

OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA WODORU W AUTOBUSOWYM TRANSPORCIE PUBLICZNYM W WARSZAWIE

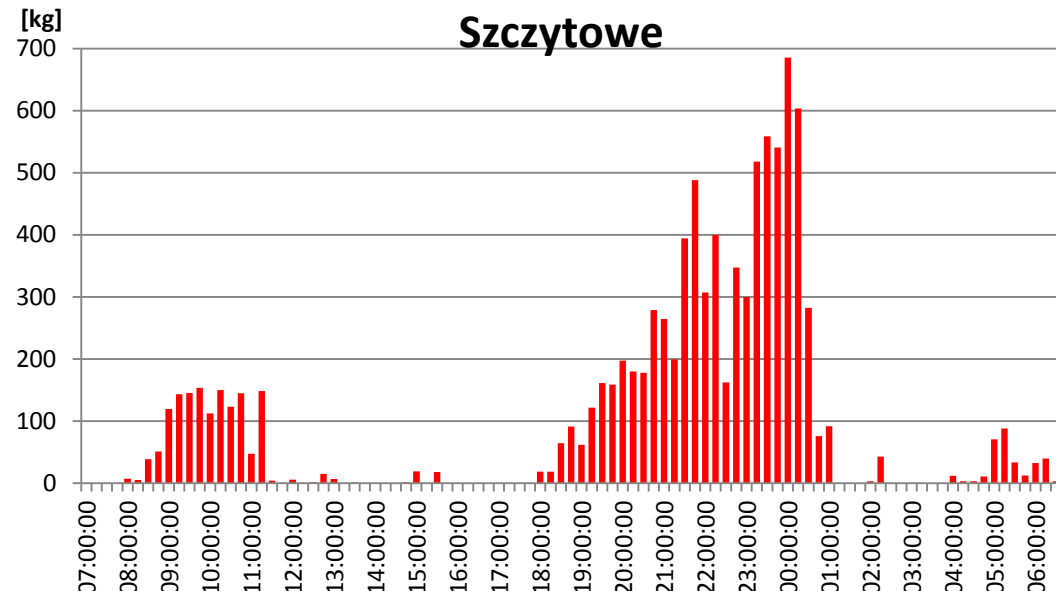
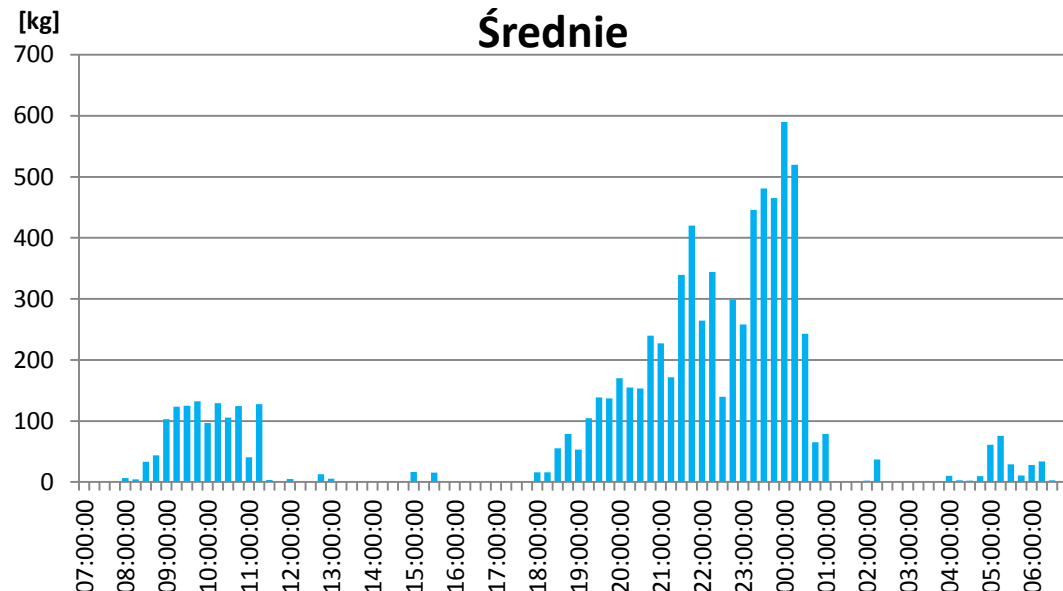
Aktualnie w Polsce jak i w innych krajach przeprowadzane są kilkutygodniowe testy eksploatacyjne lub wdrażana jest eksploatacja autobusów wodorowych w niewielkiej skali. Przedsiębiorstwa kupują 1 ... 5 ... 20 autobusów wodorowych.

