

Monika TUBIS\*

## **ANALIZA PORÓWNAWCZA KOSZTÓW ZUŻYCIA PALIWA ORAZ PARAMETRÓW TECHNICZNYCH AUTOBUSÓW MARKI MERCDENS-BENZ WYKORZYSTYWANYCH W MZK JELENIA GÓRA**

**Słowa kluczowe:** *autobus, napęd elektryczny, CNG, Diesel, Mercedes-Benz, MZK Jelenia Góra, parametry techniczne, koszty zużycia paliwa*

Artykuł przedstawia porównanie autobusów marki Mercedes-Benz, które wykorzystują 3 różne typy jednostek napędowych, każda zasilana na inne źródło – olej napędowy, CNG oraz energię elektryczną. Wszystkie 3 pojazdy były eksploatowane w MZK w Jeleniej Górze, pokazane analizy bazują na danych uzyskanych z tej firmy. Analiza dotyczyła porównania parametrów technicznych oraz kosztów zużycia paliwa danego pojazdu.

### 1. WSTĘP

W obecnych czasach istnieje debata jaka wersja napędu autobusu jest najlepsza - sprawdzony olej napędowy, ekologiczne rozwiązania typu CNG czy energia elektryczna? Aby trochę przybliżyć ten temat do analizy wybrane zostały autobusy miejskie marki Mercedes-Benz, każdy z nich wykorzystuje inny typ jednostki napędowej – olej napędowy, CNG oraz energię elektryczną. Każdy z nich był eksploatowany w Miejskim Zakładzie Komunikacji w Jeleniej Górze (zwanym dalej MZK), dwa z nich były na testach organizowanych we współpracy z EvoBus [12].

### 2. AUTOBUSY – DANE TECHNICZNE

#### 2.1 WYBRANE PODSTAWOWE PARAMETRY TECHNICZNE OMAWIANYCH AUTOBUSÓW

Każdy z analizowanych autobusów to typ MAXI, ich długość wynosi około 12 m. Posiadają 3 pary drzwi oraz są niskopodłogowe. Dzięki czemu stają się bardziej przyjazne dla pasażerów z ograniczeniami ruchowymi, co jest istotne dla Jeleniej Góry, ponieważ jest to miasto o charakterze turystycznym (duża grupa turystów

---

\* Koło Naukowe Transportu Szynowego, Politechnika Wroclawska

to osoby starsze). Dodatkowo na terenie jednej z dzielnic znajduje się uzdrowisko. Wybrane podstawowe parametry techniczne trzech modeli autobusów zostały zaprezentowane w tab. 1. Pozostałe dane zostaną omówione w dalszej części artykułu.

Tab. 1. Wybrane podstawowe parametry techniczne 3 modeli autobusów [2, 5, 8, 9, 12]

Tab. 1. Selected basic technical parameters of 3 bus models [2, 5, 8, 9, 12]

Model autobusu	Mercedes-Benz Conecto EURO V	Mercedes-Benz Conecto NGT	Mercedes-Benz eCitaro
Rok produkcji	2013	2017	2018
Silnik	Mercedes-Benz OM 926 LA	Mercedes-Benz M 936 G	2 x ZF AVE 130
Moc silnika [kW]	210	220	250
Zbiornik paliwa [l]	280	908	-
Zbiornik AdBlue [l]	38	-	-
Pojemność akumulatora [kWh]	-	-	243
Liczba pasażerów	88	97	82
Liczba miejsc siedzących	31	28	29
Masa własna pojazdu [kg]	11210	13000	13680

## 2.2. MERCEDES-BENZ CONECTO EURO V

Miejski Zakład Komunikacji w Jeleniej Górze z powodzeniem od około trzech lat wykorzystuje autobus Mercedes-Benz Conecto EURO V o numerze bocznym 825. Wygląd pojazdu przedstawia rys. 1. Autobus posiada silnik o samoczynnym zapłonie wykorzystujący olej napędowy. Tak jak wskazuje nazwa modelu spełnia on normy emisji spalin EURO 5, jednak z rozszerzeniem o EEV [12]. Powoduje to ograniczenie emisyjności węglowodorów HC o 0,21 g/km w porównaniu do EURO 5. Dane zostały zebrane w tab. 2. [1]. Silnik jest to jednostka Mercedes-Benz OM 926 LA [2]. Z danych uzyskanych od MZK wynika, że średnie zużycie paliwa w październiku tego roku wyniosło 42,54 l na 100 km [12].

