XIII KONFERENCJA NAUKOWA ZN POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
„POJAZDY SZYNOWE '98" Seria: TRANSPORT z. 33, nr kol. 1394

Eugeniusz KAŁUŻA

PRZEBIEGI OBCIĄŻEŃ LOKOMOTYW SPALINOWYCH PRACUJĄCYCH NA STACJACH ROZRZĄDOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań obciążeń lokomotyw bazujących na wielogodzinnych pomiarach prądu i napięcia prądnicy głównej, wykonanych za pomocą rejestratorów cyfrowych. Wyniki pomiarów obciążeń lokomotyw odniesiono do wyników obliczeń wymaganych mocy znamionowych lokomotyw manewrowych oraz do koncepcji modernizacji spalinowych lokomotyw manewrowych prezentowanych w literaturze [1,2,3].

THE LOAD COURSES OF SHUNTING LOCOMOTIVES WORKING THE HUMPS

Summary. The work presents the results of investigation of locomotive loads. The tests included the measurements of main generator voltage and current over a period of several hours. The measurements were recorded digitally. The results of the tests were compared with the computational results of shunt locomotives rated power. The modernization concept presented in references [1,2,3] was also referred to.

1. WPROWADZENIE

Na stacjach rozrządowych i manewrowych PKP pracują obecnie lokomotywy spalinowe serii SM41 o układzie osi BoBo i mocy 589 kW, oraz SM31 o układzie osi CoCo i mocy 883kW. Z uwagi na specyficzny charakter pracy manewrowej parametry znamionowe spalinowych lokomotyw manewrowych są wykorzystywane w bardzo ograniczonym zakresie. Powyższe wpływa na niewspółmiernie wysokie zużycie paliwa przez te lokomotywy w odniesieniu do realizowanej pracy trakcyjnej [1]. Analiza porównawcza wyników obliczeń mocy znamionowych lokomotyw z wynikami badań obciążeń przedstawionych w niniejszym artykule powinna stanowić uzasadnienie celowości wprowadzenia do eksploatacji nowych rodzajów lokomotyw manewrowych, charakteryzujących się niższymi kosztami eksploatacyjnymi od kosztów dotychczas ponoszonych.

2. WYMAGANE MOCE ZNAMIONOWE LOKOMOTYW SPALINOWYCH PRZEZNACZONYCH DO PRACY MANEWROWEJ

Praca manewrowa lokomotyw na stacjach rozrządowych oraz na torach zakładów przemysłowych składa się z dużej liczby kolejno wykonywanych ruchów manewrowych (półkursów manewrowych). Na półkursy manewrowe wykonywane na jednej grupie torów składają się: rozruch i hamowanie lub rozruch i jazda pod wpływem siły bezwładności, czyli wybieg, lub rozruch, wybieg i hamowanie. Jeżeli półkurs manewrowy wykonywany jest na znacznej odległości oraz podczas manewrów między różnymi grupami torów, to na ww. składowe nakłada się jeszcze jazda z prędkością ustaloną. Czasy trwania ruchów manewrowych mieszczą się najczęściej w granicach od kilkunastu sekund do kilku minut [1].

Pomiędzy kolejnymi ruchami występują przerwy - postoje lokomotywy o czasie zmieniającym się w bardzo szerokich granicach: od kilku sekund do kilkudziesięciu minut, z silnikiem pracującym na biegu jałowym.

W czasie kolejnych rozruchów moc silnika spalinowego zmienia się od mocy P_o pobieranej przez urządzenia pomocnicze lokomotywy do mocy końcowej rozruchu P_R. Moc P_R zmienia się w zależności od końcowej prędkości rozruchu i wymaganej siły rozruchowej w całym przedziale mocy rozwijanej przez silnik spalinowy lokomotywy.

$$P_o < P_R \leq P_{dn} \tag{1}$$

W czasie jazdy z prędkością ustaloną silnik spalinowy lokomotywy pracuje z mocą $P_U < P_R$ lub z mocami zmieniającymi się w przedziale obciążeń od P_o do P_R. Dla optymalnie dobranej lokomotywy do pracy w określonym rejonie manewrowym moc znamionowa P_{dn} silnika spalinowego powinna być zbliżona do maksymalnej wartości mocy rozruchowej P_{rmax}.

