

EFEKTYWNOŚĆ ZASTOSOWANIA AUTOBUSÓW Z NAPĘDEM ALTERNATYWNYM W KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

DATA PRZESŁANIA: 1.03.2018, DATA AKCEPTACJI: 18.06.2018, KODY JEL: Q01, R42

Tadeusz Dyr

Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu
t.dyr@uthrad.pl

Przemysław Misiurski

Politechnika Opolska
p.misiurski@po.opole.pl

Małgorzata Kozłowska

Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu
m.kozłowska@uthrad.pl

STRESZCZENIE

Europejska polityka transportowa na pierwszą połowę XXI wieku zakłada stworzenie systemu transportu zorganizowanego z poszanowaniem zasady zrównoważonego rozwoju, zaspokajającego gospodarcze, społeczne i ekologiczne potrzeby społeczeństwa oraz sprzyjającego budowaniu zintegrowanego społeczeństwa i konkurencyjnej Europy. Istotnym instrumentem tej polityki jest zastosowanie alternatywnych paliw i napędów w środkach transportu publicznego. W artykule przedstawiono stosowane w transporcie publicznym paliwa i napędy alternatywne. Omówiono założenia metodyczne oceny efektywności finansowej inwestycji związanych z pozyskiwaniem środków transportu publicznego z napędem alternatywnym oraz wyniki oceny dla wybranych napędów alternatywnych.

SŁOWA KLUCZOWE

zrównoważony rozwój, napędy alternatywne, efektywność inwestycji

WSTĘP

Systematyczny wzrost poziomu urbanizacji wywołuje zarówno skutki pozytywne, jak i negatywne. Silnie zurbanizowane obszary sprzyjają rozwojowi wiedzy, nauki i technologii. Wynika to przede wszystkim z dużego nagromadzenia idei na stosunkowo niewielkim obszarze (Maráková, Dyr, Wolak-Tuzimek, 2016), co staje się istotnym czynnikiem konkurencyjności i wzrostu gospodarczego państw i regionów (Romer, 1990)

Negatywne skutki urbanizacji są m.in. związane z miejskimi systemami transportowymi. Zaspokajanie potrzeb transportowych odbywa się w dużej mierze przy wykorzystaniu samochodów osobowych i autobusów o napędzie konwencjonalnym. Prowadzi to do emisji szkodliwych substancji, w tym gazów cieplarnianych, wzrostu kongestii oraz wysokiego ryzyka wypadków komunikacyjnych (Komunikat, 2013b). Wysoki udział pojazdów napędzanych paliwami ropopochodnymi powoduje ponadto występowanie znacznego deficytu w bilansie handlowym, mającego istotny wpływ na tempo rozwoju gospodarczego (Komunikat, 2013a). Instrumentem przeciwdziałania tym negatywnym zjawiskom jest strategia wykorzystania w sektorze transportu Unii Europejskiej (UE) paliw ze źródeł alternatywnych (Romejko, Nakano, 2017). Założenie takie przyjęto również w projekcie polskiej polityki energetycznej do roku 2050 (Ministerstwo Gospodarki, 2015).

W komunikacji miejskiej w Polsce, według danych Głównego Urzędu Statystycznego na dzień 31.12.2016 roku, wykorzystywano 11 973 autobusy, 3332 tramwaje i 223 trolejbusy. Przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej eksploatowały 454 autobusy z napędami alternatywnymi (3,8% łącznej liczby autobusów). Dominujące znaczenie mają autobusy zasilane sprężonym gazem ziemnym (CNG), stanowiące około 70% autobusów napędzanych paliwami alternatywnymi. Uwzględniając dodatkowo zakup w 2015 roku 40 autobusów hybrydowych (gazowo-elektrycznych) dla potrzeb komunikacji miejskiej w Częstochowie oraz 35 autobusów LNG w Warszawie, udział pojazdów zasilanych gazem ziemnym w łącznej liczbie autobusów z napędami alternatywnymi wynosi w Polsce około 95%. W 2017 roku zrealizowano kilka dostaw autobusów elektrycznych do polskich miast, m.in. do Jaworzna, Krakowa, Ostrowa Wlkp., Warszawy i Wrześni (Dyr, 2018), a kilka miast ogłosiło przetargi publiczne na dostawę takich autobusów. Nadal jednak ich udział jest niewielki. Można więc postawić następujące pytanie badawcze: dlaczego – pomimo możliwości ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko naturalne oraz sprzyjaniu w osiągnięciu celów zrównoważonego rozwoju – udział pojazdów z napędami alternatywnymi jest tak niski? Próbę odpowiedzi na tak postawione pytanie stanowi niniejszy artykuł. Przeprowadzone badania wskazują, że podstawą decyzji inwestycyjnych realizowanych przez przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej oraz samorządy lokalne odpowiedzialne za organizację i finansowanie transportu publicznego, w tym dotyczących rodzaju napędu w autobusach, są wyniki oceny efektywności finansowej i ekonomicznej, determinujące możliwość pozyskania dotacji z funduszy UE.

