

Dorota Gręda, Sławomir Bielecki

# Oszacowanie powierzchni paneli fotowoltaicznych dla zelektryfikowanego transportu autobusowego w Warszawie w wariancie skrajnym

JEL: Q01, L62. DOI: 10.24136/atest.2018.025.

Data zgłoszenia: 11.04.2018. Data akceptacji: 16.05.2018.

*Celem pracy jest oszacowanie powierzchni, jaką zajęłyby jednostki generujące energię elektryczną z odnawialnych źródeł słonecznych energii (fotowoltaika) na potrzeby zasilania autobusowego transportu publicznego w Warszawie. Przeprowadzone obliczenia dotyczą górnego oszacowania. Analizowany był mianowicie skrajny wariant, zakładający całkowite zastąpienie stołecznego taboru autobusowego transportu zbiorowego przez pojazdy w pełni elektryczne i ponadto zakładający ilościowe pokrycie związanego z tym zapotrzebowania na energię przez lokalne źródła fotowoltaiczne. Obliczenia przeprowadzono na podstawie danych pogodowych, uzyskanych ze stacji meteorologicznej znajdującej się w centrum Warszawy, publicznych danych statystycznych i pomiarowych oraz informacji na temat parametrów elektrobusów testowanych w warunkach miejskich. Uzyskane wyniki – w zależności od warunków wynikających ze zmienności pór roku – przyrównano do powierzchni dzielnic m.st. Warszawy.*

**Słowa kluczowe:** autobus elektryczny, transport publiczny, źródła odnawialne, fotowoltaika, elektryfikacja transportu, transport miejski w Warszawie.

## Wstęp

Obecnie zanieczyszczenie powietrza jest poważnym problemem w wielu miastach, dodatkowo porusza się kwestie związane z ociepleniem klimatu i emisją dwutlenku węgla do atmosfery. W Unii Europejskiej, według danych za 2014 r., dwutlenek węgla emitowany przez transport stanowi co najmniej 20% emisji gazów cieplarnianych, a transport drogowy odpowiada za 70% tej emisji. Dodatkowo największa koncentracja zanieczyszczeń jest na terenach miejskich, więc to tam należy szukać możliwości ograniczenia emisji [12]. W Polsce w 2013 r. transport odpowiadał za 13% emisji dwutlenku węgla. Transport drogowy jest także odpowiedzialny za hałas w mieście; 98% skontrolowanych dróg przekroczyło dopuszczalne poziomy hałasu [11]. W aglomeracji warszawskiej, według raportu za rok 2016 Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Powietrza, przekroczono średnioroczne dopuszczalne stężenie tlenku azotu, pyłu PM10 oraz pyłu PM2,5 [14]. Obserwuje się także, szczególnie w zimie, zjawisko smogu. Główne przyczyny tego zjawiska to niska emisja z indywidualnego ogrzewania budynków, przemysł oraz transport.

Autobusy elektryczne to pojazdy napędzane silnikiem elektrycznym. Są lokalnie zeroemisyjne, ponieważ nie uwalniają do atmosfery żadnych zanieczyszczeń. Dodatkowo są bardziej ciche niż autobusy spalinowe. Hałas podczas postoju elektrobusu jest na poziomie około 63 dB, natomiast autobusu spalinowego – 80 dB. Podczas ruchu elektrobus emituje około 69 dB, a autobus spalinowy 77 dB [9].

Unia Europejska podejmuje działania mające na celu zmniejszenie poziomu zanieczyszczenia powietrza. W tym celu prowadzi dyrektywy, rozporządzenia oraz programy badawcze mające wspierać rozwój elektrobusów i ich ekspansję w miastach.

Przykładowo: w ramach programu ZeEUS (Zero Emission Urban Bus System) [15] prowadzi się testy różnych rodzajów pojazdów elektrycznych oraz infrastruktury ładowania w 9 europejskich państwach. Następnie weryfikuje opłacalność takich pojazdów, skutki ekologiczne i odbiór społeczny. Partnerzy programu to firmy produkujące autobusy elektryczne, firmy dostarczające energię elektryczną, instytucje badawcze oraz operatorzy miejskich systemów komunikacji, którzy testują rozwiązania bądź obserwują wyniki testów.

