



Wojciech KOŁTUNOWICZ

CESI - Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano, Włochy

## Próby pomontażowe izolacji rozdzielnicy wn z SF<sub>6</sub>

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono procedury optymalnych prób pomontażowych wytrzymałości elektrycznej izolacji rozdzielnic wn z SF<sub>6</sub> oparte na dwóch metodach pomiaru wyladowań niezupełnych: metodzie bardzo wysokiej częstotliwości i metodzie akustycznej.

**Abstract.** (On-site dielectric testing of high voltage Gas-Insulated Substations). In the paper the optimal procedures of dielectric on-site testing of Gas Insulated Substations based on ultra high frequency method and acoustic method of partial discharge measurements are presented.

**Słowa kluczowe:** rozdzielnice gazowe, próby pomontażowe, diagnostyka, pomiar wyladowań niezupełnych.

**Keywords:** Gas-insulated substations (GIS), on-site testing, diagnostics, partial discharge measurements.

### Wstęp

Wysokonapięciowe rozdzielnice z SF<sub>6</sub> mają małe rozmiary, ponad dwudziestokrotnie mniejszą objętość niż rozdzielnice tradycyjne, zwartą konstrukcję i odzielne przedziały dla poszczególnych urządzeń łączeniowych, pomiarowych i odcinków szyn zbiorczych. Rozdzielnice gazowe pozostają w harmonii z otoczeniem, pracują prawie bezgłośnie, nie wytwarzają na zewnątrz pola elektromagnetycznego i są bezpieczne dla personelu pod względem porażeniowym. Na pracę rozdzielnic nie mają wpływu warunki środowiskowe i atmosferyczne. Te ich niepodważalne zalety powodują, że stają się one coraz bardziej powszechne na całym świecie. Z drugiej jednak strony, wykorzystanie konstrukcji o wysokim stopniu niejednorodności pola elektrycznego oraz zastosowanie - jako czynnika izolacyjnego - gazu SF<sub>6</sub> pod wysokim ciśnieniem czynią te rozwiązania wyjątkowo czułymi na potencjalne nieprawidłowości - defekty, które mogą pojawić się we wnętrzu rozdzielnic podczas jej produkcji, montażu i eksploatacji. Mogą one prowadzić do lokalnych wzrostów natężenia pola elektrycznego, powodować obniżenie wytrzymałości elektrycznej izolacji, wywoływać bardzo groźne awarie, długotrwałe wyłączenia i duże koszty naprawy. Aby zagwarantować wysoką niezawodność pracy rozdzielnic, konieczne jest dokonywanie prób napięciowych i różnorodnych pomiarów diagnostycznych [1]. Bardzo ważna jest kontrola wytrzymałości dielektrycznej izolacji rozdzielnic bezpośrednio po ich montażu w miejscu ich przyszłej pracy (rys.1).



Rys.1. Układ probierczy napięcia przemiennego do próby pomontażowej rozdzielnic

### Cel prób pomontażowych

Po zmontowaniu rozdzielnic w miejscu eksploatacji i wykonaniu końcowych prób sprawdzających, obejmujących kontrolę gazu, pomiar rezystancji obwodu głównego i próby mechaniczne urządzeń łączeniowych, istnieje konieczność sprawdzenia wytrzymałości elektrycznej izolacji całej rozdzielnic w celu wykrycia ewentualnych defektów, jakie mogły zaistnieć w jej wnętrzu w czasie transportu, montażu i prób mechanicznych. Próby pomontażowe są więc uzupełnieniem prób wyrobu. Nie mają jednak służyć wykryciu błędów typu konstrukcyjnego i nie są powtórzeniem prób typu, a jedynie ostatnią kontrolą przed oddaniem rozdzielnic do eksploatacji. Z punktu widzenia koordynacji izolacji próby pomontażowe mają za zadanie sprawdzenie, czy aktualne napięcia wytrzymywane przez izolację rozdzielnic są wyższe niż napięcie koordynacyjne ( $U_{cw}$ ) przyjęte w procedurze koordynacji izolacji.