Uwzględniając przedstawione przesłanki, za zasadniczy cel niniejszego artykułu przyjęto ocenę efektywności zastosowania autobusów z napędem alternatywnym w komunikacji miejskiej. Przeprowadzone studia literaturowe oraz wyniki badań empirycznych pozwoliły na sformułowanie i udowodnienie następującej hipotezy badawczej: Barięsz szerokiego zastosowania autobusów z napędami alternatywnymi są wyższe nakłady inwestycyjne niż w przypadku zakupu autobusów zasilanych olejem napędowym (dalej autobusy ON) oraz niepewność związana z kosztami eksploatacji tych pojazdów, w tym zużycia paliwa i energii. Weryfikując tę hipotezę, przeprowadzono analizę kosztów i korzyści zakupu autobusów CNG. Prognozę strumieni pieniężnych do tej analizy opracowano na podstawie danych z dwóch przedsiębiorstw komunikacji miejskiej eksploatujących zarówno autobusy CNG, jak i zasilane olejem napędowym. Ze względu na wykorzystywanie danych wrażliwych autorzy zobowiązali się do nieujawniania nazwy tych przedsiębiorstw.

NAPĘDY ALTERNATYWNE W KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Możliwość zastosowania paliw i napędów alternatywnych zależy od rodzaju i odległości przewozu oraz środka transportu. Największe możliwości wykorzystania różnych paliw występują na obszarach miejskich (tab. 1).

Tabela 1. Zastosowanie głównych paliw alternatywnych w poszczególnych rodzajach transportu i w zależności od długości przewozu

Paliwo		Rodzaj transportu											
		drogowy						lotniczy	kolejowy	wodny			
		pasażerski			towarowy					śródlądowy	morski		
		bliski	średni	daleki	bliski	średni	daleki				bliski	daleki	
LPG													
Gaz ziemny	LNG												
	CNG												
Energia elektryczna													
Biopaliwa													
Wodór													

Źródło: (Komunikat, 2013a).

Wśród dostępnych paliw alternatywnych szczególne znaczenie ma gaz ziemny. Jego zastosowanie istotnie przyczynia się do poprawy jakości powietrza w miastach (Karavalakis i in., 2016). Paliwo to jest bowiem zaliczane do najczystszych i najbogatszych w wodór węglowodorowych źródeł energii (Economides, Wood, 2009). Jego użycie zarówno w transporcie, jak i w innych sektorach gospodarki miejskiej jest jednym z głównych czynników osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju (Brito, Moutinho dos Santos, Galbieri, de Medeiros Costa, 2017).

Pojazdy zasilane gazem ziemnym wytwarzają znacznie mniej toksycznych substancji i gazów cieplarnianych, szczególnie CO₂, niż pojazdy z silnikami Diesla. Potwierdzają to m.in. badania prowadzone np. w Grecji (Nanaki, Koroneos, Xydis, Rovas, 2014), Chinach (Hairuddin, Yusaf, Wandel, 2014), Brazylii i Indiach (Cooper, Arioli, Carrigan, Lindau, 2014). Szczególnie istotna jest możliwość redukcji związków rakotwórczych (Turrio-Baldassarri i in., 2006).

Istotnym instrumentem poprawy bezpieczeństwa energetycznego oraz redukcji gazów cieplarnianych jest zastosowanie wodoru. Może on być wykorzystywany jako paliwo transportowe i środek magazynowania energii (Wang, 2015b). Prowadzone badania wskazują, że najbardziej efektywne jest wykorzystanie tego paliwa w ogniwach paliwowych (Wang, 2015a). Główne problemy stosowania wodoru jako paliwa do napędu pojazdów to wysoki koszt ogniw paliwowych i brak sieci infrastruktury uzupełniania paliwa. Stały postęp technologiczny powoduje jednak systematyczną poprawę efektywności jego zastosowania (Lajunen, 2014b).

W ostatnich latach coraz większe znaczenie w komunikacji miejskiej mają autobusy elektryczne. W 2016 roku po raz pierwszy w historii wyróżnienie Bus of the Year przyznano autobusowi elektrycznemu. Tytułem tym nagrodzony został autobus Solaris Urbino 12 electric, produkowany przez polskie przedsiębiorstwo Solaris Bus & Coach S.A. (Rusak, 2016).

