



Podsumowanie Procedury Dialogu Technicznego przeprowadzonego przez MPK TARNÓW SP. Z O.O. w okresie lipiec/październik 2018 r. w zakresie elektrycznych autobusów bateryjnych i wodorowych.

28 listopad 2018 r.

Abstrakt

Obserwujemy silny trend światowy do przechodzenia na elektryczne zasilanie autobusów miejskich uważane za bardziej ekologiczne. Takie pojazdy są bardzo drogie i niepraktyczne, dlatego ten trend jest wspierany dotacjami i zakazami dla innych technologii. Elektro-mobilność to wielkie zagrożenie dla europejskich koncernów motoryzacyjnych w zakresie ich udziału w rynku, a co za tym idzie dla dobrobytu Europy. Autobusy elektryczne są dostępne w dwóch wariantach: pojazd bateryjny oraz pojazd wyposażony w wodorowe ogniwa paliwowe. Do pojazdów bateryjnych stosuje się baterie litowo-jonowe głównie typu NMC i LTO. Ich wady (w różnych zakresach dla NMC i LTO) to wysoka waga/mala gęstość energetyczna, długi czas ładowania, szybki spadek pojemności baterii wraz z kolejnymi cyklami ładowania/mala trwałość, nieodporność na zmianę temperatury otoczenia/pracy, wysoka cena produkcji baterii. Cechy baterii determinują operacyjne właściwości autobusów elektrycznych czyli mały zasięg na jednym ładowaniu lub konieczność budowy infrastruktury w mieście, wysoka cena pojazdu, wysoka cena wymiany baterii. W rezultacie pojazdy bateryjne nie mają sensu ekonomicznego.

Elektryczne autobusy wodorowe są na wstępnej fazie dojrzałości technicznej: ogniwa są nietrwałe i wymagają drogich remontów co 5 lat, brak jest dostępnego czystego wodoru w cenie, która chociażby zbliżałaby koszt paliwa do autobusów z silnikiem diesla.

Jedyną szansą na praktyczny autobus elektryczny, który zapewni duży zasięg i względnie niskie koszty eksploatacji to pojazd wyposażony w akumulatory ze stałym elektrolitem. Mogą się one pojawić na rynku nie wcześniej niż w roku 2020, lecz bardzo prawdopodobny wzrost cen energii elektrycznej na poziomie 50-80% do roku 2020 zrówna koszty eksploatacji autobusu elektrycznego z gazowym. Natomiast 2-3 krotnie niższa cena pojazdu gazowego w porównaniu z elektrycznym czyni autobus CNG zdecydowanie najlepszym wariantem zasilania autobusu miejskiego.

Celem dialogu technicznego było ustalenie jakie technologie elektrycznego napędu autobusów, alternatywne względem napędu diesla są dostępne na rynku i jakie są ich cechy w aspekcie użyteczności do zastosowania w najbliższym czasie przy realizacji zadań transportu publicznego w mieście Tarnowie. Procedura Dialogu Technicznego pozwoliła na dokładną prezentację i analizę ofert producentów w aspekcie technicznym, eksploatacyjnym i finansowym w celu przygotowanie się do przyszłych zamówień.

W ostatnich latach obserwujemy bardzo silny światowy trend do przechodzenia na elektryczne zasilanie pojazdów. Trend dotyczy zarówno samochodów osobowych, jak i komunikacji zbiorowej. W przypadku pojazdów osobowych udział pojazdów elektrycznych w sprzedaży jest znikomy – wynosi znacznie poniżej 1% łącznej sprzedaży. Na 95 mln samochodów sprzedanych w 2017 roku na Świecie pojazdy NEV (elektryczne i hybrydy spalinowo-elektryczne typu plug-in) stanowiły 1.2 mln, gdzie