Biała Księga [2] jest europejskim planem utworzenia jednolitego obszaru transportu, stawia za cel ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, zwiększenie udziału źródeł odnawialnych w energii wykorzystywanej w transporcie. Obecnie aż 96% potrzeb energetycznych UE w transporcie zależy od ropy naftowej i jej pochodnych [2]. Istotnym kierunkiem działań powinno być więc budowanie systemów transportowych wykorzystujących paliwa alternatywne [5, 7]. W komunikacji miejskiej możliwe jest zastosowanie szerokiego zakresu rozwiązań wykorzystujących paliwa i napędy niekonwencjonalne, w tym energię elektryczną w napędach autobusów [6].

Polska również podąża za tym trendem i wdraża programy oraz rozporządzenia mające na celu umożliwienie wprowadzenia elektrobusów do transportu miejskiego. Przykładem może być program e-BUS [12], który zakłada powstanie polskiego rynku autobusów elektrycznych, stworzenie pojazdu Polski Autobus Elektryczny, który będzie konkurencyjny na rynku polskim i światowym, oraz rozwinięcie się nowych technologii i modeli biznesowych związanych z miejskimi autobusami elektrycznymi i infrastrukturą ładowania tychże. Realizacja programu e-Bus przyczynić się ma nie tylko do wzrostu gospodarczego i stworzenia nowych miejsc pracy, ma być także istotnym czynnikiem urzeczywistniania idei zrównoważonego rozwoju [4].

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania, a szczególnie fakt, że za zanieczyszczenia powietrza w dużej mierze odpowiada transport, podjęto próbę analizy możliwości realizacji zadań autobusowego transportu miejskiego w Warszawie pojazdami elektrycznymi, zasilanymi ze źródeł odnawialnych zlokalizowanych na terenie Warszawy. Warszawa jest dużą aglomeracją miejską, w zimie boryka się z problemem smogu, więc wszelkie próby ograniczenia zanieczyszczeń powietrza w tym mieście są uzasadnione.

## Założenia

Wybrano źródła fotowoltaiczne jako jedne z najpopularniejszych technologii generacji odnawialnej, które (w przeciwieństwie do farm wiatrowych) mogą zostać zainstalowane w sposób łatwo

wtapiający się w przestrzeń miejską (np. instalacje na dachach budynków).

Przyjęto, że energia elektryczna z energii słonecznej jest generowana w modułach fotowoltaicznych o sprawności 15%. Założono, że wygenerowana energia z lokalnych paneli fotowoltaicznych (PV) oddawana jest do miejskiej sieci elektroenergetycznej w celu zbilansowania w systemie elektroenergetycznym zapotrzebowania na energię elektryczną ze strony warszawskich autobusów elektrycznych. W oszacowaniu pominięto straty sieciowe, ograniczenia przesyłu oraz założono możliwość krótkotrwałego magazynowania w systemie wytworzonej w ten sposób energii.

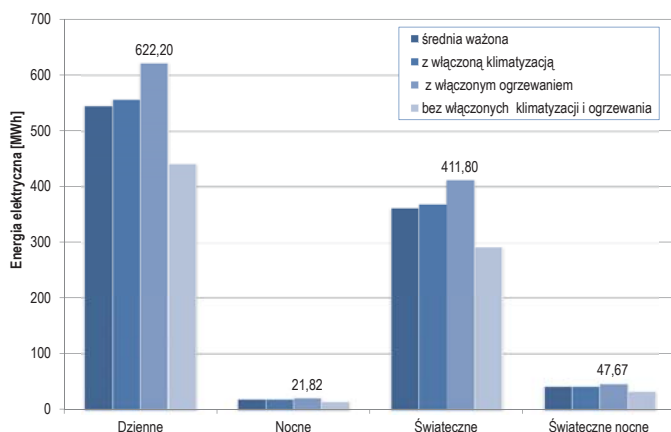
Dane, na podstawie których dokonano analizy, uzyskano z następujących źródeł. Dane o autobusach warszawskich pobrano z publicznie dostępnego „Biuletynu Statystycznego Zarządu Transportu Miejskiego w Warszawie” z czerwca 2017 r. Dane pogodowe uzyskano dzięki Wydziałowi Fizyki Politechniki Warszawskiej, który udostępnił dane o nasłonecznieniu, zebrane z okresu jednego roku – od 1 listopada 2016 r. do 31 października 2017 r. Stacja meteorologiczna znajduje się na terenie kampusu Politechniki Warszawskiej w centrum Warszawy (Gmach Fizyki).