Główną zaletą autobusów elektrycznych jest niskie zużycie energii i zerowa emisja w miejscu świadczenia usług przewozowych (Lajunen, 2014a). Główną wadą zaś relatywnie wysokie nakłady inwestycyjne związane z zakupem autobusów oraz infrastruktury uzupełniania energii elektrycznej. Zazwyczaj także do wykonania identycznych zadań przewozowych potrzebna jest większa liczba autobusów elektrycznych niż z napędem Diesla. Duża masa baterii akumulatorów powoduje bowiem ograniczenie maksymalnej liczby pasażerów (Miles, Potter, 2014).

Istniejące zasoby gazu ziemnego oraz możliwości jego zastosowania zarówno w sektorze transportu, jak i w innych sektorach gospodarki wskazują, że paliwo to może być istotnym czynnikiem ograniczania negatywnego wpływu na środowisko naturalne i przeciwdziałania zmianom klimatycznym w perspektywie krótko- i średniookresowej (White Paper, 2001). W perspektywie długoterminowej coraz większe znaczenie będą miały odnawialne źródła energii, w tym m.in. wodór, biomasa i biometan (Nadaletti i in., 2015). Będzie także wzrastało wykorzystanie biogazu wytwarzanego z biomasy w lokalnych wytwórniach, co ograniczy koszty transportu oraz poprawi konkurencyjność miast i regionów (Stocchetti, Volpato, 2010).

Zastosowanie paliw i napędów alternatywnych, jak wykazuje zaprezentowany przegląd literatury, jest istotnym czynnikiem ograniczania negatywnego wpływu transportu na środowisko oraz przeciwdziałania zmianom klimatycznym. Zastąpienie autobusów z silnikami Diesla pojazdami z napędem alternatywnym generuje wymierne korzyści społeczne. Inwestycje takie powinny być zatem wspierane ze środków publicznych.

METODYKA OCENY EFEKTYWNOŚCI ZASTOSOWANIA PALIW ALTERNATYWNYCH W KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Podjmując decyzje inwestycyjne, w tym dotyczące rodzaju napędu w pojazdach komunikacji miejskiej, uwzględnia się wyniki oceny efektywności finansowej i ekonomicznej. W pierwszym ujęciu ocenę tę przeprowadza się z punktu widzenia inwestora, koncentrując się na przepływach finansowych generowanych przez projekt w przedsiębiorstwie komunikacyjnym. W drugim ujęciu uwzględnia się dodatkowo koszty i korzyści zewnętrzne (Dyr, Kozubek, 2013) związane z produkcją i konsumpcją, które ponoszone są przez podmioty nieuczestniczące bezpośrednio w produkcji, konsumpcji lub wymianie danego dobra. W konsekwencji prowadzi to do konieczności ponoszenia przez te podmioty dodatkowych kosztów, za które nie otrzymują one od ich sprawcy żadnego odszkodowania. Może także przysparzać im korzyści, za które nie wypłacają wynagrodzenia (Stiglitz, 2000). Te koszty i korzyści są przypadkowymi bądź ubocznymi wynikami działalności celowej podmiotów gospodarczych (Mishan, 1971), m.in. wyrażonymi w pieniądzu skutkami negatywnego wpływu działalności, w tym transportowej, na środowisko naturalne (Štreimikienė, Mikalauskas, 2015).

Analiza efektywności finansowej ma na celu sprawdzenie czy projekt potrzebuje wsparcia ze środków publicznych, np. z funduszy UE. Natomiast analiza efektywności ekonomicznej powinna pozwolić udzielić odpowiedzi na pytanie czy projekt zasługuje na wsparcie ze środków publicznych.

W ocenie efektywności inwestycji wykorzystuje się metodę przyrostową (Sartori i in., 2014). W przypadku inwestycji związanych z zakupem pojazdów komunikacji miejskiej zastosowanie

tej metody pozwala uniezależnić obliczenia od kosztów niezwiązanych z rodzajem napędu pojazdu, tj. kosztów, które są identyczne dla autobusów z różnymi napędami i nie mają wpływu na wyniki oceny efektywności. W konsekwencji w analizie wykorzystuje się tylko te strumienie pieniężne, które są specyficzne dla rozważanego wariantu inwestycyjnego. Pomija się natomiast strumienie, których wartość jest identyczna w badanych wariantach (np. wynagrodzenia kierowców autobusów, zużycie ogumienia itp.), nie mają one bowiem wpływu na wyniki oceny (Dyr, Kozubek, 2013).

