



Janusz Biliński, Sylwester Buta, Emil Gmurczyk, Jerzy Kaska

# Nowoczesny asynchroniczny napęd z hamowaniem odzyskowym produkcji MEDCOM do zmodernizowanych elektrycznych zespołów trakcyjnych serii EN57AKŁ

Fot. 1. Elektryczny zespół trakcyjny EN57AKŁ

**Od kilkunastu lat wdrażany jest program modernizacji elektrycznych zespołów trakcyjnych serii EN57. Najnowszą była modernizacja napędu ezt z wykorzystaniem silnika asynchronicznego. Zastosowanie napędu tego typu umożliwi wyeliminowanie najbardziej dotkliwego problemu zespołów trakcyjnych – zbyt małej mocy napędu, ograniczającej zarówno przyspieszenie rozruchu, jak i prędkość maksymalną.**

Wprowadzenie silników prądu przemiennego umożliwiło blisko dwukrotne zwiększenie mocy napędu i zwiększenie prędkości maksymalnej ezt do 120 km/h (ograniczonej konstrukcją mechaniczną wózka, a nie możliwościami napędu), uzyskanie przyspieszenia rozruchu około 1,0–1,2 m/s<sup>2</sup> dla EN57AKŁ oraz uzyskanie opóźnienia hamowania ok. 0,9 m/s<sup>2</sup>. Przyspieszenia te są porównywalne z wartościami przyspieszeń uzyskiwanych przez zespoły trakcyjne nowej generacji. Niemniej ważne jest zastąpienie klasycznego rozruchu rezystorowego rozruchem częstotliwościowym i zastosowanie hamowania z rekuperacją energii, co w warunkach bardzo częstych zatrzymań w ruchu regionalnym – zwłaszcza aglomeracyjnym – przynosi znaczące oszczędności energii, szacowane na 30–40% mocy zużywanej aktualnie na cele trakcyjne zespołu. Układ falownikowy umożliwia zastosowanie hamowania odzyskowego i uzyskanie pełnej współpracy z systemem hamulca elektropneumatycznego (*blending*). System sterowania wyposażony jest w funkcję eliminacji poślizgu podczas rozruchu i hamowania, zapewniającą ograniczenie zużycia obręczy i klocków hamulcowych (zmniejszenie kosztów oraz zmniejszenie stopnia

zanieczyszczenia torowisk opitkami żeliwnymi), jak i zauważalne obniżenie poziomu hałasu podczas hamowania.

Założonymi celami modernizacji napędu były:

- zwiększenie mocy i prędkości ezt,
- zwiększenie przyspieszenia rozruchowego,
- zmniejszenie zużycia energii,
- rekuperacja energii,
- brak zmian w konstrukcji wózka i przekładni mechanicznej,
- wysoka niezawodność napędu (silnika, falownika),
- zmniejszenie kosztów eksploatacji,
- wydłużenie przebiegów międzynaprawczych,
- zwiększenie bezpieczeństwa.

W efekcie prac projektowych powstał układ napędu asynchronicznego do EN57AKŁ z falownikami HV IGBT i silnikami prądu przemiennego.

## Zmodernizowany ezt EN57AKŁ

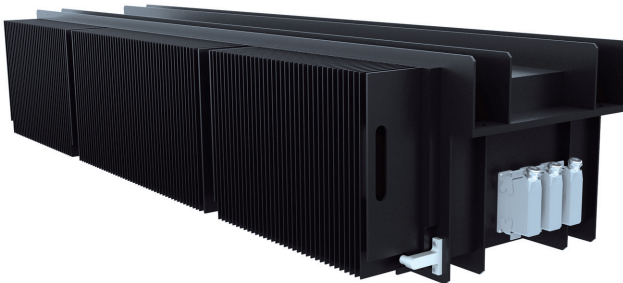
### Układ napędowy z falownikami HV IGBT

