Autobusy uczestniczące w Bus Euro Teście na placu Jelaczicza

Zbigniew Rusak

Kierunki rozwoju miejskich autobusów elektrycznych i hybrydowych na przykładzie pojazdów testowanych podczas Bus Euro Test w Zagrzebiu

JEL: L62, Q01. **DOI:** 10.24136/atest.2018.268.
Data zgłoszenia: 21.08.2018. **Data akceptacji:** 25.08.2018.

Dziennikarze reprezentujący 21 redakcji pism autobusowych z całej Europy, w tym polskiego czasopisma „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe", spotkają się co roku w jednym z europejskich miast, aby wybrać autobus, któremu przyznana będzie prestiżowa nagroda International Bus of the Year. W bieżącym roku testy autobusów przeprowadzono w stolicy Chorwacji – Zagrzebiu, w ścisłej współpracy z lokalnym przewoźnikiem Zagrebački Električni Tramvaj, będącym spółką komunalną miasta. W niniejszym artykule zaprezentowano rozwiązania techniczne i eksploatacyjne zastosowane w testowanych autobusach.

Słowa kluczowe: Bus of the Year, testy autobusów, autobusy elektryczne.

Zagrebački Električni Tramvaj (ZET), goszczący dziennikarzy Bus Euro Test, eksploatuje 223 pociągów tramwajowych firmy Koncar i Tatra oraz 414 autobusów niskopodłogowych, wśród których można znaleźć między innymi MAN-y Lion's City oraz MAN-y NM/NL/NG drugiej i trzeciej generacji, Mercedesy Citaro, gazowe Irisbusy Citelis w wersji solo i przegubowej oraz czeskie minibusy SKD Stratos 38LF, także napędzane CNG. Łącznie ZET obsługuje 19 linii tramwajowych, 78 miejskich linii autobusowych oraz 56 podmiejskich. Obok komunikacji regularnej ZET odpowiedzialny

Postój testowanych autobusów przy bramie wyjazdowej z zajezdni

jest także za dowóz dzieci do szkół, gdzie używa autobusy klasy II – MAN SL-313 i Lions City Classic oraz Iveco Crossway, a także za transport osób niepełnosprawnych, obsługiwany 21 minibusami. Poza tramwajami i autobusami ZET eksploatuje także kolejkę zębatkową na Starym Mieście i autobusy wycieczkowe, przeznaczone do obsługi turystów. Rocznie ZET przewozi 290 mln pasażerów. Podczas Bus Euro Test ZET udostępnił miejsce do garażowania autobusów, zaplecze techniczne oraz zaplecze socjalne dla dziennikarzy i pracowników producentów w swojej zajezdni Prometne, zlokalizowanej na zachodnich peryferiach miasta, przy drodze wylotowej na Samobor. Trasa testowa została poprowadzona wzdłuż linii 116, łączącej obszary podmiejskie Zagrzebia z punktem przesiadkowym przy pętli tramwajowej Prećko.

Tegoroczny test, podobnie jak 2 lata wcześniej, zdominowany był przez autobusy z napędem elektrycznym [1, 2]. Jest to wynikiem dostosowywania się producentów do aktualnych priorytetów europejskiej polityki transportowej [3]. Dominacja autobusów elektrycznych podczas Bus Euro Test odzwierciedla także aktualne tendencje na rynku taboru autobusowego w miastach Unii Europejskiej, związane z wdrażaniem paliw i napędów alternatywnych [4].

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 12-metrowe, jak i autobusy przegubowe. Szacuje się, że obecnie na wszystkich kontynentach świata (poza Afryką i Antarktydą) eksploatowanych jest łącznie ponad 1 500 autobusów elektrycznych. To niewiele, biorąc pod uwagę fakt, że na świece eksploatowanych jest łącznie 730 tys. autobusów miejskich [5] oraz 40 tys. trolejbusów [6]. 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. [1].

Ciągle pogarszająca się jakość powietrza w naszych miastach powoduje, że nieustannie poszukuje się nowych rozwiązań w zakresie ograniczenia emisji CO_2, w tym także w sektorze transportu. Oczekiwania w tym zakresie zawarto m.in. w Białej Księdze [7]. 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. [3].

Autobusy elektryczne zaprezentowały francuska firma Heuliez i hiszpańska Irizar. Mercedes-Benz postanowił wystawić do testu swojego Citaro C2, napędzanego silnikiem *diesla*, wspomaganego przez 48-woltowy układ hybrydowy. Wszystkie 3 autobusy zostały po raz pierwszy zaprezentowane publiczności na targach Busworld Kortrijk w 2017 r. Wielkim nieobecnym podczas testu była firma MAN z najnowszą odmianą Lion's City, także wyposażoną w lekki układ hybrydowy. Podstawowe parametry techniczne testowanych autobusów przedstawiono w tab. 1.

1. Heuliez GX437 Elec

Heuliez to mało znany producent na rynku polskim, chociaż część polskich przewoźników zdecydowała się na import autobusów tej firmy z lat 90., głównie międzymiastowych GX57 i GX87, bazujących na podwoziu Volvo. Francuska firma jest jedną z 12 spółek wchodzących w skład koncernu CHN Industrial, do którego należy także Iveco Bus, Iveco Astra, FPT Powertrain Technologies

Tab. 1. Podstawowe parametry techniczne autobusów biorących udział w Bus Euro Test 2018