Zgodnie z zasadą przyrostowości strumienie pieniężne kosztów i korzyści uwzględnia się w rachunku efektywności jako różnicę pomiędzy wartością w analizowanym wariantcie a wartością w wariantcie odniesienia (Bowen, Burgstahler, Daley, 1987). Wielkość przyrostowych strumieni pieniężnych oblicza się więc ze wzoru:

$$CF_{k,t} = CF_{k,t}^{WI} - CF_{k,t}^{WO} \quad (1)$$

gdzie:

$CF_{k,t}$ – przyrostowy strumień pieniężnych k -tego rodzaju w roku t ,

$CF_{k,t}^{WI}$ – strumień pieniężny k -tego rodzaju badanego wariantu inwestycji w roku t ,

$CF_{k,t}^{WO}$ – strumień pieniężny k -tego rodzaju w wariantcie odniesienia w roku t .

Wariantem odniesienia może być opcja wariant bezinwestycyjny lub alternatywny wariant inwestycyjny (Florio, 2006). W pierwszym przypadku bada się wpływ inwestycji (np. zakupu autobusu CNG) na przepływy pieniężne przedsiębiorstwa. W drugim porównuje się alternatywne rozwiązania tego samego problemu (np. zakup autobusów CNG i z napędem konwencjonalnym), koncentrując się tylko na tych strumieniach, które mają różną wartość. W przypadku identycznych strumieni pieniężnych ich różnica wynosi 0. Nie ma więc wpływu na wynik oceny efektywności.

Przeprowadzone badania empiryczne wskazują, że strumieniami pieniężnymi różnicującymi zakup i eksploatację autobusów CNG i ON są nakłady inwestycyjne, koszty zużycia paliwa oraz koszty utrzymania autobusów w sprawności technicznej. W analizie efektywności ekonomicznej oprócz wymienionych uwzględnia się korzyści zewnętrzne (społeczno-ekonomiczne).

Studia literaturowe wskazują, że w ocenie efektywności zakupu autobusów komunikacji miejskiej zasilanych różnymi paliwami uwzględnia się także koszty wynagrodzeń (Shirazi, Carr, Knapp, 2015) i przychody ze sprzedaży biletów (Gerbec, Samuel, Kontić, 2015). Badania prowadzone w przedsiębiorstwach komunikacji miejskiej w Polsce nie potwierdzają jednak, że istnieje zależność pomiędzy wysokością wynagrodzenia a rodzajem napędu stosowanego w autobusie. Samorządy miast odpowiedzialne za organizację i finansowanie komunikacji miejskiej nie wprowadzają też zróżnicowania wysokości cen biletów od rodzaju autobusu. Zastosowanie napędów alternatywnych nie ma więc wpływu na przychody ze sprzedaży usług. Stosując metodę przyrostową, te składniki kosztów (wynagrodzenia) i korzyści (przychody ze sprzedaży) można pominąć.

KOSZTY I KORZYŚCI FINANSOWE ZAKUPU AUTOBUSÓW Z NAPĘDEM ALTERNATYWNYM

Rodzaj napędu ma istotny wpływ na poziom nakładów inwestycyjnych. Dla autobusów o długości około 12 m wynoszą one:

- autobusy ON spełniające wymogi normy emisji spalin Euro 6 – 0,825 mln zł,
- autobusy CNG – 1,03 mln zł,
- autobusy hybrydowe – 1,25 mln zł,
- autobusy elektryczne – 2,1 mln zł¹.

Różnica w nakładach inwestycyjnych prowadzi do zróżnicowania wysokości amortyzacji. Ten składnik kosztów nie jest jednak uwzględniany w kalkulacji wskaźników efektywności, uwzględnia się w niej bowiem wyłącznie przepływy pieniężne (Florio, 2014).

Czynnikiem różnicującym efektywność zastąpienia autobusów pojazdami z napędem alternatywnym są koszty zużycia paliw i energii. Gromadzone w badanych przedsiębiorstwach dane statystyczne wskazują, że wielkość zużycia oleju napędowego, gazu ziemnego i energii elektrycznej jest identyczna w całym cyklu życia pojazdu. Wahania w poziomie zużycia paliwa i energii wynikają głównie z warunków pogodowych (używanie klimatyzacji bądź ogrzewania) oraz obciążenia linii (liczba pasażerów w autobusie). W tej sytuacji do dalszej analizy przyjęto średnie koszty zużycia paliwa i energii dla wszystkich badanych typów autobusów. Wynoszą one:

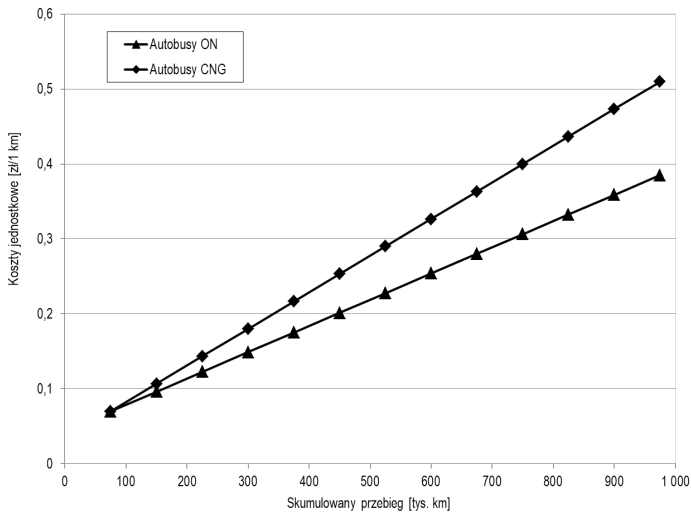
- autobusy ON – 138,5 zł/100 km (38,6 l/100 km),
- autobusy CNG – 124,1 zł/100 km (49,2 m³/100 km),
- autobusy hybrydowe – 110,0 zł/100 km (31 l/100 km),
- autobusy elektryczne – 60,0 zł/100 km (200 kWh/100 km).

Istotnym czynnikiem determinującym efektywność zakupu pojazdów komunikacji miejskiej są koszty napraw (utrzymania autobusów w sprawności technicznej). Relatywnie krótki okres eksploatacji autobusów hybrydowych i elektrycznych ogranicza precyzyjne określenie tych kosztów w całym cyklu życia. Z tego względu porównanie przeprowadzono dla dwóch typów autobusów – CNG i ON, wykorzystując dane źródłowe z dwóch przedsiębiorstw eksploatujących po około 130 autobusów. Przeprowadzone badania wskazują, że eksploatacja autobusów od momentu zakupu powoduje stopniowe narastanie kosztów napraw i remontów. Ich wysokość zależy od łącznego przebiegu autobusu oraz od rodzaju napędu. Kształtowanie się tych kosztów przedstawiono na rysunku 1. Podstawą wyznaczenia krzywej kosztów są wyniki modelowania ekonometrycznego. W modelu tym ustalono zależność jednostkowego kosztu utrzymania autobusu w gotowości technicznej będącą sumą kosztów części zamiennych i napraw (zmienna objaśniana) od skumulowanego przebiegu odzwierciedlającego poziom zużycia technicznego pojazdu (zmienna objaśniająca). Szczegółowe założenia metody prognozowania tych kosztów przedstawiono w artykule *Prognozowanie kosztów utrzymania i eksploatacji taboru autobusowego* (Dyr, Misiurski, 2016).

Konsekwencją szybszego narastania przeciętnych kosztów utrzymania autobusów w sprawności technicznej jest zwiększająca się różnica pomiędzy kosztami całkowitymi utrzymania autobusów CNG i ON. Ten składnik kosztów operacyjnych jest zazwyczaj pomijany w analizach. Tymczasem ma on istotny wpływ na efektywność finansową zakupu autobusów CNG. Wyższe

¹ Ostateczna wartość nakładów inwestycyjnych może być nieco inna niż przedstawiono. Zależy ona bowiem od konkretnej specyfikacji technicznej, liczby zamawianych autobusów, warunków finansowych dostaw itp.

koszty utrzymania powodują bowiem zmniejszenie korzyści operacyjnych wynikających z niższych kosztów zużycia paliwa.



Rysunek 1. Koszty jednostkowe utrzymania autobusów w sprawności technicznej.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z badanego przedsiębiorstwa.

Przedstawione przyrostowe strumienie pieniężne pozwalają na porównanie efektywności zastosowania autobusów zasilanych sprężonym gazem ziemnym i olejem napędowym w komunikacji miejskiej. Do oceny wykorzystano wskaźnik wartości bieżącej netto (NPV). W kalkulacji posłużono się stopą dyskontową w wysokości 4% i okresem obliczeniowym 15 lat. Założono, że autobus kupiony zostanie w roku 0 i będzie eksploatowany przez 14 lat. W tym czasie skumulowany przebieg autobusów wyniesie około 1 mln km. Oznacza to, że autobusy osiągną granicę opłacalnej ekonomicznie eksploatacji (Dyr, Misiurski, 2016). Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Przyrostowe strumienie pieniężne netto do obliczenia efektywności finansowej zakupu autobusów CNG i ON (zł)

