

Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne kompaktowych linii napowietrznych wysokich napięć

Streszczenie. W artykule przedstawiono zagadnienia związane z konstrukcją linii napowietrznych wysokich napięć. Zaprezentowano nowoczesne kompaktowe linie napowietrzne jako alternatywę dla tradycyjnych napowietrznych linii energetycznych, umożliwiającą znaczące zwiększenie przepustowości linii napowietrznych. Zagadnienia linii napowietrznych przedstawiono na tle aktualnego stanu i kierunków rozwoju sieci wysokich i najwyższych napięć w Polsce. Zaprezentowano przykłady istniejących projektów linii kompaktowych na świecie oraz przedstawiono pierwszą w Polsce kompaktową linię napowietrzną na napięciu 110 kV. W podsumowaniu pracy stwierdzono potrzebę prowadzenia badań w celu opracowania konstrukcji nowoczesnej kompaktowej linii napowietrznej na potrzeby Krajowego Systemu Elektroenergetycznego.

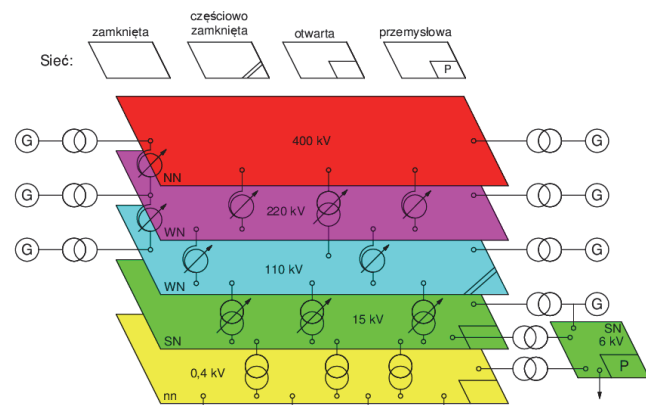
Abstract. This paper presents an overview of design aspects of high voltage overhead lines. Modern compact solutions are presented as alternative for standard overhead line designs, allowing significant increase of transmitted power through overhead lines corridors. The aspects of overhead lines are presented on the background of the current state and development plans of high voltage grid in Poland. Examples of compact overhead lines projects are presented globally as well as the first compact overhead line in Poland operated at 110 kV is outlined. The paper is concluded by the need for development of modern compact overhead line for domestic power grid in Poland (**Modern solutions for compact high voltage overhead lines**).

Słowa kluczowe: system elektroenergetyczny, linie napowietrzne, kompaktowe linie elektroenergetyczne, słupy, izolatory.

Keywords: power system, overhead lines, compact overhead lines, towers, insulators.

Wprowadzenie

Sieć przesyłowa w Polsce to linie najwyższych napięć (NN) o napięciach znamionowych 220 kV, 400 kV i 750 kV. Zadaniem tej sieci jest przesył energii elektrycznej wytworzonej w jednostkach wytwórczych do miejsc jej dalszej dystrybucji. Polskie linie przesyłowe mają długości od kilkudziesięciu do maksymalnie 150 km (średnia długość linii NN w Polsce to 54,74 km [1]). Operatorem Systemu Przesyłowego (OSP) w Polsce jest zarządzana przez Skarb Państwa spółka Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. (PSE S.A.). Spółka ta zgodnie z ustawą [2] jest odpowiedzialna za ruch sieciowy w przesyłowym systemie elektroenergetycznym (SEE), bieżące i długookresowe bezpieczeństwo funkcjonowania tego systemu, eksploatację, konserwację, remonty oraz niezbędną rozbudowę sieci przesyłowej, w tym połączeń z innymi SEE [3].



Rys. 1. Struktura Krajowego Systemu Elektroenergetycznego [6]

W skład polskiej sieci przesyłowej [1] (stan na dzień 31 grudnia 2015 r.) wchodzi 257 linii o łącznej długości 14 069 km, w tym: 1 linia o napięciu 750 kV o długości 114 km, 89 linii o napięciu 400 kV o łącznej długości 5 984 km, 167 linii o napięciu 220 kV o łącznej długości 7 971 km, 106 stacji NN, a także podmorskie połączenie kablowe 450 kV DC Polska-Szwecja o całkowitej długości 254 km (z czego 127 km należy do PSE S.A.). Sieć

przesyłowa Polski jest połączona z sieciami zagranicznymi poprzez linie transgraniczne prądu przemiennego o napięciu 110 kV, 220 kV, 400 kV, 750 kV. Dodatkowo, spółka PSE S.A. zarządza podmorską linią kablową o napięciu 450 kV prądu stałego, łączącą polską sieć przesyłową ze Szwecją. W 2015 r. oddano do użytku połączenie Polska-Litwa, zrealizowane linią 400 kV relacji Elk Bis-Alytus.

