MECHANIKA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
9-M/2012
ZESZYT 26
ROK 109
ISSUE 26
YEAR 109

BARTOSZ SZACHNIEWICZ*

KONCEPCJA DOBORU UNIWERSALNEGO ZESPOŁU PRĄDOTWÓRCZEGO WRAZ Z AGREGATEM CHŁODNICZNYM DO CIĘŻKICH LOKOMOTYW SPALINOWYCH

CONCEPT SELECTION OF AN UNIVERSAL GENERETING SET WITH A REFRIGERATING UNIT FOR HEAVY DIESEL LOCOMOTIVES

Streszczenie

W artykule przedstawiono propozycję uniwersalnego zespołu prądotwórczego – wraz z agregatem chłodniczym – przeznaczonego do zabudowy na ciężkich lokomotywach spalinowych. W trakcie opracowywania studium budowy przedmiotowego zespołu autor skupił się na lokomotywach serii SM31, SM48, S200 raz SU45. Należy zaznaczyć, że zaproponowane rozwiązanie będzie mogło być wykorzystane podczas modernizacji lokomotyw innych serii oraz w trakcie budowy nowych pojazdów trakcyjnych. Na wstępie artykułu zawarto ogólną charakterystykę ww. lokomotyw manewrowych/pociągowych. Na podstawie przeprowadzonego bilansu mocy wskazano wartości mocy, jakimi dysponować powinny urządzenia wchodzące w skład przedmiotowego zespołu prądotwórczego. Następnie dokonano wyboru silnika spalinowego oraz zespołu prądnic. W ostatnim etapie podano wymagania dotyczące zespołu chłodniczego, określono jego podstawowe parametry oraz wymiary gabarytowe.

Słowa kluczowe: zespół prądotwórczy, modernizacja lokomotyw, unifikacja

Abstract

This paper presents an idea of a universal generating set with a refrigerating unit for heavy, modernized diesel – electric locomotives. During analysis the author focused on locomotives class SM31, TEM2, S200 and SU45. However, the proposed solution will be able to be used in modernization of locomotives other classes or construction of new vehicles. First of all, the paper presents general characteristics of locomotives class SM31, TEM2, S200 and SU45. In the next steps author shows results of the energy balance, indicates the diesel engine, main generator and auxiliary generator. In the end the author specifies the requirements for refrigeration unit, sets the parameters and dimensions.

Keywords: generating set, modernization of locomotives, unification

* Mgr inż. Bartosz Szachniewicz, Instytut Pojazdów Szynowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

W ostatnich latach wzrosło zapotrzebowanie na nowe pojazdy trakcyjne, w tym przede wszystkim na spalinowe lokomotywy manewrowe/liniowe. Składa się na to wiele czynników – głównie konieczność minimalizacji kosztów eksploatacji posiadanego taboru oraz znaczny wzrost pracy przewozowej realizowanej przez przedsiębiorstwa transportu kolejowego. Pojazdy generujące wysokie koszty utrzymania zastępowane są więc nowymi konstrukcjami. Należy podkreślić, że zakup nowego taboru szynowego wiąże się ze znacznymi nakładami finanstowymi – koszt zakupu lokomotywy manewrowej wynosi około 2 mln euro, a lokomotywy liniowej 4 – 5 mln euro. Konieczność minimalizacji kosztów produkcji i eksploatacji stała się główną przyczyną wprowadzenia uniwersalnych zespołów urządzeń/platform umożliwiających dowolną konfigurację oraz późniejszą modyfikację pojazdu szynowego (np. TRAXX – Bombardier, Vectron – Siemenes, Gryffin – ZNLE, Gama – PESA). Modułowa budowa pozwoliła na znaczną unifikację pojazdów różnych serii poprzez np. wykorzystanie wspólnej ostoi do budowy pojazdów elektrycznych i spalinowych, zastosowanie uniwersalnych zespołów napędowych itd. Wpłynęło to na znaczne ograniczenie kosztów produkcji i eksploatacji nowobudowanych pojazdów szynowych.

