CZASOPISMO TECHNICZNE E
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

z. 1-E/2007
ISSN 0011-4561
ISSN 1897-6301

ARTUR ROJEK, WIESŁAW MAJEWSKI, MAREK KANIEWSKI*,
TADEUSZ KNYCH**

OBCIĄŻALNOŚĆ PRĄDOWA GÓRNEJ SIECI TRAKCYJNEJ

CURRENT-CARRYING CAPACITY OF OVERHEAD CONTACT LINE

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki testów i badań obciążalności prądowej górnej sieci trakcyjnej. Obciążalność prądowa sieci trakcyjnej jest zależna od materiału przewodów jezdnych i lin nośnych, maksymalnej dopuszczalnej temperatury, kształtu i wymiarów, stanu powierzchni, ruchu powietrza i innych. Zaprezentowano także wzory i zależności, które mogą być użyte do obliczeń poziomu i szybkości zmian temperatury podczas przepływu prądu. Wykazano wpływ prędkości ruchu powietrza oraz stanu powierzchni elementów sieci trakcyjnej na jej obciążalność prądową.
W artykule zamieszczono również wyniki obliczeń obciążalności prądowej przewodu jezdnego typu DjpS150 (przewód z CuAg o przekroju 150 mm^2), lin nośnych typu L120 i L150 (o przekroju 120 i 150 mm^2) oraz sieci trakcyjnej. Wszystkie obliczenia wykonywano dla maksymalnych dopuszczalnych temperatur podanych w normie PN-EN 50119 oraz zgodnie z „nowymi" wymaganiami.
Porównano także wyniki pomiarów i obliczeń temperatury lin nośnych typu L120 i L150 oraz przewodu jezdnego typu DjpS150.

Słowa kluczowe: górna sieć trakcyjna, obciążalność prądowa

Abstract

The paper presents results of tests and studies of current-carrying capacity of overhead contact line (OCL). Current-carrying capacity of OCL depends on materials of contact wires and catenaries, maximum acceptable temperatures, shape and sizes, surface condition, motion of air and others. In the paper are presented formulas and dependences which can be used for calculations of value and changes rate of temperature, when passage of current is presented. One part of the paper presents influence of air motion speed and surface condition of OCL elements on current-carrying capacity of OCL.
Calculation results of current-carrying capacity for contact wire type DjpS150 (CuAg wire of 150 mm^2 cross-section), catenaries types L120 and L150 (120 mm^2 and 150 mm^2 cross-section) and OCL are presented. All calculations were made for maximum acceptable temperatures given in PN-EN 50119 standard and for "new" requirements.
In the last part of the paper comparisons of results of tests and calculations of temperature for catenaries types L120 and L150 and contact wire type DjpS150 are presented.

Keywords: overhead contact line, current-carrying capacity

* Dr inż. Artur Rojek, mgr inż. Wiesław Majewski, mgr inż. Marek Kaniewski, Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, Warszawa.
** Dr hab. inż. Tadeusz Knych, Katedra Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych, Wydział Metali Nieżelaznych, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Sieć trakcyjna jest elementem systemu zasilania trakcji elektrycznej, mającego za zadanie dostarczyć do pojazdu energię elektryczną o wymaganych parametrach, w tym prąd o określonej wartości. Według najnowszych standardów europejskich [1] i norm [8] na konwencjonalnych liniach interoperacyjnych pociąg może pobierać z systemu zasilania o napięciu 3 kV DC prąd 2,5 kA, a w przypadku linii dużych prędkości wartość prądu może wzrosnąć do 3,2 lub 4 kA. Prąd o takich wartościach powinien być przesyłany przez górną sieć trakcyjną bez negatywnych skutków dla jej stanu technicznego, co wiąże się z obciążalnością prądową sieci trakcyjnej.

Niniejszy artykuł powstał na podstawie analiz, badań i pomiarów prowadzonych w ramach projektu celowego nr 6 T08 2004C/06482 pt. „Opracowanie i wdrożenie technologii wytwarzania z miedzi stopowej przewodzących elementów górnej sieci trakcyjnej o znamionowej obciążalności prądowej powyżej 2,5 kA i podwyższonej wytrzymałości mechanicznej" (umowa KBN nr 3622/C.T08-6/2005).

2. Obciążalność torów prądowych

O obciążalności prądowej urządzeń elektrycznych decyduje wartość dopuszczalnej temperatury, do jakiej urządzenie może być rozgrzane w wyniku przepływu prądu. Obciążalność prądowa toru prądowego zależy od wielu czynników, do których należą między innymi:

- materiał, z którego wykonany jest tor prądowy,
- maksymalne dopuszczane przyrosty temperatury,
- kształt i wymiary,
- stan powierzchni,
- środowisko pracy toru prądowego (powietrze, gaz, olej, izolacja stała),
- źródła ciepła w sąsiedztwie,
- przepływ medium chłodzącego.