Ze specyficznymi problemami będziemy musieli się zmierzyć w eksploatacji dużej zajezdni lub dużych przedsiębiorstw komunikacyjnych eksploatujących wyłącznie autobusy wodorowe.

W Miejskich Zakładach Autobusowych zajezdnia to stan inwentarzowy 330 – 340 autobusów miejskich i ok. 300 autobusów do ruchu w dniu powszednim. W Warszawie w dzień powszedni wyjeżdża do obsługi linii komunikacyjnych ok. 1500 autobusów wszystkich przewoźników.

Na jakie wyzwania się natkniemy przechodząc z fazy eksploatacji testowej do eksploatacji całego taboru autobusów miejskich wodorem?

Rozkład 15-minutowy tankowania wodoru w godzinach magazynowych dla wartości średnich i szczytowych (symulacja)



W technologii tankowania autobusów bezpośrednio po zjeździe z linii niezbędna wydajność stacji tankowania wodorem to 2000 kg/godzinę (tylko trakcja) do 2500 kg/godzinę (trakcja + klimatyzacja).

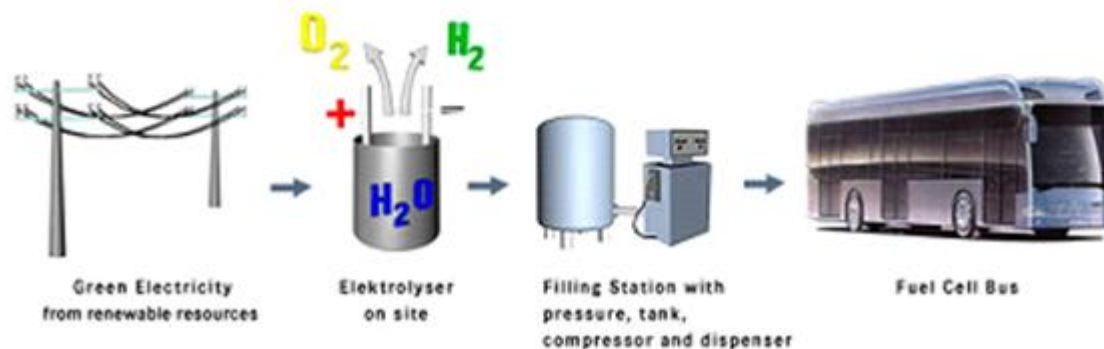
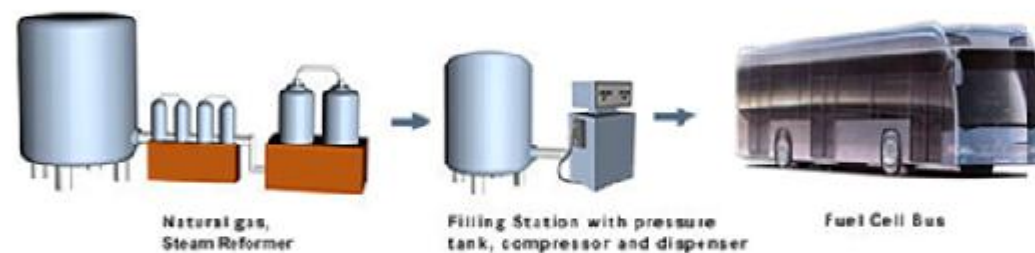
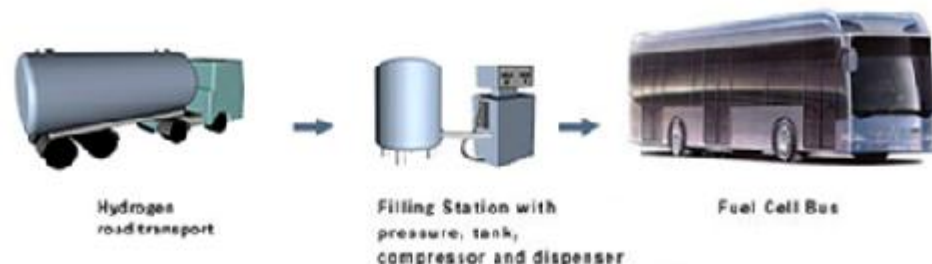
Czasy napełniania autobusu w przypadku stacji dla projektu testowego jednego z producentów