Tab. 2. Normy emisji spalin EURO 5, EURO 5 – EEV, EURO 6 [1]

Tab. 2. Exhaust emission standards EURO 5, EURO 5 – EEV, EURO 6 [1]

Rodzaj normy	EURO 5	EURO 5 – EEV	EURO 6	
Rodzaj paliwa	ON	ON	ON	CNG
CO [g/km]	1,5	1,5	1,5	4
HC/THC [g/km]	0,46	0,25	0,13	0,16
No <sub>x</sub> [g/km]	2	2	0,4	0,46
PM [g/km]	0,02	0,02	0,01	0,01



Rys. 1. Autobus Mercedes-Benz Conecto V o numerze bocznym 825 [3]  
Fig. 1. Mercedes-Benz Conecto V bus with a side number 825 [3]

### 2.3. MERCEDES-BENZ CONECTO NGT

Autobus widoczny na rys. 2. to Mercedes-Benz Conecto NGT (Natural Gas Technology), który został użyty na testy w terminie 17.09-05.10.2019r., otrzymał on numer boczny 901. Pojazd posiada silnik M 936 G [5], ma 97 miejsc, w tym 28 miejsc siedzących. Główną cechą tego modelu jest to, że wykorzystuje on jednostkę napędową na CNG.

CNG jest to skompresowany gaz ziemny, który jest mieszaniną lekkich węglowodorów. Głównym jego składnikiem jest metan ( $\text{CH}_4$ ). Jego zawartość w CNG waha się w przedziale 90-98% objętości. Pozostałe składniki to: etan, propan, butan i azot. Gaz ziemny nadaje się do użycia w silnikach spalinowych, gdy następuje sprężenie go do ciśnienia ok. 20 MPa [4].



Rys. 2. Autobus Mercedes-Benz Conecto NGT o numerze bocznym 901 [6]  
Fig. 2. Mercedes-Benz Conecto NGT bus with a side number 901 [6]

## 2.4. MERCEDES-BENZ ECITARO

Autobus Mercedes-Benz eCitaro widoczny na rys. 3. był testowany w MZK w dniach 03.-17.06.2020r., otrzymał numer boczny 900. Wyróżniającą cechą jest zastosowanie napędu elektrycznego w pojeździe. Obok wcześniej omawianego CNG jest to kolejna alternatywa dla paliw kopalnianych. Autobus posiada 10 akumulatorów litowo-jonowych o sumarycznej pojemności 243 kWh. Ładowanie odbywa się na zasadzie plug-in, czyli za pomocą ładowarki, która wykorzystuje napięcie znamionowe 400V. Taki zestaw zapewnia ok. 150 km jazdy, chociaż podczas testu udało się uzyskać wynik 164 km. Autobus posiada 82 miejsca, w tym 29 miejsc siedzących. Jest to najnowszy model, rok produkcji to 2018, ale z kolei jest najcięższym pojazdem – waży 13680 kg.



Rys. 3. Autobus Mercedes-Benz eCitaro o numerze bocznym 900 [7]

Fig. 3. Mercedes-Benz eCitaro bus with a side number 900 [7]