Układ napędowy jednostki EN57AKŁ składa się z dwóch zestawów falowników FT-500-3000-UF-M zasilających po dwa silniki asynchroniczne. Zasilanie obwodów pomocniczych realizowane jest za pomocą dwóch przetwornic statycznych PSM-76A. Zastosowanie dwóch przetwornic statycznych zapewnia redundancję zasilania obwodów pomocniczych i sterowania, co korzystnie wpływa na niezawodność pojazdu. Falowniki FT-500-3000-UF-M są zbudowane z wykorzystaniem najnowocześniejszych technologii. Zastosowane bezpośrednie chłodzenie powietrzne gwarantuje wysoką niezawodność w szerokim zakresie temperatur oraz eliminuje ryzyko wycieku płynu chłodzącego. Sterowanie FOCSVM





Fot. 2. Przetwornica statyczna PSM-76-HV



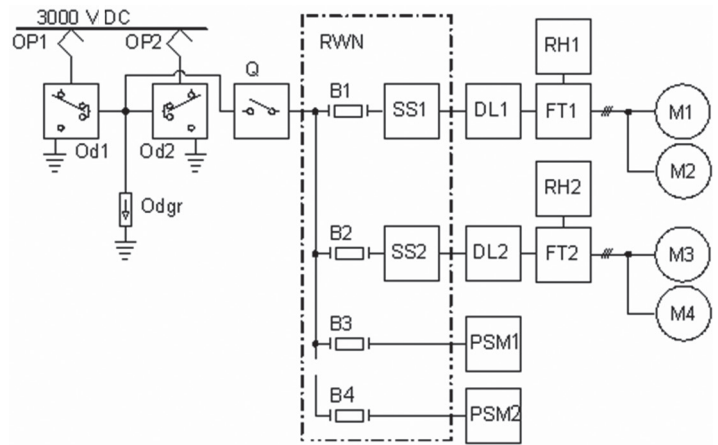
Fot. 3. Przetwornica statyczna PSM-76-LV

gwarantuje eliminację oscylacji niebezpiecznych dla przekładni oraz wysoką sprawność napędu. Układ dwóch niezależnych falowników umożliwia jazdę (z ograniczoną mocą) przy awarii komponentu w jednej z grup napędowych. Wyższa moc napędu zapewnia zwiększenie prędkości maksymalnej zestawu do 120 km/h przy wysokiej wartości przyspieszenia w zakresie dużych prędkości. Płynne zmiany momentu zwiększają komfort jazdy oraz zmniejszają zużycie przekładni i zawieszenia wózka.

Silniki asynchroniczne typu LK 450 X6 są kompatybilne mechanicznie z dotychczas stosowanymi silnikami prądu stałego. System izolacyjny nowego silnika gwarantuje niezawodną pracę w trudnych warunkach klimatycznych. Silniki są całkowicie bezobsługowe i mają wbudowane zabezpieczenia termiczne.

Schemat blokowy układu napędowego przedstawiono na rysunku 1.

Napęd FT-500-3000-UF-M umożliwia rozruch, jazdę z zadanym momentem, jazdę z zadaną prędkością (tempomat), wybieg oraz hamowanie pojazdu. Układ jest przystosowany do współpracy z rejestratorem parametrów trakcji i parametrów falownika, który pozwala na odtworzenie warunków zasilania w przypadku zakłóceń w pracy lub podczas awarii układu napędowego. Wpro-



Rys. 1. Schemat blokowy układu napędowego w ezł EN57AKŁ

OP1, OP2 – odbieraki prądu; Od1, Od2 – odłączniki trakcyjne; Q – wyłącznik szybki; RWN – rozdzielnia wysokiego napięcia; SS1, SS2 – układy „miękkiego” startu; DL1, DL2 – dławiki filtra sieciowego; FT1, FT2 – falowniki trakcyjne; RH1, RH2 – rezystory hamowania; PSM1, PSM2 – przetwornice statyczne; M1–M4 – silniki asynchroniczne.

wadzenie trybu pracy jazdy wielokrotnej zapewnia wysoki poziom elastyczności konfiguracji eksploatacyjnej. Parametry falownika przedstawiono w tabeli 1.