Key figures 35kg refill		Minimal configuration LL-S-35		>		Enhanced configuration LL-XL-35	
							
# of fueling positions		Single		Single		Dual	
Fueling capacity per 8 hours		Up to 15 buses / 525kg		Up to 25 buses / 875kg		Up to 50 buses / 1,750kg	
Fueling duration / Time between fills		~15 minutes / 10 minutes		~10 minutes / 3 minutes		~10 minutes / 9 minutes	

Przykładowe rozwiązania zasilania wodorem autobusów

Stacja sprężania i magazyny wodoru w zajezdni

- Dowóz wodoru trailerami
- Przesył wodoru rurociągiem
- Produkcja na miejscu w technologii reformingu parowego metanu
- Produkcja na miejscu w technologii elektrolizy



Zasilanie wodorem w skali testowej (1 - 20 szt.)

Różne sposoby rozwiązania:

- Tankowanie na zewnętrznej stacji tankowania zlokalizowanej w pobliżu zajezdni autobusowej, ze wszystkimi wadami takiego rozwiązania.
- Tylko dystrybucja wodoru (bez produkcji). Wodór dowożony byłby od producenta trailerami (naczepami z butlami sprężonego wodoru – gaseous hydrogen tube trailers). Stacja składałaby się z dodatkowego magazynu, sprężarki i dystrybutora (2-3 trailery dziennie po 300 kg dla 20 autobusów w ruchu).
- **Produkcja i dystrybucja wodoru w zajezdni z wykorzystaniem rozwiązań kontenerowych.** Na rynku dostępne są zestawy kontenerowe do produkcji wodoru z metanu technologią reformingu metanu parą wodną (zestaw kontenerowy jest podłączony do rurociągu z gazem ziemnym). Inną opcją jest zestaw kontenerowy elektrolizerów podłączony do źródła energii elektrycznej dużej mocy. Dodatkowo niezbędne będą zestawy kontenerowe: magazyn wodoru, sprężarka wodoru i dystrybutor wodoru, w przypadku procesu reformingu również urządzenia do oczyszczania wodoru.



Zasilanie wodorem dużej zajezdni (340 autobusów)

Różne sposoby rozwiązania:

- Tankowanie na zewnętrznych stacjach tankowania **(nierealne dla 300 autobusów w ruchu).**
- Tylko dystrybucja wodoru (bez produkcji). Wodór dowożony byłby od producenta trailerami. Stacja składałaby się z dodatkowego magazynu, sprężarki i dystrybutora **(nierealne; niezbędny dowóz wodoru 33 trailerami po 300 kg dziennie).**
- Produkcja i dystrybucja wodoru w zajezdni z wykorzystaniem rozwiązań kontenerowych **(nierealne ze względu na ograniczoną wydajność).**
- **Dostawa rurociągiem dziennie około 10.000 kg (kto wybuduje rurociąg z wodorem do zajezdni w mieście?).**
- **Własna stacja elektrolizerów z podstacją energetyczną dużej mocy.**

Dzienne i roczne zapotrzebowanie na paliwo wodorowe

średnie dzienne zużycie wodoru		
	autobusy do ruchu	zużycie wodoru [kg]
zajezdnie w Warszawie	300	9 900
autobusy w Warszawie	1500	49 500
średnie roczne zużycie wodoru		
zajezdnie w Warszawie	300	2 650 000
autobusy w Warszawie	1500	13 250 000

**Dla porównania zużycie roczne energii elektrycznej zajezdni z autobusami elektrycznymi high energy 35,3 GWh;
dla 1500 autobusów to 176,5 GWh**

Duża zajezdnia, niezbędna moc i szczytowe dzienne zużycie energii elektrycznej

niezbędna moc przyłączeniowa dla zajezdni					
300 autobusów do ruchu (100 szt. 12m i 200 szt. 18m) / trakcja + klimatyzacja					
paliwo	technologia	moc zajezdni [MW]	moc miasto [MW]	dzienne zużycie energii zajezdni [MWh]	dzienne zużycie energii miasto [MWh]
H2	elektrolizery alkaliczne 24h	25	0	600	0
H2	elektrolizery PEM 15h	36	0	540	0
EE	high energy + plug-in	33	0	124	0
EE	high power + ładowanie pantografów	8	16	21,5	102,5
moc ładowarek dla high power 200kW / 400kW / 30 kW					
moc ładowarek dla high energy 150 kW / 120kW					
moc przyłączeniowa zajezdni dla innych celów ok. 0,5 MW					

Jak wyprodukować ekologiczny wodór dla Warszawy?

