

Wyniki badania OSL izolatorów LSP-24

Streszczenie. Po raz pierwszy podjęto próbę wykorzystania zjawisk luminescencyjnych OSL do badań izolatorów porcelanowych stosowanych w elektroenergetyce, a dokładniej rzecz ujmując wykorzystano metodę Optycznie Stymulowanej Luminescencji (OSL). Rezultaty tych pomiarów przedstawiono w treści niniejszego artykułu. Omówiono również mechanizm powstawania zjawiska OSL oraz przyjętą metodykę badań, a także scharakteryzowano materiał badawczy czyli porcelanę elektrotechniczną stosowaną do produkcji izolatorów LSP-24.

Abstract. For the first time luminescence phenomena were used to studies porcelain insulators used in power systems, more precisely Optically Stimulated Luminescence (OSL) method was applied. The results of these measurements are presented in this article. It also discusses the mechanism of OSL phenomenon and the methodology of research as well as research material that is an electrical porcelain which is used in the production process of LSP-24 insulators. (OSL tests results for LSP-24 insulators).

Słowa kluczowe: luminescencja, optycznie stymulowana luminescencja (OSL), izolator, porcelana elektrotechniczna.

Keywords: luminescence, optically stimulated luminescence (OSL), insulator, electrical porcelain.

Wstęp

Dostępna literatura, jak również artykuły naukowe opisują bardzo szeroki zakres teorii i metod na temat prowadzonych badań mechanicznych, elektrycznych oraz fizycznych nad właściwościami ceramicznych izolatorów elektroenergetycznych.

Charakter struktury porcelany elektrotechnicznej, czyli jej skład chemiczny oraz budowa krystaliczna wypalonego materiału ceramicznego wywiera zasadniczy wpływ na jego własności, a także przydatność techniczną izolatorów stosowanych w elektroenergetyce. Toteż, badania strukturalne pozwalają na wykrycie wad oraz zaburzeń w sieci krystalicznej tworzyw porcelanowych. Są także podstawą do rozwoju nowoczesnych technologii izolacyjnych, których celem jest otrzymywanie materiałów o założonych właściwościach. Zakres prowadzonych badań nad strukturą tworzyw elektrotechnicznych jest jednak mało precyzyjny i wymaga poszerzenia. [1]

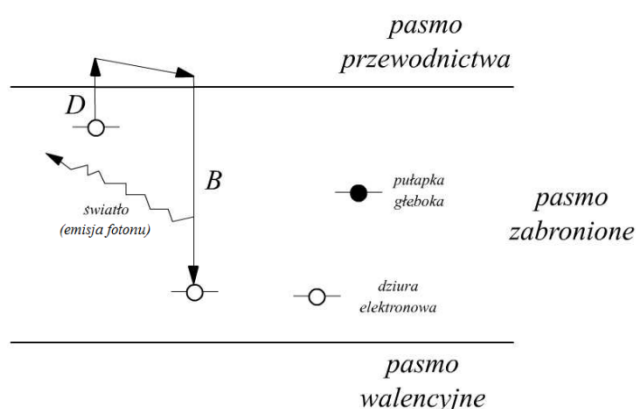
W związku z powyższym, po raz pierwszy podjęto próbę wykorzystania zjawisk luminescencyjnych OSL w badaniach izolatorów porcelanowych, a rezultaty tych pomiarów przedstawiono w dalszej części artykułu.

