

NOWOCZESNA KONSTRUKCJA LEKKIEGO SPALINOWO-ELEKTRYCZNEGO AUTOBUSU SZYNOWEGO TYPU 227M¹

Patryk Urbański

mgr inż., Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, ul. Warszawska 181, 61-055 Poznań, tel. +48 61 664 14 75, email: patryk.urban-ski@tabor.lukasiewicz.gov.pl

Kuba Mieżowiec

inż., Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, ul. Warszawska 181, 61-055 Poznań, tel. +48 61 664 14 74, email: kuba.miezwowiec@tabor.lukasiewicz.gov.pl

Mariusz Far

dr inż., Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, ul. Warszawska 181, 61-055 Poznań, tel. +48 61 664 14 99, email: mariusz.far@tabor.lukasiewicz.gov.pl

Piotr Tarnawski

mgr inż., H. Cegielski - Fabryka Pojazdów Szynowych Sp. z o.o., ul. 28 Czerwca 1956 r. 223/229, 61-485 Poznań, tel. +48 500 202 700, email: p.tarnawski@fpspozn.pl

Dawid Gallas

mgr, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, ul. Warszawska 181, 61-055 Poznań, tel. +48 616 64 14 72, email: dawid.gallas@tabor.lukasiewicz.gov.pl

***Streszczenie.** Przedmiotem artykułu jest lekki dwuczłonowy autobus szynowy typu 227M o nazwie handlowej „PLUS”. Projekt dwunapędowego pasażerskiego pojazdu szynowego przeznaczonego głównie do poruszania się po trasach regionalnych został zrealizowany przez Sieć Badawczą Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu, w kooperacji z producentem pojazdu H. Cegielski - Fabryka Pojazdów Szynowych. Pojazd posiadający możliwość poruszania się zarówno po trakcji zelektryfikowanej oraz nieelektryfikowanej został oficjalnie zaprezentowany we wrześniu 2021 roku. W artykule zostały przedstawione innowacyjne rozwiązania techniczne i konstrukcyjne autobusu szynowego obejmujące spalinowy oraz elektryczny układ napędowy, układy jezdne, parametry trakcyjne, a także rozmieszczenie urządzeń i przedmiotów we wnętrzu i na zewnątrz pojazdu.*

***Słowa kluczowe:** autobus szynowy, pojazd hybrydowy, transport pasażerski*

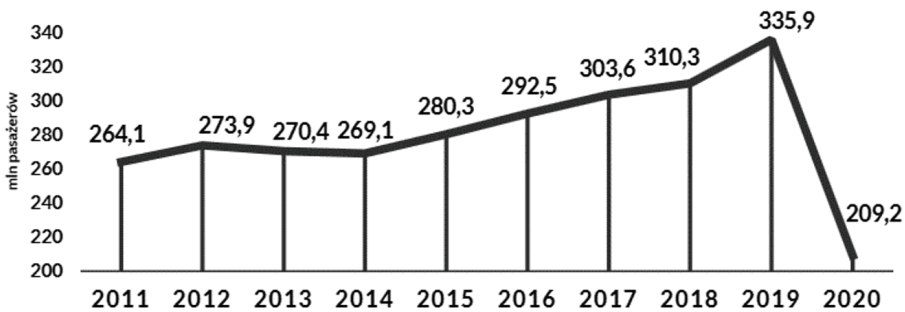
1. Wprowadzenie

W kolejowym transporcie pasażerskim w Polsce w ostatnich latach odnotowywano coroczny przyrost liczby pasażerów [3]. Porównując rok 2011 oraz 2019 przyrost ten wyniósł 71,8 miliona pasażerów, co stanowi wzrost o 27% (rys. 1.). Podobna sytuacja dotyczy pracy eksploatacyjnej w kolejowych przewozach pasażerskich, gdzie od roku 2014 do 2019 odnotowany był coroczny przyrost wykona-