pojazdy czysto elektryczne stanowią ok. połowy produkowanych pojazdów NEV czyli **ok. 0,6% całego światowego wolumenu produkcji samochodów**. Wyjątkiem są kraje, gdzie ten trend jest mocno wspierany przez rząd, np. Chiny lub Norwegia. Tam udział samochodów elektrycznych w sprzedaży (2018) wynosi od 4% (Chiny) do 45% (Norwegia). Wynika to jednak wyłącznie z różnego rodzaju dopłat i zakazów poruszania się pojazdami spalinowymi - Norwegia. Natomiast chiński rząd już od roku 2001 bardzo mocno wspiera rozwój elektro-mobilności przeznaczając na ten cel miliardy dolarów rocznie. Celem Chińczyków jest zdobycie supremacji w światowej motoryzacji przy okazji jej przestawienia się na elektro-mobilność.

Dobrobyt państwa/kontynentu buduje się na dwóch filarach: innowacyjny przemysł produkujący wysoko przetworzone dobra przynoszące wysoką wartość dodaną oraz nadwyżka handlu zagranicznego. **Nadwyżka strefy Euro wynosi w ostatnich latach zależnie od koniunktury od 100-250 mld Euro rocznie, z czego aż 100 mld przynosi branża Automotive** (w strefie Euro eksport samochodów i części jest większy o 100 mld Euro rocznie niż import). Europejskie koncerny samochodowe przez 100 lat zbudowały sobie bardzo silną pozycję (udział w rynku) w Europie i na Świecie w oparciu o silniki spalania wewnętrznego. Chiński plan rozwoju elektro-mobilności, tzw. „pojazdów nowej energii” jest ukierunkowany na przejęcie tego tworzącego się rynku i w rezultacie pokonanie europejskich koncernów, które w efekcie upadną lub zostaną przejęte, gdyż ich naturalna specjalizacja czyli silniki spalania wewnętrznego znikną z rynku. Oznaczałoby to znaczną redukcję dodatniego bilansu handlowego strefy Euro i zubożenie całego kontynentu.

Przewaga konkurencyjna Chin w dziedzinie technologii elektro-mobilnej wynika przede wszystkim z dwóch czynników: posiadają nieporównywalnie większy niż Europa potencjał produkcyjny (niemożliwy już do zbilansowania) oraz są w posiadaniu złóż metali ziem rzadkich w Azji i Afryce (koniecznych do produkcji baterii). Chiński Rząd bardzo mocno wspiera rozwój elektro-mobilności, co naturalnie skutkuje pojawianiem się tam dużego potencjału badawczego w tym zakresie. Efekt zmniejszenia uzależnienia chińskiej gospodarki od ropy oraz zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza w miastach jest efektem „przy okazji”. Chińczycy dofinansowują dla swoich obywateli nawet 70% kosztów nabycia pojazdu, wprowadzili też inne ułatwienia administracyjne. W rezultacie są już bliscy do osiągnięcia założonego w 2009 roku 5% udziału pojazdów elektrycznych w łącznej sprzedaży.

Proces elektryfikacji przebiega znacznie szybciej w przypadku komunikacji zbiorowej, gdyż politycy mają realny wpływ na operatorów rynku komunikacyjnego. Zamiast zachęty stosuje się nakazy, więc przedsiębiorstwa komunikacyjne są zmuszone do zakupu pojazdów o napędzie alternatywnym, w tym elektrycznych np. poprzez brak dofinansowania napędów diesla lub poprzez regulacje ustawowe. Pojawia się też silna presja społeczna wywołana silnym wpływem nieprawdziwych, sponsorowanych informacji prasowych na temat technologii elektro-mobilnych. Zakłamywane lub pomijane są informacje na temat realnych kosztów eksploatacji, wpływu na środowisko czy wyników sprzedaży w innych krajach. Pomimo takiej kampanii rozwój elektro-mobilności w Europie nie przebiega tak szybko, jak wielu by się spodziewało. Jak widać wygrywa rozsądek i rachunek ekonomiczny. Z tego względu rośnie sprzedaż napędów alternatywnych hybrydowych lub gazowych.