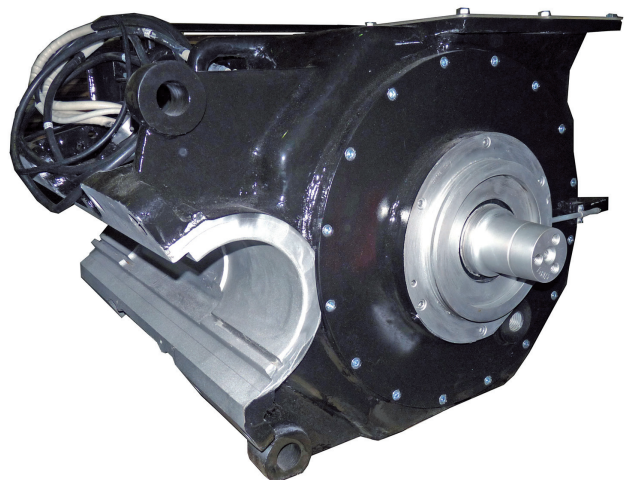
Tabela 1

### Parametry falownika FT-500-3000-UF-M

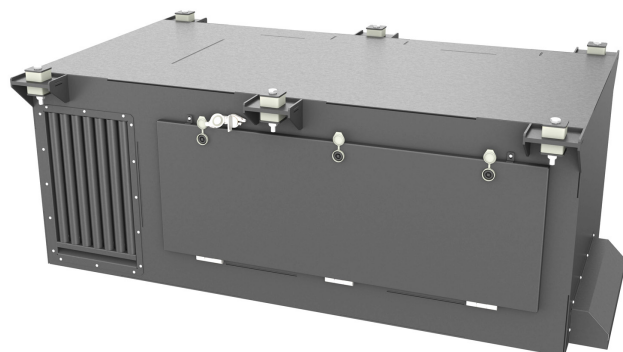
Napięcie wejściowe	3000 V DC; zakres zmian 2000–4000 V
Prąd znamionowy	200 Arms
Prąd wyjściowy maks.	250 Arms
Moc znamionowa	500 kW
Częstotliwość	0–160 Hz
Częstotliwość PWM	460–1100 Hz
Wytrzymałość izolacji	10 kV
Temp. otoczenia	–30°C do +40°C
Chłodzenie	wymuszone powietrzne
Masa (bez dławików wejściowych)	ok. 450 kg
Wymiary szer. × gł. × wys. [mm]	1108 × 700 × 2050

### Asynchroniczny silnik trakcyjny

Z oferty firm EMIT Żychlin i TSA, Austria, wybrano zmodernizowany elektryczny silnik trakcyjny prądu przemiennego, wyposażony w czujnik prędkości i czujniki temperatury. Został on umieszczo-



Fot. 5. Silnik LK 450 X6



Fot. 4. Skrzynia falownika

ny w zmodyfikowanym korpusie silnika trakcyjnego prądu stałego typu LK 450. Asynchroniczny silnik trakcyjny ma dwukrotnie większą moc w porównaniu do silników prądu stałego – jego moc znamionowa wynosi 250 kW, natomiast moc godzinna 300 kW. Silniki, falowniki trakcyjne oraz dławiki sieciowe są chłodzone powietrzem z wymuszeniem zewnętrznym. Rezystory hamowania są chłodzone obiegiem naturalnym.

Tabela 2

## Parametry silnika LK 450 X6

Typ silnika	LK 450 X6 EMIT Żychlin	
Punkt pracy	S1	S2-1h
Moc znamionowa	$P_n$	250 kW / 300 kW
Prędkość znamionowa	$n_n$	1000 obr./min
Prędkość maksymalna	$n_{max}$	2400 obr./min (120 Hz)
Napięcie znamionowe	$U_n$	2340 V
Prąd znamionowy	$I_n$	80 A
Prąd rozruchowy maks.	$I_{max}$	160 A
Moment znamionowy	$M_n$	2400 Nm (50 Hz)
Moment maksymalny	$M_{max}$	4400 Nm (50 Hz)
Sprawność	$\eta$	95%
Stopień ochrony	IP22	
Temperatura otoczenia	$T_{amb}$	-30 do +45°C
Klasa izolacji	H (200°C)	