Górna sieć trakcyjna jest torem prądowym, w którym połączone ze sobą elektrycznie przewody jezdne i lina nośna są głównymi nośnikami energii elektrycznej. Przewody jezdne i lina nośna pracują równolegle i są połączone poprzecznie poprzez wieszaki, uchwyty odległościowe, elementy podwieszeń (ukośnik, wysięg i ramiona odciągowe) oraz inne połączenia elektryczne i mechaniczne wykonane z materiałów przewodzących. Sieć trakcyjna jest torem prądowym pracującym w powietrzu atmosferycznym, a jej elementy przewodzące są wykonane z miedzi lub jej stopów i mają kształt w przybliżeniu okrągły. Dopuszczalny prąd ciągły dla przewodów jezdnych i lin nośnych można wyznaczyć ze wzoru

$$I_d = \sqrt{\frac{kAS\Delta\vartheta_d}{\rho_\vartheta}} \tag{1}$$

gdzie:

k – współczynnik oddawania ciepła,
A – obwód liny lub przewodu,
S – przekrój poprzeczny liny lub przewodu,

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

$\Delta\vartheta_d$ – dopuszczalny przyrost temperatury,
ρ_ϑ – rezystywność liny lub przewodu w maksymalnej temperaturze dopuszczalnej.

Na wartość współczynnika oddawania ciepła wpływa emisyjność względna ε, różnica temperatury dopuszczalnej w stosunku do temperatury otoczenia oraz prędkość przepływu powietrza *v*. Dla elementów sieci trakcyjnej, które są w przybliżeniu walcami o średnicy *d*, ułożonymi poziomo w powietrzu, współczynnik *k* wyraża się zależnością

$$k = \varepsilon c_o \frac{\Theta^4 - \Theta_o^4}{\vartheta_d - \vartheta_o} + 2{,}85 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{d}{v}} \tag{2}$$

gdzie:

$c_o = 5{,}77$ W/(m^2·K^4) – emisyjność ciała doskonale czarnego,
Θ – temperatura bezwzględna powierzchni liny lub przewodu,
Θ_o – temperatura bezwzględna otoczenia,
ϑ_d – temperatura dopuszczalna pracy liny lub przewodu,
ϑ_o – temperatura otoczenia.

Prędkość zmian temperatury elementów sieci trakcyjnej w wyniku przepływu prądu jest zależna od stałej czasowej *T* nagrzewania i chłodzenia. W przypadku gdy warunki oddawania ciepła przez liny i przewody są takie same w czasie nagrzewania i chłodzenia, stała czasowa nagrzewania jest równa stałej czasowej chłodzenia i można je wyrazić wzorem

$$T = \frac{c\gamma S}{kA} \tag{3}$$

gdzie:

c – ciepło właściwe elementu przewodzącego,
γ – ciężar właściwy materiału przewodzącego.

Sieć trakcyjna jest torem prądowym, którego obciążenie jest zmienne. Zgodnie z ruchem pociągów sieć jest obciążana przez czas, w jakim pociąg pokonuje sekcję prądową sieci, a następnie przepływ prądu nie występuje przez czas równy następstwu pociągów. W takim przypadku dopuszczalny prąd obciążenia I_p liny i przewodów jezdnych dla określonego cyklu obciążeniowego wyznacza się z zależności

$$I_p = I_d \sqrt{\frac{1 - e^{\frac{-t_p}{\alpha_p T}}}{1 - e^{\frac{-t_p}{T}}}} \tag{4}$$

gdzie:

$$\alpha_p = \frac{t_p}{t_p + t_b},$$

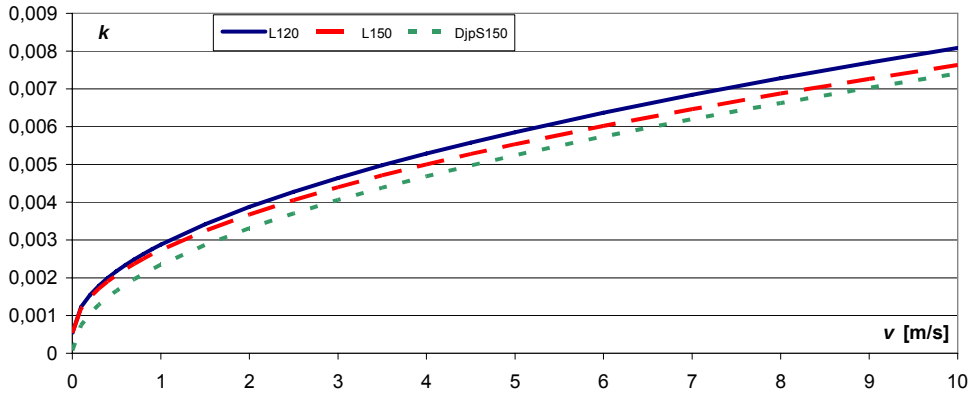
t_p – czas przepływu prądu,
t_b – czas przerwy – bezprądowy.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

