



Aleksander Gul*, Marek Florkowski**

WYKORZYSTANIE NOWOCZESNYCH METOD SYMULACYJNYCH I POMIAROWYCH DO KONSTRUKCJI MAŁOGABARYTOWYCH ROZDZIELNIC ŚREDNICH NAPIĘĆ

Streszczenie: W artykule przedstawiono zastosowanie metod symulacyjnych i pomiarowych do projektowania małogabarytowych rozdzielnic średnich napięć, ze szczególnym uwzględnieniem miniaturyzacji tych urządzeń. Dla celów optymalizacyjnych wykorzystano metody symulacyjne rozkładu pola elektrycznego w przedziale wyłącznikowym oraz pomiary termowizyjne na poszczególnych elementach pola rozdzielnic. Weryfikacje w/w metod przeprowadzono na drodze eksperymentalnej w laboratoriach firm: ABB Calor Emag (Niemcy) oraz ABB Zwar S.A. w Warszawie. Przedstawiono zestawienie porównawcze parametrów rozdzielnic w odniesieniu do standardowych pól z izolacją powietrzną.

Słowa kluczowe: rozdzielnica średniego napięcia, metody symulacyjne, termowizja

1. Wstęp

W środowiskach technicznych można spotkać się z poglądem, że w konstrukcji rozdzielnic średnich napięć (SN) z zastosowaniem izolacji powietrznej przekroczenie utartych standardów wymiarowych jest praktycznie niemożliwe, gdyż wspomniany kanon konstrukcyjny (wymiary główne) to efekt wieloletnich prac rozwojowych, prowadzonych przez praktycznie wszystkich znanych producentów tych urządzeń. Biorąc pod uwagę ten obiegowy pogląd, konstruktorzy szukają rozwiązań w zakresie miniaturyzacji rozdzielnic [1], głównie poprzez zastosowanie izolacji gazowej z podwyższonym ciśnieniem np. z gazem SF₆ czystym lub domieszkowanym.

* ABB Elpar, ul. Żegańska 1, 04-713 Warszawa, e-mail: aleksander.gul@pl.abb.com

** ABB Corporate Research, ul. Starowiślna 13A, 31-038 Kraków, e-mail: marek.florkowski@pl.abb.com

W niniejszym artykule podjęto próbę odpowiedzi na pytanie czy jest to obecnie jedyna droga i czy izolacja powietrzna rozdzielnic SN nie daje możliwości na wspomnianą wcześniej miniaturyzację tych urządzeń, w oparciu o:

- wyniki obliczeń symulacyjnych przestrzennego rozkładu pola elektrycznego w przedziale wyłącznikowym rozdzielnic ZS1 (produkcji ABB),
- wyniki pomiarów termowizyjnych, przeprowadzonych na poszczególnych elementach wewnętrznych pola ZS1, podczas próby nagrzewania prądem roboczym,
- prezentację konstrukcji małowagarytowego pola „silnoprądowego” rozdzielnic ZS1, jako końcowego efektu podjętych prac rozwojowych.

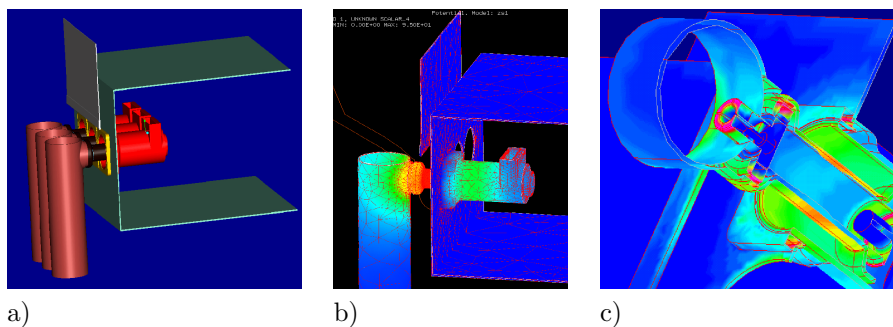
2. Nowoczesne metody symulacyjne i pomiarowe jako efektywne wsparcie procesu projektowania nowoczesnej konstrukcji rozdzielnic w izolacji powietrznej