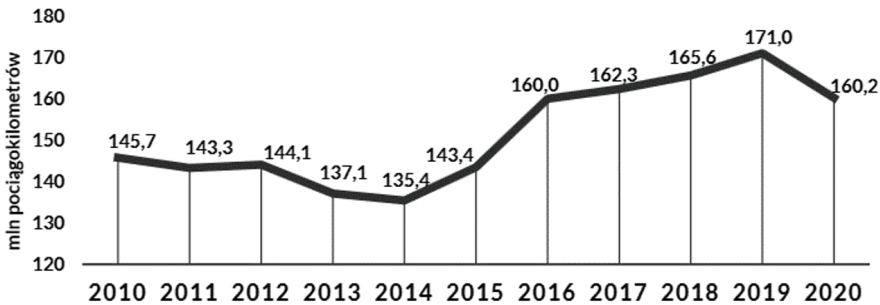
¹ Wkład autorów w publikację: Urbański P.: 20%, Mieżowiec K.: 20%, Far M.: 20%, Tarnawski P.: 20%, Gallas D.: 20%

nej pracy (rys. 2). Od roku 2014 (135,4 mln) do roku 2019 (171 mln) wykonana roczna praca eksploatacyjna wzrosła o 26%.

Wyjątek stanowi rok 2020, który z całą pewnością był bardzo nietypowym. Ze względu na panującą pandemię wywołaną przez wirus COVID-19, a w konsekwencji wprowadzone ściśle obostrzenia dotyczące swobodnego poruszania się, znaczna część pasażerów korzystających z usług kolei była zmuszona lub zrezygnowała dobrowolnie z tego rodzaju transportu w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa zarażenia. W wyniku tego zjawiska liczba pasażerów kolei w Polsce w 2020 roku znacząco spadła, czego potwierdzeniem jest spadek o 38% względem roku poprzedniego. Wpływ pandemii na kolejowe przewozy pasażerskie jest również widoczny poprzez wykonaną pracę eksploatacyjną, gdzie względem 2019 roku odnotowano spadek o 6,5%.



Rys. 1. Liczba pasażerów w kolejowych przewozach pasażerskich w latach 2011–2020 {3}

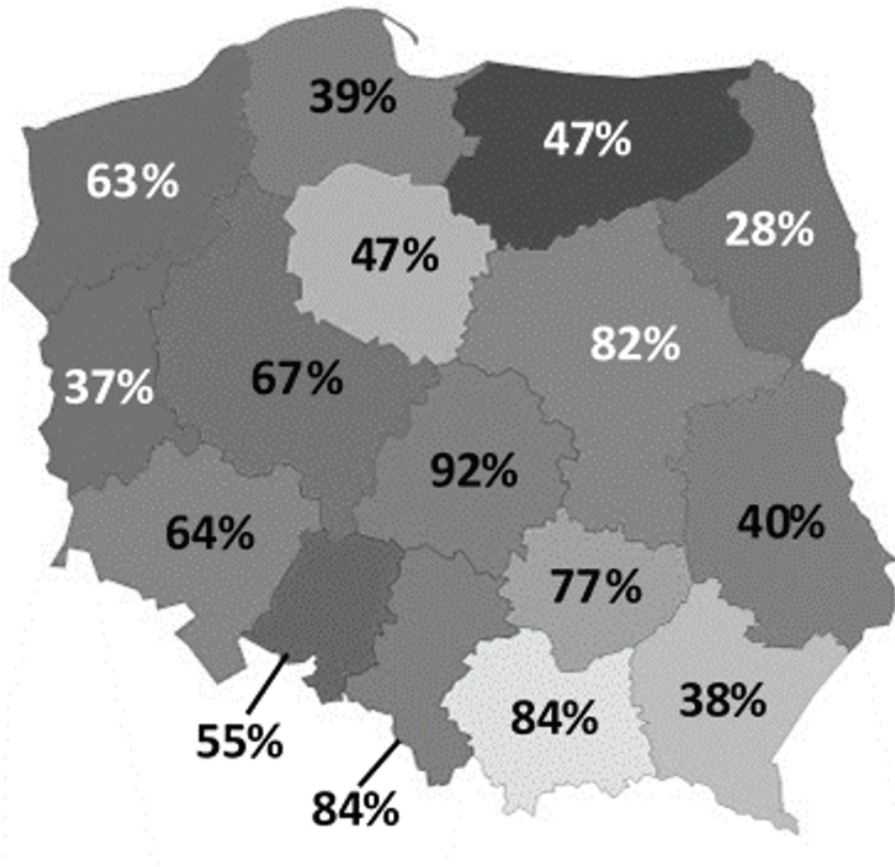


Rys. 2. Praca eksploatacyjna w kolejowych przewozach pasażerskich w latach 2010–2020 {3}

Niezbyt pomyślny dla pasażerskich przewoźników kolejowych rok 2020 jest jednak zapewne wyjątkiem od panującego w poprzednich latach trendu popularyzacji wykorzystania kolei do transportu osób. Coroczny przyrost liczby pasażerów pozwala sądzić, iż kolej stanowi wygodny i dostępny sposób transportu. Z tego względu odnotowuje się liczne inwestycje w kolej [2], co z pewnością jest pozytywnym zjawiskiem w aspekcie zadowolenia użytkownika.