## System sterowania TCMS

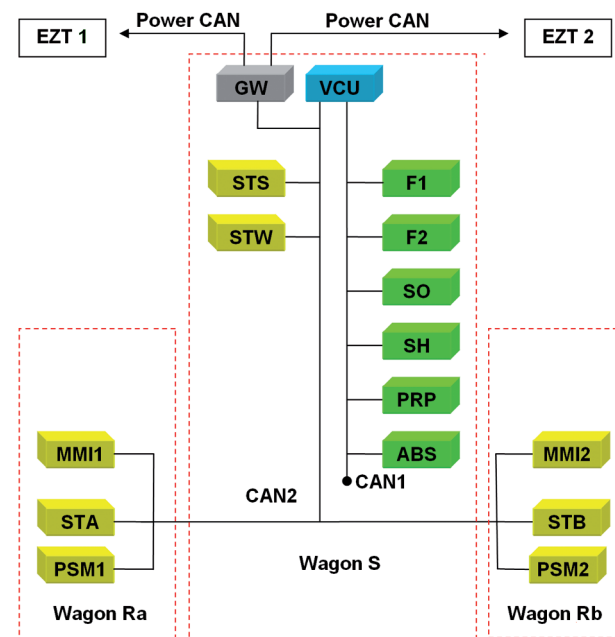
Zastosowany w elektrycznym zespole trakcyjnym EN57AKŁ system sterowania i monitorowania TCMS (*Train Control and Monitoring System*) zapewnia kompleksową i niezawodną obsługę nadzorowanej jednostki. TCMS jest zgodny z normą EN 50155 i spełnia cztery podstawowe funkcje: sterowanie napędem, układami pomocniczymi, komunikacją oraz diagnostykę pracy. Zastosowanie najnowocześniejszych, specjalizowanych komputerów oraz sprawdzonych standardów komunikacyjnych gwarantuje bezpieczną i niezawodną pracę pojazdu szynowego.

System sterowania i monitorowania TCMS zespołu trakcyjnego EN57AKŁ wykorzystuje cyfrową magistralę danych *CANOpen*. Mikroprocesorowy system sterowania umożliwia:

- sterowanie systemem napędowym,
- współdziałanie z systemem hamulca zasadniczego,
- współdziałanie hamulca elektrodynamicznego i elektropneumatycznego,
- stabilizację prędkości jazdy,
- eliminację poślizgu przy rozruchu i hamowaniu elektrodynamicznym,
- sterowanie podzespołami w ezt (sprężarka, wyłącznik szybki),
- diagnozowanie i rejestrowanie parametrów jazdy,
- transmisję danych w systemie,
- współdziałanie z systemem ogrzewania i klimatyzacji przedziałów pasażerskich i kabin maszynisty
- integrację współpracujących systemów i urządzeń.

Sterowanie napędem jest realizowane poprzez sterownik nadrzędny, który wypracowuje sygnały momentu rozruchowego i hamującego dla napędu. Zadawanie momentu rozruchowego podczas normalnej jazdy realizuje maszynista, przemieszczając

dźwignię zadajnika jazdy. Schemat blokowy systemu sterowania TCMS w EN57AKŁ przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu sterowania TCMS EN57AKŁ

VCU – sterownik nadrzędny pojazdu; GW – sterownik magistrali wielokrotnej; F1, F2 – falowniki trakcyjne; PSM1, PSM2 – przetwornice statyczne; SH – sterownik hamulca; PRP – sterownik zabezpieczeń nadmiarowych; ABS – sterownik przeciwoślizgu; MMI – wyświetlacz maszynisty; STS, STW, STA, STB – sterowniki lokalne; SO – sterownik ogrzewania i klimatyzacji.

## Pulpit maszynisty

Na pulpicie znajduje się wyświetlacz maszynisty (panel sterowania), nastawnik jazdy i nastawnik hamulca oraz przetworniki i przyciski do załączania układów pomocniczych w pojeździe (fot. 6).

