

Tadeusz Mejer*, Janusz Oleksa*

WYBRANE ZAGADNIENIA EKSPLOATACJI SIECI KABLOWYCH 15 KV W ZAKŁADZIE ENERGETYCZNYM KRAKÓW S.A.

Streszczenie: Analiza awaryjności sieci kablowych 15 kV w ZE Kraków S.A., daje ogólną ocenę stanu tych sieci, na poziomie niewłaściwym. Omówiono podjęte działania zapobiegawcze („Program kablowy”).

Słowa kluczowe: sieć kablowa 15 kV, awaryjność

1. Charakterystyka sieci kablowej SN ZEK S.A.

Zakład Energetyczny Kraków S.A. obejmuje swą działalnością obszar o łącznej powierzchni 8830 km², obsługując ok. 727 tys. odbiorców energii elektrycznej. Eksploatację poszczególnych grup urządzeń energetycznych prowadzi osiem Rejonów Energetycznych (sieci średnich i niskich napięć), Rejon Wysokich Napięć (sieci wysokich napięć), oraz Zespół Elektrowni Wodnych Rożnów.

Z rozdzielni sieciowych SN zasilanych jest 6400 km linii napowietrznych i 2352 km linii kablowych SN, pracujących przy napięciach 6, 15 i 30 kV. Dominującą rolę odgrywają sieci o napięciu 15 kV — sieci 6 i 30 kV są systematycznie likwidowane i przebudowywane na typowe dla Zakładu napięcie SN — 15 kV. 8 Rejonów Energetycznych eksploatuje łącznie ok. 540 ciągów kablowych SN o przekroju głównie 70, 120, 240 mm² AL, przy czym w eksploatacji pozostają jeszcze kable z izolacją papierowo-olejową, typu HAKFtA 35 mm².

Sieć kablowa pracuje głównie w miastach — terenach gęsto zabudowanych i zaludnionych. Średnia długość ciągu kablowego SN (od rozdzielni sieciowej do przerwy

* Zakład Energetyczny Kraków S.A.

w układzie normalnym) wynosi ok. 2 km. Pojedynczy ciąg kablowy SN zasila średnio 6 stacji transformatorowych SN/nn. Średnie obciążenie ciągu kablowego w sieciach ZEK S.A. waha się w granicach 40–60 A.

Wśród 540 ciągów sieci kablowej SN — 25 jest obciążonych znacznie powyżej średniej (80 A i więcej), a 90 ciągów jest niedociążonych (10 A i mniej). Wysokie obciążenie kabli elektroenergetycznych jest niekiedy kłopotliwe ze względu na problemy z realizacją awaryjnego układu zasilania w przypadku awarii kabla na początku pętli. Przewidywane wtedy (co prawda sporadycznie) obciążenie na poziomie 250 A praktycznie wymusza przeprowadzenie szeregu łączeń ruchowych dla odciążenia pętli w celu realizacji awaryjnego układu pracy sieci — jest to możliwe dzięki często występującym połączeniom między pętlami kablowymi SN.

Ogólnie stopień obciążenia sieci kablowej SN kształtuje się na niskim poziomie, w odniesieniu do szacowanej zdolności przesyłowej, nie mając negatywnego wpływu na stan kabli SN. Zdarzają się jednak ciągi liniowe, dla których niemożliwa jest realizacja zasilania w awaryjnym układzie pracy.

Napięcia w sieci kablowej SN kształtują się na właściwym poziomie. W dobie przemian zachodzących w energetyce należy obecnie posługiwać się dwoma kryteriami oceny stanu zużycia urządzeń sieci elektroenergetycznej, tj. technicznego i technologicznego.

Przez pojęcie zużycie techniczne należy rozumieć zużycie elementów urządzeń lub ich podzespołów wynikające z niszczycielskiego oddziaływania środowiska, przekroczenia dopuszczalnych parametrów pracy (przeciążenia, przepięcia), ujawniania się wad materiałowych itp.

Natomiast przez zużycie funkcjonalne należy rozumieć starzenie się urządzenia, co powoduje jego zmniejszoną przydatność, pomimo dobrego stanu technicznego. Przykładem starzenia się funkcjonalnego może być kabel o przekroju 35 mm² bez względu na typ, jeśli stanowi on fragment pętli kablowej zbudowanej w oparciu o kable o przekroju 120 mm² przy znacznym jej obciążeniu. Sporadycznie występują również kable promieniowe o przekroju 35 mm² — zasilające stację w układzie blok–linia–transformator, niedostosowane do występujących obecnie mocy zwarciovych w sieci elektroenergetycznej.