W dziedzinie alternatywach napędów elektrycznych dla autobusów mamy dostępne dwie opcje:

- **elektrobus bateryjny** gdzie możemy wydzielić dwa dostępne typy baterii NMC oraz LTO
- **elektrobus z wodorowymi ogniwami paliwowymi**



W poprowadzonym dialogu technicznym skupiliśmy się dwóch powyższych typach, lecz zadawaliśmy również pytania o możliwe inne rozwiązania i warianty, które mogą pojawić się na najbliższej przyszłości.

Autobusy bateryjne

W oparciu o posiadaną wcześniej wiedzę oraz w wyniku przeprowadzonego dialogu technicznego możemy wskazać następujące zalety autobusów elektrycznych bateryjnych:

- **Brak emisji spalin** w przypadku elektrobusu wyposażonego w ogrzewanie elektryczne.
- **Cisza w przestrzeni pasażerskiej** przy niskich prędkościach.

Jednocześnie należy wskazać na następujące wady elektrycznych autobusów bateryjnych:

- **Ogromna, największa ze wszystkich rodzajów napędów emisja zanieczyszczeń** i CO₂ przy pełnej analizie emisji od źródła produkcji prądu do pojazdu w przypadku krajów takich jak Polska, gdzie prąd w 86% produkuje się z węgla.
- **Bardzo niski zasięg** rzędu 50-150 km na jednym ładowaniu, co stanowczo odstaje od minimum 300-350 km koniecznego w komunikacji miejskiej. W wariantcie baterii NMC niski zasięg, powoduje, że do zrealizowania tej samej ilości wozokilometrów konieczny jest zakup 20-30% więcej pojazdów niż wersji diesla. W wariantcie baterii LTO duży dzienny zasięg okupiony jest koniecznością budowy i utrzymania drogiej infrastruktury w mieście.
- **Bardzo wysoka cena zakupu pojazdu** 2 - 3 mln zł, czyli 2-3 razy wyższa niż napędy klasyczne: diesel, CNG.
- **Bardzo wysoka emisja zanieczyszczeń z agregatu grzewczego** zwanego potocznie „Webasto”, który jest użytkowany w większości autobusów elektrycznych w Polsce (praca przez 6 m-cy w roku). **Agregat ten nie posiada żadnego katalizatora spalin!**
- **Wysokie koszty serwisowania pojazdu** i infrastruktury z racji małej konkurencji wśród dostawców.
- **Bardzo wysokie koszty wymiany baterii** (ok. 600.000 zł) w okresie 5-10 lat, czyli znacznie wcześniej od śmierci technicznej całego pojazdu (15-20 lat).
- **Długi czas ładowania** ograniczający dyspozycyjność pojazdu lub konieczność budowy i utrzymywania drogiej infrastruktury w mieście.
- **Ceny energii elektrycznej** w Polsce rosną i będą nadal rosnać. W rezultacie w najgorszym scenariuszu w ciągu 2-3 lat cena prądu może wzrosnąć nawet o 100%, co zaowocuje zrównaniem się kosztów paliwa dla autobusów diesla i elektrycznych. Uwzględniając koszty zakupu pojazdu, koszty infrastruktury i koszty wymiany baterii oznacza to skrajnie niekorzystną relację całkowitych kosztów utrzymania autobusu elektrycznego w porównaniu z napędami klasycznymi – diesel, CNG.

Aktualnie w ofercie producentów autobusów stosowane są dwa rodzaje baterii trakcyjnych: **baterie NMC oraz LTO**, które są dwoma rodzajami baterii litowo-jonowych, które różniące się nieco składem chemicznym, cechami fizycznymi i w następstwie tego cechami użytkowymi. W składzie baterii NMC znajduje się Lit, Nikiel, Mangan i tlenek Kobaltu. Natomiast baterie LTO



zawierają Lit i tlenek Tytanu. Występuje też kilka innych rodzajów baterii litowo-jonowych, lecz ze względu na ich własności fizyko-chemiczne nie znajdują szerokiego zastosowania do napędu pojazdów.