Marka i typ pojazdu	Heuliez GX 337 Linium E	Irizar ie-tram	Mercedes-Benz Citaro C2 Light Hybrid
Długość [mm]	12 060	18 730	12 135
Szerokość [mm]	2 550	2 550	2 550
Wysokość [mm]	3 350	3 400	3 120
Liczba miejsc Ogółem - w tym siedzących	 83 (98) 24	 155 39 + 2	 101 36
Masa własna	13 000 kg	17 500 kg	11 500 kg
Układ drzwi	2-2-2	1-2-2-2	2-2-0
Szerokość czynna drzwi [mm]	1 200/1 200/1 200	700/1 250/1 250/1 250	1250/1250/-
Wysokość podłogi [mm]	320/320/320	320/320/320/320	320/320/-
Silniki	Centralny, synchroniczny trójfazowy BAE System	Centralny, asynchroniczny trójfazowy Jema (Irizar Group)	DC OM936 hLA 6-cylindrowy *diesel* leżący
Pojemność [dm^3]	-	-	7,7
Lokalizacja	Asymetrycznie po prawej stronie pojazdu za tylną osią	Asymetrycznie po prawej stronie pojazdu za tylną osią	Asymetrycznie na zwisie tylnym
Moc [kW/KM] – ciągła – szczytowa	 120 kW 195 kW	 235 kW	 220 kW (295 KM)
Moment [Nm]	2 500–4 000	2 300	1 200 Nm/1 200
Norma czystości spalin	Zeroemisyjny	Zeroemisyjny	Euro-6C (SCR + EGR + DPF)
Skrzynia biegów	Nie dotyczy	Nie dotyczy	ZF Ecolife 6AP-1200B
Dodatkowy silnik trakcyjny	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Asynchroniczny 14 kW
Baterie	LNMC 300 kW	Litowe LTO 150 kW	-
Oś przednia	Zawieszenie niezależne ZF RL-75 EC	Zawieszenie niezależne ZF RL-82 EC	Zawieszenie niezależne ZF RL-75 EC
Oś środkowa	Nie dotyczy	Oś portalowa ZF AVN 132	Nie dotyczy
Oś tylna	Oś portalowa ZF AV133	Oś portalowa ZF AV133	Oś portalowa ZF AV133/87
Hamulce	T/T	T/T/T	T/T
ABS / ASR / EBS	S/S/S	S/S/S	S/S/S
Rozmiar opon	6 x 275/70 R 22,5	8 x 275/70 R 22,5	6 x 275/70 R 22,5
Średnica zawracania [m]	21,8	23,7	21,2
Pojemność zbiornika paliwa (paliwo + Ad Blue + ogrzewania dodatkowe)	60	Nie dotyczy	300 + 30
Zasięg [km]	250–300	50–60	800–1000
Cena (testowany egzemplarz)	550 000 euro	800 000 euro	270 000 euro

Heuliez GX337 Linium E

Tylna część nadwozia. Dzięki dużej liczbie pokryw przeglądowych GX 337 E charakteryzuje się łatwym dostępem do podstawowych komponentów

Dodatkowy poziomy podział płaszczyzny ścian bocznych umożliwia szybką wymianę uszkodzonych elementów nadwozia w wyniku drobnych przytarć

czy Magirus. Tradycje firmy sięgają 1932 r., kiedy to bramy fabryki opuścił pierwszy autobus z nadwoziem wykonanym z drewna. W Rothais, w 1978 r., powstał pierwszy francuski autobus przegubowy z silnikiem zamontowanym w przyczepie. Pierwszy autobus niskopodłogowy opuścił fabrykę w 1995 r. To właśnie inżynierowie Heulieza opracowali w 2007 r. pierwszy autobus miejski ze szklanym dachem Lumibus. Wiele modeli autobusów wyprodukowanych w Rothais charakteryzuje się zastosowaniem szklanych elementów poszycia w pasie podokiennym. Heuliez od wielu lat specjalizuje się w produkcji autobusów z napędem alternatywnym. 8 lat temu do produkcji wprowadzono autobusy z napędem hybrydowym, a pierwszy autobus z napędem elektrycznym opuścił fabrykę w 2015 r. Bramy francuskiej fabryki opuściło łącznie 2 100 trolejbusów Iveco Crystalis i hybrydowych Iveco Urbanway Hybrid, które trafiły m.in. do Las Vegas w USA oraz do Lyonu, Limoges i Mediolanu. Tutaj powstał także koncepcyjny autobus Hynovis.

Siedziba firmy mieści się w miejscowości Rorthais, położonej w odległości 80 km od Nantes. Fabryka zatrudnia łącznie 420 pracowników; 10% z nich to inżynierowie działu R&D. Autobusy powstają w halach fabrycznych o łącznej powierzchni 25 300 m^2. Na terenie fabryki wybudowano tor testowy o długości 850 m i szerokości jezdni 7 m, zawierający podjazd i zjazd o nachyleniu 12%, a także zakręt o promieniu 310 m z nachyleniem wewnętrznym wynoszącym 12%.

Obecnie gama produkcyjna Heulieza obejmuje 9 modeli niskopodłogowych autobusów miejskich, w tym 2 midibusy z napędem *diesla* z nadwoziem o szerokości 2,33 m i długości 9,5 m (GX137) lub 10,7 m (GX137L), autobusy dwunastometrowe GX 337 oraz autobusy przegubowe GX 437 z napędem *diesla*, hybrydowym lub elektrycznym. GX 337 dostępny jest także w wersji zasilanej CNG. Dodatkowo autobusy 12- i 18-metrowe oferowane są także ze specjalnym wykończeniem nadwozia, dedykowanym do obsługi systemów BRT pod nazwą Linium. W najbliższym czasie Heuliez będzie oferował także elektryczne midibusy GX 137 E i GX 137 LE z bateriami o maksymalnej pojemności 260 kW i 385 kW.

Do testów Heuliez podstawił dwuosiowy autobus niskopodłogowy GX 337 E o długości 12 m, przystosowany do przewozu 89 pasażerów (przy dopuszczalnej masie całkowitej wynoszącej 19 000 kg), wyposażony w centralny silnik o mocy szczytowej 190 kWh i baterie HighEnergy LNMC o pojemności 300 kWh, umożliwiające pokonanie niemal 250 km na 1 ładowaniu. W takiej kompletacji masa baterii oscyluje wokół 2 300 kg. Autobus

został tak skonstruowany, aby pomieścić baterie o maksymalnej pojemności 385 kWh, które zostały równomiernie rozmieszczone na dachu oraz w wydzielonej przestrzeni na zwisie tylnym.