Przewozy kolejowe mogą być realizowane po liniach kolejowych, których według danych PKP, w Polsce znajduje się 19 235 km, z czego około 62% linii jest

zelektryfikowana. Szczegółowe dane dotyczące stopnia zelektryfikowania linii kolejowych w poszczególnych województwach w Polsce przedstawia rys. 3. Widoczne jest, że w 7 województwach większość linii jest niezelektryfikowana, a w 4 województwach poziom zelektryfikowania jest mniejszy niż 40%. Fakt ten oznacza, iż po znacznej części tras kolejowych muszą poruszać się pojazdy niezależne od trakcji elektrycznej. Głównie są to pojazdy napędzane silnikiem spalinowym.



Rys. 3. Udział sieci elektrycznej na liniach kolejowych w poszczególnych województwach na terenie Polski {1}

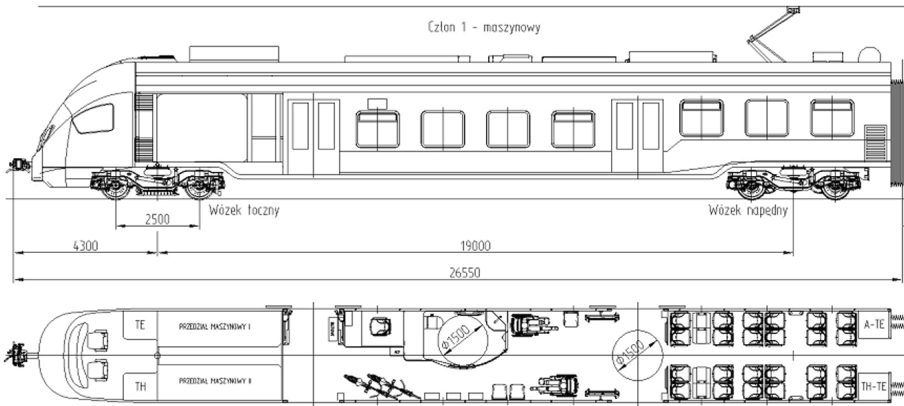
2. Opis pojazdu

Różny stopień zelektryfikowania linii kolejowych sprawia, iż użytkowanie elektrycznych zespołów trakcyjnych na wszystkich trasach nie jest możliwe. W przypadku braku sieci trakcyjnej konieczna jest zmiana na pojazd wyposażony w silnik spalinowy. Problematyczność związana z eksploatacją różnego rodzaju pojazdów sprawia, iż istotne jest wyposażenie pojazdów w zasobnik energii pozwalający na pokonywanie odcinków niezelektryfikowanych. We współpracy Sieci Badawczej

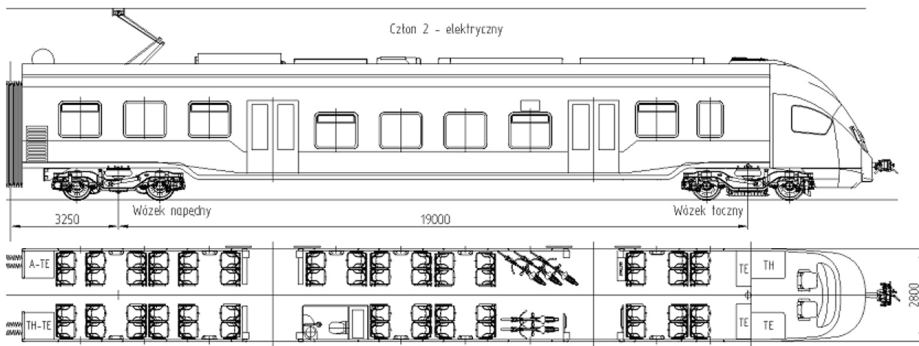
Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” i H. Cegielski – Fabryka Pojazdów Szynowych powstał pasażerski pojazd szynowy „PLUS” przeznaczony głównie do poruszania się po trasach regionalnych. Systemy magazynowania energii dla napędów hybrydowych, w tym modułowe, mogą być oparte na akumulatorach litowo-jonowych [4]. Wykorzystany zasobnik energii pozwala na jazdę po trasach niezelektryfikowanych i zelektryfikowanych bez zmiany pojazdu. Dzięki temu zmniejszona jest liczba przesiadek oraz poprawiony komfort podróżowania. Dane dotyczące pojazdu przedstawia tabela 1, natomiast na rys. 4 i 5 ujęto odpowiednio człon maszynowy oraz elektryczny.