3. Charakterystyka parametrów decydujących o oddawaniu ciepła przez elementy przewodzące sieci trakcyjnej

Sieć trakcyjna jest urządzeniem napowietrznym, na które oddziaływają warunki zewnętrze, takie jak: temperatura otoczenia, zanieczyszczenia, opady atmosferyczne, ruchy powietrza. Z tego względu oddawanie ciepła przez linę i przewody jezdne, a zatem ich obciążalność będą zmienne w pewnych granicach. O tej zmienności decyduje współczynnik k we wzorze (1).

Zgodnie z zależnością (2) wartość współczynnika oddawania ciepła zależy od wartości emisyjności względnej, która zmienia się wraz ze zmianą barwy liny i przewodów wskutek utleniania się i zanieczyszczeń. Dla miedzi i miedzi domieszkowanej innymi metalami emisyjność względna może zmieniać się od 0,04 (miedź polerowana) do 0,79 (miedź utleniona na czarno). W przypadku przewodów jezdnych i liny nośnej można przyjąć, że $\varepsilon \approx 0{,}5$.



Ryc. 1. Wartość współczynnika k w funkcji prędkości wiatru dla przewodów jezdnych o przekroju 150 mm^2 oraz dla lin nośnych o przekroju 120 i 150 mm^2

Fig. 1. The value of coefficient k in function of speed of wind for cross-section 150 mm^2 trolley wire and for 120 and 150 mm^2 cross-section catenary wire

Tablica 1

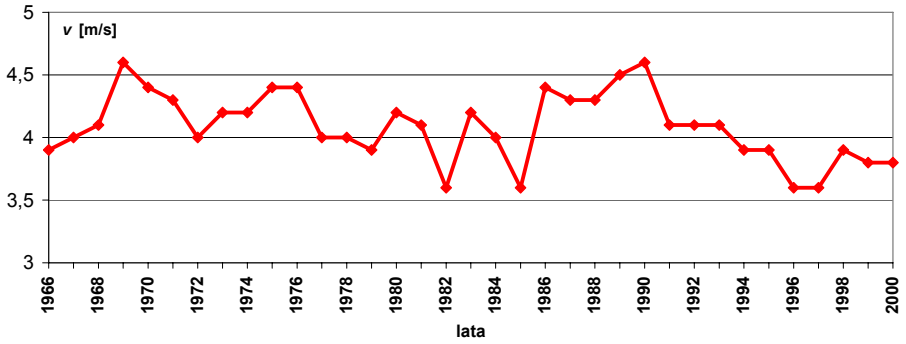
Średnioroczna prędkość wiatru w różnych regionach Polski [10]

Rejony	Średnioroczna prędkość wiatru [m/s]
Rejon 1 wybrzeże, suwalskie, część ciechanowskiego	5–6
Rejon 2 poznańskie, ciechanowskie, część bydgoskiego, łódzkiego, warszawskiego i szczecińskiego	4,5–5,0
Rejon 3 środkowa część Polski, województwa od szczecińskiego do krośnieńskiego	4,0–4,5