### Procedura próby pomontażowej

Dobór skutecznej procedury pomiarowej do kontroli izolacji rozdzielnic jest przedmiotem ciągłej dyskusji [2,3], zmierzającej do osiągnięcia kompromisu między kosztem próby i jej prostotą wykonania a skutecznością wykrywania defektów krytycznych, a więc tych obniżających wytrzymałość izolacji do wartości mniejszej niż napięcie koordynacyjne  $U_{cw}$ . Pomocne stają się tu metody diagnostyczne wyladowań niezupełnych (wnz), dzięki którym można zapobiec wystąpieniu przeskoku w czasie prób napięciowych. Należy przy tym zdawać sobie sprawę, że nawet najbardziej złożona próba nie jest w stanie wykryć wszystkich defektów krytycznych w rozdzielnic [1]. W tabeli 1 scharakteryzowano skuteczność wykrywania defektów podczas prób pomontażowych napięciem przemiennym i napięciem przemiennym z pomiarem wnz oraz udarem piorunowym i łączeniowym, przy zastosowaniu probierczych poziomów napięciowych aktualnie obowiązujących w normach IEC [4].

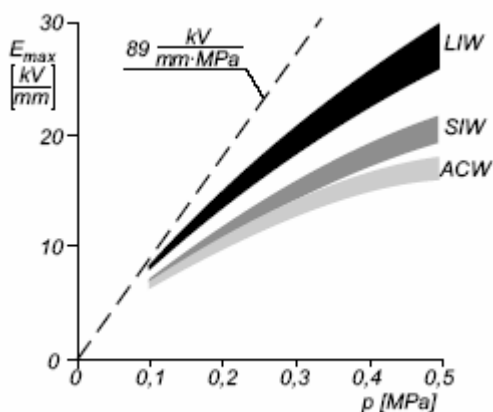
Tabela 1. Skuteczność wykrywania poszczególnych defektów w izolacji za pomocą różnych prób napięciowych

Defekt	Efektywność wykrycia defektu krytycznego w próbie pomontażowej			
	AC	AC z wnz	LI	SI
Ostrze na elektrodzie wn	Żadna	mała	duża	Mała
Cząstka na izolatorze	Żadna	mała	duża	Mała
Defekt we wnętrzu izolat.	Żadna	mała	żadna	Żadna
Cząstka ruchoma	Duża	duża	żadna	Żadna
Element na ruchomym potencjale	Mała	duża	żadna	Żadna

Podstawą do wnioskowania są rezultaty badań przedstawione przez autora w [1,5] wskazujące na brak wpływu napięć udarowych piorunowych (LI) i łączeniowych (SI) na możliwość wprowadzenia w ruch ruchomej cząstki. Cząstki nieruchome: ostrze na elektrodzie wn oraz cząstka uwięziona na izolatorze tylko w nieznacznym stopniu wpływają na wartość napięcia przeskoku przy napięciu przemiennym (AC).

Na podstawie danych eksperymentalnych wyznaczonych w laboratorium CESI [6] oraz przedstawionych w [7] wynika, że minimalny *współczynnik udaru*, tj. stosunek wytrzymałości przy udarach piorunowych do maksymalnej wartości przemiennego napięcia przeskoku, w przypadku układu walców cylindrycznych z ostrzem na elektrodzie wysokonapięciowej - typowych dla rozdzielnic gazowej - wynosi 0,45. Jest więc praktycznie niemożliwe dobranie takiego przemiennego napięcia probierczego, które bez jednoczesnych pomiarów diagnostycznych, zastępowałoby próbę napięciem udarowym, gdyż jego wartość musiałaby przekraczać ponad dwukrotnie wartości napięć stosowane przy próbach typu lub wyrobu. W tej sytuacji konieczne jest uzupełnienie próby napięciem przemiennym jednoczesnym pomiarem wnz metodami diagnostycznymi o wysokiej czułości pomiarowej, pozwalającej na wykrycie krytycznych defektów nieruchomych, które obniżają wytrzymałość rozdzielnic przy napięciu udarowym.

Stosowane obecnie wyższe poziomy napięć próby 1-min [4] wynikają z własności fizycznych, jakie mają układy rozdzielnic gazowych. Charakteryzują się one promieniowymi rozkładami pól elektrycznych, ale zbliżonymi do jednorodnych, których maksymalne wartości decydują o wytrzymałości przerw iskrowych wypełnionych sześćsi-fluorkiem siarki. Dla cylindrycznych układów elektrod udało się wyznaczyć w laboratorium CESI relacje między napięciami przeskoku o różnych kształtach standardowych a ciśnieniem SF<sub>6</sub> [6,8]. Wyniki badań są przedstawione na rysunku 2.



