

Daniel KAPICA*

WPLYW EKSPLOATACJI AUTOBUSÓW ZASILANYCH ENERGIĄ ELEKTRYCZNĄ NA JAKOŚĆ POWIETRZA W ZIELONEJ GÓRZE

Słowa kluczowe: *autobus elektryczny, emisja spalin, transport publiczny, jakość powietrza, Zielona Góra*

Celem artykułu było opisanie wpływu eksploatacji autobusów zasilanych energią elektryczną na jakość powietrza w Zielonej Górze. Przeanalizowano emisję węglowodorów, tlenków azotu, dwutlenku węgla i pyłów zawieszonych przed dokonaniem wymiany taboru na autobusy elektryczne oraz po jej zakończeniu. Do obliczeń wykorzystano maksymalne wartości emisji spalin określone normami EURO oraz liczbę kilometrów pokonanych przez autobusy przypisane do każdej z nich. Wyniki porównano również z badaniami jakości powietrza w mieście przeprowadzonymi przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. W pracy przedstawiono także normy prawne kształtujące wpływ pojazdów wykorzystywanych w transporcie publicznym na ochronę środowiska oraz opisano system transportu publicznego w Zielonej Górze.

1. WSTĘP

Transport publiczny stał się systemem, bez którego miasta na całym świecie nie są w stanie funkcjonować. Dzięki niemu w jednym pojeździe na powierzchni zajmowanej przez kilka samochodów osobowych może zmieścić się ponad stu pasażerów.

Obecnie postuluje się nie tylko o zorganizowanie łatwo dostępnej komunikacji publicznej, ale również o to by jej szkodliwy wpływ na środowisko był jak najmniejszy.

Sposobem na spełnienie tego postulatu jest sięganie po pojazdy zasilane paliwami alternatywnymi, do których zalicza się m.in.: energię elektryczną, wodór, gazy LPG i CNG. Zielona Góra jest przykładem miasta, które wybrało autobusy zasilane energią elektryczną. W latach 2018–2019, korzystając z dofinansowania Unii Europejskiej, zakupiono 43 takie pojazdy, które stanowią blisko 50% wszystkich autobusów realizujących przewozy w ramach transportu publicznego w tym mieście.

* Koło Naukowe Transportu TRANSIT, Politechnika Krakowska

2. OCHRONA ŚRODOWISKA A TRANSPORT PUBLICZNY

2.1. NORMY EMISJI SPALIN W TRANSPORCIE PUBLICZNYM

Przewozy wykonywane w ramach transportu publicznego, w zależności od wielkości miasta i nakładów na system transportowy, mogą sumować się do dziesiątek milionów wozokilometrów rocznie. W wyniku tego powstają ogromne ilości spalin, które składają się głównie z dwutlenku węgla (CO₂), tlenków azotu (NO_x), węglowodorów (HC), a także pyłów zawieszonych (PM). Ograniczenie ich emisji jest ważne, ponieważ są czynnikami rakotwórczymi i teratogennymi. Powodują nawet do 70% nowych zachorowań na raka płuc [8].

Problem ten został zauważony przez Unię Europejską i jej organy decyzyjne, czego efektem było wprowadzenie na podstawie dyrektywy 91/441/EWG europejskiego standardu emisji spalin już w 1993 roku (w skrócie norma EURO I). W kolejnych latach normy te sukcesywnie zaostrzano wprowadzając kolejno EURO II (dyrektywy 94/12/WE i 96/69/WE), EURO III (98/69/WE), EURO IV (96/69/WE i 2002/80/WE), EURO V (rozporządzenie nr 715/2007) oraz EURO VI (rozporządzenie nr 459/2012). Normy te określają maksymalną emisję gazów i cząstek stałych w g/km (dla pojazdów osobowych) i g/kWh dla samochodów ciężarowych i autobusów. Wartości dla autobusów zostały przedstawione w tabeli pierwszej.

