

Instalacje elektroenergetyczne w budownictwie energooszczędnym

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań pracy instalacji elektroenergetycznej w budownictwie energooszczędnym. Podczas długotrwałego przepływu prądu przez przewody elektryczne umieszczone w ścianach izolowanych cieplnie, o niewielkim współczynniku przenikania ciepła, mogą one ulec przegrzaniu w wyniku którego nastąpi zmniejszenie rezystancji izolacji bądź nawet zwarcie, a w konsekwencji może powstać zagrożenie pożarowe. Wyniki badań mają posłużyć projektantom nowych obiektów, jak i modernizowanych do uwzględnienia tych zagrożeń, a także są sugestią do zaktualizowania istniejącej normy w tym zakresie.

Abstract. During prolonged flow of electric current by wiring placed in walls which are thermally isolated. This walls has small ratio of warm penetration and the electric cables can overheat and this will cause decrease resistance of isolation or short circuit and in consequence cause the fire. Results of research should serve planners of new buildings and for the buildings which are modernized. They are also suggestion to update norms. (**Electrical installations in building energy-saving in the aspect of the fire hazard**).

Słowa kluczowe: instalacje elektroenergetyczne, budownictwo energooszczędne, zagrożenie pożarowe, audyt energetyczny.

Keywords: power installations, construction energy-saving, fire hazard, energy audit.

Wstęp

Instalacje elektroenergetyczne stanowią nieodzowny element wyposażenia budynków. Postęp cywilizacyjny sprawił, że ludzkość stała się uzależniona od prądu. Każdy dom, każde biuro czy też zakład pracy posiada od kilku do kilkudziesięciu odbiorników energii elektrycznej. Sprawia to, że powstające instalacje elektryczne zaczęły się rozrastać. Zwiększona została liczba punktów (gniazd), średnica przekroju przewodu oraz ich ilość. Zadanie takiej instalacji nie polega jedynie na współpracy elementów elektrycznych o skoordynowanych parametrach technicznych, ale również na zapewnieniu bezpiecznego jej użytkowania. Biorąc pod uwagę warunki środowiskowe oraz dużą ilość czynników zewnętrznych wpływających na elementy składowe, instalacje elektryczne powinny być zaprojektowane i wykonane w takich sposób, aby zapewniały ciągłą dostawę energii elektrycznej o określonych parametrach. Umożliwiając nieuciążliwe i bezpieczne użytkowanie urządzeń elektrycznych, ochronę przed porażeniem prądem elektrycznym, nadmiernym zużyciem się instalacji elektrycznej, pożarem, jak również ochronę ludzi i środowiska przed skażeniami, emitowaniem drgań, nadmierną temperaturą, polem magnetycznym itp.

Rozwój cywilizacji przełożył się również na rozwój wielu gałęzi przemysłu, m.in. branży budowlanej. Efektem tego stało się dążenie do minimalizacji kosztów, co w budownictwie wiąże się przede wszystkim z ograniczaniem strat ciepła. Wymogło to na producentach wyrobów budowlanych wprowadzanie coraz to nowszych systemów ociepleń charakteryzujących się dużą zdolnością zatrzymywania wewnątrz ciepła. Kolejnym krokiem było pojawienie się nowej metody budownictwa opierającej się na gotowych elementach prefabrykowanych składanych w jedną całość na placu budowy. Warto zaznaczyć, że w nowoczesnym budownictwie powszechne zastosowanie znalazły wełny mineralne i pianki poliuretanowe, których współczynnik przewodzenia ciepła λ , wynosi 0,02-0,045 W/mK, co w porównaniu z wyrobami ceramicznymi typu cegła 0,15-1,31 W/mK jest znaczącą różnicą [9].

Nagrzewania się przewodów instalacji elektrycznych

Analizując bilans energetyczny przepływ prądu przez przewody elektryczne można [6, 5]:

$$(1) \quad pdt = slcd\vartheta + kSl(\vartheta - \vartheta_0)dt$$

gdzie: p – moc chwilowa tracona w przewodniku, W; t – czas, s; s – przekrój przewodnika, cm^2 ; l – długość przewodnika, cm; c – ciepło właściwe materiału przewodnika, $\text{J}/\text{cm}^3\cdot\text{K}$; ϑ – temperatura przewodnika, $^{\circ}\text{C}$; ϑ_0 – temperatura otoczenia, $^{\circ}\text{C}$; k – współczynnik oddawania ciepła, $\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{K}$; S – obwód powierzchni zewnętrznej przewodnika, cm.

