

Adrian Kępa ✉

Politechnika Warszawska

## Analiza emisyjności wózków widłowych

### Analysis of Forklift Emissions

**Synopsis.** Zastosowanie wózków widłowych jest obecnie niezbędne w logistyce magazynowej. Wykorzystywane są one do manipulacji ładunkami zarówno na terenie magazynu, jak i poza nim. Powoduje to emisję toksycznych substancji takich jak tlenki azotu, tlenek i dwutlenek węgla. Objawia się to negatywnymi konsekwencjami środowiskowymi, ale ma także negatywny wpływ na zdrowie pracowników magazynu. W artykule porównano emisyjność wózków zasilanych olejem napędowym, skroplonym gazem naftowym oraz bateriami elektrycznymi. Poświęcono także uwagę rosnącej świadomości społecznej, regulacjom prawnym oraz postępowi technologicznemu, które pozwalają w znacznym stopniu ograniczyć skutki emisji spalin.

**Słowa kluczowe:** wózki widłowe, test VID2198, logistyka magazynowa, emisja spalin

**Abstract.** The use of forklift trucks in warehouse logistics is currently essential. They are utilized for handling loads both within and outside the warehouse premises. However, their utilization leads to the emission of toxic substances such as nitrogen oxides, carbon monoxide, and carbon dioxide. This results in negative environmental consequences and also has an adverse impact on the health of warehouse workers. The article compares the emissions of forklift trucks powered by diesel oil, liquefied petroleum gas, and electric batteries. It also addresses the growing social awareness, legal regulations, and technological advancements that significantly contribute to reducing the effects of exhaust emissions.

**Key words:** Forklift trucks, VID2198 test, warehouse logistics, exhaust emissions

**Kod JEL:** R49

---

✉ Adrian Kępa – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; [adrian.kepa.stud@pw.edu.pl](mailto:adrian.kepa.stud@pw.edu.pl);  
<https://orcid.org/0009-0000-9166-2680>

## Wprowadzenie

Proces, który określany jest mianem dekarbonizacji, zakłada systematyczne zmniejszanie emisji dwutlenku węgla do atmosfery, a docelowo całkowitą rezygnację z konwencjonalnych źródeł energii. Obserwacja wpływu gazów cieplarnianych na atmosferę oraz dane z niej płynące jasno wykazują niepożądane zmiany klimatu, które pociągają za sobą konsekwencje negatywnie wpływające na cały ekosystem Ziemi. Dekarbonizacja jest więc reaktywnym działaniem, mającym na celu zatrzymanie obecnie postępujących zmian klimatycznych oraz stale rosnącego zanieczyszczenia powietrza. Powołując się na dane Światowej Organizacji Zdrowia, 90% ludzi na całym świecie jest narażonych na oddychanie zanieczyszczonym powietrzem, co przyczynia się do zwiększenia liczby zgonów o nawet 7 milionów rocznie [WHO 2018]. Występująca w przestrzeni publicznej dyskusja o szkodliwym wpływie emisji gazów cieplarnianych na środowisko spowodowała zmiany w postępowaniu polityków i przedsiębiorstw, które zaczęły dostrzegać, jak bardzo oddziałują na środowisko. Zaowocowało to zwiększeniem nakładów na badania nad emisyjnością urządzeń oraz pojazdów mechanicznych, a także rozwój technologii pozwalającej ją ograniczać. Szacuje się, że branża logistyczna odpowiada za nawet 5,5% globalnej emisji gazów cieplarnianych, takich jak dwutlenek węgla czy tlenki azotu, z czego aż 11% stanowią zanieczyszczenia pochodzące z procesów wykonywanych w magazynach logistycznych [Ries i in. 2016]. Składają się na to wydatki energetyczne związane z ogrzewaniem, a także oświetleniem budynków i pracą zautomatyzowanych elementów, takich jak systemy przenośnikowe. Największa część zanieczyszczeń jest generowana podczas przeładunku materiałów za pomocą wózków widłowych. Faktem, który sprawia, że emisyjność wózków widłowych jest obecnie jednym z najważniejszych zagadnień dla producentów, jest to, że pracują one w bliskim sąsiedztwie z ludźmi. Centra logistyczne, będące zamkniętymi budynkami, siłą rzeczy powodują koncentrację spalin wewnątrz nich. W niniejszym artykule poruszone zostaną kwestie związane z emisyjnością wózków widłowych zasilanych różnymi rodzajami energii, wpływem spalin wytwarzanych w centrach logistycznych na ich pracowników oraz innowacyjnymi metodami ograniczenia szkodliwości wytwarzanych w procesie magazynowania zanieczyszczeń. Zaprezentowane zostaną także dane dotyczące emisyjności wózków widłowych zasilanych olejem napędowym, skroplonym gazem naftowym oraz bateriami elektrycznymi. Porównanie otrzymanych wyników pozwoli określić, który z analizowanych rodzajów zasilania ma najbardziej negatywny wpływ na środowisko.

