

O AUTOBUSACH ELEKTRYCZNYCH NA WĘGIEL

dr inż. Zbigniew Handzel, prof. WSEI
dr inż. Mirosław Gajer

Streszczenie

Obecnie w wielu polskich miastach ma miejsce zastępowanie autobusów spalinowych ich odpowiednikami z napędem elektrycznym, które są zasilane z akumulatorów litowych. Jednak czy aby takie postępowanie można uznać za słuszne? Powszechnie mówi się tutaj o względach natury ekologicznej, podając jednocześnie informację, że tego rodzaju pojazdy są całkowicie zeroemisyjne i w związku z tym nie wnoszą swego wkładu do światowej emisji dwutlenku węgla. Zapomina się przy tym całkowicie o miejscu pochodzenia wytwarzanej energii elektrycznej, gdyż bynajmniej nie cała produkowana zarówno w naszym kraju, jak i na świecie energia elektryczna pochodzi ze źródeł zeroemisyjnych. Jak wynika z przeprowadzonych przez autorów wyliczeń jest wręcz dokładnie na odwrót, ponieważ to właśnie autobusy elektryczne przyczyniają się w polskich warunkach do ponad 60% zwiększenia emisji tego gazu w porównaniu z ich odpowiednikami napędzanymi wysokoprężnymi silnikami Diesla.

Słowa kluczowe: pojazdy elektryczne, dwutlenek węgla, zeroemisyjne źródła energii

Summary

Currently, many Polish cities are replacing internal combustion engine buses with their electrically-powered counterparts, which are powered by lithium batteries. However, is this the right thing to do? There is widespread talk here of environmental considerations, with the information that such vehicles are completely zero-emission and therefore do not contribute to global carbon dioxide emissions. This completely forgets where the electricity generated comes from, as not all the electricity produced, either in our country or worldwide, comes from zero-emission sources. According to the calculations carried out by the authors, it is just the opposite, as it is the electric buses that contribute in Polish conditions to an over 60% increase in emissions of this gas in comparison with their diesel-powered counterparts.

Keywords: electric vehicles, carbon dioxide, zero-emission energy sources

JEL classification codes: D61, Q2

Wprowadzenie

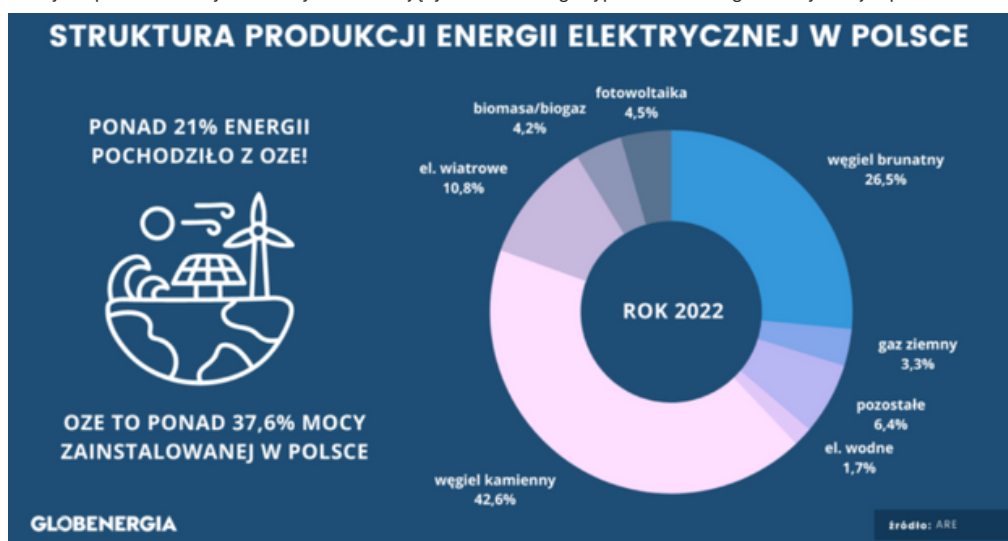
W ostatnich latach na ulicach wielu polskich miast pojawia się coraz więcej autobusów elektrycznych. Przykładowo w Krakowie ma zostać docelowo zakupionych aż ponad 120 tego typu pojazdów, w tym również przegubowych, co stanowić ma około 20% całego autobusowego taboru MPK. Tego rodzaju działania motywowane są przede wszystkim dbałością o aspekty ekologiczne (eliminacja spalin na miejskich ulicach) oraz redukcją emisji dwutlenku węgla. Również na tego typu pojazdach zamieszczana jest najczęściej reklama, według której są to pojazdy wręcz zeroemisyjne. Zresztą wchodząc obecnie do dowolnego salonu samochodowego przy pojazdach z silnikami spalinowymi podawana jest zawsze informacja o emisyjności CO₂, przykładowo można przeczytać, że dany samochód emituje 220 g rozważanego gazu na każdy przejechany kilometr. Natomiast w przypadku pojazdów elektrycznych podawana jest informacja, że emisja CO₂ wynosi dokładnie zero gramów na kilometr. W tym wypadku można jednak poważnie zastanawiać się, czy jest to, aby prawda? A w celu uzyskania odpowiedzi na tak postawione pytanie, należy przede wszystkim zmyślić sobie, skąd pochodzi wytwarzana w Polsce energia elektryczna [4].