Prawidłowo zaprojektowana lokomotywa manewrowa powinna umożliwiać wykorzystanie pełnej mocy silnika spalinowego przy osiąganiu końcowej prędkości rozruchu V_R, rozwijając siłę na obwodzie kół napędnych równą sile przyczepności F_{ad}. Wymagana moc znamionowa silnika spalinowego będzie wynosić:

$$P_{Dn} = \frac{F_{ad} \cdot V_R}{360(1-\beta_p) \cdot \eta_{przek}} \tag{2}$$

$$\eta_{przek} = \eta_G \eta_M \eta_Z \tag{3}$$

gdzie:

β_p - stosunek mocy pobieranej przez urządzenia pomocnicze lokomotywy do mocy znamionowej silnika spalinowego,

η_{przek} - sprawność przekładni,

η_G - sprawność generatora,

η_M - sprawność silników trakcyjnych,

η_Z - sprawność przekładni zębatej.

Siłę przyczepną F_{ad} lokomotywy o masie m_L, której wszystkie osie są osiami napędnymi ($m_L = m_{ad}$), wyznaczyć można z zależności:

$$F_{ad} = m_L \, f_{ad} = 981 \, m_L \, \varphi_{ad} \, k_n \, k_R \qquad [daN] \tag{4}$$

gdzie:

m_L - masa lokomotywy w t,

φ_{ad} - współczynnik przyczepności lokomotywy z szynami na prostym poziomym odcinku toru przy grupowym napędzie osi zestawów kołowych ($k_n = 1$) w N/N,

f_{ad} - współczynnik przyczepności lokomotywy z uwzględnieniem poprawek k_R i k_n w daN/t,

k_n - poprawka uwzględniająca zmniejszenie współczynnika przyczepności w zależności od rozwiązania układu napędowego lokomotywy $k_n = 1 - 0,7$,

k_R - poprawka uwzględniająca zmniejszenie współczynnika przyczepności na łuku o promieniu $R < 500m$; $k_R = 1 - 0,8$.

Współczynnikiem wiążącym parametry trakcyjne lokomotywy jest jej moc jednostkowa wyrażona jako stosunek mocy znamionowej silnika spalinowego P_{dn} do masy służbowej lokomotywy m_L. Na podstawie mocy jednostkowej, masy oraz prędkości maksymalnej lokomotywy spalinowej z przekładnią elektryczną można wyznaczyć przybliżony przebieg jej charakterystyki trakcyjnej [4].

Podstawiając równania (4) do (2) oraz dzieląc obie strony równania przez masę lokomotywy otrzymamy zależność wyznaczającą moc jednostkową lokomotywy w funkcji prędkości minimalnej ($V_R = V_{min}$), przy której można wykorzystać moc znamionową silnika spalinowego:

$$p_L = \frac{P_{Dn}}{m_L} = \frac{981\varphi_{ad}k_n k_R V_{min}}{360(1-\beta_p)\eta_{przek}} \quad \left[\frac{kW}{t}\right] \tag{5}$$

W zależności (5) można przyjąć dla lokomotyw spalinowo-elektrycznych:

- współczynnik sprawności przekładni elektrycznej lokomotywy (3) o mocy znamionowej nie przekraczającej kilkuset kW, pracującej przy prądzie maksymalnym równy:

$$\eta_{przek} = 0,88 * 0,85 * 0,96 = 0,718$$

- stosunek mocy pobieranej przez urządzenia pomocnicze lokomotywy do mocy znamionowej silnika spalinowego lokomotywy manewrowej

$$\beta_p = P_p / P_{dn} = 0,07 \div 0,1 \tag{6}$$

- współczynnik przyczepności obliczony dla lokomotyw pracujących na torach PKP i bocznicach zakładów przemysłowych

$$\varphi_{ad} = \frac{\varphi_o}{0,333}\left[\frac{7,5}{V+44}\right] + 0,161 \tag{7}$$

- poprawkę k_n dla lokomotyw o układzie osi B_oB_o : $k_n = 0,88$, o układzie osi C_oC_o: $k_n = 0,7$.