Tabela 1. Dane dotyczące pojazdu 227M

<i>Dane</i>	<i>Wartość</i>	<i>Jednostka</i>
Długość całego zespołu ze sprzęgami	53 100	[mm]
Ilość drzwi w każdym członie	4 x podwójne	[-]
Wysokość od główki szyny do poziomu podłogi:		
- w wejściach	800	[mm]
- nad wózkami	1 140	[mm]
Minimalny promień łuku toru	120	[m]
Masa całego pojazdu próżnego	110 000	[kg]
Masa całego pojazdu maksymalnie obciążonego (4os./m ²)	127 00	[kg]
Maksymalne naciski na tor	≤ 185	[kN]
Liczba miejsc siedzących stałych/składanych	80/3	[-]
Liczba miejsc stojących (4os./m ²)	145	[-]
Miejsca na rowery	7	[-]
Miejsca do zabudowy biletomatów	2	[-]
Prędkość eksploatacyjna przy zasilaniu z trakcji elektrycznej	160	[km/h]
Prędkość eksploatacyjna przy zasilaniu z agregatów prądotwórczych	120	[km/h]
Rozstaw wózków członu	19 000	[mm]
Rozstaw osi wózków	2500	[mm]
Średnica kół:		
- nowe obręcze	850	[mm]
- zużyte obręcze	780	[mm]
Usprężynowanie:		
- I stopnia	wahacze	[-]
- II stopnia	sprężyny pneumatyczne	[-]



Rys. 4. Człon maszynowy



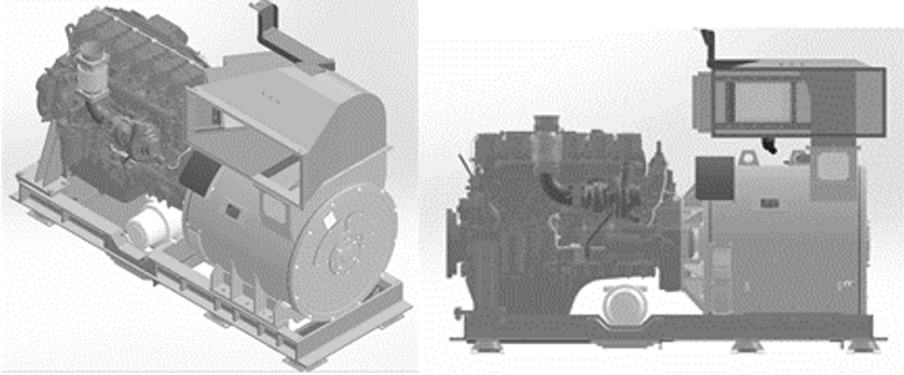
Rys. 5. Człon elektryczny

3. Układ napędowy

Pojazd 227M posiada możliwość poruszania się za pomocą dwóch źródeł napędu. Pierwsze z nich to napęd elektryczny. W tym przypadku energia elektryczna poprzez pantograf jest pobierana z trakcji elektrycznej. Następnie, pobrana energia poprzez system elektryczny zasila silniki trakcyjne zabudowane na wózkach napędnych. Jest to klasyczne rozwiązanie w przypadku elektrycznych pojazdów szynowych. Jazda w trybie elektrycznym jest możliwa dzięki specjalnie w tym celu zaprojektowanemu członowi elektrycznemu.