W zaprezentowanym rozwiązaniu konstrukcyjnym pola rozdzielnic ZS1 w izolacji powietrznej o zredukowanej szerokości pola, czyli 650 mm rozwiązano dwa pozornie sprzeczne ze sobą zagadnienia, a mianowicie przy zachowaniu wysokiej wytrzymałości udarowej (95 kV dla $U_n = 17,5$ kV) osiągnięto duże prądy znamionowe 1600 A, oraz 1800 A z chłodzeniem naturalnym i 2000 A z chłodzeniem wymuszonym w przedziale wyłącznikowym. Wraz z miniaturyzacją pola rozdzielnic uzyskano zmniejszenie wagi z 1200 kg do 850 kg.

Przy odstępnie międzyfazowym 150 mm i powyższych prądach znamionowych zbliżenia elementów pod napięciem (wymagane przekroje podzespołów toru prądowego) są nie do uniknięcia. W takim wypadku przestrzenny rozkład pola elektrycznego w obrębie wspomnianych elementów, oraz rodzaj współpracujących z nimi materiałów izolacyjnych wpływa w sposób zasadniczy na konstrukcję pola rozdzielnic.

Obecnie niezbędnym narzędziem wspomagającym projektowanie rozdzielnic są symulacje komputerowe weryfikowane pomiarami i testami laboratoryjnymi. Głównym ich celem jest z jednej strony optymalizacja kształtu i gabarytów elektrod oraz układów izolacyjnych pozwalająca na stworzenie kompaktowego rozwiązania, z drugiej natomiast zapewnienie wymaganej wytrzymałości elektrycznej zgodnej z założeniami konstrukcyjnymi i wymaganiami norm i standardów. Obecnie dąży się więc do przeprowadzenia większości wstępnych operacji projektowych w oparciu o modele wirtualne 3D analizowane numerycznie pod względem elektrycznym, mechanicznym, termicznym itp. Dla tak zoptymalizowanego modelu tworzony jest prototyp weryfikowany następnie w próbach laboratoryjnych. Podejście to pozwala radykalnie zmniejszyć liczbę zmian konstrukcyjnych i skrócić czas opracowania/modyfikacji urządzenia przy znacznej redukcji kosztów. Dla przedstawionej w artykule zmodyfikowanej rozdzielnic ZS1 stworzono model geometryczny 3D przedziału wyłącznikowego za pomocą systemu CAD Pro/Engineer (rys. 1a). Do obliczeń polowych zastosowano oprogramowanie POLOPT (ABB Corporate Research Heidelberg) oparte na metodzie elementów brzegowych (BEM — Boundary Element Method) [2]. Głównymi zaletami powyższej metody są duża dokładność obliczeń polowych, będących bezpośrednim rezultatem rozwiązywania równań, a nie obliczanych jako pochodna wyznaczonego