Rys.2. Należenie pola elektrycznego odpowiadające napięciom przeskoku dla różnych standardowych napięć probierczych w funkcji ciśnienia SF<sub>6</sub> [6,8]

Wynika z nich, że:

- (1)  $U_{SIW}/U_{LIW} = 0,75$   
 (2)  $U_{ACW}/U_{LIW} = 0,45$

przy czym:  $U_{LIW}$  i  $U_{SIW}$  - wytrzymałwane napięcie standardowe odpowiednio piorunowe i łączeniowe, a  $U_{ACW}$  - wartość skuteczna wytrzymałwanego napięcia przemiennego 50 Hz.

Wytrzymałość na udary piorunowe jest najważniejszym parametrem dla izolacji rozdzielnic. Maksymalna wartość bardzo szybkich przepięć wewnętrznych, o czasie trwania czoła poniżej 100 ns, powodowanych operacjami

łączeniowymi w rozdzielnicach bądź też przeskokami doziemnymi w jej izolacji podczas pracy lub podczas pomontażowych prób napięciowych, nie przekracza z reguły wartości 2,5 p.u. (1 p.u. =  $U_m \sqrt{2}/\sqrt{3}$ ), czyli jest dużo mniejsza niż wartość udarów piorunowych i nie stanowi zagrożenia dla izolacji rozdzielnic. Z tego też powodu nie zostały do tej pory wyznaczone wartości wytrzymałwanych napięć dla tego rodzaju przepięć. Biorąc pod uwagę, iż  $U_{LIW}$  odzwierciedla 10% prawdopodobieństwo przeskoku przy napięciu udarowym, a w czasie próby wskazane jest zapewnienie znacznie mniejszego prawdopodobieństwa przeskoku, należy zadbać, by napięcie próby pomontażowej było utrzymane na poziomie 80%  $U_{LIW}$ , bez względu na miejsce występowania udaru piorunowego w rozdzielnic. Wymaga to, zgodnie z normą IEC 60071-1, przyjęcia współczynnika bezpieczeństwa  $k_s$  na poziomie przynajmniej 1,25.

Biorąc pod uwagę przedstawione zależności, należy stwierdzić, że 1-min napięcie probiercze przemiennie doprowadzone do układu rozdzielnic w czasie próby pomontażowej powinno wynosić:

(2)  $U_t = 0,45 \times 0,8 U_{LIW} = 0,36 U_{LIW}$

Konsekwencją eliminacji próby udarowej jest potrzeba przeprowadzenia pomiaru wnz taką metodą, która zapewnia czułość pomiarową ich intensywności na poziomie co najmniej 5 pC, ale przy napięciu probierczym o wartości 80% napięcia próby 1-min [9]. Procedura oparta na zależności (2), zaproponowana przez CIGRE [8], stanowiła punkt wyjścia do nowelizacji normy IEC 60517, a dokładny jej opis pokazano w tabeli 2.

Tabela 2. Procedura próby pomontażowej [8]

<p style="text-align: center;">KONDYCJONOWANIE</p> <p style="text-align: center;">napięciem przemiennym z jednoczesnym pomiarem wnz</p> <p style="text-align: center;">●●</p> <p style="text-align: center;">1-min PRÓBA NAPIĘCIEM PRZEMIENNYM</p> <p style="text-align: center;">o wartości <math>U_t = 0,36 U_{LIW}</math></p> <p style="text-align: center;">●●</p> <p style="text-align: center;">POMIAR WNZ</p> <p style="text-align: center;">przed i po próbie 1-min; pomiar przy napięciu <math>0,8 U_t</math>; wartość dopuszczalna wnz 5 pC lub "równoważna" (1)</p> <p style="text-align: center;">●●</p> <p style="text-align: center;">Gdy czułość pomiaru wnz jest zbyt mała, konieczna jest PRÓBA NAPIĘCIEM UDAROWYM o wartości <math>U_t = 0,8 U_{LIW}</math> i czasie trwania czoła <math>t_c &lt; 15 \mu s</math></p>
---

(1) - niestandardowa, pozwalająca na wykrycie defektów powodujących wnz o intensywności na poziomie 5 pC

