

Termoluminescencja obecnie stosowanej porcelany elektrotechnicznej z użyciem filtra optycznego

Streszczenie. Artykuł opisuje zastosowanie zjawiska termoluminescencji w nowatorskich badaniach nad porcelaną elektrotechniczną. Porcelana używana jest do produkcji izolatorów energetycznych stosowanych w energetyce. W badaniach wykorzystano izolatory liniowe stojące do 24kV. Pomiarów wykonano przy użyciu filtra optycznego, mającego na celu eliminację zbędnego promieniowania termicznego tła. Wyniki pomiarów próbek pobranych z eksploatowanego i nowego izolatora przedstawiono w postaci krzywych termoluminescencji.

Abstract. This article describes the use of thermoluminescence phenomenon in innovative researches of electroceramics. Porcelain is used in the production of electrical insulators exploited in Energetic. The study used the line insulators for 24 kV. The measurements were made with optical filter which is eliminating the thermal radiation background. The results of measurements of samples taken from the exploited and the new insulators are presented in the form of thermoluminescence curves. (**Thermoluminescence of electrical porcelain currently used with optical filter**).

Słowa kluczowe: Termoluminescencja, porcelana elektrotechniczna, filtr optyczny, izolator

Keywords: Thermoluminescence, electrical porcelain, optical filter, insulator

doi:10.12915/pe.2014.04.31

Wstęp

Izolacja w energetyce odgrywa ważną rolę związaną z bezpieczeństwem elektrycznym. Można spotkać wiele elementów i układów, które należy oddzielić (zabezpieczyć) od środowiska otaczającego. Aby to osiągnąć, izolator musi spełniać dwa podstawowe wymagania: musi mieć odpowiednią oporność elektryczną oraz wystarczająco wysoką wytrzymałość w miejscu ich zastosowania. To drugie, wiąże się z właściwościami termicznymi i mechanicznymi produkowanych izolatorów. Ponadto, istotna jest również kwestia wymagań dotyczących strat i stałej dielektrycznej oraz bezpieczeństwa życia ludzkiego.

Izolatory porcelanowe

W energetyce najczęściej można spotkać izolatory ceramiczne. W zależności od miejsca eksploatacji i zastosowania, producenci oferują szeroki ich wybór. Począwszy od linii niskiego, średniego i wysokiego napięcia, a skończywszy na konstrukcjach wsporczych, przepustowych i osłonowych. Dodatkowo, również produkuje się izolatory pod indywidualne zamówienia klientów np.: osłony do wyłączników, odgromników, przekładników napięciowych i prądowych, przepustów, kondensatorów, głowic kablowych, bezpieczników wysokonapięciowych itp. Izolatory porcelanowe charakteryzują się wysoką odpornością na czynniki eksploatacyjne oraz atmosferyczne [1].

W procesie produkcyjnym stosuje się nowoczesne urządzenia oraz wdrażane są nowe techniki poprawiające jakość ich wytwarzania. Izolatory wykonuje się ze specjalnej masy porcelany elektrotechnicznej, w składzie której głównie znajduje się kwarc i kaolin. Od 2003 roku, największy producent izolatorów w Polsce ZAPEL s.a., stosuje masę porcelanową o nazwie "C130". Cechują ją bardzo dobre właściwości mechaniczne oraz elektrotechniczne. Skład chemiczny takiego tworzywa przedstawia się następująco: 55% - Al_2O_3 , 40% - SiO_2 , 4,5% - TiO_2 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , 0,5% - Fe_2O_3 . W procesie produkcyjnym, powyższe składniki dawkiowane są do młyna kulowego z dodatkiem wody i mielników, przy pomocy zautomatyzowanego systemu odważania sterowanego komputerowo. Czas docierania tak przygotowanej masy trwa kilka godzin, aż do momentu uzyskania odpowiedniego stopnia zmielenia wszystkich substratów, zgodnego z wytycznymi procesu produkcyjnego. Zmielony materiał w postaci szlamu kieruje