## Obliczenia

Pierwszym etapem analizy jest oszacowanie zapotrzebowania na energię elektryczną dla autobusowego transportu miejskiego w Warszawie. Transport publiczny w Warszawie jest koordynowany przez Zarząd Transportu Miejskiego, a usługi transportowe realizowane są przez różne spółki zależnie od rodzaju transportu. Miasto stołeczne Warszawa oferuje 287 linii autobusowych (dziennych i nocnych). Wszystkie środki transportu, z wyjątkiem autobusów, są zasilane energią elektryczną. Usługi transportu autobusowego na terenie aglomeracji warszawskiej świadczy 6 operatorów:

- ♦ Miejskie Zakłady Autobusowe to największy przewoźnik, który posiada 1 359 autobusów;
- ♦ Mobilis ma 190 pojazdów;
- ♦ Ariva Bus Transport Polska ma 54 pojazdy;
- ♦ Europa Express City posiada 30 pojazdów;
- ♦ PKS Grodzisk Mazowiecki jest w posiadaniu 50 pojazdów;
- ♦ KM Łomianki cieszy się 19 pojazdami.

W analizie pominięto pojazdy KM Łomianki i PKS Grodzisk Mazowiecki, ponieważ w większości obsługują linie podmiejskie oraz liczba autobusów eksploatowanych przez tych operatorów stanowi tylko 4% wszystkich autobusów jeżdżących po aglomeracji warszawskiej.



Rys. 1. Zapotrzebowanie na energię elektryczną z autobusów miejskich w Warszawie

W celu oszacowania zapotrzebowania na energię elektryczną największych przewoźników na terenie aglomeracji należy obliczyć iloczyn liczby wozokilometrów wykonywanych danego dnia przez autobusy i energii elektrycznej zużywanej na 1 km przez 1 autobus.

$$E_d = e_a \cdot L_{wzkm} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

gdzie:

$E_d$  – zapotrzebowanie na energię elektryczną w ciągu danego dnia [kWh];

$e_a$  – ilość energii elektrycznej zużywana przez 1 autobus [kWh/km];

$L_{wzkm}$  – liczba wozokilometrów wykonanych w ciągu danego dnia [km].

Wozokilometr (wzkm) jest to jednostka miary długości drogi przejechanej przez określoną liczbę środków transportu (wozów) na danej linii w określonym czasie (np. dzień, miesiąc, rok). Na przykład linia długości 20 km jest obsługiwana przez 3 pojazdy (wozy), a każdy z nich wykonuje 45 kursów na dobę; liczba wozokilometrów wynosi:  $20 \text{ km} \times 45 \text{ kursów} \times 3 \text{ wozy} = 2\,700 \text{ wzkm}$ .

Liczbę  $L_{wzkm}$  dla Warszawy i różnych dni odczytano z „Biuletynu Statystycznego ZTM” [10]. Na liniach dziennych w dniu powszednim w ciągu 1 dnia autobusy wykonują 327 474 wzkm, na liniach nocnych w dniu powszednim – 11 485 wzkm, natomiast na liniach dziennych w dniu świątecznym – 216 735 wzkm, a na liniach nocnych w dniu świątecznym – 25 092 wzkm. Dni świąteczne to soboty, niedziele oraz święta.

Zakłada się, że autobus elektryczny jest wyposażony w ogrzewanie i klimatyzację, które zasilane są energią elektryczną. Ze względu na założenie o lokalnej zeroemisyjności nie wzięto pod uwagę możliwości wykorzystania ogrzewania na paliwa konwencjonalne. Według Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Krakowie pojazd elektryczny o długości 12 m (średnia miesięczna) zużywa [1]:

- ♦ z włączonym ogrzewaniem – 1,9 kWh/km;
- ♦ z włączoną klimatyzacją – 1,7 kWh/km;
- ♦ bez klimatyzacji i ogrzewania – 1,35 kWh/km.

W analizie założono, że autobusy jeżdżą:

- ♦ z włączonym ogrzewaniem przez 5 miesięcy (październik, listopad, grudzień, styczeń, luty);
- ♦ z włączoną klimatyzacją przez 3 miesiące (czerwiec, lipiec, sierpień);
- ♦ bez klimatyzacji (marzec, kwiecień, maj, wrzesień).

Następnie obliczono zapotrzebowanie na energię elektryczną autobusów na poszczególnych liniach dla różnych miesięcy. Wyniki przedstawiono na rys. 1 i w tab. 1.