Układ okien i drzwi jest taki sam jak w przypadku bliźniaczego autobusu Iveco Urbanway Hybrid. Jedyną różnicą jest stylistyka ściany przedniej i tylnej oraz większa obudowa dachowa, kryjąca baterie trakcyjne, agregat klimatyzacyjny oraz układy sterowania silnika. Podobnie jak w Urbanwayu na poszyciu ścian bocznych wydzielono dolny pas o wysokości 25 cm, wykonany z tworzyw sztucznych, umożliwiający szybką wymianę uszkodzonych w wyniku przytarć elementów nadwozia. Testowy GX 337 E posiadał nadwozie typu Linium, charakteryzujące się całkowicie przeprojektowaną ścianą przednią oraz zastosowaniem zewnętrznych pokryw, zarówno kół przednich, jak i tylnych. Charakterystycznym elementem ściany przedniej jest duża, lekko zaokrąglona na bokach szyba czołowa, obejmująca także świetlik przedniej tablicy kierunkowej. Tak zaprojektowana szyba zapewnia doskonałą widoczność z miejsca kierowcy. W ramach pakietu Linium istotnie została powiększona powierzchnia okien bocznych poprzez wprowadzenie dodatkowego rzędu szyb bocznych w górnej części pasa podokiennego. Rozwiązanie takie – w połączeniu z zastosowaniem transparentnych siedzeń firmy Ruspa Citipro – daje wrażenie ogromnej przestrzeni. Niemniej zwiększenie liczby szyb wpływa na zwiększenie masy własnej autobusu i tym samym na nieznaczne zmniejszenie maksymalnej liczby przewożonych pasażerów.

Równie ciekawie zaprojektowano układ poręczy we wnętrzu przestrzeni pasażerskiej, które – dzięki odpowiednim wygięciom – przerywają prostoliniowy układ innych elementów wnętrza, nie tracąc przy tym swojej funkcjonalności. Pewnym zaskoczeniem był sposób mocowania siedzeń. Część z nich zamontowano na podporach przytwierdzonych do podłogi, co utrudnia prowadzenie prac czystościowych. Także rozmiar poszczególnych modułów nadwozia i lokalizacja drzwi środkowych nie pozwalają na

Baterie zajmują niemal całą objętość komory usytuowanej na zwisie tylnym. Pozostałe baterie ulokowano w środkowej części dachu

Tylna szyba zachodzi aż na powierzchnię dachu, doskonale doświetlając wnętrze przestrzeni pasażerskiej

optymalne rozmieszczenie siedzeń, w związku z czym tuż przed przednią krawędzią drzwi powstała „martwa" przestrzeń, trudna do zagospodarowania. W Heuliezie (podobnie jak w Urbnawayu) irytuje duża liczba plastikowych paneli. Zajęcie miejsca w ostatnim rzędzie siedzeń wymaga pokonania 2 stopni, z których 1 jest niebezpiecznie wąski i może być przyczyną kontuzji w przypadku niezachowania odpowiedniej uwagi przez pasażera.

Stanowisko kierowcy jest niemal takie same jak w autobusie Iveco. Wykorzystano w nim doświadczenia zdobyte w projekcie realizowanym na zlecenie UITP – EBSF (*European Bus System Of the Future*). Na stanowisku zamontowano modułową kabinę, którą można szybko dostosować do wymagań konkretnego przewoźnika. Górna powierzchnia drzwi wejściowych została tak ukształtowana, aby było możliwe zamontowanie na nich kasy fiskalnej lub bileterki. Jednocześnie w miejscu tym wyprofilowano zagłębienie do przyjmowania i wydawania monet. Fotel kierowcy, wyposażony w trójpunktowy pas bezpieczeństwa, zamontowano na podeście o wysokości 25 cm, co poprawia widoczność z miejsca kierowcy. Brak odpowiedniej przestrzeni wokół fotela i deski

Dziwny jest fakt, że część foteli w GX 337 E została zamontowana na podporach mocowanych bezpośrednio do podłogi

Przestrzeń pasażerska: a) ciekawe ukształtowanie poręczy, zrywające z prostoliniowym podziałem przestrzeni we wnętrzu, b) układ siedzeń

Zagospodarowanie przestrzeni w kabinie kierowcy: a) duża deska rozdzielcza firmy Actia z centralnym wyświetlaczem, b) panel z ekranami monitoringu umieszczono ponad głową kierowcy

rozdzielczej powodował, że kierowcom trudno było osiągnąć wygodną pozycję w kabinie. Irytującym rozwiązaniem było umieszczenie ekranów monitoringu wizyjnego we wnęce ponad głową kierowcy, co powodowało, że ich obserwacja powodowała konieczność oderwania wzroku od drogi na dłuższy czas. Innym mankamentem, przeszkadzającym w prowadzeniu pojazdu, były drżące lustra zewnętrzne. Testujący natomiast pozytywnie ocenili układ menu wyświetlacza LCD na desce rozdzielczej, szczególnie informacje o chwilowym zużyciu energii i maksymalnym zasięgu, jaki pozostał do dyspozycji.

Konstrukcja nadwozia GX 337 E została wykonana ze stali nierdzewnej, a elementy poszycia z tworzyw sztucznych i aluminium. W układzie napędowym wykorzystano technologię BAE Systems, tę samą, która jest używana obecnie w elektrycznych autobusach Solaris Urbino electric. Centralny silnik trakcyjny o mocy ciągłej 120 kW i mocy szczytowej 195 kW jest mało wymagający pod względem obsługi. Należy wymienić w nim olej syntetyczny co 460 000 km. Oprócz tego nie wymaga on żadnej dodatkowej konserwacji. Wszystkie autobusy eksploatowane na rynkach skandynawskich mogą być wyposażone w system podgrzewania baterii – tak, aby maksymalnie zwiększyć zasięg pojazdu w dni o niskiej temperaturze otoczenia. Podczas testów w Zagrzebiu zużycie energii wahało się od 0,62 kWh/km do 1,06 kWh/km (przy włączonej klimatyzacji). Na dystansie 158,2 km średnie zużycie energii elektrycznej wyniosło 0,75 kWh na km. Moment napędowy przenoszony jest na tylną oś portalową ZF AV-133 za pośrednictwem przekładni głównej o przełożeniu 1:9,81. W przypadku autobusu z bateriami HighPower ich doładowanie odbywa się za pomocą złącza *plug-in* Combo2 o maksymalnym natężeniu prądu 200 A. GX 337 Elec oferowany jest również z bateriami HighPower, wykonanymi w technologii LTO o pojemności 73 kWh. Zastosowanie tej technologii wymaga budowy dodatkowych stacji ładowania na trasie. W tej kompletacji masa baterii została pomniejszona o 1 050 kg, co ma przełożenie na zwiększenie pojemności o 15 pasażerów. Doładowanie baterii odbywa się nie tylko za pomocą złącza *plug-in*, ale także za pomocą pantografu OPP Charge o maksymalnej mocy od 300 do 450 kW. Pomimo wspomnianej opcji specjaliści z Heulieza są przekonani, że przyszłość autobusów elektrycznych znajduje się po stronie pojazdów zapewniających jak największy zasięg bez konieczności doładowania baterii na trasie. Tak jak w innych autobusach elektrycznych, także i w Heuliezie zastosowano elektryczną przekładnię kierowniczą oraz kompresor i agregat klimatyzacyjny napędzany elektrycznie. O rodzaju ogrzewania decyduje klient. W opcji dostępne są zarówno agregaty grzewcze zasilane elektrycznie, jak i z oddzielnego zbiornika oleju opałowego.