Alternatywnym rozwiązaniem do budowy nowych pojazdów trakcyjnych jest modernizacja konstrukcji już istniejących. W zależności od zakresu prowadzonych prac koszty modernizacji lokomotywy nie przekraczają zazwyczaj 30–40% wartości nowego pojazdu trakcyjnego tego samego typu. Zdaniem autora w trakcie modernizacji różnych pojazdów trakcyjnych możliwa byłaby unifikacja wybranych zespołów/podzespołów. Rozwiązanie to niewątpliwie wpłynęłoby na uproszczenie prac modernizacyjnych oraz redukcję ich koszów.

W niniejszym artykule zawarto studium techniczne budowy uniwersalnego zespołu prądotwórczego wraz z agregatem chłodniczym. Przedmiotowy zespół – silnik spalinowy, prądnica główna, prądnica pomocnicza, agregat chłodniczy może być wykorzystany w trakcie modernizacji ciężkich lokomotyw manewrowych/liniowych eksploatowanych na terenie kraju i poza jego granicami. Analizy wykonano w oparciu o lokomotywy serii SM31, SM48, S200 oraz SU45, jednak omawiany zespół prądotwórczy wraz z agregatem chłodniczym mógłby znaleźć zastosowanie podczas modernizacji innych pojazdów trakcyjnych lub w trakcie budowy nowych konstrukcji o porównywalnych parametrach.

2. Charakterystyka lokomotyw serii SM31, SM48, S200 oraz SU45

Studium techniczne budowy uniwersalnego zespołu prądotwórczego wraz z agregatem chłodniczym wykonano w oparciu o lokomotywy serii SM31, SM48, S200 oraz SU45. Spośród wymienionych wyżej, pojazdy serii SM31 oraz S200 nie zostały poddane dotychczas żadnej modernizacji. Modernizacja lokomotywy serii SU45 nie obejmowała całego zespołu prądotwórczego, a jej głównym celem było przystosowanie pojazdu do prowadzenia pociągów towarowych. Lokomotywa SM48/TEM2 była poddawana już różnym modernizacjom, a jedną z nich realizuje obecnie Newag Nowy Sącz. W jej trakcie pojazd poddawany jest gruntownej przebudowie. Poniżej zamieszczono ogólną charakterystykę wymienionych lokomotyw. Na rysunkach 1–4 przedstawiono omawiane lokomotywy, natomiast w tab. 1 zestawiono ich podstawowe parametry.

Lokomotywa serii SM31 jest pojazdem zaprojektowanym w kraju i produkowanym seryjnie w latach 1976–1985 przez firmę „Fablok" w Chrzanowie w liczbie ponad 200 sztuk. Pojazd przeznaczony jest do realizacji ciężkich prac manewrowych na stacjach i górkach rozrządowych oraz prowadzenia ciężkich pociągów towarowych. Zespół prądotwórczy pojazdu zbudowano w oparciu o silnik spalinowy serii a8C22W oraz przekładnię elektryczną w układzie prąd stały–prąd stały. Ze względu na charakter wykonywanych prac lokomotywę SM31 wyposażono w jedną kabinę maszynisty, którą umieszczono w centralnej części ostoi pojazdu. Po obu stronach kabiny zabudowano przedziały maszynowe, w których umieszczono wszystkie niezbędne do pracy pojazdu urządzenia. Nadwozie oparto na dwóch wózkach o układzie osi C'o C'o.

