



Cała stawka autobusów biorąca udział w tegorocznym Bus Euro Test w Brukseli

Zbigniew Rusak

## Bus Euro Test 2016 w Brukseli, czyli „Umarł Diesel. Niech żyje elektryczność”

*Jak co roku, w jednym z europejskich miast organizowany jest test, który ma wyłonić najlepszy autobus roku. Tytuł „International Bus and Coach of the Year” przyznawany jest przez grupę 22 dziennikarzy-profesjonalistów, specjalizujących się w technice autobusowej. W tegorocznym Bus Euro Test wzięło udział 5 producentów z Niemiec, Belgii, Holandii, Hiszpanii i Polski, którzy zaprezentowali najnowsze trendy w rynkowej ofercie autobusów miejskich, dostępnych w Europie. W niniejszym artykule przedstawiono charakterystykę techniczną i eksploatacyjną testowanych autobusów.*

Gdy w 2006 r., podczas konferencji prasowej towarzyszącej premierze autobusu hybrydowego Solaris Urbino Hybrid 12 w Hanowerze, Krzysztof Olszewski wypowiedział znamienne słowa „Umarł Diesel. Niech żyje elektryczność”, wielu specjalistów było zasko-

czonych, uważając, że jeszcze przez wiele dziesięcioleci autobus elektryczny nie wejdzie do produkcji seryjnej i nawet w sektorze autobusów miejskich nie będzie stanowił poważnej alternatywy dla autobusów z silnikami spalinowymi. Przypomniano, że poprzednio nowe standardy napędu dla autobusów miejskich miały wyznaczać gaz ziemny i wodór, a od lat nic się nie zmieniło, nawet przy mocno zastrzegających się wymaganiach dotyczących czystości spalin. Jeden z dziennikarzy zadał pytanie współwłaścicielowi Solarisa dlaczego uważa, że rozpoczęła się era elektromobilności. W odpowiedzi usłyszał, że w wielu miastach świata, autobus elektryczny, jakim jest także trolejbus to równoprawny uczestnik ruchu, a jedyną barierą wprowadzenia autonomicznych autobusów bezemisyjnych na szerszą skalę stanowi aktualny rozwój technologiczny baterii. Obecnie, po dziesięciu latach, autobusy elektryczne wpisały się na stałe w krajobraz ulic światowych metropolii. Większość producentów ma w swojej ofercie całą paletę autobusów elektrycznych obejmujących zarówno pojazdy klasy midi, autobusy dwunastometrowe, jak i autobusy przegubowe. Szacuje się, że na wszystkich kontynentach (poza Afryką i Antarktydą) eksploatowanych jest łącznie ponad 1000 autobusów elektrycznych. To niewiele biorąc pod uwagę, że na świecie eksploatowanych jest łącznie 730 tys. autobusów miejskich [1]. To także niewiele porównując tę liczbę z 40 tys. trolejbusów [4]. Nie można jednak zapominać, że dynamiczny rozwój autobusów elektrycznych rozpoczął się dopiero na początku tej dekady, chociaż pierwszy bateryjny autobus elektryczny konstrukcji Thomasa Edisona zbudowano już w 1915 r.

Ciągłe pogarszająca się jakość powietrza w miastach powoduje, że nieustannie poszukuje się nowych rozwiązań w zakresie ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>, w tym także w sektorze transportu. Oczekiwania w tym zakresie zawarto m.in. w europejskiej polityce transportowej [2, 3]. Jednym z celów szczegółowych sformułowanych przez Komisję Europejską jest zmniejszenie o połowę liczby samochodów z napędem konwencjonalnym (pojazdy niehybrydowe z silnikami spalinowymi) w miastach do 2030 r. i całkowite wyeliminowanie takich pojazdów z ruchu miejskiego do 2050 r. Nic więc dziwnego,



Testy autobusów prowadzone były w normalnym ruchu miejskim

że Bus Euro Test przeprowadzony w br. w Brukseli został zdominowany przez autobusy z napędem alternatywnym, w tym głównie przez autobusy elektryczne. Do współzawodnictwa o tytuł *International Bus of the Year 2017*, przystąpiło 5 producentów, w tym Ebusco z Holandii, Irizar z Hiszpanii, Mercedes-Benz z Niemiec, polski Solaris Bus & Coach oraz belgijski Van-Hool, którzy zaprezentowali dwunastometrowe, niskopodłogowe autobusy miejskie (Ebusco 2.01, Irizar i2e i Solaris newUrbino 12 Electric). Wyjątkiem w tej stawce był Van-Hool, który zaprezentował przegubowy autobus elektryczny Exqui.City 18, wyprodukowany dla HVV Hamburg oraz Mercedes-Benz prezentujący kolejną wersję Citaro C2, tym razem napędzaną nowym silnikiem CNG. W niniejszym artykule przedstawiono charakterystykę testowanych pojazdów w zestawieniu z trendami, jakie obecnie panują na rynku autobusowym.

## Nadwozie

Należy przyznać, że nadwozia autobusów miejskich już od dawna nie kojarzą się z kanciastymi pudełkami o prostych liniach. Startując w belgijskim teście producenci pokazali zarówno konstrukcje projektowane od początku pod kątem zastosowania napędu elektrycznego (Ebusco, Irizar i Van-Hool), jak również pojazdy będące odmianą, produkowanych na szeroką skalę autobusów napędzanych silnikiem Diesla (Solaris newUrbino). Do tej grupy można także zaliczyć Mercedesa Citaro C2 NGT, napędzanego gazem ziemnym. Pod względem stylistycznym wszystkie zaprezentowane autobusy dzieli niemal 20 lat.

