

EUGENIUSZ KAŁUŻA*

ASPEKTY DOBORU GŁÓWNYCH PARAMETRÓW
TECHNICZNYCH LOKOMOTYW PRZEZNACZONYCH
DO KRAJOWEGO RUCHU TOWAROWEGODOMESTIC FREIGHT LOCOMOTIVES MAIN TECHNICAL
PARAMETERS SELECTION ISSUES

Streszczenie

W artykule przedstawiono czynniki ograniczające dobór głównych parametrów technicznych lokomotyw przeznaczonych do prowadzenia składów wagonów towarowych o masie mieszczącej się w przedziale od 3000 t do 4000 t; dedykowanych do pracy na szlakach towarowych PKP PLK, których znacząca długość cechuje zły stan techniczny wymuszający ograniczenie nacisku na osie; napędzanych silnikami zasilanymi poprzez przekształtniki z sieci trakcyjnej 3 kV DC. Obecnie istnieje tendencja wprowadzania do pracy w ciężkim ruchu towarowym lokomotyw o układzie osi BoBo, często o mocy powyżej 5000 kW. Rozwijanie wysokich sił pociągowych wymusza konieczność pracy układu napędowego przy wykorzystaniu współczynnika przyczepności powyżej 0,4. Skutkuje to wzrostem prawdopodobieństwa wpadania lokomotywy w poślizgi, przyspieszonym zużyciem powierzchni tocznej kół i narażaniem zestawów kołowych na uszkodzenia, mimo posiadania systemów antypoślizgowych. Powyższe powinno skłaniać do stosowania w ciężkim ruchu towarowym lokomotyw o większej masie, a więc o układzie CoCo. Istotnym czynnikiem ograniczającym wykorzystanie mocy znamionowej współczesnych lokomotyw jest niedoinwestowanie systemu zasilania większości szlaków towarowych PKP PLK.

Słowa kluczowe: elektryczne lokomotywy towarowe, poślizgi, zużycie kół, ograniczenia mocy

Abstract

Factors limiting selection of principal technical parameters of locomotives are presented in the paper. The following types of locomotives have been considered: freight locomotives for trains with weight ranging from 3000 to 4000 tons; locomotives dedicated for PKP PLK tracks, where technical condition of significant part of the railroad is so bad that maximum axle load must be limited; locomotives driven with motors supplied via power electronic converters from 3 kV dc traction line. Nowadays we can observe a tendency of introducing locomotives with BoBo axle arrangement for heavy freight trains. These locomotives are often characterised by power exceeding 5000 kW. High tractive effort applied means that drive system must operate at coefficient of adhesion greater than 0.4. This in turn increases possibility of locomotive skid, accelerated wear of wheel rolling surfaces and general exposure of wheelsets to damage, in spite of anti-skid systems used. These factors should point to need of using heavy weight locomotives for heavy freight trains, i.e. locomotives with CoCo axle arrangement. An important factor limiting full utilisation of locomotives rated power is underinvestment of supply systems in most of PKP PLK freight railway tracks.

Keywords: electrical freight locomotives, slip, wheel wear, power limiting

* Dr hab. inż. Eugeniusz Kałuża, prof. PŚ, Instytut Elektrotechniki i Informatyki, Wydział Elektryczny, Politechnika Śląska.

Oznaczenia

- μ – współczynnik przyczepności,
 v_{SL} – prędkość poślizgu [m/s],
 v – prędkość jazdy [m/s],
 s – poślizg.

1. Wstęp

Przedstawione w tym artykule aspekty doboru parametrów technicznych przeprowadzono dla lokomotyw:

- napędzanych silnikami indukcyjnymi zasilanymi przez przekształtniki,
- z sieci trakcyjnej 3 kV DC,
- przeznaczonych do prowadzenia składów wagonów towarowych o masie mieszczącej się w przedziale od 3000 t do 4000 t,
- o nacisku osi na tor mniejszym od 196 kN.

Parametrami technicznymi lokomotywy wyznaczającymi jej możliwości trakcyjne są:

- w zakresie niskich prędkości, do ok. $0,5 v_{max}$ – masa lokomotywy,
- w zakresie wyższych prędkości jazdy – moc i masa lokomotywy.

