

Elektroenergetyka – problemy i wyzwania

cz. II. Wybrane aspekty techniczne

Elektroenergetyka jest dziedziną Elektrotechniki, zajmującą się zagadnieniami wytwarzania, przesyłu i rozdzielenia energii elektrycznej. Wielki postęp, jaki dokonał się od początków elektroenergetyki, za który można uznać przesył mocy 150 kW pierwszym trójfazowym układzie przesyłowym, zbudowanym w 1891 roku przez Michała Doliwo-Dobrowolskiego, spowodowany był ciągłym wzrostem uprzemysłowienia i rozwoju technicznego.

W ponad stuletnim okresie rozwoju, w elektroenergetyce zachodziły fundamentalne zmiany, od ilości energii elektrycznej – przez niezawodność, oszczędność i ekologię – do jej jakości, w wyniku których ukształtowały się współczesne struktury zintegrowanych w skali międzynarodowej systemów elektroenergetycznych. Współdziałanie elementów systemu, jakie stanowią źródła wytwórcze o znacznej koncentracji mocy, sieć przesyłowa i sieć rozdzielcza oraz ich wzajemne powiązanie techniczne, eksploatacyjne oraz organizacyjne, pozwoliło na uzyskanie korzyści ekonomicznych i społecznych w postaci zmniejszenia kosztów produkcji, zwiększenia niezawodności zasilania oraz ograniczenia rezerwy mocy w pojedynczej elektrowni, co nie byłoby możliwe do osiągnięcia przy samodzielnym ich działaniu. Dla współczesnego człowieka energia elektryczna stała się takim samym dobrem niezbędnym do życia jak woda i czyste powietrze, których niezbędność uzmysławiamy sobie najbardziej w chwili, gdy zaczyna nam ich brakować.

System elektroenergetyczny (SEE) jest zbiorem obiektów, urządzeń i maszyn służących do wytwarzania energii elektrycznej oraz jej przesyłu, rozdzielenia i realizacji procesu ciągłej dostawy odbiorcom. W odróżnieniu od innych systemów gospodarczych SEE realizuje swe zadania z wymogiem natychmiastowej dostawy na każde żądanie odbiorcy. Cała produkcja energii elektrycznej jest więc natychmiast konsumowana, bez możliwości jej magazynowania.

Problemy i wyzwania techniczne, z którymi zmaga się elektroenergetyka od początku jej zaistnienia, to przede wszystkim możliwość przesyłu energii na duże odległości, przy jak najmniejszych jej stratach i jednoczesnym zachowaniu wysokiej niezawodności zasilania oraz utrzymaniu odpowiednich parametrów jakościowych energii elektrycznej. Prawidłowe funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego uwarunkowane jest opanowaniem problemów o charakterze interdyscyplinarnym, a w szczególności zagadnień technicznych, ekonomicznych i ekologicznych, wynikających z przesyłania dużych ilości energii na znaczne odległości.

Podstawowym sposobem zmniejszenia strat przesyłowych jest podwyższanie poziomu napięcia znamionowego elektroenergetycznych linii przesyłowych. Zależnie od odległości, na jakie ma być przesyłana energia, różne są wartości stosowanych napięć. W Polsce napięcia te wynoszą:

- 220 i 400 kV (tzw. *najwyższe napięcia*), w przypadku przesyłania energii na odległości rzędu kilkudziesięciu, kilkuset kilometrów,
- 110 kV (tzw. *wysokie napięcia*), w przypadku przesyłania na odległości nie przekraczające kilkudziesięciu kilometrów,
- od 10 do 30 kV (tzw. *średnie napięcia*), stosowane w lokalnych liniach rozdzielczych.

Podnoszenie napięcia dla celów przesyłu, a następnie obniżanie do poziomu, na którym możliwe jest stosowanie elektrycznych urządzeń powszechnego użytku zbudowanego na

napięciu 230 V lub 400 V, wymaga korzystania z systemowych stacji elektroenergetycznych najwyższych napięć, wielu stacji rozdzielczych wysokiego napięcia oraz rozlicznych stacji transformatorowych, zamieniających średnie napięcie (rozdzielcze) na stosowane w instalacjach odbiorczych napięcie 230/400 V.

