

Helena Anuszevska¹

PRZENOŚNA ELEKTROENERGETYCZNA LINIA KABLOWA 110KV

Streszczenie: W artykule opisano zastosowania przENOśnych linii kablowych WN oraz podano charakterystykę techniczną podstawowych zespołów linii. Opisano pierwsze przENOśne linie z kablami 110 kV w izolacji z XLPE wykonane w Polsce dla Polskich Sieci Elektroenergetycznych. Zamieszczono parametry konstrukcyjno-eksploatacyjne tych linii oraz rysunki kabli, głowic i bębnow. Zaprezentowano Biuro Usług Inwestycyjnych w Elektrim Kable Polskie SP. z o.o., które jest generalnym wykonawcą inwestycji przENOśnych linii kablowych 110 kV dla PSE (Projekt Mikułowa).

1. Wstęp

Stały postęp w technologii wytwarzania kabli elektroenergetycznych wysokich napięć (WN) doprowadził do opracowania i wdrożenia do produkcji w wytwórniach Elektrim Kable S.A. kabli WN na napięcia 60 ÷ 440 kV z usieciovaną izolacją z polietylenu XLPE. Szczególnie bogate doświadczenia w produkcji kabli z sieciovaną na sucho izolacją XLPE na 110 kV ma oddział EK S.A. w Bydgoszczy – Bydgoska Fabryka Kabli, gdzie produkcja ta jest rozwijana od 12 lat.

XLPE = cross linked polyethylene, czyli polietylen usieciovany

Stosowane wcześniej w polskiej i światowej energetyce kable WN starszej generacji z izolacją XLPE wykonywane w technologii „mokrego sieciovania” nie zapewniały tak wysokiej jakości i niezawodności jak kable WN z izolacją XLPE sieciovaną na sucho.

Stosowanie izolacji XLPE stało się możliwe dzięki znaczącemu rozwojowi chemicznych technologii wytwarzania i sieciovania polietylenu, oraz opracowanych specjalnie dla potrzeb przemysłu kablowego linii technologicznych do wytwarzania kabli WN z zastosowaniem sieciovania w suchej atmosferze np. azotu (dry curing). Zaangażowanie myśli technicznej inżynierów konstruktorów kabli w połączeniu z dostępną nowoczesną technologią pozwoliło na opracowanie i wykonania zespołu przENOśnej linii kablowej 110 kV, która ułatwia, a niekiedy umożliwia prace Zakładów Elektroenergetycznych przy budowie, rozbudowie i naprawie stacjonarnych linii elektroenergetycznych.

¹ Elektrim Kable S.A.

Z doświadczeń wynika, że znajdują one przede wszystkim zastosowanie przy budowie nowych i przebudowie istniejących linii napowietrznych. Zastosowanie kabli przenośnych może być rozwiązaniem bardzo korzystnym, gdy nowo budowana linia napowietrzna ma krzyżować ważne ze względu na warunki zasilania istniejące linie napowietrzne. W czasie budowy nowej linii konieczne jest wyłączenie spod napięcia krzyżowanych odcinków linii istniejących. Oznacza to zazwyczaj wyłączanie krzyżowanej linii na dłuższy czas. Dzięki zastosowaniu kabli przenośnych można jednak „zmostkować” krzyżowany odcinek odłączony od pozostałej części linii, co do minimum skraca czas całkowitego wyłączenia istniejącej linii. Zastosowanie kabli przenośnych jest szczególnie korzystne przy przebudowie lub budowie rozdzielni. Poszczególne pola można wyłączyć spod napięcia na czas dłuższej przebudowy, bez istotnych ograniczeń przesyłu energii. Takie właśnie zastosowanie ma przenośna linia kablowa 110 kV opisana w p.4 (Projekt Mikułowa)

2.1.1. Kable probiercze

W celu wykazania prawidłowości zainstalowania urządzeń elektrycznych, takich jak np. elektroenergetyczne linie kablowe lub rozdzielnie, w miejscu budowy wykonuje się próby wysoko-napięciowe. Często wysokie napięcie probiercze musi być doprowadzone od źródła do badanego urządzenia na stosunkowo znacznej odległości. Do tego celu szczególnie dobrze nadają się kable przenośne, użyte jako kable probiercze.

