

# Stacje elektroenergetyczne średniego napięcia – przegląd rozwiązań technicznych i konstrukcyjnych

## MV power stations – an overview of technical and design solutions

Stacje elektroenergetyczne średniego napięcia (SN) obejmują zespoły urządzeń elektroenergetycznych wraz z szynami zbiorczymi, połączeniami elektrycznymi, elementami izolacyjnymi, konstrukcją mechaniczną i osłonami, które wspólnie tworzą układ zdolny do transformacji energii elektrycznej z jednego poziomu napięcia na drugi i jej rozdzielania oraz do łączenia i zabezpieczenia obwodów zasilających i odbiorczych [9]. Pełnią one ważne funkcje w lokalnym systemie elektroenergetycznym i stanowią węzły dystrybucyjnej sieci elektroenergetycznej SN.

Stacje elektroenergetyczne SN obejmują stacje SN/nn i stacje SN/SN. Te pierwsze są stacjami o napięciach 6, 10, 15, 20 lub 30 kV służącymi do rozdziału energii elektrycznej oraz do zasilania sieci elektroenergetycznych niskiego napięcia. Stosuje się je do zasilania: osiedli mieszkaniowych w miastach, parków i terenów rekreacyjnych, osiedli podmiejskich i wsi, placów budów, zakładów przemysłowych i warsztatów rzemieślniczych [11]. Te drugie służą – obok rozdziału energii – do transformacji z jednego poziomu napięcia średniego na drugi np. 20 kV/6 kV, 20 kV/10 kV, 15 kV/6 kV [9].

Obecnie w Polsce znajduje się łącznie 261 169 stacji elektroenergetycznych SN, w których użytkowanych jest 261 079 transformatorów SN/nn i 1179 transformatorów SN/SN [3].

Stacje elektroenergetyczne SN są złożonymi obiektami elektroenergetycznymi. To powoduje, że istnieje kilka ich klasyfikacji. Jedną z najważniejszych jest klasyfikacja ze względu na wartość napięcia znamionowego strony górnej, według której stacje dzieli się na stacje: 6, 10, 15, 20 lub 30 kV [9].

Druga ważna klasyfikacja dotyczy roli i znaczenia stacji w lokalnym systemie elektroenergetycznym. Tutaj w obszarze zasilania odbiorców zlokalizowanych w miastach wyróżnia się następujące stacje: rozdzielnie sieciowe miejskie (RSM) – SN/SN oraz punkty transformatorowe (PT) lub punkty zasilania (PZ) – SN/nn, natomiast w obszarze zasilania odbiorców przemysłowych wyróżnia się: rozdzielnie sieciowe przemysłowe (RSP) – SN/SN, stacje główne (SG) lub główne stacje zasilające (GSZ) – SN/SN lub SN/nn, stacje pośrednie (SP) – SN/SN i stacje oddziałowe (SO) – SN/nn [9].

Trzecia ważna klasyfikacja dotyczy budowy stacji i wyróżnia stacje wewnętrzne i napowietrzne. Ponadto często stosuje się klasyfikacje ze względu na miejsce pracy w dystrybucyjnej sieci elektroenergetycznej i wyróżnia się wówczas stacje: miejskie, wiejskie i przemysłowe oraz ze względu na liczbę transformatorów w stacji [9]. W takim przypadku stacje SN dzieli się na: jednotransformatorowe, dwutransformatorowe lub trójtransformatorowe.

### Stacje SN/SN

Stacje SN/SN są przystosowane do współpracy z siecią kablową lub kablowo-napowietrzną średnich napięć o układzie pierścieniowym lub promieniowym. Najczęściej są to rozbudowane rozwiązania wewnętrzne lub prefabrykowane kontenerowe, których schemat i wyposażenie zależą od rodzaju i funkcji stacji w lokalnym dystrybucyjnym systemie elektroenergetycznym.

Stacje SN/SN wyposażone są przeważnie w transformatory o mocach znamionowych do 1600 kVA i dwie rozdzielnice SN o różnym poziomie napięć, np. 20 i 6 kV w przypadku stacji 20/6 kV [9]. Przy czym liczba pól w tych rozdzielnicach jest dostosowana do potrzeb inwestora i projektanta. W polach zasilających stosuje się przeważnie wyłączniki, natomiast w polach odpywowych wyłączniki (ważne odbiory) lub rozłączniki bezpiecznikowe. W zależności od liczby pól odbiorczych oraz wymaganej pewności zasilania przyjmuje się odpowiedni układ szyn zbiorczych. Najczęściej jest to układ z pojedynczym sekcjonowanym systemem szyn zbiorczych, natomiast najbardziej rozbudowanym układem połączeń takich stacji jest układ z podwójnym sekcjonowanym systemem szyn zbiorczych [9].