Tab. 1. Europejskie normy emisji spalin dla autobusów [6]

Tab. 1. European emission standards for buses [6]

Norma	Data pierwszej rejestracji (od):	Tryb jazdy/testu	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PM [g/kWh]
EURO I	01.10.1993	ESC R-49	4,5	1,1	8	0,612
EURO II	01.10.1996		4	1,1	7	0,25
EURO III	01.10.2001	ESC&ELR /ETC	2,1/5,45	0,66/2,38	5/5	0,1/0,16
EURO IV	01.10.2006		1,5/4	0,46/1,65	3,5/3,5	0,02/0,03
EURO V	01.10.2009		1,5/4	0,46/1,65	2/2	0,02/0,03
EURO VI	01.01.2014	WHSC/ WHTC	1,5/4	0,13/0,16	0,4/0,4	0,01/0,01

2.1. POLSKIE NORMY PRAWNE

Pojazdy rejestrowane w Polsce muszą być zgodne z europejskimi normami emisji spalin. Dodatkowo w Ustawie z dnia 11 stycznia 2018 roku o elektromobilności i paliwach alternatywnych przyjęto rozwiązanie wymuszające na podmiotach odpowie-

działnych za organizację transportu publicznego stopniową wymianę floty pojazdów na zeroemisyjne¹. Od 1 stycznia 2021 roku udział takich pojazdów ma wynosić minimum 5% całej floty. Udział ten rośnie do 10% od 2023 roku, przez 20% od 2025 roku, aż do 30% w roku 2028. Ustawa nakłada również obowiązek wykonywania co 36 miesięcy analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystywaniem ww. pojazdów. Ma ona obejmować w szczególności: analizę finansowo-ekonomiczną, szacunek kosztów środowiskowych związanych z emisją substancji szkodliwych dla zdrowia ludzi i środowiska naturalnego oraz analizę społeczno-ekonomiczną z uwzględnieniem wyliczenia kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji. Analiza ta niezwłocznie po jej sporządzeniu ma zostać przekazana do ministrów właściwych do spraw: energii, gospodarki i klimatu. Jeśli w wyniku przeprowadzonej analizy korzystanie z pojazdów zeroemisyjnych nie okaże się korzystne, jednostka która ją przeprowadziła może nie dokonywać wymiany floty pojazdów.

3. TRANSPORT PUBLICZNY W ZIELONEJ GÓRZE

3.1. ORGANIZACJA I CHARAKTERYSTYKA SIATKI POŁĄCZEŃ

Zadania w ramach transportu publicznego w Zielonej Górze wykonuje Miejski Zakład Komunikacji (dalej MZK), który jest zakładem budżetowym miasta Zielona Góra. Odpowiada on za tworzenie, utrzymanie i obsługę siatki połączeń w mieście. Wpływy z biletów zasilają bezpośrednio kasę MZK, a ceny biletów ustala Rada Miasta Zielona Góra.

MZK obejmuje swoim zasięgiem całe miasto, a także obsługuje jedną miejscowość (Droszków) w sąsiadującej z nim gminie Zabór.

Na siatkę połączeń w Zielonej Górze składa się 26 linii dziennych i trzy nocne. Kręgosłupem komunikacyjnym miasta jest linia nr „8”, na której kursy odbywają się co 15 minut w szczycie przewozowym i co 20 minut poza nim. Taką samą częstotliwość na części swojej trasy (od Os. Czarkowo do Dworca Głównego) charakteryzuje się linia nr „19”. Kolejnych trzynaście linii kursuje w szczycie co 30 lub 40 minut, natomiast pozostałe linie wykonują kursy rzadziej i/lub w określonych dniach i godzinach. W porze nocnej miasto obsługują trzy linie, których częstotliwość kursowania jest zwiększana w noc z piątku na sobotę i z soboty na niedzielę.

Układ linii ma charakter promienisty, większość z nich kursuje z pętli na jednym końcu miasta przez jego centrum by dojechać do jego końca po drugiej stronie.

¹ Zgodnie z ustawą z dnia 11 stycznia 2018 roku o elektromobilności i paliwach alternatywnych autobus zeroemisyjny to autobus wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, a także trolejbus.

3.2. FLOTA

W latach 2018-2019 w MZK trwał proces wymiany floty pojazdów na bardziej ekologiczne. Starsze pojazdy dwunastometrowe (MAXI) zostały zastąpione przez autobusy zasilane energią elektryczną (URSUS CS12LFE), a pojazdy przegubowe (MEGA) zostały wymienione na nowe z silnikami Diesla spełniającymi normę EURO VI. Strukturę taboru w latach 2017–2018 prezentuje tabela druga.