Krajowy System Elektroenergetyczny (KSE) stanowią następujące elementy (rys. 1):

- 236 linii przesyłowych o łącznej długości 13 053 km, w tym:
 - 1 linia o napięciu 750 kV o długości 114 km,
 - 68 linii o napięciu 400 kV o łącznej długości 5 031 km,
 - 167 linii o napięciu 220 kV o łącznej długości 7 908 km,
- 98 systemowych stacji elektroenergetycznych najwyższych napięć.



Rys. 1. Schemat sieci przesyłowej Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (źródło PSE-Operator S.A.)



Rys. 2. Lokalizacja elektrowni (zawodowych) systemowych

Stacje systemowe stanowią węzły sieciowe KSE, w których energia elektryczna wytwarzana w elektrowniach zawodowych (rys. 2) przekazywana jest do sieci przesyłowej 220 kV i 400 kV, a następnie do sieci rozdzielczych wysokiego napięcia 110 kV. Właścicielem i operatorem Krajowego Systemu Elektroenergetycznego jest w spółka PSE-Operator S.A.

W KSE zainstalowane jest ok. 35 GW mocy (tab. 1), z czego ok. 84% (ok. 29,4 GW) przypada na elektrownie ciepłe bazujące na węglu kamiennym i brunatnym (rys. 2). Przestrzenny układ

elektrowni zawodowych w KSE jest więc nierównomierny, na co złożyła się lokalizacja pierwotnych nośników energii oraz możliwość zaopatrzenia w wodę, niezbędną w dużych ilościach dla procesu technologicznego elektrowni ciepłych. Wyjątkiem są elektrownie: *Dolna Odra*, *Ostrołęka*, *Kozienice*, *Połaniec* oraz *Opole*, których lokalizacja jest efektem polityki dekoncentracji elektrowni poza obszary zagłębi paliwowych, zaistniałej w polskiej energetyce w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku.

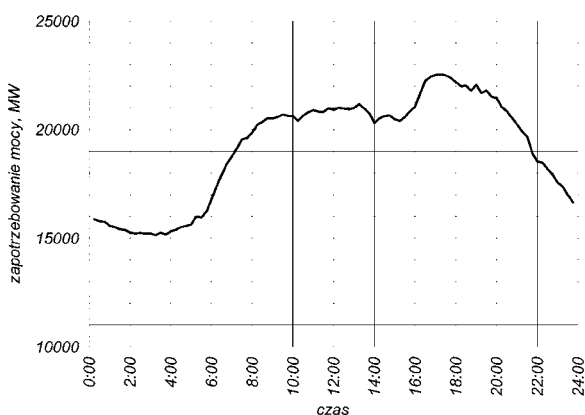
Tab. 1. Struktura mocy zainstalowanej w KSE na dzień 31.12.2007 (źródło PSE-Operator S.A.)

Elektrownie	Moc, MW
Ogółem	35 096
Zawodowe	32364
cieplne, w tym:	30155
– na węglu kamiennym	20580
– na węglu brunatnym	8806
– gazowe	769
wodne	2209
Przemysłowe	2 504
Źródła odnawialne	229

Na konfigurację sieci przesyłowej wpływa rozmieszczenie dużych elektrowni oraz dużych odbiorców energii elektrycznej, jakimi są aglomeracje miejsko-przemysłowe. Cechą charakterystyczną KSE jest lokalizacja głównego ciężaru wytwarzania energii elektrycznej w południowej części Polski i konieczność transportu energii w kierunku północnych obszarów kraju, pozbawionych elektrowni zawodowych.