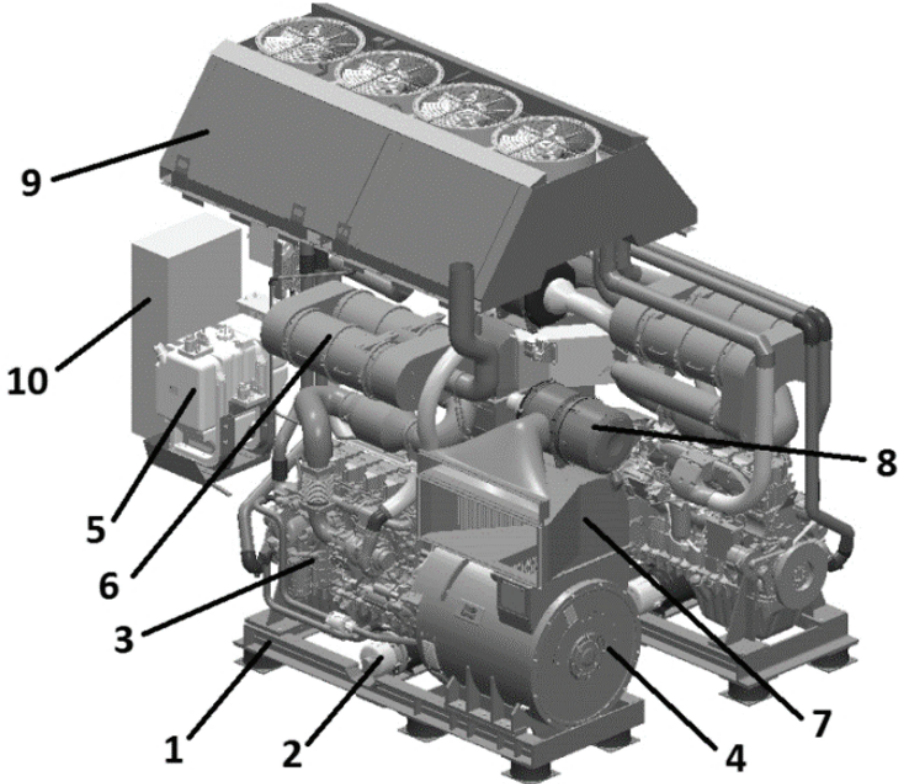
Cechą szczególną opisywanego pojazdu jest możliwość poruszania się również w trybie spalinowym. Drugi rodzaj napędu został zabudowany w członie spalinowym. Źródłem napędu są dwa zespoły prądotwórcze Gen Trak400 składające się z silnika spalinowego oraz prądnicy (rys. 6). Pracujący silnik spalinowy napędza prądnicę, która generuje prąd zasilający silniki trakcyjne zabudowane na wózkach napędnych. Zestaw agregatu prądotwórczego oraz układu oczyszczania spalin na poziomie Stage V tworzy

modułowy system układu napędowego, tzw. Powerpack, który ma ułatwiać obsługę spalinowego układu napędowego oraz jego demontaż podczas napraw (rys. 7).



Rys. 6. Zespół agregatu prądotwórczego Gen Trak 400. Silnik spalinowy (po lewej) oraz prądnica (po prawej)

Źródło: materiały własne

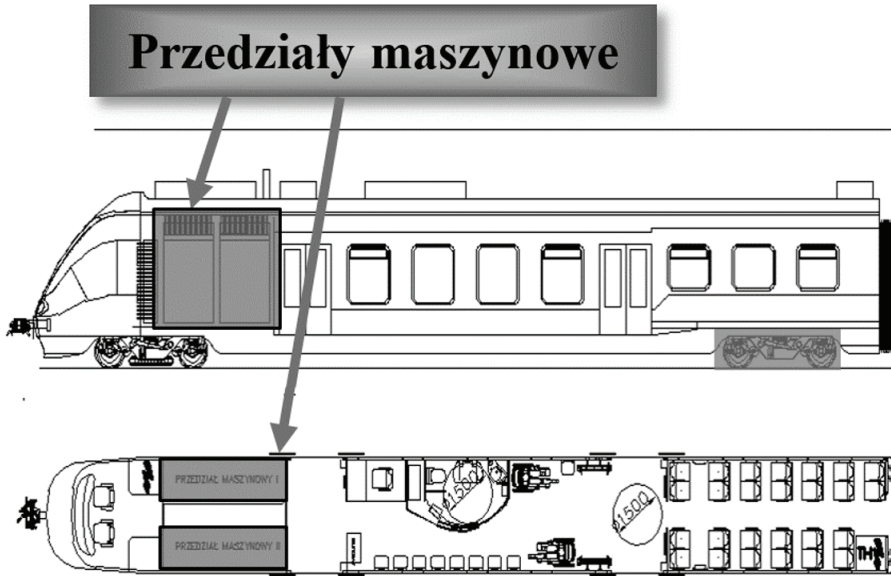


Rys. 7. Elementy spalinowego układu napędowego:

1 – rama agregatu, 2 – podgrzewacz, 3 – silnik spalinowy, 4 – prądnica trakcyjna, 5 – zbiornik Ad-Blue, 6 – układ oczyszczania spalin wraz z tłumikami, 7 – kanał wentylacyjny prądnicy trakcyjnej, 8 – filtr powietrza dolotowego wraz z kanałem, 9 – układ chłodzenia dla dwóch silników, 10 – przestrzeń na sterownik silnika

Źródło: materiały własne

Spalinowy układ napędowy został zabudowany w przedziałach maszynowych pomiędzy przedziałem pasażerskim a kabiną maszynisty. Dwie komory Powerpacków rozdziela korytarz leżący w osi pojazdu, prowadzący do kabiny maszynisty. Na rys. 8 zostały przedstawione miejsca zabudowy przedziałów maszynowych w pojeździe 227M.



Rys. 8. Umiejscowienie przedziałów maszynowych w członie maszynowym

Źródło: materiały własne

Zespół prądotwórczy Gen Trak400 składa się z dwóch podstawowych elementów: silnika spalinowego oraz prądnicy. Do pojazdu 227M wykorzystano dwa zespoły prądotwórcze, które składają się z silnika spalinowego TCD 12.0 L6 firmy Deutz o mocy 400 kW oraz prądnicy GTds500S4A firmy Emit o mocy znamionowej 460 kVA. Dane techniczne silnika spalinowego oraz prądnicy przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Dane techniczne silnika spalinowego oraz prądnicy zespołu prądotwórczego Gen Trak400

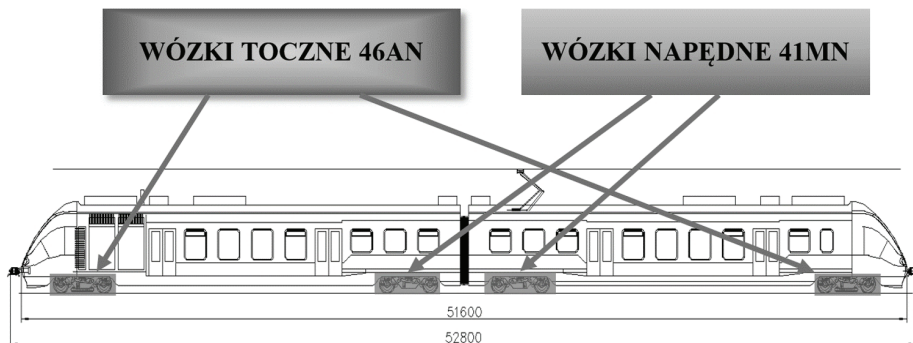
Silnik spalinowy			Prądnica		
Dane	Wartość	Jednostka	Dane	Wartość	Jednostka
Typ silnika	TCD 12.0 L6	[-]	Typ silnika	GTds500S4A	[-]
Zasada działania i rodzaj silnika	4-suwowy silnik z zapłonem samoczynnym, 6-cylindrowy układ rzędowy	[-]	Moc znamionowa	460	[kW]
Średnica/skok tłoka	130/150	[mm]	Prędkość znamionowa	1800	[rpm]

Łączna pojemność skokowa	11946	[cm ³]	Napięcie znamionowe	3000 +/-5%	[V]
Układ zasilania	Common Rail	[-]	Częstotliwość znamionowa	60 +/- 2%	[Hz]
Układ końcowej obróbki spalin (EU Kategoria V)	Katalizator utleniający do silników diesla (DOC) + Selective Catalytic Reduction (SCR) + filtr cząstek stałych (DPF)	[-]	Prąd znamionowy	88,5	[A]
Moc silnika wg ISO 9249	400 @1900 rpm	[kW]	Sprawność	93	[%]
Max. Torque	2500 @1200 rpm	[Nm]	Masa	1850	[kg]
Ilość płynu chłodniczego	24	≈[l]	Temperatura pracy	Od -30 do +40	[°C]
Dopuszcz. trwała temperatura płynu chłodniczego	max. 110	[°C]	Połączenie uzwojenia stojana	Gwiazda	[-]
Ciężar bez układu chłodzenia wg DIN 70020-A	1005±3,5%	≈[kg]	Klasa izolacji	H (VPI)	[-]