W stacjach SN/SN najczęściej są stosowane rozdzielnice SN wolno stojące, prefabrykowane, modułowe, dwuczłonowe, osłonięte w izolacji powietrznej lub w izolacji SF<sub>6</sub> [10]. Odnaczają się one m.in.: bardzo dużym bezpieczeństwem obsługi, dużą odpornością na wpływ środowiska, dużą trwałością mechaniczną i łączeniową zastosowanych łączników, blokadą napędów łączników uniemożliwiającą wykonanie błędnych czynności łączeniowych i małymi wymaganiami dotyczącymi ich obsługi i konserwacji.

<sup>1)</sup> waldemar.dolega@pwr.edu.pl

## Stacje SN/nn

Stacje SN/nn są przystosowane do współpracy z siecią kablową lub kablowo-napowietrzną średniego napięcia o układzie pierścieniowym lub promieniowym oraz siecią kablową lub napowietrzną niskiego napięcia [10].

Stacje SN/nn wyposażone są przeważnie w transformatory o mocach znamionowych do 1000 kVA, rozdzielnicę SN oraz rozdzielnicę nn o liczbie pól dostosowanych do potrzeb inwestora i projektanta. Przy czym istnieje bardzo duży wybór zarówno rozdzielnic SN jak i nn.

W stacjach SN stosuje się przeważnie jeden, a czasami dwa transformatory olejowe lub suche, przy czym te ostatnie o mocy znamionowej nawet do 1600 kVA [11]. Najpopularniejsze są jednostki o mocach 630 i 1000 kVA w przypadku stacji kontenerowych prefabrykowanych oraz 250 i 400 kVA w przypadku stacji słupowych.

Rozdzielnica SN jest wykonywana w izolacji powietrznej lub izolacji SF<sub>6</sub>. Jako konstrukcja jedno- lub dwuczłonowa wykonana w wersji jednoprzędziatowej lub wieloprzędziatowej [10]. Jest realizowana przeważnie w układzie z pojedynczym niesekcjonowanym lub sekcjonowanym systemem szyn zbiorczych. Przy czym ten drugi układ dobiera się w sytuacji większej liczby pól i przy co najmniej dwóch niezależnych źródłach zasilania [9]. Często liczba sekcji odpowiada liczbie źródeł zasilania. W sytuacji, gdy są szczególnie wysokie wymagania dotyczące niezawodności zasilania stosuje się układ z podwójnym systemem szyn zbiorczych [9].

Rozdzielnica SN składa się z jednego w przypadku stacji słupowych lub z większej liczby pól rozdzielczych w przypadku stacji kontenerowych prefabrykowanych. Wówczas przeważnie są to: trzy, cztery lub pięć pól rozdzielczych liniowych, transformatorowych, pomiarowych i sprzęgłowych (w przypadku sekcjonowania szyn zbiorczych) [11]. Przykładowo dla konfiguracji trójpolowej może być to jedno pole transformatorowe i dwa pola liniowe. Natomiast w przypadku konfiguracji pięciopolowej w stacji dwutransformatorowej rozdzielnica SN składa się z: dwóch pól transformatorowych, dwóch pól liniowych i jednego pola sprzęgłowego [13].

W polach rozdzielnic SN stosuje się różnorodną aparaturę łączeniową. Są to wyłączniki (małoolejowe, próżniowe lub z SF<sub>6</sub>) oraz rozłączniki z izolacją powietrzną i bezpieczniki. Ponadto stosuje się odłączniki, uziemniki oraz styczniki. Te ostatnie w sytuacji zasilania odbiorów charakteryzujących się częstym załączaniem i wyłączeniem. Ze względów bezpieczeństwa rozdzielnice SN powszechnie wyposaża się w systemy blokad elektrycznych i mechanicznych, które uniemożliwiają otwarcie drzwi szafy rozdzielnicy lub modułu (pola) przy pracujących urządzeniach elektrycznych czy wykonanie błędnych czynności łączeniowych itp. [10].

Rozdzielnica nn jest wykonywana w izolacji powietrznej, w układzie z pojedynczym niesekcjonowanym lub sekcjonowanym systemem szyn zbiorczych o liczbie pól uzależnionych od potrzeb inwestora [11].

W polach rozdzielnic nn jako aparaturę łączeniową stosuje się: wyłączniki samoczynne, rozłączniki bezpiecznikowe lub rozłączniki z bezpiecznikami.

Prawidłowa praca stacji SN/nn w warunkach normalnych i minimalizacja skutków zakłóceń w stanach awaryjnych wymagają właściwego doboru parametrów stacji, parametrów roz-

dzielnic SN i nn w niej zainstalowanych, ich konfiguracji i wyposażenia oraz parametrów aparatów zainstalowanych w stacji i przekrojów szyn, kabli oraz przewodów.