Kabel probierczy powinien być na końcach wyposażony w głowice napowietrzne, tak samo jak kabel przenośny (Rys. 1). Taki kabel nadaje się do prób napięciem stałym do 350 kV w ciągu 60 minut i napięciem przemiennym do 280 kV w ciągu jednej minuty.

3. Budowa zespołów przenośnych linii kablowych

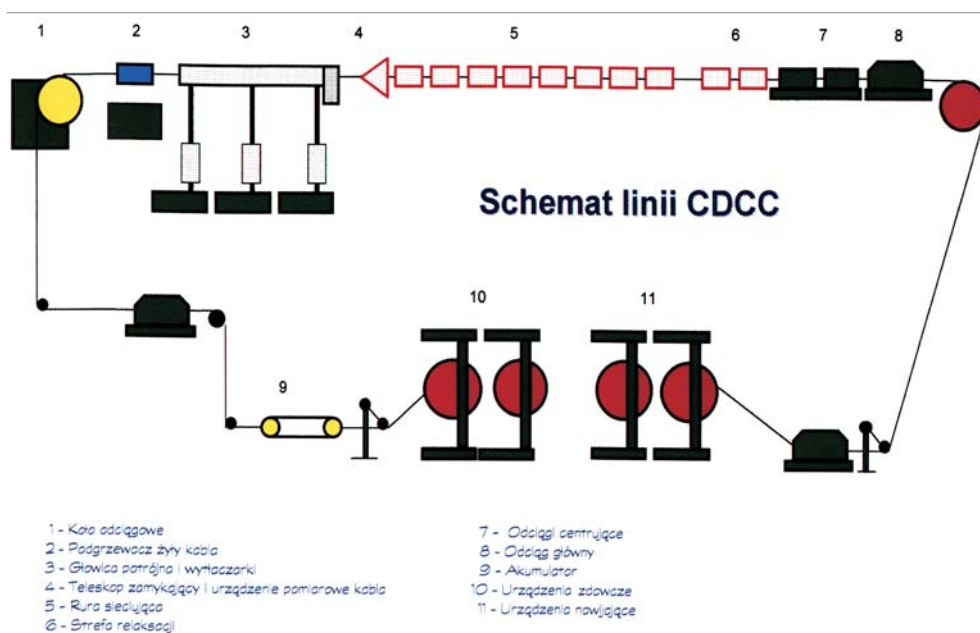
Przenośna elektroenergetyczna linia kablowa składa się z kabla zakończonego z obydwu stron elastycznymi głowicami. Kabel wraz z głowicami jest nawinięty na bęben tak skonstruowany, żeby zapewnić bezpieczne mocowanie głowic oraz swobodne przewożenie go stosowanymi w budownictwie elektro-energetycznym środkami transportu. Na rysunku 1 pokazano gotową przenośną linię kablową.

3.1 Kable o izolacji z polietylenu usieciowanego (Kable XLPE)

Budowę przenośnego kabla WN 110 kV przedstawiono na rysunku 3. Kable przenośne produkowane są jako jednożyłowe. Miedziana, wielodrutowa, zagęszczona żyła robocza jest zgodna z VDE 0295 i IEC 228. Dla zwiększenia giętkości kabla żyła jest zbudowana z drutów o mniejszej średnicy niż w standardowych liniowych kablach WN. Izolację z polietylenu usieciowanego wytłacza się w sposób ciągły w jednej operacji razem z ekranem półprzewodzącym na żyłę i na izolacji i sieciuje w procesie suchym. Izolację wykonuje się więc w takim samym, wypróbowanym procesie produkcyjnym, który jest stosowany przy produkcji wszystkich kabli o izolacji z polietylenu usieciowanego (XLPE) na wysokie i bardzo wysokie napięcia. Wytłoczone ekrany (na żyłę i izolacji) są ściśle spojone z izolacją. Stosowane materiały dostosowane są do użytkowania kabli przy maksymalnej dopuszczalnej temperaturze

ich żył roboczych wynoszącej 90°C długotrwale i 250°C krótkotrwale – przy zwarcia. Schemat ideowy linii produkcyjnej dla kabli WN z izolacją XLPE jest pokazany na rysunku 2