Szacuje się [4, 5], że w latach 2011÷2025 poziom planowanych nakładów na rozbudowę sieci przesyłowej w Polsce będzie przewyższał kwotę 22,6 mld zł.

Sieci dystrybucyjne w Polsce to linie wysokiego napięcia (WN) o napięciu 110 kV oraz linie średniego (SN) i niskiego (nn) napięcia. Zadaniem sieci dystrybucyjnej jest dostarczenie energii elektrycznej bezpośrednio do odbiorcy. Sieci dystrybucyjne w Polsce podzielone są na obszary, którymi zarządzają Operatorzy Systemów Dystrybucyjnych (OSD). OSD są odpowiedzialni [2] za bieżący ruch sieciowy w SEE dystrybucyjnym, bieżące i długookresowe bezpieczeństwo funkcjonowania tego systemu, eksploatację, konserwację, remonty oraz niezbędną rozbudowę sieci dystrybucyjnej, w tym połączeń z innymi SEE.

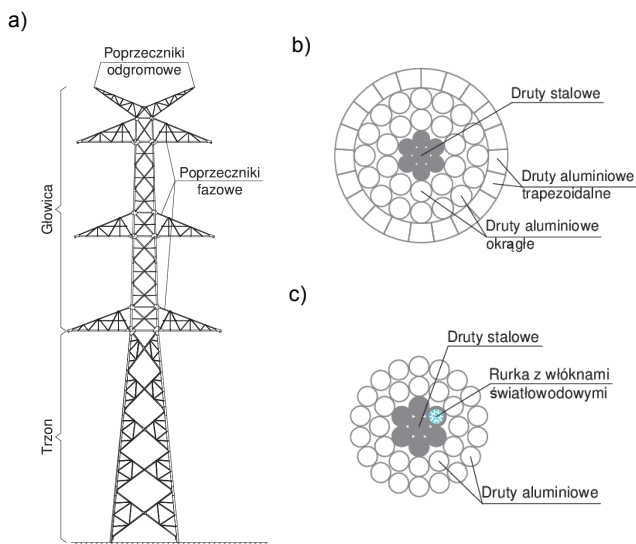
Plany rozwoju Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) (rys. 1) zawarte w dokumentach [7÷11] określają jako cel do roku 2020 zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego Polski poprzez budowę nowych źródeł mocy oraz modernizację już istniejących, konwencjonalnych, jednostek wytwórczych, a także poprzez stopniowe zwiększenie udziału Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) w KSE (przyłączenie do KSE farm wiatrowych, małych elektrowni wodnych, jednostek kogeneracyjnych oraz fotowoltaicznych). W planach rozwoju KSE wskazuje się również [7÷11] modernizację istniejącej sieci przesyłowej i sieci dystrybucyjnych, w tym budowę nowych linii napowietrznych i kablowych wszystkich napięć, jak również budowę nowych punktów transformacji i dystrybucji energii elektrycznej. Przewiduje się również budowę nowych połączeń międzysystemowych, m.in. rozbudowę możliwości przesyłowych połączenia Polska-Litwa do 1000 MW, budowę nowego połączenia z systemem niemieckim (połączenie GerPol), a także uruchomienie elektrowni jądrowej po roku 2025.

Rozbudowa linii elektroenergetycznych

Istniejące linie elektroenergetyczne osiągają obecnie granice swoich zdolności przesyłowych i dystrybucyjnych. Aktualnie podejmowane zabiegi, polegające na dociążaniu linii w celu zwiększenia zdolności przesyłowych, są sposobami krótkotrwałymi i mało efektywnymi. Tak jak w przypadku jednostek wytwórczych, niezbędne są [4, 5] inwestycje w gruntowne modernizacje (często wiążące się z całkowitą przebudową) istniejących linii WN i NN oraz w budowę nowych korytarzy przesyłowych i dystrybucyjnych.

Szczególne znaczenie przy projektowaniu nowych linii elektroenergetycznych ma przebieg linii, który w znaczący sposób wpływa na lokalny krajobraz. Z przebiegiem linii wiąże się spadek wartości gruntów, a także obawy lokalnych społeczności przed szkodliwym wpływem pól elektromagnetycznych generowanych przez linie na zdrowie ludzi mieszkających w ich pobliżu. Z tego powodu, przy realizacji nowych inwestycji, poszukiwane są takie rozwiązania, które pozwalają na spełnienie stawianych im wymagań przy jednoczesnym uwzględnieniu obaw i roszczeń lokalnych społeczności, a przy tym będą możliwe do realizacji przez OSP oraz OSD.

