

Anna Urbańska, Zbigniew Rusak

Pierwsze w Polsce testy autobusu **MAN Lion's City Hybrid**

Man Lion's City Hybrid na ulicach Warszawy

Mimo niekorzystnej aury, 29 listopada br. w zajezdni autobusowej MZA Warszawa, MAN zaprezentował hybrydową wersję niskopodłogowego autobusu miejskiego Lion's City. Autobusy tego typu są już seryjnie wytwarzane w fabryce w Sadach k. Poznania.

Doświadczenia koncernu MAN w zakresie konstrukcji autobusów hybrydowych sięgają przełomu lat 60. i 70 XX wieku. Wtedy to rozpoczęto pierwsze próby odzyskiwania energii hamowania przy pomocy koła żyroskopowego zabudowanego w autobusie SL200. Równoległe prowadzone są testy z wykorzystaniem hydraulicznego akumulatora energii.

Wraz z przejściem przez MAN, marki Neoplan, przejęto także projekt zaawansowanych technologicznie autobusów miejskich STS. W ramach tego projektu wyprodukowano autobusy dla Awinionu i Lozanny. Awinion zakupił midibusy Neoplan N-6108 STS z napędem hybrydowym, o długości 8990 mm, przystosowane do przewozu 39 pasażerów. Pierwotne źródło energii stanowił czterocylindrowy silnik Diesla Iveco 8140 SRC 43 o pojemności 2,79 dm³ i mocy 90 kW (122 KM) spełniający normę Euro-2. Silnik napędzał generator EME FG-225,

który przekazywał energię do silników elektrycznych umieszczonych w kołach i do baterii Hawker Odyssey. Cały układ napędowy, wraz z układem rekuperacji energii podczas hamowania został zamontowany w szafie ponad tylną osią, dzięki czemu uzyskano niski przebieg podłogi na całej długości przestrzeni pasażerskiej. Autobus pracował w trzech trybach pracy:

- ❑ bateryjnej, gdzie niezbędna energia pobierana była jedynie z baterii – maksymalny zasięg 20 km przy prędkości maksymalnej 50 km/h;
- ❑ hybrydowej – energia pobierana była z baterii i z generatora $P_{\max} = 25$ kW;
- ❑ ładowania – energia pobierana z generatora $P_{\max} = 40$ kW była dostarczana do silników elektrycznych i akumulatorów.



Hybrydowy Neoplan N-6108 STS dla Awinionu wyprodukowany w 2000 r.

Autobus rozwijał maksymalną prędkość 65 km/h i umożliwiał pokonywanie wzniesień o nachyleniu do 15%. Praca silnika przy stałej prędkości obrotowej oraz zastosowanie katalizatora utleniającego pozwoliło obniżyć emisję spalin o 75% w porównaniu z klasycznym układem napędowym.

Z kolei przegubowy trolejbus N-6121 STS dla Lozanny miał długość 17,85 m i szerokość 2,55 m. Mógł jednorazowo przewieźć 140 pasażerów, w tym 37 na miejscach siedzących. Wejście do pojazdu ułatwiały cztery pary bezstopniowych drzwi z mechanizmem odskokowo-przesuwym, o nietypowym układzie 1-2x2-2, z dwoma drzwiami pomiędzy osią przednią i środkową. Niska podłoga poprowadzona była na całej długości pojazdu. Zastosowanie pojedynczych opon na osi środkowej o rozmiarze 385/65 R 22,5 pozwoliło uzyskać bardzo korzystną szerokość przejścia rzędu 800 mm. Podstawowe źródło napędu duobusu stanowiły 4 asynchroniczne silniki prądu zmiennego o mocy 80 kW, umieszczone w kołach osi środkowej i tylnej. Obwody sterownia IGBT wyposażone były w układ odzysku energii. Na odcinakach pozbawionych sieci trakcyjnej energia elektryczna dostarczane była z dwóch generatorów napędzanych osmiocylinowym silnikiem Diesla MB-OM 442 LA o mocy 385 kW. Cały układ napędowy został zblokowany z tylną osią i umieszczony w wydzielonej szafie z tyłu pojazdu.