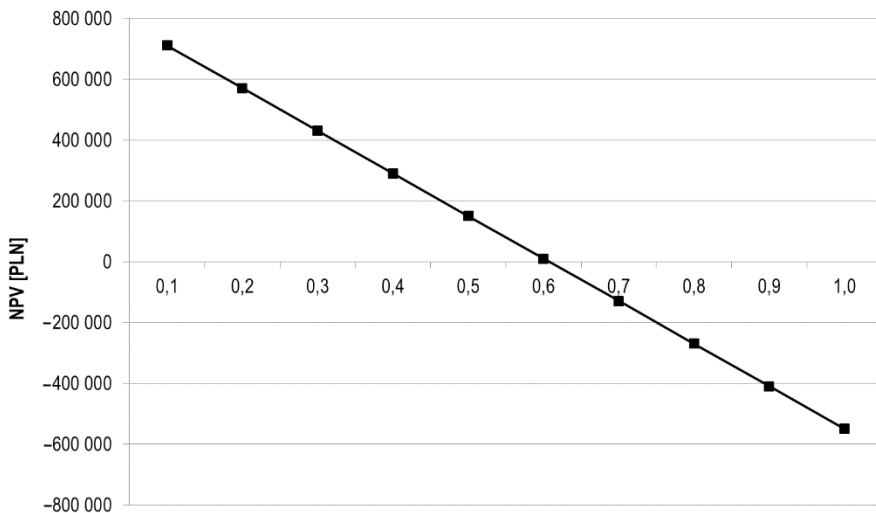
Okres	0	1	2	3	4	5	6	7
Przyrost nakładów inwestycyjnych	205 000,00							
Zmniejszenie kosztów zużycia paliwa		10 802,18	10 802,18	10 802,18	10 802,18	10 802,18	10 802,18	10 802,18
Zmniejszenie kosztów utrzymania		0,00	670,05	1344,51	2018,98	2693,45	3367,92	4042,38
Przeptywy pieniężne netto	-205 000,00	10 802,18	10 132,13	9457,67	8783,20	8108,73	7434,26	6759,80

Okres	8	9	10	11	12	13	14
Przyrost nakładów inwestycyjnych							
Zmniejszenie kosztów zużycia paliwa	10 802,18	10 802,18	10 802,18	10 802,18	10 802,18	10 802,18	10 802,18
Zmniejszenie kosztów utrzymania	4716,85	5391,32	6065,78	6740,25	7414,72	8089,19	8763,65
Przepływy pieniężne netto	6085,33	5410,86	4736,40	4061,93	3387,46	2712,99	2038,53
NPV	-132 644,00						
IRR	-11,63%						

Źródło: opracowanie własne.

Przy aktualnym kształtowaniu się cen sprężonego gazu ziemnego i oleju napędowego w Polsce zakup autobusów CNG jest nieopłacalny dla przedsiębiorstw komunikacji miejskiej. Świadczą o tym ujemna wartość NPV i mniejsza od przyjętej stopy dyskontowej wartość IRR. Takie kształtowanie się wskaźników efektywności powoduje, że przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej nie są zazwyczaj zainteresowane zakupem autobusów CNG. Potwierdzają to przywoływane na początku artykułu dane statystyczne dotyczące udziału autobusów CNG w ogólnej liczbie eksploatowanych autobusów w Polsce (poniżej 4%).

Poprawę efektywności zakupu autobusów CNG można osiągnąć poprzez wdrożenie mechanizmu gwarantującego zwiększenie różnicy w cenie CNG i ON. Zakładając niezmiennosc nakładów inwestycyjnych i kosztów utrzymania autobusów w sprawności technicznej, obliczono wskaźniki efektywności w funkcji relacji ceny 1 m³ CNG i 1 dm³ oleju napędowego. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Porównanie efektywności zakupu autobusu CNG i ON w zależności od relacji ceny paliw.

Źródło: opracowanie własne.

Relatywnie niewielki przebieg autobusów elektrycznych i hybrydowych eksploatowanych przez przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej w Polsce ogranicza, jak już wspomniano, ocenę efektywności finansowej zastosowania pojazdów z tymi napędami. Uwzględniając tylko dwie zmienne – nakłady inwestycyjne oraz zużycie paliw i energii – wyznaczono przebieg, przy którym koszty te się zrównają. Wynoszą one:

- autobusy hybrydowe – 1,4 mln km,
- autobusy elektryczne – 1,6 mln km.

Wyznaczone wartości znajdują się poza granicą opłacalnej ekonomicznie eksploatacji autobusów ON. Prawdopodobnie przy takim przebiegu nieopłacalne będzie również wykorzystywanie autobusów hybrydowych i elektrycznych. Wskazuje to na potrzebę wsparcia inwestycji ze środków publicznych. Autobusy z napędami alternatywnymi charakteryzują się bowiem, jak już wspomniano, znacznie niższym negatywnym wpływem na środowisko naturalne.

ZAKOŃCZENIE

Wdrażanie idei zrównoważonego rozwoju związane jest m.in. z szerokim wykorzystywaniem paliw alternatywnych w sektorze transportu, w tym pochodzących ze źródeł odnawialnych. Jak wynika z przeprowadzonego przeglądu literatury, ma to szczególne znaczenie na obszarach miast i aglomeracji. Sektor transportu jest tam bowiem głównym emitentem szkodliwych substancji, w tym gazów cieplarnianych.

