

Skutki cieplne oddziaływania prądów roboczych i zakłóceń na połączenia śrubowe typu V-klema

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki nagrzewania zacisków przyłączeniowych typu V-klema przy przepływie prądów roboczych i zakłóceń. Badaniom poddane zostały zaciski śrubowe wykonane z aluminium oraz cynowanego mosiądzu. Próby nagrzewania przeprowadzono dla takich samych warunków zasilania i połączenia: temperatura otoczenia, wilgotność, prądy robocze, prądy zakłóceń, siła docisku, przewód przyłączeniowy. Artykuł przedstawia porównanie temperatur ustalonych zacisków śrubowych uzyskanych przy ich pracy ciągłej. Porównano ciężary zacisków aluminiowych i mosiężnych.

Abstract. The article presents the results of the heating screw clamp the flow of operating current and fault. The tests were subjected to screw clamps made of aluminum and tin-plated brass. Attempts heating was carried out for the same conditions of supply and connections: temperature, humidity, operating currents, interference currents, downforce, connecting cable. This article provides a comparison of the temperatures of the fixed screw clamp obtained during their continuous operation. **The heating by the current of the screw clamp type V**

Słowa kluczowe: termodynamika, elektrodynamika, zaciski śrubowe

Keywords: thermodynamics, electrodynamics, screw clamp

Wstęp

Wymagania stawiane nowoczesnym rozdzielnicom elektrycznym warunkują coraz nowsze i pewniejsze rozwiązania połączeń przewodów jak i sposobu przyłączeń aparatów elektrycznych. Jednym z rozwiązań jest stosowanie zacisków śrubowych typu V-klema do łączenia przewodów wewnątrz rozdzielnic. Zaciski śrubowe (aparatowe, ramkowe) są to zaciski służące do bezpośredniego przyłączania przewodów miedzianych i/lub aluminiowych do urządzeń elektrycznych bądź też do wzajemnego połączenia przewodów. Konstrukcja zacisków umożliwia łączenie jednego lub dwóch przewodów w przelocie. Budowa zacisku jest podobna jak w przypadku zacisków ramkowych przy czym dolna część elementu dociskowego jest w kształcie V. Nakładka przyłączowa podłączana do zacisku (zwykle część aparatu) zapobiega rozszczepieniu przewodów wielodrutowych. Kabel jest mocowany bezpośrednio do nakładki przyłączowej w formie V.

Zaciski, jako połączenie wprowadzają dodatkową rezystancję w układ prądowy a co za tym idzie stanowią dodatkowe źródło ciepła. Prawidłowe wykonanie połączenia oraz zastosowanie odpowiedniego zacisku stanowi w głównej mierze warunek prawidłowej eksploatacji rozdzielnic. Na rynku obecnych jest dużo rozwiązań zacisków śrubowych. Materiały stosowane do produkcji zacisków śrubowych to najczęściej aluminium, aluminium pokryte powłoką cynową mosiądz pokryty powłoką cynową. Pozostałe technologie produkcji zacisków ramkowych typu "V" opierają się na [2]:

- budowie korpusu ze stopu aluminium (AlMgSi) oraz mosiężnego cynowanego galwanicznie docisku
- budowie korpusu ze stopu aluminium (AlMgSi) oraz stalowego cynkowanego galwanicznie docisku
- budowie korpusu ze stali sprężystej oraz mosiężnego cynowanego galwanicznie docisku

Powierzchnie stykowe są rowkowane tak, aby były w stanie spenetrować ewentualną powłokę tlenkową na powierzchni przewodu. Docisk stosowany przy połączeniach śrubowych dobierany jest tak aby pracować w zakresie odkształceń plastycznych wynikających twardości materiału zacisków.

Zaciski przyłączeniowe służą do łączenia przewodów/kabli aluminiowych i miedzianych. Zaciski ramkowe stosuje

się głównie jako zaciski przyłączeniowe w aparatach łącznikowych oraz jako zaciski z nakładkami na szyny zbiorcze do przyłączania kabli, jak też do łączenia taśm miedzianych i szyn.

Zacisków ramkowych typu V używa się głównie do aparatów wyposażonych w specjalnie wyprofilowane szyny przyłączeniowe w kształcie V do przyłączania kabli sektorowych. Do łączenia taśm używa się odpowiednich listwowych zacisków szeregowych i płytkowych lub zacisków płytkowych. Zaciski transformatorowe umożliwiają podłączenie kabli po stronie wtórnej transformatora [1]

Badania i ich wyniki przedstawione w poniższym artykule odnoszą się do przykładowych zacisków aluminiowych i mosiężnych cynowanych stosowanych w rozwiązaniach połączeń przewodów i aparatów w rozdzielnicach nn i Sn.

