



Andrzej Jagiełło*

UDOSKONALONE KONSTRUKCJE KABLI ELEKTROENERGETYCZNYCH PRZYSTOSOWANYCH DO PRACY W RÓŻNYCH WARUNKACH

Streszczenie: W referacie przedstawiono przegląd prac wdrożeniowych obejmujących wersje kabli elektroenergetycznych o izolacji papierowej przesyconej syciwem o zmniejszonej ściekalności na bazie zmodyfikowanego oleju kablowego, kable i przewody z żyłami, ekranami lub pancierzami z nowego stopu AlMgSi, kable przeznaczone do pracy w trudnych warunkach ze względu na działanie wilgoci lub agresywnych czynników chemicznych, posiadające odpowiednie uszczelnienie i powłoki, kable z ochroną elektromagnetyczną zgodne z Dyrektywą UE, kable z ekranem falowanym nakładanym w systemie SZ oraz nowe propozycje kabli napowietrznych jako alternatywy dla kabli ziemnych.

Słowa kluczowe: kable napowietrzne, ochrona elektromagnetyczna, ochrona przeciwwilgociowa

1. Wstęp

Rozwój techniczny Zakładu w ostatnim roku przejawiał się między innymi istotnym postępowaniem we wdrażaniu nowych lub ulepszaniu starych konstrukcji kabli i przewodów elektroenergetycznych. Jest to bardzo duży i różnorodny zestaw wyrobów stosowanych w energetyce krajowej, różnych gałęziach przemysłu i budownictwa, a także dobry asortyment eksportowy głównie na wymagające rynki zachodnie. Podstawą do wprowadzenia nowych rozwiązań jest analiza zapotrzebowania rynku, jak również obserwacja tendencji światowych w tym zakresie. Istotnym progiem do pokonania jest uzyskanie odpowiednich dopuszczeń i uznań udzielanych przez instytucje certyfikujące w kraju i zagranicą.

* Krakowska Fabryka Kabli S.A., ul. Wielicka 114, 30-561 Kraków

2. Wdrożenie zmodyfikowanej wersji syciwa nieściekającego w elektroenergetycznych kablach o izolacji papierowej

Do produkcji kabli elektroenergetycznych o izolacji papierowej, do impregnacji stosowane jest obecnie wyłącznie syciwo nieściekające. Pozwala to na układanie kabli w terenie o dość znacznych różnicach wysokości. Jednym z kryteriów oceny jakości syciwa izolacyjnego jest sprawdzenie jego odporności na ściekanie. Badanie takie przeprowadza się wg metody opisanej w PN-73/E-04160, a przedmiotem testu jest gotowy odcinek kabla. Zakres badań nad modyfikacją składu syciwa prowadzonych wspólnie z Instytutem Technologii Nafty, których celem było polepszenie stopnia nieściekalności syciwa, obejmował między innymi [1]:

- badanie zjawiska tiksotropii w syciwach,
- badanie wpływu proporcji stosowanych składników na wyciekanie syciwa,
- sprawdzanie symulujących warunków nasączenia papierów stosowanych do izolowania kabli w warunkach laboratoryjnych,
- ocenę jakości syciwa nieściekającego metodą mikroskopową.

W wyniku realizacji ww. prac uzyskano syciwo o podwyższonej odporności na ściekanie w kablach (próba wg PN-73/E-04160 w 650°C przez 168 godz.) Uzyskano nową, ulepszoną wersję oleju kablowego, który stał się bazą do wytwarzania syciwa o odporności na ściekanie podwyższonej o około 40%.

Dalsze korzyści to:

- lepsza stabilność temperaturowa syciwa,
- zmniejszone rozwarstwianie się,
- lepsze właściwości dielektryczne,
- lepsza penetracja składników syciwa do papieru,
- zmniejszenie wyciekania syciwa z kabli w próbie wg PN.