## Wymagania stawiane rozwiązaniom stacji SN

Stosowane rozwiązania techniczne i konstrukcyjne w stacjach SN muszą spełniać aktualne wymagania prawne i normatywne.

Wymagania ogólne dla stacji SN określane są najczęściej przez operatora systemu dystrybucyjnego w wytycznych dotyczących standaryzacji tych stacji lub specyfikacjach funkcjonalnych. Przykładem takich dokumentów są [5 i 6]. Proces projektowania i budowy tych stacji musi być realizowany zgodnie z zasadami wiedzy technicznej i obowiązującymi w tym zakresie aktami prawnymi (ustawami i rozporządzeniami), instrukcją ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnej, opracowaną przez operatora systemu dystrybucyjnego właściwego dla terenu lokalizacji stacji (np. [4]) oraz dokumentami technicznymi opracowanymi przez wspomnianego operatora i normami przedmiotowymi, z których najważniejszymi są normy: PN-EN 62271-202:2007 Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza – Część 202: Stacje transformatorowe prefabrykowane wysokiego napięcia na niskie napięcie [7] oraz PN-E-05115: Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV [8]. Przy czym najważniejszymi aktami prawnymi w tym obszarze jest ustawa – *Prawo budowlane* [1] i akt wykonawczy do niej – rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [2].

Norma PN-EN 62271-202:2007 [7] jest podstawową normą w odniesieniu do stacji prefabrykowanych SN. Norma ta dotyczy wymagań konstrukcyjnych, technicznych, wyposażenia oraz poszczególnych metod badań urządzeń. Obejmuje nie tylko główne komponenty stacji, takie jak transformator, rozdzielnica SN, rozdzielnica nn, ale również inne jej wyposażenie.

Powyższa norma jest ściśle powiązana z następującymi normami:

- PN-EN 62271-200:2007 Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza: Rozdzielnice prądu przemiennego w osłonach metalowych na napięcie znamionowe powyżej 1 kV do 52 kV włącznie;
- PN-EN 60694:2004 Postanowienia wspólne dotyczące norm na wysokonapięciową aparaturę rozdzielczą i sterowniczą;
- PN-IEC 60466:2000 Rozdzielnice prądu przemiennego w osłonach izolacyjnych na napięcia znamionowe wyższe niż 1 kV do 38 kV włącznie;
- PN-EN 60529:2003 Stopnie ochrony zapewnionej przez obudowy (kod IP);
- PN-EN 60439-1:2003 Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe – Część 1: Zestawy badane w pełnym i niepełnym zakresie badań typu.

W normie PN-EN 62271-202:2007 określono wymagania dotyczące zakresu badań typu kontenerowej stacji prefabrykowanej SN/nn, które są szczególnie ważne w aspekcie bezpiecznej i długotrwałej eksploatacji stacji. Obejmują one: sprawdzenie poziomu izolacji, sprawdzenie przyrostu temperatury

dla komponentów zainstalowanych, określenie klasy obudowy w stacji, sprawdzenie obwodów uziemiających, próby funkcjonalności w celu sprawdzenia działania zestawu, sprawdzenie stopnia ochrony, sprawdzenie odporności obudowy stacji na narażenia mechaniczne, próby w warunkach łukowego zwarcia wewnętrznego (klasyfikacja IAC), sprawdzenie kompatybilności elektromagnetycznej oraz sprawdzenie poziomu hałasu (na życzenie użytkownika). Ponadto, w normie PN-EN 62271-202:2007 zdefiniowano 6 klas obudowy: 5, 10, 15, 20, 25 i 30. Dodatkowo określono, w zakresie wymagań konstrukcyjnych, wytyczne do prób obwodów uziemiających po stronie SN stacji, uzależniając procedurę próby od przewidywanego sposobu uziemienia punktu neutralnego sieci, w której stacja będzie eksploatowana [11]. Ponadto określono procedurę próby nagrzewania na podstawie zasilania obwodów SN i nn z dwóch niezależnych źródeł. Dodatkowo w omawianej normie wprowadzono obligatoryjne badania łukoodporności oraz klasyfikację odporności stacji na łuk wewnętrzny (IAC) [11]. Przyjęto również, że komponenty stacji muszą posiadać udokumentowane badania typu według znorzalizowanych norm przedmiotowych.

W normie PN-EN 62271-202:2007 określono wymagania kompatybilności elektromagnetycznej, w sytuacji gdy komponenty stacji zawierają elementy elektroniczne. Ponadto określono procedurę optymalnego doboru stacji do warunków w miejscu przyszłej eksploatacji [7].