## 3. TRZY RÓŻNE TYPY JEDNOSTEK NAPĘDOWYCH

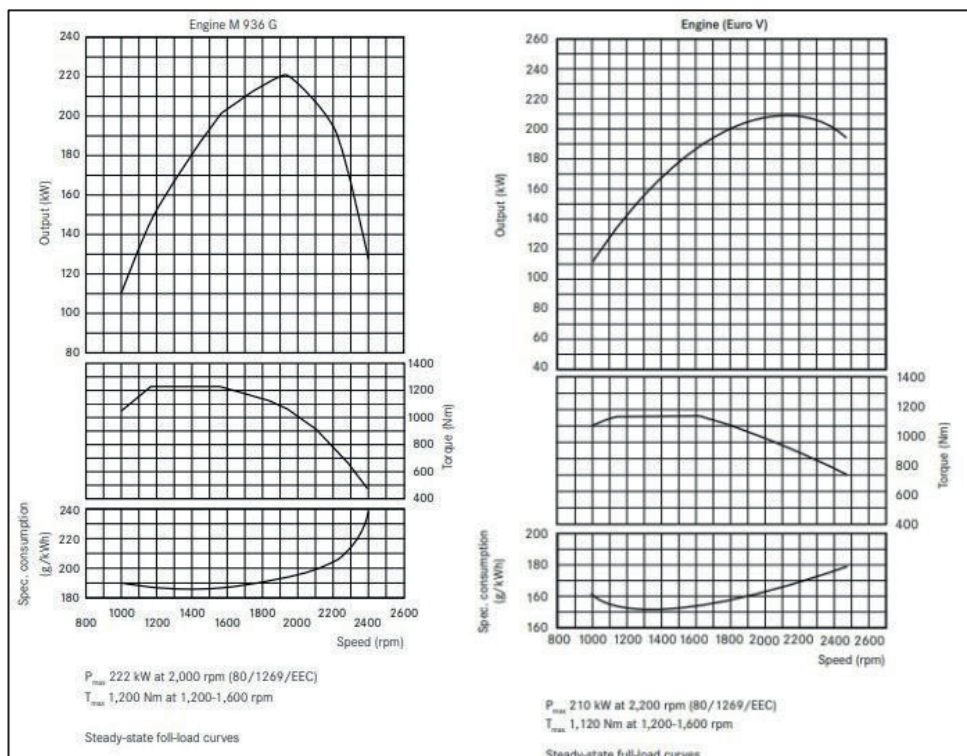
### 3.1. ZESTAWIENIE SILNIKÓW OM 926 ORAZ M 936 G

Ze względu na to, że zarówno olej napędowy jak i CNG ładuje się do zbiorników oraz konstrukcje silników są podobne, można je dość łatwo porównać. Producent udostępnia osiągi (rys. 4.) skupiające się na mocy wyjściowej silnika, momencie obrotowym, a także zapotrzebowaniu paliwa – każdy z nich jest odniesiony do prędkości obrotowej silnika.

Dla jednostki napędowej wykorzystującej CNG (M 936 G) wszystkie 3 krzywe posiadają duży kąt nachylenia. Tego typu charakterystyki zapewniają wysokie osiągi, ale są one tylko w wąskim zakresie, poza nimi parametry są mniej stabilne.

Najwyższą moc (220 kW) osiąga przy 2000 obr./min. Maksymalny moment obrotowy wynosi 1200 Nm, natomiast najmniejszy to ok. 500 Nm. Z kolei zapotrzebowanie silnika na paliwo jest w zakresie ok. 185-240 g/kWh.

Natomiast jednostka napędowa wykorzystująca olej napędowy (OM 926) posiada krzywe bardziej łagodne, dzięki czemu w szerszym paśmie osiągniemy zbliżone parametry, jednak ich wartość najwyższa jest mniejsza niż przy CNG. Najwyższa moc wyjściowa to 210 kW osiąga przy 2200 obr./min. Maksymalny moment obrotowy jest to 1120 Nm, gdzie najniższy to ok. 700 Nm. Zapotrzebowanie silnika na paliwo znajduje się w zakresie ok. 150-180 g/kWh.



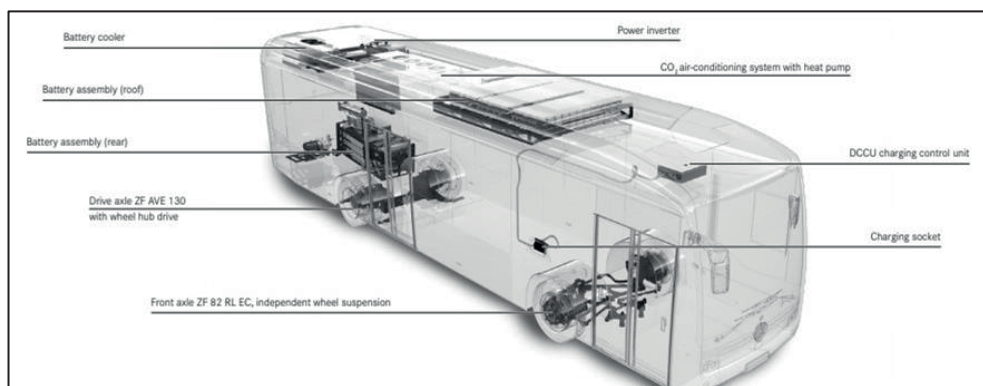
Rys. 4. Charakterystyka silników M 936 G oraz OM 926 [5, 8]