Tab. 2. Liczba pojazdów użytkowanych przez MZK w latach 2017-2019 [2]^{2,3}
Tab. 2. Number of vehicles used by MZK from 2017 to 2019 [2]

Rok	2017		2018		2019		Stan obecny ⁴	
	MAXI	MEGA	MAXI	MEGA	MAXI	MEGA	MAXI	MEGA
EURO I	2	11	2	9	2	-	-	-
EURO II	12	7	10	6	7	-	-	-
EURO III	30	-	26	-	26	-	15	-
EURO IV	8	2	6	2	2	2	-	-
EURO V	10	3	10	3	10	3	10	3
EURO VI	-	-	-	17	-	17	-	17
Elektryczne	-	-	24	-	43	-	43	-
Σ	62	23	78	37	90	22	68	20
Σ	85		115		112		88	

Liczba użytkowanych autobusów w roku 2018 i 2019 obrazuje proces wymiany floty. Przyjmowano wtedy na stan nowe pojazdy, a dopiero po osiągnięciu przez nie pełnej gotowości operacyjnej skreślano te starsze. Obecnie MZK dysponuje 88 autobusami, tj. o trzema więcej niż przed przystąpieniem do wymiany taboru.

² Pojazd został wliczony jeśli choć raz w danym roku wykonał pracę przewozową.

³ Wyprodukowane w 1992 roku autobusy marki MAN, model NG 272 (trzy sztuki), których silniki nie musiały spełniać żadnej normy spalania zostały przypisane do normy EURO I. Pojazdy przejechały w opisywanym okresie 8% analizowanych kilometrów, co wg autora nie wpływa istotnie na wyniki pracy.

⁴ Stan na 15.10.2020r.



Rys. 1. Autobus URSUS CS12LFE podczas ładowania baterii [3]

Fig. 1 URSUS CS12LFE during battery charging [3]

3.3. INFRASTRUKTURA NIEZBĘDNA DO UTRZYMANIA ZDOLNOŚCI OPERACYJNEJ

Autobusy zakupione przez MZK zostały wyposażone w baterię o pojemności 90 kWh, co pozwala na przejechanie ok. 65 kilometrów [1]. Nie mogą więc wykonywać całodziennych zadań przewozowych bez uzupełniania energii. By wyeliminować konieczność zjazdu do zajezdni w ciągu dnia i stratę czasu z tym związaną wybudowano stacje szybkiego ładowania na jedenastu pętlach na terenie miasta. Każda z nich posiada od dwóch do czterech stanowisk z ładowarkami o mocy 200 kW. Oznacza to, że energię w całkowicie rozładowanej baterii można uzupełnić w mniej niż pół godziny. Ładowanie odbywa się poprzez tzw. odwrócony pantograf - pantograf opuszczany jest na szynę ładującą, która znajduje się na dachu pojazdu. Ładowanie na zajezdni standardowo odbywa się przez kablowe złącze CCS Combo 2, gdzie pod zadaszonym placem postojowym znajduje się 40 dwustanowiskowych ładowarek o mocy 80kW, po 40kW na stanowisko. Oprócz nich zajezdnia wyposażona jest w dwa stanowiska do szybkiego ładowania, a ładowarki na pętlach umożliwiają awaryjne uzupełnianie mocy przez kabel. Taka liczba ładowarek rozmieszczonych na terenie całego miasta sprawia, że średnio po przejechaniu 15 kilometrów autobus ma możliwość uzupełnienia energii. Sprawia to również, że baterie nie muszą być ładowane do pełna, dzięki czemu przy planowaniu pracy przewozowej nie trzeba uwzględniać innych przerw niż te wynikające z częstotliwości kursowania i ustawy o czasie pracy kierowców.

4. EMISJA SPALIN Z TRANSPORTU PUBLICZNEGO

4.1. METODOLOGIA

Do wyliczenia emisji węglowodorów, tlenków azotu, pyłów zawieszonych i dwutlenku węgla z zielonogórskiego transportu publicznego posłużono się maksymalnymi wartościami ich emisji przypisanymi do każdej europejskiej normy emisji spalin. Źródłowo norma podawana jest w gramach na kilowatogodzinę, jednak w Modelu Finansowym do Studium wykonywalności dla projektu „Zintegrowany system niskoemisyjnego transportu w Zielonej Górze” dokonano jej konwersji na gram na przejechany kilometr. Wartości te są różne dla autobusów standardowych i przegubowych, przedstawia je tabela trzecia. Wartość emisji CO₂ jest stała i wynosi 2,7 kg na litr spalonego oleju napędowego [2].