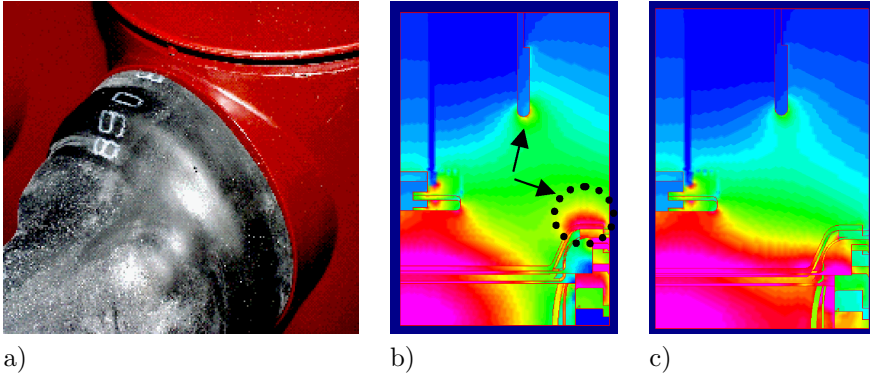
rozkładu potencjałów, jak również wymagana jedynie konstrukcja siatki powierzchniowej na elektrodach i dielektrykach (rys. 1b, c). Właściwość ta umożliwia radykalne uproszczenie złożoności obliczeniowej w porównaniu np. z metodą elementów skończonych (FEM — Finite Element Method). Z uwagi na złożoność modelu czas obliczenia pojedynczego przypadku wynosił do kilku godzin (na komputerach Octane firmy Silicon Graphics). W celu przyspieszenia obliczeń zastosowano oprogramowanie PVM (Parallel Virtual Machine) umożliwiające realizację obliczeń równoległe na wielu procesorach (komputerach).



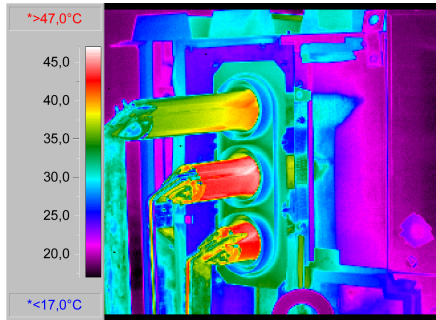
Rys. 1. a) model geometryczny 3D przedziału wyłącznikowego; b) rozkład przestrzenny natężenia pola elektrycznego – widok zewnętrzny; c) rozkład przestrzenny natężenia pola elektrycznego – przekrój

W zmodyfikowanej rozdzielnicy ZS1 założony konstrukcyjnie odstęp między biegunowy wynosi 150 mm. Wymaganie to narzuciło konieczność zmodyfikowania przyłącza toru prądowego do kolumny wyłącznikowej (rys. 2a) z uwagi na możliwość wystąpienia przebicia elektrycznego między nasadą przyłącza a uziemioną zasuwą. Na rys. 2a i 2b przedstawiono rozkłady pola elektrycznego w przedziale wyłącznikowym przed i po modyfikacji przyłącza. Szczególnie krytyczny był obszar oznaczony na rys. 2b obrysem, w którym przekroczona została dopuszczalna wartość natężenia pola elektrycznego. Po optymalizacji kształtu elementu konstrukcyjnego przyłącza uzyskano „wygładzenie” rozkładu pola w tym obszarze przedstawione na rys. 2c i zapewnienie wymaganej wytrzymałości elektrycznej.

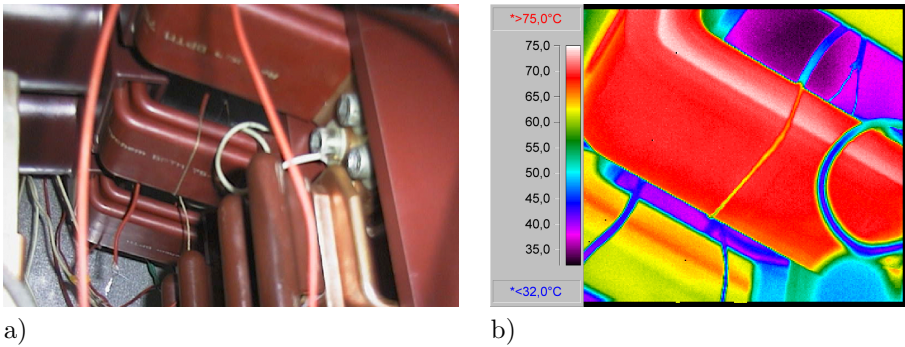
Od strony pomiarowej natomiast wsparciem w projektowaniu była diagnostyka termowizyjna elementów wewnętrznych rozdzielnicy ZS1 podczas próby nagrzewania prądem roboczym. Przy różnorodnych materiałach izolacyjnych, można było stwierdzić różnice w przewodzeniu przez nie ciepła, co w oczywisty sposób wpływa na efektywność chłodzenia elementów przewodzących prąd (rys. 3). Na rys. 4b przedstawiono rozkład temperatur na doprowadzeniach szynowych przekładników prądowych. Na termogramie widoczny jest efekt największego nagrzewania fazy środkowej. Dodatkowym efektem jaki można było stwierdzić było znaczenie przejmowania ciepła przez materiały izolacyjne przy ich przyleganiu do elementów przewodzących prąd (rys. 5). Nawet niewielka szczelina powietrzna między elementami izolacyjnymi a przewodzącymi prąd, praktycznie eliminuje skuteczne chłodzenie powierzchni elementów aktywnych.