Najbardziej interesującym i najbardziej futurystycznym pojazdem był Van-Hool Exqui.City 18 dla Hamburga. Testowany pojazd jest przedstawicielem całej rodziny autobusów, skonstruowanych pod kątem obsługi systemów BRT. Exqui.City oferowany jest zarówno jako autobus przegubowy o długości 18,6 m, jak również jako dwuprzegubowy autobus o długości 23,82 m. Pojazd jest przystosowany zarówno do zabudowy napędu hybrydowego, czy elektrycznego, jak również napędu z wykorzystaniem ogniw paliwowych. Autobus bez względu na wersję wyróżnia się awangardową linią nadwozia, z mocno pochyloną szybą przednią, nisko poprowadzoną dolną linią okien, stałymi pokrywami kół osi napędowych: środkowej i tylnej oraz oryginalnymi pokrywami kół przednich, mocowanych bezpośrednio do piast. Tak, jak w większości konstrukcji autobusów elektrycznych i hybrydowych, gro aparaty wyniesiono na dach, co determinowało zaprojektowanie odpowiednich pokryw dachowych. W Exqui.City wszystkie pokrywy dachowe są ściśle zintegrowane z pozostałą częścią nadwozia. Ma to wpływ na wysokość pojazdu. Exqui.City był najwyższym pojazdem z całej stawki testowa-

nych pojazdów. Jego całkowita wysokość wynosi 3,4 m. Mimo to, dzięki zachowaniu prawidłowych proporcji pomiędzy elementami obładowania, a elementami oszklenia (szyby o 30% wyższe niż w przypadku autobusów serii A330), bryła pojazdu jest w miarę lekka i przyjemna dla oka. Elementem, który wyróżnia wszystkie pojazdy adresowane do obsługi BRT są m.in. podwójne, dwuskrzydłowe drzwi, w przednim członie, zlokalizowane pomiędzy osiami, które znacznie skracają czas postoju na przystankach. W wersji dla Hamburga, pozostawiono jednak klasyczny układ drzwi 1-2-2-2, powszechnie stosowany w autobusach przegubowych. Bryła nadwozia została zoptymalizowana pod kątem zmniejszenia oporów aerodynamicznych. Oprócz niskiego oporu aerodynamicznego, mocno zaokrąglone boki przedniej i tylnej ściany, istotnie ułatwiają manewrowanie długim pojazdem w ciasnych ulicach, co miało istotne znaczenie przy pokonywaniu trasy testowej wyznaczonej pomiędzy zajezdnią Haren, a węzłem przesiadkowym bus-tramwaj-kolej Schaerbeek. W zamierzeniach konstruktorów Exqui.City ma łączyć w sobie elastyczność autobusu, zdolność przewozową tramwaju i komfort oraz ekologię trolejbusu. Pewne obawy budzi jednolity pas podokienny przedniej części nadwozia, który w przypadku nawet drobnych kolizji generował będzie wysokie koszty napraw. Patrząc na sylwetkę pojazdu, trudno oprzeć się wrażeniu, że nawiązuje on *designem* do konstrukcji tramwajowych. Nawiązanie do tramwaju nie ogranicza się tylko i wyłącznie do *designu*, lecz również dotyczy ceny pojazdu, która oczywiście jest niższa niż cena pojazdu szynowego, jednak znacznie przewyższa niż inne konstrukcje autobusów przegubowych. Van-Hool to najcięższy z testowanych pojazdów. Jego masa własna wynosi około 19,5 t, chociaż baterie zapewniają jedynie 190 km zasięgu.

Autobusem skonstruowanym od podstaw pod kątem zastosowania napędu elektrycznego jest także Irizar i2e. Jednak w odróżnieniu od Van-Hoola przyjęto założenie, że ma on być przeznaczony do obsługi typowych linii miejskich. Pojazd ten jest elementem całej polityki hiszpańskiej firmy wejścia w sektor autobusów miejskich. Obok opracowania nowej konstrukcji autobusu, podjęto decyzję o równoległym rozwoju elementów infrastrukturalnych niezbędnych do eksploatacji pojazdów elektrycznych, takich jak stacje ładowania czy oprogramowanie do zarządzania energią. Do



Tyłna część nadwozia z charakterystycznie ściętymi krawędziami ściany tylnej



Stylistyka Van-Hool Exqui.City bardziej kojarzy się z tramwajem niż z autobusem



Stylistycznie Irizar i2e bazuje na niskowejściowych autobusach i3 i i4. Wysoko poprowadzona linia dachu powoduje, że trudno się zorientować, że mamy do czynienia z autobusem elektrycznym

końca 2016 r. Irizar wybuduje w Aduna oddzielną fabrykę o powierzchni 36 750 m<sup>2</sup>, w której montowane będą nowe autobusy – początkowo 2 pojazdy dziennie. Uruchomienie nowej fabryki planowane jest na 2018 r.