Realne możliwości trakcyjne każdej lokomotywy pracującej w określonej infrastrukturze kolejowej będą pokrywały się z jej znamionowymi parametrami trakcyjnymi lub będą zgodne z jej charakterystyką trakcyjną pod następującymi warunkami:

- aktualne warunki współpracy kół lokomotywy z szynami pozwolą na uzyskanie sił pociągowych wynikających z charakterystyki trakcyjnej lokomotywy,
- napięcie sieci trakcyjnej mierzone na odbieraku będzie się zawierało w określonym przez producenta lokomotyw dopuszczalnym zakresie zmian,
- dopuszczalne obciążenie sieci trakcyjnej będzie wyższe od prądu obciążenia lokomotywy pracującej ze znamionowo obciążonymi silnikami trakcyjnymi i urządzeniami pociągowymi.

2. Aspekty doboru głównych parametrów technicznych lokomotyw

2.1. Porównanie parametrów technicznych lokomotyw o układzie osi BoBo i CoCo pracujących w ruchu towarowym

Niżej zestawiono wybrane parametry techniczne zmodernizowanych i nowych lokomotyw o układzie osi BoBo i CoCo pracujących w ruchu towarowym.

Układy osi lokomotyw	BoBo,	CoCo
Siła pociągowa maksymalna	260–320 kN	330–400 kN
Moc znamionowa ciągła	2000–6000 kW	3000–7000 kW
Masa służbowa lokomotywy	80–88 t	do 120 t
Masa przypadająca na oś	20–22 t	do 20 t
Nacisk osi na tor	196–216 kN	do 196 kN
Prędkość maksymalna	140–200 km/h	120–140 km/h

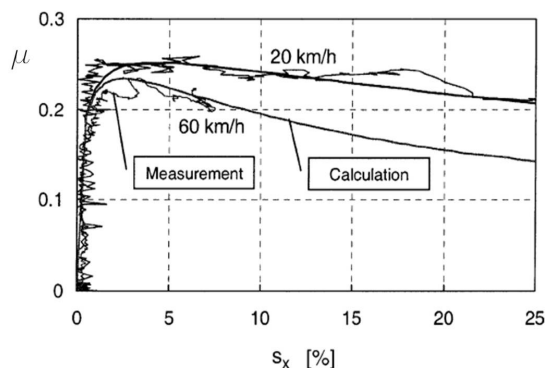
Parametry techniczne zasadniczej większości krajowych szlaków kolejowych w obecnej dobie oraz w najbliższych kilkunastu latach będą daleko odbiegały od możliwości trakcyjnych współczesnych lokomotyw pracujących w ruchu towarowym.

Obecnie istnieje tendencja wprowadzania do pracy, także w ciężkim ruchu towarowym, lokomotyw o układzie osi BoBo, często o mocy powyżej 5 MW, w miejsce dotychczas eksploatowanych lokomotyw o układzie osi CoCo. Skutkuje to koniecznością pracy układu napędowego lokomotywy przy wykorzystaniu współczynnika przyczepności do ok. 0,4. Przykłady charakterystyk trakcyjnych dwóch wybranych lokomotyw:

- E6ACT o układzie osi CoCo, opracowanej oraz zbudowanej w ZNLE w Gliwicach, przy współudziale EC Engineering z Krakowa i Instytutu Elektrotechniki z Warszawy,
 - EU 43 o układzie osi BoBo, produkowanej przez firmę Bombardier,
- przedstawione na rys. 3 pozwolą wyjaśnić, jakie czynniki powinny mieć istotny wpływ na dobór głównych parametrów technicznych lokomotyw przeznaczonych do pracy w ciężkim ruchu towarowym.

2.2. Maksymalna siła pociągowa lokomotywy

Osiąganie wysokiej wartości maksymalnej siły pociągowej ma szczególne znaczenie dla rozruchu pociągów o masie od 3000 t. Jej wartość dla małych prędkości wynika z masy lokomotywy, stopnia wykorzystania jej przyczepności i możliwości przeciążenia jej układu napędowego. To ostatnie w nowoczesnych lokomotywach odnosi się zarówno do silników trakcyjnych, jak i przekształtników włączonych w obwody zasilania silników trakcyjnych.

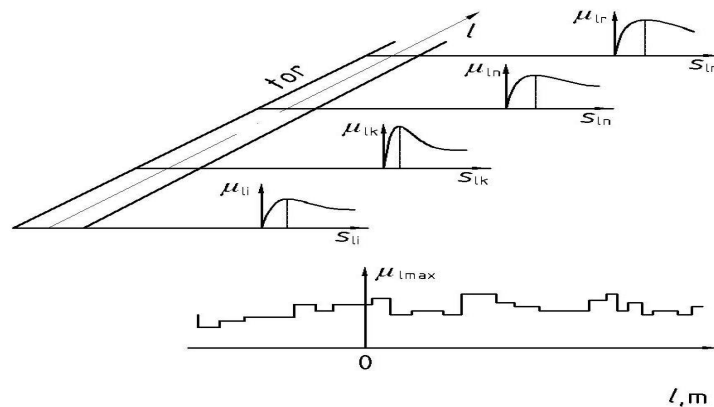


Rys. 1. Model sił przyczepności bazujący na pomiarach lokomotywy Bombardier 12X (mokro, $v = 20 \text{ km/h}$, $v = 60 \text{ km/h}$) [7] Źródło: Polach O., *Creep forces in simulations of traction vehicles running on adhesion limit*, Wear, Vol. 258, Issues 7-8, March 2005, 992-1000 [7]

