

Aleksandra Rakowska¹

LINIE KABLOWE NAJWYŻSZYCH NAPIĘĆ PRĄDU PRZEMIENNEGO

Rozwój linii kablowych wysokiego napięcia powodowany jest między innymi reakcją społeczeństwa przeciwko budowaniu nowych linii napowietrznych wysokich i najwyższych napięć. Jednakże rozbudowa linii kablowej napotyka na pewne ograniczenia techniczne.

1 WSTĘP

Budowa nowych linii napowietrznych wysokich i najwyższych napięć budzi sprzeciw społeczny – jest to obserwowane obecnie na całym świecie. Akceptowalną alternatywą jest linia kablowa. Jednakże występują pewne, głównie techniczne i ekonomicznie uzasadnione ograniczenia w bardzo szerokim instalowaniu linii kablowych, szczególnie linii o znaczących długościach.

Dotychczas projektowane i budowane linie kablowe wysokich (WN) i najwyższych napięć (NN), ze względów ekonomicznych i technicznych, są realizowane najczęściej na terenie dużych aglomeracji miejskich lub przemysłowych (wyjątek - linia Jutland w Danii). Także w Poznaniu są przykłady zastępowania jednego lub kilku przeseł linii napowietrznych 110 kV – linią kablową – jest to rozwiązanie techniczne ze wszech miar polecane.

Tylko w wyjątkowych warunkach inwestycje kablowe są budowane na terenach otwartych, a wówczas dotyczy to tylko przypadków szczególnych np. rezerwatów przyrody. Natomiast na terenach zurbanizowanych z reguły takie linie muszą być prowadzone w tunelach – co z kolei znacznie podwyższa koszt budowy i eksploatacji linii.

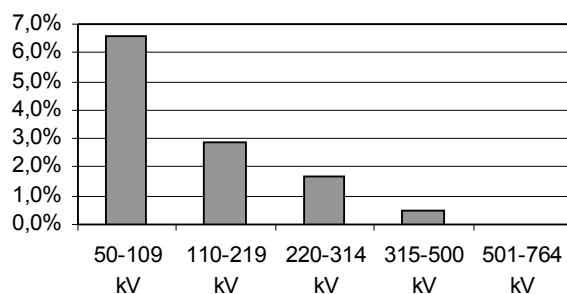
W ramach prac prowadzonych przez CIGRE od wielu już lat zbierane i analizowane są dane statystyczne pozwalające ocenić długość eksploatowanej na całym świecie sieci kablową WN i NN. Poprzednie takie prace opublikowano w 1996 roku, a najnowsze zakończono w grudniu 2007 roku [1]. Zebrane dane z kilkudziesięciu państw charakteryzują stan na koniec 2006 r. Ze względu na zróżnicowane poziomy napięć w poszczególnych państwach przyjęto pięć poziomów napięć linii kablowych dla których grupowano uzyskane informacje. W tabeli 1 zestawiono długość linii napowietrznych i kablowych na napięcie powyżej 50 kV.

¹ Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, aleksandra.rakowska@put.poznan.pl

Tab 1. Sumaryczna długość linii kablowych dla państw, w których długość linii kablowych na napięcie powyżej 50 kV przekracza 1000 km [1]

Kraj	Długość linii kablowych [km] na napięcie:			
	50-109 [kV]	110-219 [kV]	220-314 [kV]	315-500 [kV]
Dania	1 930	515		52
Francja	2 316	1	903	2
Hiszpania	509	181	479	80
Holandia	2 558	1 068	6	7
Japonia	11 760	1 769	1 440	123
Korea	2	2 144		221
Niemcy	857	4 972	45	65
Singapur	1 185		651	111
USA	946	2 904	663	536
W. Brytania	1 457	2 967	496	166
Włochy		907	197	34

Analiza stanu sieci elektroenergetycznej wysokich i najwyższych napięć pokazała, że nadal linie napowietrzne wyraźnie dominują w systemie elektroenergetycznym – niezależnie od poziomu napięcia. W różnych państwach kształtuje się to nieco odmiennie, jednakże generalnie w zakresie napięć 50 – 109 kV linie napowietrzne stanowią 93% sieci, a w przypadku napięcia 501-764 kV to aż 100%. Na rysunku 1 pokazano procentowy udział linii kablowych dla poszczególnych poziomów napięcia.



