

Aleksandra Rakowska¹, Andrzej Grzybowski²

ANALIZA PORÓWNAWCZA AWARYJNOŚCI LINII KABLOWYCH I NAPONIETRZNYCH ŚREDNIEGO NAPIĘCIA NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH SPÓŁEK DYSTRYBUCYJNYCH

Streszczenie: Na przykładzie kilku Spółek Dystrybucyjnych omówiono doświadczenia z eksploatacji linii napowietrznych i kablowych średniego napięcia. Wytypowano najbardziej awaryjne elementy sieci SN oraz określono przyczyny awarii i porównano współczynniki awaryjności.

Słowa kluczowe: linie napowietrzne i linie kablowe SN, doświadczenia eksploatacyjne, awaryjność

1. Wprowadzenie

Sumaryczna długość eksploatowanych przez polską energetykę zawodową linii średniego napięcia (SN – napowietrznych i kablowych) na koniec 2000 roku – wynosiła 278 319 km, a na koniec 1999 roku – 276 765 km. Linie kablowe SN stanowią prawie 20% całkowitej długości linii SN, a ich długość na koniec 1999 r wynosiła 53 153 km – tablica 1 [1]. Obserwuje się tendencję szybszego przyrostu linii kablowych niż linii napowietrznych SN, jest to jednak ograniczane niewystarczającymi środkami inwestycyjnymi. Inwestycje kablowe są bowiem droższe niż inwestycje związane z budową linii napowietrznych.

W artykule przedstawiono ocenę stanu sieci i doświadczenia eksploatacyjne na podstawie danych uzyskanych ze Spółek Dystrybucyjnych za rok 1999 (5 Spółek) i 2000 (7 Spółek). Analiza dotyczyła linii napowietrznych o długości 47 929 km i kablowych SN o długości 11308 km. W obu przypadkach stanowi to ponad 21% sumarycznej długości linii – odpowiednio napowietrznych i kablowych – eksploatowanych przez całą polską energetykę zawodową.

¹ Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań oraz Biuro Polskiego Towarzystwa Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej

² Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań

Tab. 1. Długość linii SN eksploatowanych przez energetykę zawodową [1]

Wyszczególnienie	Długość linii [km] w danym roku				
	1985	1990	1995	1998	1999
Linie napowietrzne SN	207 316	216 113	221 391	223 326	223 612
w tym: 40,60 kV	1 537	797	347	158	158
40 kV	9 351	7 547	4 724	4 017	3 985
15÷20 kV	194 156	206 429	215 547	218 546	218 880
poniżej 15 kV	2 272	1 340	773	605	589
Linie kablowe SN	35 653	43 198	48 856	51 921	53 153
w tym: 30÷60 kV	264	236	137	114	115
15÷20 kV	26 740	34 399	40 762	44 166	45 340

2. Analiza awaryjności linii kablowych SN

Pięć Spółek Dystrybucyjnych przez okres 2,5-letni udostępniało informacje o zaistniałych uszkodzeniach linii kablowych SN. Analizowana sieć kablowa SN to głównie linie z kablami o izolacji papier+syciwo (78% na początku 1999 r., 77% na początku 2000 roku). Można zaobserwować, że zmniejsza się długość linii kablowych o izolacji z polietylenu termoplastycznego – PE (13% na początku 1999 r., 10% na początku 2000 r.); natomiast wzrasta długość eksploatowanych linii kablowych o izolacji z polietylenu usieciowanego – XLPE (z 9% na 13%). Oczywiście w każdym z zakładów, udział poszczególnych typów kabli w sumarycznej długości eksploatowanej sieci jest zróżnicowany. Przykładowo – stwarzające najczęściej kłopotów eksploatacyjnych – kable o izolacji PE w jednym z zakładów stanowią 29% całej sieci kablowej – w drugim tylko 3%.