1500 wodorowych autobusów do ruchu

Technologia: elektrolizery alkaliczne zasilane z OZE

(uwzględniono średnioroczną produkcję OZE dla warunków Mazowsza, bez strat w liniach przesyłowych)

Wartości będą czterokrotnie niższe dla zasilania z OZE autobusów elektrycznych niż wodorowych !!!

Roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną	795	GWh
Fotowoltaika		
Wymagana łączna powierzchnia fotowoltaiki	388	ha
Energia wiatrowa		
Turbiny wiatrowe o mocy 3 MW, 180m, Ø120m	95	szt.
Obszar wyłączony z zabudowy mieszkalnej	1050	km²
Energia jądrowa		
Mini reaktory jądrowe SMR o mocy 77 MW	2	szt.

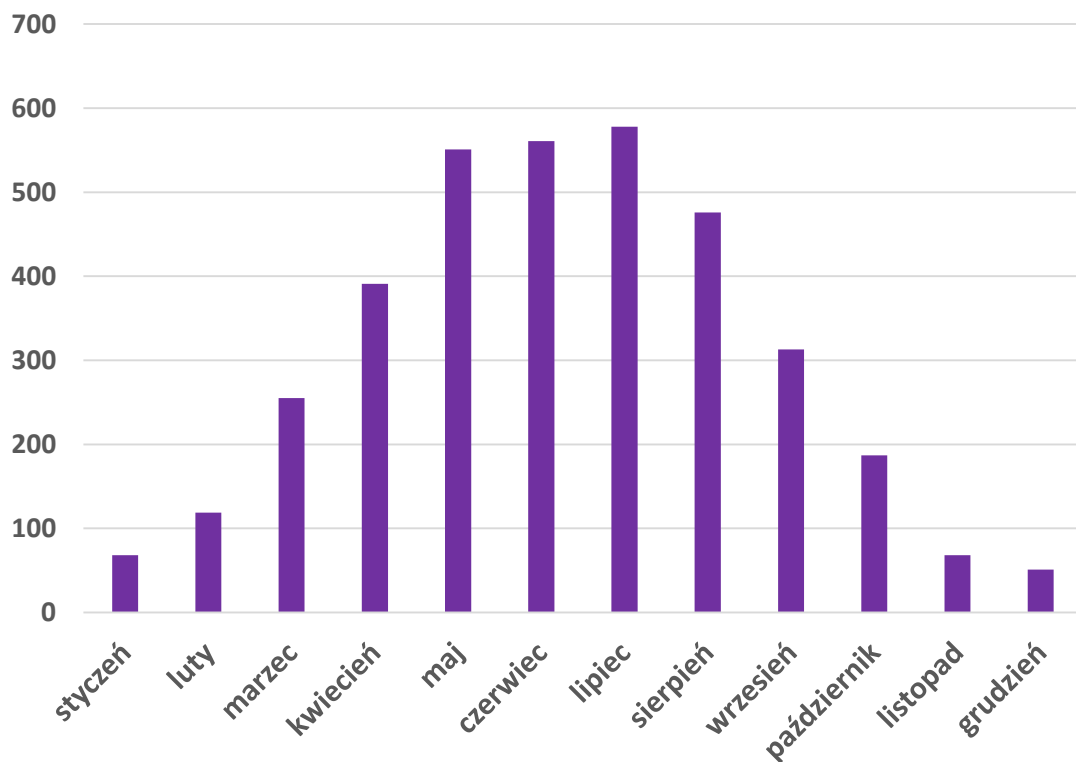
Porównanie rocznego zużycia energii elektrycznej w Warszawie

ROCZNE ZUŻYCIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ	
WARSZAWA	GWh
1500 autobusów wodorowych	795
1500 autobusów elektrycznych	176
Tramwaje Warszawskie	202
Metro Warszawskie	146
razem	524