Lokomotywa serii TEM2 (oznaczenie PKP SM48) to pojazd produkcji radzieckiej, którego konstrukcję oparto na rozwiązaniach wykorzystanych przy budowie amerykańskiej lokomotywy ALCO RSD – 1. Lokomotywa TEM2 produkowana była przez zakłady maszynowe w Birańsku i Ługańsku w latach 1967–1989 w liczbie ponad 3100 sztuk. Do Polski sprowadzono 430 sztuk tych lokomotyw, z czego 130 egzemplarzy skierowano do pracy w PKP, a 300 do kolei przemysłowych. Pojazd ten przeznaczony jest do wykonywania ciężkiej pracy manewrowej oraz prowadzenia ciężkich składów towarowych. Podobnie jak w lokomotywie serii SM31, zastosowano jedną, centralnie umieszczoną kabinę oraz dwa przedziały maszynowe. Podwozie pojazdu stanowią dwa wózki napędne w układzie osi C'o C'o. Zespół prądotwórczy lokomotywy zbudowano w oparciu o silnik spalinowy PD1 oraz przekładnię elektryczną w wariancie prąd stały–prąd stały.

Rys. 1. Lokomotywa SM31

Fig. 1. Locomotive class SM31

Lokomotywa S200 to ciężki pojazd spalinowy produkcji czechosłowackiej produkowany przez zakłady CKD w Pradze w latach 1963–1991 w liczbie prawie 8000 sztuk. Znaczną większość tych lokomotyw (7455 egzemplarzy) wyeksportowano do dawnego Związku Radzieckiego. Lokomotywa serii S200 to pojazd sześcioosiowy o układzie osi C'o C'o przeznaczony do wykonywania ciężkich prac manewrowych. Ze względu na charakter wykonywanej pracy w centralnej części pojazdu umieszczono jedną kabinę maszynisty, po obu stronach

której zlokalizowano przedziały maszynowe. Zespół prądotwórczy stanowi wolnoobrotowy silnik spalinowy K6S310DR oraz zespół prądnic prądu stałego. Ogółem do Polski sprowadzono 143 sztuki lokomotyw serii S200, które zostały przeznaczone w całości do pracy na liniach przemysłowych.

Rys. 2. Lokomotywa TEM2/SM48

Fig. 2. Locomotive class TEM2/SM48

Rys. 3. Lokomotywa S200

Fig. 3. Locomotive class S200

Lokomotywa serii SU45 jest pojazdem polskim, którego produkcję realizowały zakłady Zakłady Metalowe im. Hipolita Cegielskiego w Poznaniu w latach 1970–1976. Ogółem wyprodukowano 270 pojazdów tego typu. Lokomotywy przeznaczone są głównie do prowadzenia pociągów pasażerskich, z tego względu wyposażono je w kocioł grzewczy służący do ogrzewania wagonów w okresie zimowym. Od końca lat 80 XX w. przestarzałą instalację grzewczą sukcesywnie zastępowano układem elektrycznego ogrzewania wagonów. Ze względu na charakter pracy nadwozie pojazdu ma dwie kabiny maszynisty, które umieszczono po ubu stronach przedziału maszynowego. Zespół prądotwórczy lokomotywy SU45 zbudowano w oparciu o produkowany na licencji firmy Fiat silnik spalinowy 2112SSF oraz przekładnię elektryczną typu prąd stały–prąd stały.

