

ZEPWN Jerzy Czerwiński i wspólnicy – Spółka Jawna

Kontrola zużycia paliwa – system rejestrujący CL 400

Wysoka i ciągle rosnąca cena oleju napędowego i związane z tym zwiększenie kosztów eksploatacji pojazdów trakcyjnych powodują poszukiwanie rozwiązań umożliwiających jego efektywniejsze wykorzystanie.

Zmniejszenie zużycia paliwa może być uzyskiwane poprzez działania techniczne i organizacyjne, przy czym po wykorzystaniu prostych rezerw wiąże się one z kosztami ich wdrożenia i funkcjonowania. Pomniejsza to wynik ekonomiczny tych przedsięwzięć, a może nawet czynić je nieopłacalnymi. Efekty ekonomiczne w dużym stopniu uzależnione są od specyfiki przedsiębiorstwa przewozowego, rodzaju i wielkości wykonywanej pracy, sposobu obliczania należności za wykonaną pracę. Zależą one również od poziomu utrzymania taboru, umiejętności personelu i poczucia konieczności oszczędzania paliwa. Choć brzmi to paradoksalnie to w im wyższym stopniu jest to uzyskiwane, tym mniejsze będą efekty podejmowanych przedsięwzięć. Efekty będą zmniejszały się sukcesywnie także w wyniku skutecznego działania zastosowanego rozwiązania, zwiększającego wykorzystane paliwa w kolejnych latach jego eksploatacji.

Odnosząc te spostrzeżenia do oferowanych systemów monitorowania zużycia paliwa, niezwykle ważna jest wyjściowa ocena poziomu efektywności wykorzystania paliwa, trafne określenie dominujących przyczyn zwiększonego zużycia i podjęcie odpowiednich działań. Szczególnie trudne jest określenie wyjściowego poziomu efektywności wykorzystania paliwa i dominujących przyczyn jego zwiększonego zużycia. Często niewystarczające jest ocenienie jednostkowego zużycia paliwa, określanego w stosunku do czasu pracy lokomotywy, przebytej drogi, motogodzin i innych wielkości. Konieczne staje się również ustalenie rzeczywistych parametrów pracy pojazdu, występujących w jego eksploatacji, i ich wpływu na zużycie paliwa. Już na tym etapie musi być zastosowane urządzenie, za pomocą którego będą mogły być wykonane pomiary, których wyniki i analizy będą podstawą do rzetelnego zaplanowania działań ograniczających zużycie paliwa.

Opisywany w artykule system rejestrujący CL 400 umożliwia realizację takiej strategii. Przy stosunkowo niewielkich kosztach urządzeń, instalacji i eksploatacji, w kilku pojazdach mogą być zgromadzone dane, umożliwiające ocenę stanu wyjściowego i potencjalne efekty różnych wariantów działań. Efektem może być – jako wystarczające – szkolenie obsługi, wydanie określonych poleceń, czy też podjęcie innych działań organi-

zacyjnych. Być może uzasadnione ekonomiczne będzie wyposażenie wszystkich pojazdów w urządzenia do monitorowania zużycia paliwa i ponoszenie kosztów ich eksploatacji. W takim przypadku możliwa będzie zmiana konfiguracji wcześniej nabytych urządzeń tak, aby mogły one być zastosowane w systemie docelowym.

Rejestrator CL 400

Na system rejestrujący CL 400 składają się urządzenia elektroniczne, montowane w pojeździe, programy sterujące ich pracą oraz sprzęt i programy komputerowe, służące do analizy, archiwizacji, prezentacji i wydruku zarejestrowanych danych. Urządzenia systemu i jego funkcje mogą być dość prosto dostosowywane do wymagań użytkownika. W bardzo uproszczonej wersji możliwe jest ograniczenie się do urządzeń montowanych w lokomotywie, które będą wyświetlały określone wielkości, umożliwiające rozliczenie paliwa pobranego ze zbiornika lokomotywy.