Fig. 4. Characteristics of engine M 936 G and OM 926 [5, 8]

### 3.2. MERCEDES-BENZ ECITARO – NAPĘD

Ostatnią omawianą jednostką napędową będzie silnik wykorzystujący energię elektryczną. Oznacza to, że nie potrzebuje klasycznego zbiornika paliwa, a jedynie specjalnych akumulatorów, gdzie jest magazynowana energia podczas ładowania. Szczególnie w ostatnich latach można zaobserwować dynamiczny rozwój pojazdów elektrycznych, gdzie głównie kładzie się nacisk na szybkość ładowania, pojemność akumulatorów, a także maksymalny zasięg. Wymaga to specjalnej konstrukcji, która

będzie spełniać wymagania klienta. W tym testowanym modelu tak jak było wcześniej wspomniane jest w sumie 10 akumulatorów rozmieszczonych w ten sposób, że 6 znajduje się na dachu, a 4 w tylnej części autobusu [12]. Aby autobus w pełni naładować potrzeba do tego celu wykorzystać specjalną szybką ładowarkę o mocy 150 kW, która wymaga napięcia o wartości 400 V. Czas ładowania wynosi około 100 minut. Natomiast, żeby zapewnić dłuższą żywotność akumulatorów zaleca się tzw. ładowanie nocne, gdzie potrzebna jest niższa moc. Przy takim wariacie ładowanie zajmie nam około 6 godzin. Co ciekawe opcjonalnie można zamocować pantograf lub szyny ładujące w systemie opportunity charging [9]. Na osi tylnej (zarazem napędowej) znajduje się serce układu napędowego – 2 silniki ZF AVE 130, po jednym na każde koło. Charakteryzują się one sumaryczną maksymalną mocą 250 kW oraz maksymalnym momentem obrotowym 11000 Nm [10].



Rys. 5. Budowa układu przeniesienia napędu dla autobusu Mercedes-Benz eCitaro [11]

Fig. 5. Construction of a drive train for Mercedes-Benz eCitaro bus [11]

## 4. EKONOMICZNE ASPEKTY ZUŻYCIA PALIWA

### 4.1. WARUNKI TANKOWANIA/ŁADOWANIA AUTOBUSÓW

Najmniej problemów związanych z tankowaniem przysporzył autobus wykorzystujący ON, ponieważ na zajezdni MZK znajduje się specjalna stacja paliw dedykowana dla tych autobusów. Firma jest stosunkowo niezależna, jeśli chodzi o tankowanie oleju napędowego.

Natomiast CNG przysporzyło największe problemy, ponieważ najbliższa stacja tankowania znajdowała się na zajezdni MPK w Wałbrzychu. Taka podróż trwała około 2,5 godziny, gdzie trzeba przejechać ok. 122km. Niestety sieć takich punktów jest słabo rozwinięta w Polsce (około 30 stacji). Niestety odbija się to na kosztach eksploatacji, dodatkowo trzeba wspomnieć o tym, że trzeba specjalnie wyznaczyć sobie godziny na taką podróż, co sprawia, że taki autobus nie jest w pełni możliwości eksploatawany.

Dla autobusu elektrycznego firma EvoBus używająca do testów pojazd, udostępniła specjalną ładowarkę umożliwiającą szybkie ładowanie, które trwa około 100 minut. Tutaj już niezależnie, gdzie mamy stację ładowania tego czasu nie skrócimy, co również trzeba uwzględnić w logistyce takiego przedsiębiorstwa. Inną przeszkodą jest to, że autobus przejedzie około 150 km, co w przypadku MZK nie jest wystarczające, bo najdłuższe dzienne kursy mają około 355 km długości [12].

#### 4.2. PRZEDSTAWIENIE KOSZTÓW ZUŻYCIA PALIWA

Analizowane wartości pochodzą z różnych okresów. Jest to związane z tym, że 2 pojazdy były testowane. Dla autobusu na olej napędowy dane są z października tego roku. „Gazowiec” jeździł tylko pięć dni w drugiej połowie września 2019r. Natomiast „elektryk” był testowany 14 dni w pierwszej połowie czerwca tego roku. Dodatkowo warto dodać, że w tym roku eksploatowany na stałe Mercedes-Benz Connecto EURO 5 nie przechodził żadnych poważniejszych napraw, wszystkie czynności zawierały się w obsłudze codziennej, czyli tankowanie, dolewanie oleju czy też płynu chłodniczego oraz do spryskiwaczy itp. Poniżej zostały zestawione koszty zużycia paliwa dla poszczególnych autobusów w tab. 3.