Irizar i2e, swoją stylistyką nawiązuje do niskowejściowego autobusu Irizar i3, który został wprowadzony do produkcji w 2012 r. Charakterystycznymi elementami nowego pojazdu są duża szyba czołowa, obejmująca także świetlik tablicy kierunkowej, owalna obudowa przedniej części dachu stanowiąca aerodynamiczną osłonę agregatu klimatyzacji i zestawu baterii, łezkowate reflektory i lampy tylne w technologii LED oraz szyba tylna w kształcie obróconego trapezu. To właśnie zaokrąglone zakończenie ściany przedniej powoduje, że kształt nowego pojazdu bardziej kojarzy się z autobusem międzymiastowym niż z typowym autobusem miejskim. Uwzględniając fakt, że nowy pojazd ma być napędzany



Pod względem designu, Ebusco 2.1 kojarzy się z chińskim autobusem Golden Dragon Pivot



Tylna część nadwozia. Z lewej strony pokrywy silnika widoczna klapka łączą plug-in

silnikiem elektrycznym i wyposażony został w układ gromadzenia energii, duży nacisk położono na obniżenie masy własnej nadwozia przy jednoczesnym wzmocnieniu jego sztywności i wytrzymałości. Struktura nośna wraz z poszyciem to kompilacja stali, aluminium i tworzyw sztucznych. Grupa podłogowa została wykonana ze stali konstrukcyjnej o podwyższonej jakości. Opcjonalnie oferowane będą także autobusy, w których element ten wykonany będzie

ze stali nierdzewnej, głównie na rynkach północnej i centralnej Europy. Pozostała konstrukcja nośna oraz całe poszycie ścian bocznych i dachu zostało wykonane z aluminium, natomiast ściana czołowa i tylna z tworzywa sztucznego wzmocnianego włóknem szklanym. Podszycie ściany przedniej podzielono na 5 części, co ułatwia naprawę pojazdu w przypadku niewielkich otarć. Struktura nadwozia w pełni spełnia wymagania nowego regulaminu dotyczącego jego sztywności ECE R66.01, który wchodzi w życie z dniem 1 stycznia 2017 r. Większa wytrzymałość konstrukcji nośnej ma umożliwić zabudowę możliwie jak największej liczby komponentów na dachu autobusu. Ma to przełożenie na zastosowanie znacznie szerszych słupków międzyokiennych. Ich szerokość jest niemal dwukrotnie większa niż w pozostałych autobusach i wynosi 21 cm. Mimo zabudowy osprzętu na dachu, wysokość Irizara nie przekracza 3 200 mm. Tym samym jest to jeden z niższych autobusów tego typu, co ma istotne znaczenia przy eksploatacji w miastach z rozbudowaną infrastrukturą kolejową lub na obszarach górskich z dużą liczbą niewysokich wiaduktów lub tuneli. Irizar i2e oferowany jest obecnie jako autobus dwunastometrowy w wersji dwu- lub trzydrzwiowej. W najbliższym czasie oferta firmy zostanie rozszerzona także o autobus przegubowy z napędem elektrycznym.

Autobusem, który od początku projektowany był jako autobus elektryczny jest holenderski Ebusco. Wersja 2.1, testowana w Brukseli, to już model trzeciej generacji, chociaż zakłady produkcyjne w Helmond opuściło łącznie tylko 20 pojazdów. Stylistyką, autobus nawiązuje do autobusów miejskich końca ubiegłego stulecia. Wysoko poprowadzona dolna linia okien, duża liczba słupków bocznych (aby uzyskać odpowiednią wytrzymałość dachu), duża liczba pokryw przeglądowych oraz umieszczanie poszczególnych komponentów w oddzielnych skrzyniach aparaturowych powoduje, że autobus wygląda bardzo masywnie. Jego sylwetka kojarzy się bardziej z klasycznym autobusem, który został dostosowany do napędu



Jednym z charakterystycznych elementów jest nowy kształt przednich reflektorów z lampami w technologii LED

elektrycznego. Konstrukcja autobusu powstała przy współpracy z chińskim potentatem w zakresie produkcji autobusów – firmą Golden Dragon. Podobnie jak w pozostałych przypadkach, nadwozie zbudowane jest ze stali konstrukcyjnej o podwyższonej jakości, aluminium i tworzyw sztucznych. W konstrukcji szkieletu wykorzystano technologię międzynarodowego koncernu Alcan Rio Tinto (do 2000 r. Alusuisse). Obecnie Ebusco 2.1. oferowane jest tylko i wyłącznie jako autobus dwunastometrowy w wersji dwu- lub trzydrzwiowej.

Chociaż nadwozie Solarisa New Urbino electric jest tylko jedną z odmian szerokiej gamy modeli autobusów miejskich, to sprawia wrażenie jakby było od początku projektowane pod kątem zastosowania napędu elektrycznego. I rzeczywiście tak było. Projektując nową generację autobusów z Bolechowa, konstruktorom postawiono zadanie takiego ukształtowania górnej części nadwozia, aby można ją było łatwo przystosowywać do różnego rodzaju zabudowy, w zależności od wersji układu napędowego, przy jednoczesnym założeniu, że wszystkie elementy dachowe będą w pełni zintegrowane z pozostałą częścią nadwozia. Nowy pas nadokienny nie jest jednolity, lecz jest zestawem kilku elementów z wydzieloną strefą świetlika bocznej tablicy kierunkowej oraz osłony agregatu klimatyzacji. Linie poszczególnych elementów zaokrąglono krzywiznami, jakie zostały zastosowane przy dolnej krawędzi przedniej szyby, nadkolach i pokrywie silnika. Nowa koncepcja ukształtowania pasa nadokiennego umożliwia tym samym łatwe aplikowanie w konstrukcji, nowych elementów, takich jak pokrywy butli na gaz w autobusach gazowych, czy aparatury elektroenergetycznej w autobusach z napędem hybrydowym i elektrycznym. Efekt tych działań jest doskonały, porównując klasyczne Urbino z napędem Diesla, z wersją elektryczną i gazową. Każda z wersji wyróżnia się oryginalnym *designem* i sprawia wrażenie jednolitej całości, pozbawionej różnego rodzaju dodatkowych elementów. Należy podkreślić, że mimo podwyższenia wysokości pojazdu o 345 mm do poziomu 3 300 mm, w dalszym ciągu utrzymano właściwe proporcje nadwozia.