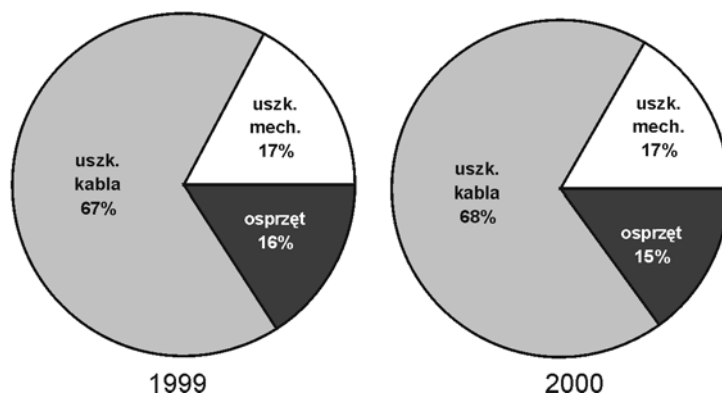
Dla uzyskania pełnego obrazu stanu sieci kablowej SN, konieczne wydaje się wieloletnie prowadzenie analizy statystycznej doświadczeń związanych z eksploatacją tej sieci. Autorzy artykułu sądzą, że okresem minimalnym jest 5 lat.

Prowadzone badania w okresie dwóch lat dają pewien przybliżony obraz i pozwalają na ocenę szacunkową. Wnioski z dokonanej analizy pozwalają stwierdzić, między innymi, że:

- na poziom awaryjności linii kablowych SN zdecydowanie najsilniej wpływa jakość kabli elektroenergetycznych; procentowy udział uszkodzeń kabli, uszkodzeń osprzętu i uszkodzeń mechanicznych w analizowanym okresie przedstawiono na rysunku 1 oraz w tabelicy 2;
- kable PE stanowiące obecnie tylko 10% sumarycznej długości rozpatrywanej sieci kablowej są odpowiedzialne aż za 63% uszkodzeń tzw. „kable w trasie” – tablica 3;
- kable PE zostały wprowadzone w Polsce już w latach 1972–1974 i po początkowo bezawaryjnej pracy zaczęły w miarę upływu czasu eksploatacji stwarzać coraz większe problemy; są to kable tzw. pierwszej generacji z taśmowymi ekranami na powierzchni izolacji – w konstrukcji tej dodatkowo (dla lepszego przylegania taśm ekranu) grafitowano powierzchnię izolacji; jak wykazały liczne doświadczenia wielu

państw – właśnie te elementy konstrukcji kabla bardzo silnie obniżyły jego niezawodność eksploatacyjną;

- wprowadzenie drugiej generacji kabli o izolacji wytłaczanej w Polsce zbiegło się ze zmianą materiału izolacji z PE na XLPE; nowa konstrukcja kabla polegała na zastosowaniu wytłaczania trzech, ściśle do siebie przylegających warstw: ekran na żyłę, izolacja, ekran na izolacji;
- dotychczasowe – polskie i zagraniczne – doświadczenia dotyczące eksploatacji kabli o izolacji XLPE (średniego a nawet wysokiego napięcia) wskazują na wysoką niezawodność ich pracy w systemie elektroenergetycznym.



Rys. 1. Rodzaj uszkodzeń linii kablowych SN w 5 ZE w roku 1999 i 2000

Tab. 2. Wskaźniki uszkodzeń linii kablowych SN w pięciu ZE

średni dla 5 ZE	Wskaźnik uszkodzeń w roku									
	kable		osprzętu		mech		ogółem		Ogól. uszk. mech	
	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000
	10,1	9,6	2,4	2,1	2,6	2,3	15,1	14,1	12,5	11,7

Tab. 3. Wskaźniki uszkodzeń linii kablowych SN o różnym rodzaju izolacji

średni dla 5 ZE	Wskaźnik uszkodzeń w roku							
	kable PAP		kable PE		kable XLPE		ogółem	
	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000
	4,5	4,6	58,3	58,1	1,9	0,7	10,1	9,6

Analizując dane zawarte w tablicach 2 i 3 można stwierdzić, że obserwuje się powolną poprawę stanu rozpatrywanej sieci kablowej. Przykładowo, w stosunku do roku 1996 [5], stwierdzić można poprawę o ponad 300% – co wskazuje na znaczne polepszenie niezawodności pracy linii kablowych. Jednakże ciągle rejestrowane wartości są zbyt duże w porównaniu z wartościami uzyskiwanymi przez inne państwa Europy Zachodniej.