Baterie NMC są 3x tańsze, niż LTO, lecz ich żywotność jest także znacznie mniejsza. Mają też większą gęstość energetyczną, czyli pojemność uzyskiwaną z 1 kilograma wagi – są ok. 3x bardziej efektywne niż LTO pod tym względem. Baterii NMC nie można ładować szybko (dużymi prądami) – wymagają powolnego, kilkugodzinnego ładowania. Taki typ ładowania może odbywać się na zajezdni i nie wymaga kosztowej budowy infrastruktury w mieście (chyba, że postanowimy wybudować miejsca ładowania na pętli z wydzielonymi stanowiskami postojowymi). Koszt ładowarki na zajezdni to ok. 30.000 zł. Koszt autobusu to 2 – 2.5 mln zł.

Baterie LTO z racji małej gęstości energetycznej są znacznie cięższe (przy tej samej pojemności), co bardzo ogranicza maksymalną pojemność możliwą do zainstalowania na autobusie. Są też znacznie droższe w produkcji – ok. 3-krotnie więcej niż baterie NMC. Waga i cena powodują, że w przypadku baterii LTO stosuje się pojemności do 90 kWh (zwykle 50-60 kWh), natomiast NMC osiągają pojemności 200-240 kWh (jedne i drugie w autobusach 12-o metrowych). Można je natomiast ładować szybko (ładowarką o 10-o krotnie większej mocy niż baterie NMC). W rezultacie ładowanie baterii trwa kilka do kilkanaście minut. Są też znacznie trwalsze, tj. bardziej odporne na dużą liczbę cykli ładowania. Pojazdy wyposażone w baterie LTO z racji bardzo małego zasięgu wymagają budowy stanowisk w mieście. Koszt 1 stanowiska szybkiego ładowania na przystanku to ok. **750.000 zł**. Koszt autobusu to 2.5 – 3 mln zł. **W Tarnowie konieczny byłoby zbudowanie minimum 2-3 takich stacji.**

Wszystkie baterie litowo-jonowe w tym NMC i LTO stopniowo wraz z ilością przebytych cykli ładowania tracą swoją pojemność. Uznaje się, że bateria jest zużyta, gdy osiągnie mniej niż 80% swojej pierwotnej pojemności. Baterie LTO są 3x trwalsze niż NMC. Nie ma to jednak większego znaczenie z punktu widzenia użytkownika, gdyż 3x mniejsza pojemność zainstalowana na pojeździe oznacza konieczność 3x częstszego ładowania w ciągu doby, tak więc zużycie baterii następuje w podobnym okresie, gdy chcemy zrealizować założony przebieg dzienny.

Bazując na doświadczeniu własnym i innych firm komunikacyjnych wiemy, że autobus miejski powinien zrealizować 320 km dziennie na 1 tankowaniu/ładowaniu. Pojazdy diesla i CNG realizują takie przebiegi bez najmilszego problemu dysponując nawet 2x większym potencjalnym zasięgiem. Nasze podejście do zagadnienia użyteczności autobusów elektrycznych jest takie same, jak inżynierów z firm Daimler Mercedes-Benz oraz MAN: **oczekujemy jednego ładowania dziennie i realizacji na nim dziennego przebiegu 350 km.**

Aktualnie żaden pojazd elektryczny baterijny nie jest w stanie zrealizować wymaganego przez komunikację miejską przebiegu dziennego – 320 km. Maksimum zasięgu to 160 km w przypadku baterii NMC. Zasięg na bateriach LTO to 66 km.



Poniższe tabela przedstawia wyliczenie trwałości baterii NMC oraz LTO w przypadku realizacji typowych przebiegów w komunikacji miejskiej, czyli **80.000 wozokilometrów rocznie / 220 wzk m dziennie**.