Dzięki zastosowaniu ostrych krawędzi, nadwozie nowego Urbino stało się bardziej agresywne i dynamiczne. Proste, ostre i zdecydowane linie w połączeniu z asymetryczną szybą przednią i charakterystycznie ukształtowanym pasem ponad szybami bocznymi powodują, że nowy autobus staje się z daleka rozpoznawalny. Na przedniej ścianie powiększono szybę czołową, która nadaje lekkości całej bryle pojazdu bez względu na jej wysokość. Obok Mercedesa, Solaris jest jedynym autobusem, w którym we wszystkich reflektorach zastosowano technologię LED. Szczególnie dotyczy to świateł drogowych i mijania, gdzie zestaw lamp LED, zastąpił



Bryła Solarisa newUrbino 12 electric z charakterystycznym pasem nadokiennym i zintegrowaną osłoną aparatury elektroenergetycznej

lampsy ksenonowe. Tak, jak w Irizarze i Mercedesie Citaro, także w Solarisie pozostawiono trzyczęściowy zderzak przedni, minimalizujący koszty wymiany uszkodzonych elementów podczas stłuczki. Innymi charakterystycznymi elementami nowego nadwozia są oryginalnie ukształtowane nadkola oraz dzielone panele z tworzywa sztucznego montowane metodą *skin-on-skin*. Metamorfozie uległa także tylna ściana, w której kształt pokryw zharmonizowano z autobusami InterUrbino. W odróżnieniu od konkurentów, konstrukcja szkieletu bazuje na stali nierdzewnej. W porównaniu z poprzednią generacją masa własna autobusu została obniżona o 720 kg. Całkowicie przeprojektowano grupę podłogową, w której stalowa płyta stała się elementem nośnym konstrukcji. Zaprojektowano nowe wręgi oraz ich połączenia podłużnicami tak, aby spełnić wymagania normy ECE R66.01, wchodzącej w życie od 1 stycznia 2017 r. Montaż zewnętrznych elementów, wykonanych z aluminium i tworzyw sztucznych realizowany jest w technologii *skin-on-skin*, która ułatwia wymianę uszkodzonych elementów w trakcie napraw powypadkowych. Dzięki tej technologii struktura nadwozia ma charakter warstwowy.

Ostatnim z całej stawki testowanych pojazdów był Mercedes Citaro C2 NGT z napędem na sprężony gaz ziemny. Mimo ewolucyjnych zmian w porównaniu z poprzednią generacją, nadwozie tego pojazdu zawsze wyróżnia się w porównaniu z konkurencyjnymi konstrukcjami. W dalszym ciągu najbardziej charakterystycznym elementem nadwozia jest duża, jednolita szybą czołową zintegrowana poprzez słupki „A” z trójkątnymi szybami bocznymi ułatwiającymi kierowcy obserwację drogi podczas podjazdu na przystanek. W nowym C2 o 120 mm obniżono dolną linię okien, która niemal styka się z górną linią nadkoli, co w jeszcze większym stopniu nadaje lekkości całej bryle pojazdu. Nowymi elementami stylistycznymi nadwozia są zintegrowane reflektory przednie w technologii LED, słupki A zachodzące na dach oraz charakterystyczne przetłoczenia ponad nadkolami. Citaro C2 było pierwszym pojazdem, w którym zoptymalizowano konstrukcję nośną pod kątem zwiększenia jej sztywności i obniżenia masy. Wprowadzono nowe elementy łączące podłużnice kratownicy, tzw. „grippy”, które wykonane zostały jako jednolite odkuwki spawane laserowo. Pozwoliło to na zmniejszenie liczby spawów i przesunięcie spoin



Mercedes-Benz Citaro C2 NGT

poza główne węzły obciążenia. Przy zmniejszeniu masy całej konstrukcji, uzyskano znacznie wyższą sztywność nadwozia. Nadwozie z zapasem spełniało wymagania bezpieczeństwa określone w nowym regulaminie ECE R66.01 na 5 lat przed wejściem jego w życie. Innym rewolucyjnym rozwiązaniem jest wprowadzenie specjalnego wzmocnienia płyty podłogowej na zwisie przednim (*Front Collision Guard*), która chroni kierowcę, przed skutkami zderzeń czołowych. W C2 zastosowano poszycie boczne z aluminium, natomiast ściany przednią i tylną z tworzyw sztucznych. Dodatkowe kilogramy ujęto także dzięki zastosowaniu nowego systemu poręczy wykonanych z aluminium. Obok obniżenia masy o ok. 600 kg, wszystkie wspomniane wyżej rozwiązania wpłynęły także na zwiększenie trwałości samego nadwozia. Choć konstrukcja nośna C2 zbudowana jest ze stali konstrukcyjnej o podwyższonej jakości to jej wysoka trwałość gwarantowana jest poprzez całkowite zabezpieczenie antykorozyjne nadwozia w procesie kateforezy zanurzeniowej. Zwiększenie sztywności pozwoliło bez większych przeróbek konstrukcyjnych zamontować na dachu pojazdu zestaw butli na sprężony gaz ziemny. Niemniej w odróżnieniu od pozostałych kon-



Charakterystycznym elementem Citaro NGT jest obudowa butli, zamontowana na dachu pojazdu. Fot. Daimler

strukcji obudowa butli stanowi dodatkowy element zamontowany na dachu pojazdu.