## Materiały i metody

Głównym źródłem danych o emisyjności wózków widłowych był test VID2198. W artykule wykorzystano badania przeprowadzone przez dwa niezależne zespoły badawcze [Fuć i in. 2016, Ziółkowski i in. 2022]. Test VID2198 polega na odwzorowaniu pracy wózka widłowego. Składa się on z następujących etapów:

1. Załadowanie ładunku i podniesienie go na określoną wysokość, a następnie opuszczenie go.
2. Wyjazd wózka z zatoki.
3. Przejazd wózka do kolejnej, określonej zatoki.

4. Opuszczenie i rozładowanie towarów w określonej zatoce.
5. Wyjazd z zatoki.
6. Powrót to zatoki początkowej.

### **Analiza sytuacji rynkowej**

Wózki widłowe wykorzystywane w magazynach zamkniętych są zasilane poprzez baterię elektryczną, wykorzystanie skroplonego gazu naftowego (LPG) jako paliwa lub silnika wysokoprężnego. W ciągu ostatnich lat powstało wiele badań porównujących te sposoby zasilania pod kątem emisyjności. Jednym z prekursorów badań w tej dziedzinie była firma Toyota. W opublikowanym przez japoński koncern raporcie stwierdzono, że ślad węglowy wytwarzany przez wózki widłowe zasilane przez LPG jest dwa razy większy niż ten, wytwarzany przez wózki elektryczne [Toyota Industries Corporation 2002]. Była to jedna z najbardziej przychylnych wózkom elektrycznym analiza, która powstała w ciągu ostatnich dwóch dekad. Pewien trend, polegający na dostrzeżeniu tego, że wózki elektryczne cechują się najmniejszą emisyjnością, jest nadal aktualny. Duży wpływ na ich ekologiczność połączoną z wysoką wydajnością miał rozwój technologii produkcji baterii litowo-jonowych. Dzięki zwiększeniu ich wydajności, skróceniu czasu ładowania oraz zmniejszeniu wagi i wymiarów stały się one technologią zasilania, która jest obecnie najczęściej wykorzystywana w wózkach widłowych pracujących w magazynach [Minav i in. 2013]. Nie jest to wciąż idealne rozwiązanie ze względu na wysoką cenę, niewystarczającą pojemność, stosunkowo długi czas wymiany baterii oraz przestoje związane z ładowaniem. Z roku na rok wprowadzane są kolejne udoskonalenia oraz strategie korzystania z wózków, które sprawiają, że wykorzystanie baterii jest coraz bardziej efektywne. Nie sposób również nie wspomnieć o tym, że technologia zasilania wózków widłowych za pomocą LPG cały czas prędko się rozwija. Trwają prace zarówno nad systemem zasilania, w celu zmniejszenia zużycia paliwa, które są czasochłonne, wymagające i przede wszystkim kosztowne, jak i nad samym składem paliwa, które w dużo krótszym czasie i przy mniejszych nakładach mogą zaprezentować zadowalające rezultaty [Ramalingam i in. 2020].