Analiza teoretyczna

Warunkiem poprawnej pracy zestyku przy przepływie prądu roboczego jest nieprzekraczanie temperatury dopuszczalnej (tabela 1). Obliczenie zestyku dla warunków pracy normalnej wymaga więc ustalenia zależności między temperaturą zestyku i innymi wielkościami charakteryzującymi zestyk [3].

Prąd o natężeniu I przepływając przez zestyk wywołuje na rezystancji zestyku R_p stratę mocy o wartości:

$$P = I^2 R_p$$

Temperatura miejsca zestyku będzie więc zbliżona do temperatury styków. Wartość jej zależy od warunków oddawania ciepła ze styków [3].

Zapewnienie nieprzekraczania dopuszczalnych temperatur zestyku warunkuje prawidłową eksploatację połączeń. Istotnym zagadnieniem jest zapewnienie prawidłowego docisku w całym zakresie temperatur pracy połączenia stykowego.

Bardzo duży wpływ na oporność przejścia ma stan powierzchni styków, który zależy między innymi od temperatury i czasu pozostawiania styków w danej temperaturze. Środowisko, w którym styki pracują (powietrze, oleje, gazy), działa w mniejszym lub większym stopniu korodująco. Tak np. tlen i wilgoć z powietrza wnika łatwo w pory utworzone między stykającymi się powierzchniami metalu, z którego jest wykonany zestyk, powodując jego utlenianie się. Tlenki metali oprócz tlenku

srebra odznaczają się wielokrotnie mniejszą przewodnością elektryczną niż same metale. Zawartość wzywów kwasowych czy zasadowych w powietrzu, np. w fabrykach chemicznych, potęguje działanie korodujące.

Tabela 1. Dopuszczalne przyrosty temperatury dla części wyłączników wysokiego napięcia (wg. PN-74/E-06105) [3].

Część i materiał	Dopuszczalny przyrost temperatury [K]
Styki miedziane: - w powietrzu - w oleju	35 40
Styki miedziane pokryte srebrem: - w powietrzu - w oleju	65 50
Części sprężynujące: - miedziane - fosforowo-brązowe - stalowe	35 65 90
Zaciski przyłączeniowe: - niepokryte srebrem - pokryte srebrem	50 65
Części metalowe stykające się: - z emalią na podstawie olejowej - z emalią syntetyczną w powietrzu - z emalią syntetyczną w oleju	60 80 60
Części metalowe (oprócz zestyków) lub izolacyjne stykające się z olejem	60
Olej w górnej warstwie	40
Obliczeniowa temperatura wynosi	$T_o=40^{\circ}\text{C}$

Właściwości fizyczne materiałów przewodzących zmieniają się wraz ze wzrostem temperatury i zwykle ulegają pogorszeniu. Na powierzchni zewnętrznej przewodu i w miejscach styczności przewodu mogą występować zmiany chemiczne (korozja, utlenianie), zależne od wartości temperatury.

Pomiary oddziaływań cieplnych na zaciski śrubowe typu V-klema

Badania przeprowadzone zostały na grupie 10 zacisków typu V-klema w układzie przedstawionym na rysunku 1. Układ wyposażony został w wymuszalnik prądowy utrzymujący stałą wartość prądu obciążenia w trakcie całego trwania nagrzewania. Badany zacisk śrubowy wykorzystany został do połączenia przewodu aluminiowego wielolinkowego o przekroju 70 mm^2 oraz łącznika przedstawionego na rysunku 2 stanowiące jedno z typowych rozwiązań połączenia aparatu elektrycznego w rozdzielni z przewodami giętkimi

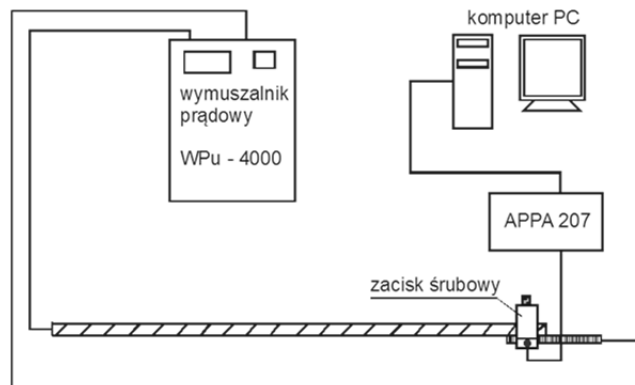
Badania dla wszystkich połączeń wykonywane były w takich samych warunkach oddawania ciepła do otoczenia jak: ułożenie przyłącza, temperatura otoczenia, wilgotność powietrza:

$T_o = 24^{\circ}\text{C}$ - temperatura otoczenia

$f = 33\%$ - wilgotność względna powietrza

Badaniom poddane zostały połączenia śrubowe typu V-klema przewodów do aparatów elektrycznych w następujących wariantach wykonania:

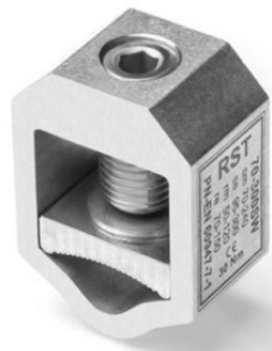
- 5 zacisków śrubowych typu V-klema 70-300 SW stanowiące zacisk aluminiowy z podkładką sprężystą (rysunek 3)
- 3 zaciski śrubowe typu V-klema 70-300 SW-B stanowiące zacisk aluminiowy z blachą sprężystą (rysunek 4)
- 2 zaciski śrubowe typu V-klema VLM-300 będące zaciskiem mosiężnym pokrytym warstwą cynową (rysunek 5).



Rys. 1. Schemat ideowy układu pomiarowego



Rys.2. Łącznik typ I/M [3]



Rys. 3. Zacisk śrubowy typ V-klema: 70-300 SW [2]

Do wykonania połączenia użyto linki aluminiowej wielodrutowej o przekroju znamionowym 70 mm^2 , jest to przekrój mieszczący się w zakresie przyłączeniowym wszystkich badanych zacisków:

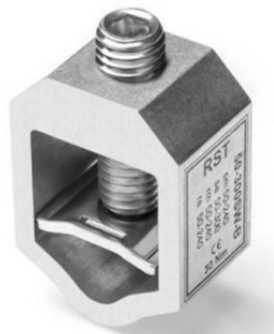
- połączenie typu V-klema 70-300 SW - zakres przekrojów poprzecznych przewodów okrągłych wielodrutowych: $50-120\text{ mm}^2$ [2]
- połączenie typu V-klema 70-300 SW-B - zakres przekrojów poprzecznych przewodów okrągłych wielodrutowych: $50-300\text{ mm}^2$ [2]
- połączenie typu V-klema VLM-300 - zakres przekrojów poprzecznych przewodów okrągłych wielodrutowych: $50-185\text{ mm}^2$ [4]

Obciążalność znamionowa długotrwała przewodu aluminiowego wielodrutowego o przekroju 70 mm^2 w temperaturze otoczenia $+25^{\circ}\text{C}$ wynosi $I_n = 195\text{ A}$.

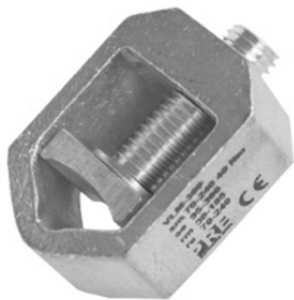
Badania przeprowadzone zostały dla prądu roboczego równego prądowi znamionowemu $I_n = 195\text{ A}$ oraz dla przeciążenia równego $1,46 I_n = 285\text{ A}$ zapewniającemu nie przekroczenia temperatury mięknięcia dla aluminium (100°C).

Wszystkie połączenia wykonano przy użyciu takiego samego momentu dokręcającego zacisk równego $M_n = 40\text{ Nm}$.

We wszystkich pomiarach osiągnięto temperaturę ustaloną.



Rys. 4. Zacisk śrubowy typ V-klema: 70-300 SW-B [2]



Rys. 5. Zacisk śrubowy typ V-klema: VLM-300 [4]

Wyniki pomiarów

W efekcie badań połączeń śrubowych typu V-klema uzyskano wyniki przedstawione w tabeli 3.

W badaniach wykorzystane zostały połączenia wykonane z dwóch głównych rodzajów materiałów: aluminium oraz stopu miedź-cynk (mosiądz). W zacisku aluminiowym 70-300 SW-B (rysunek 4) jako docisk użyta została blacha sprężysta zapewniająca niezmiennie warunki pracy zestyku w czasie i przy zmianach temperatury jego pracy. W zacisku aluminiowym 70-300 SW (rysunek 3) i mosiężnym VLM-300 (rysunek 5) jako docisk stanowił materiał styku, natomiast umieszczona nad nim podkładka z blachy sprężystej zapewniała niezmiennie warunki pracy zestyku.