Moc jaka będzie wydzielana w przewodzie dla stałej wartości skutecznej natężenia prądu I można wyznaczyć na podstawie zależności

$$(2) \quad P = k_d I^2 \rho \frac{l}{s}$$

gdzie: k_d – współczynnik strat dodatkowych wywołanych wpływem zmiennych pól magnetycznych ($k_d = 1+1,15$); ρ – rezystywność materiału przewodnika, $\Omega\cdot\text{cm}$.

Przy uwzględnieniu zależności (2) oraz bilansu energetycznego (1) dla przewodu ułożonego w zaizolowanej cieplnie ścianie dla którego można założyć, że nie oddaje on ciepła do otoczenia ($k = 0$), równanie przyjmuje postać:

$$(3) \quad k_d I^2 \rho \frac{l}{s} dt = slcd\vartheta$$

Przekształcając zależność (2), przy założeniu, że: k_d , ρ , c , k nie zmieniając się z temperaturą, można wyznaczyć wartość prądu nagrzewającego przewód w funkcji temperatury otoczenia ϑ_0 i temperatury przewodnika ϑ [14]:

$$(4) \quad I = \sqrt{\frac{kSs}{k_d\rho}} (\vartheta - \vartheta_0)$$

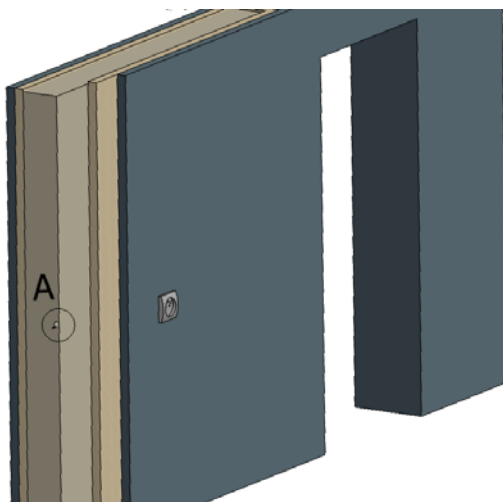
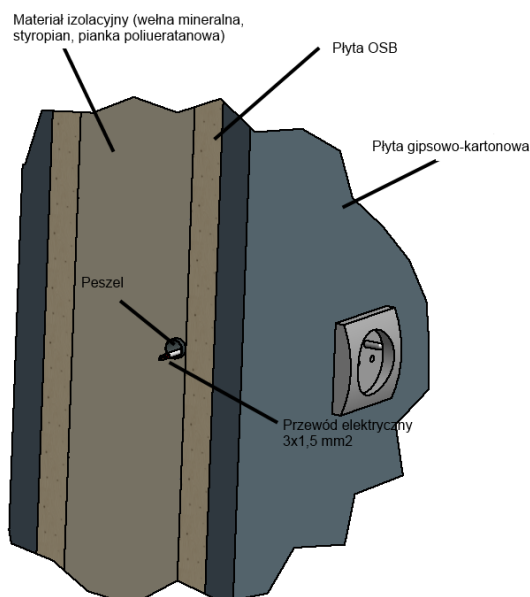
Aby obliczyć wartość obciążenia prądowego długotrwałego należy uwzględnić temperaturę graniczną ϑ_z , podaną w normie dla danego typu przewodu:

$$(5) \quad I = \sqrt{\frac{kSs}{k_d\rho}} (\vartheta_z - \vartheta_0)$$

Stanowisko doświadczalne do badania obciążalności długotrwałej w budownictwie energooszczędnym

Norma [1] określa ogólne wytyczne, które należy uwzględnić na etapie projektowania, jak również wykonywania instalacji elektrycznych, aby zapewnić właściwe warunki pracy przewodów elektrycznych. Zawarte w normie zapisy wyróżniają pięć głównych sposobów ułożenia przewodów:

- A1 i A2 - Przewód w rurze instalacyjnej w izolowanej cieplnie ścianie,
- B1 i B2 - Przewód w rurze instalacyjnej na ścianie drewnianej,
- C – na drewnianej ścianie,
- D – w ostonie w ziemi,
- E,F i G – w powietrzu.