Realizacja interesów wszystkich stron, których dotyczy dana inwestycja, wymaga projektowania nowych linii napowietrznych wszystkich napięć według najnowszych standardów, a następnie budowania ich z zastosowaniem najnowszych technologii.



Rys. 2. Sylwetka słupa kratowego typu E33 P (a), budowa przewodu stalowo-aluminiowego (ACSR) zbudowanego z drutów okrągłych (b), budowa przewodu odgromowego typu OPGW (c) [12]

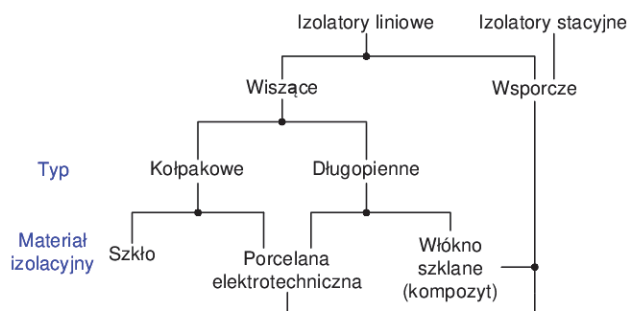
W niniejszym artykule przedstawiono zagadnienia związane z budową linii napowietrznych WN, na których tle przedstawiono nowoczesne konstrukcje napowietrznych linii kompaktowych. Linie kompaktowe pozwalają w znaczący sposób ograniczyć jedną z najbardziej istotnych kwestii występujących przy budowie nowych linii, jaką jest zajętość terenu niezbędnego do wybudowania i prawidłowego funkcjonowania linii. Stosowanie nowych technologii w projektowaniu i budowie linii napowietrznych pozwala również na zmniejszenie kosztów materiałowych budowy linii, a także na zmniejszenie występowania awarii zmodernizowanych i nowych linii, a poprzez to na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego systemu.

Rozwiązania techniczne linii napowietrznych WN

Rozpatrując elektroenergetyczną linię napowietrzną WN, wyróżnia się część konstrukcyjną oraz część elektryczną linii. Część konstrukcyjną (rys. 2a) stanowią konstrukcje wsporcze (słupy, bramki, itp.) o wymiarach takich, aby zapewnić wymagane odległości przewodów od ziemi, względem siebie oraz względem elementów konstrukcji słupa. Część elektryczną stanowią przewody (fazowe, odgromowe i telekomunikacyjne), zawieszenia przewodów (łańcuchy izolatorów, zawiesia), oraz układy uziemiające.

Linie napowietrzne wyposażone są w przewody fazowe (robocze), służące do przesyłania i dystrybucji energii elektrycznej, przewody odgromowe, których zadaniem jest ochrona linii przed skutkami wyładowań, oraz przewody telekomunikacyjne spełniające rolę nośnika informacji.

Typowa konstrukcja przewodów fazowych i odgromowych to przewody stalowo-aluminiowe (ang. *Aluminium Conductor Steel Reinforced*, ACSR), o rdzeniu złożonym z drutów stalowych oraz zewnętrznych warstwach w postaci drutów aluminiowych, nawiniętych na rdzeń (rys. 2b). Stalowy rdzeń odpowiada za wytrzymałość mechaniczną przewodu, natomiast przez druty aluminiowe przepływa prąd elektryczny. Stosuje się również konstrukcje bardziej złożone przewodów odgromowych. Przykładowo, rys. 2c przedstawia budowę przewodu typu OPGW (ang. *Optical Ground Wire*), w którym jeden z drutów aluminiowych zamieniono na rurkę z włóknami światłowodowymi.



Rys. 3. Typy izolatorów stosowanych w liniach napowietrznych, [13, 14]

Przewody fazowe, przez które przepływa prąd elektryczny, są podłączone do uziemionych konstrukcji słupów przy użyciu układów izolacyjnych, których podstawowymi elementami są izolatory. Izolatory mają za zadanie skuteczne odizolowanie względem siebie dwóch punktów o różnych potencjałach elektrycznych. Oprócz odpowiednich parametrów elektrycznych, zależnych m.in. od wartości napięcia i wymaganej strefy zabrudzeniowej, izolatory muszą spełnić wymagania co do ich wytrzymałości mechanicznej. Wiąże się to z przenoszeniem przez nie sił pochodzących od przewodów. Ze względu na miejsce stosowania, izolatory dzieli się na liniowe i stacyjne (rys. 3). Ze względu na typ i użyty materiał izolacyjny, izolatory dzieli się na kolpakowe i długopienne, wykonane ze szkła, porcelany elektrotechnicznej i włókna szklanego (izolatory kompozytowe). Jako materiał, z którego wykonane są klosze izolatorów kolpakowych, stosuje się szkło hartowane, ze względu na jego dobre parametry elektryczne oraz wytrzymałość mechaniczną w porównaniu ze szkłem odprężonym i porcelaną elektrotechniczną. Zaletą izolatorów długopięnnych kompozytowych jest ich niska waga oraz łatwa w do uzyskania w produkcji znaczna długość izolatora, pozwalająca na uzyskanie wymaganych parametrów elektrycznych (np. drogi upływu, przerwy

iskrowej) bez konieczności łączenia kilku izolatorów. Wadą konstrukcji kompozytowych jest stosunkowo mała odporność rdzenia na siły zginające, mogące doprowadzić do jego pęknięcia, co ma przede wszystkim duże znaczenie przy długich izolatorach.