Poniżej zestawiono tabelarycznie kable elektroenergetyczne eksploatowane przez ZEK S.A. w podziale na wiek oraz typ (tabela nr 1 i 2).

Tabela 1. Zestawienie w grupach wiekowych ilości kabli elektroenergetycznych pracujących w sieciach ZEK S.A.

| grypy wiekowe zbiorczo dla ZEK S.A. | długość linii kablowych SN | |
|--|----------------------------|-------|
| | [km] | [%] |
| rok budowy: do 1970 | 670,6 | 28,5 |
| 1971–1990 | 1 399,2 | 59,5 |
| 1991–1998 | 282,2 | 12,0 |
| RAZEM | 2 352,0 | 100,0 |

Tabela 2. Zestawienie ilości kabli elektroenergetycznych wg rodzaju izolacji

| | ilość kabli SN w ZEK S.A. | kable tradycyjne | | kable PE niesieciowane (X) | | kable PE sieciowane (XS) | |
|------|------------------------------|---------------------|------|-------------------------------|------|-----------------------------|-----|
| | [km] | [km] | [%] | [km] | [%] | [km] | [%] |
| 1996 | 2 246 | 1 505 | 67,0 | 637 | 28,0 | 102 | 4,5 |
| 1997 | 2 306 | 1 536 | 66,6 | 629 | 27,0 | 141 | 6,1 |
| 1998 | 2 352 | 1 544 | 65,6 | 614 | 26,2 | 194 | 8,2 |

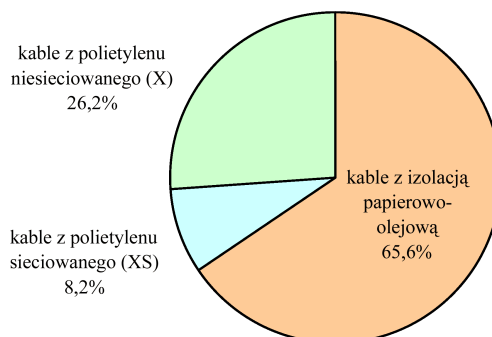
Spośród wymienionych wyżej kabli wybudowanych w latach 71–90 kable o izolacji papierowo-olejowej uznano za dobre, natomiast stan kabli o izolacji z polietylenu niesieciowanego (z roku budowy 80–86) uznano za bardzo zły. Należy również przyjąć, że stan techniczny 40% kabli wybudowanych w latach 50–70 (kable z izolacją papierowo-olejową) będzie ulegał sukcesywnie pogorszeniu.

Z technologicznego punktu widzenia kable z izolacją papierowo-olejową należy uznać za dobre z dopuszczeniem ich do dalszej zabudowy w sieciach ZEK S.A. podobnie jak najnowsze kable z izolacją z polietylenu sieciowanego (XS).

Kable z izolacją z polietylenu niesieciowanego stanowią 26,2% wszystkich kabli wchodzących w skład sieci średniego napięcia. Występująca zwiększona awaryjność tych kabli wynika m.in. z wadliwej technologii ich produkcji, co skutkuje m.in. obniżeniem wytrzymałości dielektrycznej izolacji.

Do roku 1970 w Zakładzie stosowano wyłącznie kable tradycyjne. Po roku 1970 zaczęto stosować kable z izolacją z polietylenu niesieciowanego i w zasadzie w latach 1970–90 zabudowano mniej więcej taką samą ilość tych kabli, co kabli tradycyjnych. Natomiast od 1990 roku zaczęto stosować kable z polietylenu sieciowanego, które zastąpiły w użyciu wadliwe kable z polietylenu niesieciowanego oraz kable o izolacji papierowo-olejowej; w okresie tym Zakład zabudował porównywalne ilości tych kabli.

Większość zabudowanych kabli w sieci SN są to kable tzw. tradycyjne, w izolacji papierowo-olejowej (rysunek nr 1). Zdecydowanie dominują w Zakładzie kable pracujące przy napięciu 15 kV.

