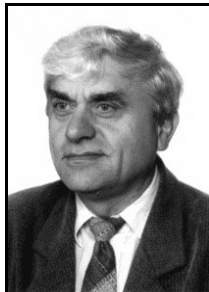


Ryszard CHYBOWSKI, Szymon PTAK, Michał BEDNAREK
SZKOŁA GŁÓWNA SŁUŻBY POŻARNICZEJ, WYDZIAŁ INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA POŻAROWEGO,
ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa

Termograficzna ocena bezpiecznej odległości materiału palnego od przewodów instalacji odgromowej

Mł. bryg. dr inż. Ryszard CHYBOWSKI

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej, pracownik Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie jako kierownik Zakładu Elektroenergetyki. Działalność naukowa: profilaktyka pożarowa urządzeń elektrycznych.



e-mail: rchybowski@sgsp.edu.pl

Mgr Michał BEDNAREK

Absolwent Wydziału Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, pracownik Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, kierownik Zakładu Fizyki i Chemii. Zainteresowania naukowe: diagnostyka termowizyjna, termowizja aktywna, elektronika.



e-mail: mbed@sgsp.edu.pl

Mł. kpt. mgr inż. Szymon PTAK

Absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej, asystent w Zakładzie Elektroenergetyki, działalność naukowa: profilaktyka pożarowa urządzeń elektrycznych.



e-mail: ptak.szymon@gmail.com

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań bezpiecznej odległości pomiędzy materiałem palnym a instalacją odgromową. Badania przeprowadzono przy pomocy kamery termowizyjnej. Doświadczenia polegały na rozgrzaniu prądem pręta ze stali miękkiej o średnicy wymaganej w aktualnej normie i badaniu temperatury na powierzchni kartki papieru, modelującej powierzchnię materiału palnego. Arkusz umieszczano równoległe do odcinka drutu w różnych odległościach. Wyniki dowodzą, że dopuszczalne jest bezpieczne zmniejszenie odległości o co najmniej 20%.

Słowa kluczowe: instalacja odgromowa, materiał palny, kamera termowizyjna, badania eksperymentalne.

Evaluation of safe distance between lightning protection system and combustible materials using thermal imaging

Abstract

This paper describes experimental research of a safe distance between combustible materials and a lightning protection system. The distance is required because of possible ignition of combustible materials as a result of thermal radiation emitted by the heated lightning protection wire. The euro – code which recently have become law in Poland determines the minimal distance to be at least 10 cm. Considering the phenomenon of lightning strikes, the required distance seems to be debatable. Experimental investigations were conducted on a test stand constructed in purpose to heat the steel wire using electricity. The temperature of about 800 °C was reached (Fig. 3) for both horizontal and vertical trials. A paper sheet was used to model the surface of combustible material and heated by infrared radiation emitted by a wire. The temperature of the paper sheet was measured using thermal camera (illustrated in Figure 4). The maximum temperatures of the paper sheet placed at various distances from the parallel heated wire are shown in Fig. 5. The study shows that even if a relatively high temperature is reached, it is safe to reduce the distance between a combustible material and a lightning protection system given by the mentioned euro – code.

Keywords: lightning protection system, combustible material, infrared camera, experimental investigations.

1. Wprowadzenie

Instalacja odgromowa służy do bezpiecznego odprowadzania prądu pioruna do ziemi. Z uwagi na względnie duży prąd, a co za tym idzie dużą energię, ze zjawiskiem tym wiąże się szereg zagrożeń [1, 2]. Do najistotniejszych można zaliczyć zagrożenie porażeniowe i pożarowe. Ponadto prawdopodobne jest wystąpienie przepięcia w instalacjach elektrycznych.

Zagrożenie porażeniowe związane jest z dużym spadkiem napięcia na elemencie przewodzącym prąd lub z napięciem krokowym na powierzchni ziemi. Instalacja odgromowa nie sięga chmur, a w związku z tym zwód (element przyjmujący wyładowanie) musi mieć styczność z kanałem plazmy tworzącym drogę przepływu prądu w powietrzu. Taki punkt styczności cechuje się określonym spadkiem napięcia. Przy przepływie prądu pioruna wydziela się energia o wartości wystarczającej do stopienia metalu. Jest to szczególnie istotne w przypadku, gdy w budynku zastosowano blaszane pokrycie dachowe jako element instalacji odgromowej. Norma [3] podaje minimalne grubości blach, które mogą być wykorzystane jako zwody w instalacji odgromowej. W pracy [2] podano wyniki badań laboratoryjnych otworów wypalonych w różnych blachach przy przepływie prądu.

