

Waldemar CHMIELAK
Adam SMOLARCZYK

BADANIE PRZYCZYN EKSPLOZJI KONDENSATORÓW LAMP METALOHALOGENKOWYCH

STRESZCZENIE *Przedmiotem niniejszego opracowania jest określenie przyczyn eksplozji kondensatorów zamontowanych w skrzynkach układów zapłonowych lamp metalohalogenkowych oświetlenia trybun stadionu. Eksplozje takie wystąpiły kilkakrotnie podczas kilkugodzinnej nieprzerwanej pracy lamp przy temperaturze otoczenia powyżej 0°C. Eksplozje kondensatorów doprowadziły m.in. do oderwania pokrywy skrzynki oraz do pożaru kondensatora i całej skrzynki zapłonowej zagrażając życiu kibiców.*

Słowa kluczowe: *jakość energii, badania kondensatorów*

1. WSTĘP

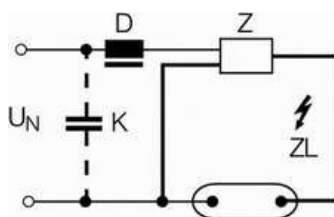
Lampy metalohalogenkowe są powszechnie stosowane ze względu na ich korzystne cechy i właściwości. Świecą światłem białym przypominającym światło dzienne, bardzo dobrze oddają barwy otoczenia, cechują się wysoką skutecznością świetlną i bardzo długą żywotnością. Znalazły zastosowanie między innymi w oświetleniu obiektów architektonicznych jak i sportowych, szczególnie w miejscach, gdzie dostęp jest utrudniony lub mocno ograniczony. Metalohalogen jest lampą wyładowczą. Wyładowanie elektryczne wewnątrz lampy powstaje w mieszaninie gazów (argon, halogenki, pary rtęci, brom, jod) pod wysokim ciśnieniem dlatego nazywana jest lampą wysokopiętną. Do działania potrzebuje układu zapłonowego. Klasyczny układ zapłonowy lampy (rys. 1 [1]) składa się z dławika o dużej indukcyjności i układu zapłonowego. W układzie tym napięcie na lampie podbijane jest impulsowo do poziomu kilku tysięcy woltów umożliwiając wyładowania w lampie.

dr inż. Waldemar CHMIELAK, dr inż. Adam SMOLARCZYK
e-mail: [waldemar.chmielak; adam.smolarczyk]@ien.pw.edu.pl

Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 270, 2015

Na jednym ze stadionów piłkarskich odnotowano w ostatnim czasie kilka incydentów wybuchu kondensatorów kompensacyjnych układów zapłonowych lamp metalohalogenkowych w trakcie ich pracy, czyli podczas trwania meczu. Zdjęcie kondensatora po takiej eksplozji pokazano na rysunku 2. Sytuacja była o tyle groźna, że przeważnie wiązało się to z wyrwaniem metalowych drzwiczek skrzynki układu zapłonowego. Skrzynki wraz z lampami zawieszane są kilka metrów nad trybunami, pod zadaszeniem. Zdarzyło się, że drzwiczki takie spadły oraz to, że kondensator się zapalił i palił się przez kilka minut. Sytuacja taka, szczególnie w przypadku imprez masowych jest niedopuszczalna. Incydenty te miały miejsce ok. 3 lata po oddaniu obiektu do użytkowania.



Rys. 1. Układ zapłonowy lampy metalohalogenkowej [1]



Rys. 2. Zdjęcie kondensatora po eksplozji

Na zlecenie użytkownika stadionu wykonano badania mające na celu określenie przyczyn zaistniałych incydentów. Przeprowadzono badania jakości zasilania obwodów lamp metalohalogenkowych oraz badania podwyższonym napięciem kondensatorów. Badane kondensatory to kondensatory samoregenerujące o pojemności $50 \mu\text{F} \pm 10\%$, z wbudowanym rezystorem rozładującym, o napięciu znamionowym 250 V AC przy częstotliwości 50/60 Hz, minimalnej temperaturze znamionowej -25°C , maksymalnej temperaturze znamionowej $+85^{\circ}\text{C}$, typu A tj. przeznaczony do montażu równoległego.