Zasadniczym zespołem systemu jest rejestrator CL 400 (rys. 1). Jego konstrukcja i zastosowane podzespoły umożliwiają doprowadzenie napięć, występujących w różnych obwodach lokomotywy, z zachowaniem wymagań norm odnoszących się do pojazdów szynowych. Szczególnie dotyczy to sygnałów napięcia i prądu prądnicy głównej lokomotywy. Zachowane zostały również wymagania związane z kompatybilnością elektromagnetyczną do warunków występujących w pojazdach trakcyjnych. Spełnienie tych wymagań zostało potwierdzone badaniami Laboratorium Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji. Rejestrator jest specjalizowanym mikroprocesorowym systemem pomiarowo-rejestrującym. Jego sygnałami wejściowymi mogą być dowolne – elektryczne i nieelektryczne – parametry pracy lokomotywy, służące do monitorowania pracy jej urządzeń i układów, zwłaszcza decydujących o wielkości zużycia paliwa. Mogą to być także parametry, które umożliwiają wyjaśnienie przyczyn powtarzających się uszkodzeń, świadczące o nawykach maszynistów itp.

Podstawowymi mierzonymi wielkościami analogowymi są:

- masa paliwa w zbiornikach lokomotywy mierzona przetwornikami hydrostatycznymi, których liczba i rozmieszczenie zależą od liczby oraz kształtu zbiorników paliwa lokomotywy;
- napięcie prądnicy głównej;
- prąd prądnicy głównej;
- prędkość jazdy pojazdu;
- ciśnienia, temperatury i inne wielkości analogowe określone przez użytkownika (opcja).

Ponadto do rejestratora doprowadzone są sygnały dwustanowe informujące o:

- załączeniu baterii akumulatorów;
- pracy silnika spalinowego;
- pracy podgrzewacza silnika spalinowego;
- pracy innego urządzenia, wskazanego przez użytkownika (opcja).



Rys. 1. Rejestrator CL 400

Rejestrator wyposażony jest standardowo w przycisk sterowniczy, którego działanie blokowane jest stacyjką z kluczykiem, i opcjonalnie w bezdotykowy czytnik kart typu RFID, wykorzystywane zgodnie z wymaganiami użytkownika.

Urządzeniami wyjściowymi rejestratora są:

- wyświetlacz LCD;
- sprzęg IrDA, umożliwiający dwukierunkową łączność z zewnętrznym komputerem;
- sprzęg z modułem GPRS/GPS (opcja);
- sygnał załączający stycznik sterujący pracą urządzenia wskazanego przez użytkownika (opcja).

Przykład rozmieszczenia urządzeń w lokomotywie TEM2 (SM48) pokazano na rysunku 2.

Wartości mierzonych wielkości i stany sygnałów, doprowadzanych do wejść rejestratora, zapisywane są w jego pamięci, przy czym procedura rejestracji wymuszana jest poprzez określone działania urządzeń lokomotywy i maszynisty oraz upływ określonego czasu (np. załączenie baterii akumulatorów, zbliżenie karty identyfikacyjnej maszynisty do czytnika, nieuzasadniony ubytek paliwa ze zbiornika, próba ingerencji w obwody rejestratora). Pamięć rejestratora umożliwia zapis danych z około półrocznej pracy lokomotywy, przy czym późniejsze dane wpisywane są w miejsce najwcześniejszych. Przechowywanie danych w pamięci rejestratora jest zasadą stosowaną we wszystkich oferowanych konfiguracjach systemu CL 400, także tych z transmisją danych poprzez sieć GSM, gdyż tylko w takim przypadku stosunkowo łatwo można udowodnić, że nie zostały one przetworzone podczas transmisji lub przechowywania.

