes Conecto 12 LF i energii elektrycznej generowanej przez system fotowoltaiczny na dachu autobusu w kolejnych miesiącach. Największe zużycie energii elektrycznej było w miesiącach zimowych, w których włączano elektryczne wentylatory do ogrzewania wnętrza pojazdu. Maksymalne zużycie energii elektrycznej na poziomie 386 kWh odnotowano w styczniu ze względu na niskie temperatury otoczenia. W maju ze względu na panujące na zewnątrz wysokie temperatury włączano układ klimatyzacji i wentylacji - zużycie energii wyniosło 340 kWh.



Rys. 6. Wartość energii elektrycznej zużywanej przez autobus i wartość energii elektrycznej generowanej przez system fotowoltaiczny na dachu autobusu w okresie jednego roku.

Fig. 6. The total bus electricity consumption and the amount of electric energy from PV system during the year.

W ciągu roku autobus zużył 3421 kWh energii elektrycznej. Część z tej energii może być zastąpiona energią elektryczną z systemu PV, który składa się z 464 ogniw i ma powierzchnię 12,84 m². System PV wygenerował w tym okresie 963 kWh energii elektrycznej, co stanowi około 28% całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną badanego autobusu miejskiego.

6. Wnioski

Zastosowany system fotowoltaiczny nie wymaga kosztownej modyfikacji układu elektrycznego autobusu. Pozwala zastąpić 28% całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną autobusu miejskiego w ciągu roku, tj. 963 kWh. Na początku artykułu wspomniano, że do wygenerowania energii elektrycznej o wartości 1 kWh potrzeba 0,76 dm³ oleju napędowego. Biorąc to pod uwagę system PV zaoszczędził w ciągu roku 732 dm³ oleju napędowego co stanowi około 3% rocznego zużycia paliwa przez pojedynczy autobus (27 000 dm³/rok).

System fotowoltaiczny zamontowany na dachu autobusu odbiera średnio w ciągu roku o 18,9% mniej energii słonecznej niż ten sam system zamontowany na dachu budynku.

Uwzględniając wskaźniki emisji (73,33 kg/GJ) oraz wartości opałowe oleju napędowego (43,33 MJ/kg) zawarte w Międzyrządowym Zespole ds. Zmian Klimatu IPCC, można obliczyć rzeczywistą emisję dwutlenku węgla [22]. Całkowita roczna redukcja emisji CO₂ jest iloczynem energii zawartej w zaoszczędzonym paliwie oraz wartości jednostkowej emisji dla oleju napędowego. Rocznie Mercedes Connecto 12LF z zainstalowanym systemem PV będzie emitował w ciągu roku o 1,8 tony CO₂ mniej.

Ponadto system PV może chronić akumulatory autobusowe przed nadmiernym rozładowaniem w czasie postoju na przystanku końcowym i zwiększać ich trwałość.

Praca naukowa finansowana ze środków Programu Badań Stosowanych II NCBiR w latach 2013-2015 jako projekt nr PBS2/A6/16/2013.

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

PV system Photovoltaic system/
systemfotowoltaiczny
CO₂ carbon dioxide/dwutlenek węgla