Dla lokomotywy pracującej z pełną mocą obowiązuje zależność:

$$F_{max} * V_{min} = F_R * V_R = F_c * V_c \tag{8}$$

Przyjmując, że $F_{max}/F_c = 1,6$; zaś $V_c = 12,8$ km/h, dla lokomotywy manewrowej uniwersalnej otrzymamy $V_{min} = 8$ km/h ($\varphi_{ad} = 0,312$).

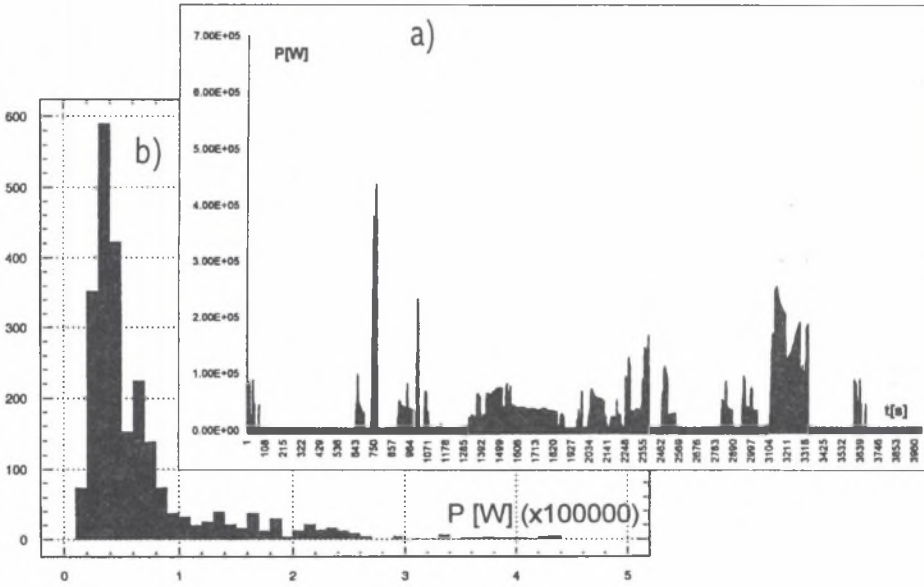
Dla lokomotywy manewrowej specjalizowanej, przeznaczonej do pracy w rejonie górki rozrządowej, gdzie prędkość napychania składu wagonów jest ograniczona do (3 ÷ 5) km/h, można przyjąć V_{min} = 5 km/h (φ_{ad} = 0,303).

Przykłady obliczeń mocy jednostkowych oraz mocy znamionowych lokomotyw manewrowych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Moce jednostkowe i znamionowe spalinowych lokomotyw manewrowych

Lp.	Rodzaj lokomotywy manewrowej	V_{min}	k_R	k_n	φ_{ad}	f_{ad}	p_L	m_L	P_{Dn}
		km/h			N/N	daN/t	kW/t	t	kW
1	Uniwersalna lok. manewr. BoBo	8	0,9	0,9	0,312	248	8,44	76	642
2	j.w. lecz CoCo	8	0,9	0,75	0,312	207	7,05	120	846
3	Lok. przeznaczona do pracy w rejonie górki rozrz. BoBo	5	0.9	0,9	0,303	241	5,13	76	390
4	j.w. lecz CoCo	5	0,9	0,75	0,303	201	4,28	120	513



Rys.1. Przebiegi obciążenia prądnicy głównej lokomotywy spalinowej serii SM31 pomierzone w czasie pracy manewrowej w rejonie górki rozrządowej na stacji T.G.:
a) wybrany fragment przebiegu obciążenia charakteryzujący się maksymalnym wykorzystaniem mocy silnika spalinowego (P_{Dmax}= 0.6 P_{Dn}),
b) histogram obciążenia (bez uwzględnienia czasu pracy silnika spalinowego przy biegu jałowym)

Fig.1. The load courses of the mainge nerator of SM31 diesel locomotive, measured during shunting the hump in T.G. station:
a) selected part of the load course characterized by maximum utilization of diesel engine power (P_{Dmax}= 0.6 P_{Dn}),
b) load histogram (the idle running time was not taken into account)

Większość produkowanych i eksploatowanych lokomotyw manewrowych i przemysłowych ma cechy lokomotyw manewrowych uniwersalnych, dysponujących wysoką mocą jednostkową oraz wysoką prędkością maksymalną.