Masa własna pojazdów jest porównywalna i oscyluje w granicach 13 500 kg. Jedyne Citaro C2 NGT jest lżejszy od swoich elektrycznych konkurentów o 650–1000 kg, co ma bezpośrednio przełożenie na największą pojemność wśród autobusów dwunastometrowych.

Należy jednak podkreślić, że wysoka masa własna autobusów elektrycznych wynika z zastosowania największych pakietów baterii umożliwiających osiągnięcie zasięgu pomiędzy ładowaniami na poziomie 250–300 km. Jak już wspomniano najcięższym pojazdem w całej stawce pojazdów był przegubowy Van-Hool, którego masa własna z pakietem baterii umożliwiających pokonanie na jednym ładowaniu 120 km wynosi aż 19 500 kg.

Obecnie ścierają się różne tendencje w zakresie konstrukcji nadwozia autobusów elektrycznych. Głównym podobieństwem jest wykorzystanie w budowie nadwozia tych samych materiałów czyli kompilacji stali konstrukcyjnej o podwyższonej jakości, aluminium i tworzyw sztucznych. Jedyne Solaris, w dalszym ciągu w strukturze nośnej, wykorzystuje zamiast stali konstrukcyjnej, stal nierdzewną. Na pewno pod względem serwisowym, największą dostępność części zamiennych gwarantują konstrukcje wytwarzane masowo, a więc opierające się na konstrukcji konwencjonalnych autobusów napędzanych silnikiem Diesla. Dotyczy to przede wszystkim Solarisa, a także porównywanego z autobusami elektrycznymi, gazowego Mercedes. Już te przykłady pokazują, że autobusy projektowane jako kolejne odmiany pojazdów bazowych, pod względem *designu* są równie interesujące, jak autobusy z nadwoziem dedykowanym.

## Jednostka napędowa i systemy zasilania

Większość testowych autobusów, jak już wspomniano, to pojazdy elektryczne. Trudno więc było znaleźć jednostkę silnikową po podniesieniu tylnej pokrywy. Większość producentów zdecydowała się na zastosowanie pojedynczego elektrycznego silnika asynchronicznego o mocy ciągłej od 180 do 225 kW, z którego moment napędowy przenoszony był na klasyczną oś portalową ZF. W Van-Hoolu zabudowano aż 2 silniki, każdy o mocy 160 kW, które napędzały odpowiednio oś środkową i tylną. Rozwiązanie z silnikiem centralnym upraszcza konstrukcję pojazdu, jednak powoduje, że we wnętrzu pojazdu poza nadkolami kół, muszą pojawić się dodatkowe podesty, kryjące silnik i wał napędowy. Jedyne Solaris zdecydował się na zabudowę specjalistycznej osi portalowej ZF AVE-130 z dwoma silnikami o mocy 125 kW, zabudowanymi w piastach kół. W przypadku Mercedes, jednostką napędową był najnowszy silnik gazowy M936, spełniający normę czystości



W autobusach elektrycznych, po otwarciu tylnej ściany można zobaczyć jedynie blok baterii i czasami moduł zarządzania energią

spalin Euro 6, o pojemności 7,7 dm<sup>3</sup> i mocy 222 kW. W porównaniu z silnikiem poprzedniej generacji OM 447 hLAG, zmniejszeniu uległa pojemność skokowa silnika, masa o 15% i emitowany hałas, który jest niższy o 4 dB(A) w porównaniu z silnikiem Diesla. W testowanym pojeździe silnik zestrojono z automatyczną skrzynią biegów Voith DIWA.6. Parametry zamontowanych silników pozwalały rozpędzić dwunastometrowe autobusy elektryczne Solarisa i Irizarza do prędkości 50 km/h w niespełna 10 s. Przegubowe Exqui.City, które było cięższe o blisko 6 t w porównaniu z pozostałymi konkurentami potrzebowało 3 s więcej. Taki sam czas rozpędzania jak Van-Hool miał także Ebusco. Dla porównania czas rozpędzania Mercedesa Citaro NGT był także na poziomie 10 s. Wpływ na to, obok odpowiedniego doboru przełożeń skrzyni biegów, miała także niższa o około 650–1000 kg masa własna pojazdu.

Do tej pory podstawową barierą rozwoju autobusów z napędem elektrycznym był zasięg pojazdu. Wynikało to głównie z poziomu zaawansowania technologicznego baterii, mierzonego możliwością zmagazynowania energii w przeliczeniu na 1 kg. Innym ograniczeniem związanym z eksploatacją baterii była także liczba cykli ładowanie/rozładowanie. Wraz z rozwojem technologii, parametry techniczne baterii ulegają poprawie. Dlatego obecnie większość autobusów elektrycznych może pokonać dystans 220–300 km na jednym ładowaniu. Oczywiście zasięg ten zależy od temperatury zewnętrznej, parametrów linii komunikacyjnej, obciążenia pojazdu i sposobu napędu agregatów pomocniczych. Dlatego tak ważnym elementem jest moduł sterowania pracą silnika i zarządzania energią w pojeździe. Średnie zużycie energii w autobusach elektrycznych waha się od 0,8 kWh/km (bez napędu agregatów pomocniczych) do 2,5 kWh/km.