### **Redukcja emisji spalin**

Silniki wysokoprężne również doczekały się usprawnień, które w znacznym stopniu pozwoliły na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Ważną innowacją było wprowadzenie w układy silników wysokoprężnych systemów selektywnej redukcji katalitycznej (SCR). Zastosowanie takiego rodzaju usprawnienia w wózkach widłowych pozwala na znaczną redukcję emisji tlenków azotu [Borillo i in. 2015]. System SCR polega na wprowadzeniu do układu wydechowego pojazdu mechanicznego specjalnej cieczy – mocznika, która reaguje z tlenkami azotu w katalizatorze, przekształcając je na azot ( $N_2$ ) i wodę ( $H_2O$ ). Dzięki temu rozwiązaniu wózki widłowe wyposażone w system SCR spełniają normy emisji spalin Euro Stage V. System SCR pozwala również na oszczędność paliwa, ponieważ silnik działa z większą wydajnością i mniejszym oporem, przez co jest uważany za niezawodny i skuteczniejszy od podobnych mu systemów. Istotną zmianą było także powstanie biodiesela, czyli przetworzo-

nego chemicznie oleju roślinnego, wykorzystywanego w silnikach wysokoprężnych. Z kolei elektryczne wózki widłowe charakteryzują się najmniejszą emisją zanieczyszczeń, która jest określana w sposób różniący się od tego, w jaki określa się emisję spalin wózków zasilanych olejem napędowym lub LPG. Stosowanie elektrycznych wózków widłowych nie prowadzi do bezpośredniej emisji związków nieorganicznych i gazów cieplarnianych z układu wydechowego, ale zostały one wyprodukowane na etapie produkcji energii elektrycznej. W tym przypadku istnieje jednak możliwość dużego ograniczenia produkowanych zanieczyszczeń poprzez zastosowanie odnawialnych źródeł energii. Według danych Eurostatu procentowy udział odnawialnych źródeł energii (OZE) w ogólnej strukturze energii produkowanej w Unii Europejskiej wzrósł z 9,6% w 2004 roku do 21,8% w 2021 roku [Eurostat 2021]. Istotne jest także wykorzystanie energii odnawialnej przez branżę transportową, które wzrosło z 1,6% w 2004 roku do 9,1% wykorzystania energii wyprodukowanej w ramach OZE w 2021 roku. Przekłada się to również na wzrost ekologicznej energii wykorzystywanej do zasilania elektrycznych wózków widłowych. Brak produkcji spalin w czasie rzeczywistym przez elektryczne wózki widłowe nie jest jedyną kwestią różniącą je od wózków zasilanych LPG i olejem napędowym. Istotne są różnice w osiągnięciach, a także w wymaganej przez wózki infrastrukturze. Sprawiają one, że wózki widłowe zasilane LPG i olejem napędowym są nadal częściej porównywane ze sobą. Wózki widłowe zasilane LPG oraz olejem napędowym mają znacznie większą moc i moment obrotowy niż wózki elektryczne, co umożliwia im pracę z dużymi i ciężkimi ładunkami oraz poruszanie się po nierównych powierzchniach, zwykle znajdujących się na zewnątrz. Ponadto spalinowe wózki widłowe LPG mają znacznie większy zasięg niż wózki elektryczne, co oznacza, że można ich używać przez dłuższy czas bez konieczności tankowania. Sprawia to, iż wózki spalinowe są bardziej odpowiednie dla przedsiębiorstw, w których wymagana jest praca ciągła. Cechują je także mniejsze koszty zakupu w porównaniu do wózków elektrycznych. Wózki elektryczne są zazwyczaj droższe, co oznacza, że ich zakup może być bardziej opłacalny tylko dla przedsiębiorstw, które potrzebują wózków do regularnego użytku lub w miejscach, gdzie wymagana jest szczególna czystość i cicha praca. W ciągu ostatnich lat powstało wiele badań mających na celu wykazanie, które z wózków spalinowych wykazują się bardziej pożądanymi cechami, takimi jak ekonomiczność użytkowania, wydajność pracy czy emisyjność.

## **Wyniki badań i dyskusja**

### **Test VID2198 nr 1**

Przykładem takiego porównania jest test VID2198, przeprowadzony przez zespół polskich naukowców, którego celem było porównanie emisyjności wózka zasilanego LPG i olejem napędowym w warunkach zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych [Ziółkowski i in. 2022]. Test został przeprowadzony dla wózków o zbliżonych parametrach, których różnice można uznać za pomijalne. Badania te zostały przeprowadzone przy użyciu analizatora składu chemicznego spalin SEMTECH DS firmy Sensor. Umożliwia on pomiar stężeń: dwutlenku węgla, tlenków azotu, węgłowodoru