Obok wspomnianych wymagań prawnych i normatywnych rozwiązania techniczne i konstrukcyjne w stacjach SN muszą spełniać jeszcze inne wymagania. Obejmują one m.in.: dostateczną niezawodność pracy stacji, łatwość eksploatacji, spełnienie wymagań dotyczących warunków zasilania odbiorców (rezerwowanie zasilania), możliwość łatwej rozbudowy, bezpieczeństwo personelu obsługującego oraz możliwie najmniejsze nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne [9]. Wymagania te decydują m.in. o jakości, pewności i niezawodności dostaw energii elektrycznej do odbiorców końcowych i dlatego muszą być spełnione zarówno w warunkach pracy normalnej jak i zakłóceń.

## Przegląd rozwiązań technicznych i konstrukcyjnych stacji SN

Na terenie kraju spotyka się wiele rozwiązań technicznych i konstrukcyjnych stacji SN. Obejmują one stacje: prefabrykowane (betonowe i metalowe, kontenerowe, zagłębione i podziemne), wnętrzowe (wolno stojące, wbudowane, prefabrykowane budynkowe i wieżowe), kontenerowe (tymczasowe i przemieszczalne) oraz słupowe. Przy czym najczęściej w sieci dystrybucyjnej SN występują stacje prefabrykowane kontenerowe i stacje słupowe [9].

Prefabrykowane kontenerowe stacje transformatorowe SN/nn (rys. 1) są stacjami przeznaczonymi zasadniczo do zasilania odbiorców: miejskich, wiejskich, osiedlowych oraz przemysłowo-usługowych z sieci napowietrznej lub kablowej SN o napięciu 6-20 kV, wyjątkowo 30 kV [11]. W stacjach tych instaluje się transformatory o mocach znamionowych od 160 do 1000 kVA, a niekiedy nawet transformatory suche do 1600 kVA. W kontenerowych stacjach transformatorowych stosuje się rozdzielnicę SN w izolacji powietrznej lub izolacji SF<sub>6</sub> oraz rozdzielnicę nn w izolacji powietrznej.



Rys. 1. Kontenerowa stacja transformatorowa [9]

W stacjach kontenerowych SN/nn o niewielkich wymaganiach dotyczących pewności pracy, z jednym źródłem zasilania, stosuje się pojedynczy niesekcjonowany system szyn zbiorczych [11]. Przy większej liczbie pól i co najmniej dwóch niezależnych źródłach zasilania dobiera się powszechnie pojedynczy sekcjonowany system szyn zbiorczych [11].

Kontenerowe stacje charakteryzują się małymi wymiarami oraz krótkim czasem montażu. Wytwarzane są w całości w specjalistycznych zakładach produkcyjnych. W miejscu zainstalowania wykonuje się jedynie ich montaż końcowy.

Prefabrykowane kontenerowe stacje transformatorowe dzieli się ze względu na rodzaj obudowy na stacje: w obudowie betonowej lub metalowej, natomiast w zależności od możliwości realizacji obsługi na stacje: z obsługą wewnętrzną lub zewnętrzną [10]. Stacje te są budowane jako stacje przelotowe lub końcowe, w zależności od potrzeby późniejszego ich wykorzystania [9].

Stacje kontenerowe z obsługą wewnętrzną charakteryzują się większymi rozmiarami niż stacje z obsługą z zewnątrz. Posiadają ponadto szerszą gamę wyboru rozdzielnic SN i nn. Stosuje się w nich również transformatory o większych mocach. Ponadto mogą to być stacje wielotransformatorowe. Najczęściej stacje takie wyposażone są w jeden lub dwa transformatory. Zastosowanie dwóch transformatorów w jednej stacji pozwala np. na zasilenie większego osiedla, nie powodując zwiększenia kosztów przy budowie kolejnej stacji, znajdującej się w obrębie osiedla [11]. Niestandardowym wykonaniem jest zastosowanie trzech transformatorów. Liczba pól SN i odpływów nn zależy od spełnianej przez te stacje funkcji w systemie elektroenergetycznym.

Wnętrze stacji dzieli się na dwie lub trzy części główne. Pierwszą część stanowi transformator lub transformatory, które ze względu na bezpieczeństwo obsługi oddzielone są siatką, i/lub rozdzielnicą nn. Drugą część stanowią rozdzielnice SN i nn. Na życzenie operatora systemu dystrybucyjnego rozdzielnica SN może być podzielona na część operatora i część odbiorcy [13].