W związku z zastosowaniem różnych materiałów stykowych a co za tym idzie innych warunków oddawania ciepła w tabeli 2 przedstawione zostały współczynniki przewodzenia ciepła dla materiałów stykowych.

Tabela 2. Porównanie współczynnika przewodzenia ciepła dla materiałów badanych zacisków [5]

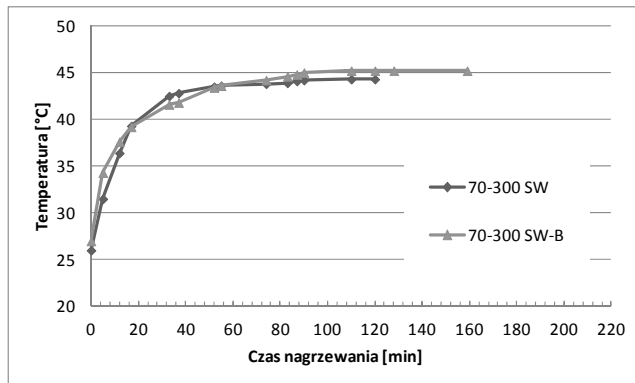
Materiał	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] wg PN-EN ISO 12524:2003
Aluminium (stopy)	160
Mosiądz	120

Pod wpływem przepływającego prądu układ stykowy: przewód aluminiowy wielolinkowy - badany zacisk - łącznik ulegał nagrzaniu do temperatury ustalonej. W tabeli 3 oraz na rysunku 8 zestawione zostały średnie wyniki prób nagrzewania długotrwałego dla poszczególnych grup badanych zacisków.

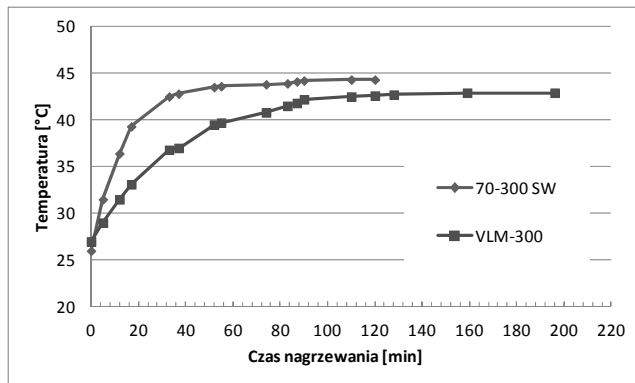
Tabela 3. Porównanie temperatur ustalonych zacisków (wartości średnie)

Prąd [A]	Temperatura ustalona [°C]		
	70-300 SW	70-300 SW-B	VLM-300
195	43,85	44,6	43
285	65,5	66,6	65,2

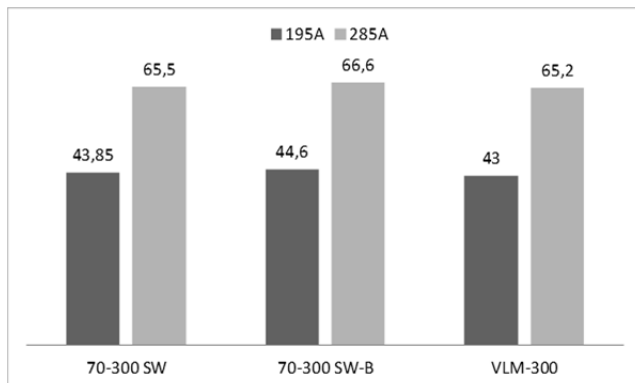
Wyniki pomiarów można analizować z uwagi na dwa przypadki: przypadek pierwszy odnosi się do połączeń śrubowych typu V-klema wykonanych z takiego samego materiału, lecz o różnych rozwiązaniach wykonania docisku (70-300 SW, 70-300 SW-B); przypadek drugi umożliwia porównanie odpowiadających sobie sposobem wykonania i rozwiązania technicznego docisku styków lecz z użyciem różnych materiałów (70-300 SW, VLM-300).