Zarówno proces produkcyjny izolowanych żył jak i używane materiały są dokładnie sprawdzane, co zapewnia wytwarzanie kabli z izolacją o najwyższej czystości i o jednolitych wymiarach. Na ekranie izolacji kable mają żyłę powrotną z drutów miedzianych i spirali przeciwiwskrętnej. Na żyłę powrotną nałożona jest powłoka z czarnego polietylenu termoplastycznego wysokiej gęstości (HDPE). Materiał ten jest wysoce odporny na wpływy atmosferyczne. Dalej warto wymienić wysoką odporność tego materiału na ścieranie i dobrą odporność na nacisk w podwyższonej temperaturze. Właściwości te mają szczególne znaczenie dla kabli przesylnych, które podlegają szczególnie dużym narażeniom mechanicznym w wyniku częstego odwijania i nawijania, zginania oraz układania. Kable przesylnie nie mają uszczelnienia promieniowego w postaci taśmy aluminiowej laminowanej (przeciwwilgociowa bariera Glovera) z uwagi na narażenie jej na uszkodzenia podczas wielokrotnego zwijania i rozwijania kabla.



Rys. 2. Schemat linii technologicznej do wytłaczania i sieciowania polietylenu XLPE

3.2. Głowice

Produkcja dostosowanych do warunków użytkowania kabli przesylnych stała się możliwa dopiero po opracowaniu odpowiednich głowic. Elastyczne głowice instaluje się na końcach kabli na stałe już w fabryce kablowej. Dzięki swojej konstrukcji głowice te dostosowane są dobrze do narażeń mechanicznych występujących w miejscu budowy linii. Wymiary głowic dobiera się odpowiednio do napięcia sieci, w której kable mają być instalowane.

Dzięki elastyczności głowic możliwe jest dostarczenie kompletnego kabla z głowicami na specjalnym bębnie. Podczas transportu głowice umieszczone są na bębnie w oddzielnych zasobnikach (komorach) i prawidłowo umocowane za pomocą stałych i przestawnych uchwytów.

3.3. Bębny

Pierwsze kable przenośne dostarczano na bębnach drewnianych. Okazało się jednak, że same kable były lepiej dostosowane do narażeń występujących w czasie wielokrotnego użytkowania, niż używane wtedy bębny drewniane. Dlatego też obecnie do kabli przenośnych stosuje się specjalne bębny stalowe (Rys.1). Na takim bębnie można nawijać odcinki kabli o długościach do 400 m. Dla ochrony przed korozją bębny stalowe ocynkowane są na gorąco lub malowane antykorozyjną farbą. Średnica trzpienia bębna dla linii przenośnej jest odpowiednio zwiększona, żeby zapewnić wymaganą żywotność kabla w warunkach wielokrotnego przewijania.

Na tarczach bębnow są wykonane odpowiednie zasobniki (komory), w których mocuje się za pomocą specjalnych uchwytów głowice kablów.

4. Przenośna linia kablowa 110kV – Projekt Mikułowa

BIURO USŁUG INWESTYCYJNYCH (BUI) w Elektrim Kable Polskie Sp. z o.o. jest generalnym wykonawcą oraz realizatorem dostaw, montażu, instalacji i badań pierwszych w Polsce przenośnych linii kablowych XLPE 110 kV dla Projektu Mikułowa wykonywanego dla Polskich Sieci Elektroenergetycznych.

4.1. Zakres Projektu Mikułowa

Zamówione przez PSE przenośne linie WN służą do rozbudowy stacji WN Mikułowa/Turów. Projekt techniczny rozbudowy stacji i instalacji linii przenośnych oraz wymagania techniczno-eksploatacyjne dla przenośnych linii 110 kV zostały wykonane przez Biuro Studiów i Projektów Energetycznych „Energoprojekt” Kraków.

Prowadzony przez BUI projekt Mikułowa obejmuje dostawę dwóch kompletnych przenośnych linii kablowych wykonanych z kabli XUHKXS 1x400/118 mm² z zamontowanymi głowicami SEF-123 Z32:

- Linia Nr 1 – jednotorowa – 3 odcinki kabla o długości 340 m i 6 głowic,
- Linia Nr 2 – dwutorowa – 6 odcinków kabla o długości 150 m i 12 głowic.

Opisane wyżej linie kablów mają na celu tymczasowe zasilanie i utrzymanie ciągłości pracy poszczególnych elementów modernizowanej rozdzielni 110 kV.

Linia nr 1 stanowi rezerwowe zasilanie dla fragmentu rozdzielni podczas modernizacji stanowiska autotransformatora 220/110 kV.