2. POMIARY JAKOŚCI ZASILANIA

Praca w swoim zakresie obejmowała:

- Wykonanie oględzin instalacji zasilania stadionu i obwodów zasilania trybun lampami metalohalogenkowymi.
- Wykonanie badań jakości zasilania podczas normalnej pracy stadionu, tj. podczas rozruchu stadionu i w trakcie meczu.
- Przygotowanie raportu.

2.1. Oględziny układu zasilania

Zasilanie stadionu podzielone jest na 3 niezależne części, każda jest zasilana w układzie pierścieniowym z dwóch sekcji rozdzielnic SN dystrybutora. Z dwusekcyjnej rozdzielnic 15 kV stacji PZO części Klienta następuje dystrybucja mocy po stronie SN do 3 oddziałowych stacji transformatorowych ST1-ST3, wewnętrznych rozlokowanych równomiernie po obwodzie stadionu. Stacje transformatorowe ST1-ST3 zlokalizowano uwzględniając podział inwestycji tak, aby zostały one obciążone równomiernie. Wszystkie stacje oddziałowe są dwutransformatorowe wyposażone w transformatory suche żywiczne o mocach znamionowych 1250 kVA.

Na czas meczu wysokiej rangi, jak to miało miejsce podczas pomiarów jakości zasilania, po uruchomieniu wszystkich odbiorników pracujących podczas meczu, uruchamiane są agregaty, które zsynchronizowane z siecią zasilającą przejmują na siebie 50% zasilania oświetlenia oraz są w stanie przejąć 100% obciążenia związanego z zasilaniem oświetlenia.

Zasilanie obwodów oświetlenia trybun realizowane jest z kontenerów umiejscowionych w górnej części trybun. Obwody zasilania lamp metalohalogenkowych w których eksplodowały kondensatory oznaczone są symbolami F7 ÷ F12 jako *OŚWIETLENIE ILUMINACJA*.

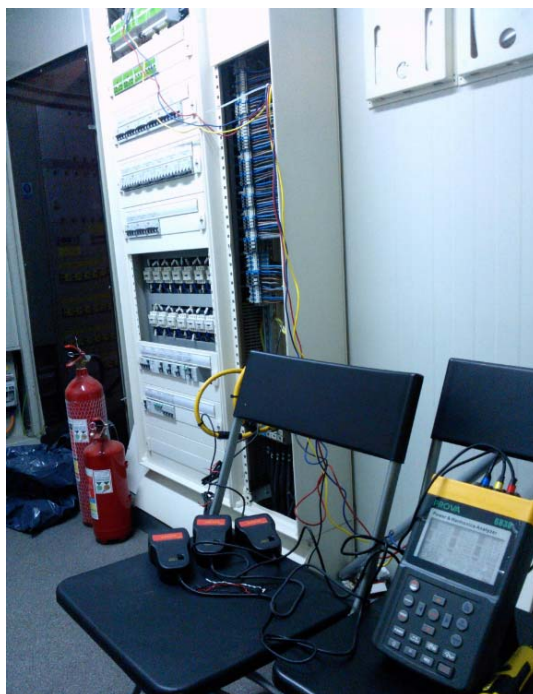
2.2. Wykonanie pomiarów

Pomiary jakości zasilania zostały wykonane w kontenerze na trybunie wschodniej, w rozdzielnic ROT2-2L5. Analizator sieci, którym dokonano pomiarów jakości zasilania został wpięty na wejściu zasilania do rozdzielnic. Pomiar napięcia w każdej fazie realizowany był bezpośrednio na zaciskach wyłącznika instalacyjnego F02 chroniącego czujnik kontroli faz. Wyłącznik F02 zainstalowany jest bezpośrednio za wyłącznikiem głównym rozdzielnic F01. Pomiar napięcia punktu neutralnego realizowany był na zacisku połączonym z zaciskami punktu neutralnego obwodów F7 ÷ F12. Pomiar prądu w każdej fazie realizowany był przy użyciu przekładników Ferrantiego zainstalowanych na przewodach zasilających rozdzielnic ROT2-2L5.