Kolejnym krokiem milowym była budowa autobusu hybrydowego, napędzanego wodorem. Autobus NL-263 GH2 był studialnym autobusem, który przeszedł testy wraz z pasażerami w Norymberdze i Erlangen. Źródło napędu stanowiły ogniwa paliwowe Siemens'a o mocy 120 kW, wytwarzające energię elektryczną w wyniku elektrochemicznej syntezy

wodoru i tlenu w obecności membrany przewodzącej protony i pełniącej rolę katalizatora. Tlen niezbędny do reakcji pobierany był bezpośrednio z atmosfery, natomiast wodór z dziewięciu butli wykonanych z lekkiego kompozytu o łącznej pojemności 1548 litrów, w których był gaz sprężony do ciśnienia 250 at. Zapas wodoru pozwalał na pokonanie 300 km bez napełniania. Energia elektryczna z ogniw paliwowych przekazywana była do dwóch asynchronicznych silników prądu zmiennego Siemens PV135 o mocy chwilowej 75 kW każdy. Silniki sterowane były poprzez elektroniczny układ sterujący w technice IGBT ELFA-Duo.

W 2001 r. MAN rozpoczął testy związane z odzyskiem energii hamowania przy wykorzystaniu superkondensatorów UltraCaps. Przez 4 lata autobus MAN NL-263 z kondensatorami energii testowany na ulicach Norymbergii w normalnym ruchu liniowym. W wyniku prób potwierdzono możliwość zaoszczędzenia od 20 do 25% paliwa. Doświadczenia zdobyte podczas testów wykorzystano przy budowie pierwszej wersji autobusu hybrydowego na bazie modelu Lion's City. Pokazano go podczas Kongresu UITP w Helsinkach w 2007 r. Prototyp został zbudowany wspólnie z Siemensem w ramach programu IDEAS, finansowanego z budżetu federalnego. Pierwotnym źródłem energii był sześciocylindrowy silnik MAN D0836 LOH spełniający normy czystości spalin EEV. Silnik napędzał generator o mocy 150 kW, który poprzez przekładnię zasiliał 2 asynchroniczne silniki elektryczne o mocy 75 kW każdy. Moment napędowy przekazywany był na klasyczny most napędowy z ogumieniem super-single poprzez skrzynię sumującą. Agregat klimatyzacji przestrzeni pasażerskiej oraz pompa sterująca zasilane były elektrycznie. Silniki elektryczne mogły być zasilane albo z generatora

i kondensatorów energii, bądź tylko z kondensatorów. Dzięki temu Lion's City mógł opuszczać przystanek lub dworzec autobusowy w trybie jazdy elektrycznej przy wyłączonym silniku spalinowym. Silnik Diesla łączył się automatycznie, jeżeli komputer sterujący stwierdził konieczność dostarczenia większej mocy do silników. Nowy układ charakteryzował się zwartą budową, dzięki czemu wszystkie komponenty zabudowano w klasycznej wieży wewnątrz przestrzeni pasażerskiej, co w znaczny sposób poprawiało podatność obsługową. Na dachu obok agregatu klimatyzacji przestrzeni pasażerskiej zlokalizowano jedynie 12 kondensatorów energii, które gromadziły energię odzyskiwaną podczas hamowania. Wnętrze autobusu było zaaranżowane tak samo, jak w typowym autobusie napędzanym silnikiem Diesla z wieżową zabudową silnika. Autobus pierwszej generacji był testowany na ulicach Norymbergii i Paryża na liniach o różnej charakterystyce topograficznej, różnych odległościach międzyprzystankowych i różnym obciążeniu. Testy wykazały możliwość zaoszczędzenia od 14 do 27% paliwa. Oczywiście najmniejsze oszczędności zarejestrowano na wydzielonej trasie autobusowej TVM, z dużymi odległościami pomiędzy przystankami. Największe na liniach o dużej liczbie zatrzymań.