Tab. 3. Koszty zużycia paliwa dla autobusów na ON, CNG oraz elektryczny [12]

Tab. 3. Operating costs for buses using Diesel, CNG and electricity [12]

	<b>Autobus na ON</b>	<b>Autobus na CNG</b>	<b>Autobus elektryczny</b>
<b>Liczba przejechanych kilometrów w okresie podanym w podrozdziale 4.2. [km]</b>	6071,25	1348,33	1412,80
<b>Liczba zatankowanego paliwa w okresie podanym w podrozdziale 4.2. [l]</b>	2582,65	346,97	1592,00
<b>Wartość brutto [zł] za zatankowane paliwo</b>	11118,31	1152,29	861,59
<b>Koszt przejechania 1 km [zł/km]</b>	1,83	0,85	0,61
<b>Odniesienie procentowe do powyższego przelicznika w stosunku do autobusu na ON</b>	-	47%	33%
<b>Maksymalna liczba pasażerów w autobusie</b>	88	97	82
<b>Koszt 1 pasażerokilometra [zł]</b>	0,021	0,009	0,007
<b>Odniesienie procentowe do kosztu, który musi ponieść pasażer za przejechanie 100 km w stosunku do autobusu na ON</b>	-	42%	36%

Zarówno dla przelicznika pierwszego jak i drugiego wynika, że najtańszym autobusem jest ten wykorzystujący energię elektryczną. Dla pierwszego przelicznika (koszt przejechania 1 km) jest to wartość około 3 razy mniejsza od bazującego na ON. Natomiast autobus na CNG jest dwukrotnie tańszy od klasycznego na olej napędowy. Warto dodać, że nie został odjęty przebieg oraz co za tym idzie – koszt paliwa związany z tankowaniem „gazowca” w Wałbrzychu.

Przy drugim przeliczniku (koszt 1 pasażerokilometra) warto zauważyć, że różnica punktów procentowych między CNG a „elektrykiem” jest mniejsza. Wynika to z faktu, że pojazd na CNG może zabrać największą ilość pasażerów, podczas gdy na energię elektryczną najmniejszą ilość pasażerów spośród porównywanych autobusów. Ponownie najwyższy koszt posiada autobus napędzany na olej napędowy.

## 5. PODSUMOWANIE

Na zakup autobusów składa się wiele czynników. Coraz większe znaczenie ma ekologia, również w aspekcie finansowym, ponieważ rozwiązania proekologiczne mogą dostać różnego rodzaju dotacje, dofinansowania czy inne formy gratyfikacji. Dodatkowo warto spojrzeć na to, że proekologiczne technologie są coraz bardziej rozwijane i popularne oraz przyszłościowe.

Jeśli spojrzeć jedynie na koszty związane z tankowaniem, a dokładniej z ładowaniem to najlepiej prezentuje się autobus elektryczny. Dodatkowo ten model posiada największą moc wyjściową silnika spośród wszystkich modeli. Analizowany autobus nie miał dużego zasięgu, ale przykładowo w tym roku, na przełomie sierpnia i września był testowany Yutong E12 (również elektryczny), który na pełnym obciążeniu mógł przejechać około 350 km, co wystarczyłoby na obsłużenie najdłuższych linii przez cały dzień [12].

Autobus na CNG również posiadał dobre wskaźniki finansowe, dlatego stanowi to również ciekawą opcję proekologiczną. Autobus ten jest podobny pod względem obsługi do autobusu na olej napędowy dzięki czemu łatwiej jest przejść na ten typ autobusu niż na elektryczny. Głównym zastrzeżeniem jest jednak to, żeby w pobliżu była stacja tankowania na CNG, albo żeby dana firma postarała się o taki punkt na terenie zajezdni, wtedy koszt eksploatacji będzie niższy i dodatkowo firma będzie mogła lepiej wykorzystać taki autobus, ponieważ nie musimy się martwić dalekimi podróżami do stacji tankowania.