3. Analiza awaryjności linii napowietrznych SN

W tabelicy 4 zestawiono dane dotyczące sumarycznej długości analizowanej sieci napowietrznej SN, liczby uszkodzeń oraz liczby uszkodzonych w wyniku awarii elementów linii w okresie lat 1999 – 2000. Na podstawie liczby uszkodzeń określono wskaźniki uszkodzeń.

Tab. 4. *Awaryjność linii napowietrznych w analizowanych Spółkach Dystrybucyjnych*

Rok	Długość linii [km]	Liczba uszkodzeń	Liczba uszkodzonych elementów	Średni wskaźnik uszkodzeń
1999	37 727	2 051	9 589	5,02*
2000	47 929	1 886	2 121	4,85*

* wartość średnia ze wskaźników uszkodzeń dla poszczególnych Spółek

Znaczna różnica liczby uszkodzonych elementów w analizowanych latach wynika z wystąpienia na terenie działania dwóch Spółek Dystrybucyjnych w roku 1999 silnych wiatrów, których prędkość była dużo wyższa niż określona w normie [6]. Statystyka awaryjności za okres dwóch lat nie pozwala więc na prognozowanie stanu sieci napowietrznej SN, ze względu na decydujący wpływ warunków atmosferycznych na liczbę uszkodzonych elementów w danym roku.

Innym ważnym elementem analizy awaryjności linii napowietrznych jest wytypowanie



Rys. 2. *Uszkodzona linia napowietrzna SN*

najbardziej awaryjnych elementów linii. W tabelicy 5 przedstawiono procentowy udział poszczególnych uszkodzonych elementów w sumarycznej liczbie awarii. Zgodnie z uzyskanymi danymi, najczęściej uszkodzeniom ulegają przewody i osprzęt mocujący przewody do izolatorów – rysunek 2. Wiąże się to z poważnym problemem technicznym, czekającym ciągle na rozwiązanie, wymagającym opracowania konstrukcyjnego nowego uchwytu mocującego przewody do izolatorów stojących na słupach przelotowych.

Pomimo prowadzonej w wielu Spółkach Dystrybucyjnych planowej wymiany wadliwych, wysoko awaryjnych izolatorów LSP i LSD – nawet w latach, w których nie wystąpiły silne wiatry, uszkodzalność izolatorów liniowych różnego typu również wpływa znacząco na awaryjność linii napowietrznych SN.

Tab. 5. Liczba uszkodzonych elementów linii napowietrznych SN w 5.(1999) i 7.(2000) ZE

Rok	Długość linii [km]	Uszkodzone elementy [%]				
		słupy	przewody	wiązalki mostki	izolatory	inne
1999	37 727	25,9	20,5	17,2	25,6	10,8
2000	49 335	7,7	21,1	30,7	32,5	8,0

Analiza przyczyn uszkodzeń (tablica 6) wskazuje, że gdy nie występuje działanie żywiołów (np. huragan, oblodzenie przewodów, osady śniegowo-lodowe), to wówczas zdecydowanie na pierwszym miejscu przyczyn awarii linii napowietrznych znajduje się starzenie materiału poszczególnych elementów linii.

Tab. 6. Procentowy udział przyczyn uszkodzeń linii napowietrznych SN (sumarycznie dla 5./7. Spółek w roku 1999 i 2000)

Udział procentowy	Przyczyna uszkodzenia										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	11	1	8	35	2	8	2	5	2	1	25

Kod przyczyny uszkodzenia: **1** – wady fabryczne i materiałowe, **2** – burza, **3** – wichura, **4** – starzenie się lub zmęczenie materiału, **5** – korozja chemiczna lub elektrolityczna, **6** – przewrócenie drzewa na linię, **7** – działanie ptaków lub zwierząt, **8** – wpływ uszkodzeń innych urządzeń, **9** – zbliżenie drzew i krzewów, **10** – kradzież, **11** – inne przyczyny

Problemy związane ze starzeniem elementów linii napowietrznych w najbliższych latach mogą się szczególnie nasilić, ze względu na wieloletni już czas ich eksploatacji, często przekraczający zakładany okres życia „technicznego”.