Charakterystyka porcelany elektrotechnicznej

Linowe izolatory porcelanowe LSP-24 są powszechnie stosowane i eksploatowane w krajowej sieci energetycznej. Istotną cechą każdego ceramicznego izolatora w znacznym stopniu determinującą jego właściwości elektryczne i przebiegiowe jest struktura energetyczna defektów. Każda niejednorodność w materiale zaburza strukturę pasmową izolatora powodując powstanie zlokalizowanych poziomów energetycznych wewnątrz przerwy wzbronionej. Takie poziomy nazywane są pułapkami nośników ładunku, gdyż posiadają możliwość wychwytywania swobodnych elektronów i dziur, a w efekcie przetrzymywania ich przez bardzo długi czas (nawet wielu tysięcy lat). Część pułapek pełni funkcję centrów rekombinacyjnych dla nośników większościowych. Proces rekombinacji zachodzący pomiędzy dziurą a elektronem przyjmuje zwykle formę promienistą, a więc jest ona połączona z emisją fotonu, czyli luminescencją (słabe świecenie, jarzenie, żarzenie) (rys. 1). [2]

W procesie produkcyjnym izolatorów ceramicznych stosowane są nowoczesne urządzenia oraz wdrażane są nowe technologie poprawiające ich jakość i własności. Izolatory wytwarzane są ze specjalnej masy porcelany elektrotechnicznej, w składzie której głównie znajduje się kwarc (SiO_2) i kaolin (Al_2O_3). Od 2003 roku producenci

izolatorów w Polsce stosują masę porcelanową rodzaju "C130". Cechują ją bardzo dobre właściwości mechaniczne oraz elektrotechniczne. Skład chemiczny takiego tworzywa przedstawia się następująco: 55% - Al_2O_3 , 40% - SiO_2 , 5% - pozostałe składniki (tj.: TiO_2 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , 0,5% - Fe_2O_3). Natomiast, wcześniejszą masą stosowaną do produkcji izolatorów LSP-24 była "C120", która posiada następujący skład: 30% - Al_2O_3 , 60% - SiO_2 , 5% - pozostałe składniki. [3]



Rys.1. Mechanizm powstawania zjawiska luminescencji w izolatorze. Model zmian w konfiguracji pułapek oraz dziur elektronowych: D - proces wybicia elektronu do pasma przewodnictwa, B - proces rekombinacji elektronu z dziurą elektronową, podczas którego następuje emisja fotonu [4]

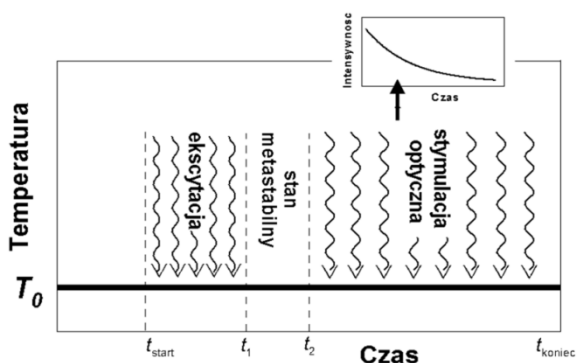
Produkowane obecnie izolatory porcelanowe są wyrobami znormalizowanymi pod kątem normy PN-EN 60383 - 1:2005 dla linii napowietrznych o znamionowym napięciu powyżej 1 kV. Badania, jakie prowadzi się nad izolatorami względem przytoczonej normy, dzieli się na 3 grupy tj.: typu, kontrolno - odbiorcze oraz wyrobu.

Z uwagi na wymagania stawiane izolatorom przez Zakłady Energetyczne do podstawowych parametrów technicznych zaliczyć można: napięcie znamionowe oraz maksymalne napięcie robocze. Dodatkowo, istotną własnością jest częstotliwość prądu, przy której będzie pracował konkretny izolator. Z technicznego punktu widzenia ważnymi parametrami są również: minimalna oraz maksymalna temperatura otoczenia, w jakiej będzie on eksploatowany. Dodatkowo, izolatory charakteryzuje się takimi parametrami jak np.: minimalna droga upływu, czy też strefa zabrudzenia. [5]

Optycznie stymulowana luminescencja

Powstawanie zjawiska Optycznie Stymulowanej Luminescencji (OSL) ma miejsce, gdy badany materiał emituje światło o krótszych długościach fali niż długość fali pobudzającej (stymulującej). Najczęściej stosowanym stymulatorem (aktywatorem) w pomiarach OSL jest światło zielone lub niebieskie. W obu tych przypadkach luminescencja zachodzi z poziomów metatrwałych, które są związane z defektami struktury krystalicznej badanego materiału. [4,6]