Procedura obejmuje kondycjonowanie rozdzielnic, próbę napięciem przemiennym, pomiar wnz w trakcie kondycjonowania rozdzielnic przed i po próbie 1-min i ewentualną próbę udarową. Próba napięciem przemiennym, z jednoczesnym pomiarem wnz metodami diagnostycznymi o wysokiej czułości pomiarowej, pozwalającej na wykrycie defektów dających ładunek pozorny co najmniej 5 pC, jest rozwiązaniem bardzo korzystnym pod względem technicznym i ekonomicznym. Pomiary wnz, wykonywane przed próbą 1-min mają na celu wykrycie defektów, a przez to ograniczenie możliwości wystąpienia przeskoków w izolacji podczas próby i eksploatacji. Natomiast pomiary wnz wykonywane po próbie mają przede wszystkim na celu wykrycie przewodzących cząstek, które uległy przemieszczeniu na powierzchnię izolatorów w czasie próby 1-min. Gdy czułość pomiaru wnz jest niewystarczająca, wskazane jest wykonanie próby udarem napięciowym o czasie trwania czoła krótszym niż 15  $\mu s$ , co - z jednej strony - pozwala na

wykrycie defektów o rozmiarach zbliżonych do krytycznych, z drugiej zaś - uniknięcie w rozdzielnicach stromych przebiegów o dużych amplitudach, które mogłyby towarzyszyć uderzeniom o krótszych czołach. Obowiązująca od niedawna norma IEC [4] nie przewiduje pomiaru wnz na poziomie  $0,8 U_n$ , co zdecydowanie obniża czułość pomiarową, a pomiar wnz jedynie po próbie 1-min nie pozwala na uniknięcie przeskoków ziemnych w izolacji przy próbach na niższych poziomach napięciowych.

W przypadku rozdzielnic na napięcie  $U_m \leq 170$  kV dopuszcza się zgodnie z [4] wykonanie jedynie próby napięciem przemiennym. W rozdzielnicach tych doświadczenie eksploatacyjne jest bardzo dobre. Poziom awarii w izolacji jest niski i ogranicza się do 0.26 awarii na 100 pól rozdzielczych rocznie [8]. Prace montażowe w miejscu eksploatacji takich rozdzielnic mogą być zwykle ograniczone do łączenia kompletnych pól rozdzielczych, a więc możliwość wprowadzenia defektów jest znikoma. Zdaniem autora jednak, pomiar wnz metodą akustyczną tylko nieznacznie wydłuża czas i koszty próby, a daje przyszedłemu użytkownikowi rozdzielnic dodatkową pewność wprowadzenia do eksploatacji urządzenia pozbawionego defektów krytycznych.

### Praktyczna realizacja próby pomontażowej

Technikę prób pomontażowych doskonalono w badaniach rozdzielnic na napięcia od 66 kV do 1000 kV włącznie. Procedura badań polegała na próbach wytrzymałościowych przeprowadzonych napięciem przemiennym i uzupełnionych pomiarem wnz głównie metodą akustyczną. Jedynie w przypadku rozdzielnic na napięcie 1000 kV zastosowana została kompletna procedura obejmująca również próbę napięciem udarowym piorunowym. Wysoka czułość pomiaru wnz metodą akustyczną pozwoliła na znaczne ograniczenie ryzyka związanego z eliminacją próby udarowej. Metoda standardowa pomiaru wnz była z powodzeniem zastosowana jedynie w rozdzielnicach wewnętrznych na napięcie 66 kV, mających wyprowadzenia kablowe i pozbawionych połączeń z liniami przesyłowymi za pomocą przepustów SF<sub>6</sub> - powietrze, jako połączeń zewnętrznych.

Stosowane w większości rozdzielnic procedury prób pomontażowych były trzetańkowe i obejmowały:

- kondycjonowanie rozdzielnic;
- pomiar wnz;
- próbę wytrzymałości elektrycznej jednonominowej.

Proces kondycjonowania polega na stopniowym zwiększaniu napięcia przemiennego i utrzymywaniu go na coraz wyższych poziomach przez czas potrzebny na przeniesienie siłami pola elektrycznego ewentualnych, znajdujących się wewnątrz rozdzielnic defektów - ruchomych przewodzących cząstek, do obszarów słabszego natężenia pola lub do tzw. „pułapek” na obudowie rozdzielnic. Przeniesione cząstki zostają uwięzione i dalszy ich ruch, nawet przy znacznie wyższych napięciach próby jest mało prawdopodobny. Cały ten proces ma na celu wyeliminowanie lub przynajmniej zmniejszenie do minimum ilości przeskoków w czasie próby. Uważa się go za zakończony po osiągnięciu poziomu napięcia roboczego lub o 10 do 20% wyższego, w zależności od wcześniejszych uzgodnień między użytkownikiem rozdzielnic i jej wytwórcą. Skokowy wzrost napięcia od razu do poziomu napięcia próby 1-min jest zdecydowanie nie do zaakceptowania, gdyż może doprowadzić do niekontrolowanego ruchu cząstek w kierunku elektrody wn lub w kierunku powierzchni izolatora wsporczoego, a w konsekwencji do przeskoku ziemnego w układzie rozdzielnic.