ILE DWUTLENKU WĘGLA WIĘCEJ EMITUJE
POJAZD ELEKTRYCZNY?

Polski i światowy miks energetyczny

Na Rys. 1 przedstawiony został wykres ukazujący udział różnego typu źródeł energii elektrycznej w polskim miksie energetycznym.



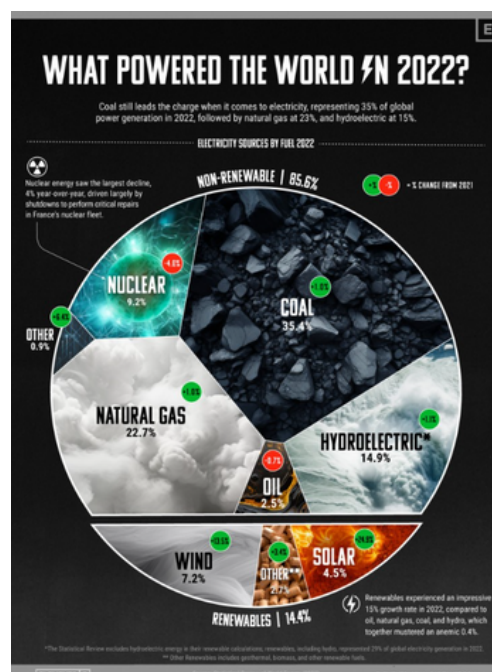
RYSUNEK 1. INFORMACJA O UDZIALE POSZCZEGÓLNYCH TYPÓW ŹRÓDEŁ W POLSKIM MIKSIE ENERGETYCZNYM

(ŹRÓDŁO: [HTTPS://GLOBENERGIA.PL/PONAD-21-ENERGII-POCHODZILO-Z-OZE-MIKS-ENERGETYCZNY-I-STRUKTURA-PRODUKCJI-ENERGII-W-POLSCE-W-2022-R](https://globenergia.pl/ponad-21-energii-pochodziloz-oze-miks-energetyczny-i-struktura-produkcji-energii-w-polsce-w-2022-r))