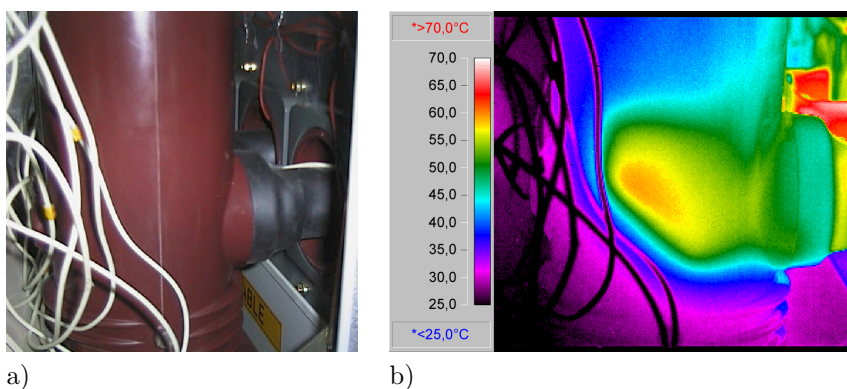
Rys. 2. a) widok przyłącza toru prądowego do kolumny wyłącznikowej; b) rozkład przestrzenny natężenia pola elektrycznego przed modyfikacją; c) rozkład przestrzenny natężenia pola elektrycznego po modyfikacji



Rys. 3. Rozkład temperatur w przedziale szynowym rozdzielnic zarejestrowany kamerą termowizyjną podczas próby grzania



Rys. 4. Rozkład temperatur przy przyłączach przekładników prądowych: a) widok przekładników; b) termogram



Rys. 5. Rozkład temperatur na powierzchni kolumny wyłącznikowej zarejestrowany kamerą termowizyjną podczas próby grzania a) widok kolmny; b) termogram

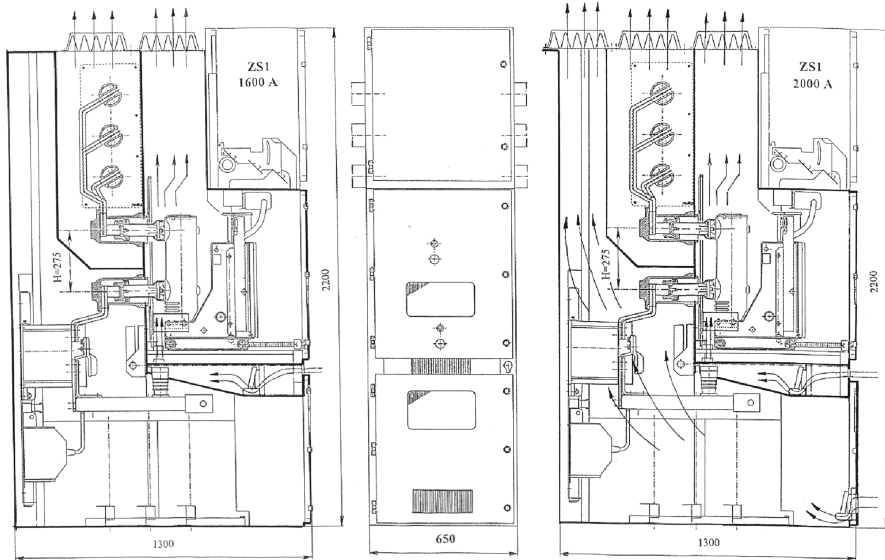
Innym ważnym rezultatem badań termowizyjnych pola ZS1, była weryfikacja skuteczności zabiegów konstrukcyjnych, mających na celu wytworzenie naturalnej cyrkulacji powietrza w poszczególnych przedziałach pola ZS1 (Rys. 6), wpływającej na wprowadzenie ciepła na zewnątrz tego urządzenia.