Brak infrastruktury doładowującej w Brukseli sprawił, że wszyscy producenci, podstawili do testów autobusy z największymi bateriami. Irizar w i2e zastosował baterie sodowo-niklowe o pojemności 376 kWh. Głównym atutem tego typu baterii jest wysoka gęstość energetyczna na poziomie 400 Wh/kg oraz krótkie czasy ładowania. Pełne naładowanie baterii osiąga się po 5 godzinach ładowania. Niemniej do ich wad należy zaliczyć niższą trwałość oraz wysoką temperaturę pracy. Niższa masa baterii spowodowała, że cały ich pakiet zamontowano na dachu pojazdu. W pozostałych pojazdach zastosowano baterie litowo-jonowe o pojemności od 215 kWh (Van-Hool) do 311 kWh (Ebusco). Podobnie,



Solaris Urbino 12 electric podczas próby rozpędzania

jak w Irizarze, także w Exqui.City wszystkie baterie zamontowano na dachu. W Solarisie baterie zostały umieszczone na zwisie tylnym, natomiast w Ebusco, zarówno na zwisie tylnym, jak i na dachu. Trzech producentów daje 5-letnią gwarancję na baterie bez względu na liczbę cykli ładowania, z wyjątkiem Ebusco, gdzie gwarancja na baterie ograniczona jest do dwóch lat.

We wszystkich testowanych autobusach elektrycznych, podstawowym sposobem ładowania baterii była metoda *plug-in*, za pomocą złącza pokładowego o mocy od 35 kW do 85 kW. Wszystkie firmy deklarowały także możliwość doładowania baterii za pomocą pantografu, przy czym tylko Solaris i Van-Hool zaprezentował autobusy wyposażone w taki system. Van-Hool Exqui.City miał na dachu zamontowane gniazdo umożliwiające połączenie baterii z pantografem, będącym elementem ładowarki, natomiast w Solarisie pantograf jest elementem pojazdu, który jest automatycznie unoszony w chwili podjazdu pod ładowarkę. W obydwu przypadkach pantograf służy do szybkiego doładowania baterii o mocy aż do 450 kW. Ponadto obydwaj producenci mają w swojej ofercie system indukcyjnego doładowania baterii bazujący na rozwiązaniu PREEMOVE firmy Bombardier.

Nie ma natomiast problemu z zasięgiem autobusu z napędem gazowym. Dzięki obniżeniu zużycia gazu i zastosowaniu nowych



W Irizarze i2e pakiet baterii zlokalizowano na dachu pojazdu



Gniazdo doładowania za pomocą pantografu zamontowane w autobusie Van-Hool Exqui.City



Solaris Urbino 12 electric podczas procesu doładowania baterii z pomocą pantografu

kompozytowych butli o łącznej pojemności do 1380 dm<sup>3</sup>, zasięg nowego Citaro CNG dochodzi do 450 km i jest porównywalny z autobusami konwencjonalnymi. W dalszym ciągu gaz ziemny będzie stanowił ciekawą alternatywę z zakresie stosowania odnawialnych źródeł energii, szczególnie w dużych miastach europejskich. Nowe konstrukcje autobusów zasilanych CNG są odpowiedzią na duże przetargi przygotowywane m.in. przez Paryż i Madryt oraz na zapowiedzi przez największe metropolie o zaprzestaniu zakupów autobusów z silnikiem Diesla po 2016 r. Niemniej należy podkreślić, że wykorzystanie gazu ziemnego jako paliwa jest bardzo zależne od zmian geopolitycznych, jakie zachodzą na świecie oraz polityki poszczególnych rządów. Najboleśniej przekonał się o tym Rze-



Van-Hool Exqui.City podczas próby hamowania



Złącze umożliwiające zatankowanie butli ze sprężonym gazem ziemnym w Mercedesie Citaro NGT



Gniazdo USB staje się standardowym wyposażeniem autobusów miejskich

szów, który kupił w poprzedniej perspektywie 40 autobusów na gaz ziemny. Po wprowadzeniu akcyzy na gaz, koszt eksploatacji autobusów gazowych przewyższył o 10% koszt eksploatacji autobusów z silnikiem spalinowym.

## Układ jezdny

Wszystkie z testowanych autobusów były wyposażone w najnowocześniejsze systemy bezpieczeństwa wspomagające pracę kierowcy takie, jak elektroniczny system uruchamiania hamulców EBS2 firmy Bosch, współpracujący z układami przeciwpoślizgowymi ABS i ASR. Podczas prób najkrótszą drogę hamowania osiągnął Van-Hool Exqui.City, który do pełnego zatrzymania z prędkości 50 km/h potrzebował około 12,5 m. Droga hamowania pozostałych pojazdów była dłuższa od 1 m (Mercedes-Benz, Irizar) do 2,5 m (Ebusco, Solaris). Dla ułatwienia ruszania pod górę w Solarisie Urbino i Van-Hoolu zamontowano urządzenie *hill-holder*.

## Przestrzeń pasażerska

Wszystkie z testowanych autobusów to autobusy niskopodłogowe, z niskim przebiegiem podłogi na całej długości pojazdu. Cecha ta była szczególnie widoczna w Solarisie i Van-Hool, które podstawily do testów autobusy w wersji odpowiednio trzy- i czterodrzwiowej. Pozostałe pojazdy zaprezentowały autobusy dwudrzwiowe, gdzie zajęcie miejsca w tylnych rzędach wymagało pokonania jednego stopnia. Największą możliwość dowolnego kształtowania aranżacji siedzeń posiadał Mercedes-Benz i Solaris, w którym wyeliminowano jakiegokolwiek podesty pomiędzy nadkolami kół przednich i tylnych. Tym samym obydwa pojazdy charakteryzowały się największą liczbą siedzeń dostępnych bezpośrednio z niskiej podłogi. W przypadku Solarisa i Mercedesa liczba takich siedzeń wyniosła 16. Podobną liczbę siedzeń zamontowano w przegubowym Van-Hool, którego długość wynosiła 18,16 m. Wynikało to z faktu zastosowania pojedynczych silników elektrycznych, napędzających oś środkową i tylną, co wymusiło zamontowanie znacznej liczby siedzeń na podestach. Liczba miejsc dostępnych bezpośrednio z niskiej podłogi ograniczała się do niewielkiej przestrzeni od nadkoli kół przednich, aż do środkowych drzwi oraz od przegubu aż do drzwi trzecich. Pewnym problemem w Exqui.City była zmienna wysokość podłogi, która wznosiła się pomiędzy drzwiami