Dwa lata później podczas Kongresu UITP w Wiedniu, MAN pokazał kolejną generację autobusu hybrydowego, wyposażonego w kondensatory energii Ultracaps. To ten model zaprezentowano w tym roku na ulicach Warszawy.

Ruch miejski stwarza idealne warunki do zastosowania autobusów wyposażonych w szeregowy napęd hybrydowy. Eksploatacja w mieście autobusów solo o masie do 18 ton charakteryzuje się niską prędkością średnią,



Hybrydowy Neoplan N6121 STS dla Lozanny



Niskopodłogowy autobus MAN NL-263 GH2 z napędem na ogniwa paliwowe



Premiera pierwszej generacji hybrydowego autobusu MAN bazującego na serijnym Lion's City podczas Kongresu UITP w Helsinkach

bardzo częstym przyspieszaniem do prędkości 30-50 km/h i ponownym hamowaniem. W tradycyjnych autobusach energia kinetyczna uwalniana podczas hamowania jest bezpowrotnie utracona. Nowoczesny autobus niskopodłogowy wyposażony w szeregowy, hybrydowy układ napędowy magazynuje uwalnianą energię kinetyczną i wykorzystuje ją do napędzania pojazdu. Automatyczny system start-stop zastosowany w autobusach Lion's City Hybrid pozwala dodatkowo na

ograniczenie zużycia paliwa i emisji spalin. Około 25-40% okresu eksploatacji autobusów miejskich przypada na postoje na przystankach lub na światłach.

W odróżnieniu od autobusu prezentowanego 2 lata wcześniej w Helsinkach, znacznie zmieniono nadwozie pojazdu. Jest one ciekawą kompilacją typowego Lion's City z elementami stylistycznymi stosowanymi w Neoplanach. Z modelu Lion's Regio zaadaptowano charakterystyczny pilar „B”,

który harmonijnie łączy się ze srebrną listwą poprowadzoną wzdłuż górnej krawędzi nadwozia. Agregaty sterowania mocą oraz kondensatory przeniesiono na przednią część dachu, co poprawiło rozkład nacisków na poszczególne osie. Obydwa moduły umieszczono pod aerodynamiczną osłoną, która nadaje nadwoziu oryginalny kształt i poprawia przepływ strugi powietrza podczas jazdy. Także pokrywy, niemal całkowicie maskujące koła tylne, mają wpływ na poprawę współczynnika oporu powietrza, co ma wpływ na dalsze zmniejszenie zużycia paliwa.

Energia wytworzona podczas hamowania kierowana jest do kondensatorów energii. Już dziś kondensatory wydają się być poważną alternatywą dla baterii, głównie z uwagi na czas ich eksploatacji zbliżony do czasu eksploatacji autobusu. Kondensatory są lżejsze niż baterie i zajmują mniej miejsca. Są także bardziej wydajne przy krótkich czasach ładowania i rozładowania, charakterystycznych dla ruchu miejskiego. W odróżnieniu do tradycyjnych baterii, w modułach Ultracap podczas procesu ładowania i rozładowywania nie zachodzą przemiany chemiczne – polega on wyłącznie na przesunięciu ładunku elektrycznego. Ponadto brak jest elementów ruchomych, a niewielkie wymagania w zakresie konserwacji zapewniają dużą ekonomiczność. Efekt „memory” lub spadek mocy spowodowany starzeniem akumulatora, są w modułach Ultracap znacznie



W nowym Lion's City Hybrid obniżenie zużycia paliwa osiągnięto poprzez optymalizację kształtu nadwozia

mniej niż w przypadku tradycyjnych akumulatorów litowo-jonowych lub nikielowo-metalicznych. Poza tym sprawność klasycznych akumulatorów w niskich temperaturach jest znacznie niższa od sprawności modułów Ultracap. Jednak ich podstawową wadą jest wysoka cena.