i dwutlenku (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC i O<sub>2</sub>) w gazach spalinowych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Analizator umożliwia również pomiar zużycia paliwa i strumienia masy spalin. Wyniki przeprowadzonego eksperymentu pokazały, że występują znaczące różnice w emisyjności zależne od rodzaju napędu, a także środowiska, w jakim porusza się wózek widłowy. Dla wózka napędzanego silnikiem wysokoprężnym spalanie oraz emisja tlenków azotu były wyższe, gdy znajdował się on wewnątrz magazynu. Jest to spowodowane przede wszystkim wyższą jakością podłoża, które umożliwiało bardziej dynamiczną jazdę. Z kolei emisja tlenku węgla była większa podczas jazdy na zewnątrz magazynu. Nierówne podłoże wymuszało zachowanie dużej ostrożności podczas prowadzenia wózka widłowego, przez co jazda była dużo spokojniejsza. Skutkowało to pracą na mniejszych obrotach silnika, a więc jego mniejszym obciążeniu. Taki tryb pracy powoduje zmianę składu spalin – zmniejszenie emisji tlenków azotu kosztem zwiększenia emisji dwutlenku węgla. Warto odnotowania jest także zwiększenie emisji tlenków azotu oraz dwutlenku węgla podczas przewożenia ładunku, która zwiększyła się o odpowiednio 40 i 45% w stosunku do przejazdu bez ładunku. Taki sam trend emisyjności charakteryzował wózki zasilane LPG. One również emitowały większe ilości gazów cieplarnianych, gdy pracowały wewnątrz magazynu. Jest to spowodowane takimi samymi czynnikami jak w przypadku wózków widłowych z silnikiem wysokoprężnym. Kolejną przyczyną jest fakt, że pojazdy zasilane gazem LPG mają problem ze zmiennym składem mieszanki paliwowo-powietrznej, co również zwiększa emisje. Wynik testu pokazał również, że emisje tlenku węgla były wyższe podczas jazdy poza magazynem. Pomimo wykazania podobieństw, dwie porównywane jednostki silnikowe emitują różne ilości spalin. Szczegółowe dane zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Emisja tlenków azotu i tlenku węgla  
Table 1. Emission of nitrogen oxides and carbon monoxide

Emisja gazów	Silnik wysokoprężny				LPG			
	magazynie		poza magazynem		w magazynie		poza magazynem	
	z ładunkiem	bez ładunku	z ładunkiem	bez ładunku	z ładunkiem	bez ładunku	z ładunkiem	bez ładunku
tlenki azotu [g/km]	11,5	7	10,5	6	30,06	17,5	33,76	12
tlenek węgla [g/km]	4,35	2	4,3	2,5	88,6	55,2	109	47,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Ziółkowski i in. 2022].

Source: own study based on [Ziółkowski i in. 2022].

Porównując dane zamieszczone w tabeli, można dostrzec, że dieslowy wózek widłowy wydziela mniej tlenków azotu i tlenku węgla w każdej z wymienionych kategorii. Różnica jest najbardziej zauważalna podczas porównania ilości produkowanego tlenku węgla podczas poruszania się wózka widłowego z ładunkiem.



W sytuacji, gdy oba wózki są wewnątrz magazynu, spalanie skroplonego gazu powoduje ponad 20-krotnie większą emisję tlenku węgla niż spalanie oleju napędowego, jeśli natomiast znajdują się poza nim, różnica ta jest 25-krotna. Mniejsze są także emisje tlenków azotu. Największa różnica między wózkami widłowymi o różnych źródłach zasilania występuje podczas transportu ładunku. Emisja tlenków azotu przez wózek widłowy zasilany LPG jest w przybliżeniu 3-krotnie większa niż w przypadku wózków zasilanych olejem napędowym. Warto zaznaczyć, że waga przewożonego ładunku wynosiła zaledwie 1/3 maksymalnego udźwigu porównywanych wózków widłowych. Zwiększenie jej jeszcze bardziej uwidoczniłoby różnicę w emisji spalin.