Rys. 1. Procentowy udział linii kablowych w sieci dla różnych poziomów napięć [1]

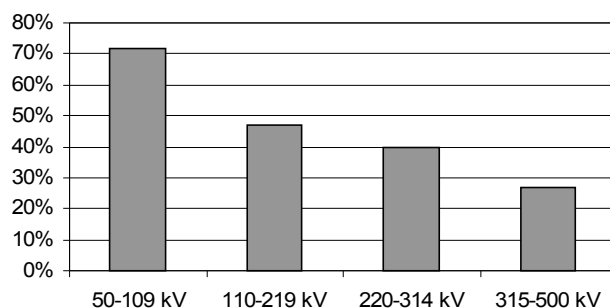
Procentowy przyrost długości linii kablowych (tab.2) w USA, Finlandii, Szwecji i we Włoszech może budzić zazdrość wielu energetyków. Natomiast zgodne ze stanem na koniec 2006 roku zmniejszenie długości linii kablowych w porównaniu do długości zarejestrowanej na końcu 2006 roku w sieci trzech państw nie powinna dziwić, ponieważ świadczy to o przebudowie dotychczas eksploatowanych na napięciu 110-219 kV linii kablowych i przejście na wyższe poziomy napięcia, co zapewnia zwiększenie zdolności przesyłowych linii.

Tab.2. Porównanie danych dotyczących długości linii kablowych na napięcie 110 – 219 kV; dane zebrane przez CIGRE [1]

Kraj	Stan na koniec roku		Przyrost linii kablowych [%]
	1996	2006	
Australia	679	201	-70
Austria	485	757	56
Belgia	140	311	122
Kanada	550	398	-28
Dania	210	515	145
Finlandia	47	280	496
Niemcy	4 400	4 972	13
Irlandia	84	171	104
Włochy	280	907	224
Japonia	1 532	1 765	15
Holandia	747	1 068	43
Hiszpania	186	181	-3
Szwecja	100	334	234
Szwajcaria	400	547	37
W. Brytania	2 431	2 967	22
USA	448	2 904	548

Oczywisty jest fakt, że wśród kabli WN i NN na pierwsze miejsce wysunęły się kable z izolacją z polietylenu usieciowanego (XLPE). I to z wielu względów, ale przede wszystkim związane jest to z bardzo dobrą jakością tych kabli oraz wyjątkowo pozytywnymi doświadczeniami eksploatacyjnymi [2]. Interesujące są dane dotyczące udziału linii ułożonych kablami o izolacji wytłaczanej w ogólnej długości linii kablowych dla 5 poziomów napięcia (rysunek 2) – stan na koniec 2006; dane CIGRE.

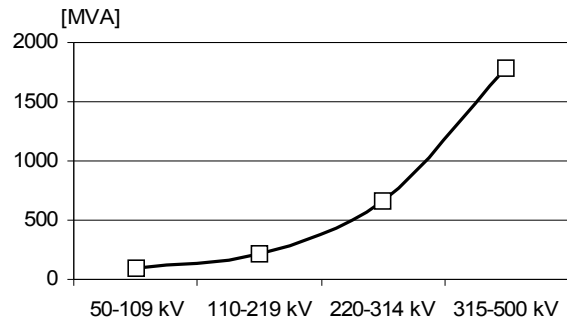
Mniejszy udział kabli o izolacji wytłaczanej w liniach kablowych na wyższe napięcia odzwierciedla etapy rozwoju jakości i technologii produkcji tych kabli. Kable o izolacji wytłaczanej na niskie napięcia (czyli z niższymi natężeniami pola elektrycznego w izolacji) były opracowane i zainstalowane w systemie elektroenergetycznym wcześniej, natomiast kable wysokich i najwyższych napięć (o znacząco wyższym roboczym natężeniu pola elektrycznego) znacznie później. Kable o izolacji wytłaczanej na napięcie powyżej 50 kV stosowane są od początku lat sześćdziesiątych, a kable na napięcie 400- 500 kV nie były właściwie układane przed rokiem 2000 [3].



Rys. 2. Procentowy udział kabli o izolacji wytłaczanej w sumarycznej długości linii kablowych [1]

2 PRACA LINII KABLOWYCH WN I NN W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

Poważnym problemem, który musi być uwzględniony w procesie projektowania linii kablowych, jest fakt, że najwyższa aktualnie uzyskana zdolność przesyłowa zbudowanej linii kablowej 400 kV nie przekracza 1500 MVA. W ramach prac wykonywanych dla PSE S.A. przez zespół z Politechniki Poznańskiej w roku 2005 – rozpatrywano możliwości zastąpienia odcinkiem linii kablowej fragmentu wielotorowej linii napowietrznej 2 x 400 kV + 2 x 220 kV. Zaproponowano wówczas rozwiązanie, które zapewniało równowagę zdolności przesyłowej proponowanych linii kablowych – z budowaną wówczas linią napowietrzną, jednakże wymagało to czterech torów linii 400 kV oraz dwóch torów linii 220 kV – czyli konieczność zastosowania po dwa tory linii kablowej dla jednego toru linii napowietrznej i zajęcia pasa gruntu o szerokości 40 m [4]. Budując wielotorową linię kablową WN i NN konieczne jest zajęcie znaczącego pasa terenu, aby zapobiec wzajemnemu oddziaływaniu na siebie kabli. Dodatkowo poszerzenie tego pasa może być spowodowane koniecznością zainstalowania dwóch lub więcej kabli elektroenergetycznych na jedną fazę – aby zapewnić wymaganą moc przesyłową, równą mocy tej linii napowietrznej, której fragment ma być linią kablową [5]. Na rysunku 3 pokazano średnią moc przesyłową linii kablowych dla danych statystycznych zebranych przez CIGRE WG B1-07 [1].