3. Małogabarytowe pole rozdzielnicy ZS1 jako przykład konstrukcji powstałej z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi projektowania

Obecnie, szerokość pól rozdzielnic z izolacją powietrzną dla prądów do 1250 A wynosi 600–650 mm. Jednakże już dla prądów: 1600 A; 2000 A i większych, szerokość pola wynosi 800–1000 mm. W przypadku małogabarytowego pola ZS1 na prądy 1600, 1800 oraz 2000 A, jak już wcześniej wspomniano, ta szerokość wynosi 650 mm.

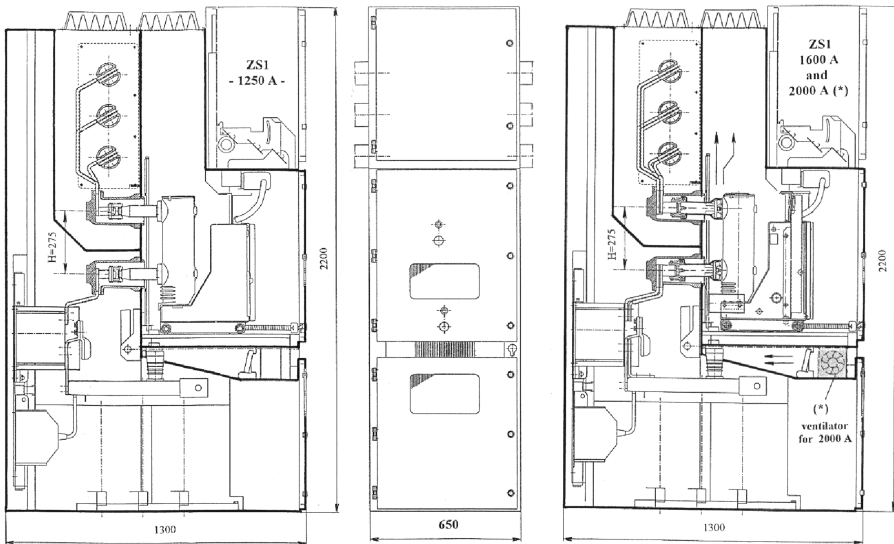
Dodatkowym ograniczeniem konstrukcyjnym było zastosowanie typowej konstrukcji wspaniejszej niż dla pola ZS1 z prądem roboczym 1250 A. W efekcie możliwe jest powiększenie prądu znamionowego eksploatowanych wcześniej pól ZS1 z prądem 630 czy 1250 A aż do 2000 A włącznie, gdyż wystarczy wymienić komponenty aktywne rozdzielnic jak: wyłącznik, przekładniki prądowe oraz zamontować dodatkowe szyny płaskie w przedziale szynowym (rys. 6 i 7).

Rozwiązanie to jest niezwykle korzystne w rozdzielniach, gdzie można się w przyszłości spodziewać większego poboru energii np. z powodu zainstalowania dodatkowych urządzeń ekologicznych itp. Przy dotychczasowych standardach konstrukcyjnych powiększenie prądu znamionowego wybranego pola powyżej 1250 A musi powodować przesunięcie szeregu pól, zestawionych w szpalerze, co ze względu na zmiany w fundamentach, podejściach kablowych jest niezwykle kosztowne lub często wręcz niewykonalne.