STC Standard Test Condition/standardowe
warunki testowania

Bibliography/Literatura

- [1] European Communities, Brussel, 2001, White Paper: European Transport Policy for 2010: time to decide, s. 140-141.
- [2] Andrzejewski M.: Wpływ stylu jazdy kierowcy na zużycie paliwa i emisję substancji szkodliwych w spalinach, rozprawa doktorska, Poznań 2013.
- [3] Merkisz, J., Bajerlein, M., Daszkiewicz, P., The Influence of the Application of Photovoltaic Cells in City Buses to Reduce Fuel Consumption – (CO₂) and Exhaust Emissions (HC, PM, and NO_x), International Conference on Power and Energy Systems, Lecture Notes in Information Technology, p. 106-113, Vol.13, 2012.
- [4] Gęca M., Wendeker M., Grabowski Ł.: A City Bus Electrification Supported by the Photovoltaic Power Modules, 2014-01-2898 SAE Technical Paper, ISSN 0148-7191, 2014.
- [5] US Department of Energy and Environmental Protection Agency, 2008. Advanced Technologies and Energy Efficiency.
- [6] Szlachetka M., Barański G., Grabowski Ł., Majczak A.: Badania sprawności autobusowego silnika spalinowego w warunkach ruchu miejskiego, LOGISTYKA – 2014/3, s. 6123-6131.
- [7] Gates Corporation, 2006. Selecting the Right Drive System – Costs and Performance. Reliable Plant, Denver 2006.
- [8] Bradfield, M.: Improving Alternator Efficiency Measurably Reduces Fuel Costs, Delco Remy, 2008.
- [9] Bosch, R.: 1996. In: Automotive Handbook, fourth ed. Bentley Publishers, Cambridge, MA.
- [10] Grabowski Ł., Pietrykowski K., Gęca M., Barański G.: The Electric Power Generation Efficiency in City Bus, 2014-01-2899 SAE Technical Paper, ISSN 0148-7191, 2014.
- [11] Thomas, V.M., Meier, A.K., Gunda, S.G., Wenzel T.P.: Cars are buildings: Building-like energy use in automobiles, Transportation Research Part D 16, 341–345, 2011.
- [12] Simburger, E. J., Simburger, J. T, Bagnall, M.: PV Prius; 8: Terrestrial PV Systems 8.1 Stand Alone Systems, Including Hybrid Systems, Record of the IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, vol. 2, pp. 2404-2406, January 2007.
- [13] Letendre S., Perez R., Herig C.: Vehicle Integrated PV: A Clean and Secure Fuel for Hybrid Electric Vehicles, Proc. of the American Solar Energy Society Solar 2003 Conference, , Austin, TX, 2003.
- [14] Arsie, I., Rizzo, G., and Sorrentino, M.: Optimal Design and Dynamic Simulation of a Hybrid Solar Vehicle, SAE Technical Paper 2006-01-2997, 2006.
- [15] Almonacid Almonacid, G., Muñoz, F. J., de la Casa, J., Aguilar, J.: Integration of PV systems on health emergency vehicles, The FIVE project. Prog. Photovolt: Res. Appl., 12: 609–621, 2004.
- [16] AbuBakr, S., Bahaj, A.S.: World's First Solar Powered Transport Refrigeration System, Renewable Energy, Volume 15, Issues 1–4, p. 572–576, 1998.
- [17] Bahaj, A.S., James, P.A.B.: Economics of solar powered refrigeration transport applications, Proceedings of the 29th IEEE PV Specialists Conference, p. 1561-1564, New Orleans, USA, May 2002.
- [18] <http://solarknowledge.blogspot.com/2010/10/i-cool-solar-air-conditioning-for.html>
- [19] <http://www.mercedes-benz.de>
- [20] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>
- [21] <http://www.x-disc.pl/panele/page/read/elastyczne-panele-fotowoltaiczne>
- [22] Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Mr Michał Gęca, Ph.D., Eng. - doctor in the Faculty of Mechanical Engineering at the Lublin University of Technology.

Dr inż. Michał Gęca – pracownik naukowy na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej



Mr Łukasz Grabowski, Ph.D., Eng. - doctor in the Faculty of Mechanical Engineering at the Lublin University of Technology.

Dr inż. Łukasz Grabowski – pracownik naukowy na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej



Prof. Mirosław Wendeker, Ph.D, D.Sc., Eng. – Department Head of Thermodynamics, Fluid Mechanics and Aviation Propulsion Systems in the Faculty of Mechanical Engineering at the Lublin University of Technology.

Prof. dr hab. inż. Mirosław Wendeker – kierownik Katedry Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej.