### Test VID2198 nr 2

Przeprowadzenie testu VDI2198 [Fuć i in. 2016], dotyczącego emisyjności oraz składu spalin wózków zasilanych LPG i olejem napędowym, tym razem wykonanym na większej próbie badawczej, również zaowocowało wnioskami ważnymi w kontekście ekologicznym. Do pomiaru szkodliwych spalin wykorzystano urządzenie mobilne SEMTECH-DS, które pozwoliło zbadać stężenie: tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku węgla ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ). Do analizy wybrano siedem wózków widłowych z silnikami spalinowymi – cztery napędzane LPG i trzy napędzane olejem napędowym oraz trzy z silnikami elektrycznymi napędzanymi prądem zmiennym. Wózki elektryczne zasilane prądem zmiennym nie wytwarzają spalin podczas pracy, więc ich emisyjność nie została uwzględniona w ramach przeprowadzonego testu. Siedem pozostałych wózków, podobnie jak we wcześniejszym przypadku, zostało poddanych dwóm rodzajom pomiarów emisyjności, jeden dla pustego przebiegu, drugi zaś został wykonany podczas przewożenia ładunku o wadze 1000 kg. Każdy z analizowanych wózków posiadał zbliżone parametry techniczne, aby wynik testu był jak najbardziej wiarygodny. Ponadto każdy z pomiarów był powtórzony 10-krotnie, a otrzymane wyniki są średnią z tych pomiarów. Na potrzeby porównania emisyjności wózków zasilanych LPG oraz olejem napędowym, dla otrzymanych danych w tabeli 2, przedstawiono także średnie wartości emisji danego gazu dla dwóch porównywanych typów zasilania. Rozpatrzono emisję trzech wybranych gazów cieplarnianych: tlenku azotu, tlenku węgla i dwutlenku węgla. W porównaniu zdecydowanie lepiej wypadły silniki wysokoprężne, które podczas przeprowadzania testu wytwarzały mniej spalin zarówno dla wariantu z przewożonym ładunkiem, jak i bez niego. Emitowały one także zauważalnie mniejsze ilości dwutlenku węgla.

W przypadku pojazdów z silnikami spalinowymi ich wpływ na środowisko wynika głównie z emisji tlenków azotu i tlenków węgla, jako spalin powstających podczas eksploatacji pojazdu, w przypadku wózków elektrycznych natomiast emisja zanieczyszczeń ma miejsce w momencie produkowania energii. Zaprezentowane wielkości emisji w tabelach 1 i 2 można więc porównać z tymi, które są wytwarzane przez elektrownie. W tabeli 3 przedstawiono dane dotyczące energii elektrycznej zużytej przez wózki o napędzie elektrycznym podczas przeprowadzonego testu VID2198.

Tabela 2. Emisja spalin przez wózki widłowe zasilane LPG i olejem napędowym

Table 2. Emission of pollutants by LPG- and diesel-powered forklifts

Emisja gazów	Wózki widłowe LPG				Wózki widłowe z silnikiem wysokoprężnym		
	LPG1	LPG2	LPG3	LPG4	DSL1	DSL2	DSL3
Emisja wózków obciążonych ładunkiem o wadze 1000 kg							
tlenki azotu [g/km]	19,63	42,23	56.05	56.27	19.53	32.63	8.31
wartość średnia [g/km]	43,54				20,16		
tlenek węgla [g/km]	27,04	38,04	20.04	181.62	15.62	3.01	3.22
wartość średnia [g/km]	66,68				7,28		
dwutlenek węgla [g/km]	2959,57	6023,32	4036.34	5166.63	2152.85	2556.34	1681.15
wartość średnia [g/km]	4545,45				2130,11		
Emisja wózków nieobciążonych ładunkiem							
tlenki azotu [g/km]	13,90	20,07	28.11	12.86	9.42	27.15	6.41
wartość średnia [g/km]	18,73				14,33		
tlenek węgla [g/km]	13,36	2,44	9.46	47.49	7.12	2.08	2.32
wartość średnia [g/km]	18,19				3,84		
dwutlenek węgla [g/km]	1935,16	2161,19	1678.83	1104.07	1036.92	2143.57	1352.01
wartość średnia [g/km]	1719,81				1510,83		

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Fuć i in. 2016].

Source: own study based on [Fuć i in. 2016].

Tabela 3. Zużycie energii przez wózki elektryczne

Table 3. Energy consumption of electric forklifts

Energia	Wózki widłowe z napędem elektrycznym		
	ELE1	ELE2	ELE3
Zużycie energii przez wózki obciążone ładunkiem o wadze 1000 kg			
energia [kWh]	0,51	0,28	0,20
wartość średnia [kWh]	0,33		
Zużycie energii przez wózki nieobciążone ładunkiem			
energia [kWh]	0,49	0,28	0,19
wartość średnia [kWh]	0,32		

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Fuć i in. 2016].

