

Badania nad przewodami i osprzętem do wysokotemperaturowych linii napowietrznych

Wprowadzenie

Rosnąca konsumpcja energii elektrycznej oraz strategiczne jej znaczenie w gospodarce krajów wysokorozwiniętych przekłada się na konieczność zagwarantowania bezpieczeństwa jej dostaw w coraz większej ilości do odbiorców. Podstawowymi ograniczeniami zwiększania zdolności przesyłowej przewodów fazowych istniejących linii są ograniczenia materiałowe przekładające się na dopuszczalną temperaturę pracy przewodu, projektowanego obecnie na 50 letni okres eksploatacji (PN-EN 503414-1). Powyższy problem związany jest z zapewnieniem dopuszczalnego bezpiecznego zwisu (będącego bezpośrednią funkcją naprężenia) przewodu w trakcie całego okresu jego eksploatacji, w którym przewód jest poddawany działaniu wysokich prądów, drganiom eolskim, galopowaniu, korozji czy też obciążeniu sadzią. Zachowanie wymaganych własności eksploatacyjnych tradycyjnych przewodów typu ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) oraz przewodów stopowych AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) przekłada się na maksymalną dopuszczalną temperaturę pracy na poziomie 80°C, która w całym okresie eksploatacji przewodu nie może spowodować degradacji jego własności mechanicznych więcej niż o 10% pierwotnej wytrzymałości na rozciąganie.

Nowością ostatnich lat w elektroenergetyce napowietrznej są przewody typu HTLS (High Temperature Low Sag) umożliwiające wzrost obciążalności prądowej poprzez zwiększenie dopuszczalnej ciągłej temperatury pracy przewodów max do 240°C. Dynamiczny rozwój tej grupy konstrukcji spowodował pojawienie się około 10 typów przewodów i osprzętu o specjalnych własnościach wykorzystujących najnowsze osiągnięcia inżynierii materiałowej oraz nowe rozwiązania konstrukcyjne. Głównym problemem dotyczącym przewodów HTLS jest brak zarówno europejskiej jak i światowej kompleksowej normalizacji oraz jednoznacznych wytycznych dotyczących konstrukcji przewodów, parametryzacji wykorzystywanych materiałów i własności przewodów oraz wytycznych do projektowania linii elektroenergetycznych z takimi przewodami. Problemy o których mowa

spowodowały masowe pojawianie się na rynku europejskim przewodów HTLS oferowanych przez różnych producentów oraz ich krajowych przedstawicieli. W latach dziewięćdziesiątych XX wieku rozpoczęto prace nad specjalistyczną normalizacją w dziedzinie przewodów wysokotemperaturowych. Są to głównie normy japońskie (JEC 197, JCS 405), w dalszej kolejności amerykańskie dotyczące odpornego cieplnie materiału przewodowego Al-Zr (ASTM 941-05) oraz przewodów typu ACSS (ASTM 856-03, 857-02). Począwszy od 2005 roku rozpoczęto prace nad normalizacją europejską obejmującą odporne cieplnie druty przewodowe (IEC 62004:2007) oraz przewody typu GAP (IEC 62420:2008). Wiodącymi ośrodkami zajmującymi się problematyką przewodów HTLS są: CIGRE (grupa B2 – prace: „Conductors for the uprating of overhead lines”, “Sag-tension calculation methods for overhead lines”, “Considerations relating to the use of high temperature conductors”) oraz IEEE (praca: „IEEE Guide for Qualifying High Temperature Conductors for Use on Overhead Transmission Lines”).

Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie światowej tematyki w dziedzinie przewodów wysokotemperaturowych, normalizacji dotyczącej tego obszaru badań i aplikacji oraz wyników badań prowadzonych przez AGH i Belos-PLP dotyczących wysokotemperaturowych przewodów oraz osprzętu, dedykowanych do napowietrznych linii elektroenergetycznych WN oraz NN.

Konstrukcje przewodów typu HTLS

Klasyfikacja przewodów typu HTLS niesie za sobą pewne utrudnienia wynikające z pojawienia się dużej liczby rozwiązań przeznaczonych zarówno do budowy nowych linii jak i konstrukcji umożliwiających modernizację już istniejących, podczas której wymagane jest wpisanie się w istniejącą geometrię przęsła bez konieczności podwyższenia konstrukcji wsporczych. Z tego punktu widzenia przewody HTLS można sklasyfikować pod kątem temperatury załamania charakterystyki zwis-temperatura. Wyróżnia się przewody posiadające punkt załamania charakterystyki w temperaturze ich

montażu oraz przewody, które osiągają zmianę charakterystyki podczas pracy w wyższym zakresie temperatur.