Tab. 3. Wartości emisji szkodliwych substancji w zależności od spełnianej normy EURO dla autobusów w g/km [7]

Tab. 3. Emission standards for buses, g/km [7]

Norma	Składnik emisji	HC		NO _x		PM	
	Jednostka/ rodzaj pojazdu	MEGA	MAXI	MEGA	MAXI	MEGA	MAXI
EURO I	g/km	5.66	4.56	41.18	33.16	1.85	1.49
EURO II	g/km	5.63	4.17	35.83	26.52	0.77	0.57
EURO III	g/km	3.62	2.56	27.49	19.43	0.57	0.39
EURO IV	g/km	2.50	1.68	19.04	12.74	0.11	0.07
EURO V	g/km	2.50	1.68	10.88	7.28	0.11	0.07
EURO VI	g/km	0.72	0.53	2.20	1.64	0.06	0.04

Wartości z powyższej tabeli pomnożono przez liczbę kilometrów wykonanych przez autobusy przypisane do danej normy EURO. Szczegóły dotyczące przejechanych kilometrów znajdują się w tabeli czwartej.

Tab. 4. Ilość przejechanych kilometrów w latach 2017-2019 przez autobusy przypisane do każdej grupy oraz ilość zużytego przez nie oleju napędowego [1]

Tab. 4. Number of kilometres made by buses assigned to each group and the amount of diesel fuel used by them in 2017-2019 [1]

Norma	2017		2018		2019	
	MEGA	MAXI	MEGA	MAXI	MEGA	MAXI
EURO I	408 622	69 840	61 023	68 810	-	17 680
EURO II	232 638	600 255	44 172	504 518	-	62 511
EURO III	-	1 995 895	-	2 047 669	-	1 317 281
EURO IV	81 250	359 009	59 610	328 319	5 269	2 689
EURO V	134 881	873 999	129 865	862 230	120 653	652 103
EURO VI	-	-	615 658	-	775 195	-
Elektryczne	-	-	-	45 381	-	2 088 113
Σ	4 756 392		4 767 258		5 041 678	
Ilość spalonego oleju napędowego [l]	454 131	1 507 629	483 958	1 527 981	463 874	838 098
Σ ilości spalonego oleju napędowego [l]	1 962 760		2 011 939		1 301 792	

4.2 WYNIKI

Po dokonaniu obliczeń opisanych w poprzednim podrozdziale otrzymano wielkość emisji, którą wygenerował zielonogórski transport publiczny. Wyniki przedstawiono w tabelach piątej i szóstej.

Tab. 5. Wielkość emisji analizowanych składników spalin w latach 2017-2019 w kilogramach [6]

Tab. 5. Emission in 2017-2019, kg [6]

Rok	2017		2018		2019	
	MEGA	MAXI	MEGA	MAXI	MEGA	MAXI
HC	4 163	10 004	1508	9 662	869	4 816
NO_x	28 174	67 944	13 339	65 900	3 118	32 622
PM	959	1 309	201	1 270	56	621
CO₂	1 228 853	4 070 599	1 306 686	4 125 550	1 254 460	2 262 865
Σ HC	14 167		11 170		5 685	
Σ NO_x	96 118		79 239		35 740	
Σ PM	2 268		1 471		677	
Σ CO₂	5 299 452		5 432 236		3 517 325	

Tab. 6. Spadek emisji HC, NO_x i PM w 2019 roku względem 2017 roku w kilogramach oraz w ujęciu procentowym [6]

Tab. 6 Emission reduction of HC, NO_x and PM between 2017 and 2019, kg and percentage [6]

Rodzaj emisji	HC		NO _x		PM	
Typ taboru	MEGA	MAXI	MEGA	MAXI	MEGA	MAXI
Spadek emisji [kg]	8 479		60 378		1 591	
	3 294	5 188	25 056	35 322	903	688
Udział w spadku emisji [%]	38%	62%	42%	58%	56%	44%

Obliczenia wskazują, że wymiana floty w zielonogórskim MZK pozwoliła na ograniczenie emisji węglowodorów o 40% (8 479 kg) w 2019 roku względem 2017. W grupie pojazdów MAXI udało się ją zmniejszyć o 48%.

Emisję tlenków azotu w tym samym okresie udało się zmniejszyć o 37%, tj. 60 378 kg. Wśród autobusów standardowych zredukowano ją o 48%.

W stosunku do 2017 roku emisja pyłów zawieszonych w roku 2019 spadła o 1 591 kg czyli o 29%. Ograniczenie emisji pyłów zawieszonych w segmencie pojazdów MAXI wyniosło 47%.

Zakup autobusów zasilanych energią elektryczną przyczynił się do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla w grupie autobusów dwunastometrowych o 55%. W tym samym czasie emisja związana z eksploatacją pojazdów przegubowych wzrosła o 25 607 kg co bezpośrednio związane jest ze zwiększeniem ich pracy przewozowej o 12 743 km względem 2017 roku.