Pierwotnym źródłem energii jest sześciocylindrowy silnik MAN D0836 LOH 61 o pojemności skokowej 6,9 litrów i mocy 184 kW (254 KM), spełniający normę czystości spalin EEV. Silnik, wyposażony jest w nowoczesny system wtrysku paliwa Common Rail i filtr cząstek stałych CRT-Tec®, który wychwytuje nawet do 99% cząstek sadzy zawartych w spalinach. Silnik Diesla pracuje głównie w zakresie zredukowanej dynamiki w optymalnym dla niego przedziale obrotów.

Silnik spalinowy napędza generator o mocy 145 kW, który poprzez przekładnię zasila 2 asynchroniczne silniki elektryczne o mocy 75 kW każdy. Tak jak w autobusie pierwszej generacji, moment napędowy przekazywany jest na klasyczny most napędowy poprzez skrzynię sumującą. Silniki elektryczne mogą być zasilane albo z generatora i kondensatorów energii, bądź tylko z kondensatorów. Dzięki temu Lion's City może być eksploatowany w trybie czysto elektrycznym. Wykorzystując energię zgromadzoną w modułach Ultracap, autobus może przyspieszać i – w zależności od specyfiki terenu – przejechać odcinek o długości do 200 m, nie generując hałasu ani spalin. W przypadku całkowitego opróżnienia kondensatorów, automatycznie zostaje załączony silnik Diesla.

Brak mechanicznego połączenia silnika z przekładnią główną pozwala osiągnąć wyższe przyspieszenia, a brak przełączania biegów poprawia komfort podróży pasażerów i zwiększa komfort pracy kierowców. Niestety większa masa własna spowodowana zabudową dodatkowych komponentów, powoduje, że autobus może pomieścić zamiast 101 tylko 83 pasażerów.

Za sprawną, efektywną i niezawodną koordynację pracy silników elektrycznych i silnika Diesla, generatora i akumulatora energii oraz agregatów dodatkowych odpowiada inteligentny system zarządzania energią i-MEM. Jest to system opracowany samodzielnie przez inżynierów firmy MAN, który w okresie testów i prób poddawany był ciągłym udoskonaleniom. Steruje on pracą silnika Diesla i automatycznym układem start-stop, kontroluje stan naładowania modułów Ultracap oraz reguluje napęd agregatów dodatkowych – pompy wspomagającej kierowania i klimatyzacji. Dzięki inteligentnemu systemowi sterowania układ hybrydowy nie musi być odpowiednio regulowany i przystosowywany do specyfiki