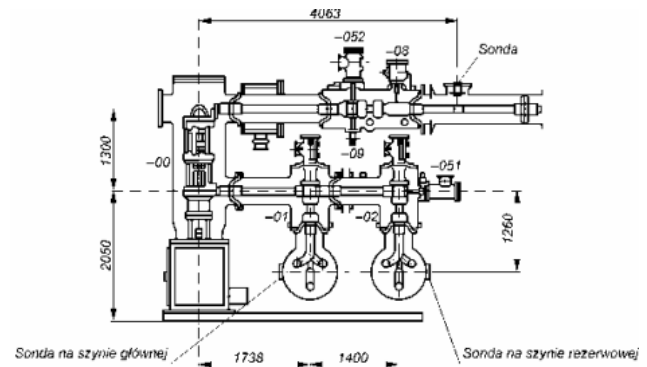
Pomiar wyładowań niezupełnych powinien być dokonywany już przy najniższych poziomach napięć podczas kondycjonowania i jest niezbędny do kontroli stanu izolacji przy wyższych poziomach napięć. Do pomiaru wnz najkorzystniejsze jest stosowanie metody bardzo wysokiej częstotliwości (UHF) i metody akustycznej jednocześnie.

Pomiaru wnz w zakresie UHF dokonuje się za pomocą sond połowych rozmieszczonych wewnątrz lub na zewnątrz obudowy rozdzielnic, w różnych jej miejscach. Pomiar taki pozwala na określenie typu defektu i umożliwia jego lokalizację. Istnieje kilka sposobów montażu sond. W większości przypadków, w celu uzyskania jak najlepszej czułości, sondy umieszcza się we wnętrzu rozdzielnic. Sprawdzenie czułości samej sondy sprowadza się do pomiaru jej odpowiedzi w przedziale częstotliwości od 200 MHz do 2000 MHz.

Dysponując sondami o wymaganej czułości, dokonuje się ich rozmieszczenia w rozdzielnicach, biorąc pod uwagę:

- tłumienie fali elektrycznej powodowane skończoną przewodnością szyny wn (zjawisko naskórkowości)
- odbicie fali w punktach nieciągłości rozdzielnic (w miejscach zmiany średnicy obudowy) oraz na krańcach szyny
- podział sygnału w miejscach rozgałęzienia szyn wn.

Średnie tłumienie sygnału spowodowane skończoną przewodnością szyny i obudowy jest niewielkie i wynosi średnio ok. 2 dB/km długości szyny wn. Znacznie większe jest obniżenie wartości sygnału po przejściu przez izolator odstępnicowy (średnio od 2,5 do 3 dB) oraz przy przejściu sygnału przez punkt nieciągłości na obudowie (ok. 0,8 dB). Narzuca to konieczność instalowania sond w rozdzielnicach w odstępach nie większych niż 15 m. Przykładowe ich rozmieszczenie w rozdzielnicach na napięcie 300 kV przedstawione jest na rysunku 3 [10]. Sondy zostały umieszczone na szynie zasilającej (głównej i rezerwowej) rozdzielnic oraz na długich wyprowadzeniach szyn w kierunku połączeń z liniami.



Rys. 3. Rozmieszczenie sond UHF w rozdzielnicach na napięcie 300 kV

Pomiar wnz jest dokonywany przy coraz wyższym napięciu. Końcowy pomiar wnz odbywa się przy 80% napięcia próby 1-min. Dopiero wtedy, gdy mierzony sygnał wskazuje na obecność defektu, do głosu dochodzi technika akustyczna w celu dokładnej lokalizacji miejsca wnz. Sonda akustyczna jest kolejno umieszczana na powierzchni obudowy w różnych jej punktach tak, aby otrzymać jak największą amplitudę sygnału i co się z tym wiąże - dokładną lokalizację defektu. Oczywiście należy zawsze pamiętać, iż prawdopodobieństwo wykrycia defektu za pomocą każdej z metod wzrasta wraz ze wzrostem przyłożonego napięcia. Jednak w przypadku pomiarów akustycznych tylko kilka wybranych punktów może być monitorowanych przy napięciach zdecydowanie wyższych niż napięcie pracy.