Duża liczba defektów w materiale porcelanowym może świadczyć o złej jakości izolatora [7]. Mianowicie, występujące defekty powodują powstanie zlokalizowanych stanów energetycznych wewnątrz przerwy wzbronionej, toteż możliwym jest opracowanie metody identyfikującej te defekty na podstawie rejestracji światła emitowanego podczas rekombinacji promienistej na defektach pełniących rolę centrów rekombinacji. Celem przeprowadzonych pomiarów było zdobycie wiedzy na temat defektów strukturalnych izolatorów porcelanowych sieci energetycznych średniego napięcia przy wykorzystaniu metody optycznie stymulowanej luminescencji. [2]



Rys.2. Mechanizm OSL z przykładową krzywą jarzenia [6]

Zjawisko optycznie stymulowanej luminescencji jest procesem dwuetapowym (rys. 2). W początkowym etapie (t_{start}) badany materiał poddawany jest procesowi ekscytacji ($t_{start} \div t_1$) zwykle wysokoenergetycznym promieniowaniem jonizującym. W wyniku tego procesu przechodzi on w stan metastabilny ($t_1 \div t_2$). W celu wywołania zjawiska luminescencji w stałej temperaturze ($t_2 \div t_{koniec}$) używa się aktywatora w postaci światła. Najczęściej wykorzystywane jest światło emitowane z monochromatycznych diod LED.

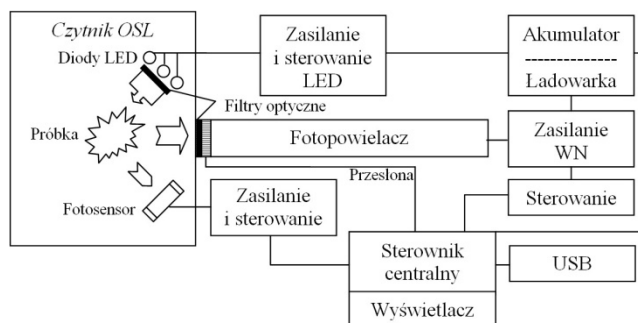
Metoda optycznie stymulowanej luminescencji jest jedną z najnowszych technik stosowanych w dozymetrii promieniowania jonizującego. Jedną z wielu zalet tej techniki jest możliwość stosowania pasywnych mikrodetektorów (bez zasilania) posiadających niewielkie rozmiary. Poza tym, detektory OSL badane są w temperaturze pokojowej oraz mogą być przechowywane w ciemnym miejscu nawet przez wiele lat bez zaniku sygnału. [6]

Metodyka badań OSL

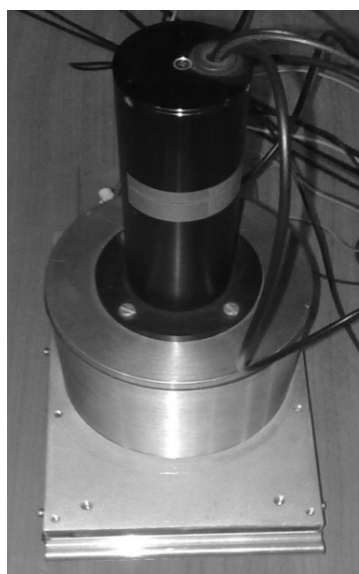
Materiał badawczy stanowiły próbki porcelany elektrotechnicznej oraz szkliva ochronnego izolatorów porcelanowych LSP 8-24 eksploatowanych do 2012 roku (wyprodukowanych w 1960 roku z masy C120 oraz C130 w 2010 roku) o wymiarach około 5x5x1 mm, które zostały pobrane z wcześniej ustalonych miejsc. Przyjęto następujące trzy punkty pobrania próbek:

- część środkową (rdzeń),
- część zewnętrzną (kołpak),
- warstwę ochronną (szklivo).