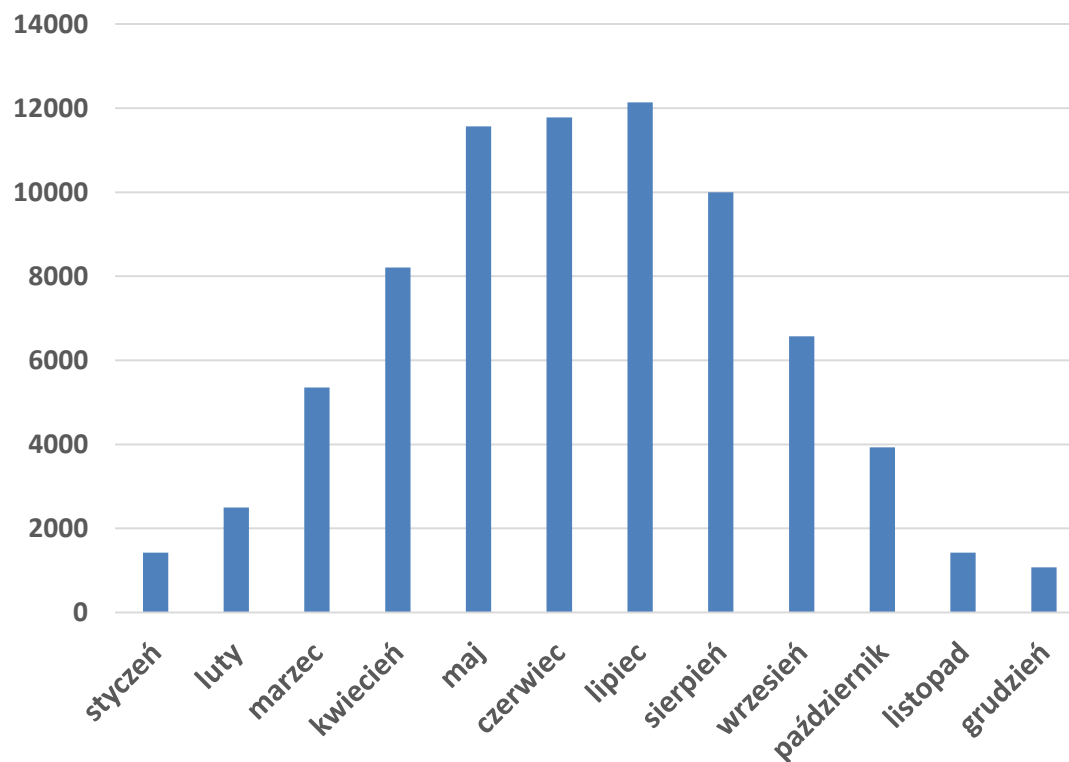
Zajezdnia wyposażona w panele fotowoltaiczne

Możliwa produkcja wodoru w ujęciu rocznym²

[MWh/miesiąc]



[kg H₂/miesiąc]



² https://www.researchgate.net/figure/Average-monthly-irradiation-in-the-selected-location-Warsaw-Poland_fig1_339017809 (stan na 08-07-2023)

Skutki wybuchu jednej butli autobusowej z wodorem

		Wodór	
Odziaływanie		350 bar, 10kg (413dm ³)	
na budynki	na ludzi	Nadciśnienie (bar)	Dystans od wybuchu (m)
Poważne uszkodzenia żelbetonowych konstrukcji	Bardzo wysoka śmiertelność	0,69	10,11
Zawalenie się budynków	Poważne obrażenia, spora śmiertelność	0,34	15
Wyrwane drzwi i okna, naruszona struktura budynków	Obrażenia od odłamków i fragmentów okien	0,07	43,3
Pękanie szyb w oknach	Lekkie obrażenia od odłamków i okien	0,03	72,9

Zestawienie kosztów całkowitych w LCC oraz kosztów wzkm ogółem (bez dofinansowania) dla różnych rozwiązań technologicznych autobusów zeroemisyjnych w porównaniu do rozwiązania standardowego zasilanego ON (dane czerwiec 2022)

Oznaczenie	Rodzaj	Długość	całkowi ty koszt LCC* / 800 tys. km	Koszty pozostałe/ wzkm **	Koszt wzkm ogółem -wzkm płatny	wzkm płatny-parytet wobec ON
12m BEV - HE	EE	12m	7,94 zł	4,28 zł	13,32 zł	130,79%
12m BEV - HP	EE	12m	7,46 zł	4,28 zł	12,79 zł	125,59%
12m BEV - HP	EE	12m	7,92 zł	4,28 zł	13,29 zł	130,50%
12m H2	H2	12m	11,85 zł	4,28 zł	17,57 zł	172,59%
12mON	ON	12m	5,07 zł	4,28 zł	10,15 zł	100,00%