Do pierwszej grupy przewodów można zaliczyć przewody ACSS oraz ACSS/TW (Aluminium Conductor Steel Supported / Trapezoidal Wire) oraz konstrukcje typu G(S)TACSR (Gap type (Super) Thermal Resistant Aluminium Conductor Steel Reinforced). Przewody ACSS posiadają budowę analogiczną do tradycyjnych konstrukcji ACSR, z tą różnicą, że zamiast umocnionego aluminium (max 80°C) w warstwie przewodzącej stosuje się aluminium wyżarzzone (max 240°C). Idea pracy przewodów ACSS polega na osiągnięciu załamania charakterystyki zwis-temperatura w temperaturze montażu przewodu, co uzyskuje się poprzez specjalną technikę jego przepiężania. Dodatkowy wzrost obciążalności prądowej o około 20% przewodów typu ACSS można osiągnąć poprzez zastosowanie drutów trapezowych (TW). Ujemną cechą przewodów ACSS jest obniżenie wytrzymałości przewodu w stosunku do ACSR wynikające z faktu, że druty z wyżarzonego aluminium (ASTM B 609) posiadają niskie własności wytrzymałościowe, co przekłada się na istotne problemy natury montażowej oraz eksploatacyjne (bird cage). Głównymi producentami tego typu przewodów są takie firmy jak Southwire oraz General Cable, które wytwarzają je w oparciu o normy ASTM B 856-03 - Concentric lay stranded aluminium conductors, coated steel supported (ACSS) oraz ASTM B 857-02 - Shaped wire compact concentric lay stranded aluminium conductors, coated steel supported (ACSS/TW).

GTACSR to przewód, w którym korzystne własności zwisu uzyskuje się poprzez zmianę konstrukcji, której zasadniczą cechą jest wypelniona smarem szczelina pomiędzy pierwszą warstwą przewodzącą wykonaną z drutów trapezowych a rdzeniem nośnym. Zadaniem szczeliny jest odseparowanie mechaniczne poszczególnych materiałów w celu umożliwienia naciągu podczas montażu wyłączenia rdzenia nośnego, przez co przewód GAP podobnie jak ACSS pracuje na rdzeniu nośnym o współczynniku rozszerzalności cieplnej wynoszącym $11,5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, a temperatura załamania ich charakterystyk jest



równa temperaturze montażu. Przewody typu GAP wykonywane są w oparciu o normy japońskie oraz o nowo wprowadzoną normę IEC 62420 - Concentric lay stranded overhead electrical conductors containing one or more gap(s). Do grona ich producentów można zaliczyć takie firmy jak JPower, Trefinasa, Lamifil, a obecnie również polską firmę NPA Skawina.

Druga grupa przewodów obejmuje konstrukcje, które charakteryzują się temperaturą załamania występującą podczas pracy w zakresie temperatur od 60 do około 150°C, w tym w szczególności TACSR (Thermal Resistant Aluminium Conductor Steel Reinforced), TACIR (Thermal Resistant Aluminium Conductor Invar Reinforced) oraz przewody kompozytowe ACCR (Aluminum Conductor Composite Core), ACFR (Aluminum Conductor Fiber Reinforced) oraz ACCC (Aluminum Conductor Composite Core). Przewody TACSR oraz TACIR są to bliźniacze konstrukcje tożsame tradycyjnym rozwiązaniom typu ACSR z tą różnicą, że warstwę przewodzącą wykonaną z umocnionego aluminium (ACSR) zastąpiono nowoczesnymi odpornymi cieplnie stopami aluminium wg specyfikacji ASTM 941-05 lub IEC 62004 (AT1-AT4), a w przypadku przewodów TACIR stalowy rdzeń nośny zastąpiono stopem niklu z żelazem o niskim współczynniku rozszerzalności cieplnej (inwar). Poprzez zastosowanie odpornych cieplnie stopów aluminium i aluminiowanych rdzeni (Rys. 1, 2) możliwe jest podniesienie obciążalności prądowej, poprzez zwiększenie dopuszczalnej temperatury roboczej przewodów, maksymalnie do 230°C przy jednoczesnym zagwarantowaniu nie przekroczenia dopuszczalnego spadku własności wytrzymałościowych przewodu. Producentami tej grupy przewodów są takie firmy jak LG Cable, Lamifil, DeAngeli oraz NPA Skawina. Przewody produkuje się głównie jako geometryczne odpowiedniki konstrukcji ACSR.