Rys. 4. Lokomotywa SU45

Fig. 4. Locomotive class SU45

Tabela 1

Porównanie podstawowych parametrów lokomotyw SM31, SM48/TEM2, S200 oraz SU45

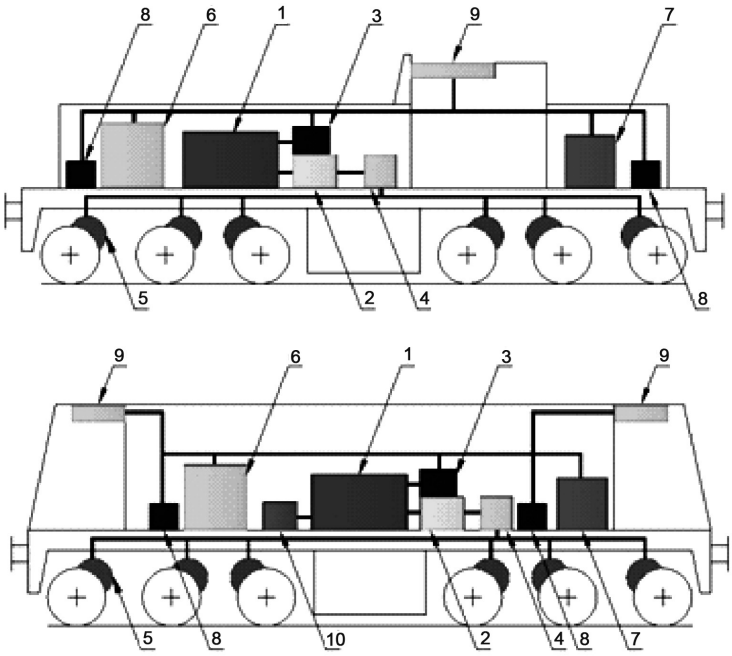
Parametr	SM31	SM48/TEM2	S200	SU45
Szerokość toru [mm]	1435	1435/1520	1435/1520	1435
Układ osi	$C'_0C'_0$	$C'_0C'_0$	$C'_0C'_0$	$C'_0C'_0$
Moc silnika spalinowego [kW]	880	880	993	1250
Moc silnika trakcyjnego [kW]	173	212	123	173
Rodzaj przekładni	DC – DC	DC – DC	DC – DC	DC – DC
Napęd urządzeń pomocniczych	mechaniczny lub DC	mechaniczny lub DC	mechaniczny lub DC	mechaniczny lub DC
Nominalny nacisk zestawu na tor [kN]	195	190,3	205	170
Masa lokomotywy [t]	116,4	116	123	102
Prędkość maksymalna [km/h]	80	100	95	120]
Najmniejszy promień łuku [m]	80	80	80	80
System hamulca	Oerlikon	Matrosow	Matrosow	Oerlikon

Analizy wyników i wskaźników dotychczasowej eksploatacji – zawarte w innych pracach – przemawiają za koniecznością modernizacji ww. pojazdów trakcyjnych. W trakcie modernizacji wymianie na nowe podlegać powinny przede wszystkim urządzenia wchodzące w skład zespołu prądotwórczego oraz agregat chłodniczy. W dalszej części artykułu przedstawiono metodykę doboru urządzeń wchodzących w skład uniwersalnego zespołu napędowego oraz agregatu chłodniczego.

3. Zespół prądotwórczy wraz z agregatem chłodniczym

3.1. Określenie minimalnej mocy urządzeń

Schemat ideowy zasilania urządzeń przez zespół prądotwórczy dla lokomotyw serii SM31, TEM2, S200 oraz SU45, przedstawiono na rys. 5, natomiast w tab. 2 przedstawiono wyniki analizy bilansu mocy dla omawianych pojazdów. Minimalne moce podzespołów zestawionych w tab. przyjęto na podstawie niezależnej analizy bilansu mocy każdego z pojazdów. Analizę bilansu mocy wykonano w oparciu o znane parametry podstawowych urządzeń niezbędnych do właściwej pracy każdego pojazdu trakcyjnego. Obliczenia dla lokomotyw serii SU45 wykonano z uwzględnieniem zastosowania prądnicy grzewczej.