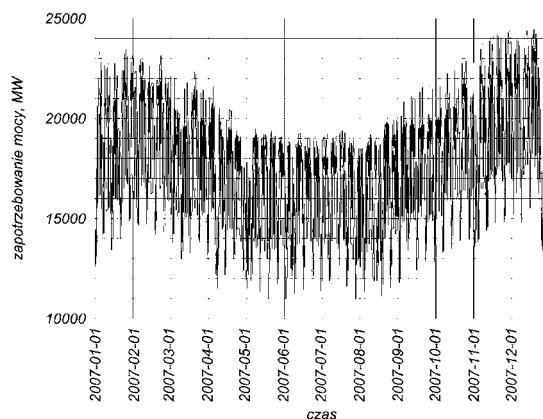
Zapotrzebowanie na moc w KSE cechuje się zmiennością zarówno dobową, jak i roczną. Charakterystyczne jest występowanie *doliny nocnej* i *szczytu wieczornego* obciążenia w cyklu dobowym (rys. 3) oraz *doliny letniej* i *szczytu zimowego* obciążenia w cyklu rocznym (rys. 4).

Na podkreślenie zasługuje fakt, że od pewnego czasu w KSE obserwuje się wzrost zapotrzebowania mocy w okresach letnich, co wynika z faktu, że stając się coraz majątniejszym społeczeństwem, więcej energii elektrycznej przetwarzamy w klimatyzatorach.



Rys. 3. Dobowe zapotrzebowanie mocy KSE (wartości chwilowe 15 min.) w dniu 14 listopada 2008 r. (źródło PSE-Operator S.A.)

Według danych PSE-Operator S.A. w roku 2007 średnie roczne zapotrzebowanie na moc wyniosło 21179 MW, przy zapotrzebowaniu maksymalnym wynoszącym 24611 MW. Temu zapotrzebowaniu odpowiadały wartości średniej rocznej wielkości mocy osiągalnej oraz średniej rocznej wielkości mocy dyspozycyjnej w warunkach szczytu wieczornego, wynoszące odpowiednio 34801 MW i 26 899MW.



Rys. 4. Wykres zapotrzebowania mocy KSE (wartości chwilowe 15 min.) w roku 2007 (źródło PSE-Operator S.A.)

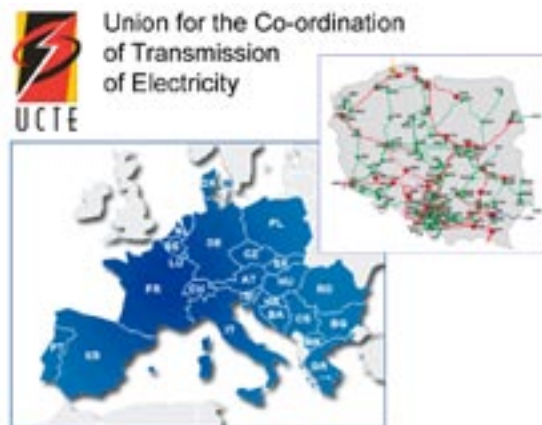
W wyniku rozwoju elektroenergetyki, układy elektroenergetyczne kształtują się w zintegrowane w skali międzynarodowej systemy elektroenergetyczne. Przykładem tego procesu może być system europejski UCTE (rys. 5), z którym KSE pracuje synchronicznie od 1995 r. Praca w ramach zintegrowanego systemu europejskiego, dysponującego łączną mocą blisko 600 GW, daje wiele korzyści. Jest to przede wszystkim zwiększenie bezpieczeństwa w stanach awaryjnych oraz wzajemny dostęp operatorów do rynku energii elektrycznej.

Planowaniu rozwoju SEE poświęca się wiele uwagi, ze względu na dużą czasochłonność i kapitałochłonność inwestycji energetycznych. Planowanie obejmuje okres 25 lat i więcej, a jego celem jest rozpoznanie możliwości pozyskania pierwotnych nośników energii, rezerwowanie lokalizacji przyszłych obiektów energetycznych, umożliwienie transportu paliw i przesyłu energii itp.

Planowanie pracy SEE obejmuje najczęściej horyzont czasowy od jednej doby do roku. Jego celem jest przygotowanie do ruchu optymalnych układów pracy SEE, zapewniających zarówno zasilanie odbiorców energią o wymaganej jakości, jak i realizacja remontów infrastruktury, przy możliwie małych kosztach wytwarzania i przesyłu energii elektrycznej

Kierowanie pracą SEE polega na zapewnieniu bezpiecznej i ekonomicznej pracy systemu oraz warunków ciągłej dostawy energii, estymacji stanu pracy, oceny pewności pracy i podejmowaniu odpowiednich decyzji.