W przypadku pozostałych konstrukcji przewodów HTLS z występującą tempe-

peraturą załamania w trakcie pracy, główną cechą odróżniającą je od konstrukcji ACSR jest zastosowanie rdzeni z materiałów kompozytowych. W szczególności należy wyróżnić kompozyty wzmocnione ciągłymi włóknami węglowymi oraz węglowo-szklanymi na osnowie żywic epoksydowych oraz kompozyty wzmocnione włóknami z tlenku aluminium na osnowie aluminium. Przewody ACCC wykonane są z wyżarzonych profilowych drutów aluminiowych (TW) oraz z centralnego kompozytowego rdzenia w formie pojedynczego pręta. Zastosowanie tego typu rozwiązania powoduje podniesienie własności wytrzymałościowych poprzez całkowite wypełnienie przestrzeni rdzenia i tym samym zwiększenie przekroju nośnego. Ta cecha przewodów ACCC jest przyczyną niebezpieczeństwa ich pęknięcia przy przeginianiu, co spowodowane jest niskimi własnościami mechanicznymi kompozytu na kierunku poprzecznym do włókien oraz niskimi własnościami reologicznymi drutów z wyżarzonego aluminium, co wprowadza szereg utrudnień podczas montażu. Producentami tej grupy przewodów są takie firmy jak CTC, General Cable oraz Lamifil. Podobną konstrukcję rdzenia posiadają przewody typu ACFR oferowane przez firmę Exsym, jednakże rdzenie nośne tej grupy przewodów wykonane są wyłącznie z włókien węglowych na osnowie żywic epoksydowych, a warstwę przewodzącą stanowi odporny cieplnie stop aluminium w gatunku AT1.

Ostatnią grupą przewodów stanowią konstrukcje typu ACCR, które posiadają budowę rdzenia złożoną z drutów ułożonych wzdłużnie i zabezpieczonych przed rozpadnięciem się taśmą aluminiową. Warstwę przewodzącą przewodu stanowią druty okrągłe lub profilowe wykonane ze stopu aluminium w gatunku AT3 o temperaturze roboczej 210°C. Punkt załamania charakterystyki zwiastemperatura tego typu przewodów występuje w temperaturze około 70+80°C. Przyrost zwisu po przekroczeniu temperatury załamania determinowany

jest przez współczynnik rozszerzalności cieplnej danego kompozytu na poziomie od 1 do 3,3·10⁻⁶ 1/°C. Głównym producentem tej grupy przewodów jest firma 3M oraz Nexans. Ujemną stroną przewodów kompozytowych jest brak europejskiej normalizacji w tej dziedzinie, w szczególności w zakresie badań przewodów i rdzeniowych materiałów kompozytowych, które opierają się głównie na metodach badawczych wg wytycznych ASTM.

Materiały na przewody

Spełnienie ponadstandardowych wymagań stawianych przed przewodami typu HTLS możliwe jest poprzez zastosowanie nowych, zaawansowanych materiałów przeznaczonych zarówno na rdzenie nośne jak i na warstwę przewodzącą. Do grupy metalicznych materiałów rdzeniowych należy zaliczyć wysokowytrzymałą stal (GAP, TACSR) oraz stop FeNi (inwar) wykorzystywane w konstrukcjach typu GAP oraz TACIR, które ze względów antykorozyjnych w zależności od temperatury pracy pokrywa się powłoką wykonaną z cynku (max temperatura pracy do 200°C) lub aluminium (max temperatura pracy do 250°C).