Obecnie najczęściej stosowanymi izolatorami w liniach napowietrznych WN są izolatory wiszące, połączone w łańcuchy izolatorów i tworzące układ izolacyjny. Izolatory wsporcze są stosowane w liniach nn i SN, oraz w liniach kompaktowych WN.

Uziemienia słupów w elektroenergetycznych liniach napowietrznych mają za zadanie ochronę linii i ludzi, znajdujących się w jej sąsiedztwie, przed skutkami zwarć i wyładowań atmosferycznych. Wymiary uziemień są projektowane indywidualnie dla poszczególnych typów słupów i rezystywności gruntu w miejscach posadowienia słupów. Zgodnie z normą [15], każdy stół linii WN należy wyposażyć w układ uziemiający, a rezystancja uziemień nie powinna przekraczać dopuszczalnych wartości.

Typowymi rozwiązaniami układów uziemiających są uziemienia powierzchniowo-głębinyowe (poziomo-pionowe), złożone z otoku ułożonego wokół słupa i uziomów pionowych pograżonych w ziemi. Jako uziomy pionowe stosuje się: pręty stalowe ocynkowane, pręty stalowe z nałożoną elektrolitycznie warstwą miedzi (pomiedziowane), rurki stalowe (do których wlewa się odczynnik chemiczny zmniejszający wartość rezystancji uziomu).

Układy uziemiające służą również jako środki ochrony przeciwporażeniowej w miejscach często uczęszczanych przez ludzi. W tym celu uziemienia najczęściej rozbudowuje się do uziemień ochronnych w postaci kilku otoków ułożonych schodkowo.

Wpływ kompaktowości linii napowietrznych na przesył energii i obszar zajmowany przez linię

Kompaktowość linii napowietrznych definiuje się [16] jako zmniejszenie do dopuszczalnego minimum odstępów pomiędzy przewodami fazowymi linii, przy równoczesnym zachowaniu (lub poprawie) parametrów funkcjonalnych i technicznych linii. Korzyścią wynikającą ze stosowania linii kompaktowych jest zwiększenie możliwości przesyłowych linii przy jednoczesnym zmniejszeniu powierzchni zajmowanej przez linię (a tym samym również zredukowaniu wpływu linii na otoczenie).

Zdolność linii do przenoszenia energii elektrycznej charakteryzuje się przy użyciu pojęcia mocy naturalnej linii (P_{nat}). Moc naturalną linii można opisać wzorem [17]:

$$(1) \quad P_{nat} = \frac{U_n^2}{Z_c}$$

gdzie: P_{nat} – moc naturalna linii (MW), Z_c – impedancja falowa linii (Ω), U_n – napięcie znamionowe linii (kV).

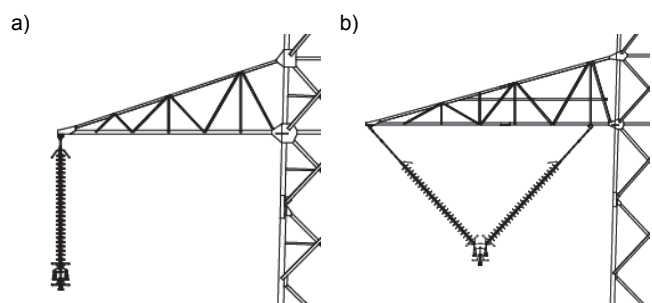
Typowe wartości impedancji falowej linii napowietrznych WN zawierają się w granicach 250÷395 Ω [17], przy czym linie o wyższym napięciu mają mniejszą impedancję falową.

Redukcja odstępów pomiędzy przewodami fazowymi linii, zmiana promienia wiązki lub liczby przewodów w wiązce, powoduje redukcję impedancji falowej linii [17], a przez to zwiększenie mocy naturalnej linii. Dzięki temu, dla linii o mniejszych gabarytach (głównie słupa przelotowego) jak i o bardziej kompaktowej konfiguracji przewodów (w tym konstrukcji wiązki wieloprzewodowej), wzrasta zdolność linii do przesyłania energii elektrycznej.