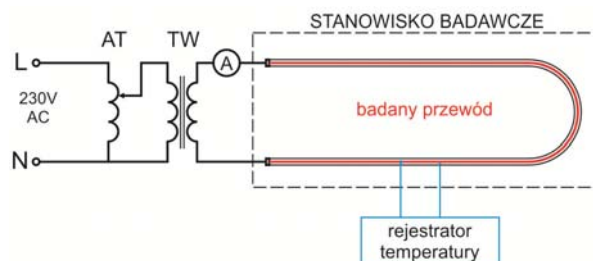


Rys. 1. Model ściany w budownictwie energooszczędnym

Z punktu widzenia budownictwa energooszczędnego najbardziej zbliżonym wydaje się sposób prowadzenia przewodów w rurze instalacyjnej w izolowanej cieplnie ścianie (A1 i A2). Tego typu określenie nie do końca są precyzyjne, ponieważ jako izolację można rozumieć m.in. styropian, wełnę mineralną o różnych grubościach. Norma [1] nie podaje także żadnych szczegółowych danych w tym zakresie. Nie uwzględnia również współczesnych materiałów wykorzystywanych obecnie do wykonywania warstw izolacji cieplnych [9]. Biorąc powyższe pod uwagę

zbudowano model laboratoryjny, w którym to odwzorowano warunki rzeczywiste takiego domu energooszczędnego wykonanego zarówno metodą tradycyjną z zastosowaniem nowoczesnych materiałów izolacyjnych do ocieplenie oraz wykonanego z prefabrykowanych elementów. Budownictwo energooszczędne oraz pasywne wymaga zastosowania podwójnej izolacji cieplnej (warstwa zewnętrzna oraz wewnętrzna) w każdej ścianie nośnej budynku oraz izolację wewnętrzną w ścianach działowych. Dodatkowo uwzględniono metody stosowane w praktyce przez firmy na rodzimym rynku. Najczęściej obserwuje się warstwę izolacyjną, którą stanowi, pianka poliuretanowa lub wełna mineralna, natomiast warstwę zewnętrzną izolacji wykonuje się ze styropianu lub wełny mineralnej. Wszystkie te informacje wykorzystano w budowie stanowiska laboratoryjnego. Kolejną wiedzą którą zdobyto na budowach domów energooszczędnych to sposoby ułożenia przewodów. Przewody układane są w ostonie peszlowej (rura PCV) w żłobku wykonanym w izolacji cieplnej na styku z płytą OSB i płytą gipsowo-kartonową. Szczególnego znaczenia nabiera staranność wykonania tych żłobków (rysunek 1).

Zbudowane stanowisko laboratoryjne składa się z komory, urządzeń zasilających, modelu ściany budynku wykonanego zgodnie z dokumentacją oraz szeregiem czujników pomiarowych i urządzeń rejestrujących. W środku komory została umiejscowiona próbka badanego przewodu elektrycznego znajdująca się w ostonie peszlowej. Przewód został ułożony w kształcie litery U z wyprowadzonymi końcami umożliwiającymi połączenie zacisków wysokoprądowych jak na rysunku 2:



Rys. 2. Układ pomiarowy do badania obciążeń przewodów długotrwałej w budynku energooszczędnym

Temperatura przewodów elektrycznych zależy przede wszystkim od wartości natężenia prądu ale również bardzo istotnie od własności cieplnych izolacji ścian, w której to przewody te są ułożone. Rzeczywiste procesy nagrzewania się przewodów i kabli elektrycznych są bardzo złożone, bowiem wiele parametrów w tym procesie ulega zmianie w funkcji chwilowej wartości temperatury. Znaczący wpływ ma również sposób ułożenia przewodów, liczba żył wzajemnie na siebie oddziaływujących oraz cykl obciążenia mocą. Pozyskane informacje posłużyły do opracowania procedur badań na wykonanym stanowisku naukowo-badawczym. I tak wyodrębnione zostały:

- procedura dopuszczalnych obciążeń długotrwałych (1,2,4)
- procedura dopuszczalnych przeciążeń długotrwałych (1,3,4)

Procedury te realizowały następujące etapy:

1. Pomiar rezystancji izolacji przed każdym włączeniem zasilania;
2. Nagrzewanie prądem dopuszczalnym długotrwałym zgodnym z normą [1] z ciągłą rejestracją temperatury;
3. Nagrzewanie prądem dopuszczalnym przeciążeniowym przez czas 16 godzin w cyklu 2 godziny nagrzewania, 2 godziny przerwy z ciągłą rejestracją temperatury;

4. Pomiar rezystancji izolacji po każdym takim cyklu w chwili odłączenia zasilania.

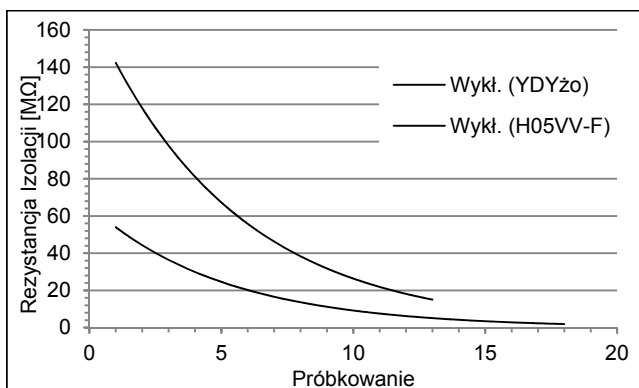
Cykl ten powtarzano przez kilkanaście kolejnych dni.

Punkt 3 realizowanej procedury badań wykonywano zgodnie z normą [1, 2], która to dopuszcza przeciętności prądową długostrwałą przewodów o 45% ($1,45 \cdot I_{dol}$).

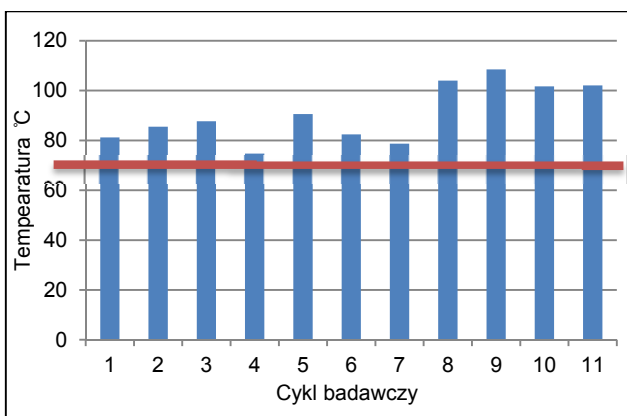
Badania i pomiary

Badaniom poddano przewody typu: YDYp(żo) 3x1,5mm² 450/700V, H05RR-F 3x1,5mm² 300/500V, H05VV-F 3x1,5mm² 300/500V oraz YDYżo 3x1,5mm² 450/750V. Ważne podkreślenia jest fakt, iż według danych katalogowych maksymalna temperatura pracy dla przewodów w izolacji wykonanej z polwinilu wynosi 70°C, natomiast dla gumy EPR 90°C. Należy zaznaczyć, że układ zasilający w każdym cyklu wymuszał stały co do wartości prąd zasilania. Przykładowe wyniki w kolejnych badaniach obrazuje rysunek 3.

Analizując osiągnięte wyniki można zauważyć, że rezystancja izolacji przewodów maleje. Wartości te, nadal spełniają wymagania przepisów ujętych w normie [4], niemniej zmniejszyła się ona od kilkudziesięciu MΩ do 2,7 MΩ. Zgodnie z normą [4] minimalna wartość rezystancji izolacji dla napięcia probierczego 1000V wynosi 1MΩ. Powstaje przypuszczenie, że w wyniku wieloletniej pracy instalacji granica ta może zostać przekroczona.



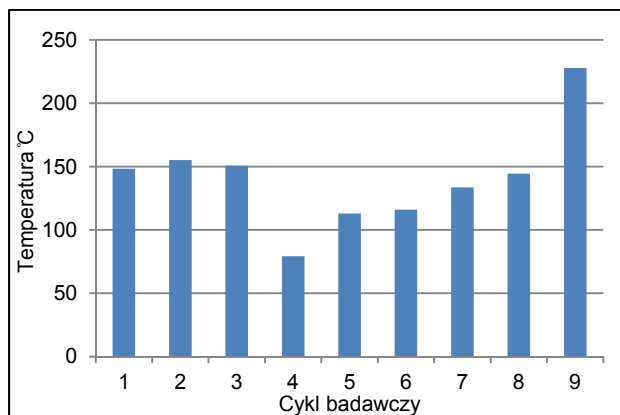
Rys. 3. Rezystancja izolacji przewodów H05VV-F i YDYżo