Nowością ostatnich lat są rdzenie nośne wykonywane z kompozytów na osnowie aluminium lub żywic epoksydowych wzmocnianych ciągłymi włóknami węglowymi i szklanymi (Rys. 2) lub z tlenku aluminium (Rys.1). W zależności od poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych przewody z rdzeniami kompozytowymi są głównie rozpowszechniane przez producentów materiałów kompozytowych takich jak 3M (ACCR), Exsym (ACFR) oraz CTC (ACCC). Materiały takie posiadają wiele korzystnych własności fizycznych (gęstość, współczynnik α) w stosunku do stali oraz inwaru. Kompozyty na osnowie żywic epoksydowych posiadają stosunkowo niską dopuszczalną temperaturę pracy w porównaniu z kompozytami na osnowie aluminium wynikającą z występowania początku degradacji własności wytrzymałościowych w temperaturze zeszklenia



Rys. 1. Widok rdzenia firmy 3M



Rys. 2. Widok rdzenia firmy CTC

polimeru T_g (przemiana fazowa ze stanu plastycznego do szklanego). Dodatkowo ze względu na niskie własności wytrzymałościowe w kierunku poprzecznym do wzmacniających włókien przewody takie są narażone na uszkodzenia podczas montażu oraz wymagają specjalnych uchwytów odciągowych, klinowych, które nie powodują powstawania zjawiska karbu w uchwycie.

Rdzenie wykonane z kompozytów charakteryzują się odmienną konstrukcją w porównaniu do tradycyjnych rdzeni wielodrutowych. Rdzeń według rozwiązania firmy 3M wykonany jest w postaci nie skręconych wzdłużnie ułożonych drutów owiniętych w celu utrzymania spójności taśmą aluminiową. Odmienią konstrukcją przedstawia rdzeń według rozwiązania firmy CTC, który jest w postaci pełnego pręta wykonanego z dwóch rodzajów kompozytu na osnowie żywicy epoksydowej wzmacnianej w warstwie wewnętrznej włóknami węglowymi, a w zewnętrznej włóknami szklanymi.

Do grupy materiałów wykorzystywanych do konstrukcji przewodów typu HTLS należy zaliczyć wyżarzone aluminium stosowane w takich konstrukcjach przewodowych jak ACCC i ACSS oraz nowoczesną grupę odpornych cieplnie przewodowych stopów aluminium. Odporne cieplnie stopy to kompozycje chemiczne z dodatkiem cyrkonu, który powoduje znaczne podwyższenie temperatury pracy stopu bez ryzyka degradacji własności wytrzymałościowych przy jednoczesnym zachowaniu wysokich własności elektrycznych (przewodność 60% IACS).

W wyniku systematycznych badań prowadzonych na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH w tematyce aluminiowych stopów przewodowych wraz z Zakładem NPA w Skawinie w wyniku projektu celowego pt: „Żaroodporne przewody elektroenergetyczna na bazie stopów aluminium” opracowano i wdrożono pierwsze w Polsce i jedno z pierwszych w Europie rozwiązania materiałowe spełniające wymagania nowo opracowanej normy dotyczącej odpornych cieplnie stopów aluminium tj. IEC 62004. Do odbiorców produkowanej przez NPA walcówki z odpornych cieplnie stopów należą takie firmy jak DeAngeli, WDI, Trefinasa.

Mechanika pracy przewodów typu HTLS

Przedstawiony podział przewodów wysokotemperaturowych ze względu na punkt załamania na charakterystyce zwis-temperatura ma swoje uzasadnienie podczas eksploatacji przewodów typu HTLS. W rzeczywistości punkt załamania to w istocie pewien zakres temperatury w okolicy punktu załamania wynoszący (10-20)°C, w którym przewód zmienia charakter swojej pra-