się do kadzi, gdzie łączony jest masą zwrotną pochodzącą z procesu formowania izolatorów. Tak powstała masa, przepuszczana jest przez układ sit oraz ferro-filtr magnetyczny, w celu uzyskania jednorodnej struktury. Z wytworzonego materiału następuje odprowadzenie nadmiaru wody przy wykorzystaniu do tego celu pras filtracyjnych. W kolejnym etapie prowadzona jest homogenizacja otrzymanej masy oraz jej odpowietrzenie w prasach próżniowych. Następnie masa podsuszana jest elektrycznie - oporowo w odpowiednich do tego boksach. Po tych procesach materiał gotowy jest do formowania. Nadanie kształtu następuje w wyniku toczenia przy skrawaniu na różnego rodzaju tokarko - wytaczarkach, które sterowane są fotoelektrycznie lub numerycznie (CNC). Ukształtowane izolatory poddawane są końcowemu wysuszeniu w suszarniach typu rewersyjnego z wymuszonym obiegiem powietrza. Całością steruje automatyka, według zadanych parametrów, aż do uzyskania odpowiedniego stopnia wilgotności. W następnym etapie izolator sprawdzany jest wizualnie. W przypadku jakichkolwiek defektów, jak już wcześniej wspomniano, traktowany jest jako masa zwrotna. Na koniec prowadzony jest proces szkliwienia izolatora, stosując najczęściej tlenki glinu. Ostatnim etapem jest wypalenie izolatorów w temperaturze $1300^{\circ}C$ w piecach komorowych opalanych gazem. Wysokość temperatury ma istotne znaczenie w całym procesie produkcyjnym, gdyż izolator uzyskuje odpowiednie parametry mechaniczne [2].

Za materiał do badań posłużyły próbki izolatorów porcelanowych eksploatowanych na liniach średniego napięcia oraz nieużywany, pobrany bezpośrednio z linii produkcyjnej od producenta. Typ tych izolatorów określa się jako liniowe stojące do 24 kV. Podział izolatorów liniowych przedstawia się następująco: stojące, wsporcze, wiszące kółkowe i długopniowe oraz trakcyjne. Poniższy artykuł skupia się tylko na badaniach izolatorów stojących. Podstawowym materiałem izolacyjnym stosowanym w energetyce jest wspomniana już wcześniej porcelana elektrotechniczna (ceramika), a także szkło odprężone lub hartowane. Jeżeli chodzi o identyfikowanie izolatorów, to każdy z nich posiada trwałe i czytelne oznakowanie na części izolacyjnej lub okuciu z nazwą lub znakiem firmowym producenta oraz rok produkcji [3].

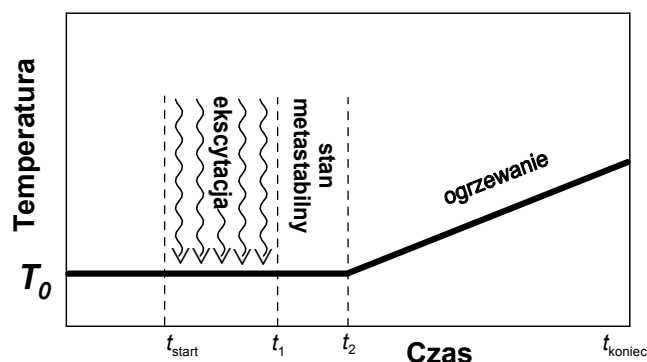
Obecnie produkowane izolatory są wyrobami znormalizowanymi pod kątem normy PN-EN 60383 - 1:2005 dla linii napowietrznych o znamionowym napięciu powyżej 1 kV. Badania jakim poddawane są izolatory,

względem tej normy, dzieli się na 3 grupy tj.: typu, kontrolno-odbiorcze oraz wyrobu [4].

Do podstawowych parametrów technicznych, ze względu na wymagania stawiane przez Zakłady Energetyczne izolatorom, zalicza się: napięcie znamionowe oraz maksymalne napięcie robocze. Ponadto, istotną rzeczą jest częstotliwość prądu, przy której będzie pracował konkretny izolator. Z technicznego punktu widzenia, ważnymi parametrami są także: minimalna oraz maksymalna temperatura otoczenia, w jakiej będzie on użytkowany. Dodatkowo, izolatory charakteryzowane są przez takie właściwości jak: minimalna droga upływu oraz strefa zabrudzenia [5].

Termoluminescencja

Zjawisko termoluminescencji "TL" (zwane również termicznie stymulowaną luminescencją - TSL) występuje, gdy materiał uprzednio poddany ekscytacji, emituje światło (zimne świecenie, żarzenie) pod wpływem zmiany temperatury, ponad jego promieniowanie termiczne (Rys.1.).