		NMC	LTO		
1.	Średni zasięg dzienny (w oparciu o roczny przeciętny przebieg 80.000 wzk m):	220	220	km	
2.	Pojemność baterii:	240	60	KWh	
3.	Żywotność (80% nominalnej):	3 200	17 000	cykli pełnego ładowania	
4.	Zużycie energii/ 1 km:	1,5	1,5	kWh	
5.	Zasięg na baterii:	$5=2/4$	160	40	km
6.	Ilość cykli ładowania/ dzień	$6=1/5$	1,38	5,5	dla realizacji Średniego zasięgu dziennego
7.	Ilość dni pracy na 1 komplecie baterii	$7=3/6$	2 327	3 091	w ramach żywotności baterii (80% nominalnej)
8.	Ilość lat użytkowania na 1 komplecie baterii	$8=7/365$	7,3	9,7	

Tabela 1 Szacunek okresu trwałości baterii autobusu. Opracowanie własne na podstawie parametrów od producenta baterii BMZ.

W przypadku intensywnego wykorzystywania autobusu, po czasie wskazanym w powyższej tabeli konieczna staje się wymiana baterii na nowe: 7.3 roku dla baterii NMC oraz 9.7 roku dla LTO. **Nowoczesne autobusy miejskie użytkuje się w Polsce 15-20 lat.** Koszt wymiany w przypadku baterii NMC oraz LTO jest porównywalny, tj. ok. 600.000 zł netto. Rzecz jasna nie wszystkie cele w całej baterii ulegają degradacji w tym samym czasie i możliwa jest ich stopniowa wymiana. Nie mniej jednak taka rozciągnięta w czasie wymiana, co najwyżej rozkłada w czasie 2-3 lat i tak nieuchronny proces wymiany całej baterii na nową i poniesienia pełnego kosztu wymiany. **Koszt wymiany baterii na nowe determinuje efektywność używania autobusów elektrycznych. W najlepszym wypadku koszt wymiany baterii pochłonie całe oszczędności na paliwie w porównaniu do jednostek diesla lub CNG, a może być wyższy w przypadku szybszej niż nominalna wymiany baterii.**

Powyższy przykład jest stricte teoretyczny i jest wielkim uproszczeniem, a także ukłonem w stronę pojazdów elektrycznych bateryjnych. W tabeli przyjmujemy **średni przebieg dzienny 220 km**, a wiadomo, że bardzo często potrzeby jest przebieg dzienny ok. 320 km do realizacji którego pojazd elektryczny z bateriami NMC potrzebuje 2-krotnego ładowania w ciągu doby. To skutkuje aż 5-0 godzinnym czasem doładowania w ciągu dnia. Szczególnie w przypadku baterii NMC, która wymaga długiego 5-0 godzinnego ładowania konieczne byłoby ładowanie w ciągu dnia oprócz ładowania nocnego. Oznacza to, że autobus byłby wyłączony na 5 godzin w ciągu dnia, co bardzo ogranicza jego możliwości wykorzystania wyłącznie do ściśle wyselekcjonowanych linii, co jeszcze bardziej zmniejsza jego dyspozycyjność. Innym wyjściem jest dostosowanie rozkładów jazdy do ograniczeń pojazdu elektrycznego zamiast do potrzeb przewozowych pasażerów, co jest wręcz absurdalne, podważając



sens jego użytkowania. W rezultacie ograniczeń technicznych trudno realnie uzyskać tak duży przebieg dzienny autobusu elektrycznego. Taki problem nie występuje w przypadku baterii LTO, jednak autobusy wyposażone w takie baterie koniecznie wymagają systemu szybkich doładowań w mieście, co jest niezmiernie kosztowne (ok. 750.000 zł/ 1 stację) i czasochłonne w budowie (ok. 3 lat na cały proces przetargowo-inwestycyjny).

Należy zwrócić uwagę, że w przypadku LTO wykluczone jest korzystanie z taniego prądu w nocy, gdyż większość pracy pojazdy wykonują ładując się z szybkich ładowarek w mieście! To bardzo podnosi koszty operacyjne użytkowania pojazdu.