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ PRZEBIEGÓW OBCIĄŻEŃ LOKOMOTYW MANEWROWYCH

Badania eksploatacyjne przeprowadzone w marcu b. r. (03. 1998) ograniczono do lokomotyw spalinowych serii SM31 pracujących na jednej z największych stacji rozrządowych PKP - na stacji T.G. Lokomotywy serii SM 31 o układzie osi $C_o \cdot C_o \cdot$ i masie 120 t wyposażone są w silnik spalinowy o mocy znamionowej 883 kW (1200KM) napędzający poprzez przekładnię elektryczną osie zestawów kołowych. Powyższe lokomotywy pracują tylko w tych rejonach stacji rozrządowych, gdzie wymagane są duże siły pociągowe lokomotyw. Badania obciążeń przeprowadzono w czasie pracy lokomotywy w rejonie górki rozrządowej (g.r.) oraz w czasie pracy manewrowej na torze płaskim (t.p.). W ramach badań przeprowadzono wielogodzinne pomiary wielkości obwodowych prądnicy głównej za pomocą cyfrowego rejestratora RCUF-1 oraz prędkości jazdy lokomotywy, korzystając z prędkościomierza zainstalowanego w kabinie maszynisty. Dodatkowo notowano masę składów manewrowych i cechy charakterystyczne realizowanej pracy manewrowej. Przebiegi obciążenia prądnicy głównej $P_G = f(t)$ uzyskane w wyniku przemnożenia wartości prądu i napięcia w kolejnych przedziałach 1-sekundowych przedstawiono na rys. 1a oraz 2a.

Maksymalne parametry obciążeń badanych lokomotyw osiągały następujące wartości:

- prędkość jazdy rozwijana w czasie dopychania wagonów na torach kierunkowych nie przekraczała 12km/h (g.r.), a w czasie dojazdu do górki - 7km/h (g.r.), natomiast w czasie pchania składu na górkę prędkość ograniczona była do 3 km/h. Maksymalne prędkości jazdy w czasie pracy manewrowej na torze płaskim nie przekraczały 17km/h (t.p.),
- masa składu wagonów nie przekraczała 2400 t,
- maksymalne prądy obciążenia prądnicy głównej lokomotywy ograniczone były do 1800A,
- maksymalna siła pociągowa lokomotywy odpowiadająca prądowi j. w. wynosi 18300daN,
- maksymalne moce prądnicy głównej nie przekraczały 440kW (g.r.) i 620kW (t.p.),
- średnia wartość czasu pracy silnika spalinowego przy biegu jałowym wyniosła ok. 55% (g.r.) i 60% (t.p.) łącznego czasu pracy i postoju lokomotywy,
- łączny czas pracy prądnicy głównej z mocą od 260kW do 440kW nie przekraczał 0,7% czasu pracy lokomotywy w rejonie górki rozrządowej (g.r.) oraz 12,7% czasu pracy lokomotywy na torze płaskim (t.p.), z uwzględnieniem postojów, z pracującym silnikiem spalinowym przy biegu jałowym (napędzającym nieobciążoną prądnicę główną oraz maszyny pomocnicze lokomotywy),
- łączny czas pracy prądnicy głównej z mocą od 440kW do 620kW nie przekraczał 1,8% czasu pracy lokomotywy na torze płaskim (t.p.).