2. Irizar ie-tram

Do tej pory Irizar znany był głównie jako producent autobusów turystycznych i międzymiastowych. Wszystko zmieniło się w lipcu 2014 r., kiedy to zaprezentowano prototyp niskopodłogowego autobusu elektrycznego Irizar i2e12. Wraz z jego prezentacją

Premiera Irizara i2e w San Sebastian w lipcu 2014 r.

hiszpański producent potwierdził swoje aspiracje do wejścia w zupełnie nowy segment rynku. W odróżnieniu od pozostałych producentów, Irizar nie tylko opracował konstrukcję autobusu, lecz uruchomił także produkcję wszystkich niezbędnych komponentów pojazdu i infrastruktury, wykorzystując potencjał rozwojowy firm wchodzących w skład grupy, takich jak Jema, Alconza, Masats, Hispacold i Datik. Dla potrzeb nowej strategii w Adunie otwarto w bieżącym roku nowoczesną fabrykę o powierzchni 36 750 m^2, w której zbudowano już 180 autobusów z napędem elektrycznym. Docelowo zdolność produkcyjna tej fabryki szacowana jest na 1 000 autobusów rocznie. Z uwagi na fakt, że autobusy elektryczne Irizara mają konstrukcję aluminiową, budowa autobusów w Adunie przypomina składanie ich z klocków. W 2015 r. Irizar uruchomił produkcję autobusu z nadwoziem o długości 12 m, którego oficjalna premiera miała miejsce podczas Kongresu UITP w Mediolanie. W ciągu 2 lat autobusy tego typu trafiły m.in. do Barcelony, Bilbao, Madrytu, San Sebastian w Walencji, Malagi, Marsylii i Luksemburga. W ubiegłym roku Irizar rozszerzył swoją ofertę produkcyjną o 2 modele: midibus o długości 10,7 m, przystosowany do przewozu 53 pasażerów, w tym 26 na miejscach siedzących, oraz autobus przegubowy o długości 18,76 m i pojemności 152 pasażerów. Autobus przegubowy opracowano w 2 wersjach: jako typowy autobus zwany ie-bus oraz jako pojazd dedykowany do obsługi ciągle rozwijających się systemów BRT, oferowany pod nazwą ie-tram. To właśnie ten ostatni model testowany był w Zagrzebiu.

Przegubowy Irizar ie-tram o futurystycznej linii nadwozia oferuje rozwiązania adresowane głównie do masowego transportu osób na liniach BRT o obciążeniach porównywalnych z liniami tramwajowymi. Opracowując nowy pojazd, przyjęto założenie, że grupa podłogowa oraz stosowane moduły boczne muszą być w 100% zgodne z modelem i2e18. W odróżnieniu od ie-busa, który może mieć nadwozie wyposażone maksymalnie w 5 drzwi wejściowych, ie-tram może mieć zamontowanych aż 8 par drzwi (5 po jednej i 3 po drugiej stronie) i być eksploatowany na liniach z platformami przystankowymi zlokalizowanymi zarówno na zewnątrz trasy, jak i w środku (perony wyspowe). Podstawową różnicą jest zupełnie inna stylistyka ściany przedniej i tylnej. Uwzględniając fakt, że nowy pojazd miał być napędzany silnikiem elektrycznym i miał być wyposażony 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 może być wykonany ze stali nierdzewnej, głównie na rynkach północnej i centralnej Europy. Pozostała konstrukcja nośna oraz całe poszycie ścian bocznych i dachu zostały wykonane z aluminium, natomiast ściana czołowa i tylna z tworzywa sztucznego wzmacnianego włóknem szklanym. Struktura nadwozia w pełni spełnia wymagania nowego regulaminu dotyczącego jego sztywności (ECE R66.01; data wejścia w życie: 1 stycznia 2017 r.). Większa wytrzymałość konstrukcji nośnej ma umożliwić zabudowę możliwie jak największej liczby komponentów na dachu autobusu. Ma to przełożenie

Nowoczesna fabryka w Adunie, specjalizująca się w produkcji autobusów i ciężarówek z napędem elektrycznym. Fot. Irizar

Irizar ie-tram na ulicach Zagrzebia

Wyróżniającymi się elementami nowego pojazdu są mocno pochylona szyba przednia i brak luster zewnętrznych

Monitory zamontowane przy słupkach „A", które zastąpiły klasyczny system luster

na zastosowanie znacznie szerszych słupków międzyokiennych. Ich szerokość jest niemal dwukrotnie większa niż w pozostałych autobusach i wynosi 21 cm.