Informacje o stanie pojazdu są wyświetlane na terminalu operatorskim maszynisty (panelu sterowania – rys. 3). System sterowania i monitorowania TCMS dostarcza maszyniście niezbędnych informacji kontrolno-diagnostycznych:

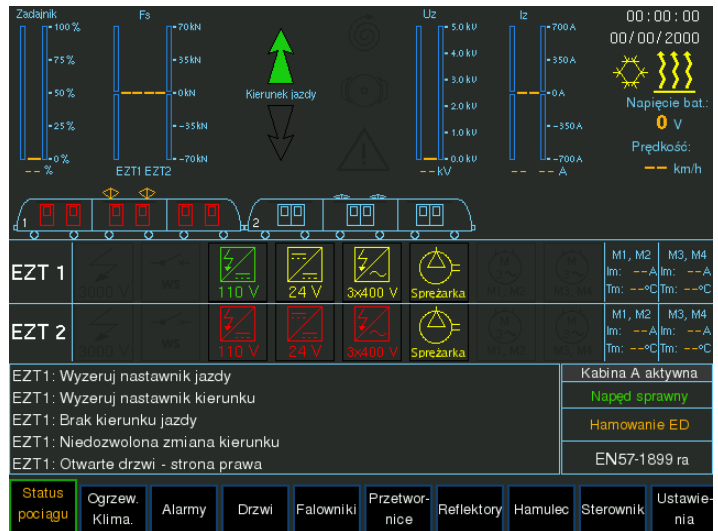
- monitorowanie stanu systemu napędowego,
- monitorowanie stanu systemu hamulcowego,
- diagnostyka pracy przetwornic statycznych,
- monitorowanie stanu wyłącznika szybkiego, odbieraków prądu, drzwi automatycznych, kompresora głównego,
- wizualizacja i rejestracja napięć, prądów, ciśnień, temperatur i innych parametrów,
- monitorowanie stanu przetworników manualnych i głównych styczników układu zasilania,
- monitorowanie stanu wyłączników nadmiarowych,
- monitorowanie stanu klimatyzatorów przedziałowych,
- monitorowanie systemu ogrzewania przedziałów pasażerskich.

Ekran główny terminala operatorskiego maszynisty znajduje się w pulpicie maszynisty (fot. 6). Na kolejnych rysunkach przedstawiono przykładowe strony diagnostyczne: hamulca (rys. 4), drzwi automatycznych (rys. 5) i systemu ogrzewania (rys. 6).

Elektryczny zespół trakcyjny EN57AKŁ wyposażono w mikroprocesorowy system sterowania hamulcami, zaprojektowany



Fot. 6. Pulpit maszynisty EN57AKŁ



Rys. 3. Panel sterowania w kabinie maszynisty EN57AKŁ

i oprogramowany przez KNORR BREMSE. Układ umożliwia sterowanie następującymi hamulcami zespołu trakcyjnego:

- hamulcem elektrodynamicznym (hamulcem ED) i jego współpracą z pozostałymi hamulcami zespołu,
- hamulcem elektropneumatycznym typu bezpośredniego (hamulcem EP-B),
- zespolonym hamulcem pneumatycznym (hamulcem PN),
- sprężynowym hamulcem postojowym (hamulcem SP).

Hamowanie elektrodynamiczne (ED) działa w trzech obszarach: stałej mocy (określonej przez moc silników trakcyjnych), stałego momentu hamującego (przy prędkości powyżej 10 km/h) i *blendingu* – współpracy hamulca elektrodynamicznego i elektropneumatycznego w zakresie prędkości od 10 km/h do zatrzymania zespołu trakcyjnego.

### Parametry trakcyjne EN57AKŁ

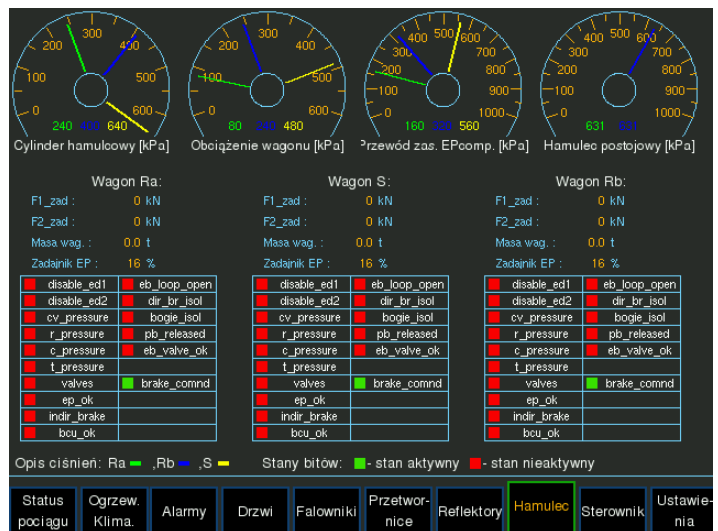
Zastosowanie asynchronicznego napędu trakcyjnego znacząco poprawiło parametry trakcyjne ezt – zwiększono prędkość maksymalną jazdy do 120 km/h oraz przyspieszenie rozruchu. Charakterystyki trakcyjne EN57AKŁ przedstawiono na rysunku 7, a używane parametry i efekty modernizacji – w tabeli 3.