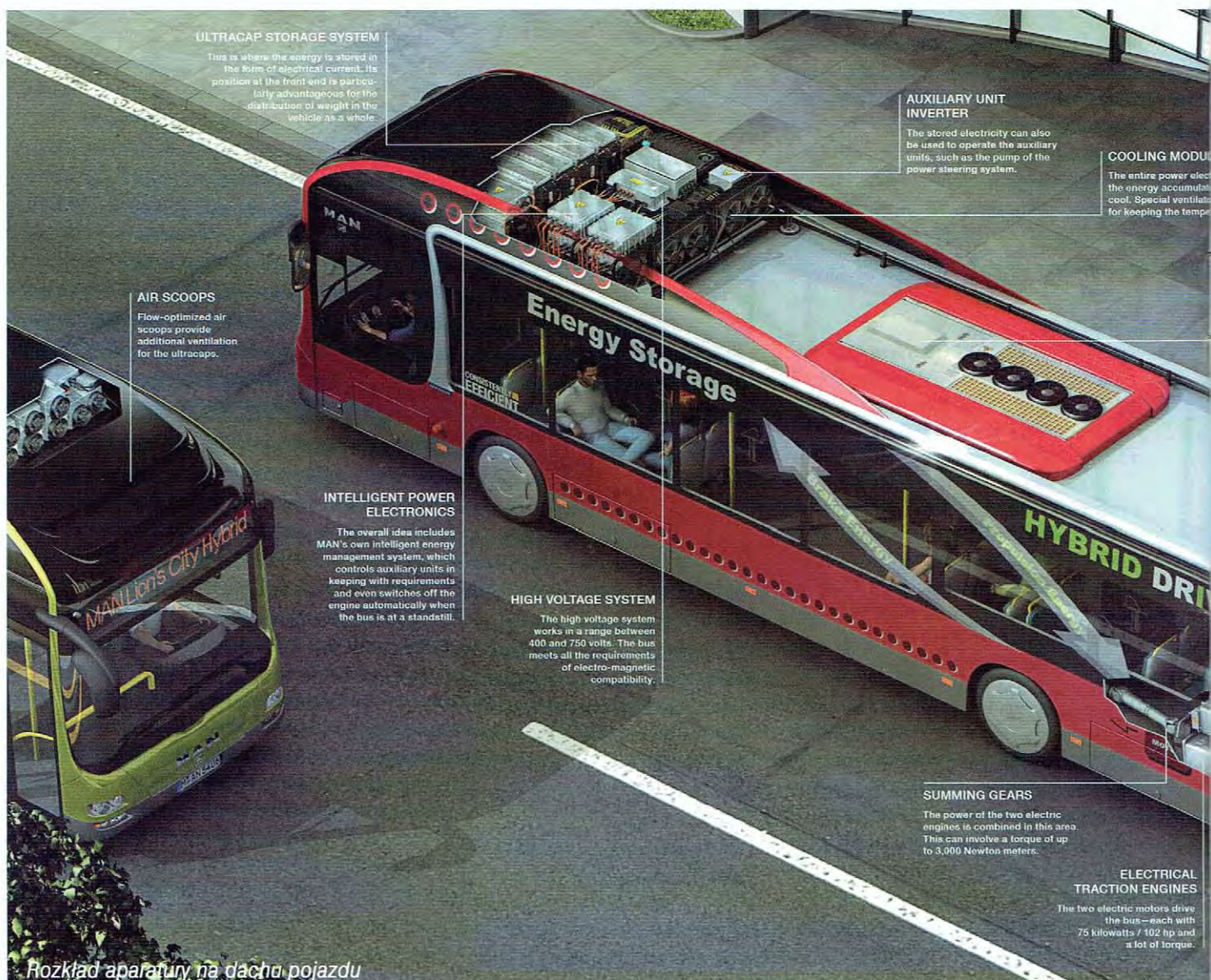
Oryginalnym elementem nowego nadwozia jest słupek „B” harmonijnie łączący się ze srebrną listwą poprowadzoną wzdłuż nadwozia



Zmniejszenie oporów aerodynamicznych osiągnięto także dzięki wprowadzeniu osłon na koła tylne



W nowym autobusie hybrydowym MAN energię odzyskiwaną podczas hamowania przetrzymuje się w jednym z 12 kondensatorów energii



ULTRACAP STORAGE SYSTEM

Thus is where the energy is stored in the form of electrical current. Its position at the front end is particularly advantageous for the distribution of weight in the vehicle as a whole.

AUXILIARY UNIT INVERTER

The stored electricity can also be used to operate the auxiliary units, such as the pump of the power steering system.

COOLING MODU

The entire power ele... the energy accumulat... cool. Special ventilat... for keeping the temper...

AIR SCOOPS

Flow-optimized air scoops provide additional ventilation for the ultracaps.

INTELLIGENT POWER ELECTRONICS

The overall idea includes MAN's own intelligent energy management system, which controls auxiliary units in keeping with requirements and even switches off the engine automatically when the bus is at a standstill.

HIGH VOLTAGE SYSTEM

The high voltage system works in a range between 400 and 750 volts. The bus meets all the requirements of electro-magnetic compatibility.