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

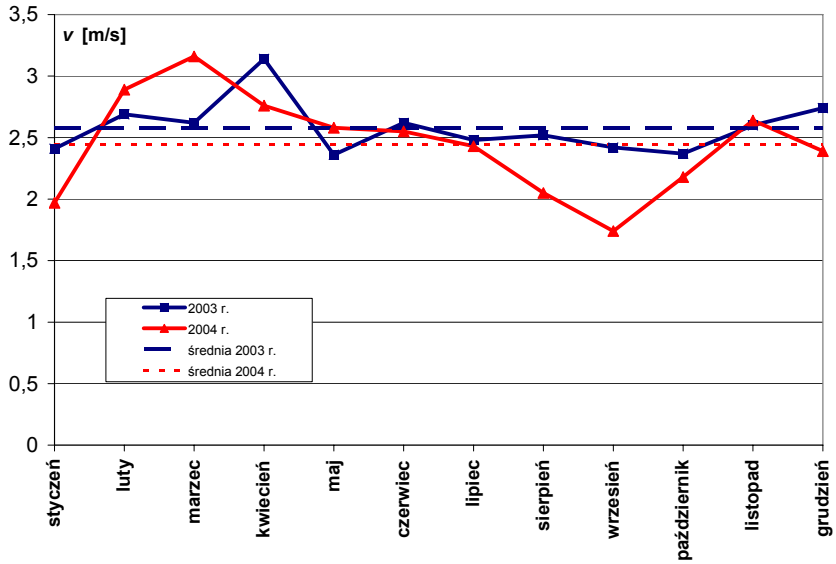
Kolejnym czynnikiem wpływającym na wartość współczynnika oddawania ciepła jest ruch powietrza. Wpływ prędkości wiatru na wartość współczynnika k przedstawiono na ryc. 1. Wszystkie przedstawione krzywe zostały wyznaczone dla $\varepsilon = 0{,}5$ i przyrostu temperatury o 60°C. Prędkość wiatru w Polsce jest różna dla różnych regionów. Można wyróżnić trzy regiony, w których średnioroczną prędkość wiatru przedstawiono w tablicy 1.

Dla określonego miejsca wartość średnioroczna jest również zmienna w skali kilku lat. Na rycinie 2 przedstawiono zmiany wartości średniorocznej prędkości wiatru w Warszawie. Dla porównania, na ryc. 3 pokazano wartości średniomiesięczne prędkości wiatru zarejestrowane w Dęblinie w 2003 i 2004 r.



Ryc. 2. Średnioroczne prędkości wiatru w Warszawie w latach 1966–2000 [10]

Fig. 2. The average per year speeds of wind in Warsaw in summers 1966–2000



Ryc. 3. Średnioroczne prędkości wiatru w Dęblinie

Fig. 3. The average per year speeds of wind in Dęblin

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

4. Obciążalność prądowa elementów górnej sieci trakcyjnej

Korzystając z zależności przedstawionych w poprzednich częściach, określono obciążalność ciągłą w cyklu obciążeniowym dla przewodów jezdnych o przekroju 150 mm^2 typu DjpS150 oraz lin nośnych typu L120 i L150 o przekroju odpowiednio 120 i 150 mm^2. Dokonując obliczeń dopuszczalnego prądu obciążenia przewodów jezdnych i lin nośnych, przyjęto wymiary tych elementów oraz ich parametry elektryczne (przewodność) zgodnie z zapisami zawartymi w przedmiotowych normach [4], [5] i [7].

W normie zharmonizowanej PN-EN 50119 [6] zawarta jest informacja, że maksymalna temperatura pracy dla elementów przewodzących górnej sieci trakcyjnej wykonanych z miedzi elektrolitycznej (CuETP) nie powinna być większa niż 80°C. W przypadku miedzi domieszkowanej srebrem (CuAg0,1) temperatura maksymalna pracy nie powinna przekraczać 100°C. Obecnie trwają prace nad nowelizacją tej normy. W ramach tych prac proponuje się zwiększenie dopuszczalnych temperatur pracy do 120°C dla elementów z miedzi i 150°C w przypadku stosowania miedzi z domieszkami srebra.

Ze względu na klimat panujący w Polsce i wymagania norm przedmiotowych można przyjąć, że dla sieci trakcyjnej maksymalna temperatura otoczenia wynosi $\vartheta_o = 40$°C. Dlatego wszelkie obliczenia maksymalnego prądu obciążenia lin nośnych i przewodów jezdnych powinny być wykonywane dla dopuszczalnych przyrostów temperatury przedstawionych w tabl. 2. Wyniki obliczeń przedstawiono na ryc. 4–6.