Największe zużycie energii elektrycznej przypada w dniu powszednim na liniach dziennych w zimie, gdy autobus jeździ z włączonym ogrzewaniem. Dwie trzecie zapotrzebowania na energię w dzień powszedni stanowi zapotrzebowanie na liniach dziennych w dzień świąteczny. Zapotrzebowanie na energię na

Tab. 1. Zapotrzebowanie na energię elektryczną na liniach autobusowych [kWh]

Linie	Średnio	Z klimatyzacją	Z ogrzewaniem	Bez klimatyzacji i ogrzewania
Dzienne	545 790	556 706	622 201	442 090
Nocne	19 142	19 525	21 822	15 505
Świąteczne	361 225	368 450	411 797	292 592
Świąteczne nocne	41 820	42 656	47 675	33 874

liniach nocnych jest zdecydowanie mniejsze od zapotrzebowania na liniach dziennych (odpowiednio około 30 razy i 4 razy mniejsze w dobie powszedniej i dobie świątecznej). Ze względu na porę roku największe zapotrzebowanie na energię elektryczną jest w zimie. W lecie, gdy w autobusie jest włączona klimatyzacja, zapotrzebowanie jest mniejsze o 10% od zapotrzebowania w zimie. Najmniejsze zapotrzebowanie na energię elektryczną jest w miesiącach jesiennych i wiosennych, gdy nie są załączane klimatyzacja i ogrzewanie.

Do dalszej analizy wybrano zapotrzebowanie na liniach dziennych w dniu powszednim w czasie miesięcy zimowych, gdy autobus jeździ z włączonym ogrzewaniem. Ponieważ założono, że instalacja, która pokryje największe zapotrzebowanie, pokryje także każde inne niższe.

Ze stacji pomiarowej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej otrzymano sumę dobowego natężenia promieniowania słonecznego [W/m<sup>2</sup>]. Pomiaru na tej stacji wykonywane są w odstępach 5-minutowych. Następnie obliczono średnio miesięczne dobowe natężenie promieniowania słonecznego na podstawie poniższych zależności:

$$S_{sr} = \frac{S_d}{12 \cdot N_d} \quad (2)$$

$$\sum_{dn}^{30} (S_{srn} \cdot N_{dn})$$

$S_{sr}$  – średnie dzienne natężenie promieniowania słonecznego [W/m<sup>2</sup>];

$S_d$  – suma dobowego natężenia promieniowania [W/m<sup>2</sup>];

$N_d$  – liczba godzin dziennych;

12 – liczba pomiarów w ciągu 1 godziny;

$S_{srn}$  – średnie miesięczne natężenie promieniowania słonecznego [W/m<sup>2</sup>];

30 – przyjęta liczba dni w ciągu miesiąca.

Na podstawie danych o wschodzie i zachodzie słońca [8] obliczono dla każdej doby w roku liczbę godzin dziennych z dokładnością co do godziny. Przyjęto, że możliwość generacji energii elektrycznej w elektrowni fotowoltaicznej pojawia się wraz ze wschodem słońca, a kończy się wraz z zachodem słońca. Wyniki przedstawiono na rys 2.

Średnie miesięczne natężenie promieniowania słonecznego jest największe w miesiącach letnich i wiosennych, tj. maju, czerwcu, lipcu i sierpniu. W tych miesiącach wynosi około 300 W/m<sup>2</sup>. W pozostałych miesiącach natężenie jest znacząco niższe. W kwietniu wynosi około 200 W/m<sup>2</sup>, w marcu i wrześniu około 150 W/m<sup>2</sup>. W miesiącach jesiennych oraz zimowych natężenie jest najniższe i wynosi mniej niż 100 W/m<sup>2</sup>. Najniższe natężenie jest w grudniu – wynosi wówczas mniej niż 50 W/m<sup>2</sup>.

Obliczono możliwości generacji energii elektrycznej z 1 m<sup>2</sup> instalacji fotowoltaicznej na podstawie poniższego wzoru, przyjmując sprawność instalacji na poziomie 15%.

$$E_s = t \cdot I_{sr} \cdot \eta \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] \quad (3)$$

gdzie:

$t$  – czas działania elektrowni [h];

$I_{sr}$  – średnie natężenie promieniowania [kW/m<sup>2</sup>];

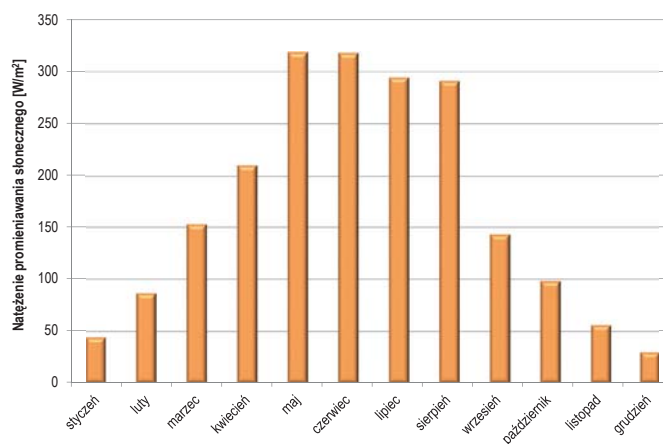
$\eta = 15\%$  – przyjęta sprawność elektrowni.