Do wykonania zleconej pracy użyto analizatora sieci PROVA 6830. Częstota próbkowania została ustawiona na 5 sekund. Rejestrację parametrów zasilania rozpoczęto o godzinie 17:11, tj. około 3 godziny przed rozpoczęciem meczu. W chwili rozpoczęcia rejestracji załączone były wszystkie niezbędne na czas meczu obwody

zasilane z rozdzielniczy ROT2-2L5, poza obwodami lamp metalohalogenkowych F7 ÷ F12. Około godz. 17:45 zostały załączone obwody F7 ÷ F12. Około 18:04 obwody F7 ÷ F12 zostały wyłączone by móc wpuszczać kibiców na trybuny. Załączenie kolejnych punktów oświetleniowych odbywało się tak jak zazwyczaj podczas meczy w okresie zimowym bez światła dziennego.

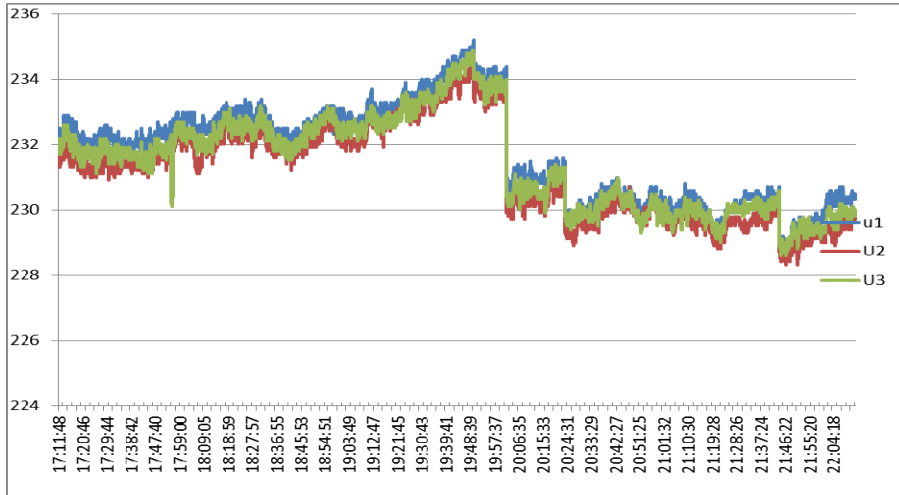
Próby wykonane zostały zgodnie z wiedzą techniczną, praktyką, zasadami nauki i normami przywołanymi w spisie literatury [3, 4].



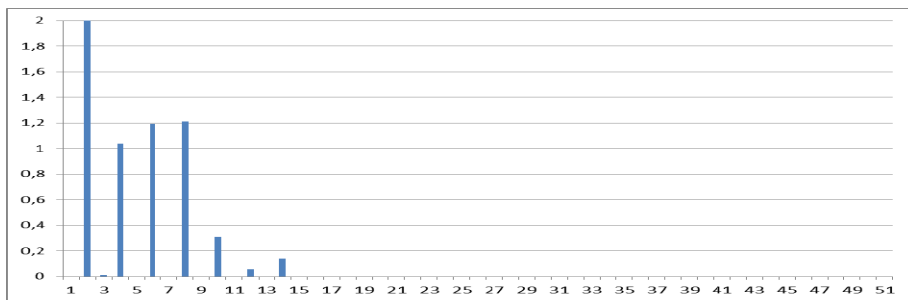
Rys. 3. Widok stanowiska pomiaru jakości zasilania

2.2. Wyniki prób

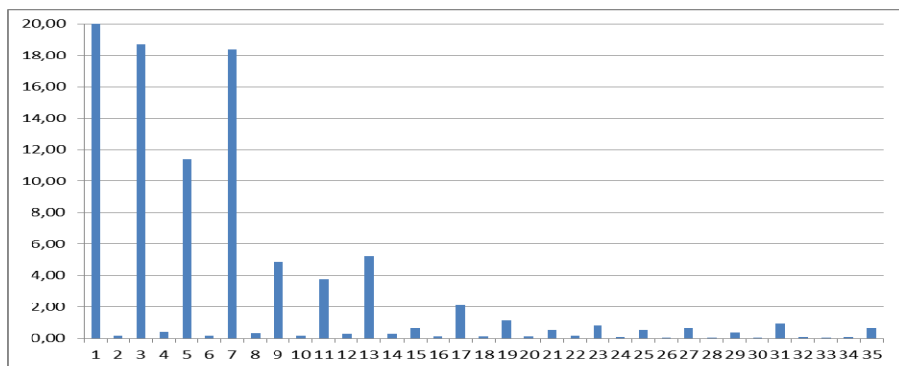
Napięcie zasilania w całym czasie rejestracji nie przekraczało dopuszczalnych przez normę wartości i zachowywało względnie stały poziom we wszystkich fazach (rys. 4). Poziomy wyższych harmonicznych w napięciu zasilania (rys. 5) mieszczą się w granicach dopuszczalnych przez normę PN-EN 50160 [3] (tab. 1). Natomiast poziomy wyższych w prądzie (rys. 6) przekraczają dopuszczalne wartości określone w normie PN-EN 61000-3-2 [4] (tab. 2). Udział wyższych harmonicznych w prądzie i w napięciu był względnie stały w czasie rozruchu stadionu, tj. podczas załączania poszczególnych obwodów oraz podczas meczu. Nie zaobserwowano istotnych zmian przy załączonych obwodach F7 ÷ F12.