Rys. 4. Temperatura przewodu YDYżo w kolejnych cyklach badawczych

Prowadząc badania na stanowisku naukowo-badawczym zgodnie z powyższymi procedurami każdorazowo zaobserwowano przekroczenie wartości dopuszczalnych temperatury dla stosowanych w tym budownictwie przewodów instalacyjnych rysunek 4. Istotne jest również to, że ta temperatura różnie z kolejnym cyklem. Wnioskować można że wzrost ten jest podyktowany efektem starzenia się izolacji instalacji oraz materiału użytego do ocieplenia. W

przypadku styropianu, prawdopodobnie nastąpił pod wpływem temperatury jego ubytek (skurcz). W wyniku czego powstała w ten sposób dodatkowa warstwa powietrza, która zaizolowała cieplnie przewody uniemożliwiając w ten sposób bardziej efektywne oddawanie ciepła. Uzyskano większe temperatury w stanie cieplnie ustalonym dla przewodów w izolacji gumowej (EPR) Rysunek 5.



Rys. 5. Temperatura przewodu H05RR-F 3x1,5mm² 300/500V w kolejnych cyklach badawczych

W przypadku tych przewodów już w dziewiątym cyklu przewody uległy całkowitemu zniszczeniu rysunek 6.



Rys. 6. Zniszczony przewodu elektrycznego H05RR-F po wykonanych badaniach

Należy zaznaczyć, że przewody w izolacji gumowej nie powinny być stosowane w tego typu budownictwie, nie mniej rzeczywistość potwierdzona protokołami z działań ratowniczo-gaśniczych prowadzonych zwłaszcza w obiektach komunalnych przeczy temu stwierdzeniu. Dodatkowo można zaobserwować w skali całego kraju, dążenie w istniejących już obiektach, do wszelkiego rodzaju dociepleń bez ekspertyz sprawdzających prawidłowość istniejących już instalacji elektrycznych w nowych warunkach.

Skutki nieprawidłowo zaprojektowanej i wykonanej instalacji elektrycznej

Wykonane badania pokazują, że powstanie zagrożenia pożarowego na skutek grzania się przewodów i kabli jest wielce prawdopodobne. Palące się kable są niebezpieczne dla otoczenia przede wszystkim z powodu na:

- wydzielanie gazów. Podczas palenia się kabli oprócz dymu wydzielają się gazy będące wynikiem rozkładu materiałów polimerowych. Najgroźniejsze z nich to związki chloru, fluoru i bromu wchodzące w skład tworzy sztucznych wykorzystywanych do wytłaczania izolacji, wypełnienia i powłok kabli oraz przewodów elektroenergetycznych. Najczęściej spotykanym gazem jest chlorowódor, który wydziela się przy spalaniu polichlorku winylu (PVC); [11,12]

- ilość wydzielanych dymów. Wydzielanie dużych ilości gęstego dymu przez palące się przewody i kable utrudnia lub niekiedy wręcz uniemożliwia ewakuację i prowadzenie akcji ratowniczo-gaśniczej. [11,13]
- rozprzestrzenianie płomienia. Rozprzestrzenianie płomienia wzdłuż kabla zależy głównie od zastosowanych materiałów polimerowych do jego budowy, ale również od sposobu i miejsca montażu instalacji. Niektóre tworzywa podczas pożaru topią się lub spływają w postaci płynących kropli (polietylen) rozprzestrzeniając płomień na inne elementy infrastruktury obiektu budowlanego. Szczególnie szybko rozprzestrzeniają się płomienie wzdłuż kabli ułożonych w pionowych szybach i tunelach kablowych, gdzie występuje zjawisko ciągu kominowego. [11,13].