Szacowana generacja energii elektrycznej z 1 m<sup>2</sup> elektrowni fotowoltaicznej jest najwyższa dla maja, czerwca i lipca. Podob-

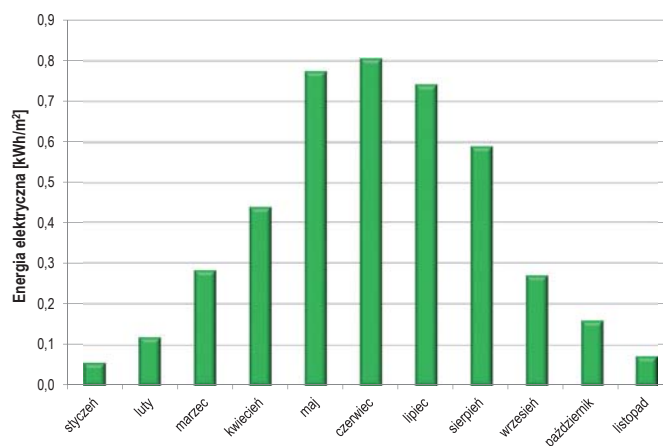


Panele fotowoltaiczne

Źródło: <https://pixabay.com/> CCO Creative Commons



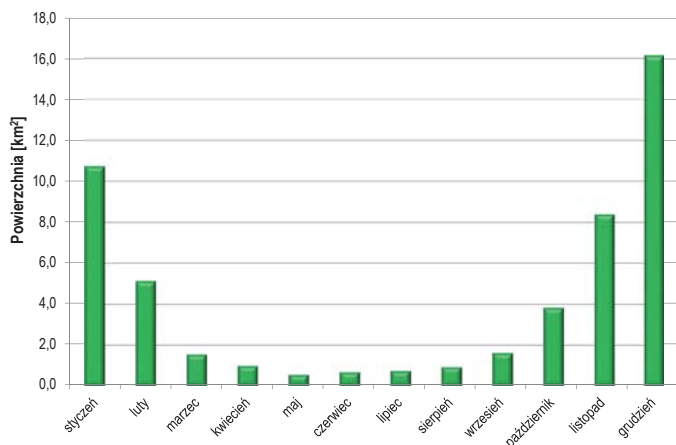
Rys. 2. Średnie miesięczne natężenie promieniowania słonecznego. Oszacowanie dla obszaru Warszawy



Rys. 3. Możliwości generacji energii elektrycznej z 1 m<sup>2</sup> instalacji fotowoltaicznej

nie jak natężenie promieniowania słonecznego. Dla tych miesięcy wynosi około 750 Wh/m<sup>2</sup>. Najmniejsze możliwości generacji energii elektrycznej są, podobnie jak natężenie promieniowania słonecznego, w miesiącach zimowych i jesiennych. W tym okresie z 1 m<sup>2</sup> można wygenerować od około 50 Wh/m<sup>2</sup> do 400 Wh/m<sup>2</sup> energii elektrycznej.





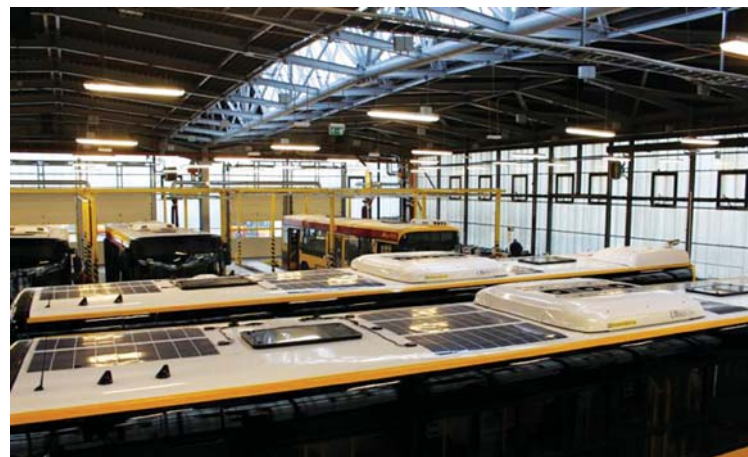
**Rys. 4.** Wymagana powierzchnia elektrowni fotowoltaicznej dla poszczególnych miesięcy w roku