Rys.1. Mechanizm termoluminescencji

Termicznie stymulowana luminescencja jest procesem dwuetapowym, które można zaobserwować w różnych dielektrykach zarówno organicznych, jak i nieorganicznych. W celu obserwacji zjawiska termoluminescencji używa się stymulatora jakim jest zmiana temperatury. W odpowiednio wysokich temperaturach każdy materiał emituje światło i jest to efekt promieniowania termicznego. Jednak, w TL emisja światła znacząco przewyższa wartość promieniowania termicznego w danej temperaturze. Nie uzyska się również "zimnego świecenia", gdy nie ma ekscytacji materiału ($t_{\text{start}}-t_1$). Za początek ekscytacji (t_{start}) należy przyjąć, wcześniej już wspomniany, moment wypalenia izolatorów w temperaturze 1300°C. W tym czasie, nastąpiło wyzerowanie pułapek elektronowych i zaczęła dokonywać się naturalna ekscytacja. Wykuty rok produkcji izolatora porcelanowego mówi nam, kiedy ten etap rozpoczął się. Wytlumaczenie zjawiska termicznie stymulowanej luminescencji opiera się na istnieniu w badanym materiale pułapek nośników ładunku. Pułapki te powiązane są z defektami w strukturze krystalicznej np.: domieszki, dyslokacje itp. Wystąpienie pułapki określone jest w postaci zlokalizowanego (przestrzennie i energetycznie) poziomu energetycznego w przerwie wzbronionej rozpatrywanego dielektryka. Pułapki mogą wychwytywać elektrony lub dziury w zależności od położenia względem poziomu Fermiego. Podczas procesu ekscytacji, część pułapek zapełnia się nośnikami ładunku. W tym metastabilnym stanie materiał może pozostawać przez bardzo długi okres – często liczony w latach (t_1-t_2). Dopiero podwyższona temperatura ($>t_2$), będąca czynnikiem stymulującym, uwalnia uwięzione w pułapkach nośniki ładunku, które następnie rekombinują z uwięzonymi

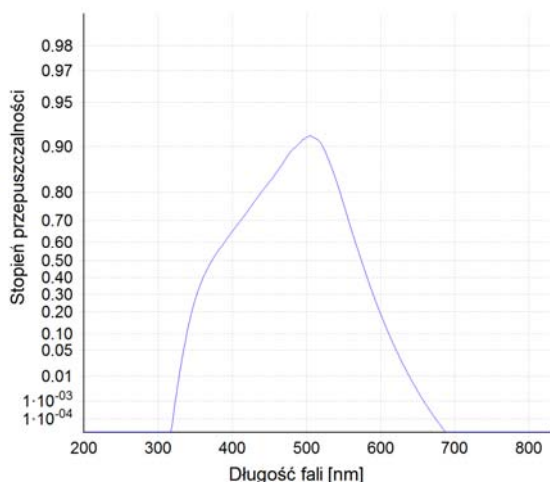
nośnikami o przeciwnym znaku. Ten drugi rodzaj pułapek nazywany jest centrami rekombinacji. Bardzo często taka rekombinacja odbywa się w sposób promienisty, a więc można wtedy obserwować emisję światła (żarzenie) [6].

Za materiał do badań posłużyły próbki porcelany elektrotechnicznej o średnicy ok. 5 mm. Materiał pobrany został z wcześniej ustalonych miejsc izolatora ceramicznego, obecnie produkowanego z masy jaką jest C130. Przyjęto trzy istotne punkty pomiarowe: część środkową (rdzeń), część zewnętrzną (kołpak) oraz warstwę ochronną (szkliwo). W artykule przedstawione zostaną tylko wyniki pomiarów dla próbek porcelany elektrotechnicznej pobranych z okolic rdzenia izolatora. W tak przygotowanych próbkach, zbadana została termoluminescencja naturalna, w której ekscytacja dokonywała się samorzutnie, poprzez naturalne promieniowanie jonizujące występujące w otoczeniu użytkowanego izolatora. Jednak z uwagi na otrzymany bardzo słaby sygnał TL, nie będzie o nich mowy w tym artykule. Natomiast, w celu wzmocnienia siły rejestrowanego sygnału, część porcelany elektrotechnicznej ekscytowano dodatkowo źródłem promieniowania beta $^{90}\text{Sr}^{90}\text{Y}$ w czasie ok. 3 dób (tj. dawka ok. 265 Gy). Badana próbka umieszczana była na stoliku grzewczym w kriostatcie aparatury laboratoryjnej. W celu uniknięcia niepożądanego deekscytacji wcześniej przygotowanego materiału badawczego, czynności te, jak również samo przygotowywanie próbki, wykonywano w ciemności, używając jedynie słabego czerwonego światła. Odczyt fotonów odbywał się podczas liniowego podgrzewania próbki z szybkością $\beta = 0.7$ K/s w zakresie temperatur od 300 (t_2) do 600 K (t_{koniec}). Rolę detektora pełnił fotopowielacz bialkaliczny firmy "HAMAMATSU" ustawiony w trybie zliczania fotonów (*photon counting*). W wysokich temperaturach (powyżej 530 K) pomiar termoluminescencji izolatorów może być silnie zaburzony poprzez naturalne promieniowanie termiczne próbki i aparatury laboratoryjnej. Dlatego też, po zakończeniu właściwego pomiaru, dokonywany był pomiar tła, który w dalszym etapie odejmowano od otrzymanego pomiaru głównego [7].