Według badań przeprowadzonych w latach 2018–19 przez Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Zielonej Górze przy Głównym Inspektoracie Ochrony Środowiska emisja tlenków azotu w Zielonej Górze spadła z 696 639 kg w 2018 roku do 639 360 kg rok później [4][5]. Oznacza to spadek o 57 279 kg z czego aż o 43 499 kg wynosił spadek z zielonogórskiego transportu publicznego. Na tę wielkość składa się spadek o 33 278 kg osiągnięty dzięki nowszym pojazdom klasy MAXI i 10 221 kg uzyskany przez wymianę autobusów przegubowych. Według tych samych badań spadek emisji pyłów zawieszonych wyniósł 8 560 kg. Transport publiczny w Zielonej Górze przyczynił się do spadku o 794 kg, z czego emisję o 649 kg pozwoliły ograniczyć pojazdy klasy MAXI, a o 145 kg klasy MEGA.

5. PODSUMOWANIE

Stopniowy zwrot polskich miast w kierunku pojazdów zeroemisyjnych w sytuacji, gdy zanieczyszczenie powietrza jest istotnym problemem jest dobrym rozwiązaniem.

Zakup autobusów zasilanych energią elektryczną przez Miasto Zielona Góra i przejęcie przez te pojazdy 41% pracy przewozowej całego przedsiębiorstwa (2,088 mln

z 5,041 mln wozokilometrów) okazały się zasadne w kontekście pozytywnego wpływu na jakość powietrza. Ich udział w spadku emisji spalin w 2019 roku względem roku 2017 wyniósł: 62% spadku emisji węglowodorów, 58% redukcji emisji tlenków azotu i 44% pyłów zawieszonych.

Pojazdy elektryczne nie tylko zniwelowały wpływ opisaną wcześniej większą emisją dwutlenku węgla pochodzącej z autobusów przegubowych, ale też zredukowały jego emisję o ok. 1,8 mln kilogramów.

Pożądana jest dalsza obserwacja systemu zielonogórskiego transportu publicznego. Całkowity efekt zmian widoczny będzie na koniec 2020 roku, który będzie pierwszym pełnym rokiem, w którym przewozy będą wykonywane docelową flotą pojazdów.

Należy również spojrzeć na problem w ujęciu globalnym i zbadać wpływ emisji zanieczyszczeń przy generowaniu energii elektrycznej i wytwarzaniu oleju napędowego.

LITERATURA

- [1] Dane Miejskiego Zakładu Komunikacji w Zielonej Górze.
- [2] European Investment Bank, *EIB Project Carbon Footprint Methodologies, Methodologies for the Assessment of Project GHG Emissions and Emission Variations*, 2020, 36.
- [3] Fotografia własna.
- [4] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Departament Monitoringu Środowiska, Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Zielonej Górze, *Roczna ocena jakości powietrza w województwie lubuskim. Raport wojewódzki za rok 2018*, Zielona Góra 2019, 31-32.
- [5] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Departament Monitoringu Środowiska, Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Zielonej Górze, *Roczna ocena jakości powietrza w województwie lubuskim. Raport wojewódzki za rok 2019*, Zielona Góra 2020, 34-36.
- [6] Opracowanie własne.
- [7] SWECO Consulting Sp. z o.o., *Model Finansowy*, [w:] Studium wykonywalności dla projektu Zintegrowany system niskoemisyjnego transportu w Zielonej Górze, 2017 [maszynopis niepublikowany].
- [8] SZCZECIŃSKA H., *Analiza przydatności zastosowań rozwiązań technicznych projektu „ECO-Mobilność” w świetle najczęściej występujących chorób, struktury społecznej społeczeństwa i korzyści ekonomicznych*, [w:] EKOMOBILNOŚĆ Tom I Innowacyjne i ekologiczne środki transportu, pod red. W. Chromańskiego, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2015, 31-32.

INFLUENCE OF EXPLOITATION OF ELECTRIC BUSES ON AIR QUALITY IN ZIELONA GÓRA

Key words: *electric bus, exhaust emission, public transport, air quality, Zielona Góra*

The aim of the article was to describe the influence of exploitation of electric buses on air quality in Zielona Góra. The emission of hydrocarbons, nitrogen oxides, carbon dioxide and particulate matter was analyzed before and after the replacement of the bus fleet to electric. For calculations author used the European emission standards for buses (EURO) and number of kilometres made by buses in Zielona Góra. The results were compared with air quality tests made by Chief Inspectorate of Environmental Protection. The article describes also the public transport system in Zielona Góra and ecological legal standards in public transport in Poland.

Corresponding author:

e-mail: danielkapica@outlook.com