Do badań wykorzystano stanowisko pomiarowe HELIOS-1 (rys. 3) z czytnikiem optycznie stymulowanej luminescencji (rys. 4), który posiada 5 wbudowanych zielonych diod LED (każda o mocy 5 W) oraz możliwość regulacji ich natężenia. Zliczanie fotonów odbywało się za pomocą fotopowielacza bialkalicznego firmy Hamamatsu z oknem kwarcowym działającym w trybie zliczania fotonów (*photon counting*). Czytnik pozwala również na wykonywanie pomiarów optycznie stymulowanej luminescencji w trybie ciągłym CW-OSL (*continuous wave OSL*) oraz impulsowym P-OSL (*pulsed OSL*). Moduł połączony jest z komputerem PC, co pozwala na rejestrację oraz zapis uzyskanych wyników do pliku tekstowego na nośniku HDD. [6]



Rys.3. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego OSL HELIOS-1 [6]

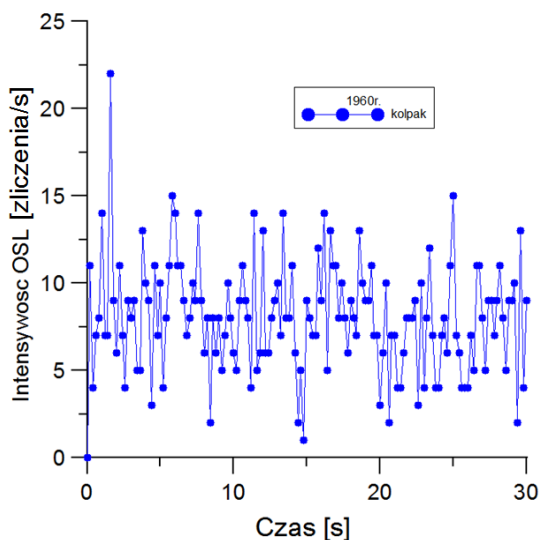


Rys.4. Czytnik OSL HELIOS-1

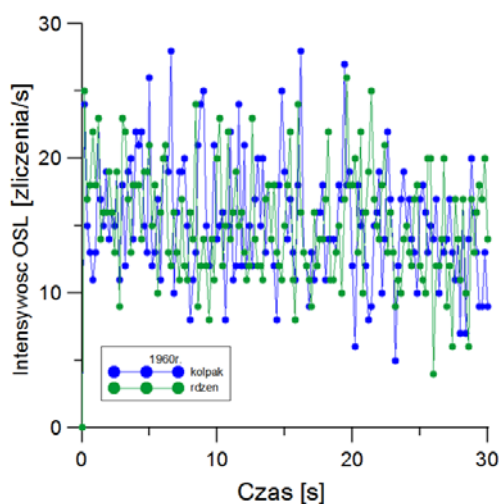
W celu wzmocnienia siły emitowanego sygnału OSL próbki badawcze dodatkowo ekscytowano źródłem promieniowania beta (minus) $^{90}\text{Sr}^{90}\text{Y}$ (energia źródła ok. 546 keV). Pierwsze pomiary przeprowadzono dla próbek, które naświetlone zostały dawką 176,5 mGy (czas ekscytacji równy 3 min.). Po tych badaniach, które nie przyniosły oczekiwanego rezultatu, zwiększono czas ekspozycji do 3 dób (dawka ok. 265 Gy). Zliczanie fotonów odbywało się co 0,1 sekundy. Czas pomiarów OSL dla każdej próbki wynosił 180 sekund oraz przeprowadzany był w stałej pokojowej temperaturze. [6]