Linia nr 2 pozwoli na utrzymanie ciągłości pracy linii Turów 2 w czasie budowy fragmentu nowej części rozdzielni 110 kV, na którą docelowo wprowadzona zostanie ta linia.

Kabel XUHKXS 1x400/118 mm² oraz bębny zostały wykonane przez Elektrim Kable S.A. – Bydgoska Fabryka Kabli. Głowice SEF-123Z32 dostarcza Ixosil Sefag. Montaż głowic oraz badania pomontażowe i eksploatacyjne linii przenośnych wykonują inżynierowie

i technicy z BUI oraz Bydgoskiej Fabryki Kabli przy udziale Megapolu, który jest podwykonawcą budowy. Przekazanie do eksploatacji pierwszej linii jest ustalone na III-ci kwartał 2001r.

W ramach prowadzonego przez BUI Projektu Mikułowa zostaje wykonana kompletna instalacja linii przesyłowej na stacji Mikułowa oraz po zakończeniu rozbudowy stacji zostanie wykonany kompletny demontaż linii i przygotowanie jej do transportu.

4.1.1. Kabel XLPE 110kV dla projektu Mikułowa

Kabel typu XUHKXS 1x 400/118 mm² 64/110kV został zaprojektowany i wykonany w EKS.A. – Bydgoska Fabryka Kabli.

Kabel posiada uszczelnienie wzdłużne w postaci taśm pęczniących pod wpływem wilgoci, zapobiegające rozprzestrzenianiu się wody wzdłuż kabla.

Obliczenia przekroju żyły roboczej oraz parametrów eksploatacyjnych kabla wykonano przy użyciu opracowanego w BFK specjalistycznego programu komputerowego KANBAN[®] stosując metodykę obliczeń zgodną z normami IEC IEC60287-1 i IEC60287-2. Parametry kabla są podane w tablicy 1, natomiast na rysunku 3 pokazana jest jego budowa.

Żyła robocza kabla spełnia wymagania normy IEC 60228. Wyliczony przekrój żyły roboczej wynosi 400 mm², zaś średnica 24,60 mm. Żyła ta posiada rezystancję dla prądu stałego $R_{DC} = 0,0470 \Omega/\text{km}$, zaś dla prądu zmiennego $R_{AC} = 0,0617 \Omega/\text{km}$. Konstrukcja kabla zapewnia obciążalność prądową długotrwałą linii kablowej co najmniej 800 A przy ułożeniu kabli w układzie symetrycznym-trójkątnym.

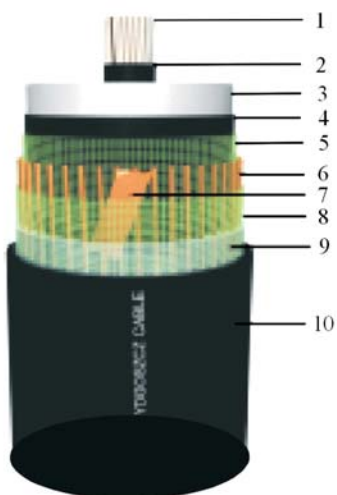
Przekrój żyły powrotnej kabla obliczono zgodnie z IEC60949 przy założonym obciążeniu zwarciovym $I_{pz} = 30\text{kA}$ i czasie zwarcia $t_z = 0,6\text{s}$. Obliczony przekrój żyły powrotnej wynosi 118 mm². Żyła powrotna jest wykonana z 86 drutów miedzianych o średnicy 1,34 mm.

Tablica 1. Parametry kabla XUHKXS 1x 400/118 mm² 64/110kV dla Projektu Mikułowa

Lp.	Wyszczególnienie	Jedn.	Wartość
1	2	3	4
1.	Napięcie znamionowe $U_0/U/(U_m)$	kV	64/110/123
2.	Żyła robocza		
	a) materiał	-	Miedź
	b) konstrukcja żyły roboczej	mm	2,98; Okrągła, zagęszczana, wielodrutowa 60 drutów
	c) przekrój znamionowy	mm ²	400
	d) średnica znamionowa	mm	24.6 + 0.3
	e) rezystancja (D.C.) w temperaturze 200C	W/km	0.0470
3.	Izolacja		
	a) materiał		Polietylen usieciowany XLPE
	b) grubość znamionowa	mm	15.0
	c) współczynnik strat dielektrycznych (tgδ) w temperaturze dopuszczalnej długotrwałe	-	< 0.004