Lokalizacja defektu jest również możliwa i dokonywana za pomocą metody UHF. Procedura wymaga pomiaru sygnału wnz na oscyloskopie za pomocą co najmniej dwóch sond

jednocześnie i określenia różnicy w czasie dojścia tego sygnału do obu sond.

Przy stosowaniu metod diagnostycznych przestrzegano procedury CIGRE [9], by wykryć defekty dające ładunek pozorny o wartości co najmniej 5 pC. Wartość 5 pC została przyjęta arbitralnie i stanowi kompromis między koniecznością zachowania jak najwyższej czułości pomiarowej wnz a trudnościami w jej osiągnięciu w warunkach polowych

Wdrożenie układu UHF wymaga stosowania określonej procedury w celu kontroli zarówno właściwego rozmieszczenia sond w rozdzielnicy, jak i poprawnej pracy całego układu pomiarowego. Kontrolę czułości układu UHF można przeprowadzić za pomocą:

- udaru skalującego symulującego rzeczywiste defekty
- rzeczywistych defektów symulowanych we wnętrzu rozdzielnicy.

W pierwszym przypadku należy wyznaczyć amplitudę udaru skalującego, który doprowadzony do sondy wytworzy w jej otoczeniu sygnał UHF o amplitudzie i częstotliwości odpowiadających sygnałowi emitowanemu przez ładunek pozorny rzeczywistego defektu o wartości 5 pC.

Weryfikacja czułości układu UHF powinna być kontynuowana w miejscu zainstalowania rozdzielnicy. Skalujący udar, o wcześniej wyznaczonej amplitudzie, jest doprowadzany kolejno do każdej sondy. Jednocześnie mierzona jest odpowiedź na ten sygnał na sąsiedniej sondzie. Odpowiedź ta w każdym przypadku powinna umożliwić identyfikację defektu. Jej brak wskazywałby na niewłaściwe, zbyt odległe rozmieszczenie sond.

W miejscu eksploatacji rozdzielnicy, przed przystąpieniem do budowy układu UHF, jest wskazany pomiar zakłóceń elektromagnetycznych obecnych w przestrzeni otaczającej rozdzielnicę. Znajomość rodzaju i intensywności zakłóceń pozwala na właściwe zaprojektowanie odpowiedzi częstotliwościowej sondy i zakresu częstotliwości roboczej wzmacniacza oraz dokonanie doboru właściwych filtrów sygnału UHF

Pomiaru sygnału akustycznego dokonywano za pomocą sond piezoelektrycznych umieszczanych na zewnętrznej stronie metalowej obudowy rozdzielnicy i dociskanych do niej przez warstwę gliceryny lub żelu akustycznego w celu zmniejszenia tłumienia. W użyciu są dwa typy sond: sondy przyspieszeniowe (ang. *accelerometers* - ACC), w których kryształ piezoelektryczny wytwarza napięcie proporcjonalne do przyspieszenia powierzchni drgającej oraz sondy emisyjne (ang. *acoustic emission sensor* - AES), gdzie z kolei napięcie wytwarzane przez kryształ jest proporcjonalne do prędkości drgań tej powierzchni.

Największą czułość pomiarową stwierdzono wśród sond AES pracujących w zakresie mniejszym niż 150 kHz. Wysoka czułość została również osiągnięta w przypadku sondy ACC, pracującej w zakresie częstotliwości pomiarowych do około 15 kHz. Ze względu jednak na znaczny wpływ zewnętrznych zakłóceń, przy tym zakresie częstotliwości, sonda ta jest jedynie wykorzystywana w wyjątkowych sytuacjach do rejestracji wibracji mechanicznych o niskich częstotliwościach.