Fig. 1. Model of adhesive forces basing on Bombardier locomotive 12X measurements (wet conditions, $v = 20 \text{ km/h}$, $v = 60 \text{ km/h}$) [7]

Maksymalna przyczepność odpowiada poślizgowi $s = v_{SL}/v$ (rys. 1) nie przekraczającemu wartości (0,5–1)%. Dla prędkości jazdy $v = 40 \text{ m/s} = 144 \text{ km/h}$, odpowiada to prędkości poślizgu $v_{SL} = (0,2–0,4) \text{ m/s}$. W zakresie zmian poślizgu s od 0 do s_M (mikropoślizg) wartość μ/μ_M narasta od 0 do 1. Dla $s > s_M$ koła wpadają w pełny poślizg

(buksowanie kół) określony jako makropoślizg. Makropoślizgowi towarzyszy spadek wartości współczynnika przyczepności. Wartości współczynnika przyczepności μ_{lmax} , jak i odpowiadające im wartości poślizgu s_l ulegają ciągłym zmianom w funkcji drogi [1] (rys. 2), a prawdopodobieństwo wypadnięcia kół lokomotywy w poślizg wzrasta znacząco ze wzrostem stopnia wykorzystania przyczepności.



Rys. 2. Zmiany współczynnika przyczepności μ_{lmax} i wartości poślizgu s_l w funkcji drogi [1]

Fig. 2. Changes in adhesion coefficient μ_{lmax} and slip values vs. track length [1]

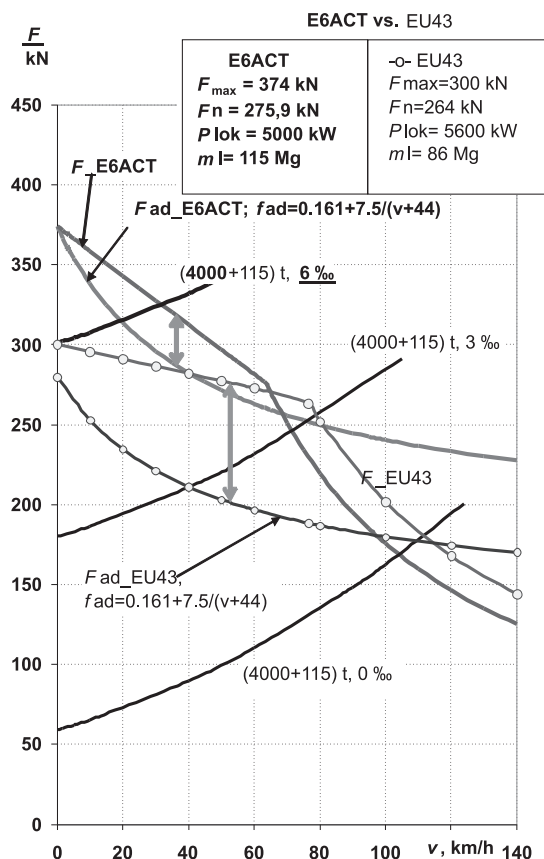
W przypadku konieczności długotrwałej pracy lokomotywy BoBo w zakresie sił pociągowych znacznie przekraczających siłę przyczepną (rys. 1), wyznaczoną tradycyjnymi wzorami, (co odnosi się szczególnie do lokomotyw 4-osiowych o znacznej mocy), koła lokomotywy w zbyt długich przedziałach czasu pracują w reżimie makropoślizgu $s = (1 - 30)\%$. Taki reżim pracy powoduje nierównomierne, lokalne nagrzewanie kół do temperatury przemiany austenistycznej [12], powstawanie na powierzchniach toczyń kół warstewki martenzytu z licznymi pęknięciami doprowadzając do jej wykruszenia.

Dodatkowo występowanie makropoślizgów generuje skokowe zmiany siły przyczepnej lokomotywy, powodujące uszkodzenia kół w obrębie styku koła z osią. Dlatego też w punkcie 4.2.8.2 decyzji Komisji UE z dnia 21 lutego 2008 r. dotyczącej specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Tabor” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości, określono wymagania dotyczące przyczepności koło/szlina, zalecając ograniczenia stosowanych współczynników przyczepności w obliczeniach trakcyjnych do wartości nieprzekraczających 0,3 przy ruszaniu i bardzo małej prędkości oraz 0,275 przy 100 km/h.