Podsumowanie i wnioski końcowe

Na podstawie badań własnych oraz istniejących opracowań stwierdzono, że pod wpływem wysokich temperatur szybkość starzenia się izolacji przewodów rośnie. Im dłużej przewód poddany jest szkodliwemu działaniu wysokiej temperatury, tym łatwiej ulega zniszczeniu. Długość utrzymywania się temperatury o 8-10°C przewyższającej graniczną dopuszczalną długość wartość, powoduje zmniejszenie o połowę czasu życia izolacji. W badanym przypadku przekroczenia te wynosiły ok. 20°C dla przewodów w izolacji polwinitowej i 60°C w przypadku izolacji gumowej.

W konsekwencji tych wyników można wysnuć następujące wnioski:

- przy wyznaczaniu obciążalności długotrwałej przewodów w budynkach energooszczędnych należy uwzględnić trudniejsze warunki oddawanie ciepła w izolowanych cieplnie ścianach
- przekroczone dopuszczalne wartości temperatur w przewodach elektrycznych wymuszają zastosowanie dodatkowych przeliczników zmniejszających graniczne wartości prądów zapisanych w normach;
- konieczne staje się rozszerzenie w normie [1] pojęcia „izolowana cieplnie ściana”, o parametry obecnie stosowanych materiałów termoizolacyjnych w tego typu budownictwie oraz wymóg dyrektyw unijnych.
- występujący trend spadku rezystancji izolacji może doprowadzić do przekroczenia granicznych wartości, co może skutkować powstaniem zwarć, a w konsekwencji zagrożenia pożarowego;
- zasadne staje się przeprowadzanie okresowych badań instalacji elektrycznych w domach energooszczędnych w aspekcie bezpieczeństwa pożarowego;
- na etapie projektowania nowych obiektów, jak i modernizowanych należy uwzględnić nowo powstałe warunki pracy takiej instalacji elektrycznej;

- uzyskane wyniki pokazują że w aspekcie bezpieczeństwa pożarowego najważniejsze staje się odpowiednie zmodernizowanie zapisów istniejącej normy;
- bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na żywotność przewodu jest miejsce i staranny sposób ich ułożenia ;
- niedopuszczalne jest stosowanie przewodów w izolacji gumowej dla tego typu prowadzonej instalacji.
- biorąc pod uwagę aspekt przeciwpożarowy sugeruje się by w budownictwie pasywnym stosować przewody w izolacji z tworzyw bezhalogenowych.

LITERATURA

- [1] Norma PN-IEC 60364-5-523:2001 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność prądowa długotrwała przewodów
- [2] PN-HD 60364-4-43:2012 Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed prądem przetężeniowym
- [3] Wiatr J.: Ochrona przeciwpożarowa kabli i przewodów (część 1) *Elektro.info*(2008) nr 4, 86
- [4] PN-HD 60364-6:2008 Instalacje elektryczne niskiego napięcia Części 6: Sprawdzenie
- [5] Czaja P., Barasiński A.: Obciążalność cieplna przewodów i kabli elektroenergetycznych, *SWE*, (2013), nr 6, 4-7
- [6] Wołkowiński K.: Instalacje elektroenergetyczne. Zagadnienia wybrane, WNT, Warszawa, (1972)
- [7] Norma PN-EN 50268-2:2002 Wspólne metody badania palności przewodów i kabli. Pomiar gęstości dymów wydzielanych przez spalanie przewodów lub kabli w określonych warunkach.
- [8] Norma PN-EN 61034-2:2010 Pomiar gęstości dymów wydzielanych przez palące się przewody lub kable w określonych warunkach. Metoda badań i wymagania
- [9] Czaja P., Barasiński A.: Wpływ warunków otoczenia na temperaturę przewodów elektrycznych obciążonych długostrzałami, *SWE*, (2014)
- [10] Perkowski Z. J.: Kable do instalacji SAP i DSO, Technokabel S.A.
- [11] Czaja P., Barasiński A.: Zachowanie się przewodów i kabli w pożarach, *Prace naukowe akademii im. Jana Długosza w Częstochowie Tom I*, (2013)
- [12] Sosnowski I.: Metody badań palności kabli, *Elektrosystemy IV*, (2009), 62-65
- [13] Informator techniczny, Technokabel(2007)

Autorzy: dr hab. inż. Lech Borowik prof. Pcz, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: borowik@el.pcz.czest.pl; sekc. mgr inż. Adrian Barasiński, Centralna Szkoła Państwowej Straży Pożarnej, ul. Sabinowska 62, 42-200 Częstochowa, e-mail: baras11@vp.pl.