W stacjach z obsługą zewnętrzną rozmiar gabarytowy stacji jest ograniczony. Oprócz standardowego wykonania stacji, składającego się z transformatora, rozdzielnicy SN i rozdzielnicy nn, spotyka się również stacje, w których pominięto rozdzielnicę SN lub nn [11]. Duży wpływ na liczbę pól rozdzielnicy SN ma wielkość gabarytowa stacji. Przeważnie

można spotkać stacje z obsługą z zewnątrz, w których maksymalna liczba pól SN wynosi 4, a dla rozdzielnic nn liczba odpyłów waha się od 5 do 20, w zależności od producenta [11]. Stacje budowane są na moce transformatorów od 160 kVA do 630 kVA z możliwością zainstalowania tylko jednego transformatora [10].

Kontenerowe stacje prefabrykowane mają wiele wariantów rozwiązań, co pozwala na optymalny dobór ich wyposażenia, dostosowany do potrzeb inwestora. Jest wśród nich wiele ciekawych innowacyjnych rozwiązań przystosowanych do użytkowania w aglomeracjach miejskich, np. stacje typu słup ogłoszeniowy (rys. 2), które swoją konstrukcją przypominają słup ogłoszeniowy i bardzo dobrze wtapiają się w istniejące otoczenie. Są to stacje wyposażone w transformator o maksymalnej mocy 630 kVA umieszczony na piętrze, trój- lub czteropolową rozdzielnicę SN z izolacją gazową SF<sub>6</sub> oraz maksymalnie dwunastopolową rozdzielnicę nn z rozłącznikami bezpiecznikowymi umieszczoną na parterze [13].



Rys. 2. Stacja transformatorowa typu słup ogłoszeniowy [14]

Słupowe stacje transformatorowe (rys. 3) są stacjami napowietrznymi przeznaczonymi zasadniczo do zasilania odbiorców wiejskich, miejskich i podmiejskich z sieci napowietrznej lub kablowej SN o napięciu maksymalnie 30 kV, najczęściej 15 i 20 kV. Wytyczne dotyczące budowy i konstrukcji stacji słupowych wyróżniają dwa typy takich stacji, które dzielą się ze względu na swoją funkcję na: przelotową – zlokalizowaną w linii napowietrznej, kablowej lub na połączeniu linii napowietrznej i kablowej oraz końcową – zasilaną linią napowietrzną z przewodami gołymi lub niepełnoizolowanymi, linią napowietrzną pełnoizolowaną lub też linią kablową ułożoną w ziemi [12].

Stacja słupowa jest stacją napowietrzną jednotransformatorem wyposażoną w transformator o mocy znamionowej przeważnie do 400 kVA [9]. Spotyka się także rozwiązania z transformatorem o mocy znamionowej do 630 kVA. Transformatory umieszczane są na podeście montażowym bądź na ziemi pod słupem. Wówczas stacja musi zostać ogrodzona.

Ze względu na moc znamionową transformatorów stacje słupowe podzielone są na trzy zasadnicze grupy: do 100 kVA, od 160 do 250 kVA lub 400 kVA i ewentualnie 630 kVA [12].

Konstrukcja nośna stacji jest obecnie najczęściej słupem wykonanym z pojedynczej lub podwójnej żerdzi strunobetonowej wirowanej typu E lub EPV. Przez długi czas do konstrukcji

nośnej stacji słupowej używano dwie lub cztery żerdzie wykonane z żelbetu w trzech rodzajach układu: A, podwójnego A lub bramowym [12]. Dopiero pod koniec lat 80-tych XX wieku wprowadzono żerdzie strunobetonowe wirowane, które przyczyniły się do zmian w konstrukcji nośnej. Obecnie dla stacji słupowych wyposażonych w transformator o mocy znamionowej do 400 kVA stosuje się standardowo rozwiązanie oparte na jednej żerdzi strunobetonowej wirowanej. Żerdzie, na jakich stawia się obecnie stacje słupowe są wykonane z betonu lub żelbetu i zasilane napowietrznie lub kablowo; występują w układach krańcowym lub przelotowym. Przy układzie krańcowym konstrukcja wsporcza stacji może być brana pod uwagę w niektórych funkcjach, jako słup krańcowy o naciągu z przedziału 0-12 kN dla linii średniego napięcia oraz różnych naciągów wypadkowych dla linii niskiego napięcia [12].



Rys. 3. Stacja transformatorowa słupowa

Zasadniczo, w stacjach słupowych żerdzie powinny mieć wysokość 10,5 lub 12 m, a ich wytrzymałość powinna wynosić 10 lub 12 kN [12]. Przy czym przy zasilaniu stacji linią napowietrzną SN wysokość żerdzi zależy od wysokości, na jakiej zawieszona jest wspomniana linia.