Zwód narażony jest nie tylko na kontakt z kanałem wyładowczym, ale także na przepływ prądu o względnie dużej wartości. Wydzielająca się energia może doprowadzić do zarzenia zarówno zwodu, jak i przewodu odprowadzającego. Z literatury [1] wynika, że może dojść do stopienia metalowych elementów i powstawania kropek o średnicy uzależnionej od średnicy przewodu.

Prawdopodobieństwo zniszczenia instalacji odgromowej jest minimalne. Zapobiega się temu poprzez stosowanie elementów o odpowiednich przekrojach. Znacznie bardziej prawdopodobne jest nagrzanie się instalacji odgromowej do temperatury, której oddziaływanie może doprowadzić do zapalenia materiałów palnych. Energia cieplna powstała na skutek przepływu prądu poprzez instalację odgromową przekazywana jest do materiału palnego drogą promieniowania cieplnego.

W normie [4] przyjęto 10 cm jako minimalną odległość elementów przewodzących prąd pioruna od materiałów palnych. Poprzednie regulacje wymagały aż 40 cm. Odległość wymagana aktualnymi przepisami wydaje się jednak ciągle zbyt duża:

- rozgrzanie przewodu instalacji odgromowej do temperatury rzędu 800 °C jest mało prawdopodobne,
- impulsowe nagrzanie przewodu nawet do temperatury 800 °C nie oznacza wypromieniowania energii w ilości, która może zapoczątkować rozkład termiczny materiału palnego.

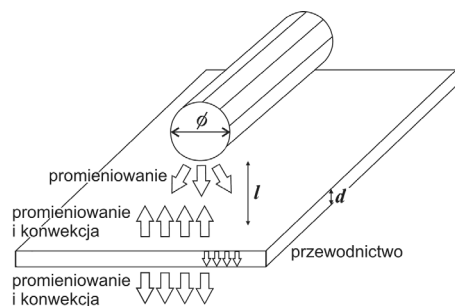
Wymienione powyżej zastrzeżenia zaowocowały chęcią zbadania minimalnej odległości materiału palnego od instalacji odgromowej.

2. Modelowanie

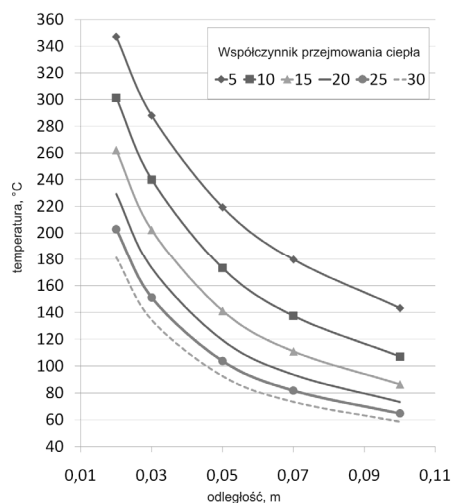
W celu oceny wartości temperatur występujących na powierzchni materiału palnego będącego pod wpływem promieniowania cieplnego przewodu instalacji odgromowej założono następujące warunki:

- temperatura otoczenia $t_0 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$
- temperatura przewodu instalacji odgromowej $t_d = 800 \text{ }^\circ\text{C}$
- współczynnik emisyjności powierzchni materiału palnego $\varepsilon = 0,95$
- współczynnik emisyjności przewodu instalacji odgromowej $\varepsilon = 0,89$
- współczynnik przejmowania ciepła na granicy ośrodków materiał palny-powietrze $\alpha = 5 \div 30 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
- średnica przewodu instalacji odgromowej $\varnothing = 8 \text{ mm}$
- współczynnik przewodnictwa cieplnego materiału palnego $\lambda = 0,14 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

Wartości współczynnika przejmowania ciepła przyjęto w zakresie podawanym przez literaturę [5] dla konwekcji swobodnej. Uwzględniając konfigurację ciał wymieniających energię jak na rys. 1 [6] wyznaczono na podstawie bilansu energetycznego zależność temperatury powierzchni materiału palnego od odległości l dla różnych współczynników przejmowania ciepła. W modelu założono jednowymiarowy przepływ ciepła przez warstwę materiału. Uwzględnienie kierunku poprzecznego powodowałoby obniżenie uzyskanych wartości temperatur, tak więc w rozważaniach na temat możliwości osiągnięcia temperatury zapalenia założenie takie jest dopuszczalne. Uzyskane wyniki przedstawia rys. 2.