Tablica 2

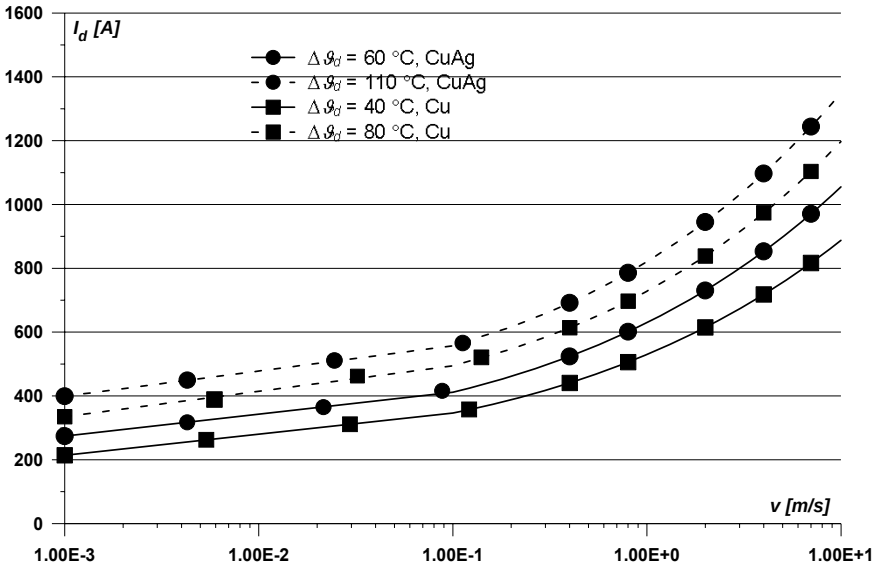
Maksymalne dopuszczalne przyrosty temperatury pracy $\Delta\vartheta_d$ elementów przewodzących górnej sieci trakcyjnej

Materiał	Zgodnie z PN-EN 50119 [6]	Zgodnie z nowymi wymaganiami
CuETP	40°C	80°C
CuAg0,1	60°C	110°C

Na podstawie analiz danych dotyczących prędkości wiatru w Polsce ustalono, że do analiz obciążalności należy przyjmować prędkość wiatru o wartości $v = 2$ m/s. Przyjęta wartość jest niższa od najmniejszej wartości średniorocznej, dzięki czemu uzyskuje się pewien margines bezpieczeństwa zapobiegający nadmiernemu przegrzaniu elementów sieci trakcyjnej w warunkach eksploatacyjnych. Natomiast w karcie UIC 799-1 [9] znajduje się zapis, że wyznaczanie obciążalności sieci trakcyjnej i jej elementów powinno się wykonywać dla prędkości wiatru $v = 0{,}6$ m/s. Ze względu na powyższe, dalsze analizy będą prowadzone dla obydwu prędkości wiatru. Wartości obciążalności elementów sieci trakcyjnej przedstawiono w tabl. 3.

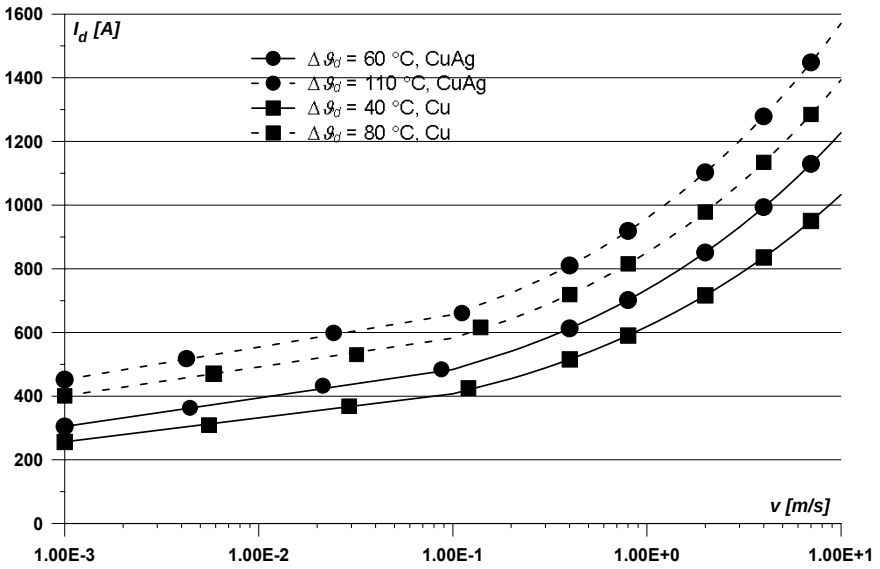
O obciążalności prądowej sieci trakcyjnej będzie decydować wartość dopuszczalnego prądu dla liny nośnej i przewodów jezdnych oraz rozpływ całkowitego prądu pomiędzy tymi elementami. W celu określenia obciążalności sieci trakcyjnej sprawdzono, czy zakładając maksymalną obciążalność jednego elementu nie zostanie przekroczona wartość dopuszczalna prądu dla elementów pozostałych. Odrzucono przypadki, w których otrzymano obciążenie któregoś z elementów sieci większe od dopuszczalnego. Pozostałe wyniki zestawiono w tabl. 4.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Ryc. 4. Dopuszczalny prąd obciążenia ciągłego liny nośnej o przekroju 120 mm^2 w zależności od rodzaju materiału i prędkości wiatru