Barierą szerokiego zastosowania autobusów z napędami alternatywnymi są wyższe nakłady inwestycyjne niż w przypadku zakupu tych z silnikami Diesla oraz niepewność związana z kosztami ich eksploatacji, w tym zużycia paliwa i energii. W wielu przypadkach niezbędna jest także konieczność dostosowania zaplecza technicznego do obsługi pojazdów z napędami alternatywnymi. W konsekwencji stosowanie tego rodzaju autobusów postrzegane jest przez menadżerów przedsiębiorstw transportowych jako rozwiązanie obciążone relatywnie wysokim ryzykiem.

Szansą na wzrost wykorzystania paliw alternatywnych w komunikacji miejskiej jest polityka UE zakładająca stworzenie zasobooszczędnego systemu transportowego i przyjaznego środowisku naturalnemu. Rezultatem tej polityki jest wzrost wsparcia inwestycji w komunikacji miejskiej obejmującej zakup pojazdów niskoemisyjnych. Zwiększa się także świadomość ekologiczna mieszkańców prowadząca do wzrostu zainteresowania wykorzystywaniem proekologicznych środków transportu.

LITERATURA

- Bowen, R.M., Burgstahler, D., Daley, L.A. (1987). The Incremental Information Content of Accrual Versus Cash Flows. *The Accounting Review*, 4 (62), 723–747.
- Brito, T.L.F., Moutinho dos Santos, E., Galbieri, R., Medeiros Costa, H.K. de (2017). Qualitative Comparative Analysis of Cities That Introduced Compressed Natural Gas to Their Urban Bus Fleet. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 502–508. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.077.
- Cooper, E., Arioli, M., Carrigan, A., Lindau, L.A. (2014). Exhaust Emissions of Transit Buses: Brazil and India Case Studies. *Research in Transportation Economics*, 48, 323–329. DOI: 10.1016/j.retrec.2014.09.059.

- Dyr, T. (2018). Solaris – lider na rynku autobusów miejskich w Polsce. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 1–2 (19), 18–25. DOI: 10.24136/atest.2018.001.
- Dyr, T., Kozubek, P.R. (2013). *Ocena transportowych inwestycji infrastrukturalnych współfinansowanych z funduszy Unii Europejskiej*. Radom: Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium”.
- Dyr, T., Misiurski, P. (2016). Prognozowanie kosztów utrzymania i eksploatacji taboru autobusowego. *Problemy Transportu i Logistyki*, 3 (35), 19–28. DOI: 10.18276/ptl.2016.35-02.
- Economides, M.J., Wood, D.A. (2009). The State of Natural Gas. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 1 (1), 1–13. DOI: 10.1016/j.jngse.2009.03.005.
- Florio, M. (2006). Cost–benefit Analysis and the European Union Cohesion Fund: On the Social Cost of Capital and Labour. *Regional Studies*, 40 (2), 211–224. DOI: 10.1080/00343400600600579.
- Florio, M. (2014). *Applied Welfare Economics. Cost–Benefit Analysis of Projects and Policies*. New York: Routledge.
- Gerbec, M., Samuel, R.O., Kontić, D. (2015). Cost Benefit Analysis of Three Different Urban Bus Drive Systems Using Real Driving Data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 433–444. DOI: 10.1016/j.trd.2015.10.015.
- Hairuddin, A.A., Yusaf, T., Wandel, A.P. (2014). A Review of Hydrogen and Natural Gas Addition in Diesel HCCI Engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 739–761. DOI: 10.1016/j.rser.2014.01.018.
- Karavalakis, G., Hajbabaie, M., Jiang, Y., Yang, J., Johnson, K.C., Cocker, D.R., Durbin, T.D. (2016). Regulated, Greenhouse Gas, and Particulate Emissions from Lean-Burn and Stoichiometric Natural Gas Heavy-Duty Vehicles on Different Fuel Compositions. *Fuel*, 175, 146–156. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.02.034.
- Komunikat (2013a). Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Czysta energia dla transportu: europejska strategia w zakresie paliw alternatywnych. Bruksela: Komisja Europejska. COM 017 final.
- Komunikat (2013b). Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Wspólne dążenie do osiągnięcia konkurencyjnej i zasobooszczędnej mobilności w miastach. Bruksela: Komisja Europejska. COM 913 final.
- Lajunen, A. (2014a). Energy Consumption and Cost-Benefit Analysis of Hybrid and Electric City Buses. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 1–15. DOI: 10.1016/j.trc.2013.10.008.
- Lajunen, A. (2014b). Fuel Economy Analysis of Conventional and Hybrid Heavy Vehicle Combinations Over Real-World Operating Routes. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, 78–84. DOI: 10.1016/j.trd.2014.05.023.
- Maráková, V., Dyr, T., Wolak-Tuzimek, A. (2016). Factors of Tourism’s Competitiveness in the European Union Countries. *E a M: Ekonomie a Management*, 19 (3), 92–109. DOI: 10.15240/tul/001/2016-3-007.
- Miles, J., Potter, S. (2014). Developing a Viable Electric Bus Service: The Milton Keynes Demonstration Project. *Research in Transportation Economics*, 48, 357–363. DOI: 10.1016/j.retrec.2014.09.063.
- Ministerstwo Gospodarki (2015). *Projekt Polityki energetycznej Polski do 2050 roku*. Warszawa. Pobrane z: <http://bip.me.gov.pl/node/24670> (20.04.2018).
- Mishan, E.J. (1971). The Postwar Literature on Externalities: An Interpretative Essay. *Journal of Economic Literature*, 1 (9), 1–28.
- Nadaletti, W.C., Cremonese, P.A., de Souza, S.N.M., Bariccatti, R.A., Belli Filho, P., Secco, D. (2015). Potential Use of Landfill Biogas in Urban Bus Fleet in the Brazilian States: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 277–283. DOI: 10.1016/j.rser.2014.08.052.
- Nanaki, E.A., Koroneos, C.J., Xydias, G.A., Rovas, D. (2014). Comparative Environmental Assessment of Athens Urban Buses–Diesel, CNG and Biofuel Powered. *Transport Policy*, 35, 311–318. DOI: 10.1016/j.tranpol.2014.04.001.
- Romejko, K., Nakano, M. (2017). Portfolio Analysis of Alternative Fuel Vehicles Considering Technological Advancement, Energy Security and Policy. *Journal of Cleaner Production*, 142 (Part 1), 39–49. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.029.
- Romer, P.M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98 (5, Part 2), S71–S102. DOI: 10.1086/261725.
- Rusak, Z. (2016). Tytuł International Bus of the Year dla new Solaris Urbino electric. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 7–8 (17), 12–20.
- Sartori, D., Catalano, G., Genco, M., Pancotti, C., Sirtori, E., Vignetti, S., Del Bo, C. (2014). *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. Economic Appraisal Tool for Cohesion Policy 2014–2020*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. DOI: 10.2776/97516.