3. Kable XLPE średnich napięć ze specjalnymi powłokami ochronnymi

W zakresie kabli średnich napięć o izolacji XLPE kontynuowano prace zmierzające do rozszerzenia oferowanych wersji. Wykonano prototypowe odcinki kabli uszczelnianych o różnych rodzajach powłok i zgłoszono do badań atestacyjnych. Na uwagę zasługuje tu wersja kabli uszczelnianych z dodatkową powłoką wykonaną ze stopu Pb. Gwarantuje ona wysoką szczelność i stabilność wymiarową osłony ochronnej. Kable te mogą być stosowane w środowiskach skażonych chemicznie. W pozostałych przypadkach omawiane kable posiadały powłoki:

- z polwinitu o zmniejszonej palności (Yn),
- z polietylenu o zmniejszonej palności (Xn),
- z tworzywa bezhalogenowego (Xh),
- z polietylenu wysokiej gęstości.

Zastosowanie tego typu tworzyw na osłony ochronne pozwala instalować omawiane kable w środowiskach zagrożonych pożarowo lub narażonych na uszkodzenia mechaniczne.

4. Kable napowietrzne

Dalszym rozszerzeniem naszej oferty w zakresie średnich napięć są napowietrzne elektroenergetyczne kable z żyłami Al o zakresie przekrojów $3 \times 70 \text{mm}^2 \div 3 \times 240 \text{mm}^2$ o izolacji z polietylenu usieciowanego, w ekranie z taśm Al i osłonie polietylenowej na napięciu $6/10 \div 18/36 \text{kV}$. Kable te składają się z trzech żył fazowych skręconych wokół stalowej linki nośnej. Mogą być stosowane w liniach średniego napięcia szczególnie tam, gdzie są trudności z prowadzeniem kabli ziemnych a więc np. na terenach kopalń odkrywkowych, szkód górniczych, na terenach budów jako instalacja czasowa itp. Obecnie przygotowywane są próbne odcinki ww. kabli przeznaczonych do badań atestacyjnych oraz pilotowe odcinki do badań eksploatacyjnych.

5. Kable i przewody z elementami konstrukcyjnymi ze stopu Al

Kontynuowane są prace zmierzające do wdrożenia nowych konstrukcji kabli i przewodów z elementami AlMgSi. Pełny cykl wdrożenia przeszedł przewód napowietrzny 12/20 kV typu PAS. Wykonywany jest wg normy ZN-96/MP-13-K1205 i oznaczony symbolami AALXS oraz AALXSn. Na tle oferowanych na rynku, przewody KFK S.A. charakteryzują się korzystniejszymi parametrami elektrycznymi i mechanicznymi przy zachowaniu niskiego ciężaru jednostkowego. Zamieszczone są obecnie w katalogach napowietrznych linii s.n. z przewodami izolowanymi. Przewody te przeszły z wynikiem pozytywnym pełny cykl badań w firmie ENSTO, co oznacza pełną ich kompatybilność i współpracę z renomowanym osprzętem tej firmy.

Prowadząc dalsze prace nad wykorzystaniem stopu AlMgSi przygotowano do zgłoszenia na znak bezpieczeństwa odcinki kabla elektroenergetycznego jednożyłowego z pancerzem niemagnetycznym z drutów z przewodowego aluminium stopowego odpornym na naprężenia wzdłużne. Symbole kabla: YAKYAAoyn, YKYAAoyn, YAKYAAoY, YKYAAoY. Zakres przekrojów żył roboczych $150 \div 630 \text{mm}^2$. Pancerz stanowią nawinięte śrubowo druty ze stopu AlMgSi o własnościach:

- wytrzymałość na rozciąganie min. 340 Mpa,
- wydłużenie przy zerwaniu min. 1,5%,
- rezystywność drutu max. 32,53 nΩm.

Pancerz z drutów stopowych pełni rolę żyły powrotnej i posiada przekrój żądany normą PN-93/E-90400. Kable omawiane wyżej mogą być układane w ziemi, w pomieszczeniach i na powietrzu w miejscach narażonych na uszkodzenia mechaniczne.

Zalety tych kabli:

- obniżenie ciężaru kabla,
- znaczne ograniczenie strat energii w porównaniu z pancerzem stalowym,
- zwiększenie obciążalności prądowej kabla,
- spełnianie przez pancerz roli żyły ochronnej,
- przenoszenie przez kabel dużych naprężeń wzdłużnych.

W trakcie przygotowania do seryjnej produkcji są kable elektroenergetyczne niskich i średnich napięć z żyłami roboczymi pełniącymi równocześnie funkcję przeniesienia obciążeń wzdłużnych.