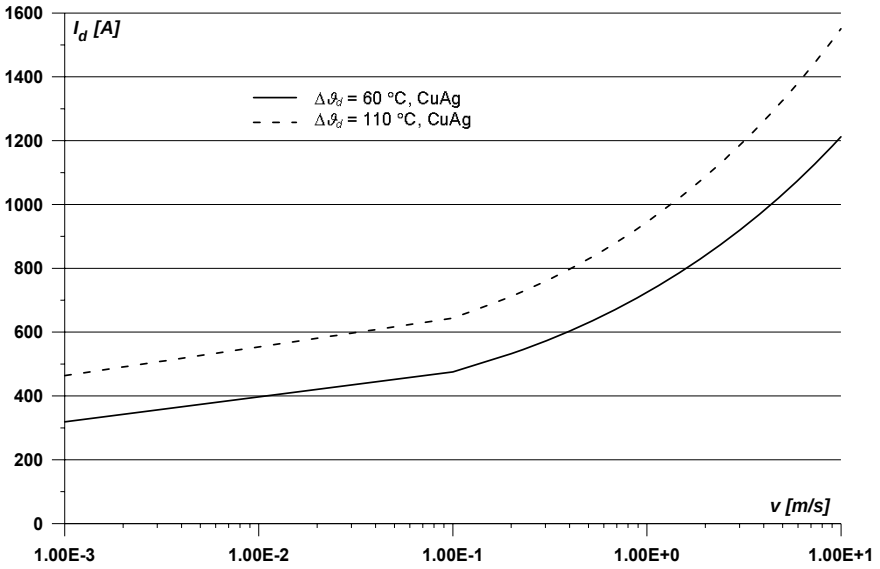
Fig. 4. The admissible current of continuous duty the catenary wire 120 mm^2 cross-section in relationship of kind of material and speed of wind



Ryc. 5. Dopuszczalny prąd obciążenia ciągłego liny nośnej o przekroju 150 mm^2 w zależności od rodzaju materiału i prędkości wiatru

Fig. 5. The admissible current of continuous duty the catenary wire 150 mm^2 cross-section in relationship of kind of material and speed of wind

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Ryc. 6. Dopuszczalny prąd obciążenia ciągłego przewodu jezdnego z miedzi srebrowej o przekroju 150 mm^2 w zależności od prędkości wiatru

Fig. 6. The admissible current of continuous duty the copper alloy with silver 150 mm^2 cross-section in function of speed of wind

Tablica 3

Wartości dopuszczalnego prądu ciągłego I_d dla przewodów jezdnych i lin nośnych

Element przewodzący	Obciążalność przy przyroście temperatury zgodnie z PN-EN 50119 [6]		Obciążalność przy przyroście temperatury zgodnie z nowymi wymaganiami	
	CuETP ($\Delta\vartheta_d$ = 40°C)	CuAg0,1 ($\Delta\vartheta_d$ = 60°C)	CuETP ($\Delta\vartheta_d$ = 80°C)	CuAg0,1 ($\Delta\vartheta_d$ = 110°C)
v = 2 m/s				
Lina L120	615 A	731 A	839 A	945 A
Lina L150	716 A	851 A	978 A	1103 A
Przewód jezdny DjpS150	–	840 A	–	1087 A
v = 0,6 m/s				
Lina L120	477 A	567 A	660 A	774 A
Lina L150	557 A	662 A	773 A	871 A
Przewód jezdny DjpS150	–	653 A	–	857 A

Sieć trakcyjna nie jest obciążona w sposób ciągły, lecz w cyklach obciążeniowych wynikających z prowadzonego ruchu. Wówczas, zgodnie z zależnością (4), obciążalność sieci wzrośnie. Wzrost obciążalności będzie zależny od prędkości jazdy pociągów na odcinku zasilania, sposobu jego zasilania i jego długości oraz następstwa pociągów. Z tego powodu

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

wyznaczono obciążalność sieci na odcinku zasilania o długości 12 km przy założeniu najgorszego przypadku, czyli ciągłego poboru prądu przez pociąg i zasilania jednostronnego.