- Shirazi, Y., Carr, E., Knapp, L. (2015). A Cost-Benefit Analysis of Alternatively Fueled Buses with Special Considerations for V2G Technology. *Energy Policy*, 87, 591–603. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.09.038.
- Stiglitz, J.E. (2000). *Economics of the Public Sector*. New York–London: W.W Norton & Company.
- Stocchetti, A., Volpato, G. (2010). In Quest for a Sustainable Motorisation: the CNG Opportunity. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 1 (10), 13–36. DOI: <http://dx.doi.org/10.1504/IJATM.2010.031454>.
- Štreimikienė, D., Mikalauskas, I. (2015). Internalization of External Costs in Lithuania and Poland. *Journal of International Studies*, 8 (3), 50–61. DOI: 10.14254/2071-8330.2015/8-3/4.
- Turrio-Baldassarri, L., Battistelli, C.L., Conti, L., Crebelli, R., De Berardis, B., Iamiceli, A.L., Gambino, M., Iannaccone, S. (2006). Evaluation of Emission Toxicity of Urban Bus Engines: Compressed Natural Gas and Comparison with Liquid Fuels. *Science of The Total Environment*, 355 (1), 64–77. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.02.037.
- Wang, J. (2015a). Barriers of Scaling-Up Fuel Cells: Cost, Durability and Reliability. *Energy*, 80, 509–521. DOI: 10.1016/j.energy.2014.12.007.
- Wang, J. (2015b). Theory and Practice of Flow Field Designs for Fuel Cell Scaling-Up: A Critical Review. *Applied Energy*, 157, 640–663. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.01.032.
- White Paper (2001). European Transport Policy for 2010: Time to Decide – White Paper. Brussels: Commission of the European Communities. COM 370 final.

EFFICIENCY OF APPLICATION THE ALTERNATIVE DRIVE IN URBAN TRANSPORT BUSES

SUMMARY

European transport policy for the first half the 21st century assumes creating the transport system organised with the respect of the principle of sustainable development, providing economic, social and ecological needs of the society and supporting construction of the integrated society and entirely integrated and competitive Europe. Applying alternative fuels and drives in public transport vehicles is an essential instrument of this policy. In the paper fuels applied in the urban transport and alternative drives were described. Methodological establishments of evaluation of the investment's financial and economical effectiveness associated with acquiring public means of transport with the alternative drive were discussed as well as results of the effectiveness evaluation of selected applications of alternative drives.

KEYWORDS

sustainable development, alternative drive, investment efficiency

Translated by Tadeusz Dyr