Dane dotyczące wykorzystania określonego poziomu mocy prądnicy głównej P_G oraz odpowiadającej jej mocy silnika spalinowego P_D obliczonej z zależności:

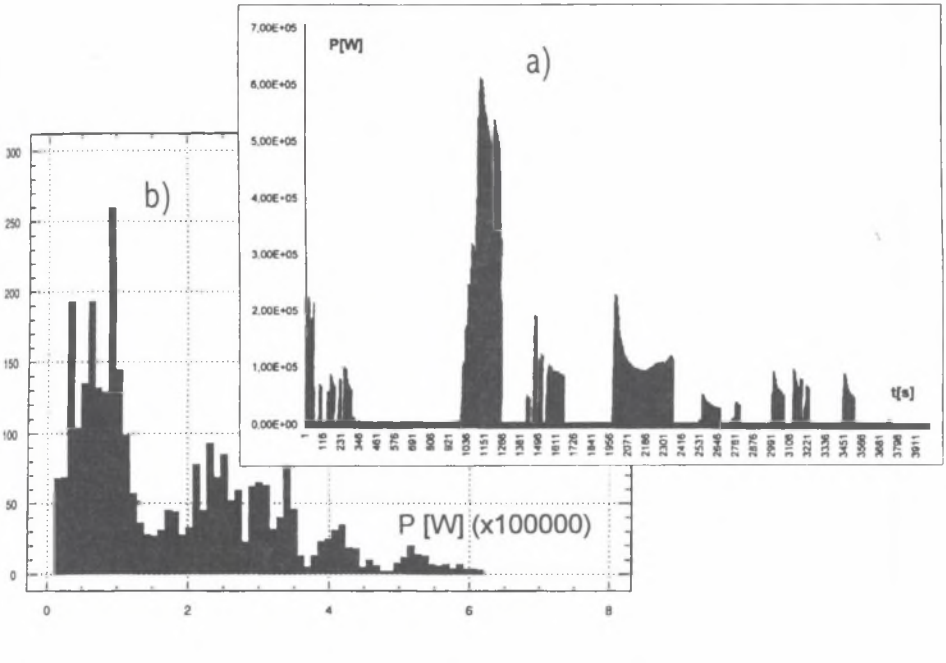
$$P_D = P_G : [(1 - \beta_p) \eta_G] \tag{9}$$

można wyznaczyć na podstawie histogramów obciążeń przedstawionych na rys. 1b i 2b. Przyjmując (2), że β_p = 0,1 zaś sprawność prądnicy η_G =0,92, wymagane moce znamionowe silników spalinowych badanych lokomotyw mogły zostać ograniczone do 531kW (g.r.) i 749kW (t.p.)

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawione wyniki badań obciążeń silników lokomotyw spalinowych SM31 wykazują, że do realizacji pracy manewrowej można stosować lokomotywy wyposażone w silnik spalinowy o mniejszej mocy. Mając na uwadze konieczność dysponowania przez lokomotywę niezbędną masą, warunkującą uzyskanie wymaganej siły przyczepnej w czasie ciągnienia lub pchania składu manewrowego, a szczególnie w czasie jego hamowania samą tylko lokomotywą, wzrost masy lub ograniczenie mocy lokomotywy będzie jednoznacznie związane z ograniczeniem jej mocy jednostkowej. Takie specjalizowane lokomotywy, przeznaczone do określonej pracy manewrowej, powinny znaleźć zastosowanie na stacjach rozrządczych i na wielu stacjach manewrowych. Lokomotywa specjalizowana jest bowiem tańsza w eksploatacji od lokomotywy manewrowej uniwersalnej. Rozbudowa układu zasilania silników trakcyjnych takiej lokomotywy o baterię akumulatorową wspomagającą zespół prądotwórczy (diesel-generator) w szczytowych partiach obciążeń tworzy lokomotywę hybrydową o porównywalnych z uniwersalną lokomotywą manewrową parametrach trakcyjnych. Czas nieprzerywany wykorzystania mocy szczytowych takiej lokomotywy jest ograniczony pojemnością zasobnika energii, czyli baterią akumulatorową. Wprowadzenie do eksploatacji lokomotywy hybrydowej w miejsce dotychczas eksploatowanej uniwersalnej lokomotywy spalinowej wiąże się z możliwością uzyskania korzyści w postaci ograniczonego zużycia paliwa, ograniczonej szkodliwości oddziaływania na środowisko oraz możliwości pracy lokomotywy w przestrzeniach zamkniętych z wyłączonym silnikiem spalinowym. W przygotowywanych planach modernizacji lokomotyw manewrowych PKP [2] odnoszących się między innymi do 300 sztuk lokomotyw SM42 i pochodnych oraz 130 sztuk lokomotyw SM31 przewiduje się wymianę istniejących zespołów prądotwórczych na zespoły bardziej nowoczesne, o równorzędnej lub większej mocy. Istnieje także koncepcja [3] zbudowania na podwoziu lokomotywy SM42 uniwersalnej lokomotywy spalinowej do pracy liniowej i pracy manewrowej z pociągami o dużej masie (do 2500t). Jako źródło zasilania silników trakcyjnych przewiduje się zastosowanie dwóch zespołów prądotwórczych zestawionych z silników spalinowych o mocy 440kW lub 500kW oraz prądnic prądu przemiennego. Powyższa koncepcja jest już bliższa możliwości uzyskania jednocześnie lokomotywy do pracy manewrowej uniwersalnej i specjalizowanej, przewidzianej np. do pracy manewrowej w rejonie górki rozrządowej z włączonym jednym zespołem prądotwórczym i w takim układzie połączeń silników trakcyjnych, który zapewni uzyskanie siły pociągowej na granicy przyczepności. Należy się jednak liczyć z tym, że silnik takiej lokomotywy o mocy 500kW będzie także niedociążony. Jego średnia moc w trakcie realizacji pracy manewrowej miejscowej lub w rejonie górki rozrządowej nie przekroczy 20% mocy znamionowej [1]. Natomiast w czasie pracy manewrowej na torze płaskim wystąpi deficyt mocy wymagający uruchomienia drugiego zespołu prądotwórczego ($2\times P_D$= 1000kW), co spowoduje spadek średniego obciążenia silników spalinowych, a tym samym wzrost jednostkowego zużycia paliwa. Tak więc lokomotywa hybrydowa spalinowo-akumulatorowa wydaje się być bardziej korzystnym rozwiązaniem od lokomotywy z dwoma silnikami spalinowymi. Deficyt mocy silnika spalinowego może pokryć bateria akumulatoro-