Tablica 4

Obciążalność ciągła górnej sieci trakcyjnej

Budowa sieci	Obciążalność przy przyroście temperatury zgodnie z PN-EN 50119 [5]		Obciążalność przy przyroście temperatury zgodnie z nowymi wymaganiami	
	v = 0,6 m/s	v = 2 m/s	v = 0,6 m/s	v = 2 m/s
Lina nośna L120 z CuETP oraz 2 przewody DjpS150	1687 A	2171 A	2214 A	2808 A
Lina nośna L150 z CuETP oraz 2 przewody DjpS150	1693 A	2176 A	2350 A	2973 A
Lina nośna L150 z CuAg0,1 oraz 2 przewody DjpS150	1839 A	2366 A	2414 A	3062 A

Tablica 5

Obciążalność górnej sieci trakcyjnej w warunkach ruchowych

Budowa sieci	Obciążalność przy przyroście temperatury zgodnie z PN-EN 50119 [5]		Obciążalność przy przyroście temperatury zgodnie z nowymi wymaganiami	
	v = 0,6 m/s	v = 2 m/s	v = 0,6 m/s	v = 2 m/s
$v_{pociągu}$ = 100 km/h, następstwo 10 min				
Lina nośna L120 z CuETP oraz 2 przewody DjpS150	1853 A	2310 A	2421 A	2979 A
Lina nośna L150 z CuETP oraz 2 przewody DjpS150	1878 A	2341 A	2586 A	3183 A
Lina nośna L150 z CuAg0,1 oraz 2 przewody DjpS150	2020 A	2518 A	2639 A	3246 A
$v_{pociągu}$ = 160 km/h, następstwo 5 min				
Lina nośna L120 z CuETP oraz 2 przewody DjpS150	1755 A	2240 A	2300 A	2897 A
Lina nośna L150 z CuETP oraz 2 przewody DjpS150	1760 A	2246 A	2438 A	30643 A
Lina nośna L150 z CuAg0,1 oraz 2 przewody DjpS150	1913 A	2442 A	2507 A	3158 A
$v_{pociągu}$ = 200 km/h, następstwo 5 min				
Lina nośna L120 z CuETP oraz 2 przewody DjpS150	1912 A	2408 A	2504 A	3109 A
Lina nośna L150 z CuETP oraz 2 przewody DjpS150	1918 A	2410 A	2650 A	3283 A
Lina nośna L150 z CuAg0,1 oraz 2 przewody DjpS150	2085 A	2625 A	2730 A	3389 A

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Do obliczeń przyjęto następujące sytuacje ruchowe:
- $v_{\text{pociągu}}$ = 100 km/h, następstwo 10 min,
- $v_{\text{pociągu}}$ = 160 km/h, następstwo 5 min,
- $v_{\text{pociągu}}$ = 200 km/h, następstwo 5 min.

Wyniki obliczeń zastawiono w tablicy 5.

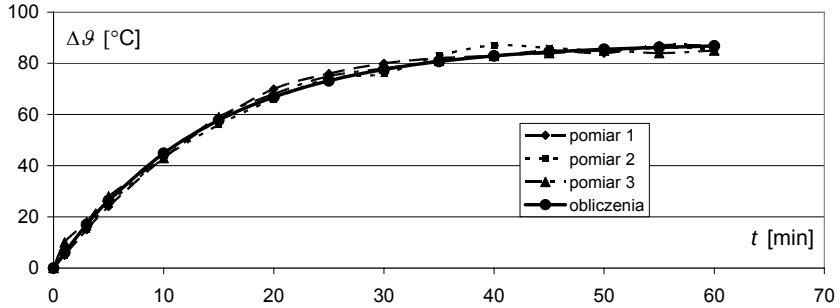
Z tablic 4 i 5 wynika, że przyjmując obecne wymagania normy PN-EN 50119 [6], w przypadku sieci z liną nośną wykonaną z CuETP, zmiana przekroju liny z 120 na 150 mm^2 praktycznie nie wpływa na obciążalność prądową sieci trakcyjnej. Przyczyną ograniczenia wzrostu obciążalności prądowej sieci wraz ze wzrostem przekroju liny jest zmiana rozpływu prądu, co powoduje, że osiągając graniczne obciążenie liny o przekroju 150 mm^2, obciążalność przewodów jezdnych nie jest w pełni wykorzystana. Chcąc wykorzystać pełną obciążalność przewodów jezdnych należy zastosować linę nośną o przekroju 150 mm^2 wykonaną z CuAg0,1. Natomiast w sieci z liną o przekroju 120 mm^2 nie należy stosować lin z CuAg0,1, ponieważ nawet przy linie wykonanej z CuETP obciążalność sieci jezdnej jest ograniczana przez prąd dopuszczalny w przewodach jezdnych.

Zastosowanie w sieci liny o przekroju 150 mm^2 wykonanej z miedzi wpływa natomiast na zmniejszenie spadków napięcia, co jest szczególnie istotne w przypadku długich odcinków zasilania. Lina o tym przekroju powoduje również poprawę parametrów mechanicznych sieci, dzięki temu, że możliwe jest zastosowanie większego naciągu liny.