4. Porównanie awaryjności linii napowietrznych i kablowych SN

Ocenę awaryjności obu typów linii dokonano porównując wskaźniki awaryjności. W tablicy 7 zestawiono średnie wartości wskaźników awaryjności dla analizowanych Spółek za rok 1999 i 2000. Mają one stosunkowo niską wartość dla linii napowietrznych, zawartą w granicach 4,85 - 5,02 uszkodzeń/100 km linii. Wskaźniki te wykazują wyraźne obniżenie w porównaniu z latami poprzednimi. Jednakże analogiczne wskaźniki dla linii kablowych w roku 1999 i 2000 wynoszą w graniach 12,50 – 18,90 (bez uszkodzeń mechanicznych). Wartości uzyskanych średnich wskaźników uszkodzeń dla 5 oraz 7 Spółek dla wszystkich typów kabli SN są optymistyczne w porównaniu z wartościami odnotowywanymi jeszcze kilka lat temu. Przykładowo: średni wskaźnik uszkodzeń dla linii kablowych, eksploatowanych przez Spółki Dystrybucyjne w roku 1996 wynosił – 30,8 [5].

Tab. 7. Wskaźniki uszkodzeń dla linii SN w wybranych Spółkach Dystrybucyjnych

Rok	Wskaźnik uszkodzeń		
	Linii napowietrznych	Linii kablowych (bez uszkodzeń mechanicznych)	Linii kablowych (z uszkodzeniami mechanicznymi)
1999	5,02	12,5	15,1
2000	4,85	11,7	14,1

Analizę pracy linii kablowych wykonano w ramach opracowania [2], a ocenę pracy linii napowietrznych dokonano w ramach opracowania [3].

Wskaźniki uszkodzeń dla linii kablowych SN w rozpatrywanych polskich Spółkach Dystrybucyjnych są ciągle znacznie wyższe od poziomu wskaźników notowanych przez inne, głównie zachodnie energetyki zawodowe. Dodatkowo należy podkreślić, że wskaźniki awaryjności dla linii kablowych są ciągle znacznie wyższe od podobnych wskaźników dla linii napowietrznych – co jest doświadczeniem eksploatacyjnym zupełnie odmiennym w porównaniu z doświadczeniami innych państw [4], w których wskaźniki uszkodzeń linii kablowych są 3-5 razy niższe niż odpowiednie wskaźniki uszkodzeń dla linii napowietrznych.

Literatura

- [1] *Elektroenergetyka w statystyce*, Agencja Rynku Energii, Warszawa, 2000
- [2] **Rakowska A.**: *Przeprowadzenie badań awaryjności kabli SN w Zakładach Energetycznych oraz analiza tych badań*, Opracowanie IE PP, nr 41-537/2000, 1999-2001
- [3] **Grzybowski A., Rakowska A.**: *Porównawcza analiza awaryjności linii napowietrznych i kablowych średniego napięcia na przykładzie wybranych Zakładów Energetycznych*, Opracowanie IE, Politechniki Poznańskiej, IE-41/626/2001, Poznań, czerwiec 2001
- [4] **Rakowska A.**: *Kryteria weryfikujące jakość polietylenu usieciowanego stosowanego jako izolacja kabli elektroenergetycznych*, Wydawnictwo PP, seria Rozprawy nr 357, sierpień 2000
- [5] **Begier P., Grzybowski A., Hajdrowski K., Rakowska A.**: *Awaryjność sieci elektroenergetycznej eksploatowanej przez Spółki Dystrybucyjne*, VI Sympozjum Problemy eksploatacji układów izolacyjnych WN EUI'97, AGH, Zakopane, październik 1997.
- [6]. PN-E-05100-1:1998 - Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa.

COMPARISON OF SERVICE EXPERIENCES WITH MV OVERHEAD AND CABLE NETWORK FOR EXEMPLARY POLISH UTILITIES

Faults statistics and some service experiences with medium voltage overhead and cable lines obtained by a few selected electric power distribution companies are shown in the paper. Some estimation of reliability of chosen parts of network and failure rates are presented too.