Rys. 1. Schemat obiektu i przepływu energii przyjęty w modelu
Fig. 1. Scheme of the object and energy flow model



Rys. 2. Zależność temperatury powierzchni materiału palnego od odległości przewodu i materiału dla różnych współczynników przejmowania ciepła
Fig. 2. The relationship between the combustible material surface temperature and its distance from the heated wire for various heat transfer coefficients

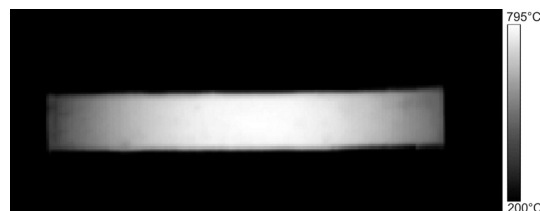
Z powyższych rozważań wynika, że temperatura powierzchni materiału nie powinna przekraczać wartości $200 \text{ }^\circ\text{C}$ dla odległości już powyżej 5 cm przy założeniu wartości współczynnika przejmowania ciepła materiał-powietrze większej niż minimalna. Za-

kres temperatur zapalenia materiałów stosowanych w budownictwie zaczyna się w praktyce na poziomie $300 \text{ }^\circ\text{C}$ więc temperaturę $200 \text{ }^\circ\text{C}$ można uznać za nie stwarzającą zagrożenia.

3. Badania eksperymentalne

Normy [3, 4] określają odpowiednie parametry przewodów instalacji odgromowej. Najczęściej stosowana jest stal miękka ocynkowana w postaci drutu o średnicy 8 mm (wcześniejsza norma wymagała jedynie średnicy 6 mm). Drut ten poddano badaniom w pozycji poziomej oraz pionowej. Odcinki przewodu nagrzano prądem elektrycznym, dzięki zastosowaniu transformatora wieloprądowego. Uzyskano temperaturę sięgającą ok. $800 \text{ }^\circ\text{C}$ (rys. 3). Regulacja temperatury drutu odbywała się poprzez zmianę napięcia na uzwojeniu pierwotnym transformatora. Odcinek poziomy drutu miał długość 10 cm , odcinek pionowy – 30 cm . W pomiarach wykorzystano arkusz papieru formatu A4, który zawieszono na statywie. Jedna strona arkusza papieru nagrzewana była promieniowaniem emitowanym przez nagrany drut, a druga strona umieszczona została w polu widzenia kamery termowizyjnej. Ze względu na małą grubość papieru (rzędu $0,1 \text{ mm}$) sprawdzono, czy nie występuje transmisja podczerwieni przez jego warstwę. Przy pomocy czopera zmodulowano strumień promieniowania cieplnego padający na arkusz papieru. Zaobserwowane zmiany temperatury na przeciwnej stronie papieru były charakterystyczne dla procesów ostygnięcia a nie, praktycznie natychmiastowych, efektów związanych z transmisją promieniowania. Uznano, że transmisja nie występuje.

Poprzez zmianę odległości pomiędzy rozgrzanym przewodem a kartką papieru rejestrowano zmiany temperatury arkusza, który odwzorowywała powierzchnię materiału palnego. Pomiarów dokonano dla odległości 2 cm , 3 cm , 5 cm , 10 cm .



Rys. 3. Obraz termograficzny przewodu wykorzystanego w badaniach
Fig. 3. Thermal image of the used wire

W badaniach wykorzystano kamerę termowizyjną FLIR ThermoCam SC640, rejestrującą promieniowanie podczerwone w zakresie spektralnym $7,5 \div 13 \text{ } \mu\text{m}$, współpracującą z programem termograficznym ThermoCam Researcher. Po włączeniu odcinka przewodu pod napięcie obraz termowizyjny był rejestrowany z kilkunastominutowym opóźnieniem, celem dokonania pomiaru w stanie ustalonym.

Różnica temperatur pomiędzy dwoma stronami arkusza obliczona na podstawie modelu jest równa, w zależności od odległości i współczynnika przejmowania ciepła, od $1 \text{ }^\circ\text{C}$ do $6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Przy rozważaniu problemów związanych z temperaturą zapalenia materiału takie różnice nie mają znaczenia.

4. Analiza obrazów termograficznych

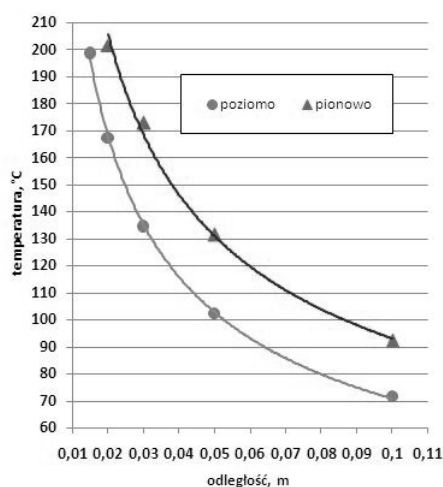
Typowy obraz termograficzny uzyskany podczas badań przedstawia rys. 4. Występują różnice w obrazach termograficznych między drutem ustawionym poziomo i pionowo. Wynika to z zastosowania przewodów o różnych długościach. Maksymalne temperatury uzyskane z pomiarów dla drutu pionowego: $202 \text{ }^\circ\text{C}$, dla drutu poziomego: $199 \text{ }^\circ\text{C}$. Różnice w podanych wartościach są nieistotne, a wynikać mogą z różnych mocy dostarczanych do odcinków drutu oraz z różnicy w konwekcyjnym przejmowaniu ciepła materiał-powietrze w różnych położeniach materiału i przewodu.