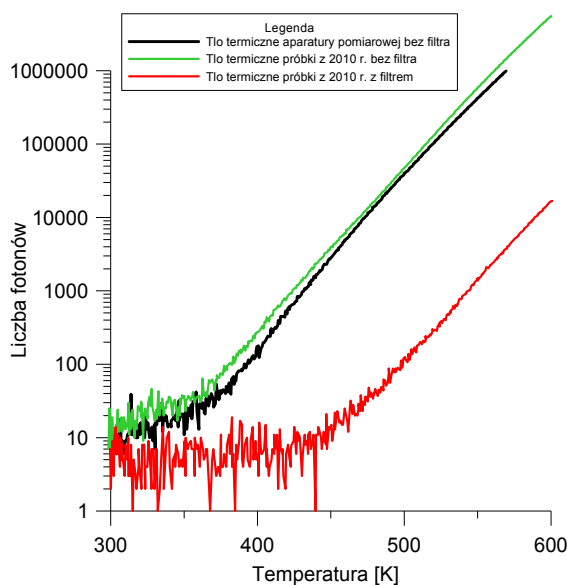
Filtr optyczny

Zastosowanie filtra optycznego ma na celu selektywne przepuszczenie światła o różnej (żądaney) długości fali. Zwykle wykonane są ze szkła płaskiego lub z tworzyw sztucznych. "Okular" jest barwiony kolorem, z zakresu widma światła widzialnego, który ma być absorbowany. Liczne barwniki, o różnych stężeniach oraz różne rodzaje szkieł bazowych, zostały opracowane w celu zwiększenia różnorodności filtrów, które można nabyć. Filtry optyczne przepuszczają zazwyczaj tylko fale długie (longpass), tylko krótkie długości fali (shortpass) lub pasma, blokując zarówno dłuższe jak i krótsze długości fal (bandpass). Niektóre okulary szklane posiadają również ekstremalne właściwości filtracyjne, wykorzystujące możliwie jak najszerszy obszar widma [8].

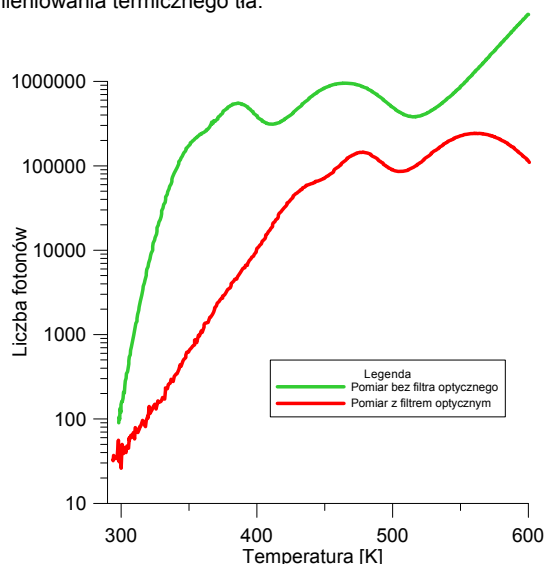
W badaniach wykorzystano czerwony filtr szklany BG39 firmy "SCHOTT" o grubości 3 mm. Okular umieszczony został pomiędzy oknem kwarcowym kriostatu, w którym zamontowana była próbka, a fotopowielaczem za pomocą którego następowało zliczanie fotonów. Zgodnie z charakterystyką filtra (Rys.2.), widmo poniżej 300 nm oraz powyżej 700 nm jest blokowane. Ponad światłem widzialnym, filtr skutecznie odcina promieniowanie termiczne (podczerwone). Niestety, małym minusem tego filtra jest to, że część nadfioletu zostaje przepuszczona. Jest to jednak mało istotne dla całego pomiaru, z uwagi na wysoki zakres temperatur podczas badań. Dodatkowo wykonane zostały badania bez użycia filtrów optycznych.