### Jazdy próbne

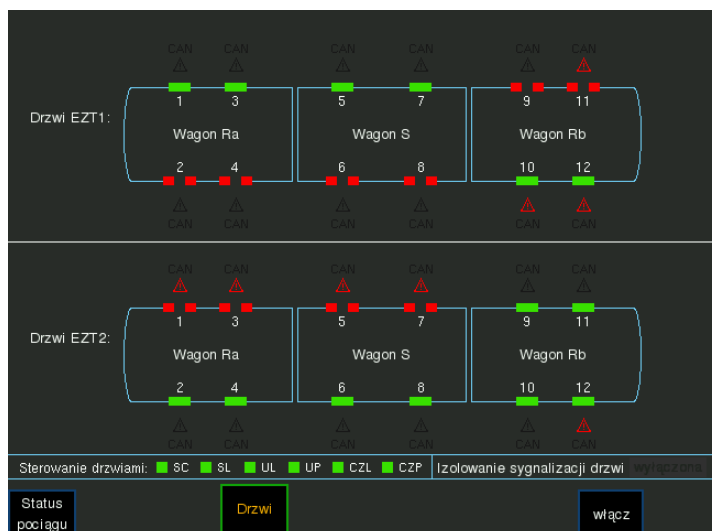
Po przeprowadzonej modernizacji, elektryczne zespoły trakcyjne EN57AKŁ przeszły pomyślnie testy stacjonarne i ruchowe. Zakres prób i badań obejmował przede wszystkim sprawdzenia układów oraz urządzeń decydujących o bezpieczeństwie ruchu i bezpieczeństwie przewożonych pasażerów, wymagane do uzyskania świadectwa dopuszczenia do eksploatacji typu pojazdu kolejowego, tj. badania:

- układów sterowania;
- układów hamulca;
- spokojności biegu pojazdu (do oceny możliwości zwiększenia prędkości maksymalnej zespołu trakcyjnego);
- kompatybilności elektromagnetycznej;
- właściwości akustycznych (hałasu wewnętrznego i zewnętrznego);
- właściwości trakcyjnych i gęstości pola magnetycznego.

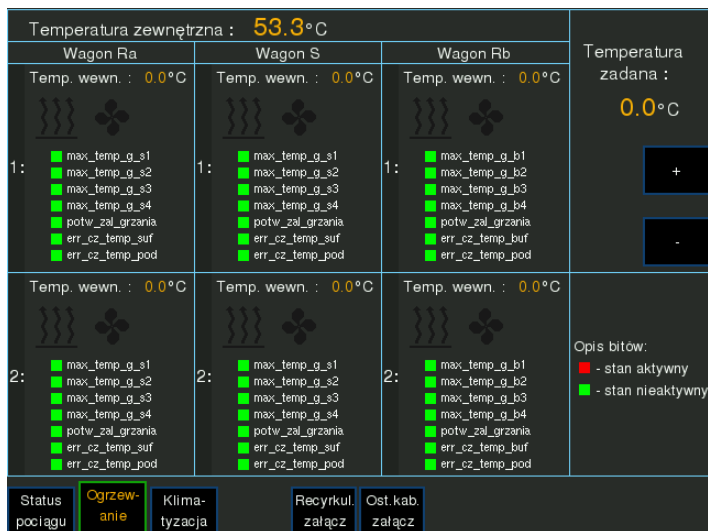
Badania właściwości jezdnych umożliwiły zwiększenie prędkości maksymalnej EN57AKŁ do 120 km/h.