Następnie obliczono powierzchnię elektrowni fotowoltaicznej, jaka byłaby wymagana do pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną na liniach dziennych w dniu powszednim w poszczególnych miesiącach. Obliczono iloraz dziennego zapotrzebowania na energię elektryczną dla poszczególnych miesięcy i ilości energii elektrycznej możliwej do wyprodukowania z 1 m<sup>2</sup> instalacji fotowoltaicznej. Wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 4).

W celu wizualizacji uzyskanych wyników wymagane powierzchnie elektrowni fotowoltaicznych przedstawiono na tle mapy Warszawy, zaznaczając obszary dzielnic, które najbliższemu odpowiadają powierzchni [13] danej elektrowni (rys. 5).

## Podsumowanie

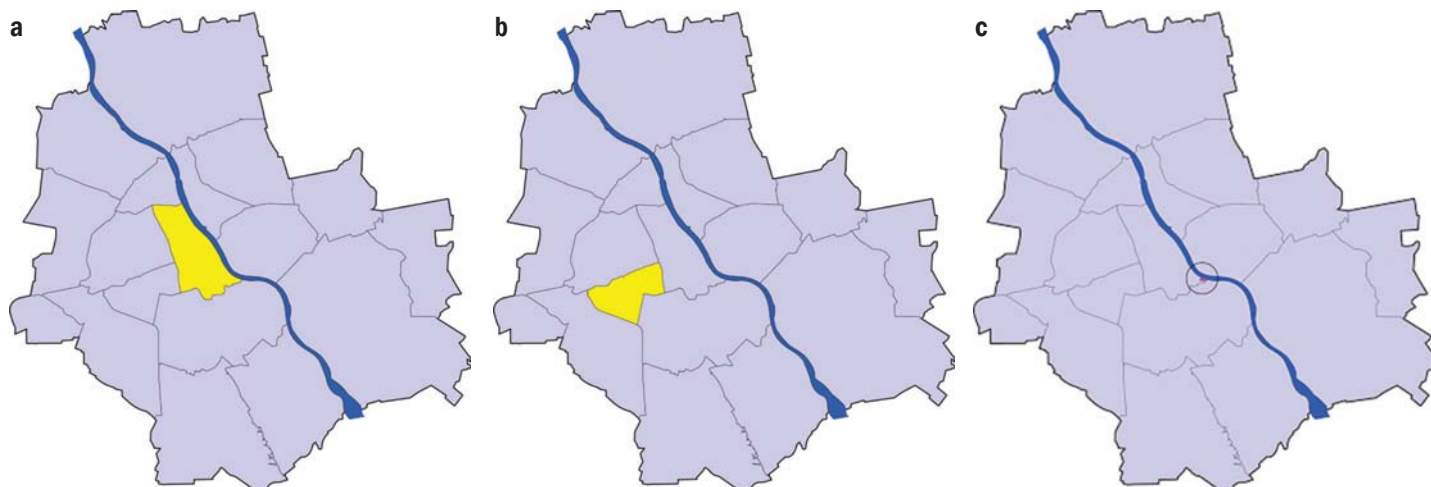
W miesiącach z wyższym natężeniem promieniowania słonecznego zapotrzebowanie na energię elektryczną przez elektrobusy jest mniejsze, ponieważ nie jest konieczne ogrzewanie, które może zwiększyć pobór o ponad 40%. W miesiącach letnich klimatyzacja może zwiększyć zapotrzebowanie na energię o niepełną 26%, jednakże dzięki lepszym warunkom słonecznym w miesiącach letnich (od maja do sierpnia) do pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną pełnego taboru elektrobusów w Warszawie wystarczy mniej niż 1 km<sup>2</sup> powierzchni elektrowni fotowoltaicznych. Zatem w okresie letnim lokalna energetyka słoneczna ma potencjał do bilansowania zapotrzebowania na



Panele fotowoltaiczne zamontowane na dachu autobusów Solaris, obsługujących komunikację miejską Warszawy  
Źródło: ZTM Warszawa

energię elektryczną całego taboru autobusów stołecznej komunikacji miejskiej. W miesiącach przejściowych, tj. wiosennych i jesiennych, zapotrzebowanie na energię elektryczną dla elektrobusu jest najmniejsze, a możliwości generacji energii elektrycznej z elektrowni fotowoltaicznej są umiarkowane. Powierzchnia, jaką powinna zajmować elektrownia fotowoltaiczna, aby pokryć zapotrzebowanie na energię elektryczną w marcu, kwietniu oraz wrześniu, powinna zajmować mniej niż 2 km<sup>2</sup>, czyli obszar dwukrotnie większy niż pokazany na rys. 5c.