W stacji słupowej linia zasilająca SN połączona jest z transformatorem poprzez odłącznik z uziemnikiem lub rozłącznik z uziemnikiem oraz podstawy bezpiecznikowe SN. Bezpieczniki wysokiego napięcia stanowią zabezpieczenie zwarciove transformatora i umiejscowione są w każdej fazie. Dodatkowo w przypadku zasilania kablowego występuje głowica kablowa SN.

Konstrukcja stacji umożliwia montaż ograniczników przepięć SN na każdej fazie w celu ochrony transformatora przed przepięciami mogącymi wystąpić w linii SN. Instalacja ograniczników przepięć musi być poprzedzona ich właściwym doбором [12].

Wyposażenie stacji po stronie nn zależy od charakteru wyprowadzeń obwodów niskiego napięcia. Najczęściej są to bezpieczniki lub rozłączniki z bezpiecznikami zabezpieczającymi dane wyprowadzenia (linie sieci rozdzielczej niskiego napię-

cia) [9]. Rozdział obwodów nn w zależności od potrzeb może być wykonany z zastosowaniem rozdzielnic montowanych na żerdzi stacyjnej lub wolno stojących, złączy kablowych wolno stojących, szaf oświetleniowych słupowych i wolno stojących oraz rozłączników słupowych nn [12].

Stacje słupowe mogą być wykonywane w wersji z pełnym wyposażeniem stron średniego i niskiego napięcia oraz w wersji z uproszczonym wyposażeniem po stronie średniego napięcia (np. bez podstaw bezpiecznikowych SN, bez pomostu obsługi) [13]. Rozwiązania uproszczone zasadniczo pozabawione są pomostu obsługi i nie zaleca się ich stosowania w sytuacji, gdy moc znamionowa transformatorów przekracza 100 kVA.

Stacje słupowe mogą być lokalizowane w odległości minimum 3 m od budynków wykonanych z materiałów niepalnych lub minimum 5 m od pozostałych budynków [12]. Realizacja budowy takich stacji jest szybka i łatwa. Rozwiązania są zstandaryzowane, proste i przejrzyste, a dzięki łatwemu dostępowi dla obsługi nie stwarzają problemów w eksploatacji. Przy czym obsługa stacji może odbywać się jedynie przy sprzyjających warunkach atmosferycznych, są to bowiem rozwiązania napowietrzne i występuje tu silny wpływ warunków zewnętrznych na jej eksploatację. Stacje słupowe wymagają ochrony odgromowej [12].

Stacje słupowe mają wiele wariantów rozwiązań, co pozwala na optymalny dobór ich wyposażenia, dostosowany do potrzeb inwestora. Mogą być użytkowane w bardzo zróżnicowanych warunkach na terenie całego kraju. Istnieją także rozwiązania dla terenów górskich i trudno dostępnych z przeznaczeniem do montażu ręcznego.

Stacje wewnętrzne SN/nn są, podobnie jak prefabrykowane kontenerowe stacje transformatorowe SN/nn, przeznaczone do zasilania odbiorców: miejskich, wiejskich, osiedlowych oraz przemysłowo-usługowych z sieci napowietrznej lub kablowej SN. Stacje te są budowane w dwóch wariantach – jako obiekty wolno stojące lub wbudowane w obiekty. Mogą być usytuowane również w budynku prefabrykowanym.

Stacje transformatorowe wolno stojące są małymi budynkami stawianymi na podstawie indywidualnych projektów, zgodnie z zaleceniami technicznymi określonymi przez operatora systemu dystrybucyjnego. Postawienie takiego obiektu obwarowane jest odpowiednim reżimem technologicznym i wymaga m.in. wymurowania skorupy stacji, wylania fundamentów i kanałów kablowych oraz właściwego uszczelnienia budowlanego, aby zabezpieczyć obiekt przed wnikaniem wody do budynku stacji. Budynki przeznaczone pod takie stacje posiadają najczęściej trzy odrębne pomieszczenia, w których są zlokalizowane transformator lub transformatory oraz rozdzielnica SN i rozdzielnica nn [9]. Przy czym zarówno rozwiązania tych rozdzielnic, układ połączeń jak i liczba pól i ich wyposażenie są dostosowane do potrzeb inwestora i projektanta.

W przypadku zasilania takiej stacji z sieci napowietrznej przewiduje się specjalne pole odgromowe w celu ochrony przed wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami w sieci. Budowa stacji wewnętrznej wolno stojącej jest dość złożona, czasochłonna i stwarza wiele problemów zarówno na etapie przygotowania jak i realizacji takiej inwestycji, zwłaszcza w obszarze formalno-prawnym, dlatego obecnie powszechnie stosuje się rozwiązania oparte na prefabrykowanych kontenerowych stacjach transfor-

matorowych. Natomiast specyficzne uwarunkowania infrastruktury sieciowej w obszarze dystrybucji oraz zaszłości wynikające ze sposobu rozbudowy sieci dystrybucyjnych SN oraz prowadzenia jej eksploatacji we wcześniejszym okresie sprawiają, że na terenie kraju zwłaszcza w miastach, jest użytkowanych bardzo wiele takich stacji.