Czy to oznacza, że trzeba rezygnować z autobusów napędzanych na olej napędowy? W miarę możliwości – tak. Wiadomo, że trzeba zbudować lub zorganizować inną infrastrukturę dla autobusów na CNG lub elektrycznych, jednak jak pokazują wyliczenia ten koszt może się szybko zwrócić, szczególnie gdy uda się uzyskać dofinansowanie dla tego typu inwestycji.



## LITERATURA

- [1] GIS M., *Przegląd napędów i paliw stosowanych w autobusach miejskich*, Transport Samochodowy, 2017, No.1, 65-84
- [2] [https://www.mercedes-benz-bus.com/en\\_AM/models/conecto-5/facts/technical-data.html](https://www.mercedes-benz-bus.com/en_AM/models/conecto-5/facts/technical-data.html) (dostęp 30.10.2020r.)
- [3] [http://phototrans.eu/14,940371,0,Mercedes\\_Benz\\_O530\\_A30\\_825.html](http://phototrans.eu/14,940371,0,Mercedes_Benz_O530_A30_825.html) (dostęp 30.10.2020r.)
- [4] <http://pgnig.pl/cng/o-cng> (dostęp 30.10.2020r.)
- [5] [https://www.mercedes-benz-bus.com/content/dam/mbo/markets/common/buy/services-online/download-technical-brochures/images/content/regular-service-buses/conecto/co-necto-08-19/TI\\_Conecto\\_2019-EN.pdf](https://www.mercedes-benz-bus.com/content/dam/mbo/markets/common/buy/services-online/download-technical-brochures/images/content/regular-service-buses/conecto/co-necto-08-19/TI_Conecto_2019-EN.pdf) (dostęp 30.10.2020r.)
- [6] <https://www.tvdami.eu/wiadomosci/2022,w-mzk-testowano-mercedesa> (dostęp 30.10.2020r.)
- [7] [http://phototrans.eu/14,1043815,0,Mercedes\\_Benz\\_O530\\_C2\\_E\\_Citaro\\_WPR\\_5077N.html](http://phototrans.eu/14,1043815,0,Mercedes_Benz_O530_C2_E_Citaro_WPR_5077N.html) (dostęp 30.10.2020r.)
- [8] [https://ksa.buses.mercedesbenzmena.com/media/1503957/2014\\_08\\_01\\_techinfo\\_conecto\\_en.pdf](https://ksa.buses.mercedesbenzmena.com/media/1503957/2014_08_01_techinfo_conecto_en.pdf) (dostęp 30.10.2020r.)
- [9] [https://www.mercedes-benz-bus.com/content/dam/mbo/markets/common/models/citaro/download-special-edition/Omnibus-Magazyn\\_Wydanie-specjalne\\_eCitaro\\_02-2019\\_pl.pdf](https://www.mercedes-benz-bus.com/content/dam/mbo/markets/common/models/citaro/download-special-edition/Omnibus-Magazyn_Wydanie-specjalne_eCitaro_02-2019_pl.pdf) (dostęp 30.10.2020r.)
- [10] [https://www.zf.com/products/media/product\\_media/buses\\_1/product\\_overview\\_1/product\\_overview\\_axle\\_transmission\\_systems.pdf](https://www.zf.com/products/media/product_media/buses_1/product_overview_1/product_overview_axle_transmission_systems.pdf) (dostęp 30.10.2020r.)
- [11] <https://daimlerbuses-printshop.com/media/assets/mb-ec-2-en-06-18.pdf> (dostęp 30.10.2020r.)
- [12] Dane uzyskane od Miejskiego Zakładu Komunikacji w Jeleniu Górze
- [13] <http://phototrans.eu/> (dostęp 30.10.2020r.)

## THE COMPERATIVE ANALYSIS OF FUEL COSTS AND TECHNICAL SPECIFICATIONS OF MERCEDES-BENZ BUSES USED IN MZK IN JELENIA GÓRA

**Key words:** bus, electric drive, CNG, Diesel, Mercedes-Benz, MZK in Jelenia Góra, technical specifications, fuel costs

The article presents a comparison of Mercedes-Benz buses that use 3 different types of drive units, each powered by a different source – Diesel, CNG, and electricity. All 3 vehicles were operated at municipal department of transport (MZK) in Jelenia Góra, the presented analyzes are based on data obtained from this company. The analysis concerned the comparison of technical parameters and fuel costs of a given vehicle.

Corresponding author:  
e-mail: tubis.monika@gmail.com