Źródło: materiały własne

4. Układ jezdny

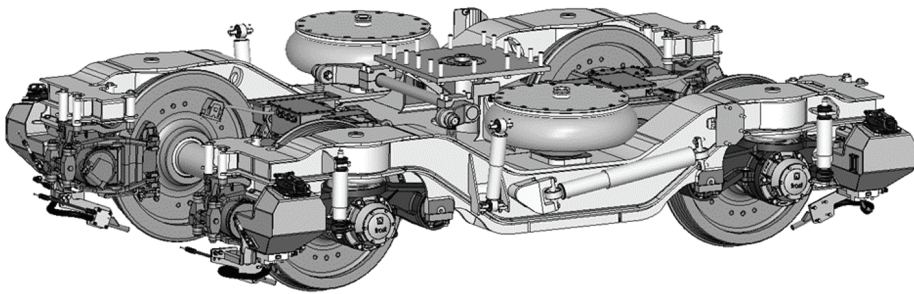
W autobusie szynowym zastosowane są dwa rodzaje wózków: wózki napędne 41MN oraz wózki toczne typu 46AN. Każdy z wózków jest zastosowany po jeden na każdy człon (rys. 9).



Rys. 9. Położenie wózków na pojeździe szynowym 227M

Źródło: materiały własne

Do głównych elementów konstrukcyjnych wózka 41MN (rys. 10) należą: rama wózka wraz z układem wsporników, układ przeniesienia siły pociągowej, usprężynowanie I-go stopnia i prowadzenie zestawu kołowego, usprężynowanie II-go stopnia z zastosowanymi dwoma sprężynami pneumatycznymi, układ tłumików i odbijaków, zestaw kołowy, układ napędowy, układ piasecznic, stabilizator przechylenia nadwozia, układ hamulcowy, układ maźnic oraz układ przewodów pneumatycznych i elektrycznych. Wózek wyposażono w dwa zestawy kołowe napędne z kołami monoblokowymi o średnicy okręgu tocznego $\Phi 850$ mm w stanie nowym i zarysie koła S1002/h28/e32,5/6,7% zgodnie z PN-EN 13715:2008. Dopuszczalna średnica koła w stanie zużyтым wynosi $\Phi 780$ mm. Na osi zestawu kołowego umieszczono układ napędowy składający się z silnika, sprzęgła i przekładni. Na wózku 41MN zostały zabudowane dwa trójfazowe asynchroniczne klatkowe silniki elektryczne DKLBZ 0910-4B o masie 629 kg (bez sprzęgła) oraz urządzenia takie jak: sprzęgło przeponowe o masie 30,8 kg oraz wirnik o masie 191 kg. Dane dotyczące silnika trakcyjnego zamieszczone zostały w tabeli 3.



Rys. 10. Wózek 41MN. W pobliżu osi zestawu kołowego zamocowane zostały elektryczne silniki trakcyjne

Źródło: materiały własne

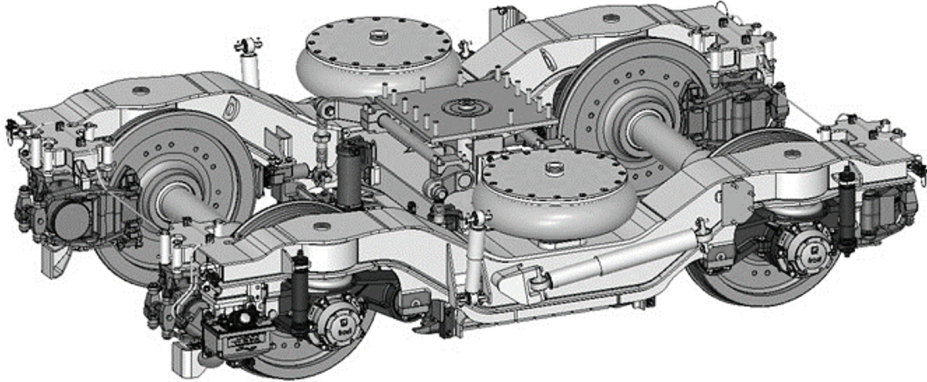
Tabela 3. Parametry techniczne silnika trakcyjnego DKLBZ 0910-4B

Tryb pracy	SI	max.	Jednostka
Moc	300		kW
Napięcie	2 340		[V]
Prąd	96		[A]
Liczba obrotów	2 139	6 570	[rpm]
Częstotliwość	72		[Hz]
Sprawność	94,3		[%]
Współczynnik mocy $\cos \varphi$	0,82		[-]
Moment obrotowy	1 339	2 250	[Nm]