**Rys. 1.** Procentowy udział długości poszczególnych typów kabli SN w sieci kablowej ZEK S.A.

Jako osprzęt kablowy SN na kable w izolacji papierowo-olejowej stosowane były mufy i głowice Polam Kostuchna MŻ, 3Gow, 3Gon, a na kable w izolacji polietylenowej instalowano zestawy taśmowe Bishop i 3M (Scotch).

Obecnie przy dużej różnorodności osprzętu stosowane są następujące rodzaje osprzętu:

- na kable typu HAKFtA, HAKnFtA — osprzęt firm: Raychem, Barnier,
- na kable YHAKXS, XUHAKXS — osprzęt firm: Raychem, 3M, Barnier.

2. Awaryjność sieci kablowej 15 kV

Eksploatację linii kablowych należy prowadzić w taki sposób, aby m.in. zapewnić wymaganą niezawodność zasilania energią elektryczną (należy dążyć do maksymalnego skracania czasów przerw w pracy linii, szczególnie o ile powodują one przerwy w zasilaniu odbiorców).

Ciąg kablowy, na którym wystąpi w ciągu roku do 2 zakłóceń z uszkodzeniami, uznawany jest za zadawalający. Natomiast ciągi kablowe o większej ilości uszkodzeń i zakłóceń bez uszkodzeń, jako linie o niezawodności pracy niezadawalającej (od 3 do 5 zakłóceń z uszkodzeniami w ciągu roku), czy niedopuszczalnej (ponad 5 zakłóceń z uszkodzeniami), należy uznać za linie o pogarszającym się stanie technicznym. Powinny one być poddane środkom zapobiegawczym, w celu zmniejszenia liczby zakłóceń w ich pracy.

Analiza awaryjności sieci kablowej SN w ZEK S.A. za okres 1990–1998 wykazała 126 relacji kablowych o zwiększonej (powyżej 2 w roku) awaryjności pracy, przy czym na 19 relacjach wystąpiło w tym okresie więcej niż 5 uszkodzeń w ciągu roku (awaryjność niedopuszczalna).

Tabela 3. podaje ogólną awaryjność sieci kablowej SN ZEK S.A., z podziałem na miejsce uszkodzenia linii kablowej.

Awaryjność kabli SN związana jest silnie z wiekiem oraz typem (rodzaj izolacji). Najczęściej ulegają awariom kable stare, ponad 30 letnie, oraz kable z polietylenu niesieciowanego.

Wysoka awaryjność kabli z izolacją polietylenową jest równoważona przez dobrą wytrzymałość kabli tradycyjnych. Jednak znaczna ilość kabli tradycyjnych charakteryzuje się zbyt długim okresem eksploatacji kwalifikującym je do wymiany.

3. Wpływ awarii zejść kablowych z sieci napowietrznej na ogólny wskaźnik awaryjności kabli energetycznych

Jednym z podstawowych kryteriów oceny stanu technicznego oraz kwalifikacji kabli SN do modernizacji są wnioski ze szczegółowej analizy awaryjności danej relacji. Ograniczone środki, jakimi Zakład może dysponować na cele inwestycyjno-remontowe, przy uwzględnieniu nieuniknionej wymiany kabli z izolacją z polietylenu niesieciowanego, wymuszają szukanie rozwiązań mogących przyczynić się do wydłużenia żywotności kabli, czyli rozłożenia wymiany na kilka lat. Wiąże się to z koniecznością wgłębienia się w analizę awaryjności i szukania przyczyn wysokiej uszkodzalności kabli SN.

Tabela 3. Ogólna awaryjność sieci kablowej SN ZEK S.A. z podziałem na miejsce uszkodzenia linii kablowej

| uszkodzenie | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| w trasie | 429 | 559 | 554 | 523 | 628 | 535 | 687 | 687 | 655 |
| głowica | 88 | 97 | 81 | 67 | 79 | 54 | 73 | 68 | 58 |
| mufa | 15 | 16 | 12 | 12 | 6 | 13 | 6 | 11 | 6 |
| RAZEM | 532 | 672 | 647 | 602 | 713 | 602 | 766 | 766 | 719 |

Awaryjność kabli SN w ZEK S.A.