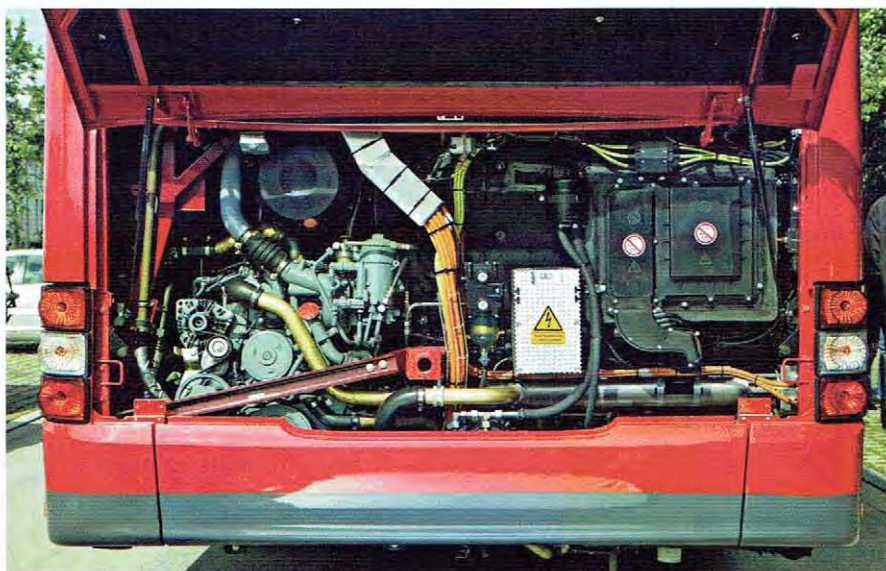
SUMMING GEARS

The power of the two electric engines is combined in this area. This can involve a torque of up to 3,000 Newton meters.

ELECTRICAL TRACTION ENGINES

The two electric motors drive the bus—each with 75 kilowatts / 102 hp and a lot of torque.

Rozkład aparatury na dachu pojazdu



W komorze silnika, jedyną dostrzegalną różnicą jest kilka dodatkowych elementów elektronicznych



Wnętrze autobusu hybrydowego nie różni się od seryjnego modelu A37



Tab. 1. Dane techniczne MAN Lion's City Hybrid

Układ hybrydowy

Szeregowy układ hybrydowy wyposażony w opracowany przez firmę MAN inteligentny system zarządzania energią oraz w funkcję start-stop

Długość [mm]	11980
Szerokość [mm]	2500
Wysokość [mm]	3300
Rozstaw osi [mm]	5875
Silnik Diesla	MAN D0836 LOH CR MAN PURE DIESEL® EEV
Moc [kW/KM]	184/250 przy 2300 obrotach/min
Pojemność silnika [cm ³]	6871
Maksymalny moment obrotowy	1050 Nm w przedziale 1200-1750 obr/min
Silniki trakcyjne	2 x asynchroniczne silniki elektryczne, każdy o mocy znamionowej 75 kW
Trakcyjny akumulator energii	Kondensatory „Ultracap”, sześć chłodzonych powietrzem modułów zamontowanych na dachu pojazdu
Cieżyż własny pojazdu [kg]	12640
Dopuszczalna masa całkowita pojazdu [kg]	18000
Miejsca siedzące/miejsca stojące	28 / 49
Ogumienie	6 x 275/70 22,5"



konkretnych tras przejazdu, czy profili jazdy, zawsze gwarantując pełne wykorzystanie wszystkich możliwości zapewniających jak najlepszą efektywność układu hybrydowego.

Inteligentny system zarządzania energią informuje na bieżąco kierowcę o aktualnym stanie naładowania i gotowości systemu do pracy. Deska rozdzielcza kierowcy została tak przygotowana, aby na centralnym wyświetlaczu pokazywać wszystkie dane niezbędne do efektywnej i oszczędnej pod względem zużycia paliwa jazdy. Na ekranie LCD dostępne są m.in. wskaźnik stanu naładowania kondensatorów, wskaźnik aktualnego stanu odzysku uwalnianej podczas hamowania energii kinetycznej oraz wskaźnik diagnozy. Jedyną różnicę w zakresie wyposażenia w porównaniu z konwencjonalnym autobusem miejskim z silnikiem Diesla stanowi wyłącznik bezpieczeństwa wymagany zgodnie z dyrektywą autobusową 2001/85/WE.



Na desce rozdzielczej wprowadzono kilka dodatkowych liczników informujących m.in. wskaźnik naładowania kondensatorów