Rys. 4. Wartości napięć fazowych w czasie rejestracji



Rys. 5. Udział wyższych harmonicznych w napięciu V1 (wartości średnie z całego okresu rejestracji)



Rys. 6. Udział wyższych harmonicznych w prądzie I1 (wartości średnie z całego okresu rejestracji)

TABELA 1

Zestawienie dopuszczalnych poziomów wyższych harmonicznych w napięciu, zgodnie z normą PN-EN 50160, oraz wartości zmierzonych

Harmoniczna	Poziom dopuszczalny PN-EN 50160	Wartości zmierzone		
		V1	V2	V3
2	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%
3	5,0%	1,0%	1,0%	1,6%
4	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%
5	6,0%	1,2%	0,8%	1,2%
6	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
7	5,0%	1,2%	0,8%	1,1%
8	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
9	1,5%	0,3%	0,4%	0,1%
10	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
11	3,5%	0,1%	0,1%	0,0%
12	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
13	3,0%	0,1%	0,1%	0,0%
14	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
15	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
16	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
17	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%
18	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
19	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%
20	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
21	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
22	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
23	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%
24	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
25	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%

TABELA 2

Zestawienie dopuszczalnych poziomów wyższych harmonicznych w prądzie dla sprzętu klasy C (oświetleniowego), zgodnie z normą PN-EN 61000-3-2, oraz wartości zmierzonych

Harmoniczna	Poziom dopuszczalny PN-EN 61000-3-2	Wartości zmierzone		
		I1	I2	I3
2	2,0%	0,2%	0,2%	0,1%
3	27%	18,7%	19,0%	19,6%
5	10%	11,4%	5,7%	11,5%
7	7%	18,4%	12,6%	15,2%
9	5%	4,9%	5,7%	3,4%
11	3%	3,8%	3,2%	2,1%
13	3%	5,3%	3,7%	1,5%
15	3%	0,7%	0,6%	0,2%
17	3%	2,1%	0,8%	0,5%
19	3%	1,2%	0,6%	0,7%
21	3%	0,5%	0,2%	0,2%
23	3%	0,8%	0,5%	0,5%
25	3%	0,5%	0,5%	0,4%
27	3%	0,6%	0,1%	0,1%
29	3%	0,3%	0,2%	0,1%
31	3%	0,9%	0,7%	0,4%
33, 37, 39	3%	0,0%	0,0%	0,0%
35	3%	0,6%	0,5%	0,4%