Rys. 5. Schemat zasilania urządzeń w lokomotywach serii SM31, SM48/TEM2, S200 (u góry) i SU45 (na dole): 1 – silnik spalinowy, 2 – prądnica główna, 3 – prądnica pomocnicza, 4 – prostownik, 5 – silnik trakcyjny,6 – agregat chłodniczy, 7 – sprężarka powietrza, 8 – silnik wentylatora silników trakcyjnych

Fig. 5. The schematic diagram of devices feeding in locomotives class SM31, SM48/TEM2, S200 (top of the page) and SU45: 1 – diesel engine, 2 – main generator, 3 – auxiliary generator, 4 – rectifier, 5 – railway motor,6 – refrigerating unit, 7 – compressor, 8 – electric engine of cooling fan of railway motor

Tabela 2

Moc urządzeń wchodzących w skład zespołu prądotwórczego lokomotyw serii SM31, TEM2, S200 oraz SU45

Parametr	SM31	TEM2	S200	SU45
Moc silnika spalinowego [kW]	1400	1500	1100	1700
Moc prądnicy głównej [kW]	1250	1350	900	1250
Moc prądnicy pomocniczej [kW]	90	90	90	100

Na podstawie powyższych danych można stwierdzić, że lokomotywy serii SM31, SM48/TEM2, S200 oraz SU45 cechuje zbliżony przedział mocy. Możliwe jest więc dobranie urządzeń wchodzących w skład zespołu prądotwórczego w taki sposób, aby stanowiły one uniwersalny układ stosowany w każdym z omawianych pojazdów.

3.2. Wybór silnika spalinowego

Przy wyborze silnika spalinowego autor niniejszego opracowania uwzględnił następujące czynniki:
- moc znamionowa/znamionowa prędkość obrotowa – 1100–1700 kW/1800 obr/min,
- wymiary gabarytowe pozwalające na zabudowę silnika na ostoi z możliwością obniżenia wysokości przedziału maszynowego,
- zastosowanie nowoczesnych rozwiązań w konstrukcji zespołów i podzespołów silnika,
- spełnienie norm emisji spalin wg Dyrektywy EU,
- cenę i warunki zakupu wraz z kosztami utrzymania w eksploatacji,
- resurs naprawczy,
- doświadczenie producenta w zakresie stosowania tego typu silnika na lokomotywach spalinowych,
- obecność na polskim rynku sieci obsługi serwisowej oraz dostępu do części zamiennych,
- przeszkolenie personelu obsługowego użytkownika w zakresie wykonywania przeglądów oraz późniejszych napraw silnika w kraju.

Na podstawie wymienionych kryteriów przeprowadzono analizę dostępnych na rynku silników spalinowych. Spośród oferowanych konstrukcji do dalszych rozważań wybrano następujące silniki: firmy MTU – seria 12V 4000 R84 oraz Caterpillar – seria 3512C HD. Należy zaznaczyć, że pod uwagę brano jedynie seryjnie produkowane wersje wymienionych silników. Obaj producenci wykazali się doświadczeniem w zakresie stosowania swoich produktów w pojazdach trakcyjnych. Silniki MTU 4000 R84 oraz CAT 3512C HD stanowią konstrukcje nowoczesne, wysokoobrotowe, o elektronicznej regulacji wtrysku. W tabeli 3 przedstawiono podstawowe dane techniczne ww. silników. Oba silniki dysponują zakresami mocy umożliwiającymi właściwe dopasowanie ich do zapotrzebowania pojazdów trakcyjnych ww. serii.

Tabela 3

Parametry silników CAT 3512C HD oraz MTU 12V 4000 R84

Parametr	Silnik 3512C HD	Silnik 12V 4000 R84
Moc nominalna [kW]	1100 – 1700	do 1800
Nominalna prędkość obrotowa [obr./min]	1800	1800
Liczba cylindrów	12	12
Średnica tłoka/skok tłoka [mm]	170/215	170/210
Objętość skokowa silnika [dm^3]	58,6	57,2
Jednostkowe zużycie paliwa przy mocy znamionowej [g/kWh]	212	207
Długość całkowita silnika [mm]	2804	2670
Szerokość całkowita silnika [mm]	1630	1696
Wysokość całkowita silnika [mm]	2065	2001
Masa silnika suchego [kg]	6416	7600

W wyniku przeprowadzonej przedmiotowej analizy, autor przyjął do dalszych rozważań zastosowanie silnika Caterpillar 3512C HD. Producent silnika ma na terenie kraju sieć serwisów, co znacząco wpływa na skrócenie czasu potrzebnego na wykonanie czynności obsługowo-naprawczych.