| | kabel suchy (X+XS) | | | | kabel olejowy | | | |
|------|--------------------|---------|------|-------|---------------|---------|------|-------|
| | trasa | głowica | mufa | razem | trasa | głowica | mufa | razem |
| 1996 | 420 | 16 | 0 | 436 | 267 | 57 | 6 | 330 |
| 1997 | 416 | 17 | 3 | 436 | 271 | 51 | 8 | 330 |
| 1998 | 372 | 6 | 0 | 378 | 283 | 52 | 6 | 341 |

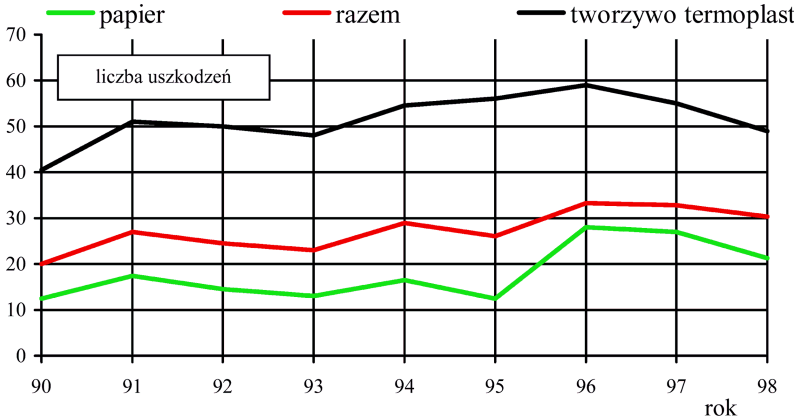
Zwiększona awaryjność kabli elektroenergetycznych jest skutkiem nie tylko procesów starzeniowych i wad materiałowych, lecz również skutkiem przepięć pochodzenia atmosferycznego lub zwarć doziemnych.

Powszechne stosowanie do ochrony przepięciowej kabli średnich napięć — głównie na granicy sieci napowietrznych i kablowych — odgromników gazowymuchowych typu OWS 18/10, o praktycznym poziomie ochrony powyżej znamionowej wytrzymałości izolacji kabli, powodowało narażenie ich izolacji przynajmniej na przyspieszone starzenie. Przykładem może tu być awaryjność układu przedstawionego na rysunku nr 2.

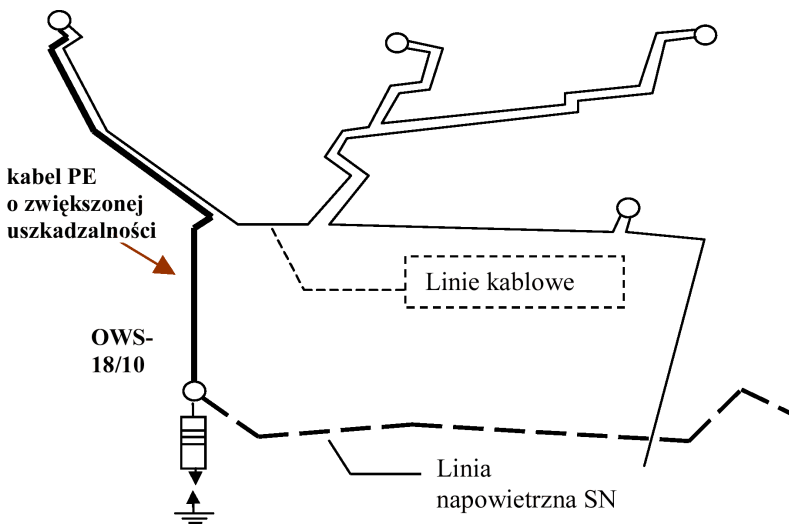
Kable energetyczne tworzące ww. układ budowane były w podobnym okresie czasu w porównywalnych warunkach terenowych. Jednak wykazują różny poziom uszkodzalności. Oczywiście przyczyn tej sytuacji może być wiele, jednak takie czynniki jak: układ sieci, zastosowana ochrona przepięciowa oraz rozkład uszkodzeń (rys. 4) sugerują, że przyczyn można szukać w **niewłaściwej ochronie przepięciowej**.

Na przykładzie 4 Rejonów Energetycznych na przestrzeni 3 lat dokonano analizy uszkodzeń zejść kablowych z linii napowietrznych w porównaniu z uszkodzeniami w rozległej sieci kablowej w tych Rejonach. Powyższa analiza wykazała 2–3 krotnie większą liczbę uszkodzeń (w stosunku do długości kabli awaryjnych) kabli na zejściu z linii napowietrznej. Wyniki prezentuje tabela 4.