W miesiącach zimowych zapotrzebowanie na energię elektryczną dla elektrobusu jest największe z powodu działającego ogrzewania. Możliwości generacji energii elektrycznej są najmniejsze z powodu małej liczby godzin dziennych i niskiego natężenia promieniowania słonecznego. W lutym i październiku elektrownia fotowoltaiczna musiałaby zajmować już połowę dzielnicy Ochota, a w listopadzie i styczniu całą dzielnicę Ochota (rys. 5b). W grudniu, gdy natężenie promieniowania słonecznego jest najmniejsze, a dni najkrótsze, elektrownia fotowoltaiczna musiałaby mieć powierzchnię równą powierzchni całego Śródmieścia (rys. 5c). Jeśli zasilanie elektrobusów warszawskich miałyby odbywać się wyłącznie z energii elektrycznej generowanej w elektrowni fotowoltaicznej, musiałaby mieć ona powierzchnię porównywalną z powierzchnią dzielnicy Śródmieście.



**Rys. 5.** Wizualizacja wymaganej powierzchni elektrowni fotowoltaicznej na tle powierzchni obszaru m.st. Warszawy: a – w grudniu: Śródmieście, 16 km<sup>2</sup>, b – listopadzie lub styczniu: Ochota, 10 km<sup>2</sup>, c – miesiącach letnich: maj–sierpień: 1 km<sup>2</sup>

Zaprezentowane szacunki pokazują, że w warunkach polskich odpowiednio rozmieszczone lokalne źródła słoneczne w okresie letnim mogą dostarczać wystarczającej ilości energii elektrycznej do napędu całego taboru elektrycznych autobusów komunikacji miejskiej w tak dużym mieście, jakim jest Warszawa, i to w sytuacji 100-procentowego zastąpienia pojazdów spalinowych przez w pełni elektryczne. Wygospodarowanie powierzchni na panele fotowoltaiczne w obszarze miasta dla tego przypadku (około 2 km<sup>2</sup>) – w sposób jak najmniej ingerujący w przestrzeń miejską – może być technicznie możliwe. Zagadnieniem wymagającym odrębnej analizy jest opłacalność ekonomiczna inwestycji, biorąca dodatkowo pod uwagę ograniczone możliwości generacji w miesiącach zimowych. Racjonalnym zjawiskiem jest dywersyfikacja różnych rodzajów źródeł oraz technologii generacji i magazynowania energii elektrycznej.

Zmiana taboru autobusowego ze spalinowego na elektryczny przyniosłaby korzyści mieszkańcom miasta oraz podróżnym. Autobusy elektryczne są przede wszystkim bardziej ciche niż spalinowe i – co bardzo istotne – nie emitują lokalnie zanieczyszczeń. Przyczyniłoby się to do poprawy jakości powietrza w mieście. Emisja zanieczyszczeń przy produkcji energii elektrycznej potrzebnej do zasilenia autobusów miejskich zależałaby tylko od drugiego źródła zasilania. Dodatkowo ładowanie autobusów w nocy przyczyniłoby się do lokalnego wyrównania obciążenia dobowego i pozwoliło lokalnym elektrowniom konwencjonalnym na pracę z wyrównanym obciążeniem.