Solaris Urbino wyróżniał się na tle konkurencji dużą liczbą miejsc siedzących dostępnych bezpośrednio z niskiej podłogi



Przykład zaaranżowania tylnej części pojazdu w przegubowym Van-Hool Exqui.City

a płaszczyzną przegubu, co utrudniało zlokalizowanie kolejnego miejsca dla wózka inwalidzkiego w drugim członie pojazdu. Inną niedogodnością „falującej” podłogi była zróżnicowana wysokość siedziska foteli pasażerskich względem podłogi, której wartość wahała się od 40 do 54 cm.

W autobusie gazowym Mercedesa tak, jak w konwencjonalnych autobusach cały silnik wraz z osprzętem zamontowano w tylnej wieży, co spowodowało konieczność wyeliminowania z wnętrza 4 miejsc siedzących. Podobna sytuacja ma także miejsce w Solarisie pomimo zastosowania silników elektrycznych w piastach kół. Dodatkowo Solaris traci także około 1 m przestrzeni w tylnej części pojazdu na obudowę największego zestawu baterii o pojemności 240 kWh. Nie można jednak zapominać, że w przypadku zastosowania opcji doładowania autobusu na trasie i zabudowy baterii o mniejszej pojemności bezpośrednio na dachu pojazdu, w tylnej części możliwa jest zabudowa dodatkowych siedzeń tak, jak to ma miejsce w autobusach elektrycznych dla Braunschweigu. Zupełnie inną koncepcję zagospodarowania wnętrza zaprezentował Irizar. Dzięki zastosowaniu baterii So-Nicks i zamontowaniu ich na dachu, w trzydrzwiowej wersji autobusu udało się wygospodarować miejsce na fotele pasażerskie zarówno na zwisie tylnym, jak i naprzeciwko drzwi tylnych.

Bez względu na sposób aranżacji wnętrza, głównym ograniczeniem autobusów z napędem alternatywnym była do tej pory pojemność pasażerska, wynikająca z dużej masy własnej pojazdu. Dotyczyło to zarówno autobusów z napędem na sprężony gaz ziemny, jak i autobusów elektrycznych. W przypadku autobusu Mercedesa Citaro NGT można w tym zakresie użyć czasu przeszłego. O ile do tej pory pojemność autobusu gazowego wahała się na poziomie 80–85% pojemności autobusu z napędem Diesla, o tyle najnowszy model Mercedesa w wersji dwunastometrowej, wyposażony w klimatyzację może zabrać jednorazowo 94 pasażerów. To wielkość niemal porównywalna z autobusami z napędem konwencjonalnym.

Nieco inaczej przedstawia się sprawa z autobusami elektrycznymi. Cały czas producenci walczą z masą pojazdu, głównie poprzez zastosowanie mniejszych baterii i doładowywanie ich podczas postoju na końcówkach. Autobusy dwunastometrowe, podstawione do testów, wyposażone w największy zestaw baterii, miały masę własną na poziomie 13,2 do 13,6 t z czego blisko 2,5 t przypadało na baterie. Tym samym pojemność autobusu elektrycznego przy DMC na poziomie 19 t oscyluje w granicach od 74 do 79 pasażerów, co stanowi od 75% do niemal 80% pojemności autobusu

z napędem Diesla. Jedynie Ebusco deklarowało, że ich autobus może zabrać jednorazowo aż 89 pasażerów, co jednak wydaje się mało prawdopodobne, przy zastosowaniu pakietu baterii o pojemności 311 kWh. Regułą tą potwierdza także elektryczny Van-Hool Exqui.City 18, dedykowany na trasy BRT. Autobus o długości 18,12 m ma pojemność jedynie 118 pasażerów, co stanowi 76% pojemności klasycznego autobusu przegubowego.

Poza Ebusco i Mercedesem, wszystkie autobusy wykończono w jasnych i pastelowych kolorach. Standardem od wielu lat jest także stosowanie kontrastowej kolorystyki poręczy i krawędzi podestów. W Irizarze i2e fotele dla inwalidów i matek z dzieckiem na ręku (tzw. *priority seat*) zostały wykonane w innym kolorze tapicerki aniżeli pozostałe. Aby zmniejszyć zużycie energii, oświetlenia wnętrza każdego z autobusów wykonano w technologii LED. Dodatkowo we wnętrzu Exqui.City zastosowano świecący dach, zapewniający równomierne rozproszenie światła. Poza Ebusco, należy podkreślić wysoką jakość użytych materiałów wykończeniowych oraz ciekawą formę plastyczną wszelkiego rodzaju elementów wykończeniowych takich, jak przyciski, obudowy tablic informacyjnych itp. Obok miejsca na wózki inwalidzkie, zaaranżowanego zgodnie z dyrektywą EU 2001/85 czy rampy dla wózków, standardem staje się wyposażenie wnętrza w gniazda USB, umożliwiające doładowanie telefonu, czy instalacja wi-fi. Tegoroczną nowością zaprezentowaną przez Solarisa były zarówno siedzenia, jak i poręcze pokryte specjalną warstwą antybakteryjną.