Jak wynika z Rys. 1 aż 69,1% wytwarzanej w naszym kraju energii elektrycznej pochodzi ze spalania węgla (kamiennego i brunatnego). Dodatkowo 3,3% pochodzi ze spalania gazu ziemnego, a 4,2% ze spalania biomasy i biogazu. Dodatkowo 6,4% pochodzi z tzw. źródeł pozostałych, ale te też zapewne bazują wyłącznie na spalaniu jakichś substancji, na przykład śmieci, czy też innych odpadów przemysłowych [5]. Zatem łącznie w związku ze spalaniem różnego rodzaju paliw w Polsce wytwarzane jest aż 83% energii elektrycznej, przy czym głównym pierwiastkiem chemicznym podlegającym procesowi spalania jest właśnie węgiel [1]. Obecnie jedynie 17% energii elektrycznej wytwarzanej w naszym kraju pochodzi ze źródeł takich jak instalacje fotowoltaiczne (4,5%) i elektrownie wodne (1,7%) i elektrownie wiatrowe (10,8%). Dalsze zwiększanie udziału tego typu źródeł w krajowym miksie energetycznym nie jest sprawą prostą i posiada naturalne ograniczenia związane głównie z ich sezonową pracą, dobową cyklicznością (fotowoltaika) oraz losowością (energetyka wiatrowa). Do pewnego stopnia może być tutaj pomocne wielkoskalowe magazynowanie energii, ale to wiąże się z ogromnymi kosztami powiązanych z budową potężnych elektrowni szczytowo-pompowych [2].

Jeśli porównamy przedstawione powyżej dane ze światowym miksem energetycznym, zaprezentowanym na Rys. 2, to widać, że Polska wcale nie odbiega jakoś szczególnie od średniej światowej, bowiem na świecie aż **64,2% wytwarzanej energii elektrycznej pochodzi ze spalania różnego rodzaju substancji**, takich jak węgiel (35,4%), gaz ziemny (22,7%), ropa naftowa (2,5%), różnego typu odpady (0,9%) i biopaliwa (2,7%) – a zatem również i tutaj głównym pierwiastkiem chemicznym podlegającym spalaniu jest ponownie węgiel [1, 5].

Nie jest także prawdą, wbrew głośzonym dość powszechnie poglądom, że obecnie świat odchodzi już całkowicie od węgla [6]. Po pierwsze, przeczą temu dane zamieszczone na Rys. 2, ponieważ ponad jedna trzecia światowej produkcji energii elektrycznej pochodzi właśnie z jego spalania. Ponadto w Chinach średnio co cztery dni wydawane jest nowe pozwolenie na budowę kolejnego bloku węglowego, a obecnie na etapie realizacji znajdują się tam inwestycje w energetyce o łącznej mocy 136 GW. Także na etapie budowy znajdują się jeszcze dodatkowo bloki węglowe o łącznej mocy 32 GW w Indiach i 14 GW w Indonezji [3]. Na Rys. 3 zaznaczono na mapie te rejony świata, w których budowane są nowe kopalnie węgla bądź też planowane jest ich wybudowanie w przyszłości.

