



Waldemar JASKÓŁOWSKI¹, Ryszard CHYBOWSKI², Marzena PÓŁKA¹

Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Katedra Podstaw Rozwoju i Gaszenia Pożarów (1) Katedra Rozpoznawania Zagrożeń (2),

Badanie stabilności termicznej materiałów powłokowych stosowanych do produkcji kabli elektrycznych

Streszczenie. Z wykorzystaniem termograwimetru badano rozkład termiczny materiałów powłokowych. Próbkę miały zróżnicowany skład chemiczny. Wyniki badań obejmują dane o temperaturze początku rozkładu termicznego oraz maksymalnej szybkości ubytku masy.

Abstract. (Investigation of thermal stability of sheathing materials used for electric cables production). Thermal decomposition of sheathing materials was tested with thermogravimeter. The specimens had diverse chemical composition. The results comprise the temperature of onset of decomposition and the maximum mass loss rate.

Słowa kluczowe: kable elektryczne, rozkład termiczny, zagrożenie pożarowe.

Keywords: electrical cables, thermal decomposition, fire risk.

Wstęp

W stosunku do każdego wyrobu (materiału) budowlanego, w tym instalacji elektrycznej zachodzi potrzeba oceny ryzyka pożarowego. Uwzględnienie tego ryzyka przy projektowaniu instalacji elektrycznych ma na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia pożaru, również w przypadku awarii będącej wynikiem zwarcia spięcia, przeciążenia itp. Jeśli jednak dojdzie do zapoczątkowania spalania chodzi o to, aby rozprzestrzenienie płomieni ograniczyć do minimum. Niewątpliwie o cechach pożarowych kabla decydują jego niemetalowe części (powłoki, izolacje). Do oceny zagrożenia pożarowego należy wykorzystywać możliwie szeroki wachlarz danych obejmujących [1]:

1. Wyniki badań z prób eksperymentalnych obejmujących badania w zarówno w małej, jak i w pełnej skali.
2. Dane statystyczne, względnie ekspertyzy odnoszące się do pożarów materiałów o podobnej konstrukcji i przeznaczeniu.
3. Udokumentowane oceny ekspertów.

Aby osiągnąć cel sformułowany powyżej konieczne jest stosowanie takich materiałów konstrukcyjnych kabli elektrycznych, a właściwie ich niemetalowych części (powłok, izolacji z tworzyw sztucznych) by ich wkład cieplny, toksyczny oraz związany z wydzielaniem dymu w środowisko pożarowe byłby minimalny. Pożar w budynku obejmuje reakcje chemiczne związane z powstawaniem gazowych produktów rozkładu termicznego (dymu), zjawiska fizyczne z tworzeniem się i rozprzestrzenieniem strefy spalania, wymianą ciepła i masy w samym budynku (pomieszczeniu) oraz w obrębie sąsiednich pomieszczeń, które tworzą tzw. środowisko pożarowe. O szybkości tworzenia się środowiska pożarowego w I fazie rozwoju pożaru decydują m.in. własności termofizyczne, termokinetyczne, dymotwórcze.

Podstawowy obszar badań właściwości palnych materiałów obejmuje:

1. Toksyczność produktów powstałych podczas rozkładu i spalania materiałów (bardzo istotna w aspekcie bezpieczeństwa użytkowników i ratowników przebywających w zagrożonym obiekcie).
2. Zdolność do tworzenia dymu (dym jest przyczyną 2/3 ofiar pożarów).
3. Szybkość wydzielania ciepła i całkowitą ilość wydzielonego ciepła (decydują one w istocie o temperaturze pożaru i w konsekwencji o jego szybkości rozwoju).

4. Szybkość rozprzestrzeniania płomieni po kablu pojedynczym lub wiązce.
5. Korozyjność gazów powstałych podczas spalania niemetalowych części składowych kabla elektroenergetycznego.
6. Zdolność do zachowania funkcjonalności kabla (ciągłości działania); szczególnie istotne przy zasilaniu instalacji kluczowych dla budynku
7. Czas do zapoczątkowania reakcji spalania.

W ocenie zagrożenia pożarowego kabli elektroenergetycznych istotną rolę odgrywa charakterystyka cieplna tworzyw sztucznych wykorzystywanych w produkcji materiałów izolacyjnych i powłokowych, którą określa termostabilność [2]. Ilościowo wyraża się ona:

- wartością temperatury, w której rozpoczyna się rozkład termiczny,
- wartością temperatury, w której następuje największa szybkość ubytku masy.

Pierwszy parametr zawierający się w zakresie od 220°C (izolacje/powłoki z łatwo zapalnych gum) do 380°C (izolacje/powłoki z sieciowanego polietylenu) decyduje o szybkości i objętości tworzącej się palnej fazy lotnej na początku I fazy pożaru, przy założeniu, że szybkość ogrzewania kabla była równa 5-15 °C/min. Drugi parametr T_{max} zawierający się w zakresie od 260°C do 500°C decyduje o wysokości temperatury samozapłonu powłoki kablowej [3].

Rozkład termiczny powłoki/izolacji powoduje ubytek masy kabla, co ma zasadniczy wpływ na zachowanie cech funkcjonalnych kabla w warunkach pożarowych. Procentowy ubytek masy kabla tzn. procent spalonych warstw materiałów kablowych przykładowo waha się od 50% (gumy) do 100% (powłoki/izolacje) z termoplastycznego PE.