Autobusy wodorowe

Niewątpliwie wodór ma potencjał i być może przyszłość jako nośnik najczystszej energii. Niewątpliwe zalety autobusu wodorowego to:

- **Prawdziwa zero-emisyjność.** Rzecz jasna jest to stwierdzenie nie do końca prawdziwe z racji produkcji taniego wodoru z metanu w procesie reformingu parowego, który oznacza dużą emisję CO₂.
- **Rozsądny zasięg** 400-500 km/ 1 tankowaniu
- **Szybkie tankowanie:** 2-3 minuty

Niestety takie pojazdy mają też znaczące wady:

- **Bardzo wysoka cena zakupu** wynikająca z kosztów ogniwa paliwowego i stopnia skomplikowania konstrukcji całego pojazdu.
- **Brak stacji wodorowych.**
- **Bardzo wysoka cena wodoru.**
- **Trudności w pozyskaniu wodoru o odpowiedniej czystości, tj. 99,999%.** Taki wodór wymaga instalacji do oczyszczania wodoru, którą w Polsce planuje zbudować grupa LOTOS. Inną opcją (na razie teoretyczna) jest pozyskiwanie wodoru w wyniku elektrolizy wody, ale to wymaga pozyskania „darmowego” prądu z OZE w godzinach poza szczytem energetycznym, gdyż prąd ze źródeł konwencjonalnych jest zbyt drogi i cena wodoru będzie zbyt droga.
- **Stopniowa degradacja ogniwa** wymuszająca jego drogie naprawy. W teoretycznych założeniach konstrukcyjnych ogniwa paliwowego jest ono niezniszczalne. Jednak w realnym użytkowaniu z racji używania wodoru, który nie jest idealnie czysty oraz wykorzystania tlenu z atmosfery zgodnie z informacjami od producentów ogniwa konieczny jest remont ogniwa po ok. 5 latach użytkowania.
- **Niebezpieczeństwo w razie rozszczelnienia.** Wodór przechowywany jest w butlach pod ciśnieniem 700 bar (dla porównania CNG to 200 bar). Tak duże ciśnienia i właściwości wodoru do przenikania przez różne substancje wymuszają wielką precyzję wykonania instalacji, co pociąga też za sobą koszty. Nie da się jednak uniknąć ryzyka rozszczelnienia. Problemem jest **granica wybuchłości wodoru z kontakcie z powietrzem, która wynosi od 4.1% do 74.2% stężenia w powietrzu.** Dla porównania w przypadku metanu (używanego w napędzie CNG) wynosi ona od 5.3% do 14%.



Autobusy wodorowej to aktualnie pojazdy eksperymentalne. Tylko kilka firm wyprodukowało kilka sztuk takich autobusów, które są testowo użytkowane w Europie. Zarówno cena pojazdu ok. 4 mln zł, jak i cena wodoru ok. 40 zł za 1 kg powodują, że te pojazdy należy traktować jako eksperyment. Trwają jednak wysiłki nad obniżką ceny wodoru do 20 zł za 1 kg. Ponieważ taki autobus zużywa średnio ok. 7 kg wodoru osiągnięcie ceny 20 zł/ 1kg będzie oznaczało dopiero zrównanie kosztów paliwa na 100 km z kosztami klasycznego autobusu diesla. **Ujawniony podczas Dialogu Technicznego dodatkowy koszt remontu ogniwa po 5 latach użytkowania za kwotę ok. 250.000 zł czyni wraz z wcześniej wspomnianą ceną zakupu pojazdu i kosztami paliwa projekt autobusu wodorowego kompletnie nieracjonalny ekonomicznie.**

Poniżej przedstawiam porównanie podstawowych czynników kosztowych w czasie cyklu życia produktu (autobusu) dla napędu konwencjonalnego oraz napędów alternatywnych: CNG, elektryczne NMC, elektryczne LTO oraz wodorowy. Pomijam koszty napraw, które są porównywalne, tj. aktualnie materiały eksploatacyjne do autobusów elektrycznych są droższe niż w przypadku diesla czy CNG, lecz należy oczekiwać spadku tych kosztów po zwiększeniu się konkurencji na rynku. Jednak trudno to dzisiaj oszacować, podobnie jak koszty obsługi autobusów wodorowych.