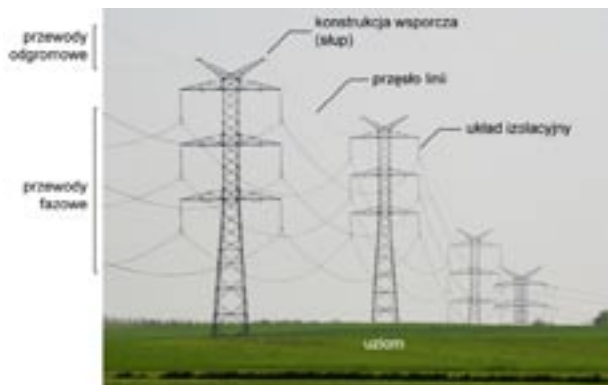
Miarą postępu w elektroenergetyce jest wzrost światowego zużycia energii elektrycznej, będący efektem powstawania wielkich aglomeracji miejskich i rozwoju przemysłu. Techniczne uwarunkowania rozwoju systemów elektroenergetycznych wynikają z możliwości stosowania w przesyśle i rozdziale energii



Rys. 5. Powiązania międzynarodowe KSE

elektrycznej odpowiednio wysokich napięć znamionowych (dochodzących w świecie nawet do 1500 kV). Podstawowe znaczenie ma rozwój konstrukcji urządzeń elektroenergetycznych, jak generatory, transformatory, linie i stacje elektroenergetyczne.

Linie elektroenergetyczne są urządzeniami elektrycznymi służącymi do przesyłu energii elektrycznej. Podstawowymi elementami linii napowietrznych (rys. 6) są konstrukcje wsporcze (stupy), układ izolacyjny (łańcuchy izolatorowe wraz z osprzętem),

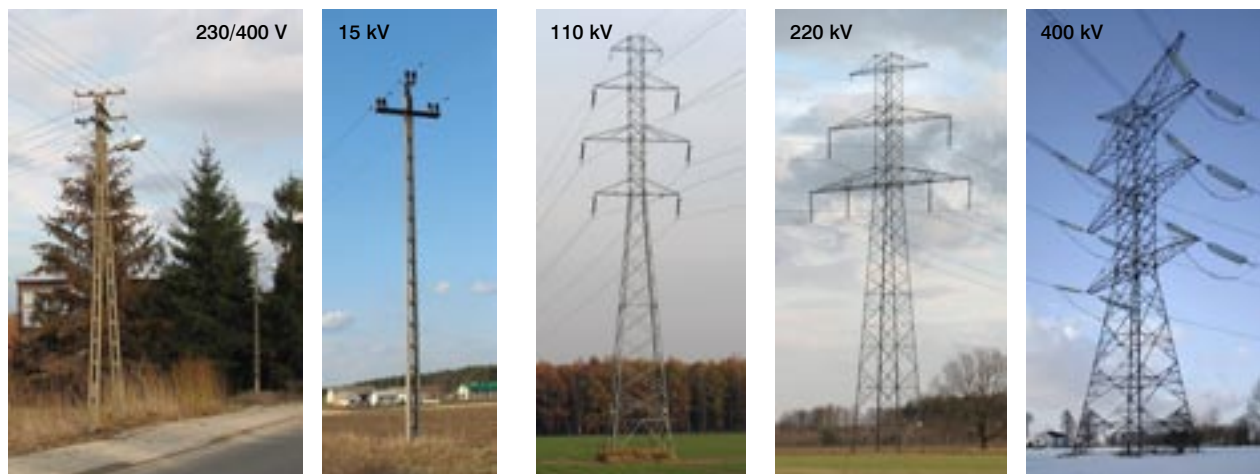


Rys. 6. Dwutorowa napowietrzna linia elektroenergetyczna 400 kV

przewody fazowe i przewody odgromowe oraz układ uziomowy.