Rys. 6. Porównanie krzywych nagrzewania dla zacisków śrubowych wykonanych w różnych technikach, lecz z takiego samego materiału (aluminium) dla prądu znamionowego $I_n=195$ A



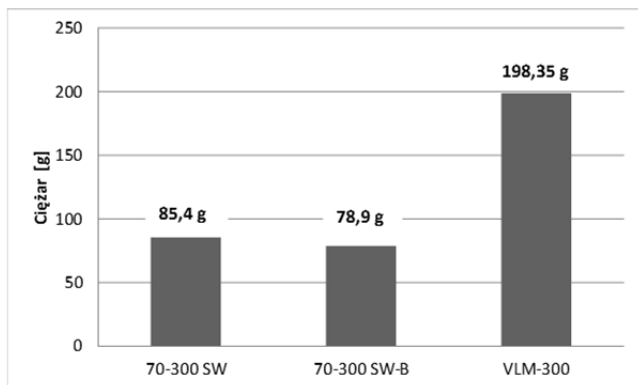
Rys. 7. Porównanie krzywych nagrzewania dla zacisków śrubowych wykonanych w tej samej technice, lecz z różnych materiałów dla prądu znamionowego $I_n=195$ A



Rys.8. Zestawienie temperatur ustalonych [°C] dla poszczególnych zacisków śrubowych przy przepływie prądu roboczego $I=195$ A i prądu zakłócenia $I=285$ A (w odniesieniu do przewodu aluminiowego wielolinkowego)

Analizując wyniki nagrzewania dla styków aluminiowych 70-300 SW oraz 70-300 SW-B różnica w osiągniętej temperaturze ustalonej jak i stałej nagrzewania nie jest zauważalna. Różnice w budowie obydwu zacisków w zasadzie nie mają wpływu na ich nagrzewanie (rysunek 6).

Porównując wyniki pomiarów dla połączeń śrubowych typu V-klema 70-300 SW oraz VLM-300, gdzie sposób wykonania i rozwiązanie mechaniczne jest identyczny a różnica wynika tylko z użytego materiału. Różnica temperatur ustalonych zacisków jest już zauważalna (rysunek 7), jednakże nie przekracza ona 4% dla prądu znamionowego jak i dla prądu przeciążeniowego.



Rys. 9. Porównanie średnich ciężarów zacisków śrubowych typu V-klema

Istotną różnicą jest przebieg krzywej nagrzewania związany ze stałą czasową. Zacisk mosiężny z uwagi na większą pojemność cieplną, większą masę (tabela 4) ma dłuższą stałą czasową nagrzewania. Ciężar zacisków jest ważną cechą z uwagi na zastosowanie ich w rozdzielnicach elektroenergetycznych

Zestawienie średniego ciężaru badanych zacisków śrubowych przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Porównanie wagi zacisków (wartości średnie)

Waga zacisków [g]		
70-300 SW	70-300 SW-B	VLM-300
85,4	78,9	198,35

Graficzne porównanie ciężaru zacisków śrubowych poddanych badaniom przedstawiono na rysunku 9.

Wnioski

W wyniku nagrzewania zacisków 70-300 SW oraz 70-300 SW-B, gdzie różnica pomiędzy nimi wynikała tylko z zastosowania różnych rozwiązań technicznych docisku, różnice przyrostów temperatur ustalonych nie są zauważalne. Obydwa zaciski mają podobną konstrukcję oraz wagę więc krzywe nagrzewania do temperatury ustalonej praktycznie są takie same.

Przy porównaniu zacisków aluminiowych i mosiężnych cynowanych można zauważyć następujące zależności (dla wartości średnich):

- względny wzrost przyrostu temperatury ustalonej dla zacisku 70-300 SW dla prądu znamionowego wynosi **1,97%** względem temp. zacisku VLM-300.

- względny wzrost przyrostu temperatury ustalonej dla zacisku 70-300 SW-B dla prądu znamionowego wynosi **3,72%** względem temp. zacisku VLM-300.

Ogólnie temperatury ustalone pracy zacisków aluminiowych i mosiężnych są porównywalne i oscylują w obrębie zmian 4% jednocześnie ciężar zacisków ramowych aluminiowych jest dwukrotnie mniejszy od zacisków mosiężnych cynowanych.

Autor: dr inż. Miroslaw Pawlot, Politechnika Lubelska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i TWN, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: m.pawlot@pollub.pl;

LITERATURA

- [1] Katalog produktów JEAN MUELLER POLSKA 2016/17
- [2] Katalog produktów RST Roztocze, Roztocze Z.U.P. Roman Rak, Tomaszów Lubelski, (wydanie 01/2015)
- [3] A. Au, J. Maksymiuk, Z. Pochanke.: *Podstawy obliczeń aparatów elektroenergetycznych*, WNT, Warszawa 2001
- [4] Katalog produktów PRE Edward Biel, Liszki k/Krakowa, 2015
- [5] PN-EN ISO 12524:2003