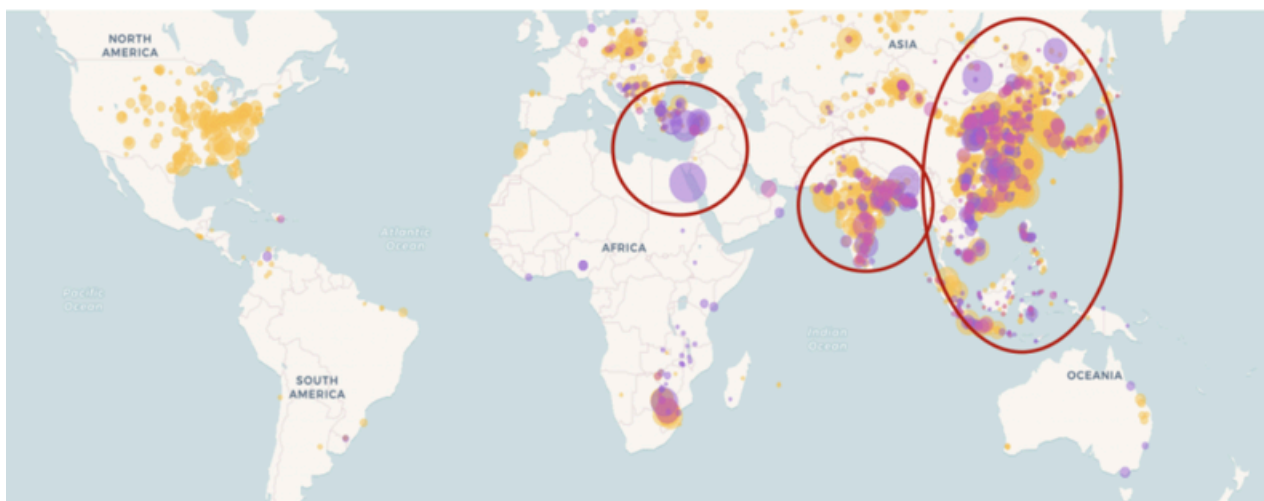


RYSUNEK 2. INFORMACJA O UDZIALE POSZCZEGÓLNYCH TYPÓW ŹRÓDEŁ W ŚWIATOWYM MIKSIE ENERGETYCZNYM

(ŹRÓDŁO: [HTTPS://INDEPENDENTTRADER.PL/NAJWAZNIEJSZE-WYKRESY-MINIONYCH-TYGODNI-WRZESIEN-2023.HTML](https://independenttrader.pl/najawazniejsze-wykresy-minionych-tygodni-wrzesien-2023.html))

OBECNIE JEDYNNIE 17% ENERGII ELEKTRYCZNEJ WYTWARZANEJ W NASZYM KRAJU POCHODZI ZE ŹRÓDEŁ TAKICH JAK INSTALACJE FOTOWOLTAICZNE (4,5%), ELEKTROWNIE WODNE (1,7%) I ELEKTROWNIE WIATROWE (10,8%)





RYSUNEK 3. GEOGRAFICZNE ROZMIESZCZENIE KOPALNÍ WĘGLA NA ŚWIECIE
(ŹRÓDŁO: [HTTPS://INDEPENDENTTRADER.PL/W-JAKIE-SUROWCE-WARTO-INWESTOWAC.HTML](https://independenttrader.pl/w-jakie-surowce-warto-inwestowac.html))

Na Rys. 3 kolorem bordowym zaznaczono kopalnie będące na etapie budowy, a kolorem fioletowym na etapie projektowania. Jak widać na Rys. 3, górnictwo węgla rozwija się niezwykle dynamicznie w Azji Południowo-Wschodniej, Indiach oraz na Bliskim Wschodzie. Nowe kopalnie węgla powstają również w Afryce i Australii.

Ile dwutlenku węgla więcej emituje pojazd elektryczny?

Wracając do głównego wątku naszych rozważań, ciepło spalania czystego pierwiastka węgla wynosi około 33 MJ/kg, z kolei wartość opałowa oleju napędowego wynosi około 43 MJ/kg [1]. Zatem, aby uzyskać tyle samo energii, co ze spalania 1 kg oleju napędowego, należałoby spalić 1,30 kg czystego pierwiastka węgla. Przyjmując, że w cząsteczkach węglowodorów oleju napędowego na jeden atom węgla przypadają średnio dwa atomy wodoru (długie łańcuchy typu C_nH_{2n}), to wynika stąd, że jeden kilogram oleju napędowego zawiera około 0,86 kg atomów czystego pierwiastka węgla. Zakładając teraz, że sprawność wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni węglowej jest taka sama, jak sprawność wysokoprężnego silnika Diesla napędzającego autobus, otrzymujemy, że autobus elektryczny powoduje 1,51 większą emisję dwutlenku węgla niż pojazd ze silnikiem spalinowym.

To jednak nie wszystko, ponieważ taki poziom emisji dwutlenku węgla miałby miejsce w przypadku trolejbusów zasilanych z sieci trakcyjnej, natomiast w wypadku autobusów elektrycznych mamy jeszcze do czynienia z magazynowaniem energii elektrycznej w akumulatorach litowych. Musimy zatem uwzględnić jeszcze sprawność całego cyklu magazynowania energii elektrycznej i jej ponownego odzyskiwania, która wynosi około 0,85. W związku z powyższym emisja dwutlenku węgla będzie o około 1,78 większa niż ma to miejsce w przypadku autobusu z wysokoprężnym silnikiem Diesla.