Pomiary akustyczne wymagają przestrzegania określonej procedury postępowania i zasad praktycznych. Przede wszystkim punkty pomiarowe powinny być zlokalizowane w każdym przedziale rozdzielnicy, tj. między dwoma izolatorami oddzielającymi poszczególne przedziały. Sonda powinna być mocowana w punkcie pomiarowym na obudowie rozdzielnicy za pomocą taśmy elastycznej. Między sondą a metalową obudową powinna znajdować się cienka warstwa żelu akustycznego w celu lepszego sprzężenia powierzchni pomiarowej sondy z często nierówną powierzchnią obudowy. Poprawna praca sondy

(jej właściwe zamocowanie) powinna być potwierdzona prawidłowym sygnałem, obserwowanym przy delikatnym potarciu palcem powierzchni obudowy w bezpośrednim sąsiedztwie sondy.

Pomiar wytrzymałości elektrycznej 1-minutowej powinien być wykonywany po zakończeniu pomiarów wnz i stwierdzeniu braku obecności defektów w rozdzielnicy.

Nie ma żadnej praktycznej trudności w zastosowaniu omówionych procedur w przypadku pomiarów dokonywanych metodą UHF lub metodą standardową, gdyż czas potrzebny do wykonania pomiarów wnz na poziomie  $0,8U_i$  (wg zależności 2) jest dla tych metod krótki i nie powoduje długotrwałego naprężenia izolacji. Pomiary akustyczne są natomiast zbyt czasochłonne i nie jest możliwe ich wykonanie we wszystkich przedziałach rozdzielnicy, przy napięciu równym  $0,8U_i$ . Po próbie 1-min, przy napięciu zbliżonym lub wyższym od napięcia pracy, wskazana jest kontrola poziomu wnz w całej rozdzielnicy.

### Podsumowanie

Badania pomontażowe, pozwalające na wyeliminowanie prób udarowych, wymagają stosowania wysokich poziomów napięć przemiennych i jednoczesnego pomiaru wnz metodą diagnostyczną o czułości korespondującej z defektami krytycznymi;

Brak możliwości stosowania metody standardowej w warunkach polowych daje priorytet metodom niestandardowym: metodzie UHF i akustycznej.

Warunkiem niezawodnego wykrywania defektów jest jednoczesne zastosowanie dwóch metod niestandardowych.

### LITERATURA

- [1] Kołtunowicz W., Badania diagnostyczne izolacji gazowych rozdzielnic wysokiego napięcia, *Politechnika Warszawska, Prace naukowe, Elektryka*, (2002), z. 124, 1-112
- [2] CIGRE Working Group 23.10, Task Force 03, *User Guide for the application of GasInsulated Switchgear (GIS) for rated voltages of 72.5 kV and above.*, (April 1998).
- [3] Kołtunowicz W. et al., CIGRE WG 33/23.12: Insulation Co-ordination of GIS: Return of experience, On Site Tests and Diagnostic Techniques. *Electra*, 176, (February 1998)
- [4] IEC Publ. 62271-200, 2003, Gas Insulated Metal-enclosed Switchgear - Highest Voltage of Equipment of 72.5 kV and above.
- [5] Colombo E., Kołtunowicz W., Pigni A., Sensitivity of Electrical and Acoustical Methods for GIS Diagnostics with Particular Reference to On Site Testing. *CIGRE Symposium „Diagnostics and Maintenance Technique”*, Berlin, (1993), paper 130-13
- [6] Diessner A., Luxa G.F., Mosca W., Pigni A., High Voltage Testing of SF<sub>6</sub> Insulated Substations On Site. *CIGRE General Session*, (1986), paper 33-06
- [7] Technika badań wysokonapięciowych, *WNT*, Warszawa 1985.
- [8] Kołtunowicz W. et al.: CIGRE WG 33/23.12, Insulation Co-ordination of GIS: Return of experience, On Site Tests and Diagnostic Techniques. *Electra*, 176, (February 1998)
- [9] Kołtunowicz W. et al.: CIGRE WG 15-03, Partial Discharge Detection System for GIS: Sensitivity Verification for the UHF Method and the Acoustic Method, *Electra*, 183, (April 1999)
- [10] Kołtunowicz W., Philip M.L., Goh Y.S., Leong W.H., Sethuraman M., Darus A., Fuad S.A., Partial Discharge Measurements on GIS Installation in Malaysia: Technique and Experience. *CIGRE General Session*, (2000), paper 15-304

**Autor:** dr hab. inż. Wojciech Kołtunowicz, CESI - Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano, Przedstawicielstwo w Polsce, ul. Kraszewskiego 36, 30-110 Kraków, [www.cesi.pl](http://www.cesi.pl), E-mail: [koltonowiczi@cesi.it](mailto:koltonowiczi@cesi.it)