Stacje transformatorowe wbudowane stanowią część budynków o innym przeznaczeniu, np. budynków administracyjnych, handlowych, mieszkalnych, użyteczności publicznej. Są to stacje jedno- lub dwutransformatorowe wyposażone w transformatory suche lub olejowe (o łącznej mocy znamionowej przeważnie nieprzekraczającej 630 kVA), lokalizowane w kondygnacjach przyziemia budynku [9]. Pomieszczenia stacyjne nie mają okien i są wykonane z materiałów niepalnych, a ściany i stropy stanowią oddzielenie pożarowe i są zabezpieczone przed przedostawaniem się cieczy i gazów. Drzwi komór transformatorowych wychodzą na zewnątrz budynków. W stacjach tych musi być m.in. zachowana odległość pozioma i pionowa wynosząca minimum 2,8 m we wszystkich kierunkach od pomieszczeń, w których na stałe przebywają ludzie. Ponadto muszą być spełnione rygorystyczne warunki stawiane zarówno transformatorom jak i komórkom transformatorowym. Przy czym szczególnie ostre wymagania dotyczą aspektów przeciwpożarowych i odnoszą się do komór z transformatorami olejowymi.

Stacje transformatorowe prefabrykowane budynkowe wykonuje się w budynku prefabrykowanym. Rozwiązania są zróżnicowane w zależności od mocy zainstalowanego transformatora i jego budowy. Stacje te umieszcza się w zabudowie miejskiej przy zewnętrznych ścianach budynków, jeśli spełnione są warunki odporności ogniowej ścian lub jako wolno stojące. Składają się z wydzielonych pomieszczeń: rozdzielni SN, rozdzielni nn oraz jednej lub dwóch komór transformatorów i w zależności od potrzeb mogą być budowane jako jedno- lub dwupoziomowe. Przy czym transformatory i rozdzielnia SN są umieszczane na niższym poziomie. W stacjach tych przeważnie użytkowane są transformatory suche. Obecnie w zabudowie miejskiej z uwagi na dużą zajmowaną powierzchnię oraz wygląd zewnętrzny (estetykę) odchodzi się od budowy tego typu stacji na rzecz prefabrykowanych kontenerowych stacji transformatorowych (kioskowych) w obudowie betonowej lub metalowej [10].

Stacje wewnętrzne wieżowe stanowią specyficzną kategorię stacji wewnętrznych SN/nn przeznaczonych do zasilania przeważnie z sieci napowietrznej odbiorców zlokalizowanych w miastach i na terenach wiejskich. Wysokość tych stacji była dostosowana do doprowadzeń linii napowietrznych. Obecnie stacje tego typu są z konieczności likwidowane i zastępowane stacjami prefabrykowanymi kontenerowymi lub słupowymi.

Stacje podziemne SN/nn są stacjami przeznaczonymi do zasilania odbiorców miejskich i osiedlowych z sieci kablowo-napowietrznej SN w układzie pierścieniowym lub promieniowym z wykorzystaniem sieci kablowej niskiego napięcia. Są to rozwiązania stosowane w miastach, w miejscach charakteryzujących się gęstą zabudową terenu, gdzie nie ma możliwości budowy stacji nadziemnej. Brak takiej możliwości może być np. związany z charakterem architektonicznym zabudowy, lokalizacją w obszarze podlegającym całkowitej ochronie konserwatora zabytków i wieloma innymi czynnikami.

Stacja ta stanowi szczelny stalowy lub betonowy kontener o wymiarach dostosowanych do wielkości montowanych urządzeń, który wstawia się pod powierzchnię terenu. Z racji ograniczonych wymiarów zewnętrznych i trudnych warunków pracy najczęściej stacje te wyposażone są w: transformator o maksymalnej mocy 630 kVA, czteropolową rozdzielnicę SN w izolacji gazowej SF<sub>6</sub> oraz dwunastopolową rozdzielnicę nn z rozłącznikami bezpiecznikowymi [13]. W kanałach nad włazem i transformatorem zlokalizowane są otwory wentylacyjne, które zapewniają wymagane chłodzenie zarówno transformatora jak i rozdzielnic SN i nn. Wejście do stacji jest możliwe od góry poprzez otwory wentylacyjne. Rozwiązania konstrukcyjne, rozmieszczenia elementów stacji i jej wyposażenie jest zbliżone do tego, które jest stosowane w małogabarytowych stacjach kontenerowych [13]. Różnica dotyczy bardzo ważnego elementu w kontekście bezpieczeństwa obsługi – sposobu uszczelnienia takiej stacji i odprowadzenia z niej wilgoci.