W prowadzonych dotychczas obliczeniach założono, że sprawność wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni węglowej jest taka sama, jak sprawność wysokoprężnego silnika Diesla. Problem polega na tym, że w naszym kraju mamy jeszcze około 10 GW mocy elektrycznej zainstalowanej w blokach energetycznych o mocy 200 MW, które powstały jeszcze w epoce Edwarda Gierka, a niektóre z nich jeszcze w czasach towarzysza Wiesława, i których sprawność wynosi zaledwie 30%. Tymczasem sprawność nowoczesnego silnika Diesla to już około 40%. Zakładając nawet, że średnia sprawność polskich elektrowni wynosi 35%, to emisja dwutlenku węgla dla autobusu elektrycznego będzie nawet 2,03 większa niż jego klasycznego odpowiednika z silnikiem spalinowym.

Tak byłoby jednak, gdyby cała wytwarzana w naszym kraju energia elektryczna pochodziła ze spalania węgla. Ponieważ z paliw kopalnych pochodzi obecnie 79% wytwarzanej w Polsce energii elektrycznej, należy zatem przyjąć, że emisja dwutlenku węgla dla autobusu elektrycznego jest około 1,6 większa niż w przypadku autobusu wyposażonego w silnik wysokoprężny zasilany olejem napędowym.

Zakończenie

Jak wyliczono podczas rozważań prowadzonych w niniejszym artykule zastępowanie w polskich miastach autobusów z silnikami spalinowymi autobusami elektrycznymi skutkuje 1,6 razy większą emisją dwutlenku węgla, a przecież autobusy te miały być z założenia zeroemisyjne... Dodatkowo należy zwrócić uwagę na fakt, że baterie litowe zasilające taki elektryczny autobus ważą około **3 ton, co jest równoważne masie około 40 pasażerów**. Trzeba pamiętać, że wożenie tak pokaźnej masy nie odbywa się przecież za darmo, zwłaszcza w warunkach ruchu miejskiego, gdzie nieustannie mamy do czynienia z cyklem przyspieszania i hamowania pojazdu. To wszystko uzyskany poprzednio wynik zapewne dodatkowo jeszcze tylko pogarsza.

Gdyby udział paliw kopalnych w polskim miksie energetycznym wynosił zaledwie 50%, a pozostała ilość energii elektrycznej wytwarzana byłaby wyłącznie w instalacjach fotowoltaicznych, elektrowniach wodnych i wiatrowych, wówczas autobus elektryczny emitowałby mniej więcej tyle samo dwutlenku węgla, co autobus spalinowy. Jednak uzyskanie takiego udziału energii odnawialnej w polskim miksie energetycznym nie jest w ogóle możliwe, ponieważ fotowoltaika pracuje w sposób sezonowy (w zasadzie od równonocy wiosennej do równonocy jesiennej), a także cykliczny. Z kolei elektrownie wiatrowe pracują w sposób stochastyczny, a wielkich elektrowni wodnych nie mamy, bo nie mamy po prostu wielkich rzek, jak Jangcy, Nil czy Amazonka, żeby generować z ich przepływu gigawaty mocy elektrycznej [5].

Oczywiście, pewnym rozwiązaniem byłoby pojawienie się w polskim miksie energetycznym energii pochodzącej z elektrowni atomowych, jednak wybudowanie w przeciągu nadchodzących kilkunastu lat takiej elektrowni w Lubiatowie-Kopalinie o mocy 3 GW niewiele tutaj zmieni [6]. Takich elektrowni potrzeba byłoby w Polsce przynajmniej pięć, aby autobusy elektryczne emitowały mniej dwutlenku węgla niż ich spalinowe odpowiedniki.