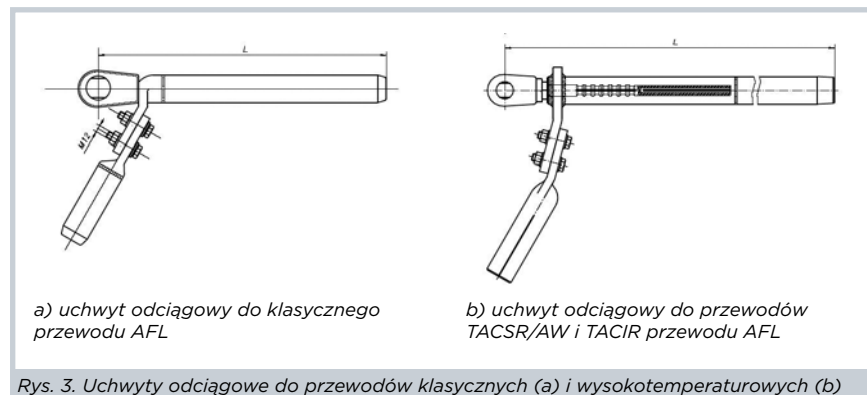
cy. Z tego względu na charakterystyce zwis-temperatura można wyróżnić dwa obszary pracy przewodu: niskotemperaturowy oraz wysokotemperaturowy. Pierwszy obszar, poniżej temperatury załamania, odpowiada konstrukcji bimateriałowej, w której cała konstrukcja podlega naprężeniom wzdłużnym, a jej poszczególne części są dla siebie samonośne. Sytuacja taka występuje w przypadku przewodów ACSS oraz GAP poniżej temperatury montażu, a dla pozostałych konstrukcji w zakresie do około 100°C. Drugi obszar, w którym przewód przechodzi do fazy naprężeniowej pracy na niskorozszerzalnym rdzeniu, a część aluminiowa spełnia wyłącznie rolę warstwy elektrycznie czynnej odpowiada konstrukcji jednorodnej (rdzeń nośny z aluminiową sadzią).

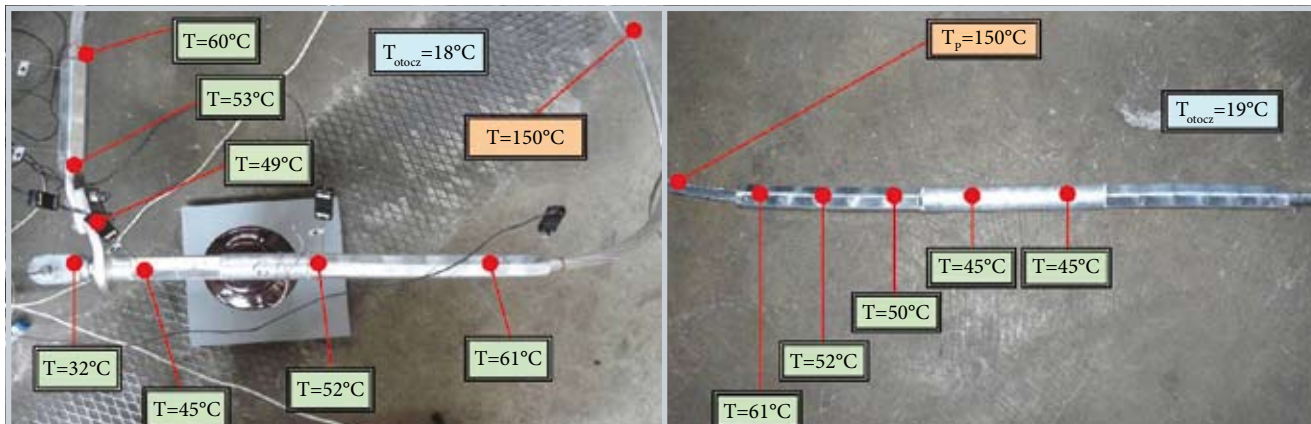
Dokładne określenie punktu załamania charakterystyki wymaga jednak przeprowadzenia szeregu badań fizyko-mechanicznych właściwości materiałów składowych oraz przewodu, w tym badań rdzenia oraz przewodu zarówno w niskiej jak i wysokiej temperaturze. Propozycja projektu normy dotyczącej badań nad przewodami oraz osprzętem HTLS opracowywanej przez IEEE pt: IEEE Guide for Qualifying High Temperature Conductors for Use on Overhead Transmission Lines [19] przewiduje przeprowadzenie szeregu badań, w tym badań polowych, celem eksperymentalnego określenia własności użytkowych przewodów w obszarze załamania charakterystyki zwis-temperatura. W ramach projektu IEEE zebrano wytyczne do badań poszczególnych materiałów, w tym badania rdzeni kompozytowych w szczególności testy na wytrzymałość w temperaturze T_g , odporność na naprężenia poprzeczne oraz promienie UV. Projekt poza badaniami mechanicznymi przewodów przewidzianych przez normę PN-EN 50182 [20] przedstawia bardzo interesującą koncepcję badań w celu weryfikacji charakterystyki zwis-temperatura przewodu. Badania obejmują próby nagrzewania przewodu od temperatury otoczenia do max. temperatury pracy przez 10 do 1000 cykli