Na rys. 5 przedstawiono rozkład temperatur na kartce papieru dla różnych odległości pomiędzy nagrzanym przewodem, a arkuszem.



Rys. 4. Obraz termowizyjny kartki papieru nagrzewany promieniowaniem podczerwonym emitowanym przez rozgrzany drut umieszczony pionowo dla odległości: a) 10 cm ($T_{max}=93\text{ °C}$), b) 5 cm ($T_{max}=132\text{ °C}$)

Fig. 4. Thermal image of the paper sheet heated by thermal radiation emitted by a vertical wire placed at their mutual distances of: a) 10 cm ($T_{max}=93\text{ °C}$), b) 5 cm ($T_{max}=132\text{ °C}$)



Rys. 5. Temperatura kartki papieru ustawionej wzdłuż linii równoległej do rozgrzanego odcinka drutu dla różnych odległości od przewodu

Fig. 5. Temperature of the paper sheet parallel to the heated wire placed horizontally (circles) and vertically (triangles) at various mutual distances

Na podstawie przebiegów z rys. 5. można stwierdzić, że przy założonych warunkach rozkład termiczny materiału palnego nie nastąpi, co jest zgodne z obliczeniami na podstawie modelu.

5. Wnioski

W przedstawionych badaniach założono stosunkowo wysoką temperaturę przewodu i stosunkowo długi czas oddziaływania rozgrzanego drutu na materiał palny (aż do osiągnięcia stanu ustalonego). Takie wartości w praktyce wystąpią z bardzo małym prawdopodobieństwem. Pomiary wykonywano w pomieszczeniu laboratoryjnym. Konwekcja występująca w doświadczeniu była więc konwekcją swobodną. Warunki pogodowe w których występują wyładowania atmosferyczne powodują, że współczynnik przejmowania ciepła może być nawet 20 krotnie wyższy niż w warunkach eksperymentalnych. Mimo założenia ekstremalnych warunków przeprowadzone badania pokazują, iż dopuszczalne jest bezpieczne zmniejszenie odległości pomiędzy instalacją odgromową a materiałem palnym.

6. Literatura

- [1] Flisowski Z.: Trendy rozwojowe ochrony odgromowej budowli, część 1. Wyładowanie piorunowe jako źródło zagrożeń, Warszawa 1986.
- [2] Markowska R., Sowa A.: Ochrona odgromowa obiektów budowlanych, Warszawa 2009.
- [3] PN – IEC 62305-1:2008 Ochrona odgromowa – Część 1: Wymagania ogólne.
- [4] PN – IEC 62305-3:2009 Ochrona odgromowa – Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów budowlanych i zagrożenie życia.
- [5] Wiśniewski S., Wiśniewski T.: Wymiana ciepła, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.
- [6] Pudlik W.: Wymiana i wymienniki ciepła, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2008.

otrzymano / received: 06.08.2011

przyjęto do druku / accepted: 05.09.2011

artykuł recenzowany

INFORMACJE

Newsletter PAK

Wydawnictwo PAK wysyła drogą e-mailową do osób zainteresowanych Newsletter PAK, w którym są zamieszczane:

- spis treści aktualnego numeru miesięcznika PAK,
- kalendarz imprez branżowych,
- ważniejsze informacje o działalności Wydawnictwa PAK.

Newsletter jest wysyłany co miesiąc do osób, które w jakikolwiek sposób współpracują z Wydawnictwem PAK (autorzy prac opublikowanych w miesięczniku PAK, recenzenci, członkowie Rady Programowej, osoby które zgłosiły chęć otrzymywania Newslettera).

Celem inicjatywy jest umocnienie w środowisku pozycji miesięcznika PAK jako ważnego i aktualnego źródła informacji naukowo-technicznej.

Do newslettera można zapisać się za pośrednictwem:

- strony internetowej: www.pak.info.pl, po dodaniu swojego adresu mailowego do subskrypcji,
- adresu mailowego: wydawnictwo@pak.info.pl, wysyłając swoje zgłoszenie.

Otrzymywanie Newslettera nie powoduje żadnych zobowiązań ze strony adresatów. W każdej chwili można zrezygnować z otrzymywania Newslettera.

Tadeusz SKUBIS
Redaktor naczelny Wydawnictwa PAK