Wyniki pomiarów OSL

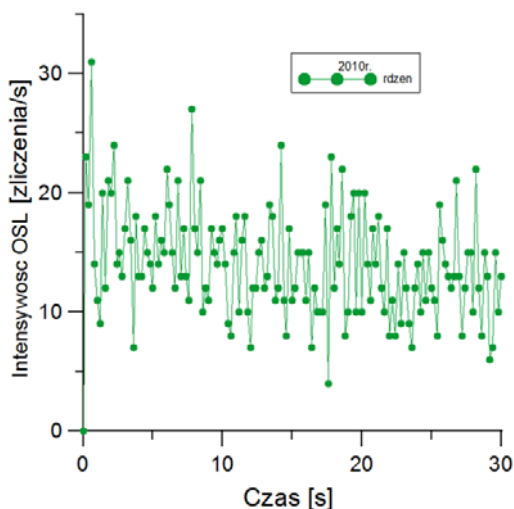
Na rysunkach 5 ÷ 8 przedstawiono wyniki pomiarów sygnału OSL dla próbek porcelany elektrotechnicznej oraz szkliva ochronnego izolatorów ceramicznych LSP-24.



Rys.5. Krzywa OSL dla próbki kołpaka izolatora porcelanowego wyprodukowanego z masy C120 w 1960 roku, ekscytowana przez 3 minuty (176,5 mGy), natężenie światła stymulującego 500 mA, odczyt 10/sek. [6]



Rys.6. Krzywe OSL dla próbek izolatora porcelanowego wyprodukowanego z masy C120 w 1960 roku, ekscytowane przez 3 minuty (176,5 mGy), natężenie światła stymulującego 1500 mA, odczyt 10/sek. [6]

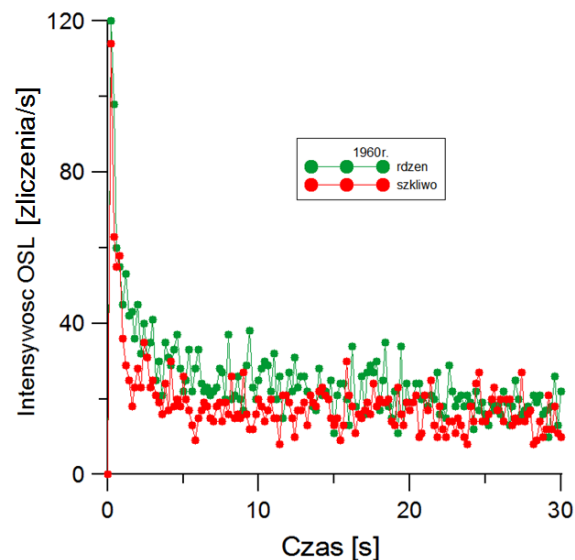


Rys.7. Krzywa OSL dla próbki rdzenia izolatora porcelanowego wyprodukowanego z masy C130 w 2010 roku, ekscytowana przez 3 minuty (176,5 mGy), natężenie światła stymulującego 1500 mA, odczyt 10/sek. [6]

Dla dokładniejszego uwidocznienia otrzymanych wartości intensywności OSL, prezentowane wykresy zostały ograniczone do 30 sekund, gdyż po tym czasie sygnał OSL i tak nie ulegał znaczącej zmianie (zarejestrowano tylko szum).

W celu wzbudzenia większej liczby defektów występujących w naświetlonym materiale podczas rejestracji sygnału OSL, w kolejnych pomiarach zwiększono natężenie prądu LED światła stymulującego z 500 mA do 1500 mA (rys. 6 ÷ 8).

W celu zapewnienia elektronami większej liczby pułapek w materiale badawczym, co mogło przełożyć się na wielkość rejestrowanego sygnału intensywności OSL, w kolejnych pomiarach zwiększono dawkę promieniowania z 176,5 mGy do 265 Gy (rys. 8).



Rys.8. Krzywe OSL dla próbek izolatora porcelanowego wyprodukowanego z masy C120 w 1960 roku, ekscytowane przez 3 doby (dawka ok. 265 Gy), natężenie światła stymulującego 1500 mA, odczyt 10/sek. [6]

W pierwszych sekundach zarejestrowanych pomiarów widoczne jest gwałtowne opróżnianie pułapek elektronowych z poziomu ok. 120 fotonów do ok. 20 fotonów. Niestety, w kolejnych sekundach badania sygnał OSL słabną oraz są silnie zaszumione, co nie pozwala na dalszą ich analizę.