Na uwagę zasługuje fakt, że poprawa stanu technicznego kabli na zejściach kablowych z sieci napowietrznych SN dla zmniejszenia wskaźnika awaryjności kabli SN angażuje znacznie niższe nakłady finansowe niż analogiczne działania na rozległej sieci kablowej SN, z jednoczesną korzyścią dla wskaźnika nieciągłości zasilania (niedostarczonej energii).



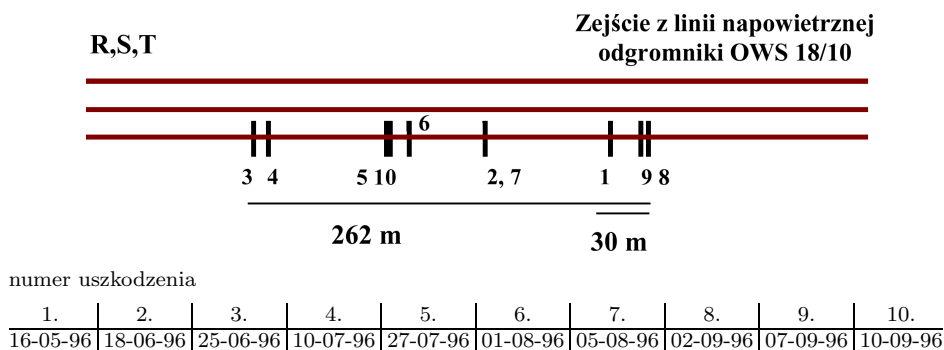
Rys. 2. Wskaźnik awaryjności linii kablowych SN w Zakładzie Energetycznym Kraków S.A. z podziałem na typ izolacji w latach 1990–98



Rys. 3. Wpływ wyładowań atmosferycznych na uszkodzalność kabli SN na przykładzie fragmentu rzeczywistej sieci napowietrzno-kablowej

Obecność wody w powłoce kabla, gromadzącej się głównie w zagłębieniach terenu, lokalizacji kabli w pobliżu poboczy jezdni oraz oddziaływanie przepięć łączeniowych, skutkuje kumulowaniem się awarii na stosunkowo małych odcinkach kabli, gdy pozostała jego część nie stwarza problemów eksploatacyjnych.

Dla przykładu rozkład uszkodzeń np. na zejściu kabla z linii napowietrznej wykazuje pewną prawidłowość.



Rys. 4. Rozkład awarii kabla YHdAKX, rok budowy 1977, długość 517 m

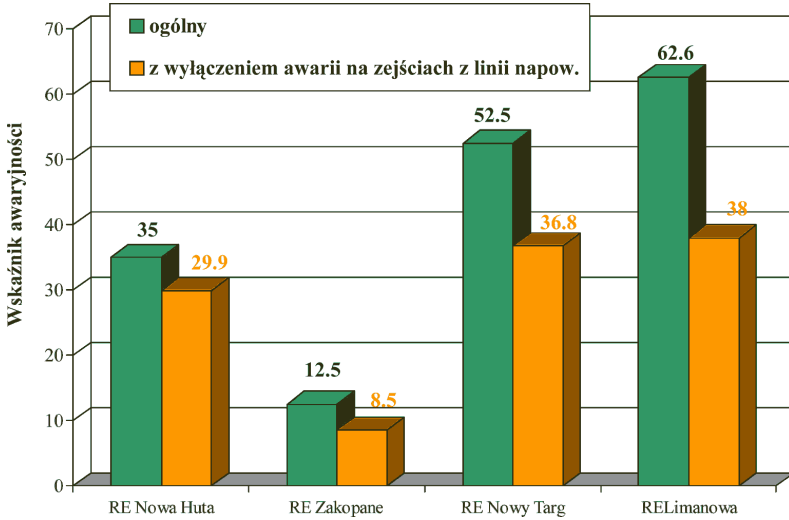
Tabela 4. Analiza awaryjności kabli SN w wybranych Rejonach Energetycznych; lata 1996, 97, 98