3.3. Wybór zespołu prądnic

W niniejszym studium przy wyborze zespołu prądnic uwzględnione zostały następujące czynniki:
- prądnica główna – przedział mocy nominalnej/przy prędkości obrotowej 900–1350 kW/1800 obr./min,
- prądnica pomocnicza – moc minimalna 100 kW,
- maszyny typu kolejowego,
- wymiary gabarytowe i masa umożliwiające zabudowę urządzeń na ostoi pojazdu,
- nowoczesna i prosta konstrukcja,
- cena i warunki zakupu,
- koszty utrzymania,
- resurs naprawczy,
- doświadczenie producenta w zakresie stosowania tego typu podzespołów w taborze kolejowym,
- obecność na polskim rynku sieci obsługi serwisowej oraz dostęp do części zamiennych,
- umożliwienie obniżenia wysokości przedziału maszynowego.

Na podstawie powyższych czynników analizę dostępnych na rynku oraz stosowanych na pojazdach trakcyjnych zespołów prądnic autor proponuje zastosowanie prądnic synchronicznych, które wykonano w postaci dwóch odrębnych maszyn połączonych kołnierzowo we wspólnej osi ich wałów. Producentem proponowanego zespołu prądnic mogłby być przemysł krajowy (np. Emit Żychlin, wykorzystując dotychczasowe doświadczenia w produkcji prądnic trakcyjnych do modernizacji lokomotyw serii 6Dg, 15D i ST43). Moc znamionowa prądnicy głównej wynosić będzie około 1400 kW, a prądnicy pomocniczej 100 kW. Wykonany wg powyższego opisu zespół prądnic będą cechować stosunkowo niewielkie gabaryty. Pozwoli to na wygospodarowanie znacznej przestrzeni w przedziale maszynowym nad wspomnianymi maszynami elektrycznymi. Dzięki temu możliwe będzie zabudowanie układu wylotu spalin o parametrach zgodnych z wymaganiami producenta silnika spalinowego. Ponadto będzie istniała możliwość zabudowania dodatkowego układu oczyszczania spalin, dzięki któremu spełnione zostaną wymagania normy Stage IIIB.

3.4. Wybór agregatu chłodniczego

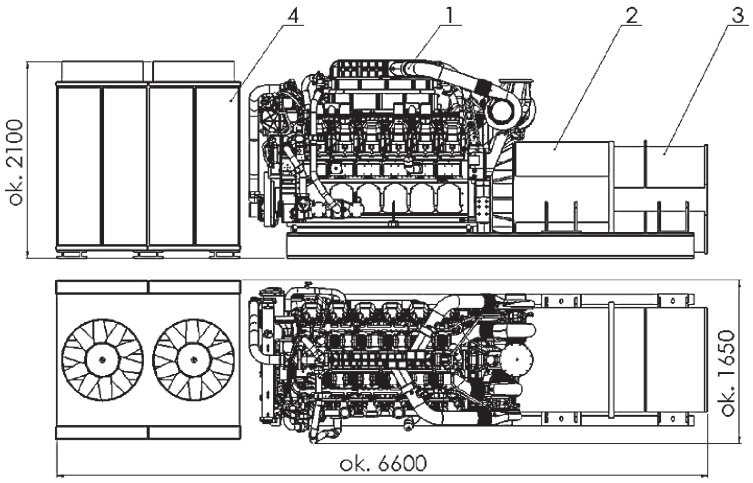
Przy opracowywaniu wstępnego projektu agregatu chłodniczego silnika 3512C HD przyjęto następujące wytyczne:

- zdolność rozproszenia ciepła generowanego przez obieg główny oraz obieg pomocniczy silnika spalinowego,
- wymiary gabarytowe i masa umożliwiające zabudowę układu na ostoi pojazdu,
- napęd wentylatora realizowany za pomocą silnika asynchronicznego,
- prosta konstrukcja,
- przystosowanie do pracy w pojazdach szynowych,
- umożliwienie obniżenia wysokości przedziału maszynowego (w przypadku lokomotyw manewrowych).