Zmniejszenie odległości pomiędzy przewodami fazowymi skutkuje zmniejszeniem powierzchni zajmowanej przez linię. Wiąże się to wprost ze zredukowaniem pasa służebności przesyłu, czyli tak zwanego „prawa drogi” (ang. *right of way*, ROW), które pozwala OSP lub OSD na

dysponowanie gruntem tak, aby wybudowana na nim linia mogła pracować prawidłowo. Mniejszy obszar w obrębie linii wyłączony z użytkowania (np. rolnego) przekłada się na zmniejszenie kosztów budowy oraz użytkowania linii, poprzez zmniejszenie wydatków odszkodowań i rekompensat dla właścicieli gruntów z tytułu zajmowanej ziemi oraz spadku wartości nieruchomości. Obecnie dla linii przesyłowych w KSE, spółka PSE S.A. wymaga ustanowienia służebności przesyłu w pasie 50 m dla linii o napięciu 220 kV oraz 70 m dla dwutorowych linii o napięciu 400 kV. Dla linii o napięciu 110 kV, będących w zarządzie OSD, najczęściej spotkanym pasem służebności przesyłu jest pas o szerokości 20 m.

Redukcję pasa służebności przesyłu realizuje się w tradycyjnych liniach, poprzez stosowanie łańcuchów izolatorowych typu ŁPV zamiast tradycyjnych łańcuchów izolatorów przelotowych ŁP lub ŁP2, stosowanie krótszych przęseł (odległości między słupami) w linii, oraz stosowanie słupów z pionowym układem przewodów zamiast słupów z układem poziomym (lub zbliżonym do poziomego, np. trójkątnym). Zastosowanie łańcuchów izolatorowych ŁPV eliminuje zjawisko wychylenia łańcucha izolatorów pod wpływem parcia wiatru, dzięki czemu możliwe jest zbliżenie przewodów fazowych do konstrukcji słupa. Przykładowo, na rys. 4 przedstawiono fragment konstrukcji słupa linii 400 kV, w których zastosowano izolatory typu ŁP2 oraz ŁPV. Odległość pomiędzy skrajnymi przewodami linii wynosi, odpowiednio, 16,7 m i 13,4 m. Przy zastosowaniu krótszych przęseł linii, zwisy przewodów są mniejsze, co wpływa na zmniejszenie wymaganych minimalnych odstępów pomiędzy przewodami fazowymi zarówno na samym słupie, jak i w środku przęsła. Wadą tego rozwiązania jest zwiększenie liczby słupów, co ma wpływ na całkowity koszt inwestycji.



Rys. 4. Porównanie fragmentów konstrukcji słupa linii 400 kV z zastosowaniem łańcuchów izolatorowych przelotowych typu: a) ŁP2, b) ŁPV [18]

Wymienione powyżej metody zawężenia obszaru zajmowanego przez linię realizuje się w odniesieniu do tradycyjnych linii WN. Jednak zdecydowanie lepsze rezultaty zmniejszenia gabarytów napowietrznych linii elektroenergetycznych można uzyskać stosując wymienione wyżej metody, wzbogacone o nowe rozwiązania technologiczne, którymi są linie kompaktowe.

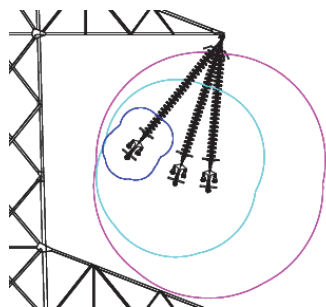
Kompaktowe napowietrzne linie elektroenergetyczne prądu przemiennego

Gabaryty linii napowietrznej zależą głównie od gabarytów słupów zastosowanych do wybudowania danej linii, a te z kolei od warunków (m.in. normatywnych), na które zostały zaprojektowane.

Głównym warunkiem wymiarującym głowicę słupa (rys. 2a) jest wiejący wiatr, w wyniku którego łańcuchy izolatorów (przelotowe) oraz przewody fazowe ulegają wychyleniom. Duże wychylenie może spowodować nadmierne zbliżenie się przewodu pod napięciem do uziemionej konstrukcji słupa i wywołać doziemienie. Innym

negatywnym skutkiem nadmiernego zbliżenia się przewodów fazowych do konstrukcji słupa jest możliwość wystąpienia uszkodzeń, zarówno przewodów, jak i osprzętu liniowego.