W zastosowaniu systemu CL 400 do kontroli zużycia paliwa ważną procedurą, realizowaną przez rejestrator, jest obliczanie masy paliwa zużytego przez urządzenia lokomotywy. Zależność między masą zużytego paliwa i wartościami oraz stanami sygnałów wejściowych rejestratora opisana jest oryginalnym matematycznym modelem, realizowanym przez program komputerowy rejestratora. Masa zużytego paliwa obliczana jest narastająco od chwili zainstalowania rejestratora w lokomotywie i rejestrowana jest równocześnie z innymi wielkościami wejściowymi. Jej aktualna wartość może być wyświetlana na wyświetlaczu LCD rejestratora. Rozliczenie zużytego paliwa, ze względu na wymaganą dokładność, dokonywane jest w jednostkach masy. Szczegółowe wyjaśnienie tego problemu przedstawiono w artykule zamieszczonym w *tts* 3/2008, gdzie zwrócono uwagę na fakt, że podczas pracy lokomotywy nie zawsze są spełnione wymagania, czyniące zmierzone wielkości wiarygodnymi z metrologicznego punktu. Ten aspekt został uwzględniony w oprogramowaniu rejestratora, wskutek czego wyróżniane są te dane, które są zmierzone w warunkach gwarantujących uzyskanie deklarowanej dokładności.

W najprostszej wersji systemu CL 400, w której jego eksploatacja odbywa się bez kopiowania zarejestrowanych wielkości do zewnętrznego komputera, na wyświetlaczu LCD rejestratora prezentowane są: całkowita ilość paliwa w zbiornikach lokomotywy, określona w jednostkach masy i objętości, oraz obliczana narastająco masa paliwa zużytego przez urządzenia lokomotywy. Porównując ubytek masy paliwa ze zbiorników lokomotywy z przyrostem obliczonej przez rejestrator masy paliwa zużytej przez jej urządzenia można rozliczać dowolny okres pracy lokomotywy. Oczywiście w tym rachunku trzeba uwzględnić paliwo, którego tankowanie zostało dokonane w rozliczanym okresie. W takiej opcji nie są wykorzystywane zarejestrowane dane o czasie pracy

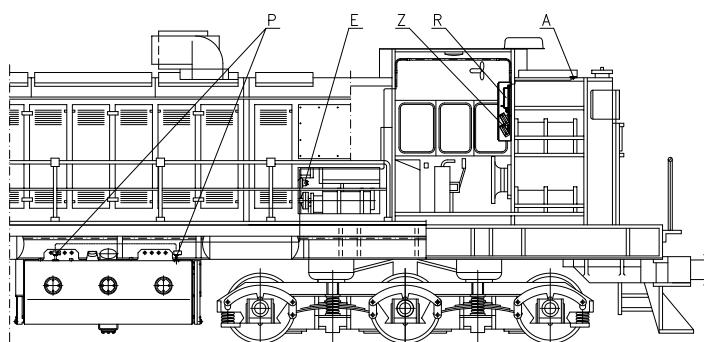
silnika spalinowego, w tym podczas biegu jałowego, energii elektrycznej zużytej przez silniki trakcyjne lokomotywy i inne wielkości, zawierające informacje, które mogą być wykorzystane do działań umożliwiających zmniejszenie zużycia paliwa. Z tego względu doradzamy przetwarzanie zarejestrowanych danych w komputerze zewnętrznym, do którego dane te mogą być kopiowane poprzez sprzęg IrDA. Najdogodniejsze jest stosowanie komputera przenośnego z zainstalowanym programem analitycznym CL 400A.

W wersji najbardziej rozbudowanej w lokomotywie poza rejestratorem montowany jest moduł GPS do lokalizacji lokomotywy w terenie oraz transmisji danych poprzez sieć GSM. Dane z rejestratora CL 400 i modułu lokalizacji przesyłane są do serwera komunikacyjnego, będącego własnością użytkownika lub obsługującej go firmy zewnętrznej, skąd poprzez internet przesyłane są do komputerów osób zajmujących się dyspozycją lokomotyw i nadzorem w zakresie zużycia paliwa. Są to urządzenia produkowane przez naszych partnerów, mogą to być również urządzenia firm wskazanych przez użytkownika.