Lp.	Wyszczególnienie	Jedn.	Wartość
1	2	3	4
	d) intensywność wyładowań niepełnych przy $2U_0$	pC	< 5.0
4.	Żyła powrotna		
	a) materiał	-	Miedź
	b) konstrukcja (liczba drutów x średnica)	N x mm	86 x 1,34
	c) przekrój geometryczny	mm ²	118
5.	Materiał uszczelnienia wzdłużnego (w obszarze żyły powrotnej)	mm	Pod drutami taśma półprzewodząca ~ grubości 1,5mm, wysokość pęcznienia pod wpływem wody 18mm, na drutach taśma nie-przewodząca puchnąca pod wpływem wilgoci oraz obwój ochronny.
7.	Powłoka		
	a) materiał		HDPE
	b) grubość znamionowa	mm	3,3
8.	Zewnętrzna średnica kabla	mm	73,0
9.	Pojemność izolowanej żyły kabla	mF/km	0,1746
10.	Masa kompletnego kabla	kg/km	7515,0
11.	Minimalny dopuszczalny promień zginania kabla przy jego układaniu	cm	110
12.	Maksymalna dopuszczalna siła uciążu kabla	kN	20,0
13.	Maksymalna dopuszczalna siła nacisku kabla na jedną rolkę (f 80mm)	kN	18,0
14.	Minimalna dopuszczalna temperatura kabla w czasie układania	°C	- 20
15.	Dopuszczalna temperatura żyły roboczej		
	a) długotrwałe	°C	90
	b) przy przeciążeniach	°C	125
	c) przy zwarcjach	°C	250
16.	Dopuszczalna temperatura żyły powrotnej , przy zwarcjach	°C	350
17.	Natężenie pola elektrycznego w izolacji przy $U_0=64$ kV		
	a) maksymalne (przy ekranie żyły roboczej)	kV/mm	6,27
	b) minimalne (przy izolacji)	kV/mm	3,02
18.	Wartość napięcia na nie uziemionym końcu żyły powrotnej w warunkach znamionowego obciążenia	V/km	40
19.	Prąd ładowania na fazę przy napięciu 64 kV i częstotliwości 50 Hz	A/km	3,5

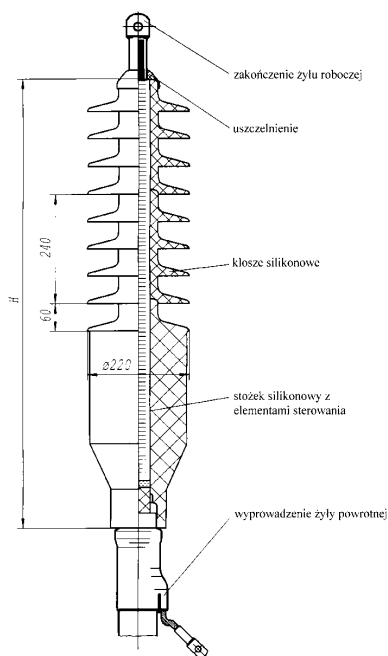
Lp.	Wyszczególnienie	Jedn.	Wartość
1	2	3	4
20.	Moc ładowania linii 3 fazowej (przy napięciu $U=110$ kV)	kVA/km	224.6
21.	Indukcyjność robocza w układzie wg pkt 4.2.6. specyfikacji		
	a) indukcyjność robocza fazowa	mH/km	0.4076
22.	Impedancja falowa	W	40.0
23.	Współczynnik redukcyjny	-	0.31
24.	Rezystancja żyły roboczej (A.C.) w temperaturze 900C	W/km	0.0617
25.	Dopuszczalna długotrwałe obciążalność prądowa kabla ($m=1$) w warunkach wg pkt 4.1.6. i 7 oraz 4.2.6. specyfikacji	A	800
26.	Straty mocy w linii przy obciążeniu wg 7:		
	a) w żyłach roboczych	kW/km	120.0
	b) w izolacji	kW/km	2.7
	c) w żyłach powrotnych	kW/km	73.0
27.	Maksymalny prąd zwarcia żyły roboczej dla czasu trwania zwarcia :		
	0.1 sek.	kA	181.10
	0.5 sek.	kA	80.95
	1.0 sek.	kA	57.23
	2.0 sek.	kA	40.47