wa, a energia tracona dotychczas w czasie hamowania może być w znacznym stopniu odzyskana poprzez jej zwrot do baterii akumulatorowej.



Rys.2. Przebiegi obciążenia prądnicy głównej lokomotywy spalinowej serii SM31 pomierzone w czasie pracy manewrowej na torze płaskim na stacji rozrządowej T.G.:
a) wybrany fragment przebiegu obciążenia charakteryzujący się maksymalnym wykorzystaniem mocy silnika spalinowego (P_{Dmax}= 0.848 P_{Dn}),
b) histogram obciążenia (bez uwzględnienia czasu pracy silnika spalinowego przy biegu jałowym)

Fig.2. The load courses of the main generator of SM31 diesel locomotive, measured during shunting on a flat track in the shunting yard in T.G.:
a) selected part of the load course characterized by maximum utilization of diesel engine power (P_{Dmax}= 0.848 P_{Dn}),
b) load histogram (the idle running time was not taken into account)

LITERATURA

1. Kałuża E.: Hybrydowe lokomotywy manewrowe w świetle efektywności eksploatacyjnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka, z. 118, Gliwice 1990.
2. Marciniak Z., Sobaś J.: Kierunki modernizacji spalinowych lokomotyw manewrowych. Technika Transportu Szynowego tts nr 10, 1990.
3. Stradomski M., Szymaski A.: Koncepcja uniwersalnej lokomotywy spalinowej o optymalnym jednostkowym zużyciu paliwa. Technika Transportu Szynowego tts nr 10, 1996.

4. Kałuża E.: Zbiór zadań i ćwiczeń projektowych z trakcji elektrycznej. Skrypty Uczelniane nr 1848, Wydanie III zmienione. Politechnika Śląska, Gliwice 1994.

Recenzent: Dr hab. inż. Marek Sitarz
Prof. Politechniki Śląskiej

Abstract

The work presents the results of investigation of shunt locomotives rated power (tab.1.) and investigations of the locomotive loads. The tests were provided on CoCo diesel locomotives SM31 shunting the hump and on the flat track in shanting yard. The load histograms (fig 1b and 2b) shows low utilization of diesel locomotive power. At conclusion the modernization concept presented in references [1,2,3] was also referred to.