Rys.2. Charakterystyka szklanego filtra optycznego BG39 firmy SHOTT o grubości 3 mm.



Rys.3. Zastosowanie filtra optycznego podczas pomiarów promieniowania termicznego tła.



Rys.4. Zastosowanie filtra optycznego podczas pomiaru porcelany elektrotechnicznej, pobranej z okolic rdzenia izolatora energetycznego z 2010 r.

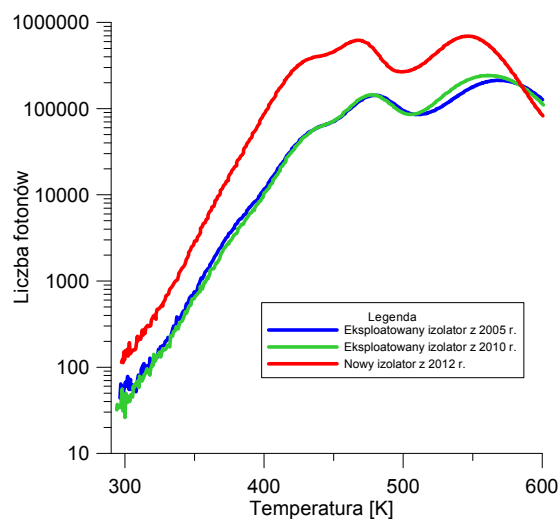
Dzięki stosowaniu filtrów optycznych, można otrzymywać bardziej wiarygodne wyniki badań. Zbędne promieniowanie termiczne próbki oraz promieniowanie

aparatury zostaje częściowo wycięte (Rys.3.). Nie jest jednak możliwe całkowite usunięcie promieniowania tła, zwłaszcza podczas pomiarów w zakresie wysokotemperaturowym. W związku z powyższym, badania kończyły się przy temperaturze 600 K. Okulary szklane pozwalają na przeprowadzanie dokładniejszych pomiarów termoluminescencji izolatorów porcelanowych.

Podczas głównych pomiarów termoluminescencyjnych wcześniej ekscytowanych próbek (Rys.4.), zastosowanie filtrów optycznych przekłada się między innymi na: końcową fazę pomiaru - zakończenie krzywej termoluminescencji nie posiada widocznego promieniowania tła, rząd wielkości - liczba fotonów podczas pomiaru pomniejszona jest o zbędne wartości promieniowania termicznego, początkową fazę pomiaru - sygnał jest dokładniejszy. Charakter krzywych termoluminescencyjnych jednak pozostaje bez zmian. Zarówno podczas badań z użyciem filtra, jak i w przypadku jego braku.

Wyniki

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki pomiarów termoluminescencji porcelany elektrotechnicznej, pobranej z okolic rdzenia izolatora energetycznego. Obecnie produkowane są z masy ceramicznej o nazwie "C130". Badania przeprowadzone zostały dla 2 eksploatowanych izolatorów, wyprodukowanych w roku 2005 i 2010 oraz nieużywanego izolatora z 2012 r. W przypadku 2 pierwszych, za t_x należy przyjąć rok 2011, gdyż w tym czasie zostały pozyskane od Zakładu Energetycznego w Częstochowie. Wszystkie badane izolatory wyprodukowano przez tego samego producenta, co potwierdza grawer z logo firmy.

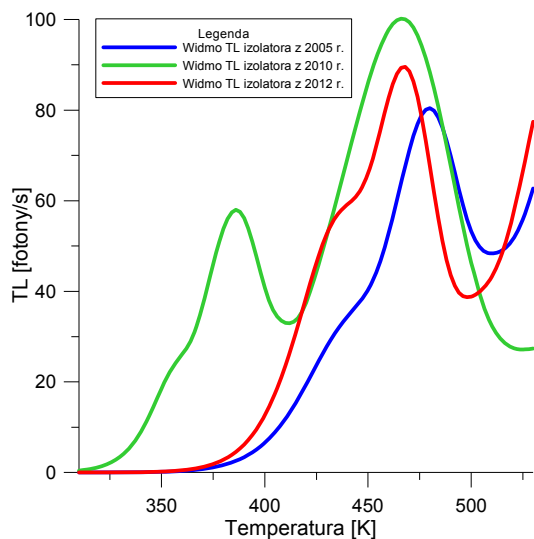


Rys.5. Wynik pomiaru termoluminescencji ekscytowanej porcelany elektrotechnicznej C130, pobranej z okolic rdzenia izolatora energetycznego.