Przód pojazdu charakteryzuje się mocno pochyloną szybą przednią i masywnymi słupkami „A". Duże nachylenie ściany przedniej powoduje jednak, że na zwisie przednim w ie-tram można zastosować jedynie drzwi jednoskrzydłowe. Dla odróżnienia pojazdów w nadwoziu ie-tram zastosowano szeroką aluminiowa listwę poprowadzoną na całej długości krawędzi ścian bocznych. To właśnie w tej listwie wkomponowano pionowe układy indywidualnych świateł przednich, wykonanych w technologii LED. Podobny zabieg wykonano także na ścianie tylnej. Dodatkowo w ozdobnej listwie wkomponowano pokrywy przyłączy *plug-in*. Kolejnym elementem wyróżniającym nadwozie ie-tram jest brak lusterek zewnętrznych. Jedną z innowacji tego pojazdu jest użycie homologowanych elektronicznych lusterek zewnętrznych, bazujących na kamerach video, opracowanych przez francuską firmę Vision Systems. Cały pojazd wyposażono w system 8 kamer wideo, umożliwiających kierowcy nie tylko obserwację obszaru w bezpośrednim sąsiedztwie ścian bocznych, lecz także obserwację obszaru przed ścianą przednią. Obraz z kamer kierowany jest na podłużne monitory o wysokim kontraście, zamontowane na wysokości oczu kierowcy po obydwu stronach kabiny. Szerokość monitorów została zharmonizowana z szerokością słupków „A". Brak luster zewnętrznych, zwłaszcza prawego, całkowicie ogranicza możliwość podczas podjazdu do zatoki przystankowej uderzenie w głowę pasażera stojącego zbyt blisko krawędzi przystankowej. Innym zabiegiem wyróżniającym ie-tram od innych pojazdów jest lekkie podniesienie na ścianie przedniej dolnej części nadwozia, co ułatwia podjazd pod przystanki wyposażone w podwyższone platformy peronowe. W ie-tram, tak jak w przypadku Heulieza, zastosowano pokrywy kół, włącznie z pokrywami kół przednich.

Podobnie jak w przypadku bryły zewnętrznej, także i wnętrze wyróżnia się spośród innych pojazdów elektrycznych oferowanych obecnie na rynku. Wnętrze ie-tram pozbawiono wszelkich podestów niemal na całej długości pojazdu. Jedynymi elementami wystającymi ponad poziom podłogi są obudowy kół oraz podest pomiędzy tylna osią a ścianą tylną przyczepy, kryjący silnik trakcyjny. Wydzielony przedział w tylnej części pojazdu zajmuje tak niewiele miejsca, że możliwe było wygospodarowanie tylnego rzędu siedzeń z 3 indywidualnymi fotelami. Przy takim ukształtowaniu grupy podłogowej w ie-tram można dowolnie aranżować układ siedzeń, który jedynie determinowany jest przyjętym układem drzwi. Dodatkowo płaskie ukształtowanie podłogi umożliwia wygospodarowanie nawet 3 miejsc dla wózków inwalidzkich, spełniających wymagania dyrektywy EU 2001/85. Dostęp do tych stanowisk możliwy jest poprzez rampy, napędzane zarówno elektrycznie, jak i obsługiwane ręcznie. Mimo licznych zalet wnętrza ie-tram, nie sposób nie zwrócić uwagi na pewne jego mankamenty. Mocno pochylona ściana przednia i maksymalnie przesunięte do tyłu drzwi przednie spowodowały, że przestrzeń ponad przednim prawym kołem jest całkowicie niewykorzystana. Z kolei z tyłu dodatkowy stopień umożliwiający zajęcie w przedostatnim rzędzie siedzeń jest tak wąski, że stanowi potencjalne zagrożenie dla korzystających z niego pasażerów.

W testowanym pojeździe wykorzystano takie same fotele pasażerskie jak w przypadku Heulieza, to jest Ruspa Citipro. Jednak w odróżnieniu od Heulieza wszystkie zostały zamocowane do ścian bocznych, co ułatwia utrzymanie wnętrza w czystości. Dodatkowo pomiędzy fotelami każdej pary siedzeń zamontowano gniazda USB. Transparentne powierzchnie foteli doskonale kore-

Wnętrze ie-tram pozbawione jakichkolwiek podestów

Niezagospodarowana przestrzeń ponad przednim prawym nadkolem

spondują z translucentną opończą przegubu oraz dodatkowym przeszkleniem ścian bocznych poprowadzonych niemal na całej długości pojazdu. Rozwiązanie to powoduje, że pasażer ma wrażenie, że podróżuje w otwartym pojeździe, pozbawionym ścian bocznych. W pojeździe wprowadzono niemal wszystkie najnowocześniejsze elementy wyposażenia wnętrza, takie jak oświetlenie typu LED, opisy przycisków w języku Braille'a, wyróżnienie foteli dla osób uprzywilejowanych materiałami w innej kolorystyce, system monitoringu wnętrza oraz miejsce na monitory informacji pasażerskiej, ściśle zintegrowane ze stylistyką wnętrza. Dla podkreślenia przyjazności pojazdu dla środowiska na podłodze zastosowano wykładzinę podłogową imitującą panele wykonane z naturalnego drewna.

Transparentne powierzchnie foteli doskonale korespondują z translucentną opończą przegubu oraz dodatkowym przeszkleniem ścian bocznych, co powoduje, że pasażer ma wrażenie, iż podróżuje pojazdem pozbawionym ścian bocznych

W kabinie kierowcy zastosowano nowoczesną deskę rozdzielczą zgodną z wymaganiami VDV z centralnym wyświetlaczem LCD oraz ekranem komputera pokładowego telemetyki, zamontowanym po prawej stronie. Praca kierowcy wspomagana jest przez nowoczesne aplikacje opracowane przez firmę Datik, takie jak EcoAssist (umożliwia dobór optymalnej techniki jazdy w zależności od topografii terenu i aktualnego obciążenia pojazdu), Eco-mode (optymalizuje zużycie energii przez poszczególne podzespoły) lub Doc Assist (ułatwia zachowanie punktualności i regularności). Najczęściej używane funkcje mogą być sterowane za pośrednictwem przycisków zamontowanych bezpośrednio na kole kierownicy. Nowoczesny system luster wideo nie do końca jest akceptowalny przez wszystkich kierowców, dla których największą wadą ie-tram są słupki „A" o szerokości 25 cm, znacznie powiększające martwe pole. O ile nie jest to wada odczuwalna przy obsłudze wydzielonych tras BRT, o tyle rozwiązanie to stanowi problem w normalnym ruchu ulicznym, zwłaszcza przy przejeżdżaniu przez przejścia dla pieszych, pozbawionych sygnalizacji świetlnej. Nowe rozwiązanie było krytykowane przede wszystkim z powodu pewnego braku logiki. Obraz na monitorach był podzielony na 2 części, gdzie na dolnym poziomie wyświetlano obraz znajdujący się przed czołem pojazdu. Problem wynikał z faktu, że to, co się dzieje z w sąsiedztwie prawego dolnego narożnika pojazdu, można było obserwować na lewym monitorze, co wielokrotnie dezorientowało prowadzących pojazd. Dodatkowo obraz kierowany na monitory nie obejmował zasięgiem zbyt szerokiego obszaru, co powodowało, że kierowca dokładnie nie miał wyobrażenia o tym, co znajdowało się bezpośrednio za pojazdem.