Europejskie programy badawcze skierowane są na niskoemisyjność, wysoką sprawność i rozwiązania przyjazne środowisku naturalnemu, a tym samym przyjazne mieszkańcom miast. W miastach prowadzone są testy pojedynczych linii elektrycznych lub pojazdów elektrycznych. Elektryfikacja transportu miejskiego niewątpliwie jest nowym zagadnieniem, dopiero rozwijającym się, ale z dobrą perspektywą rozwoju. Technologie generacji energii elektrycznej z OZE również dobrze się rozwijają. Upowszechnienie się pojazdów elektrycznych powinno postępować wraz z rozwojem technologii generacji energii elektrycznej z niskoemisyjnych źródeł. Tylko taki zrównoważony rozwój pozwoli na ograniczenie emisji zanieczyszczeń w skali całego kraju, nie tylko lokalnie. Zasilanie elektrobuses miejskich hybrydowo ze źródeł odnawialnych (OZE) i elektrowni konwencjonalnych powinno być tylko etapem przejściowym. Wraz z udoskonaleniem się technologii akumulacji energii elektrycznej oraz generacji energii elektrycznej z OZE będzie można osiągnąć całkowicie bezemisyjny i przyjazny mieszkańcom transport publiczny.

## Bibliografia:

1. *Autobusy elektryczne. Koszty zakupu i eksploatacji*, Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne S.A. w Krakowie, Prezentacja multimedialna, Warszawa, 30.03.2017: <https://www.mr.gov.pl/strony/aktualnosci/e-bus-praktyczneaspekty-elektryfikacji-transportu-publicznego/> (dostęp: 27.11.2017).
2. *Biała Księga: Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu*: Dz. Urz. WE z dnia 28.03.2011.
3. *Dane pogodowe ze stacji meteorologicznej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej*, Dane z okresu 01.11.2016–31.10.2017, [Dane statystyczne udostępnione na podstawie umowy z Wydziałem Fizyki].
4. Dyr T., Abramowicz A., *Projekt eBus jako instrument rozwoju transportu publicznego*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2015, nr 1–2.

5. Dyr T., *Europejska polityka transportowa na pierwszą połowę XXI wieku*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2011, nr 10.
6. Dyr T., *Europejska strategia w zakresie paliw alternatywnych*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2013, nr 11.
7. Dyr T., *Konkurencyjna i zasobooszczędna mobilność w miastach*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2015, nr 1–2.
8. *Godzina wschodu i zachodu Słońca dla Warszawy*: <http://hallo-ween.friko.net/slonce/Warszawa> (dostęp: 27.12.2017).
9. Grzelec K., Okrój D., *Perspektywy obsługi miast autobusami elektrycznymi na przykładzie Sopotu*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 11.
10. *Informator Statystyczny, Zarząd Transportu Miejskiego w Warszawie*, nr VI (279), czerwiec 2017: <http://www.ztm.waw.pl/statystyka.php?c=664&i=38&l=1>, (dostęp: 05.12.2017).
11. *Ochrona Środowiska 2015*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, data aktualizacji: 14.12.2015.
12. *Program e-BUS: Polski Autobus Elektryczny*: <https://www.mr.gov.pl/strony/strategia-narzez-odpowiedzialnego-rozwoju/kluczowe-projekty/program-e-bus-polski-autobuselektryczny/> (dostęp: 27.11.2017).
13. *Publiczne dane o powierzchni Warszawy oraz poszczególnych dzielnic*, Urząd Miasta Stołecznego Warszawy: <http://www.um.warszawa.pl/o-warszawie/warszawa-w-liczbach/powierzchnia-3> (dostęp: 27.12.2017).
14. *Roczna ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim raport za rok 2016*, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Powietrza w Warszawie, Warszawa, lipiec/kwiecień 2017.
15. *ZeEus*: <http://zeeus.eu/about-zeeus/> (dostęp: 27.11.2017).
16. *Zrozumieć politykę Unii europejskiej. Transport*, Bruksela, listopad 2014: [https://europa.eu/european-union/topics/transport\\_pl](https://europa.eu/european-union/topics/transport_pl) (dostęp: 27.11.2017).

## Estimation of area of photovoltaic panels for electric buses in Warsaw. Extreme variant

*The aim of this paper is to estimate the area of power plants based on renewables (photovoltaic panels) for the case where public transport in Warsaw would be fulfilled by electric buses instead of combustion buses. The analysis are in extreme variant when all combustion buses were exchanged for electric buses and the power demand was completely covered from photovoltaics. Calculations are based on weather data from weather station placed in the center of Warsaw, also public data and information of parameters of electric buses which were tested in urban conditions. Results for different seasons are shown in comparison to the area of the city of Warsaw district.*

**Keywords:** electric bus, public transport, renewable energy sources, photovoltaic, transport electrification, public transport in Warsaw.

## Autorzy:

inż. **Dorota Gręda** – Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Instytut Techniki Ciepłej im. B. Stefanowskiego  
dr inż. **Sławomir Bielecki** – Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Instytut Techniki Ciepłej im. B. Stefanowskiego