Z powyższego rysunku wynika, iż nowy, nieeksploatowany izolator znacząco uległ procesowi ekscytacji. Sygnał TL jest o wiele mocniejszy niż w przypadku używanych izolatorów. Natomiast, identyczny charakter krzywych termoluminescencji świadczy o fakcie stosowania tej samej masy ceramicznej C130 oraz prowadzeniu jednolitych procesów produkcyjnych izolatorów. Na rysunku pominięte zostały pomiary tła dla każdej z próbek, w celu zachowania przejrzystości wykresu ponieważ praktycznie każdy sygnał promieniowania termicznego jest identyczny jak na rysunku 3 (tło termiczne z filtrem).

Przeprowadzono również wstępną analizę otrzymanych wyników uzyskując widma termoluminescencyjne poszczególnych badanych próbek porcelany

elektrotechnicznej (Rys.6.). Zgodnie z tym, co już wcześniej wspomniano, widma zostały znormalizowane w zakresie temperatur 310 - 530 K. Promieniowanie termiczne tła zostało wycięte.



Rys.6. Widma termoluminescencyjne ekscytowanej porcelany elektrotechnicznej C130, pobranej z okolic rdzenia izolatora energetycznego.

Podsumowanie

Użycie filtra optycznego, podczas badań termoluminescencji porcelany elektrotechnicznej, pozwala na wykonywanie dokładniejszych i wiarygodnych pomiarów. Promieniowanie termiczne tła zostaje skutecznie odfiltrowane. Pozwala to na obserwację zjawiska termicznie stymulowanej luminescencji w wyższych temperaturach niż przy pomiarach bez zastosowania okularu szklanego.

Większa liczba fotonów, zliczonych podczas pomiarów termoluminescencji, świadczy o większej liczbie defektów w badanym materiale. Z uwagi na otrzymany wynik dla izolatora z 2012 roku, zaleca się obserwację obecnie produkowanych dielektryków. Ten wynik może poprzedzać

niepełnienie podstawowych funkcji przez izolator i skutkować w przyszłości np. przebiciem.

Metoda badawcza wykorzystująca zjawisko TL może być stosowana w celach diagnostycznych porcelany elektrotechnicznej.

Badania luminescencyjne wykonano w Zakładzie Luminescencji i Biofotoniki Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie pod kierunkiem dr hab. Arkadiusza Mandowskiego, prof. AJD.

LITERATURA

- [1] Sobota R., Sowiński J., Wybrane systemy informatyczne w analizie eksperymentu na przykładzie badania termoluminescencji izolatorów SN, Rynek Energii - dwumiesięcznik recenzowany, wydawnictwo Kaprint, Lublin, (2013)
- [2] Materiały konferencyjne i protokoły badawcze Zakładu Porcelany Elektrotechnicznej ZAPEL S.A., Boguchwała, (2009)
- [3] Horak J., Sieci elektryczne - elementy sieci rozdzielczych cz.1 - skrypty Politechniki Częstochowskiej, Wyd. PCz., Częstochowa, (1997)
- [4] Polski Komitet Normalizacyjny, PN-EN 60383-1, Izolatory do linii napowietrznych o znamionowym napięciu powyżej 1kV. Ceramiczne i szklane izolatory do sieci prądu przemiennego - Polska Norma, PKN (2005)
- [5] Protokoły badawcze Zakładu Energetycznego TAURON, Częstochowa, (2011)
- [6] Chen R., McKeever S.W.S., Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena, World Scientific, Singapore, (1997)
- [7] Sobota R., Mandowski A., Mandowska E., Luminescencja izolatorów ceramicznych sieci energetycznych średnich napięć", - Elektronika - konstrukcje, technologie, zastosowania - rok LIII 11/2012, wydawnictwo Sigma - Not, Warszawa, (2012)
- [8] Materiały informacyjne firmy SHOTT, www.schott.com, (2013)

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