obejmując, w warunkach laboratorium polowego, 2-tygodniowy okres badań w warunkach letnich oraz zimowych. W trakcie badań wymagane jest, aby wytrzymałość przewodu nie obniżyła się więcej niż do poziomu 95% początkowej wartości wytrzymałości na rozciąganie przewodu. Dodatkowo projekt obejmuje również badania drganiowe, korozyjne oraz badania współpracy przewodu z osprzętem. Szczegółowe rozważania nad badaniami osprzętu do przewodów wysokotemperaturowych przedstawiono w punkcie 5 artykułu. Przedstawiona propozycja projektu IEE wskazuje wytyczne do rozpoczęcia przygotowań laboratoriów badawczych do nowych, jednoznacznych testów własności użytkowych przewodów HTLS. Na terenie Polski takim miejscem jest Laboratorium Wydziału Metali Nieżelaznych w Krakowie, które dysponuje maszyną wytrzymałościową do badań własności mechanicznych przewodów oraz prób pełzania o długości 12 m oraz nowoczesnym 35 m stanowiskiem do badań drganiowych. Przedstawione stanowiska powstały w wyniku długoletniej współpracy z firmą Tele-Fonika Kable Sp. z o.o. S.K.A. W ramach programu POIG przygotowuje się również projekt stanowiska badawczego obejmującego długość 3 przęseł, na którym prowadzone będą badania w warunkach polowych.

Badania współpracy przewodu wysokotemperaturowego z osprzętem

Kryteria doboru osprzętu współpracującego z przewodami w ramach wysokotemperaturowego systemu przesyłowego ująć można w kilku aspektach. Podstawowym wyzwaniem jest dobór odpowiedniej charakterystyki transportu ciepła w układzie przewód-osprzęt-otoczenie gwarantującej odpowiedni poziom temperatury roboczych. Ponadto układ przewód-osprzęt musi zapewniać odpowiednią nośność mechaniczną oraz rezystancję połączenia. Założony cel osiąga się na dwa sposoby: poprzez właściwą konstrukcję elementów osprzętu lub poprzez dobór odpowiedniego materiału, który dodatkowo nie będzie





Rys. 4. Temperatury osprzętu z przewodami TACSR/AW i TACIR podczas długotrwałego nagrzewania w temp. 15°C

tworzył ogniwa korozyjnego z przewodem. Na rysunku 3 przedstawiono widok uchwytów odciągowych oraz osprzętu „wysokotemperaturowego”.

Osprzęt do przewodów wysokotemperaturowych posiada odpowiednio powiększone gabaryty. Podstawowym celem takiego stanu rzeczy było doprowadzenie do sytuacji, w której nastąpi znaczne lokalne obniżenie temperatury w okolicach osprzętu w stosunku do znamionowej temperatury przewodu. Przy projektowaniu osprzętu założono, że temperatura w żadnym z punktów osprzętu nie może przekraczać 90°C. Wyższe temperatury pracy osprzętu mogłyby powodować degradację własności wytrzymałościowych materiału użytego do produkcji osprzętu oraz ryzyko relaksacji sił docisku przewodu i osprzętu. Dodatkowo biorąc pod uwagę wysoką temperaturę pracy przewodu jako materiał na tuleje stalowe zastosowano stal nierdzewną, która zapewni właściwe zaprasowanie rdzenia stalowego bez ryzyka wystąpienia korozji. Badania współpracy przewodów z osprzętem zilustrowano na przykładzie przewodu TACSR 6 240, TACSR/AW 6 240 (druty aluminiowane) oraz TACIR 6 240. Testy przeprowadzono na podstawie zapisów normy PN EN 61284 oraz w oparciu o wymagania ANSI 119.4. Badania obejmowały m.in. próbę wytrzymałości przy długotrwałym obciążaniu, badania na wyślizg przewodu i wytrzymałości na obciążenie niszczące, próbę z cyklicznym nagrzewaniem, długotrwałe nagrzewanie i sprawdzenie rozpraszania ciepła z elementów osprzętu.