Z wykonanych analiz wynika, że obciążalność sieci trakcyjnej silnie zależy od panujących warunków środowiskowych i prowadzonego ruchu. Dlatego należy uwzględniać te parametry, określając typ sieci, jaki ma być zastosowany na danym odcinku linii.

5. Badania laboratoryjne

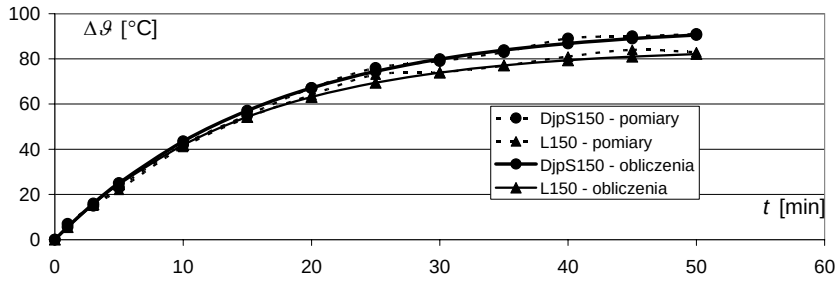
W ramach projektu wykonywano badania laboratoryjne nagrzewania się elementów sieci trakcyjnej, w tym przewodów i lin nośnych, wskutek przepływu przez nie prądu. Badania wykonywano przy braku wymuszonego ruchu powietrza przy ciągłym przepływie określonej wartości prądu. Wyniki tych badań przedstawiono na ryc. 7 (lina L120) i 8 (lina L150 i przewód jezdny DjpS150).



Ryc. 7. Wyniki pomiarów oraz obliczeń przyrostu temperatury liny o przekroju 120 mm^2 przy przepływie ciągłym prądu o wartości 570 A

Fig. 7. The results of measurements and the calculations of increase of temperature the catenary wire 120 mm^2 cross-section during passage of current 570 A

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Ryc. 8. Wyniki pomiarów oraz obliczeń przyrostu temperatury liny o przekroju 150 mm^2 i przewodu jezdnego o przekroju 150 mm^2 przy przepływie ciągłym prądu o wartości 650 A

Fig. 8. The results of measurements and the calculations of increase of temperature the catenary wire 150 mm^2 cross-section and contact wire 150 mm^2 cross-section during passage of current 650 A

Na powyższych rycinach przedstawiono również wykresy przyrostu temperatury wywołanego przepływem prądu, określone za pomocą wzorów i zależności przedstawionych w poprzednich częściach niniejszego artykułu. Obliczenia wykonano dla takich samych warunków, w jakich były przeprowadzane badania laboratoryjne. Dobra zbieżność wykresów otrzymanych na podstawie pomiarów i obliczeń zarówno dla liny L120, jak i dla liny L150 i przewodu jezdnego DjpS150 pozwala na stwierdzenie, że przedstawione wzory i zależności można stosować do obliczania obciążalności prądowej górnej sieci trakcyjnej. Podstawową trudność przy wykonywaniu obliczeń stanowi prawidłowe określenie wartości współczynnika oddawania ciepła, na którą wpływa między innymi emisyjność względna ε, prędkość przepływu powietrza v oraz różnica temperatury elementów sieci trakcyjnej i otaczającego powietrza, które to parametry są zmienne w trakcie eksploatacji.

Literatura

[1] Decyzja Komisji 733/2002/WE z dnia 30 maja 2002 r. dotycząca technicznej specyfikacji dla interoperacyjności podsystemu energia transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości określonego w art. 6 ust. 1 dyrektywy 96/48/WE, Dz. Urz. WE L 245, 280-369.

[2] K r y ń s k i J., *Elektryczne aparaty rozdzielcze*, PWN, Łódź–Warszawa 1964.

[3] M a k s y m i u k J., *Aparaty elektryczne*, WNT, Warszawa 1992.

[4] PN-E-90081:1974 Elektroenergetyczne przewody gołe. Przewody miedziane.

[5] PN-E-90090:1996 Przewody jezdne z miedzi i miedzi modyfikowanej.

[6] PN-EN 50119:2002(U) Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Sieć jezdna górna trakcji elektrycznej.

[7] PN-EN 50149:2002(U) Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Trakcja elektryczna. Profilowane druty jezdne z miedzi i jej stopów.

[8] PN-EN 50388:2005 Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock to achieve interoperability.

[9] UIC 799-1:2000 Characteristics of direct-current overhead contact system for lines worked at speeds of over 160 km/h and up to 250 km/h.

[10] www.imgw.pl.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