Zastąpienie pancerzy kabli elektroenergetycznych z drutów stalowych ocynkowanych odpornych na naprężenia wzdłużne żyłami przewodzącymi ze stopów Al prowadzi do zwiększenia walorów użytkowych kabli przez:

- znaczną redukcję ciężaru użytkowego kabla,
- zwiększenie energetycznych mocy przesyłowych,
- zmniejszenie średnicy gotowego kabla.

Wykonano próbne partie kabli z żyłami ze stopu Al w izolacji PVC 0,6/1 kV, w izolacji XLPE 12/20 kV oraz w izolacji papierowej 8,7/15 kV.

6. Kable z żyłą ochronną falowaną typu NYCWY lub NAYCWY

Są to kable elektroenergetyczne o izolacji polwinitowej i powłoce polwinitowej z żyłą koncentryczną falistą. Wykonywane są wg VDE 0276 cz. 603.

Napięcie znamionowe 0,6/1 kV. Żyły są z miedzi lub aluminium w kl. 1 i 2. Na powłokę wypełniającą zastosowano mieszankę gumową. Żyła koncentryczna jest w postaci obwoju z drutów Cu w systemie SZ z przewodzącą spiralą przeciwskrętną z taśmy miedzianej.

Zakres przekrojów żył Cu: $3 \times (10/10 \div 240/120\text{mm}^2)$, $4 \times (10/10 \div 150/70\text{mm}^2)$; zakres przekrojów żył Al: $3 \times (25/25 \div 185/185\text{mm}^2)$.

Zastosowanie: do przesyłu energii elektrycznej, układane wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń, w kanałach oraz bezpośrednio w ziemi.

Produkcja ww. kabli jest możliwa dzięki pracy w KFK S.A. jedynej w Polsce linii do nakładania żyły powrotnej typu SZ. Podstawową zaletą omawianych kabli jest tworzenie nadmiaru drutu w ekranie, co przy montażu kabli nie wymaga przecinania żyły powrotnej.

Asortyment ten produkowany dotychczas na eksport może być również oferowany dla odbiorców krajowych. Kable typu NYCWY posiadają uznanie Instytutu VDE oraz BBJ-SEP.

7. Kable z ochroną elektromagnetyczną

Jest to grupa kabli elektroenergetycznych, które posiadają wzmocnione ekrany stanowiące pełną osłonę elektromagnetyczną. Przewidziane jest wyprodukowanie prototypu kabla elektroenergetycznego na napięcie 0,6/1 kV z żyłami Cu lub Al.

Przewód koncentryczny będzie zrealizowany za pomocą drutów miedzianych, dodatkowy ekran — z taśm miedzianych. Kable te będą miały żyły izolowane PVC a powłoki wykonane z PVC lub PE. Zgodnie z Dyrektywą UE nr 89/336/EEC [3] dotyczącą zgodności elektromagnetycznej, wszystkie urządzenia i systemy muszą być

tak skonstruowane aby emisja promieniowania elektromagnetycznego nie przewyższała poziomu, który gwarantuje poprawną eksploatację urządzeń narażonych na wpływ pola elektromagnetycznego. Dotyczy to w szczególności napędów sterowanych z przemienników częstotliwości (falowników). Istotnym jest aby kable zasilające w jak najmniejszym stopniu przenosiły zakłócenia generowane przez falowniki, które mogą sięgać MHz. Warunek ten spełniają kable o impedancji przesyłu dla częstotliwości do 200 MHz poniżej $100 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Omawiany projekt prototypowego kabla winien zapewnić impedancję przesyłu poniżej $25 \text{ m}\Omega/\text{m}$ w zakresie częstotliwości $0 \div 200 \text{ MHz}$.

Po przeprowadzeniu stosownych badań będą czynione starania o uzyskanie certyfikacji w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej dla tego typu kabla.