Ie-tram napędzany jest centralnym silnikiem elektrycznym firmy Alconza o mocy ciągłej 235 kW, przekazującym moment napędowy na oś tylną ZF AV-133. Silnik zasilany jest z zestawu baterii litowo-jonowych HighPower LTO o pojemności do 150 kWh (zasięg 60 km). Baterie doładowywane są za pomocą gniazda *plug-in* Combo2, jak również pantografu, umieszczonego bezpośrednio ponad przednią osią. Inżynierowie z Irizara gwarantują, że przy rocznym przebiegu na poziomie 65 000 km baterie litowe LTO będą miały żywotność 16 000 cykli, co odpowiada około 15 latom eksploatacji, przy zachowaniu około 80% nominalnej pojemności baterii. Przy bateriach HighPower pracują one zwykle w zakresie od 50% do 85% pojemności. Szybkie ładowanie trwa zwykle 5 min przy maksymalnej mocy ładowania rzędu 500 kW.

W ramach opcji ie-tram może być wyposażony w baterie High-Energy NMC o pojemności do 525 kW. W tym przypadku żywotność baterii szacowana jest na 3 000 cykli, co odpowiada 8 latom eksploatacji. W zależności od pojemności zamontowanych baterii maksymalny zasięg pojazdu waha się od 220 do 250 km.

Testowany autobus o długości 18,73 m, wyposażony w baterie o pojemności 150 kWh, przystosowany był do przewozu aż 155 pasażerów, co oznacza, że jego pojemność jest porównywalna z konwencjonalnymi autobusami napędzanymi silnikiem *diesla*. Jego cena oscyluje w granicach 800 000 euro i jest 30 000 euro

Deska rozdzielcza z multifunkcyjną kierownicą

Tylna komora ie-tram, w której zamontowano układy sterowania mocą

Baterie HighPower ładowane są głównie za pomocą pantografu zamontowanego w przedniej części pojazdu

wyższa niż w przypadku i2e18. Oferta produkcyjna ie-tram obejmuje także model o długości 12,3 m.

Mercedes-Benz Citaro Light Hybrid

W Zagrzebiu testowano także autobus hybrydowy. Mercedes-Benz, mimo że zaplanował premierę elektrycznego Citaro na lato tego roku, zdecydował się podstawić do testu autobus z typowym silnikiem *diesla*, wspomaganym małym silnikiem elektrycznym o mocy 14 kW. Chociaż w Europie mówi się o autobusach elektrycznych od wielu lat, w dalszym ciągu operatorzy transportu publicznego potrzebować będą autobusy napędzane silnikiem wysokoprężnym, które w głównej mierze wykorzystywane będą na ciągle rozrastających się obszarach podmiejskich.

Zewnętrznie hybrydowe Citaro w żaden sposób nie różni się od wersji z silnikiem *diesla*. Jedynie wprawne oko może zobaczyć małą obudowę, zamontowaną w tylnej części dachu, kryjącą superkondensatory. Mały silnik elektryczny zamontowano pomiędzy skrzynią biegów a tylną osią. Atutem oferowanego rozwiązania jest możliwość jego zabudowy we wszystkich modelach Citaro, zarówno napędzanych silnikiem *diesla*, jak i CNG. Cały pakiet, obejmujący, oprócz silnika elektrycznego, nową oś napędową i przekładnię kierowniczą, podwyższa cenę pojazdu jedynie o 10 500 euro, oferując mniejsze zużycie paliwa o 8%. W ciągu pierwszych miesięcy 2018 r. do rąk klientów trafiło 500 autobusów tego typu.

Dotychczas niemal wszyscy producenci budowali autobus hybrydowy, wykorzystując jako bazę model z napędem konwencjonalnym, jednak w większości przypadków zmiany nie tylko ograniczały się do wymiany komponentów układu napędowego. Wprowadzenie dodatkowego silnika elektrycznego, baterii lub superkondensatorów oraz układów sterowania mocą powodowało, że w ramach prac projektowych należało także mocno zaingerować w konstrukcję nośną pojazdu. Oczywiście montaż wszystkich dodatkowych komponentów miał wpływ na znaczny wzrost ceny pojazdu, a także na wzrost masy, co powodowało dość istotne ograniczenie pojemności pojazdu średnio o 10–15%. Teraz konstruktorzy z Mannheim przygotowali nową konstrukcję hybrydy, będącą kompromisem pomiędzy ceną zakupu pojazdu, efektywnym cenowo obniżeniem kosztów jego eksploatacji a globalnym efektem ekologicznym.

Mercedes-Benz postanowił, że napęd hybrydowy ma być, podobnie jak w przypadku samochodów osobowych, oferowany jako jedna z opcji w całej gamie oferowanych modeli autobusów miejskich. Przy takiej filozofii przewoźnicy, w zależności od rodzaju obsługiwanych linii, mogą zamówić autobus z napędem hybrydowym o długości od 10,5 do 18,2 m, niskopodłogowy lub niskowejściowy. Stratedzy koncernu przyjęli założenie, że napęd hybrydowy nie ma być etapem pośrednim w procesie wymiany taboru na tabor całkowicie elektryczny, lecz ma być integralnym elementem wyposażenia konwencjonalnego autobusu z silnikiem spalinowym, w celu uzyskania maksymalnej efektywności eksploatacji. Kluczową zaletą nowego hybrydowego Citaro jest jego ekonomika. W dalszym ciągu podstawowym źródłem napędu jest silnik spalinowy, taki sam jak w standardowym Citaro C2. Zmniejszenie energochłonności uzyskano poprzez wspomaganie jego pracy, zwłaszcza podczas ruszania z przystanku, pracą małego silnika elektrycznego, zasilanego z superkondensatorów gromadzących energię hamowania. Synchroniczny silnik prądu zmiennego, zamontowany pomiędzy silnikiem spalinowym a automatyczną skrzynią biegów, generuje dodatkowy moment obrotowy 220 Nm, i to już w zakresie niskich prędkości. Tym samym dodatkowy moment pojawia się tam, gdzie silnik spalinowy nie jest