Source: own study based on [Fuć i in. 2016].

Produkcja 0,33 kWh energii elektrycznej w Polsce przy założeniu, że 90% energii pochodzi z nieodnawialnych źródeł energii, prowadzi do emisji do wody 0,115 mg węglowodorów aromatycznych, a także emisji 29,06  $\mu\text{g}$  do powietrza [Fuć i in. 2016]. Jest to wynik dużo bardziej zadowalający pod względem ekologicznym, niż spalanie paliw kopalnych przez silniki spalinowe, w które wyposażone są rozpatrywane wózki widłowe. Analizując otrzymane w wyniki pomiarów, można zaobserwować, że emisyjność wózków LPG oraz tych zasilanych silnikiem wysokoprężnym zachowuje trendy obecne w wynikach badania zaprezentowanego wcześniej. Wskazują one na to, że proces spalania płynnego gazu jest dużo bardziej szkodliwy dla środowiska i jest odpowiedzialny za wytwarzanie większej ilości spalin i zanieczyszczeń.

### Aspekt finansowy

Zaletą wózków widłowych zasilanych LPG jest niska cena tego paliwa. Ceny skroplonego gazu naftowego w przeliczeniu 1l/PLN w latach 2019–2023 zaprezentowano na rysunku 1.



Rysunek 1. Ceny LPG w Polsce w latach 2019–2023

Figure 1. Prices of LPG in Poland from 2019 to 2023

Źródło: [Bankier.pl].

Source: [Bankier.pl].

Ceny oleju napędowego w przeliczeniu 1l/PLN w latach 2019–2023 w Polsce przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Ceny oleju napędowego w Polsce w latach 2019–2023

Figure 2. Prices of diesel fuel in Poland from 2019 to 2023

Źródło: [Bankier.pl].

Source: [Bankier.pl].



Trendy wzrostów i spadków cen porównywanych paliw są ze sobą zgodne, niemniej jednak ceny oleju napędowego w analizowanym okresie były około 2 razy większe niż LPG.

## **Wpływ spalin na pracowników magazynów**

Emisje gazów cieplarnianych spowodowane wykorzystaniem wózków widłowych w logistyce magazynowej mają konsekwencje środowiskowe, ale także negatywnie wpływają na zdrowie pracowników magazynu, którzy narażeni są na bezpośrednią ekspozycję na działanie zanieczyszczeń. Jak podaje Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych, lotne związki organiczne są emitowane przez różne źródła, w tym wózki widłowe [EPA 2022]. Wśród lotnych związków organicznych emitowanych przez wózki widłowe znajdują się: benzen, toluen, ksylen, formaldehyd i inne, które mogą powodować problemy zdrowotne, takie jak: podrażnienia oczu, nosa i gardła, bóle głowy, nudności, zawroty głowy, a w niektórych przypadkach mogą być przyczyną poważniejszych chorób takich jak: astma, przewlekłe zapalenie oskrzeli czy choroba niedokrwienna serca. W celu minimalizacji narażenia pracowników magazynów na szkodliwe związki chemiczne, producenci wózków widłowych oraz pracownicy magazynów powinni przestrzegać zasad bezpieczeństwa i stosować się do standardów ochrony środowiska, takich jak systemy wentylacyjne, użycie niskoemisyjnych paliw i ochrona pracowników za pomocą odpowiedniego sprzętu ochronnego. Pomocne w ochronie zdrowia osób przebywających na terenie hal magazynowych są także czujniki [Arroyo i in. 2016], za pomocą których możliwe jest monitorowanie aktualnego stanu powietrza, a także odpowiednie systemy wentylacyjne.