Instalacja i uruchomienie

Oparte na dość oczywistej zasadzie rozliczanie zużycia paliwa realizowane jest poprzez pomiar wielu wielkości, dokonywany w trudnych warunkach, występujących w pojazdach trakcyjnych. Dotyczy to zwłaszcza zmian temperatury otoczenia, mediów, zespołów lokomotywy i aparatury pomiarowo-przetwarzającej w szerokim przedziale, a także drgań i uderów mechanicznych oraz oddziaływań pól elektromagnetycznych. Mając na względzie te uwarunkowania i wymaganą dokładność rozliczenia zużycia paliwa, mieszczącą się w przedziale 10 do 20 kg (co wielu czytelnikom może wydawać się nie wystarczające), konieczne jest mierzenie sygnałów wejściowych z dokładnością poniżej 1%. Biorąc pod uwagę, że na dokładność pomiarów wpływają elementy konstrukcyjne lokomotywy – boczniak amperomierza, rzeczywisty kształt i wymiary zbiorników paliwa – nieodzowne jest zatem udowodnienie, że rzeczywiście wymagana dokładność pomiarów została uzyskana w każdej zrealizowanej instalacji systemu rejestrującego.

Takie sprawdzenie dokonywane jest przy ograniczonym oddziaływaniu czynników środowiskowych i z tego względu uzyskany wynik powinien być znacznie lepszy (o około 1 klasę) od wymaganego. Ten margines bezpieczeństwa konieczny jest także ze względu na zmianę właściwości metrologicznych przetworników pomiarowych w czasie ich eksploatacji, natomiast wpływ czynni-



Rys. 2. Rozmieszczenie urządzeń systemu CL 400 w lokomotywie TEM2 (SM48)
A - antena GPRS/GPS, E - osprzęt elektryczny, P - przetworniki CL411,
R - rejestrator CL 400, Z - zespół GPRS/GPS

ków środowiskowych w pełnym przedziale zmian ich wartości oraz skompensowanie wpływu tego oddziaływania na dokładność pomiaru dokonywane jest w naszym laboratorium.

Sprawdzeniu podlega także instalacja elektryczna, wykonana w pojeździe w celu zainstalowania rejestratora i oczywiście jego działanie w lokomotywie (rejestrator, podobnie jak przetworniki pomiarowe, jest testowany w czasie produkcji).

Opisane procesy dokumentowane są protokołami, zawierającymi uzyskane wyniki badań i pomiarów, dostarczany użytkownikowi wraz urządzeniem.

Analiza zarejestrowanych wyników pomiarów

Komputerowy program CL 400A, do odczytu i analizy danych dotyczących zużycia paliwa, realizuje wszystkie funkcje niezbędne do pozyskiwania zarejestrowanych danych, ich analiz i archiwizacji. Program CL 400A umożliwia także prezentację danych i ich wydruk. W opisie, mającym charakter publikacji, można pobeżnie omówić tylko niewielką część jego możliwości.

Program, na podstawie przypisanych numerów rejestratorów, tworzy bazy danych dla poszczególnych lokomotyw. Bazy te są uzupełniane sukcesywnie kolejnymi danymi podczas ich odczytu z rejestratorów lub transmisji internetowej. Dane te mogą być prezentowane i drukowane w źródłowej postaci w zestawieniach, obejmujących wybrany okres eksploatacji pojazdu, z określonymi przez operatora parametrami, zamieszczonych w poszczególnych kolumnach. Z punktu widzenia użytkownika najważniejsze są możliwości analityczne programu. Analizy odnoszą się do wybranego przez użytkownika okresu eksploatacji lokomotywy. Najprostszą formą analizy jest poszukiwanie zapisów danych powstałych wskutek ubytku paliwa, który nie ma odzwierciedlenia w pracy urządzeń lokomotywy, lub próby ingerencji w obwody rejestratora.

Pozostałe analizy odnoszą się do określonych przez operatora interwałów czasowych, odpowiadających systemowi zatrudnienia, a zatem dotyczących poszczególnych maszynistów. Wyniki analiz, poza wartościami poszczególnych parametrów, prezentowane są w formie wykresów słupkowych lub liniowych, ułatwiających operatorowi ich ocenę. Analizy są ukierunkowane na wykrycie ubytków paliwa lub jego nadmiernego zużycia, które mogą być spowodowane uzasadnionymi przyczynami (ubytkami paliwa wskutek czynności przeglądu okresowego, nieszczelnym układem pneumatycznym, wymuszającym częstą pracę sprężarki, itp.) oraz ocenę warunków eksploatacji, występującą w poszczególnych rodzajach lub rejonach pracy – lub spowodowanych przez poszczególnych maszynistów – pod kątem ich wpływu na zużycie paliwa.