12 kV and 17.5 kV - compact and unified feeder panel , Type ZS1
for : 630 A ; 1250 A ; 1600 A and 2000 A

Rys. 6. Pole rozdzielnic ZS1 z naturalnym obiegiem chłodzenia



prepared : A. Gul / ABB Elpar

12 kV and 17.5 kV - compact and unified feeder panel , Type ZS1
for : 630 A ; 1250 A ; 1600 A and 2000 A (*)

Rys. 7. Pole rozdzielnic ZS1 z wymuszonym obiegiem chłodzenia

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono zastosowanie metod symulacyjnych i pomiarowych do projektowania małowobarytowych rozdzielnic średnich napięć, ze szczególnym uwzględnieniem miniaturyzacji tych urządzeń. Dla celów optymalizacyjnych wykorzystano metody symulacyjne rozkładu pola elektrycznego w przedziale wyłącznikowym oraz pomiary termowizyjne na poszczególnych elementach pola rozdzielnic. Weryfikacje przeprowadzono podczas badań w laboratoriach firm: ABB Calor Emag (Niemcy) oraz ABB Zwar S.A. w Warszawie. Zmodyfikowane parametry rozdzielnic w odniesieniu do standardowych pól z izolacją powietrzną przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Zestawienie porównawcze zmodyfikowanych parametrów rozdzielnic ZS1

	konwencjonalna ZS1	zmodyfikowana ZS1
podziałka [mm]	1000	650
waga [kg]	1200	850
cena [%]	100	75

Reasumując należy podkreślić nieodzowne obecnie wręcz znaczenie zaawansowanych metod symulacyjnych i pomiarowych jako wsparcie na etapie projektowania w procesie konstrukcji rozdzielnic średnich napięć. Efektem przeprowadzonych zmian konstrukcyjnych było opracowanie rozdzielnic w izolacji powietrznej o zredukowanej i zunifikowanej szerokości pola (650 mm), dla klasy pól nisko- i wysokoprądowych aż do 2000 A, przy równoczesnym zmniejszeniu wagi z 1250 kg do 850 kg i obniżeniu ceny pola o około 25%. Podejście takie pozwala radykalnie zmniejszyć liczbę zmian konstrukcyjnych, skrócić czas opracowania/modyfikacji urządzenia przy znacznej redukcji kosztów co przedstawiono w niniejszym artykule na przykładzie małowobarytowej rozdzielnic ZS1.

Literatura

- [1] **Gul A.:** *Kryterium oceny zdolności wyłączenia prądów zwarciovych przez wyłączniki próżniowe, w warunkach podwyższonej stromości napięcia powrotnego i asymetrii prądu wyłączeniowego*, Rozprawa doktorska, Warszawa, 1997
- [2] **De Kock N., Mendik M., Andjelic Z., Blaszczyk A.:** *Application of the 3D Boundary element Method in the Design of EHV GIS Components*, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 14, No. 3, 1998

APPLICATION OF SIMULATION AND MEASUREMENT TECHNIQUES FOR DESIGN SUPPORT OF MV SWITCHGEARS

This paper presents application of simulation and measurement techniques for design support of medium voltage switchgears. As a design case modified ZS1 field was selected. Numerical simulations were applied for design support and the verification was performed during laboratory tests. The 3D model of the device was implemented in Pro/Engineer. For calculations the boundary element method

(BEM) was used and the POLOPT solver from ABB Corporate Research Heidelberg was applied. Due to the large model dimension (numerical complexity, time consuming calculations) the parallel virtual machine (PVM) processing on up to 5 processors (SGI Octane) was performed for some design cases. The comparative analysis of the electrical field distributions along with cross section views has been presented. As a result of performed optimisation on ZS1 switchgear, the unified and reduced unit has been designed. Simulation based design allows radically decrease the number of design changes performed on prototype, reduce design costs and in shorten the total development time.