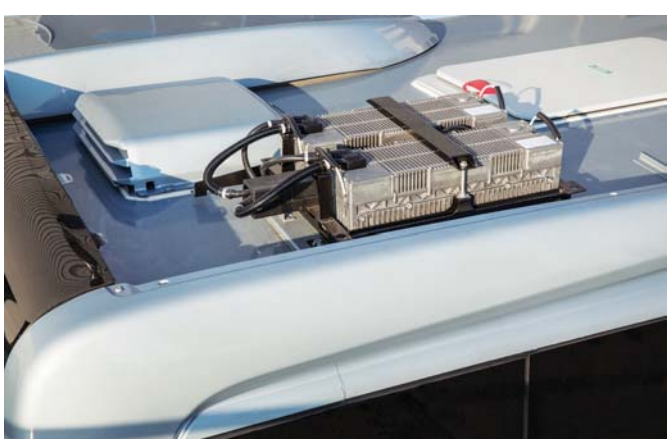
Mercedes-Benz Citaro Light Hybrid

w stanie osiągnąć swoich maksymalnych parametrów. Dzięki dodatkowemu momentowi napędowemu zmniejsza się obciążenie silnika spalinowego, poprawiając jednocześnie charakterystykę rozruchową pojazdu.

Silnik elektryczny podczas hamowania i jazdy na wybiegu pracuje jako generator, zmieniając energię mechaniczną w energię elektryczną, gromadzoną w superkondensatorach. W porównaniu z typowymi bateriami superkondensatory charakteryzują się wysoką gęstością mocy, wysoką odpornością na szczytowe wartości mocy i długą żywotnością wyrażoną liczbą cykli ładowanie/rozładowanie. Są lepiej dostosowane do szybkiej zamiany trybu pracy, co jest charakterystyczne dla ruchu miejskiego. Pojemność superkondensatorów została tak dobrana, że ich pełne naładowanie osiąga się przy hamowaniu autobusu od 50 km/h do zera. Magazyn energii w hybrydowym Citaro składa się z 2 zestawów 16 podwójnych kondensatorów o łącznej pojemności 2 Ah.

Największą zaletą hybrydowego Citaro jest to, że elektryczna część układu napędowego działa bez rozbudowanej sieci wysokiego napięcia, co ma wpływ na likwidację wszystkich ograniczeń i specjalnych wymogów bezpieczeństwa wynikających z tego faktu. W nowym pojeździe zainstalowano oddzielną sieć o napięciu 48 V, podobną do tej, jaką można znaleźć w hybrydowych samochodach osobowych marki Mercedes-Benz. Niska masa i niewielkie wymiary poszczególnych komponentów układu hybrydowego powodują, że nie trzeba rozbudowywać skrzyni aparatowych na dachu autobusu lub wprowadzać różnego rodzaju szaf i podestów w jego wnętrzu. Tym samym wymiary gabarytowe i pojemność hybrydy są identyczne jak w przypadku Citaro z napędem spalinowym. Jedyną różnicą, jaką można dostrzec zewnętrznie pomiędzy obydwoma typami autobusów, jest zmodyfikowana klapa przeglądowa zamontowana pod tylnymi rzędami siedzeń. Cały układ hybrydowy waży jedynie 156 kg, co stanowi ułamek masy innych układów napędowych tego typu. W praktyce oznacza to zredukowanie pojemności pojazdu jedynie o 2 miejsca. Przy maksymalnej dopuszczalnej masie całkowitej, wynoszącej 18 t, Citaro o długości 12,2 m może zabrać na pokład aż 105 pasażerów (podobnie jako w przypadku wersji z silnikiem *diesla*). Z kolei pojemność autobusu przegubowego z napędem hybrydowym to 159 pasażerów.

Zespół projektowy, opracowujący hybrydową odmianę najpopularniejszego autobusu miejskiego, opierał się na sprawdzonych komponentach stosowanych w innych pojazdach hybrydowych



Kondensatory zostały zamontowane na dachu w tylnej jego części. Zastosowana osłona zapewnia odpowiednie temperatury pracy baterii

Silnik elektryczny został umieszczony pomiędzy silnikiem a automatyczną skrzynią biegów

Stanowisko kierowcy autobusu hybrydowego i konwencjonalnego jest identyczne

Pierwotnym źródłem energii w hybrydowej wersji Citaro jest silnik OM 936 LA o pojemności 7,7 dm^3

grupy Daimler. Oznacza to, że komponenty te zostały już sprawdzone w normalnych warunkach eksploatacyjnych. Ich szerokie zastosowanie obniża koszty produkcji i z drugiej strony gwarantuje dostępność części zamiennych. Na przykład silnik elektryczny o mocy 14 kW i pompa wody dodatkowego układu chłodzenia są takie sam jak te stosowane w limuzynie Mercedes-Benz klasy S. Dodatkowy wymiennik ciepła i falownik pochodzą z samochodów ciężarowych. Z kolei superkondensatory stosowane są na szeroką skalę w klasycznych autobusach Citaro jako element rekuperacji energii i wspomagania pracy alternatora, wykorzystywany do pokrycia zwiększonego zapotrzebowania na energię przez komponenty pokładowej instalacji elektrycznej. Nowym elementem hybrydowego Citaro jest elektrohydrauliczny system wspomagania układu kierowniczego. Podczas gdy dotychczasowy mechanizm wspomagania pracował w sposób ciągły od momentu załączenia silnika, o tyle teraz jest on aktywowany tylko w momencie manewrowania pojazdem i obracania kołem kierownicy. Nowy układ kierowniczy stanowi obecnie opcjonalne wyposażenie całej gamy modeli rodziny Citaro, włącznie z największym CapaCity.

W Zagrzebiu testowano autobus hybrydowy o długości 12,2 m z nadwoziem dwudrzwiowym w układzie 2-2-0. Jednak napęd hybrydowy jest dostępny jako wyposażenie opcjonalne dla wszystkich modeli Citaro napędzanych silnikiem Mercedes-Benz OM 936, zarówno w wersji stojącej, jak i leżącej. Tym samym gama modeli hybrydowych obejmuje teraz także kompaktowego Citaro K, przegubowego Citaro G, a także wszystkie wersje niskowejściowego Citaro LE.