| | ogółem | | zejścia z napowietrznych lini SN | |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|
| | ilość awarii | długość kabli [km] | ilość awarii | długość kabli [km] |
| RE Nowa Huta | 422 | 402,0 | 62 | 8,2 |
| | $WA = 422/4,02/3 = \mathbf{35,0}$ | | $WA = 62/0,082/3 = \mathbf{252,0}$ | |
| RE Zakopane | 72 | 192,0 | 23 | 5,0 |
| | $WA = 72/1,92/3 = \mathbf{12,5}$ | | $WA = 23/0,05/3 = \mathbf{153,3}$ | |
| RE Nowy Targ | 214 | 136,0 | 64 | 7,5 |
| | $WA = 214/1,36/3 = \mathbf{52,5}$ | | $WA = 64/0,075/3 = \mathbf{284,4}$ | |
| RE Limanowa | 107 | 57,0 | 42 | 3,8 |
| | $WA = 107/0,57/3 = \mathbf{62,6}$ | | $WA = 42/0,038/3 = \mathbf{368,4}$ | |

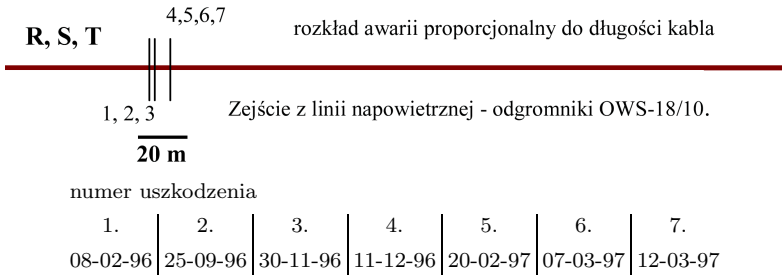
WA – wskaźnik awaryjności = ilość uszkodzeń/100 km/3 lata

Wskazane wyżej przykłady awaryjności linii kablowych SN ujawniają nie tylko pewne prawidłowości w rozkładzie awarii lecz również na znaczenie szczegółowej analizy dla prawidłowego wskazania przyczyn powstawania awarii oraz sposób ich unikania. Dla przykładu z rysunku nr 6 konieczność szybkiego przywrócenia zasilania opartego na kablu promieniowym oraz problemy natury prawnej spowodowały nieoptymalny wariant naprawy uszkodzeń — mufy przelotowe zamiast wstawki.

Kolejny przykład szczegółowej analizy awaryjności — o ile 9% wskaźnik awaryjności głowic kablowych w obszarze działania całej Spółki Dystrybucyjnej można jeszcze uznać za dopuszczalny o tyle (otrzymany w wyniku analizy szczegółowej) 39% wskaźnik awaryjności głowic kablowych w przypadku awarii na zejściach z napowietrznych linii SN należy uznać za niedopuszczalny.



Rys. 5. Wskaźnik awaryjności linii kablowych SN w wybranych Rejonach Energetycznych: – ogólny (tabela nr 4), oraz – z wyłączeniem uszkodzeń kabli stanowiących zejście z sieci napowietrznej



Rys. 6. Rozkład awarii kabla HAKFta, rok budowy 1960, zejście z linii napowietrznej — odgromniki OWS-18/10, długość 630 m

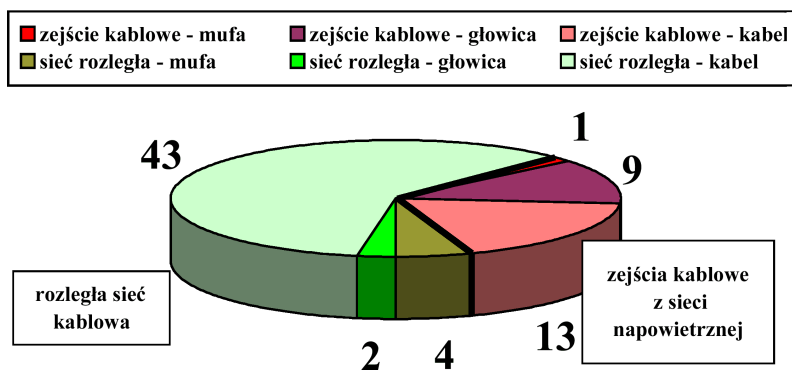
Ten przykład może wskazywać na większe niż w innych rejonach narażenie osprzętu kablowego na warunki środowiskowe pracy.