Zaproponowano następującą zasadę rozliczania zużycia paliwa – w pierwszej kolejności porównywane jest rzeczywiste i obliczone (uzasadnione) zużycie paliwa w poszczególnych dobach lub zmianach roboczych przedstawione w formie wykresów słupkowych (rys. 3). W przypadku, gdy różnią się one o wartość większą niż wynika to z błędów systemu, np. 10 kg, korzystając z wykresów liniowych, poszukuje się przedziału czasu, w którym przebiegi zmian uzasadnionego i rzeczywistego zużycia paliwa nie pokrywają (rys. 4). Uściślona tą metodą różnica porównywanych wielkości i przedział czasu, w którym to nastąpiło, wyjaśniane są w trybie stosowanym u użytkownika.

Ocenę efektywności wykorzystania paliwa ułatwiają wykresy pokazujące masy paliwa zużytego podczas biegu jałowego silnika

spalinowego i jego pracy pod obciążeniem (rys. 5). Można się posłużyć także wykresami obrazującymi czasy pracy silnika spalinowego na biegu jałowym i pod obciążeniem (rys. 6). Ocena obciążenia lokomotywy przedstawiana jest natomiast na wykresach wytworzonej energii i średniej mocy, wykorzystywanych podczas jej pracy.

Program umożliwia konwersję zarejestrowanych danych do formatu txt, dane w tej postaci mogą być odczytane z użyciem programu Microsoft Excel i dowolnie przetwarzane.

Cechy i wybrane parametry techniczne systemu

Analiza zużycia paliwa odnosi się do ubytku masy ze zbiorników lokomotywy, co sprawia, że nie ma potrzeby stosowania dodatkowych zabezpieczeń przed poborem paliwa z instalacji i urządzeń układu paliwowego.

Nie występuje ingerencja w instalację paliwową lokomotywy, a zatem nie ma obawy spowodowania zagrożenia jej zapowietrzania, ograniczenia przepływów i innych oddziaływań, mogących wpływać na pracę silnika spalinowego i lokomotywy.

Poprzez dobór konfiguracji systemu istnieje możliwość szerokiego wpływania na koszty jego eksploatacji.

System uzyskał dobre opinie Zakładu Silników Spalinowych Instytutu Pojazdów Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej i Zakładu Taboru w Warszawie PKP CARGO, a ponadto podczas międzynarodowych targów TRAKO został wyróżniony w konkursie im. Ernesta Malinowskiego na najciekawszy wyrób i innowację techniczną, stosowaną w kolejnictwie.

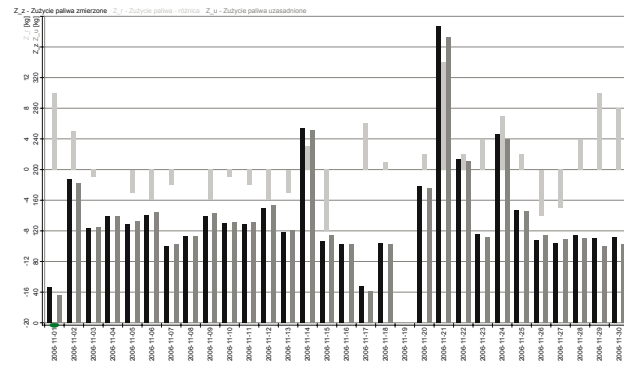
Wybrane parametry techniczne rejestratora w zastosowaniu do lokomotywy TEM2 (SM48)