Rys. 3. Średnia moc przesyłowa (wyrażona w MVA) linii jednofazowej dla poszczególnych poziomów napięć [5 wg.1]

W systemie elektroenergetycznym linia kablowa zachowuje się jak kondensator. Kiedy jest podłączona do napięcia przemiennego podlega nieustannemu ładowaniu i rozładowywaniu. Dla kabli 400 kV prąd ładowania jest około 10-40 razy większy od analogicznego prądu pojawiającego się w przewodach linii napowietrznych [1]. Dlatego dla dłuższych linii kablowych konieczne jest instalowanie dławików (jako źródeł indukcyjnych) w celu kompensacji mocy biernej. Moc bierna pojemnościowa linii kablowych staje się bardzo ważnym elementem, który należy uwzględnić przy pracach projektowych – szczególnie w przypadku linii na wyższe napięcia.



Rys. 4. Dławik trójfazowy do kompensacji mocy biernej w linii 400 kV (160 MVar) [1]

Nie rozpatrywane jeszcze kilka lat temu zagadnienie możliwości generowania pola elektromagnetycznego, a właściwie przede wszystkim pola magnetycznego przez linie kablowe WN i NN – obecnie stanowi ważny punkt przy projektowaniu linii kablowych, czasami wręcz decydujący o wielu aspektach nowej instalacji [6]. Problem z koniecznością obniżania poziomu pola magnetycznego wokół linii kablowych skutkuje stosowaniem różnego typu środków zaradczych.

3 PODSUMOWANIE

Przebieg trasy linii kablowej musi być przeanalizowany pod kątem oddziaływania pola magnetycznego na środowisko [6], a dobór kabla oraz innych elementów linii powinien być silnie uzależniony od warunków otoczenia oraz warunków pracy systemu elektroenergetycznego, do której linia będzie włączona. W przesyłowych liniach napowietrznych wysokich i najwyższych napięć, zastąpienie nawet stosunkowo krótkich odcinków linii napowietrznej linią kablową wymaga kompensacji mocy biernej pojemnościowej. Urządzenia kompensujące o odpowiednio dobranej mocy powinny być zainstalowane na końcach odcinka linii kablowej. Moc tych urządzeń powinna pokryć zapotrzebowanie na moc bierną pojemnościową (tzw. moc ładowania kabla) przy pracy linii na biegu jałowym. Kompensator powinien mieć możliwość regulacji w szerokim zakresie

4 LITERATURA

1. CIGRE TB 338, *Statistics of AC underground cables in power networks*, WG B1.07, December 2007.
2. Rakowska A., *Rozwój linii kablowych – a oczekiwania eksploatacyjne*, Przegląd Elektrotechniczny, 2006, nr 3, 31-35.
3. Rakowska A. *Zwiększanie obciążalności kabli wysokich i najwyższych napięć*, XIV Konferencja Elektroenergetyczne linie kablowe i napowietrzne, Zakopane, KABEL 2007.
4. Rakowska A., Grzybowski A., *Aspekty techniczno-ekonomiczne związane z projektowaniem, budową i eksploatacją wielotorowych kablowych linii przesyłowych o napięciu maksymalnym 400 kV*, opracowanie IE PP Poznań, wrzesień 2005; od 2005 <http://www.nowaliniapoznan.pl/index.php?mg=9>
5. Rakowska A., Grzybowski A., Siodła K., Stiller J., *Nowe technologie budowy linii kablowych NN*, opracowanie IE PP dla PSE-Operator, Poznań 2007/2008
6. Rakowska A., Grzybowski A., Stiller J., *Oddziaływanie linii kablowych najwyższych napięć prądu przemiennego (AC) na środowisko*, Opracowanie IE PP dla PSE, Poznań 2006

HV power cable lines AC

The expansion of high voltage cable lines construction is a result of, among others, the increasing objections of local communities against building of new overhead power lines working with high and extra high voltage. But also the construction of new cable lines encounters certain technical limitations.