Na desce rozdzielczej pojawiła się nowa zakładka informująca kierowcę o maksymalnym zasięgu możliwym do przejechania





Nowa deska rozdzielcza konstrukcji inżynierów Solarisa

## Stanowisko pracy kierowcy

Standardowym wyposażeniem wszystkich zaprezentowanych pojazdów była deska rozdzielcza zgodną ze standardami VDV, z kolorowym wyświetlaczem LCD, dostarczana przez Continental-VDO lub Actię. W przypadku autobusów elektrycznych na wyświetlaczu pojawiła się dodatkowa informacja o stopniu naładowania baterii i szacowanej liczbie kilometrów możliwej do przejechania przy aktualnym obciążeniu pojazdu i określonych warunkach ruchowych. Poza deską VDO, Solaris oferuje także własną konstrukcję deski rozdzielczej, bazującą na trzech kolorowych, dotykowych ekranach LCD, pozbawionej jakichkolwiek przycisków i przełączników. Cała jej obsługa ogranicza się do przyciśnięcia określonego pola na ekranie. Mimo diametralnej zmiany filozofii, obsługa nowego kokpitu pozostała intuicyjna. Każda z informacji pojawia się w ściśle określonym momencie. Doskonała rozdzielczość ekranów pozwala na uwypuklenie szczególnie istotnych informacji, które pozwalają kierowcy na szybkie podjęcie decyzji. Centralny ekran przekazuje podstawowe informacje takie, jak prędkość, obroty silnika, stopień naładowania baterii, temperaturę zewnętrzną, użycie hamulca zasadniczego, postojowego lub przystankowego, przebieg dzienny i całkowity. Po prawej stronie zlokalizowano panel obsługi, gdzie wszystkie funkcje podzielono pomiędzy 3 zakładki: menu główne, menu kierowcy, menu przestrzeni pasażerskiej. W zależności od wyboru konkretnej zakładki, kierowca może sterować wentylacją i ogrzewaniem oddzielnie dla kabiny kierowcy i przestrzeni pasażerskiej, otwierać drzwi, włączać kneeling, uaktywniać lub dezaktywować hamulec przystankowy. Przy pomocy lewego ekranu można sterować światłami zewnętrznymi i wewnętrznymi. W przypadku włączenia biegu wstecznego na lewym ekranie pojawia się obraz z kamery cofania, umieszczonej na tylnej ścianie pojazdu.

W inny sposób zaaranżowano stanowisko kierowcy w Exqui.City. W odróżnieniu od standardowego modelu wyposażonego w wydzieloną kabinę, w którym fotel kierowcy umieszczono centralnie, w modelu dla Hamburga, zastosowano klasyczne rozwiązanie z kierownicą umieszczoną po lewej stronie. Niemniej w porównaniu z konkurentami, stanowisko kierowcy umieszczone jest wyżej i bliżej osi pojazdu, co w znaczny sposób poprawia pole obserwacji. Aby ułatwić manewrowanie, pojazd wyposażono w system kamer bocznych i tylnych, wspomagających kierowcę w obserwacji strefy drzwi oraz szczególnie narażonych na przytarcia części pojazdu. Z uwagi na zaokrągloną ścianę przednią oraz wysoko poprowadzoną krawędź szyby czołowej, w pojeździe zamontowano dodatkową kamerę czołową, która obserwuje martwe pole tuż przed pojazdem, chroniąc przed najechnięciem np. na małe dziecko, które



Stanowisko kierowcy w Exqui.City

może pojawić się w tym miejscu np. podczas postoju na przystanku. Charakterystycznym elementem stanowiska kierowcy, jest linia monitorów ponad płaską i w miarę ascetyczną deską rozdzielczą.

## Podsumowanie

Jak widać z przedstawionych powyżej konstrukcji, wybór zwycięzcy nie będzie łatwy. Każdy z producentów poszukuje nowych rozwiązań, aby zapewnić jak najwyższe standardy podróży, zoptymalizować koszty eksploatacji i zmniejszyć negatywne skutki oddziaływania na środowisko naturalne. Z roku na rok wzrasta pozycja autobusów z napędem alternatywnym. Na pewno autobusy miejskie z napędem elektrycznym jeszcze przez długi czas nie wyprą z rynku autobusy z silnikiem Diesla, jednak w najbliższej przyszłości będą stanowić trzon eksploatowanego taboru, obsługującego centra miast oraz obszary cenne przyrodniczo.

## Bibliografia:

1. Ealey Lance A., Gross Andrew C., *The global market for buses 2000-2010*: [www.freepatentsonline.com](http://www.freepatentsonline.com) (dostęp 16.06.2016)
2. Biała Księga „Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu”. KOM (2011) 144.
3. Dyr T., *Europejska polityka transportowa na pierwszą połowę XXI wieku*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2011, nr 10.
4. [www.trolleyemotion.eu](http://www.trolleyemotion.eu) (dostęp 16.06.2016).
5. Rusak Z., *Bus Euro Test 2016 czyli alternatywnie w komunikacji miejskiej*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 5.

## Autor:

mgr inż. **Zbigniew Rusak** – Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium” w Radomiu

### Bus Euro Test 2016 in Brussels, or „Diesel died, let the electricity alive”

Each year in one of European cities is being organized test for choosing best bus of the year. Title of International Bus and Coach of the Year is presented by group of 22 journalists, professionals in bus technique. This year in Bus Euro Test took part 5 companies from Germany, Belgium, Holland, Spain and Poland, which shown newest trends in cities buses available in Europe. In that article has been shown technical characterises? and exploitation testing buses.