## **Wnioski**

Zaprezentowane wyniki badań pokazują, że aspekt finansowy nie jest jedynym z kluczowych czynników podczas wyboru wózków widłowych. Ważnym elementem, który należy brać pod uwagę, jest wpływ wózków widłowych na środowisko naturalne i zdrowie pracowników. Wózki widłowe napędzane silnikami spalinowymi emitują szkodliwe substancje, takie jak tlenki azotu i cząstki stałe, które wpływają na jakość powietrza i zdrowie ludzi. Z dokonanych porównań wynika, że spalanie płynnego gazu naftowego produkuje więcej szkodliwych substancji, niż ma to miejsce w przypadku oleju napędowego. Z kolei wózki widłowe elektryczne emitują znacznie mniej szkodliwych substancji, co przekłada się na lepszą jakość powietrza i zdrowie pracowników. Wśród najważniejszych wniosków wynikających z badań należy zaliczyć następujące:

1. Silniki spalinowe są głównym źródłem emisji gazów cieplarnianych, które przyczyniają się do globalnego ocieplenia i zmian klimatycznych.
2. Najbardziej szkodliwe dla środowiska jest wykorzystywanie wózków o napędzie LPG.
3. Wózki widłowe o napędzie elektrycznym emitują znacznie mniej gazów cieplarnianych i są bardziej przyjazne dla środowiska.

4. Wózki widłowe elektryczne, mimo wyższych kosztów początkowych, mogą okazać się bardziej opłacalne w dłuższej perspektywie użytkowania, uwzględniając oszczędności wynikające z niższych kosztów eksploatacji i napraw oraz korzyści ekologicznych.
5. Ograniczenie stosowania wózków zasilanych LPG i olejem napędowym pozwoli w znacznym stopniu ograniczyć emisję szkodliwych dla środowiska substancji, jakimi są m.in.: tlenki azotu, tlenek oraz dwutlenek węgla.

## Bibliografia

- Arroyo P., Lozano J., Suárez J.I., Herrero J.L., Carmona P., 2016: Wireless Sensor Network for Air Quality Monitoring and Control, *Industrial Engineering School* 54, 217–222. <https://doi.org/10.3303/CET1654037>
- Bankier.pl, LPG (Polska), [źródło elektroniczne] <https://www.bankier.pl/gospodarka/wskazniki-makroekonomiczne/lpg-pol> [dostęp: 14.04.2023].
- Borillo G., Tadano Y., Godoi A., Santana S., Weronka F., Neto R.A., Rempel D., Yamamoto C.I., Vermaak S.P., Potgieter J.H., Godoi R., 2015: Effectiveness of Selective Catalytic Reduction Systems on Reducing Gaseous Emissions from an Engine Using Diesel and Biodiesel Blends, *Environmental Science & Technology* 49(5), 3246–3251. <https://doi.org/10.1021/es505701r>
- EPA, 2022: Indoor Air Quality (IAQ) [źródło elektroniczne] <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/learn-about-indoor-air-quality> [dostęp: 14.03.2023].
- Eurostat, 2021: Renewable energy statistics, [źródło elektroniczne] [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics) [dostęp: 14.04.2023].
- Fuć P., Kurczewski P., Lewandowska A., Nowak E., Selech J., Ziółkowski A., 2016: An environmental life cycle assessment of forklift operation: a well-to-wheel analysis, *International Journal of Life Cycle Assessment* 21(10), 1438–1451. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1104-y>
- Minav T.A., Murashko K., Laurila L., Pyrhönen J., 2013: Forklift with a lithium-titanate battery during a lifting/lowering cycle: Analysis of the recuperation capability, *Automation in Construction* 35, 275–284. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.021>
- Ramalingam A., Kriek M., Pischinger S., Heufer K., 2020: Understanding the Oxidation Behavior of Automotive Liquefied Petroleum Gas Fuels: Experimental and Kinetic Analyses, *Energy Fuels* 34(2), 2323–2333. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b03695>
- Ries J.M., Grosse E.H., Fichtinger J., 2016: Environmental impact of warehousing: a scenario analysis for the United States, *International Journal of Production Research* 55(21), 6485–6499, <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1211342>
- Toyota Industries Corporation, 2002: Environmental Report, [źródło elektroniczne] [https://www.toyota-industries.com/csr/reports/items/environment2002\\_1.pdf](https://www.toyota-industries.com/csr/reports/items/environment2002_1.pdf) [dostęp: 10.04.2023].
- WHO, 2018: Air Pollution and Child Health, [źródło elektroniczne] <http://apps.who.int/iris/handle/10665/275545> [dostęp: 19.03.2023].
- Ziółkowski A., Fuć P., Jagielski A., Bednarek M., 2022: Analysis of emissions and fuel consumption from forklifts by location of operation, *Combustion Engines* 189(2), 30–35.