Oznaczenie	Rodzaj	Długość	całkowity koszt LCC* / 800tys. km	Koszty pozostałe/ wzkm **	Koszt wzkm ogółem -wzkm płatny	wzkm płatny-parytet wobec ON
18m BEV - HE	EE	18m	10,81 zł	4,28 zł	16,44 zł	134,90%
18m BEV - HP	EE	18m	9,55 zł	4,28 zł	15,07 zł	123,65%
18m H2	H2	18m	16,11 zł	4,28 zł	22,22 zł	182,27%
18m ON	ON	18m	6,91 zł	4,28 zł	12,19 zł	100,00%

* Całkowity koszt LCC uwzględnia wyłącznie następujące koszty/wydatki: nakłady inwestycyjne, koszty paliw, koszty OT i NB, koszt ubezpieczenia, koszt wymiany baterii/ogni

** koszty pozostałe (wyliczone na bazie 2021 roku) to: płace kierowców, narzuty na płace, podatek transportowy, koszty wydziałowe działalności przewozowej, koszty ogólnozakładowe łącznie z ZFSS

Problemy z wdrażaniem technologii wodorowej

- **Brak stabilności cen paliw alternatywnych (CNG, LNG, EE, H2) w stosunku do paliwa standardowego ON**
- **Trzy – czterokrotnie niższy przebieg pojazdu wodorowego w stosunku do elektrycznego przy wykorzystaniu tej samej ilości energii elektrycznej na elektrolizę lub ładowanie baterii trakcyjnych**
- **Uzależnienie ceny wodoru ekologicznego otrzymanego w procesie elektrolizy (OZE) od cen energii elektrycznej na rynku**
- **Wyższa cena autobusu wodorowego od autobusu elektrycznego; wyższa cena nośnika energii i serwisu**
- **Wyższe koszty liczone w cyklu życia autobusu wodorowego w stosunku do elektrycznego**
- **Konieczność dostosowania zaplecza technicznego do stosowania paliwa gazowego H2; niezbędna większa powierzchnia zajezdni ze względu na strefy ochronne dla stacji zasilania i magazynu**
- **Zagrożenie braku zgody administracyjnej na magazynowanie niezbędnej dla zajezdni dużej ilości wodoru w mieście (w terenie o gęstej zabudowie mieszkaniowej)**
- **Powolne wdrażanie w Polsce przepisów prawa związanego z technologią zasilania wodorem pojazdów**
- **Konieczność utrzymania wysokiej czystości wodoru dla pojazdów podczas przesyłu rurociągowego**

Co dalej po fazie testowej autobusów wodorowych?

- **Czy czeka nas rozwiązanie przedstawionych problemów poprzez budowę nowych zajezdni przeznaczonych dla autobusów wodorowych, prawdopodobnie poza strefą intensywniej zabudowy mieszkaniowej w strefie podmiejskiej, z odpowiednią strefą ochronną?**
- **Kto pokryje olbrzymie koszty zakupu gruntu, budowy od podstaw zajezdni, zakupu drogich autobusów i infrastruktury produkcji wodoru (stacji elektrolizerów, sprężarkowni, magazynów wodoru, podstacji energetycznych dużej mocy lub rurociągów z dostawą wodoru z centralnych magistrali lub mini reaktorów jądrowych)? Samorządy, Polski Rząd, Unia Europejska?**
- **Jak będzie rozwiązany problem dostaw dużej ilości paliwa wodorowego do zajezdni i miast? Czy będzie wybudowana sieć rurociągów?**
- **Kto pokryje dodatkowe koszty dojazdowe i dodatkowy czas pracy kierowców z oddalonych od miast nowych zajezdni dla autobusów wodorowych?**

Realizacji Ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych

Pod koniec 2027 roku Miejskie Zakłady Autobusowe w Warszawie muszą zawrzeć kolejną umowę na wykonywanie usługi przewozowej. Do połowy 2023 roku Spółka będzie posiadała 23% autobusów zasilanych paliwami alternatywnymi (CNG i LNG) oraz posiada aktualnie 160 autobusów zeroemisyjnych elektrycznych. W latach 2023 – 2027 musi zakupić jeszcze minimum 136 autobusów zeroemisyjnych, jako uzupełnienie do ustawowych 23%.

Cel można zrealizować, albo poprzez zakup autobusów elektrycznych, albo wodorowych.