Na rys. 5 pokazano wychylania łańcuchów izolatorów typu ŁP2 na słupie przelotowym typu P serii E33. Poszczególne obszary (zaznaczone różnymi kolorami) pokazują wymagane normami [15, 19] minimalne odstępy izolacyjne na słupie. Kolejne obszary zaznaczone na rysunku, oznaczają granice minimalnej odległości między przewodami fazowymi, a: częściami uziemionymi (warunek obciążenia oblodzeniem), częściami uziemionymi (warunek obciążenia wiatrem z wyjątkiem obciążenia ekstremalnego), częściami uziemionymi (warunek ekstremalnego obciążenia wiatrem).

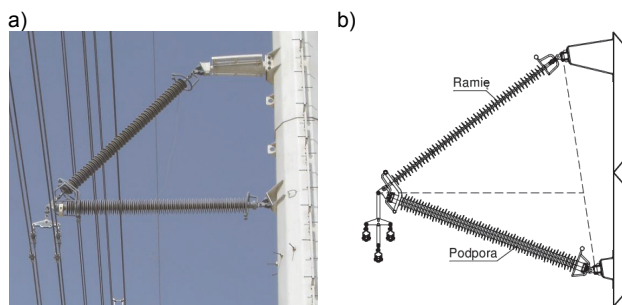


Rys. 5. Wychylania łańcuchów izolatorów typu ŁP2 na słupie przelotowym serii E33 linii 400 kV [18]

Stosowanym w liniach kompaktowych sposobem ograniczenia wpływu działania wiatru na przelotowe łańcuchy izolatorów i zarazem ograniczenie strefy oddziaływania linii na otoczenie jest zastosowanie izolatorów wsporczych lub poprzeczników izolacyjnych.

Poprzeczniki izolacyjne stosowane w kompaktowych liniach elektroenergetycznych prądu przemiennego

Poprzeczniki izolacyjne to złożone systemy izolacyjne, które pozwalają wyeliminować tradycyjny poprzecznik słupa linii napowietrznej. Skutkuje to znacznym zmniejszeniem szerokości słupa oraz ograniczeniem pasa zajmowanego przez linię. Jako elementy izolacyjne poprzeczników stosuje się najczęściej izolatory kompozytowe, wykonane w oparciu o rdzeń z żywicy epoksydowej, wzmocnionej włóknem szklanym.



Rys. 6. Poprzecznik izolacyjny w układzie pionowym dla linii 400 kV z wiązką trójprzewodową (a) [20]; poprzecznik izolacyjny w układzie pionowym na głowicy słupa kratowego (b) [21]

Na rys. 6a przedstawiono poprzecznik izolacyjny w układzie pionowym dla słupa przelotowego linii 400 kV z trójprzewodową wiązką przewodu fazowego [20]. Poprzecznik ten wykonany jest w konfiguracji pionowej i składa się z ramienia oraz podpory (rys. 6b). Oba te elementy przytwierdzone są do kolumny słupa wahlwiewie. Ruchome mocowanie pozwala ograniczyć wpływ sił

wzdłużnych pochodzących od przewodów, które mogą skutkować złamaniem się izolatorów [22].

Izolatory wsporcze stosowane w kompaktowych liniach elektroenergetycznych prądu przemiennego

Izolatory wsporcze w liniach kompaktowych mają zastosowanie m.in. jako podtrzymanie przewodów mostków prądowych na słupach mocnych. Dzięki wykorzystaniu izolatorów wsporczych, wychylenia mostka mogą zostać pominięte w trakcie projektowania głowicy słupa. Na rys. 7 przedstawiono mostek prądowy na linii 400 kV wybudowanej w Holandii.

Izolatory wsporcze stosuje się również jako elementy izolacyjne na słupach przelotowych, jednak ze względu na ograniczoną wytrzymałość mechaniczną stosuje się je głównie w liniach o napięciu do 123 kV. Rys. 8 przedstawia typowe rozwiązania izolatorów wsporczych dla linii o napięciu do 123 kV.



Rys. 7. Mostki prądowe (1) podtrzymywane izolatorami wsporczymi (2) w linii 400 kV [23]



Rys. 8. Izolator wsporczy stosowany w liniach 110 kV [24]

Wybrane realizacje linii elektroenergetycznych kompaktowych prądu przemiennego

W niniejszym rozdziale przedstawiono wybrane realizacje linii napowietrznych wysokich napięć wykonane w technologii linii kompaktowych. Rys. 9 przedstawia holenderskie rozwiązanie linii 2×380 kV + 2×170 kV, którą wybudowano na słupach rurowych.