Badania mechanicznej współpracy osprzętu z przewodami „wysokotemperaturowymi” wykonywane są w BELOS-PLP zgodnie z wymaganiami ANSI 119.4 dla połączeń KLASY 1 (pełno odciągowych) oraz na podstawie PN EN 61284. Wytrzymałość układu powinna być równa lub większa od 95% znamionowej wytrzymałości przewodu.

W trakcie badań przeprowadza się testy pomiarów siły wyślizgu przewodu z osprzętu zaprasowywanego. Siłę wy-

ślizgu określa się w próbach wytrzymałości na długotrwałe rozciąganie oraz wytrzymałości na obciążenie maksymalne. Złącza typu pełno-odciągowego klasy 1 obciąża się długotrwałe siłą równą $77\% \pm 5\%$ RTS, która utrzymywana jest w układzie przez 168 godzin.

Obok badań mechanicznej współpracy przewodów i osprzętu przeprowadza się również kompleksowe badania elektryczne. W przypadku połączeń przystosowanych do bardzo wysokich obciążeń (Klasa AA) oraz połączeń przystosowanych do wysokich obciążeń (Klasa A) podczas testów cyklicznym nagrzewaniem wykonuje się 500 cykli nagrzewania i stygnięcia. Badania cyklicznym nagrzewaniem prowadzi się na czterech złączach tego samego typu i rozmiaru, zamontowanych w pętli prądowej. W zależności od rodzaju przewodów przyrost temperatury podczas cykli wynosi od 150°C do 230°C ponad temperaturę otoczenia.

Obok badań cyklicznych obciążeń prądowych wykonuje się również badania długotrwałego nagrzewania i sprawdzenia rozpraszania ciepła z elementów osprzętu. Temperatury mierzy się w punktach przedstawionych na Rys. 4 w celu sprawdzenia przekazywania ciepła z przewodu do poszczególnych elementów osprzętu.

Wartości temperatur uzyskane podczas badania (pokazane na rysunku) wskazują, że w osprzęcie bezpośrednio stykającym się z przewodem (uchwyty odciągowe) następuje znaczne rozproszenie ciepła przekazanego przez przewód. Ciągła uchwyty ok. 30-40°C, co jest wartością dopuszczalną z punktu widzenia przekazywania ciepła np. do okucia izolatora kompozytowego.

Podsumowanie

Podsumowując przedstawione rozwiązania dotyczące konstrukcji i normalizacji w dziedzinie przewodów typu HTLS oraz badania osprzętu wysokotemperaturowego należy stwierdzić, że dynamiczny rozwój tej grupy przewodów, zwłaszcza w ostatnich latach, jest po-

dyktowany koniecznością zwiększenia obciążalności prądowej linii napowietrznych. Tradycyjne przewody oraz osprzęt sieciowy ze względu na ograniczenia materiałowe i konstrukcyjne nie są w stanie sprostać tak postawionym wymaganiom z uwagi na ryzyko degradacji własności mechanicznych w czasie 50 letniej eksploatacji linii. Utrata własności wytrzymałościowych przewodu i tym samym obniżenie bezpiecznego zwisu obok przeciążenia prądowego linii jest jedną z przyczyn powstania awarii systemowych typu blackout. Nowe konstrukcje geometryczne, materiały przewodowe oraz rdzeniowe w tym kompozyty wzmocnione włóknami umożliwiają konstrukcję przewodów mogących pracować w wysokim reżimie temperatur (wynikających z przewodzenia wysokich prądów) zarówno bez degradacji własności mechanicznych jak i bez przekroczenia bezpiecznych zwisów. Obecnie BELOS-PLP oferuje osprzęt „wysokotemperaturowy” zarówno zaprasowywany jak i oplotowy. Posiadamy doświadczenia w projektowaniu osprzętu do przewodów TACSR, TACIR, GZTACSR, ACSS oraz ACCR. W najbliższym czasie nasza oferta zostanie rozszerzona o osprzęt do innych przewodów wysokotemperaturowych.

dr hab. inż. Tadeusz Knych
- prof. AGH, AGH WMN
mgr inż. Piotr Uliasz - AGH WMN
mgr inż. Andrzej Pawłowski
- BELOS-PLP S.A. ●

**Radosnych Świąt
Bożego Narodzenia
oraz sukcesów
w Nowym roku**

sktada

BELOS-PLP PREFORMED LINE PRODUCTS