Na podstawie dostarczonego przez producenta bilansu cieplnego silnika 3512C HD – w różnych wariantach mocy/sterowania – zaproponowano rozwiązanie agregatu chłodniczego z radiatorami umieszczonymi w ścianach bocznych oraz dwoma niezależnie działającymi wentylatorami. Każdy wentylator napędzany będzie przez elektryczny silnik asynchroniczny zasilany napięciem 3 × 400 V AC. Regulacją prędkości obrotowej wentylatora/ów w zależności od temperatury czynnika chłodzącego sterował będzie centralny sterownik pojazdu. Umożliwi to stosowanie agregatu chłodniczego na wszystkich z wymienionych wcześniej pojazdów bez wprowadzania w nim zmian konstrukcyjnych.

4. Podsumowanie

Przeprowadzony bilans mocy lokomotyw serii SM31, SM48, S200 i SU45 oraz wstępne analizy wymiarowe wskazują na możliwość zastosowania przedmiotowego zespołu prądotwórczego wraz z agregatem chłodniczym (rys. 6) w ww. pojazdach trakcyjnych.



Rys. 6. Widok agregatu prądotwórczego 1 – silnik spalinowy CAT 3512C HD, 2 – prądnica główna; 3 – prądnica pomocnicza, 4 – agregat chłodniczy

Fig. 6. The view of diesel generator set 1 – diesel engine CAT 3512C HD, 2 – main generator, 3 – auxiliary generator, 4 – refrigerating unit

Dzięki zastosowaniu nowoczesnego silnika spalinowego, spełniającego wymogi dotyczące czystości spalin, znacznemu ograniczeniu ulegnie emisja szkodliwych substancji do otoczenia. Praktycznie całkowicie wyeliminowany zostanie problem drgań w kabinie maszynisty. W wyniku tego zdecydowanej poprawie ulegną warunki pracy obsługi. Ponadto zabudowanie nowoczesnego silnika spalinowego, nowoczesnych i bezobsługowych prądnic synchronicznych umożliwi tworzenie dynamicznych cykli utrzymania pojazdu. Efektem tego będzie zdecydowane poprawienie się współczynnika gotowości technicznej lokomotyw.

Zastosowanie na szeroką skalę zunifikowanego zespołu napędowo-chłodniczego wpłynie niewątpliwie na uproszczenie prac modernizacyjnych i obsługowo-naprawczych, przez co przyczyni się do obniżenia kosztów modernizacji oraz eksploatacji spalinowych lokomotyw manewrowych/liniowych.

Literatura

[1] Babeł M., *Warunki pracy, charakterystyka eksploatacyjna a niezawodność doładowanych trakcyjnych silników spalinowych*, Trakcja i Wagony 9/90, WKŁ, Warszawa 1990.

[2] Dudziński W., Marciniak J., Wolfram T., *Wyniki badań niezawodności silnika spalinowego a8C22W. Metoda badań i wytyczne poprawy trwałości silników spalinowych a8C22W lokomotyw SM31*, COBiRTK, Warszawa 1987.

[3] Kowalski S., Szewczyk W., *Lokomotywy 15D/16D – propozycja Newag S.A. Nowy Sącz na modernizację lokomotyw TEM2 – SM48*, t. 1 materiały XIX Konferencji Naukowej Pojazdy Szynowe, Targanice 15–17.09.2010.

[4] Marciniak Z., *Dotychczasowe projekty modernizacji lokomotyw spalinowych w Polsce*, Technika Transportu Szynowego 9/2005, SITK, Łódź 2005.