Rys. 9. Sylwetki słupów przelotowych linii kompaktowej 2×380 kV + 2×170 kV (Holandia) [23]

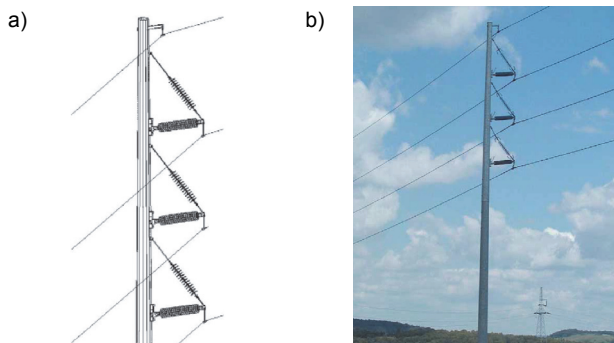
Na rys. 10 przedstawiono dwutorową linię kompaktową 420 kV zlokalizowaną w Dubaju. Odległość pomiędzy skrajnymi elementami konstrukcji słupa linii znamionowanej na to samo napięcie 420 kV, wynosi [25]: 50 m dla linii

o konstrukcji tradycyjnej, 9,6 m dla linii o konstrukcji kompaktowej.



Rys. 10. Linia tradycyjna i kompaktowa 420 kV w Dubaju [25]

Na rys. 11 przedstawiono słup rurowy pierwszej polskiej linii kompaktowej. Jest to linia o napięciu 110 kV wybudowana w Krakowie na potrzeby zwolnienia terenów przeznaczonych dla III Kampusu Uniwersytetu Jagiellońskiego. Z tego względu zdecydowano [26] o przesunięciu przecinającej tereny przyszłego kampusu istniejącej linii 110 kV relacji Skawina-Ruczaj. Na budowę linii kompaktowej zdecydowano się po odrzuceniu wariantu budowy linii kablowej [26]. Nowy odcinek linii kompaktowej 110 kV o długości 2,5 km został zaprojektowany w taki sposób, aby natężenie pola elektrycznego na wysokości 2 m nad ziemią nie przekraczało wartości 1 kV/m. Spełnienie tego warunku uzyskano poprzez zastosowanie słupów o odpowiednio dużej wysokości (26 m÷35 m) oraz dzięki zmniejszeniu odległości między słupami (przęśla do ok. 90 m (standardowo 250 m÷320 m) [26]. Dzięki zastosowaniu tak krótkich przęseł, zwisy przewodów fazowych są stosunkowo niewielkie i wynoszą 1,5 m÷3,5 m w zależności od zastosowanego przewodu i naprężenia.



Rys. 11. Słup przelotowy pierwszej polskiej linii kompaktowej o napięciu 110 kV (Kraków): a) głowica słupa, b) sylwetka wybudowanego słupa [26]

Podsumowanie i wnioski końcowe

W artykule przedstawiono przegląd zagadnień oraz praktycznych realizacji napowietrznych linii prądu przemiennego WN, wykonanych w technologii kompaktowej. Linie te są obecnie istotną alternatywą dla tradycyjnych elektroenergetycznych linii napowietrznych WN i NN. Dzięki swojej konstrukcji, linie kompaktowe pozwalają przede wszystkim zawęzić pas technologiczny linii, co może znacznie zmniejszyć koszt budowy linii, a także ograniczyć negatywne skutki społeczne inwestycji.

Dzięki zastosowaniu poprzeczników izolacyjnych w miejscu standardowych rozwiązań konstrukcyjnych słupów linii napowietrznych (poprzecznik plus łańcuch izolatorów), znaczącej redukcji ulega całkowita ilość stali, jaką należy wykorzystać podczas budowy słupów. Przekłada się to na ograniczenie zarówno kosztów budowy, jak i eksploatacji linii. Dzięki mniejszej ilości stali koniecznej

do wybudowania linii, zmniejszeniu ulega całkowita powierzchnia elementów konstrukcyjnych, które należy zabezpieczyć antykorozyjnie (przez zastosowanie pokrycia farbami antykorozyjnymi).

Zastosowanie poprzeczników izolacyjnych pozwala na całkowite wyeliminowanie stosowanych tradycyjnie przelotowych łańcuchów izolatorowych. Poprzeczniki izolacyjne stosowane w liniach kompaktowych są też znacznie lżejsze od tradycyjnych łańcuchów izolatorowych.

Linie kompaktowe w Polsce istnieją jedynie na poziomie sieci dystrybucyjnych, natomiast w sieciach przesyłowych WN i NN stosowane są wyłącznie linie oparte na tradycyjnych rozwiązaniach słupów kratowych lub rurowych z tradycyjnymi układami izolacyjnymi.

W przyszłości linie kompaktowe mogą być istotnym środkiem umożliwiającym zwiększenie zdolności przesyłowych istniejących linii napowietrznych. Proces projektowania i budowy pierwszej kompaktowej linii przesyłowej w Polsce, o nowej konstrukcji słupów i układów izolacyjnych, wymaga podjęcia prac rozwojowych uwzględniających czynniki nakreślone w niniejszym artykule.