Rys. 3. Kabel dla pręnośnych linii kablowych 64/110 kV typu XUHXS 1x400/118mm² (Projekt Mikułowa)

- 1 – żyła robocza miedziana wielodrutowa, prasowana, **średnica żyły 24,6mm**
- 2 – ekran żyły – z super gładkiego usieciowanego polietylenu półprzewodzącego, średnica ekranu żyły 28.0mm.
- 3 – izolacja XLPE – wykonana z super czystego, odpornego na drzewienie wodne usieciowanego polietylenu, średnica na izolacji 58.0mm.
- 4 – ekran na izolacji – z usieciowanego polietylenu półprzewodzącego, średnica ekranu izolacji 60.0mm
- 5 – obwój - wykonany z taśmy półprzewodzącej pęczniącej pod wpływem wilgoci.
- 6 – żyła powrotna 118mm² – wykonana z drutów miedzianych, średnica na żyłe powrotnej 65.8mm.
- 7 – taśma przeciwskrętna – stanowiąca element łączący druty żyły powrotnej.
- 8 – obwój wykonany z taśmy nieprzewodzącej stanowiącej uszczelnienie wzdłużne
- 9 – dodatkowy obwój ochronny – wykonany z taśmy nieprzewodzącej.
- 10 – powłoka z polietylenu wysokiej gęstości, grubość znamionowa 3,3mm, średnica kabla 73,0mm

4.1.1. Elastyczna głowica ESF 123.Z48 dla projektu Mikułowa



Rys. 4. Elastyczna głowica ESF 123. Z48 linii przenośnej – projekt Mikułowa

Dla przenośnych linii kablowych 110 kV projektu Mikułowa dobrano suche głowice ESF 123 Z48 na napięcie znamionowe 110 kV. Głowice posiadają budowę przystosowaną do instalowania w liniach przenośnych nie mają wyposażenia typowego dla głowic samonośnych. Element sterowania rozkładem natężenia pola elektrycznego jest na stałe złączony z obudową głowicy. Głowica spełnia wymagania normy IEC60840.

Podstawowe parametry eksploatacyjne głowic:

- Napięcie znamionowe $U_0/U/U_{max}$: 66/115/123;
- Wartość szczytowa udarów piorunowych: 550 kV;
- Wartość skuteczna napięcia przemiennego: 230 kV, $t=15$ min;
- Droga upływu: 4750 mm, czwarta strefa zabrudzenia;
- Zakres temperatur pracy: $-60^{\circ}\text{C} \div +130^{\circ}\text{C}$.

5. Podsumowanie

Osiągnięcia najnowocześniejszych technologii w dziedzinie wytwarzania kabli wysokich napięć z sieciowaną na sucho izolacją z polietylenu oraz jednoczęściowych suchych i elastycznych (silikonowych) głowic na wysokie napięcie stworzyły możliwości zaprojektowania i wykonania przesylnych linii kablowych 110 kV.

Biuro Usług Inwestycyjnych w Elektrim Kable Polskie Sp. z o.o. specjalizuje się w generalnym wykonawstwie przesylnych linii kablowych dostarczając kompletną instalację przesylnych linii 110 kV.

Zastosowanie instalacji przesylnych linii wysokiego napięcia umożliwia i ułatwia prowadzenie skomplikowanych budów elektroenergetycznych i równocześnie łagodzi wszelkie niedogodności związane z wyłączeniem spod zasilania obszarów objętych zasięgiem przebudowywanych linii.

LITERATURA

- [1] Oferta Biura Usług Inwestycyjnych w Elektrim Kable Polskie Sp.z o.o. – *Dostawa montaż i uruchomienie przesylnych linii kablowych 110 kV* – Kwiecień 2001
- [2] Projekt wykonawczy *Modernizacja i rozbudowa stacji 400/220/110 kV Mikułowa. Przesyłne linie kablowe 110 kV* – Energoprojekt Kraków, Maj 2001-06-11
- [3] Publikacja techniczna firmy Felten & Guilleame Energietechnik A.G. – *Geschäftsgeiet Höchstspannungs-kabelanlagen Schanzenstraße*
- [4] **Roman Masztak** – *Osiągnięcia Elektrim Kable S.A. w zakresie kabli elektroenergetycznych wysokich napięć* (materiały konferencyjne „Kabel 2001“)