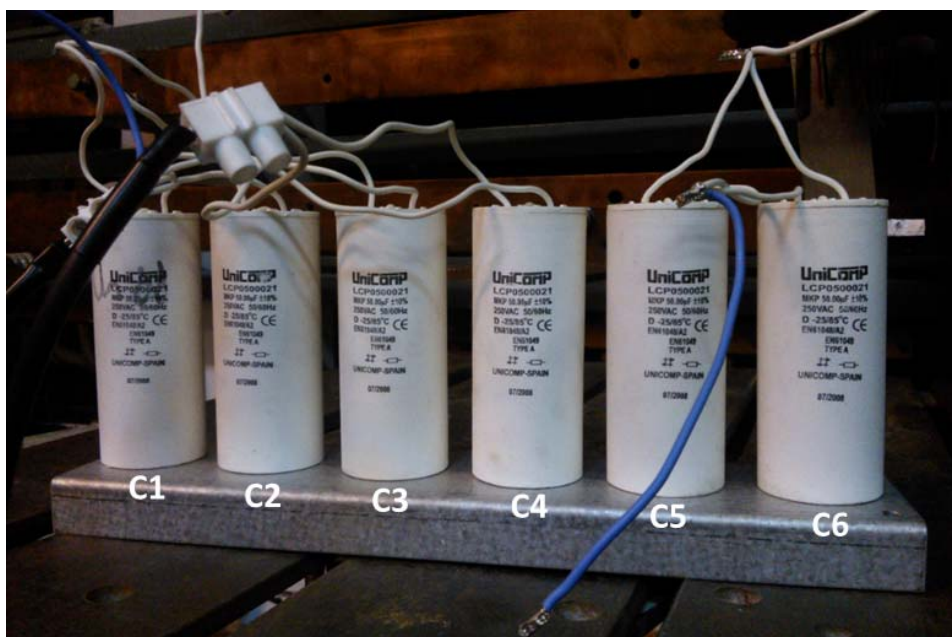
3. BADANIA KONDENSATORÓW

Praca w swoim zakresie obejmowała:

- Wykonanie prób podwyższonym napięciem zgodnie z normami PN-EN 61048 [5] oraz PN-EN 61049 [6].
- Przygotowanie raportu

Badania zostały wykonane na 6 kondensatorach (rys. 7) dostarczonych przez Zamawiającego. Badane kondensatory zostały wymontowane ze skrzynek zapłonnikowych lamp metalohalogenowych zainstalowanych na stadionie.

Dodatkowo po próbach podwyższonym napięciem została zmierzona pojemność badanych kondensatorów.



Rys. 7. Kondensatory w stanowisku probierczym przygotowane do prób podwyższonym napięciem

3.1. Próba podwyższonym napięciem

Próba podwyższonym napięciem jest jedną z prób typu, która zgodnie z normą PN-EN 61048 [5] powinna być wykonana na populacji 50 kondensatorów danego typu. Próbę tę można uznać za udaną jeżeli nie więcej niż 2 kondensatory z tej populacji

ulegną uszkodzeniu. Kondensatory samoregenerujące powinny wytrzymać w temperaturze pokojowej przez czas 60 sekund próbę napięciem prądu przemiennego o wartości dwukrotnie większej od wartości napięcia znamionowego przyłożonym między końcówki.

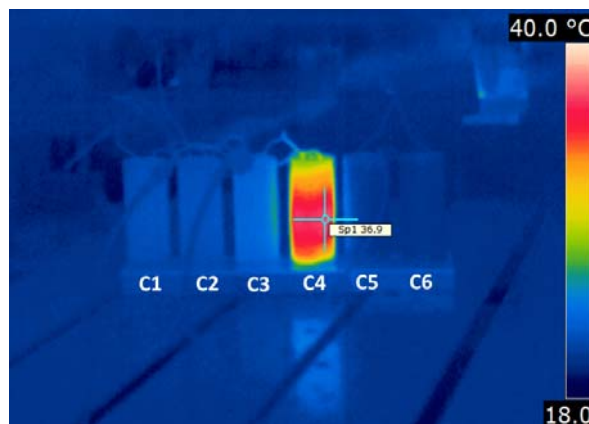
Źródłem napięcia wykorzystanym do prób był regulator indukcyjny typu BP 94-2 produkcji MEZ VSETIN (rys. 8). Regulator ten umożliwia płynną regulację napięcia probierczego w zakresie od 0 do 525 V przy prądzie do 230 A. Kształt napięcia na wyjściu regulatora jest wystarczająco wolny od harmonicznych. Przeprowadzono próby przy temperaturze otoczenia wynoszącej $19,2^{\circ}\text{C}$ podwyższonym napięciem na wszystkich 6 kondensatorach. Napięcie probiercze było stopniowo podnoszone od wartości 0 do 502 V AC. Po osiągnięciu napięcia 502 V AC było ono utrzymywane na kondensatorach przez czas 60 sekund, po czym odłączano regulator.



Rys. 8. Regulator indukcyjny MEZ VSETIN BP 94-2

3.2. Wyniki badań podwyższonym napięciem

Wszystkie badane kondensatory wytrzymały próbę podwyższonym napięciem. Żaden z badanych kondensatorów nie uległ uszkodzeniu. Zaobserwowano jednak, że jeden z badanych kondensatorów nagrzał się podczas próby do temperatury około 40°C . Temperatura pozostałych kondensatorów nie uległa zmianie podczas próby. Rysunek 9 pokazuje zdjęcie termograficzne badanych kondensatorów tuż po próbie wykonane kamerą termowizyjną FLIR E320.