Wśród stosowanych rozwiązań stacji podziemnych istnieją rozwiązania stwarzające możliwość budowy takiej stacji w pasie drogowym, co jest szczególnie korzystne w zatłoczonych centrach aglomeracji miejskich.

Stacje podziemne są stacjami o stosunkowo małej lub średniej mocy znamionowej, posiadają bowiem ograniczenia, do których należą m.in. wymiary stacji, dostęp z zewnątrz do urządzeń zainstalowanych w stacji i zapewnienie skutecznej wentylacji. Są ponadto dość uciążliwe w prowadzeniu eksploatacji.

## Podsumowanie

W kraju spotyka się wiele rozwiązań technicznych i konstrukcyjnych stacji elektroenergetycznych SN, są wśród nich stacje: prefabrykowane (betonowe i metalowe, kontenerowe, zagłębione i podziemne), wnętrzowe (wbudowane, prefabrykowane budynkowe i wieżowe), kontenerowe (tymczasowe i przemieszczalne) oraz słupowe. Przy czym najczęściej w sieci dystrybucyjnej SN występują stacje prefabrykowane kontenerowe i stacje słupowe.

Obecnie na rynku krajowym jest dostępnych bardzo wiele nowoczesnych różnorodnych rozwiązań stacji SN o zróżnicowanych parametrach technicznych odznaczających się wysokim poziomem jakości, niezawodności i bezpieczeństwa, które w pełni umożliwiają wybór przez projektanta konstrukcji najbardziej przydatnej do określonych warunków eksploatacyjnych i środowiskowych z jednoczesnym uwzględnieniem możliwości finansowych i życzeń inwestora (użytkownika), którym często jest operator systemu dystrybucyjnego.

Proces projektowania i budowy stacji SN musi być realizowany zgodnie z zasadami wiedzy technicznej i obowiązującymi w tym zakresie aktami prawnymi (ustawami i rozporządzeniami), instrukcją ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnej opracowaną przez operatora systemu dystrybucyjnego właściwego dla terenu lokalizacji stacji oraz dokumentami technicznymi opracowanymi przez wspomnianego operatora i normami przedmiotowymi, z których najważniejsze są normy: PN-EN 62271-202:2007 Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza

i sterownicza – Część 202: Stacje transformatorowe prefabrykowane wysokiego napięcia na niskie napięcie oraz PN-E-05115: Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – *Prawo budowlane* (Dz. U. z 1994 r., Nr 89, poz. 414 z późn. zm).
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
- [3] Sprawozdanie z wyników monitorowania bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej za okres od dnia 1 stycznia 2015 do dnia 31 grudnia 2016. Minister Energii, Warszawa 2017.
- [4] *Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej*. TAURON Dystrybucja S.A. Kraków 2014.
- [5] *Wytyczne w sprawie standaryzacji budowy i eksploatacji elementów sieci elektroenergetycznej*, TAURON Dystrybucja S.A., 2012.
- [6] *Wytyczne w sprawie standaryzacji stacji transformatorowych słupowych SN/nn*, TAURON Dystrybucja S.A., 2012.
- [7] PN-EN 62271-202:2007 Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza: Stacje transformatorowe prefabrykowane wysokiego napięcia na niskie napięcie.
- [8] PN-E 05115:2002. Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
- [9] Dołęga W.: *Stacje elektroenergetyczne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- [10] Dołęga W.: *Nowoczesne stacje i rozdzielnice średniego napięcia*. XIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Instalacje elektryczne niskiego, średniego i wysokiego napięcia” – „Elektroenergetyczne stacje i rozdzielnice średniego napięcia”, Poznań, 27 maja 2015. Materiały Konferencyjne, Oddział Poznański SEP, Poznań 2015, s. 7-16.
- [11] Dołęga W.: *Przegląd krajowych rozwiązań kontenerowych stacji transformatorowych SN/nn*, „Elektro Info” 2011, nr 12, s. 44-48.
- [12] Dołęga W.: *Przegląd krajowych rozwiązań słupowych stacji elektroenergetycznych SN/nn*. „Elektroinstalator” 2017, nr 2, s. 15-19.
- [13] Katalog do projektowania 2010. Kontenerowe Stacje Transformatorowe. Rozdzielnice średniego napięcia. Rozdzielnice niskiego napięcia. Słupowe stacje transformatorowe. Linie napowietrzne SN i nn. ZPUE Włocławek 2010.
- [14] zpue.pl