Sygnały analogowe		
Masa paliwa		
zakres	[kg]	6000
uchyb pomiaru	[kg]	<10
liczba przetworników pomiarowych		2
Temperatura paliwa		
zakres	[°C]	-40 ÷ +80
błąd pomiaru	[°C]	<0,5
Napięcie prądnicy głównej		
zakres	[V]	1000
błąd pomiaru	[V]	<2
rezystancja wejściowa	[kΩ]	1001
(wraz z zewnętrznym posobnikiem CL143R2)		
znamionowe napięcie izolacji	[kV]	1
Prąd prądnicy głównej		
zakres (ustalony bocznikiem prądowym lokomotywy)	[A]	2650
maksymalne napięcie wejściowe	mV	100
błąd pomiaru	[A]	<5
rezystancja wejściowa dla sygnału bocznika	[kΩ]	>1
znamionowe napięcie izolacji	[kV]	1
Sygnały cyfrowe		
Napięcie stanu H (załączenie)	[V]	40 ÷ 165
Rezystancja wejściowa	[kΩ]	>22
Znamionowe napięcie izolacji	[V]	250
Parametry wyliczane		
Czas pracy silnika spalinowego liczony narastająco od inicjacji		
zakres	[lata]	68
działka elementarna	[s]	1
Czas pracy napędu liczony narastająco od inicjacji		
zakres	[lata]	68
działka elementarna	[s]	1

Energia elektryczna prądnicy głównej			
zakres	[kWh]	999 999 999	
działka elementarna	[kWh]	1	
Uzasadnione zużycie paliwa			
zakres	[kg]	999 999 999	
działka elementarna	[kg]	1	
Czytnik kart identyfikacyjnych			
rodzaj	RFID dla kart typu UNIQUE		
gwarantowany zakres działania	[cm]	0 do 5	
Wyświetlacz			
rodzaj	LCD podświetlany 2 linie po 16 znaków alfanumerycznych		
wysokość znaków	[mm]	8	
Sprzęg komunikacyjny do kalibracji i serwisowej kontroli systemu			
rodzaj	szeregowy IrDA		
parametry transmisji	11 5200 bps, 8 bitów danych, 1 bit stopu, bez kontroli parzystości		
protokół transmisji	własny ZEPWN, nie korzystający z sieciowego protokołu IrDA		
Sprzęg komunikacyjny do połączenia z modułem GPRS/GPS			
rodzaj	szeregowy RS422		
parametry transmisji	9600 bps, 8 bitów danych, 1 bit stopu, bez kontroli parzystości		
protokół transmisji	własny ZEPWN		
Pamięć parametrów			
rodzaj	EEPROM		
Pamięć do rejestracji			
rodzaj	RAM z podtrzymaniem		
maksymalna liczba wpisów	8184		
maksymalna liczba zdarzeń w jednym wpisie	8		
Konstrukcja			
stopień ochrony obudowy	IP44		
klasa ochronności	I		
napięcie izolacji zasilania	[V]	250	
temperatura pracy	[°C]	-25 ÷ +60	
napięcie zasilania	[V]	43 ÷ 170	
prąd zasilania	[mA]	< 200	
bezpiecznik	wewnętrzny – półprzewodnikowy termiczny z samoczynnym powrotem do stanu przewodzenia po wyłączeniu zasilania		
wymiary obudowy (bez złączy) szer. wys. × głęb.	[mm]	260 × 280 × 80	
masa rejestratora	[kg]	4,5	

Zużycie paliwa ogółem i różnice w okresie od 2006-11-01 00:00 do 2006-11-30 23:59
Zmiana 7:00 - 19:00

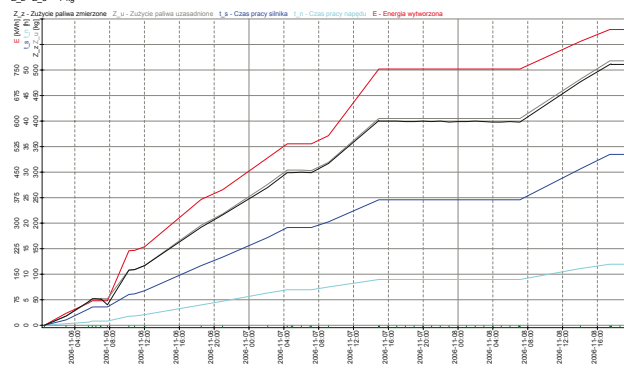
Lokomotywa SM42 nr 17



Rys. 3. Wydruk wykresu słupkowego zmierzonego i obliczonego (uzasadnionego) zużycia paliwa

Zużycie paliwa i czasy pracy w okresie od 2006-11-06 00:00 do 2006-11-08 20:00
Z_z - Z_u = 7 kg