Rys. 9. Zdjęcie termograficzne badanych kondensatorów tuż po próbie podwyższonym napięciem

3.3. Pomiar pojemności kondensatorów

Po przeprowadzeniu prób podwyższonym napięciem i po ostygnięciu kondensatora C4 dokonano pomiaru pojemności badanych kondensatorów miernikiem APPA 207. Zmierzone pojemności zostały zestawione w tabeli 3. Kolejność pojemności C1 – C6 jest zgodna ze kolejnością kondensatorów przedstawionych na rysunku 7 i 9 licząc od lewej strony.

TABELA 3

Pojemności badanych kondensatorów

C1	C2	C3	C4	C5	C6
49,90 μF	49,50 μF	39,42 μF	37,93 μF	42,80 μF	50,40 μF

Połowa badanych kondensatorów miała pojemności znacznie niższe od dopuszczalnej granicy tolerancji wynoszącej 10%. Kondensator, który nagrzał się podczas próby podwyższonym napięciem (C4) miał najniższą pojemność, niższą o 24% od znamionowej.

6. PODSUMOWANIE

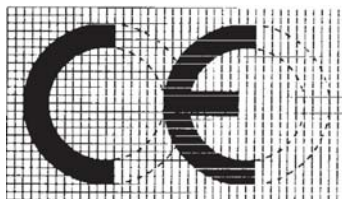
Zgodnie z normą PN-EN 61048 [5] kondensatory powinny być tak zaprojektowane, aby działały niezawodnie przez okres co najmniej 10 lat w normalnych warunkach ich użytkowania i nie stwarzały niebezpieczeństwa dla osób ani otoczenia. Zagrożenie bezpieczeństwa osób niewątpliwie miało miejsce na skutek eksplozji kondensatorów.

Przeprowadzone badania jakości zasilania wykazały, że napięcie zasilania na stadionie jest zgodne z odpowiednimi normami i nie niesie zagrożenia dla pracy kondensatorów w układzie zapłonowym lamp metalohalogenkowych.

Badania podwyższonym napięciem kondensatorów dały rezultat pozytywny. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że podczas tych badań jeden z sześciu badanych kondensatorów podgrzał się, przy braku widocznych zmian temperatury pozostałych kondensatorów. Taki stan, mimo że nie opisany w normie świadczy o nienaturalnych warunkach pracy tego kondensatora mogących wynikać z wady układu izolacyjnego wewnątrz kondensatora. Długotrwały proces nagrzewania kondensatora może prowadzić do przekroczenia maksymalnej temperatury znamionowej kondensatora i w konsekwencji do jego uszkodzenia. Zaistniałe przypadki eksplozji kondensatorów dają podstawy sądzić, że zaobserwowany proces nagrzewania kondensatora może prowadzić do zwarć wewnętrznych, których skutkiem jest eksplozja kondensatora na skutek nagłego wzrostu ciśnienia syciwa.

Pomiar pojemności kondensatorów wykazał, że połowa badanych kondensatorów miała znacznie niższą wartość pojemności od znamionowej. Pojemności te nie mieszczą się w dopuszczalnych dla tych kondensatorów granicach tolerancji.

Wątpliwości może również budzić oznakowanie CE umieszczone na badanych kondensatorach. Zgodnie i Dyrektywami Nowego Podejścia [7, 8] określającymi zasadnicze wymagania bezpieczeństwa dla różnych grup wyrobów, urządzenia przed wprowadzeniem do obrotu lub oddaniem do użytku na Rynku Europejskim muszą być oznaczone tym znakiem. Dyrektywy te dotyczą zagadnień związanych z bezpieczeństwem użytkowania, ochroną zdrowia, ochroną środowiska oraz określają zagrożenia, które producent powinien wykryć i wyeliminować. Producent oznaczając swój wyrób znakiem CE deklaruje, że wyrób ten spełnia wymagania wszystkich odnoszących się do niego dyrektyw. Znak graficzny CE jest precyzyjnie określony zgodnie z rysunkiem 10. Oznakowanie na badanych kondensatorach nie jest zgodne z tym wzorem co może świadczyć, że te kondensatory nie spełniają wymagań Rynku Europejskiego. Uważa się, że znak CE z bliżej rozstawionymi literami nie oznacza Conformaté Européenne, czyli zgodności z Dyrektywami Nowego Podejścia, ale np. China Eksport.