Przykładowe konstrukcje wsporcze linii elektroenergetycznych o różnych poziomach napięć przedstawiono na rysunku 7. Stupy linii niskich i średnich napięć wykonuje się z żerdzi drewnianych, żelbetowych oraz strunobetonowych, natomiast linii napięć wysokich i najwyższych budowane są z kształtowników stalowych tworzących konstrukcję kratową. Cechą charakterystyczną linii o napięciach znamionowych 110 kV i wyższych są przewody odgromowe instalowane na wierzchołkach stóp, zabezpieczające przewody fazowe linii przed bezpośrednimi wyładowaniami atmosferycznymi.

Przewody fazowe i odgromowe muszą charakteryzować się dużą wytrzymałością mechaniczną na rozciąganie, dużą przewodnością oraz odpornością na wpływy atmosferyczne. Obecnie w liniach niskich napięć stosuje się linki aluminiowe (AL), natomiast na przewody linii napięć średnich, wysokich i najwyższych – linki stalowo-aluminiowe (AFL). W linkach tych rdzeń stalowy zapewnia odpowiednią wytrzymałość mechaniczną, a warstwa drutów aluminiowych dużą przewodność przewodu. Obecnie stosowane są również przewody wykonane ze stopów metali (głównie AlMgSi) o odpowiednich parametrach elektrycznych i mechanicznych, dających możliwość ich zastosowania w liniach wysokich napięć – jednak wyższa cena ogranicza ich szersze zastosowanie.



Rys. 7. Przykładowe konstrukcje wsporczych linii elektroenergetycznych

Oprócz przewodów nieizolowanych (tzw. przewody gołe), w liniach niskich i średnich napięć stosowane są również przewody izolowane. Linie takie charakteryzują się mniejszą awaryjnością i większym bezpieczeństwem porażeniowym, a odległość między przewodami fazowymi jest mniejsza niż w tradycyjnej konstrukcji.

Izolatory liniowe (rys. 8), służące do podtrzymywania i izolowania przewodów fazowych od uziemionych konstrukcji wsporczych, wykonywane są z materiałów ceramicznych (porcelana lub szkło) oraz z tworzyw sztucznych. Obecnie coraz częściej stosowane są tzw. izolatory kompozytowe, wypierające powoli konstrukcje tradycyjne. Izolatory tego typu są zbudowane z rdzenia wykonanego z tworzywa wzmocnionego włóknem szklanym, a następnie pokrytego gumą silikonową uformowaną w kształcie kloszy. Izolatory tego typu są znacznie lżejsze od tradycyjnych izolatorów szklanych oraz porcelanowych przy porównywalnych parametrach mechanicznych i elektrycznych.

W terenach, gdzie nie jest możliwe (na przykład ze względu na warunki terenowe, duże zanieczyszczenie środowiska lub gęstą zabudowę) – poprowadzenie linii napowietrznych, buduje się linie kablowe prowadzone pod powierzchnią ziemi.

dr hab. inż. Antoni Cieśla, prof. nz. AGH

dr hab. inż. Wiesław Nowak

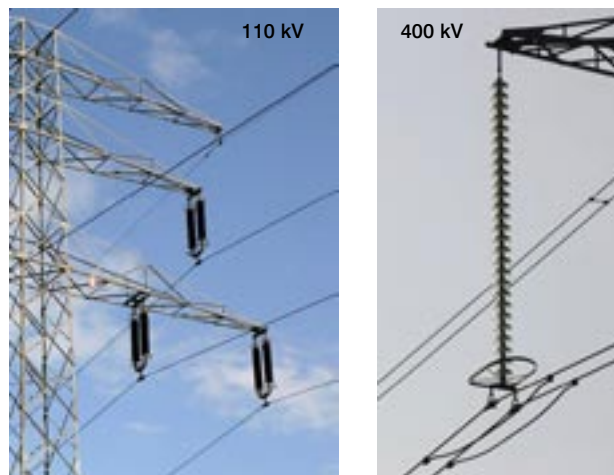
dr inż. Szczepan Moskwa

dr inż. Rafał Tarko

Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH

Kontynuacja artykułu w następnym numerze Biuletynu.



Rys. 8. Przykładowe łańcuchy izolatorowe linii 110 kV i 400 kV