WARIANT ZAKUPU 100% WŁASNE ŚRODKI

	Diesel	CNG	Elektryczny NMC	Elektryczny LTO	Wodorowy
1. Cena zakupu	900 000 zł	1 000 000 zł	2 000 000 zł	2 500 000 zł	3 000 000 zł
2. Cena paliwa	3,80 zł	2,28 zł	0,45 zł	0,45 zł	20,00 zł
3. Zużycie	36 litrów	50 m ³	150 kWh	150 kWh	7 kg
4. Koszt paliwa/ 100 km	136,8 zł	114,0 zł	67,5 zł	67,5 zł	140,0 zł
5. Koszt paliwa/ 1 mln wzk	1 368 000 zł	1 140 000 zł	675 000 zł	675 000 zł	1 400 000 zł
Koszty napraw specyficznych dla technologii napędu					
6. Filtry DPF	80 000 zł				
7. Baterie (1 wymiana w ciągu życia autobusu 15 lat)			600 000 zł	600 000 zł	
8. Regeneracja ogniwa paliwowego					500 000 zł
RAZEM 1 + 5 + 6 + 7 + 8	2 348 000 zł	2 140 000 zł	3 275 000 zł	3 775 000 zł	4 900 000 zł

WARIANT ZAKUPU DOTACJA 85%

	Diesel	CNG	Elektryczny NMC	Elektryczny LTO	Wodorowy
1. Cena zakupu	135 000 zł	150 000 zł	300 000 zł	375 000 zł	450 000 zł
2. Cena paliwa	3,80 zł	2,28 zł	0,45 zł	0,45 zł	20,00 zł
3. Zużycie	36 litrów	50 m ³	150 kWh	150 kWh	7 kg
4. Koszt paliwa/ 100 km	136,8 zł	114,0 zł	67,5 zł	67,5 zł	140,0 zł
5. Koszt paliwa/ 1 mln wzk	1 368 000 zł	1 140 000 zł	675 000 zł	675 000 zł	1 400 000 zł
Koszty napraw specyficznych dla technologii napędu					
6. Filtry DPF	80 000 zł				
7. Baterie (1 wymiana w ciągu życia autobusu 15 lat)			600 000 zł	600 000 zł	
8. Regeneracja ogniwa paliwowego (2 krotnie w ciągu życia autobusu 15 lat)					500 000 zł
RAZEM 1 + 5 + 6 + 7 + 8	1 583 000 zł	1 290 000 zł	1 575 000 zł	1 650 000 zł	2 350 000 zł

Tabela 2 Podstawowe czynniki kosztowe w czasie cyklu życia pojazdu. Obliczenia własne.



Analiza powyższej tabeli pokazuje, że **autobus elektryczny może mieć sens w stosunku do pojazdu diesla wyłącznie w wariantcie NMC i pod warunkiem otrzymania dofinansowania zewnętrznego na poziomie co najmniej 85%**. Jednak ze względu na ograniczone środki finansowe w każdym konkursie, wariant zakupów autobusów elektrycznych oznacza z racji wysokiej ceny jednostkowej 2-3 krotne zmniejszenie ilości wymienianych jednostek, co jest niekorzystne dla nowoczesności całego taboru i dla efektu ekologicznego w mieście, gdyż oznacza wolniejszą wymianę taboru i konieczność dłuższego użytkowania przestarzałych jednostek.