Podsumowanie

Na uwagę zasługuje fakt, iż po raz pierwszy podjęto próbę nowatorskiego badania struktury defektowej izolatorów porcelanowych sieci energetycznych przy wykorzystaniu zjawiska OSL czyli optycznie stymulowanej luminescencji.

Otrzymane sygnały OSL dla próbek porcelany elektrotechnicznej i szklivo są bardzo słabe oraz silnie zaszumione, co nie pozwala na dalszą ich analizę.

Intensywność OSL dla różnych dawek promieniowania oraz różnej wartości natężenia światła, przy stymulacji światłem koloru zielonego (ok. 520 nm) i detekcji w zakresie UV (ok. 270 ÷ 380 nm; filtr UG-11 firmy Schott) nie ulega zmianie i kształtuje się na poziomie 20 fotonów (brak jest sygnału).

Jedynie przy zastosowaniu większej dawki promieniowania jonizującego rzędu ok. 265 Gy widoczny jest słaby, krótkotrwały sygnał na poziomie 120 fotonów w kanale 0.1 s.

Uzyskane rezultaty oczywiście nie przekreślają całkowicie metody Optycznie Stymulowanej Luminescencji w badaniach porcelany elektrotechnicznej, ponieważ w przyszłości należy zbadać odpowiedź izolatorów dla innych zakresów spektralnych. Jednak to zagadnienie jest dość złożone, gdyż wymaga m.in. rekonfiguracji układu pomiarowego HELIOS-1.

Natomiast, wyraźną odpowiedź z izolatora porcelanowego uzyskano przy zastosowaniu metody TL (Termoluminescencja), która opisywana była kilkakrotnie w artykułach naukowych oraz pozwala na pomiar i rejestrację światła luminescencyjnego izolatorów w zakresie 200 ÷ 650 nm [1].

Badania luminescencyjne wykonano w Instytucie Fizyki Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie pod kierunkiem dr hab. Arkadiusza Mandowskiego, prof. A.JD.

Autor: dr inż. Rafał Sobota, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: rsobota@el.pcz.czest.pl.

LITERATURA

- [1] Sobota R., Thermoluminescence phenomena of electrical porcelain, *Proceedings of the 8th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering* -

- ELEKTROENERGETIKA 2015, September 16-18, Stará Lesná, Slovak Republic, (2015), 311-314
- [2] Mandowski A., Mandowska E., Sobota R., Kornatka M., Struktura pułapkowa izolatorów ceramicznych sieci energetycznych średnich napięć, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 9, Warszawa, (2015), 121-124
- [3] Mandowski A., Sobota R., Possible relation between thermoluminescence and chemical composition of electrical porcelain, *Proceedings of the 8th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering - ELEKTROENERGETIKA 2015*, September 16-18, Stará Lesná, Slovak Republic, (2015), 315-318
- [4] Chen R., McKeever S.W.S., Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena, World Scientific, Singapore, (1997)
- [5] Sobota R., Termoluminescencja obecnie stosowanej porcelany elektrotechnicznej z użyciem filtra optycznego, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 14, Warszawa, (2014), 137-140
- [6] Sobota R., Wykorzystanie zjawiska termoluminescencji w badaniach porcelany elektrotechnicznej izolatorów energetycznych do 24 kV, rozprawa doktorska, Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroenergetyki, Częstochowa (2014)
- [7] Mandowski A., Mandowska E., Sobota R., Luminescencja izolatorów ceramicznych sieci energetycznych średnich napięć, *Elektronika - konstrukcje, technologie, zastosowania*, nr 11, Wydawnictwo Sigma - Not, Warszawa, (2012), 109-111