Rys. 10. Oznakowanie CE zgodnie z rozporządzeniem 765/2008 [8]

Reasumując, przeprowadzone badania wykazały, że badane kondensatory nie gwarantują bezpiecznej i niezawodnej pracy. Zaleca się ich bezzwłoczną wymianę na nowe pozbawione wad. Do czasu wymiany kondensatorów ich użytkowanie niesie za sobą realne zagrożenie dla otoczenia, w tym dla życia i zdrowia osób znajdujących się na trybunach pod skrzynkami zapłonowymi.

LITERATURA

1. Hemka L., Tomczuk K.: Jakość energii w układach zasilania lamp metalohalogenkowych, Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 258, 2012.
2. Czapp S.: Efektywność energetyczna urządzeń oświetleniowych a jakość energii elektrycznej, INPE nr. 157, str. 3-11, 2012.
3. PN-EN 50160:2010 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych.
4. PN-EN 61000-3-2:2014 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3-2: Poziomy dopuszczalne – Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznym prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika < lub = 16 A).
5. PN-EN 61048:2009 Urządzenia pomocnicze do lamp – Kondensatory stosowane w obwodach świetlówek i innych lamp wyładowczych – Wymagania ogólne i bezpieczeństwa.
6. PN-EN 61049:2000 Urządzenia pomocnicze do lamp – Kondensatory stosowane w obwodach świetlówek i innych lamp wyładowczych – Wymagania funkcjonalne.
7. USTAWA z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności. Dz. U. 2002, Nr 166 poz. 1360.
8. ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (WE) NR 765/2008 z dnia 9 lipca 2008 r. ustanawiające wymagania w zakresie akredytacji i nadzoru rynku odnoszące się do warunków wprowadzania produktów do obrotu i uchylające rozporządzenie (EWG) nr 339/93.

Przyjęto do druku dnia 14.09.2015 r.

**STUDY OF CAUSE OF EXPLOSION OF CAPACITORS
FOR METAL HALIDE LAMPS**

Waldemar CHMIELAK, Adam SMOLARCZYK

ABSTRACT *Subject of this study is to determine the causes of the explosion of capacitors mounted in boxes of ignition systems for metal halide lamps to illuminate stadium stands. Such explosions occurred several times during few hours of an uninterrupted work of lamps at ambient temperatures above 0°C. Explosions of capacitors have led, among others, to detach box cover and to fire the capacitor and a whole case of ignition threatening the life of fans.*

Keywords: *power quality, research of capacitors*



Dr inż. Waldemar CHMIELAK ukończył studia wyższe na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w 1998 roku uzyskując stopień magistra inżyniera. W 2007 roku obronił pracę doktorską. W 2006 roku rozpoczął pracę w Katedrze Wysokich Napięć i Aparatów Elektrycznych, a od roku 2012 w Instytucie Elektroenergetyki. Od roku 2007 jest kierownikiem Laboratorium Aparatów Elektrycznych i Procesów Łączeniowych Instytutu Elektroenergetyki. Aktualnie jest adiunktem na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Autor oraz współautor artykułów i raportów z badań aparatów elektrycznych i procesów łączeniowych. Jego zainteresowania naukowe związane są z budową i właściwościami wysokonapięciowych aparatów elektrycznych oraz z badaniami eksperymentalnymi i szeroko rozumianą diagnostyką urządzeń elektrycznych.



Dr inż. Adam SMOLARCZYK ukończył studia wyższe na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w 1995 roku uzyskując stopień magistra inżyniera. W 1995 roku podjął studia doktoranckie zakończone w 1999 roku obroną pracy doktorskiej. W grudniu 1999 roku rozpoczął pracę w Instytucie Elektroenergetyki. Aktualnie jest adiunktem na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Autor oraz współautor raportów z badań cyfrowych przekaźników elektroenergetycznych. Jego zainteresowania naukowe związane są z cyfrową elektroenergetyczną automatyką zabezpieczeniową i symulacją stanów dynamicznych w systemie elektroenergetycznym.