Napęd hybrydowy jest również dostępny dla autobusów Citaro NGT zasilanych sprężonym gazem ziemnym, wyposażonych w silnik M 936 G. Należy podkreślić, że połączenie silnika gazowego i napędu hybrydowego jest jak na razie rzadko spotykanym rozwiązaniem na świecie. W przypadku Citaro zastosowanie sprawdzonych podzespołów i części gwarantuje niezawodność eksploatacji tego typu pojazdów. Autobus hybrydowy z napędem gazowym dostępny jest zarówno w wersji standardowej, jak i przegubowej.

Silnik elektryczny układu hybrydowego jest w pełni kompatybilny z wszystkimi znanymi automatycznymi skrzyniami biegów ZF i Voith. Jedynymi modelami autobusów, dla których napęd hybrydowy nie jest dostępny, są autobusy Citaro wyposażone w silnik wysokoprężny Mercedes-Benz OM 470, a także autobusy dużej pojemności z serii CapaCity. Brak modeli hybrydowych dla tych pojazdów wynika z braku odpowiedniej przestrzeni montażowej.

Podsumowanie

W połowie września dowiemy się, kto został zwycięzcą współzawodnictwa. Czy kolejnym laureatem będzie autobus z napędem elektrycznym, czy autobus napędzany klasycznym silnikiem spalinowym? W ciągu ostatnich kilku lat flota autobusów elektrycznych na naszym kontynencie znacznie się rozrosła, szczególnie w krajach Europy Centralnej. Wynika to ze znacznie większego dostępu do środków zewnętrznych. Niemal wszystkie autobusy elektryczne w Polsce, poza jednym autobusem dla Jaworzna, zostały zakupione przy pomocy środków pomocowych. Należy jednak podkreślić, że mimo różnego rodzaju zachęt, niemożliwe jest zelektryfikowanie całej europejskiej floty autobusowej do roku 2025 lub 2030, do czego politycy UE i kilka rządów, w tym polskiego, nieustannie dążą, pomimo wątpliwości, czy będzie dostępna w wystarczającej ilości „czysta" energia elektryczna. Dlatego tak ważne jest wprowadzanie w ramach zrównoważonego rozwoju kolejnych innowacji w klasycznych autobusach.

Jak na razie wszystkie autobusy elektryczne powstają pod indywidualne zamówienie poszczególnych przewoźników. Przed każdym kontraktem każdy z producentów musi przeanalizować układ sieci komunikacyjnej, wielkość potoków pasażerskich, odległości międzyprzystankowe, topografię terenu itp., aby optymalnie dobrać moc silnika trakcyjnego i wielkość baterii. Powoduje to, że – podobnie jak w przypadku tramwajów – ceny autobusów elektrycznych istotnie odbiegają od cen autobusów z napędem konwencjonalnym. Jak na razie nikt nie przedstawił całkowitej analizy kosztów cyklu życia, która pokazałaby, że zwiększone nakłady inwestycyjne zostaną zrekompensowane przez niższe koszty eksploatacji, z uwzględnieniem mniejszej pojemności autobusów elektrycznych i ograniczonego ich zasięgu. Sytuacja ta podlega powolnej zmianie wraz z wprowadzeniem na rynek elektrycznych ciężarówek dystrybucyjnych i samochodów dostawczych, co zapewni odpowiednią skalę produkcji poszczególnych komponentów. W przyszłości wybór określonego rodzaju napędu będzie determinowany w głównej mierze kosztami zakupu, póź-

niejszymi kosztami eksploatacyjnymi oraz całkowitym efektem ekologicznym.

Tegoroczne testy trwały 4 dni i rozpoczęły się od technicznych pomiarów przyspieszenia i testów hamowania, zużycia energii i hałasu, aby uzyskać jak najwięcej informacji na temat możliwości pojazdów. Następnie podczas 2-dniowych testów drogowych na trasie, porównywalnej z normalną linią autobusową, jurorzy mieli możliwość przetestowania pojazdu w typowym ruchu miejskim. Właściwości trakcyjne, zwrotność, widok z miejsca kierowcy, dostęp do komponentów podczas czynności obsługowych, komfort dla pasażerów, dostępność dla osób poruszających się na wózkach inwalidzkich, umiejscowienie poręczy, sprzątanie pojazdu, możliwość narażenia wnętrza na akty wandalizmu, jakość montażu i rodzaj zastosowanych foteli pasażerskich... – oto niektóre elementy podlegające ocenie. Podczas ogólnego spotkania *jury* w ostatnim dniu testu autobusowego Euro Bus zostanie wybrany autobus roku 2019. Przekazanie trofeum odbędzie się we wrześniu w IAA Nutzfahrzeuge w Hanowerze.

Bibliografia:

1. *Biała Księga „Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu”*, COM (2011) 144.
2. Dyr T., *Europejska polityka transportowa na pierwszą połowę XXI wieku*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2011, nr 10.
3. Dyr T., *Europejska strategia w zakresie paliw alternatywnych*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2013, nr 11.
4. Ealey L. A., Gross A. C., *The global market for buses 2000–2010*: www.freepatentsonline.com (dostęp: 16.06.2016 r.).
5. Rusak Z., *Bus Euro Test 2016 w Brukseli, czyli „Umarł Diesel. Niech żyje elektryczność”*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 6.
6. Rusak Z., *Tytuł International Bus of the Year dla new Solarius Urbino electric*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 7–8.
7. www.trolleymotion.eu (dostęp: 10.07.2018 r.).

Bus Euro Test Zagreb – vehicles tests as an example of development directions of cities electrical and hybrid buses

Journalists out of 21 european bus newspapers, including polish newspaper Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, meet each year in order to choose winner of prestigious prize - International Bus Of The Year. This year tests take place in Zagreb - capital of Croatia, in cooperation with local carrier – Zagrebački Električni Tramvaj, which is municipal company. In this article has been presented technical and operational solutions used in tested buses.

Keywords: Bus of the Year, Bus Euro Test, electric buses.

Autor:

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

Zbigniew Rusak (drugi z prawej), redaktor naczelny czasopisma „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe”, wśród jurorów biorących udział w Bus Euro Test w 2018 r.