Autorzy: mgr inż. Marcin Tuzim, ELBUDBIS Sp. z o.o., ul. Foksal 18, 00-372 Warszawa, Polska, E-mail: m.tuzim@elbudbis.pl, dr inż. Adam Smolarczyk, dr inż. Marcin Szewczyk, Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki, Plac Politechniki 1, 00-661, Warszawa, Polska, E-mail: adam.smolarczyk@ien.pw.edu.pl, marcin.szewczyk@ien.pw.edu.pl.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PSE S.A. (12/2016): Informacje dostępne na stronie: <http://www.pse.pl/index.php?dzid=79&did=22>
- [2] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz.U. 1997 Nr 54 poz. 348).
- [3] PSE S.A. (12/2016): Informacje dostępne na stronie: <http://www.pse.pl/index.php?dzid=6&did=2>
- [4] Z. Maciejewski: „Stan krajowego systemu elektroenergetycznego”, Polityka Energetyczna Tom 14, Zeszyt 2, 2011.
- [5] Odpowiedź podsekretarza stanu w Ministerstwie Gospodarki na interpelację nr 19742 w sprawie barier prawnych realizacji inwestycji związanych z budową i rozbudową sieci przesyłowych energii elektrycznej, Warszawa, 2011.
- [6] S. Bernas: Systemy elektroenergetyczne, WNT, Warszawa 1986.
- [7] PSE S.A.: Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2016-2025, Konstancin-Jeziorna, 2015.
- [8] Polska Grupa Energetyczna S.A.: Strategia GK PGE na lata 2014-2020, Warszawa, 2013.
- [9] TAURON Polska Energia S.A.: Strategia zrównoważonego rozwoju i społecznej odpowiedzialności biznesu, Katowice, 2015.
- [10] Enea S.A.: Infrastruktura dystrybucyjna ENEA Operator przy zachodniej granicy Polski i perspektywy jej rozwoju, Poznań, 2013.
- [11] ENERGA S.A.: Strategia rozwoju Grupy ENERGA na lata 2013-2020, Gdańsk, 2012.
- [12] AFL Telecommunications GmbH: Przewód OPGW AL3/A20SA 85/36 -10,1, Karta katalogowa producenta.
- [13] J. Bielecki, J. Wańkiewicz: Izolatory ceramiczne do sieci średnich napięć i 110 kV. Zalecane właściwości i badania oraz wytyczne doboru, PTPIREE, Warszawa, 2013.
- [14] Praca zbiorowa CIGRE: CIGRE Green Books - Overhead Lines, Paryż, 2014.
- [15] Polska Norma (PN): PN-EN 50341-2-22:2016-04: Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV - Część 2-22: Krajowe Warunki Normatywne (NNA) dla Polski (oparte na EN 50341-1:2012), PN, 2016.
- [16] Publikacja zbiorowa CIGRE: Compact AC lines (CIGRE WG B2.63).
- [17] F. Kiesslin, P. Nefzger, J. F. Nolasco, U. Kanitzky: Overhead Power Lines. Planning, Design, Construction. Wydawnictwo Springer, 2003.

- [18] M. Tuzim: Linie kompaktowe prądu przemiennego jako nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne linii napowietrznych wysokich napięć, Praca dyplomowa magisterska, Warszawa 2017.
- [19] Polska Norma (PN): PN-EN 50341-1:2013-03: Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV - Część 1: Wymagania ogólne -- Specyfikacje wspólne, PN, 2014.
- [20] PFISTERER SEFAG AG: Poprzecznik izolacyjny, Rysunek producenta nr 138 141-183, 2012.
- [21] M. Tuzim: Dobór wybranych rozwiązań konstrukcyjnych linii napowietrznych WN oraz projekt przykładowego przejścia linii WN przez fragment terenu Natura 2000, Praca dyplomowa inżynierska, Warszawa 2013.
- [22] A. C. Baker, R. A. Bernstorf, E. del Bello, R. J. Hill, A. J. Phillips, D. G. Powell, D. Shaffner, G. A. Stewart, T. Grisham: "IEEE Guide for Braced Insulator Assemblies for Overhead Transmission Lines 60 kV and Greater", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 23, no. 2, kwiecień 2008.
- [23] TenneT: „The Wintrack pylon: an innovative solution for new electricity connections”, Folder marketingowy.
- [24] CTC INSULATOR C.O. (02/2017): Informacje dostępne na stronie: <http://www.ctcinsulator.com>
- [25] D. Dudek (PFISTERER): „Alternatywne sposoby prowadzenia linii napowietrznych 400 kV”, Materiały szkoleniowe.
- [26] T. Musiał: "Pierwsza taka linia w Polsce", Budowlani. Biuletyn Małopolskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa, grudzień 2005.