Źródło: materiały własne

Wózek 46AN jest konstrukcją, która w znacznej części została zaadaptowana z rozwiązania wózka 41MN. Wózek składa się z takich elementów jak: rama wózka wraz z układem wsporników, układ przeniesienia siły pociągowej (adaptowany z wózka 41MN), usprężynowanie I-go stopnia i prowadzenie zestawu ko-

lowego, usprężynowanie II-go stopnia (adaptowane z wózka 41MN), składające się z dwóch sprężyn pneumatycznych, układ tłumików i odbijaków (adaptowane z wózka 41MN), zestaw kołowy, stabilizator przechylenia nadwozia (adaptowany z wózka 41MN), układ hamulcowy, układ maźnic, układ przewodów pneumatycznych i elektrycznych oraz układ smarowania obrzeży kół oraz wózki napędne typu 46AN (rys. 11).



Rys. 11. Wózek 46AN
Źródło: materiały własne

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono od strony technicznej i funkcjonalnej konstrukcję lekkiego spalinowo-elektrycznego autobusu szynowego typu 227M. Dzięki zastosowaniu napędu hybrydowego jest on świetną alternatywą dla pojazdów zasilanych elektrycznie bądź spalinowo. Jedną z zalet tego rozwiązania jest fakt, iż przy braku sieci trakcyjnej pasażerowie nie są zmuszeni do zmiany pojazdu na taki, który zasilany jest silnikiem spalinowym. Uniwersalność pojazdu zapewnia mu pełną mobilność nawet w przypadku awarii. Hybrydyzacja powoduje w tym wypadku także zmniejszenie poziomu hałasu oraz drgań, co zwiększa komfort jazdy.

Prowadzone w ostatnich latach prace naukowo-badawcze w zakresie kolejowego i drogowego transportu masowego dotyczą w szczególności ograniczenia szkodliwego oddziaływania środków transportu na środowisko naturalne [5]. Dzięki zastosowaniu w pojeździe układu Powerpack z układem oczyszczania spalin na poziomie Stage V osiągnięto bardzo niską emisję toksycznych zanieczyszczeń. Dodatkowo hybrydowy system napędu zmniejsza zużycie paliw, których ceny w ostatnich latach znacząco wzrosły. Zaletą jest również konstrukcja wózków, która jest łatwo adaptowalna do pojazdów z inną formą napędu np. napęd wodorowy przy zachowaniu prędkości pojazdu 160 km/h. Zastosowanie wózków napędnych od strony połączenia międzywagonowego podyktowane jest lepszym wykorzystaniem właściwości trakcyjnych przenoszonych przez koła na szyny.

W zakresie sposobów umożliwiających poprawę efektywności w przewozach masowych osób i ładunków mieści się zakup nowoczesnego taboru [6]. Użytkowanie autobusów szynowych o napędzie hybrydowym w Polsce było dotychczas ograniczone brakiem zapotrzebowania na taką formę napędu jak w opisywanym środku transportu. Dzięki projektom rządowym, a także unijnym, praca w tym zakresie znacząco się rozwinęła.

Bibliografia

- [1] Michalak P., Merksisz J., Stawecki W., Andrzejewski M., Daszkiewicz P., The selection of the engine unit - main engine generator during the modernization of the 19D/TEM2 locomotive. *Combustion Engines*. 2020;182(3):38-46. doi:10.19206/CE-2020-307.
- [2] Uchwała Rady Ministrów nr 162/2015 z 15 września 2015 r. dotycząca Krajowego Programu Kolejowego do 2023.
- [3] Urząd transportu kolejowego. Podsumowanie 2020 roku. Przewozy pasażerskie i towarowe.
- [4] Daszkiewicz P., Andrzejewski M., Merksisz-Guranowska A., Zastosowanie układów napędu hybrydowego w pojazdach transportu masowego. *TTS Technika Transportu Szynowego* 2015 R.22 nr. 12: 2450-2454.
- [5] Dittus H., Ungethüm J., Modelling of alternative propulsion concepts of railway vehicles, *The Modelica Association*, pp. 391–398, *Modelica* 2006, 4–5 September.
- [6] Daszkiewicz P., Andrzejewski M., Merksisz-Guranowska A., Gallas D., Stawecka H., Analiza wybranych napędów alternatywnych stosowanych w autobusach szynowych. *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe* 2017 R.18 nr 6:143-146.