2.3. Moc znamionowa ciąгла

Dla wyższych prędkości jazdy istotnymi parametrami są: moc znamionowa ciąгла i masa lokomotywy. Z rys. 1 wynika, że lokomotywa 6-osiowa E6ACT jest zdolna nawet do ciągnięcia składu 4000 t + 115 t na wzniesieniu 3 promile z prędkością ok. 70 km/h, nie przekraczając wartości siły przyczepnej wyznaczonej wzorami obowiązującymi dla tradycyjnych lokomotyw. W ten sposób konstrukcyjnie zapewniono jej stabilną pracę z bardziej

ograniczonym prawdopodobieństwem wpadnięcia w poślizg niszczący koła (makro-poślizg), w porównaniu z lokomotywą EU43.



Rys. 3. Charakterystyki trakcyjne lokomotyw E6ACT i EU43

Fig. 3. Tractive efforts of E6ACT and EU43 locomotives

2.4. Ograniczony nacisk osi na tor

Znaczącą długość torów na szlakach towarowych PKP PLK cechuje zły stan techniczny wymagający ograniczenia „nacisku osi” do 19,5 t. Tego warunku nie spełniają lokomotywy o układzie osi BoBo dedykowane także do ruchu towarowego.

Lokomotywa E6ACT 6 osiowa ma ograniczony „nacisk na oś” do 19,2 t, co zapewnia jej dostępność do 99% zelektryfikowanych szlaków towarowych mimo ich złego stanu.

Mając na uwadze brak perspektyw modernizacji tych szlaków w ciągu najbliższych 10–15 lat, lokomotywy 6-osiove będą w dalszym ciągu potrzebnymi pojazdami trakcyjnymi do obsługi ruchu towarowego.

4. Wnioski

Lokomotywy przeznaczone do krajowego ruchu towarowego ze składami o masie przekraczającej 3000 t, realizowanego na szlakach o pochyleniach przekraczających 3 promile oraz licznych ograniczeniach dopuszczalnego nacisku osi do 191 kN, powinny posiadać co najmniej 6 osi. Mając na uwadze zdolność ciągnięcia ww. składów na poziomych odcinkach tras z prędkością zbliżoną do 100 km/h, moc znamionowa lokomotywy powinna wynosić ok. 5 MW. Ze względu na niedoinwestowanie systemu zasilania większości szlaków towarowych PKP PLK, ww. moc przejściowo będzie musiała być ograniczana.

Literatura

- [1] Danzer J., *Elektrická trakce*, Plzeň 2004.
- [2] Decyzja Komisji z dnia 21 lutego 2008 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Tabor” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości (notyfikowana jako dokument nr C(2008) 648) (2008/232/WE).
- [3] Lang W., Roth R., *Optimale Kraftschlussausnutzung bei Hochleistungs-Schienenfahrzeugen*, Eisenbahntechnische Rundschau 42 (1993), 61-66.
- [4] Lewandowski M., *Zakłócenia w układzie elektromechanicznym lokomotywy wywołane zmianami współczynnika przyczepności*, Konf. Naukowa Uniwersytetu w Żilinie (Słowacja) „Nove smery v diagnostike a opravach elektrických strojov w zariadení”, 20-21V, 20.11.2002.
- [5] Lewis R., Olofsson U., *Mapping rail wear regimes and transitions*, Wear, Vol. 257, Issues 7-8, October 2004, 721-729.
- [6] Polach O., *Optimierung moderner Lok-Drehgestelle durch fahrzeugdynamische Systemanalyse*, Eisenbahningenieur 53 (2002), 50-57.
- [7] Polach O., *Creep forces in simulations of traction vehicles running on adhesion limit*, Wear, Vol. 258, Issues 7-8, March 2005, 992-1000.
- [8] Bendel H. (red.), *Elektrische Triebfahrzeuge*. Transpress VEB, Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1981.
- [9] Perchuc L., *Trwałość powierzchni toczyń kół kolejowych zestawów kołowych*, praca doktorska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Metalurgii i Transportu Politechniki Śląskiej, promotor: M. Sitarz, Katowice 2000.
- [10] Seląg A., *Zagadnienia analizy i projektowania systemu trakcji elektrycznej prądu stałego z zastosowaniem technik modelowania i symulacji*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Elektryka, rok 2002, z. 123, 3-180.