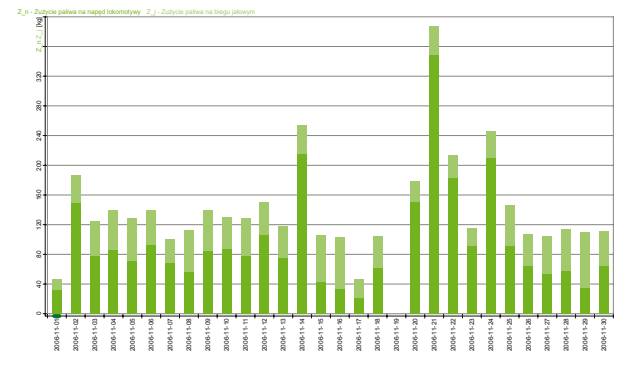
Lokomotywa SM42 nr 17



Rys. 4. Wydruk wykresu liniowego pokazującego przebieg zużycia paliwa i innych parametrów pracy lokomotywy

Zużycie paliwa - bieg jałowy i obciążenie silnika w okresie od 2006-11-01 00:00 do 2006-11-30 23:59

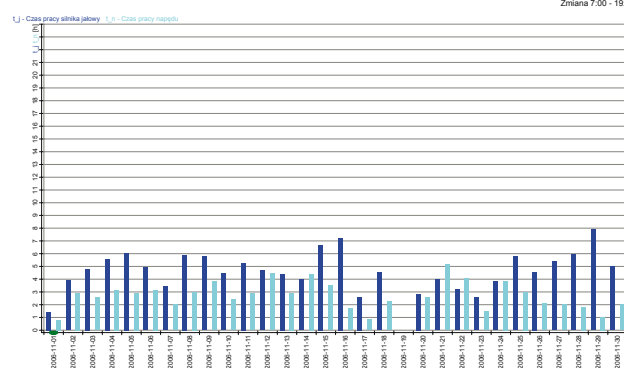
Lokomotywa SM42 nr 17
Zmiana 7:00 - 19:00



Rys. 5. Wydruk wykresu słupkowego zużytej masy paliwa z wyodrębnieniem paliwa zużytego podczas biegu jałowego silnika spalinyowego

Czas pracy lokomotywy w okresie od 2006-11-01 00:00 do 2006-11-30 23:59

Lokomotywa SM42 nr 17
Zmiana 7:00 - 19:00



Rys. 6. Wydruk wykresu słupkowego czasu pracy silnika spalinyowego na biegu jałowym i podczas napędu lokomotywy

Literatura:

- [1] ZEPWN Jerzy Czerwiński i współnicy – Spółka Jawna: *Wybrane zagadnienia związane z cechami metrologicznymi systemu kontroli zużycia paliwa*. Technika Transportu Szynowego 3/2008.
- [2] ZEPWN *Dokumentacja Techniczno-Ruchowa. System rejestrujący CL 400 wersja do lokomotyw typu 6 D (oznaczenie PKP SM42)*. Marki 2005.
- [3] ZEPWN *Dokumentacja Techniczno-Ruchowa. System rejestrujący CL 400 wersja do lokomotyw SM48*. Marki 2007.
- [4] ZEPWN *Warunki Techniczne Odbioru Systemu Rejestrującego typu CL 400 po zabudowie lokomotywie TEM2 (oznaczenie PKP SM48)*. Marki 2007.
- [5] ZEPWN *Program CL 400PKP do odczytu i analizy danych dotyczących zużycia paliwa przez lokomotywy spalinyowe wyposażone w rejestrator CL 400*. Marki 2007.
- [6] *Sprawozdanie z badań nr BE/583/2007 Kompatybilność elektromagnetyczna*. Polskie Centrum Badań i Certyfikacji S.A. Warszawa 2007.
- [7] *Opinia na temat urządzenia System CL 400 rejestrator parametrów pracy lokomotywy spalinyowej*. Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Instytut Pojazdów, Zakład Silników Spalinowych. Warszawa 2007.
- [8] *Pismo CMNTB-620-07/2007*. PKP CARGO S.A. Zakład Taboru w Warszawie.