Rys. 4. Strona diagnostyczna systemu hamulca



Rys. 5. Strona diagnostyczna drzwi automatycznych

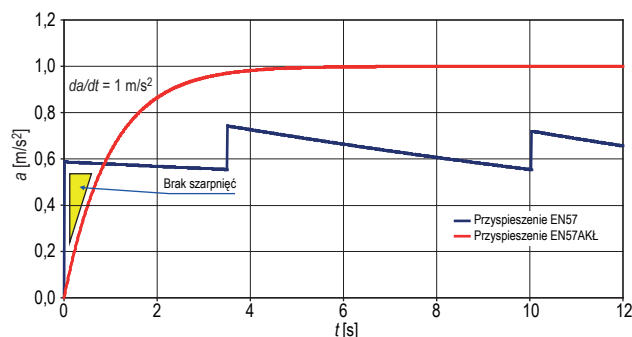
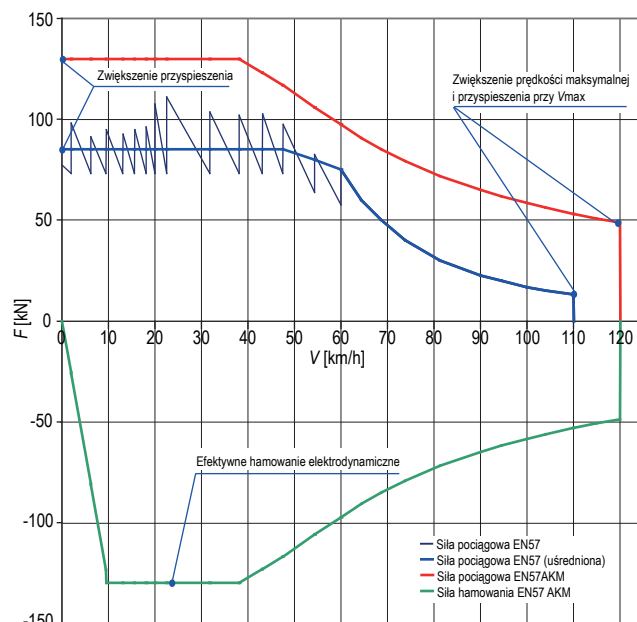


Rys. 6. Strona diagnostyczna ogrzewania ezł

Tabela 3

### Zestawienie uzyskanych parametrów i efektów modernizacji

	EN57	EN57AKŁ
Lata produkcji/modernizacji	1961–1993	2010–
Układ osi	2'2' + Bo'Bo' + 2'2'	2'2' + Bo'Bo' + 2'2'
Napięcie zasilania	3000 V DC	3000 V DC
Prędkość maksymalna	110 km/h	120 km/h
Masa całkowita	125 t	125 t
Moc ciąгла	608 kW	1000 kW
Moc godzinna	740 kW	1200 kW
Maksymalna siła pociągowa	98 kN (wartość średnia)	127 kN
Przyspieszenie 0–40 km/h	0,5 m/s <sup>2</sup>	1,0 m/s <sup>2</sup>
Przyspieszenie przy V <sub>max</sub>	~0 m/s <sup>2</sup>	0,3 m/s <sup>2</sup>
Czas rozpędzenia do 100 km/h	120 s	42 s
Typ rozruchu	rezystorowy	IGBT VVVF
Sterowanie rozruchem	wał kulakowy	mikroprocesorowe
Typ silnika trakcyjnego	LK450	LK 450 X6
Liczba silników trakcyjnych	4	4
Przetwornica główna	LKPa 330	2xPSM-76A
Przekładnia	70:19	70:19
Typ hamulca	Oerlikon	KNORR-BREMSE
Hamulec EP	✓	✓
Hamulec ED	—	✓
Hamowanie odzyskowe (ED)	—	✓
Układ antypoślizgowy ED	—	✓
Układ ograniczenia zrywu	—	✓
Układ ograniczenia prędkości maksymalnej	—	✓
Układ stabilizacji prędkości jazdy	—	✓
Mikroprocesorowy układ diagnostyczny	—	✓
Monitory LCD diagnostyczne	—	✓
Zadajnik jazdy bezstopniowy	—	✓
Pomiar energii zużytej i oddanej	—	✓
Możliwość trakcji wielokrotnej	✓	✓
Diagnostyka przy trakcji wielokrotnej	—	✓
Mikroprocesorowy rejestrator zdarzeń	—	✓