Należy zwrócić uwagę na rosnące ceny energii elektrycznej. Jest bardzo prawdopodobny wzrost ceny prądu o 50-80% w ciągu 2-3 lat. Jeżeli zaprognozujemy wzrost o 50% do roku 2020 r. osiągniemy na bazie takiej ceny w wariantcie dofinansowania 85% **całkowity koszt życia autobusu elektrycznego NMC w kwocie 1.912 tys. zł** (zamiast 1.575 tys. zł przy obecnych cenach) przy **całkowitych kosztach życia autobusu CNG 1.290 tys. zł**, co oznacza aż blisko 50% wyższe koszty dla autobusu elektrycznego niż gazowego.

Rozwiązania na przyszłość

Bardzo wiele laboratoriów i start-up'ów pracuje nad opracowaniem nowego rodzaju baterii, które eliminowałyby podstawowe wady obecnych baterii litowo-jonowych, którymi są: wysoka waga, a co za tym idzie mała gęstość energetyczna, długi czas ładowania, szybki spadek pojemności wraz z kolejnymi cyklami ładowania, nieodporność na zmianę temperatury otoczenia/pracy, wysoka cena baterii, konieczność wymiany po kilku latach.

Jest bardzo wiele doniesień na temat zupełnie nowych rozwiązań konstrukcji baterii, lecz wczesne fazy rozwoju wykluczają ich wcześniejszą komercjalizację niż za 10 lat. Nie można ich więc brać pod uwagę poważnie przy planowaniu realnych rozwiązań dla Tarnowa.

Na tym tle zdecydowanie przebija się potwierdzona oficjalnie przez koncerny Toyota (dla aut osobowych) oraz Daimler Mercedes-Benz (dla autobusów) **technologia baterii litowo-jonowych ze stałym elektrolitem**. Oba koncerny prowadzące własne prace na ten temat potwierdziły wprowadzenie do oferty komercyjnej pojazdów z bateriami ze stałym elektrolitem (*solid state battery*) **na rok 2020**. W tym samym kierunku od wielu lat pracują inne koncerny, np. Nissan-Renault, Honda, BMW, Hyundai, Samsung i inne.

Takie baterie są 2-3 krotnie bardziej pojemne, tj. uzyskuje się 2-3 krotnie większą gęstość energetyczną niż NMC, pozwalają na szybkie ładowanie i są trzykrotnie trwalsze. Mogą też pracować w dużym zakresie temperatur -50 do +100 st. C, a także są bezpieczne w przypadku uszkodzenia. Dzięki wyeliminowaniu łatwopalnego, płynnego elektrolitu można zrezygnować z systemów bezpieczeństwa i chłodzenia stosowanych w bateriach NMC i LTO, co przyczyni się do redukcji kosztów.

Powyższe informacje są bardzo wiarygodne, a fakt, że koncerny pracują nad bateriami ze stałym elektrolitem od wielu lat pozwala wierzyć, że data komercjalizacji w okresie 2020-2025 jest bardzo realna.



Autobus miejski wyposażony w baterie ze stałym elektrolitem o pojemności 500 kWh będzie w stanie bez problemu zrealizować dzienny przebieg 320 km. Jednokrotne ładowanie w nocy nie wpływa na dyspozycyjność pojazdu względem napędów klasycznych. Takie nocne ładowanie najtańszym prądem wpłynie pozytywnie na koszty eksploatacji w stosunku do dzisiejszych konstrukcji elektrycznych. Brak systemu chłodzenia baterii wyeliminuje głośne dzisiejsze systemy chłodzenia baterii i obniży koszt wytworzenia. Podaje się, że baterie ze stałym elektrolitem są odporne na 10.000 – 12.000 cykli ładowania, co z łatwością zapewni ich trwałość przez cały cykl życia autobusu wynoszący 15 lat.

Ze względu na powyższe w najbliższych latach najlepszym rozwiązaniem napędu autobusów miejskich w Tarnowie jest technologia CNG. Zakup autobusów elektrycznych należy poważnie rozważyć po pojawieniu się w ofercie producentów autobusów elektrycznych z bateriami ze stałym elektrolitem.

Opracował:

Jerzy Wiatr

Prezes Zarządu MPK TARNÓW SP. Z O.O.