8. Kable z ochroną przeciwwilgociową

Szereg prac związanych z unowocześnieniem konstrukcji kabli zrealizowanych w KFK S.A. ma na celu uodpornienie ich na działanie wody i wilgoci. Uzyskuje się to poprzez zastosowanie barier zapewniających szczelność wzdłużną i promieniową. Obszarami chronionymi w tym zakresie są żyły powrotne, ekrany ogólne z drutów lub taśm Cu lub panczerze wykonywane z drutów stalowych ocynkowanych względnie ze stopu AlMgSi. Mogą być również zabezpieczane żyły robocze kabli. Istnieje tendencja do wprowadzania tych zabezpieczeń nawet do kabli na napięcie 1 kV. Im wyższe napięcie znamionowe, tym bardziej wymagane są omawiane tu sposoby zabezpieczania kabli. Wzdłużna zaporą przeciwwilgociową [2] wykonana jest w postaci obwoju z taśm pęczniejących pod wpływem wilgoci. W zależności od umiejscowienia obwoju mogą to być taśmy przewodzące lub nieprzewodzące, obustronnie pęczniejące.

Zwiększenie grubości pierwotnej [2] tych taśm pod wpływem działania wody destylowanej nie powinno być mniejsze niż 2000%. Rezystywność skrośna taśm przewodzących w temperaturze 20°C nie powinna być większa niż $500 \Omega\text{m}$. Na życzenie zamawiającego dopuszcza się wykonanie dodatkowego uszczelnienia wzdłużnego w żyły roboczej w postaci proszku lub włókien pęczniejących pod wpływem wilgoci, wypełniających przestrzenie pomiędzy drutami żyły roboczej i nie oddziałujących korodująco na druty żyły roboczej [2].

Promieniowa bariera przeciwwilgociowa [2] wykonana jest w postaci taśmy metalowej pokrywającej całą wewnętrzną powierzchnię powłoki kabla i spojonej z tą powłoką. Sprawdzenie wodoszczelności kabla polega na wykonaniu badania wodoszczelności obszaru pod powłoką kabla i wodoszczelności żyły roboczej. Metody te opisane są w IEC 840 oraz ZN-94/MpiH-13-K1-184. Każdemu z badań poddaje się po dwa odcinki kabla o długości ok. 3 m. Po usunięciu powłoki zewnętrznej na długości ok. 50 mm, na utworzoną w ten sposób szczelinę nakłada się zbiornik cylindryczny uszczelniony na powłoce kabla. Zbiornik napełnia się wodą do wysokości 1000 mm i przetrzymuje przez 24 godz. Następnie próbkę kabla poddaje się działaniu 10 cykli nagrzewania prądem przepływającym przez żyłę roboczą do temperatury $900^\circ \pm 5^\circ\text{C}$. Jeden cykl składa się z 8 godz. grzania i 16 godz. naturalnego stygnięcia. W czasie nagrzewania i stygnięcia z końców próbki kabla nie może wyciekać woda.

Wykonanie sprawdzenia wodoszczelności żyły roboczej wykonywane jest w podobny sposób.

9. Podsumowanie

Rozwój w dziedzinie kabli elektroenergetycznych dokonuje się nie tylko przez wprowadzenie nowych typów kabli, lecz również przez modyfikację istniejących konstrukcji między innymi pod kątem możliwości ich stosowania w miejscach, w których narażone są one na działanie czynników szkodliwych (np. narażenie mechaniczne, temperatura, wilgoć, substancje agresywne chemicznie).

Dokonany w niniejszym opracowaniu przegląd osiągnięć i najbliższych zamierzeń w tym zakresie, zwłaszcza jeżeli chodzi o stosowanie nowoczesnych materiałów na ekrany i pancerze, jak również odpowiednie powłoki i elementy uszczelniające, pozwala na stwierdzenie, że oferta KFK S.A. została tu wzbogacona o wyroby zaspokajające w dużym stopniu aktualne potrzeby odbiorców.

Literatura

- [1] ITN Kraków: *Dokumentacja techniczna nr 2931/96*
- [2] ZN-94/MPiH-13-K1-184: *Kable elektroenergetyczne uszczelnione o izolacji z polietylenu sieciowanego na napięcie 8,7/15 i 12/20 kV*
- [3] *Dyrektywa UE nr 89/336/EEC dot. zgodności elektromagnetycznej*

IMPROVED CONSTRUCTION OF POWER CABLES WORKING IN VARIOUS CONDITIONS

The text contents the results of developing works connecting the following problems; new version of paper insulated power cables with new non-draining compound, cables with new construction elements made with AlMgSi alloy, power cables with special outer sheaths flame retardant and chemical resistant, cables with waterblocking elements, cables with electromagnetic protection screen, NYCWY distribution cables and overhead cables.