Rys. 7. Porównanie charakterystyk EN57 i EN57AKŁ

### Podsumowanie

Zmodernizowanie układu napędowego w elektrycznych zespołach trakcyjnych serii EN57AKŁ poprzez zastosowanie układów napędowych prądu przemiennego z hamowaniem elektrodynamicznym (wraz z jego współpracą z hamowaniem pneumatycznym) to nowość zrealizowana w krajowych zespołach trakcyjnych, dająca możliwość wykorzystania charakterystyk trakcyjnych w pełnym zakresie prędkości jazdy. Korzyści wynikające z zastosowania napędu asynchronicznego przedstawiono w tabeli 4.

Modernizacja taboru umożliwiła poprawienie istotnych parametrów technicznych znacznie szybciej i przy mniejszych nakładach niż w przypadku zakupu nowego taboru. W procesie eksploatacji wymiana taboru na nowy i modernizacja taboru już eksploatowanego powinny być realizowane równolegle. Modernizacja z zastosowaniem napędu asynchronicznego produkcji MEDCOM umożliwia w znaczący sposób poprawę parametrów trakcyjnych elektrycznych zespołów trakcyjnych serii EN57AKŁ.



## Korzyści wynikające z zastosowania napędu asynchronicznego

Rozwiązanie konstrukcyjne	Efekt na koszt eksploatacji	Efekt na koszt utrzymania
Zastąpienie rozruchu oporowego rozruchem częstotliwościowym	Zmniejszenie zużycia energii przy rozruchu i podczas jazdy Małe zużycie energii podczas jazdy z małymi prędkościami	Zmniejszenie kosztu przeglądów i napraw (brak zużywających się elementów mechanicznych i regulacyjnych w układzie rozruchu: nastawników, wału kulakowego, styczników liniowych) Eliminacja napraw rezystorów rozruchowych Wykorzystanie części do obsługi innych zespołów Zwiększenie czasu życia przekładni zębatej dzięki płynnemu rozruchowi
Hamowanie elektrodynamiczne	Dodatkowy system hamowania elektrycznego zespołu trakcyjnego	Mniejsze zużycie obręczy Mniejsze zużycie wstawek klocków hamulcowych Przedłużenie okresu eksploatacji klocków hamulcowych i obręczy szacunkowo o 20% Zmniejszenie pracochłonności przeglądów i napraw (rzadsze przeobrobaczania i rzadsza wymiana klocków)
Efektywny układ przeciwpoślizgowy przy rozruchu i hamowaniu	Zwiększenie sprawności rozruchu i hamowania	Wyeliminowanie efektu powstawania płaskich miejsc, a przez to wydłużenie okresu życia obręczy
Układ rekuperacji energii podczas hamowania	Zmniejszenie zużycia energii dzięki zwrotowi do sieci	Zmniejszenie opłat za energię elektryczną
Zastosowanie silników asynchronicznych	Mniejsze zużycie energii dzięki większej sprawności	Większa niezawodność, bezobsługowe, brak komutatorów, niskie koszty utrzymania Redukcja kosztów i pracochłonności napraw i przeglądów silnika trakcyjnego
Rozbudowany układ diagnostyczny	Krótszy okres wyłączenia z eksploatacji w przypadku awarii	Informacja dla maszynisty o stanach awaryjnych Krótki okres postoju w naprawie dzięki łatwej lokalizacji uszkodzenia
Rozbudowany układ zabezpieczeń	Większa niezawodność	Zminimalizowanie skutków awarii



Fot. 7. Wagon silnikowy; na dachu widoczne rezystory hamowania i klimatyzator, a na spodzie wagonu – dławiki filtra sieciowego i falownik FT-500-300-UF-M

dr inż. Janusz Biliński  
mgr inż. Sylwester Buta  
mgr inż. Emil Gmurczyk  
mgr inż. Jerzy Kaska  
MEDCOM Sp. z o.o. Warszawa

MEDCOM Sp. z o.o.  
ul. Jutrzenki 78 A  
02-230 Warszawa  
tel. +48 22 31 44 200  
fax +48 22 31 44 299  
info@medcom.com.pl  
www.medcom.com.pl