Możliwe, że ktoś chciał w sumie dobrze, ale w praktyce wyszło jak zwykle inaczej, ponieważ autobusy elektryczne przyczyniają się *de facto* do istotnego zwiększenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery, ponieważ w polskich warunkach jeżdżą one w około 80% na węglu.

Jednym, co tylko może dziwić, jest to, że podejmując decyzję o wymianie autobusów z silnikami spalinowymi na autobusy elektryczne, nie przeprowadzono uprzednio tego typu analiz, a przecież potrzebna do tego wiedza nie wykracza najzwyczajniej poza podstawowy zakres fizyki i chemii zaledwie na poziomie szkoły średniej.

Można jeszcze próbować bronić decyzji o zakupie niezwykle kosztownych autobusów elektrycznych, argumentując, że w ich przypadku nie mamy w ogóle niskiej emisji spalin na ulicach polskich miast. Jednak w przypadku nowoczesnych silników Diesla, spełniających bardzo wygórowaną normę Euro 6, emisja zanieczyszczeń również nie jest duża. To już nie są czasy, gdy jeszcze jakieś trzydzieści lat temu ruszający z przystanku przegubowy Ikarus przesłaniał oczekujących na przystanku ludzi chmurą kłębow czarnego dymu. Ponadto w ostatecznym bilansie emisji dwutlenku węgla przez autobusy elektryczne należałoby jeszcze uwzględnić emisję tego gazu wywołaną procesami związanymi z produkcją akumulatorów litowych, a są to ilości porównywalne z ilościami emitowanymi podczas produkcji całego autobusu z silnikiem spalinowym. Nie mówiąc już o degradacji środowiska naturalnego spowodowanej wydobyciem litu, co ma miejsce w zasadzie jedynie w Chinach, ponieważ żaden inny w miarę cywilizowany kraj nie jest skłonny zaakceptować tak wysokich kosztów środowiskowych i społecznych, związanych z wydobyciem tego pierwiastka, niezbędnego do produkcji akumulatorów do pojazdów elektrycznych.

Dlaczego zatem nadal uparcie brniemy w te bezsensowne elektryczne autobusy w sytuacji, gdy z żadną ekologią, poza częściowym wyeliminowaniem niskiej emisji spalin na ulicach polskich miast (bo niby jaki w sumie odsetek wszystkich poruszających się nimi pojazdów stanowią miejskie autobusy), nie ma to nic wspólnego, a jest wręcz dokładnie przeciwnie, bo emisja dwutlenku węgla jest co najmniej o 60% większa. Już bardziej sensownym posunięciem byłaby budowa tras trolejbusowych – przynajmniej odpadłyby koszty związane z koniecznością zakupu litowych akumulatorów, które i tak po kilku latach eksploatacji muszą podlegać wymianie, a wystarczyłoby tylko nad jezdnią rozpiąć trakcję elektryczną. Niestety, poza nielicznymi wyjątkami (Tychy, Lublin i Gdynia) trolejbus to obecnie prawie całkowicie zapomniany w Polsce środek transportu.

Bibliografia

1. Chmielniak T., *Technologie energetyczne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018
2. Elzbieciak T., Wodne elektrownie szczytowe mogą wrócić z wielką pompą, <https://wysokienapiecie.pl/67151-wodne-elektrownie-szczytowe-moga-wrocic-z-wielka-pompa/>, 2023
3. Elzbieciak T., Magazyny wypierają energetykę gazową, a ludzie mogą polubić słupy energetyczne, <https://wysokienapiecie.pl/94675-magazyny-wypieraja-energetyke-gazowa-a-ludzie-moga-polubic-slupy-energetyczne/>
4. Laudyn D., Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000
5. Marecki J., *Podstawy przemian energetycznych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000
6. Zadroźniak M., *Kompendium wiedzy o elektrowniach wiatrowych, słonecznych, węglowych i atomowych*, Biblioteka Wolności, Warszawa 2023