4. Ogólna ocena sieci kablowej SN (15 kV)

W zakresie awaryjności urządzeń stan sieci kablowych SN należy uznać za niewłaściwy. Skutki wysokiej awaryjności kabli o izolacji z polietylenu niesiecianego łagodzone są co prawda przez dobrą wytrzymałość kabli o izolacji papierowo-olejowej, jednak znaczna ich ilość charakteryzuje się zbyt długim okresem eksploatacji, kwalifikującym je do wymiany. Sytuacja ta wymaga zaangażowania się w analizę awaryjności

oraz ocenę efektywności prac eksploatacyjnych spośród kabli wybudowanych w latach 70–90. Kable o izolacji papierowo-olejowej uznać należy za dobre. Natomiast stan kabli o izolacji z polietylenu niesieciowanego należy uznać za bardzo zły i przyjąć program ich całkowitej wymiany.

W związku z powyższym należy przyjąć, że 40% kabli z izolacją papierowo-olejową, wybudowanych w latach 50–60 oraz kabli z izolacją z polietylenu niesieciowanego wybudowanych w latach 80–86 należy w perspektywie najbliższych lat wymienić. Szacowana ilość — w wariacie pesymistycznym — linii kablowych do wymiany na najbliższe 10 lat wynosi łącznie ok. 870 km., co stanowi ok. 37% wszystkich linii kablowych SN.



Rys. 7. Wykaz uszkodzeń elementów linii kablowych SN Rejon Energetyczny „5” — górski; okres 1996, 97, 98

Wymienione wyżej kable z izolacją z polietylenu sieciowanego podlegają wymianie generalnie, natomiast kable z izolacją papierowo-olejową wg harmonogramu opracowywanego na podstawie analizy rocznej awaryjności tych kabli.

5. Działania podejmowane w ZEK S.A. w celu poprawy stanu technicznego sieci kablowej 15 kV

„Program kablowy” — w 1998 roku wprowadzono w ZEK S.A. pakiet wytycznych dla budowy i eksploatacji kabli SN, zwany „Programem kablowym”, który umożliwia w szerokim stopniu prawidłową eksploatację, daje możliwości techniczne i analityczne do wykorzystania dla efektywnych działań eksploatacyjnych. W skład pakietu wchodzi:

- warunki budowy,
- wymagania jakościowe
- roczny harmonogram wymiany,
- dokumentacja i analiza awaryjności,
- ochrona przepięciowa w sieciach kablowych.

Poprzez powyższe uporządkowano typ stosowanego osprzętu kablowego oraz rodzaje kabli i ochrony przepięciowej.

6. Wnioski

1. rozkład awaryjności kabli z polietylenu niesiecianego wskazuje na możliwość ograniczania awaryjności poprzez **wykonywanie wstawek o znacznej długości**,
2. okres bezawaryjnej pracy kabli zdeterminowany jest poziomem przepięć, a zatem **skuteczności ochrony przepięciowej** — ochronę kabli na zejściach z napowietrznych linii SN, realizowaną odgromnikami OWS 18/10 należy uznać za nieskuteczną,
3. **inaczej w terenach górskich**, ze względu na czynniki atmosferyczne, należy dokładnie dobierać ochronę odgromową oraz parametry osprzętu kablowego na zejściach z linii napowietrznych,
4. dla poprawy wskaźnika awaryjności w aspekcie finansowym istotnym jest zwrócenie szczególnej uwagi na zejścia kablowe z linii napowietrznych SN — **mała liczba (ilość) kabli awaryjnych na zejściach z linii napowietrznych rzutuje w znaczący sposób na wskaźnik awaryjności kabli SN**,
5. istotną rolę w procesie eksploatacji linii kablowych SN odgrywa **szczegółowa analiza awaryjności** w odniesieniu do czynników środowiskowych (np. ukształtowanie terenu) i eksploatacyjnych (np. ochrona przepięciowa, dosycanie głowic kabli olejowych), **która rzutuje na poziom zaangażowanych środków finansowych** w procesie inwestycyjno-remontowym (wymiana części lub całości kabla).

SELECTED PROBLEMS OF 15 kV CABLE NETWORKS EXPLOITATION ZE KRAKÓW S.A.

Failures occurring in 15 kV cable networks of ZE Kraków S.A. are analysed. Some preventional measures, called „Program kablowy” (‘Cable programme’) are presented.