W środowisku pożarowym transfer ciepła zachodzi w różny sposób. W zależności od fazy rozwoju pożaru. Na początku pierwszej fazy pożaru, o szybkości wzrostu temperatury ogrzewanych materiałów i w konsekwencji o szybkości rozkładu termicznego kabla czy przewodu decyduje szybkości przepływu strumienia ciepła od źródła do materiału, różnicy temperatur pomiędzy powierzchnią ogrzewaną, a jego wnętrzem, jak i właściwości fizykochemicznych, które są cechą charakterystyczną dla danego tworzywa sztucznego stanowiącego, które stanowi element składowy kabla, głównie izolacji i powłoki. Do podstawowych właściwości fizykochemicznych można zaliczyć [4]:

- ciepło właściwe - temperatura materiałów o wysokim ciepłe właściwym wzrasta wolniej niż materiałów o niskim ciepłe właściwym,
- przewodnictwo cieplne,
- entalpię zachodzących reakcji topnienia, parowania lub innych przemian fizycznych, które występują podczas ogrzewania.

Znajomość składu chemicznego części składowych niemetalowych kabla nie jest warunkiem wystarczającym do oceny zagrożenia pożarowego. Analiza zagrożeń pożarowych stwarzanych przez kable jest trudna do opisu ze względu na:

- zróżnicowaną budowę kabli, a szczególnie niejednorodną budowę powłok i izolacji,
- złożony układ linii kablowych,
- współdziałanie chemiczne żył metalowych z materiałami izolacyjno-powłokowymi,
- interakcję między kablami o podobnej budowie.

Metodyka badań

Podczas ogrzewania materiałów zachodzą w nich różne zmiany fizyczne i chemiczne, a procesom fizycznym i chemicznym przebiegającym w substancjach towarzyszą efekty cieplne. Badaniem zjawisk zachodzących podczas ogrzewania ciał stałych zajmuje się analiza termogravimetryczna. Za pomocą tej metody można określić termiczną stabilność badanego materiału.

W termogravimetrii, zwanej też derywatografią, wykorzystuje się pomiary masy próbki ogrzewanej w kontrolowanej atmosferze. Temperatura próbki zwykle wzrasta w czasie pomiaru z ustaloną szybkością lub zmienia się w inny, uprzednio zaprogramowany sposób. Wynik pomiaru, zwany termogramem, zawiera zwykle wykres zależności masy próbki od temperatury (sygnał TG) oraz jej pierwszej pochodnej (DTG).

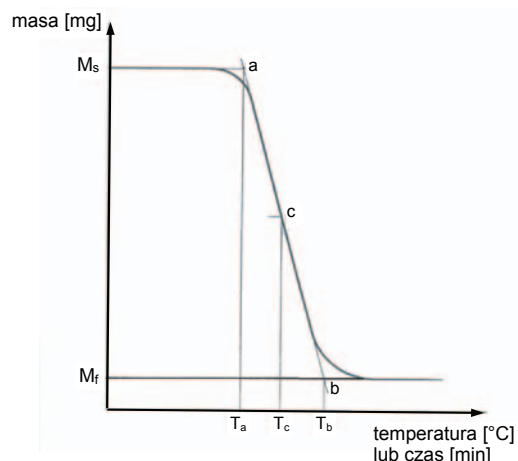
Badania stabilności termicznej przeprowadzono z wykorzystaniem termogravimetru od analizy termicznej (rys.1) TA Instruments Q500. Materiały badawcze obejmowały: polwinit, polietylen półprzewodzący, sieciowany, spajalny oraz tworzywo bezhalogenowe. Podczas badań stosowano następujące szybkości ogrzewania: 2,5°C/min, 10°C/min, 20°C/min.



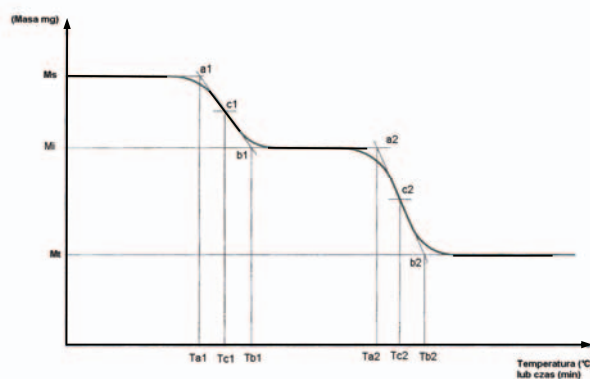
Rys.1. Termogravimetr do analizy termicznej.

Do analizy i obróbki zarejestrowanych krzywych wykorzystano moduł oprogramowania Universal Analysis oraz wytyczne zawarte w normie [5]. Uzyskane dane termogravimetryczne przedstawione zostały w postaci krzywej zależności zmiany masy w funkcji temperatury oraz szybkość ubytku masy w funkcji czasu (pochodna masy). Z krzywej TG wyznaczano charakterystyczne temperatury odpowiadające początkowi rozkładu termicznego. Z krzywej DTG wyznaczono maksymalną szybkości ubytku masy.

Temperaturę początku rozkładu termicznego wyznaczono w sposób jak na rysunkach 2 i 3.



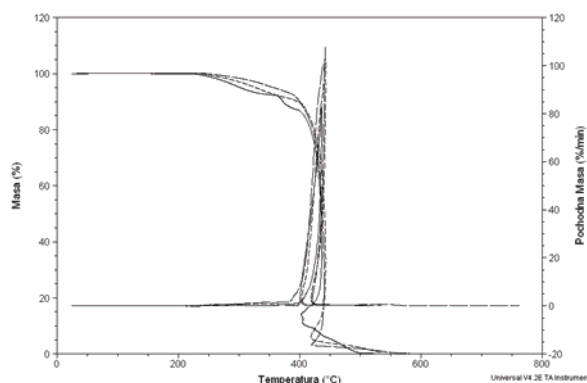
Rys. 2. Przykład krzywej TG przedstawiający jednoetapowy ubytek masy



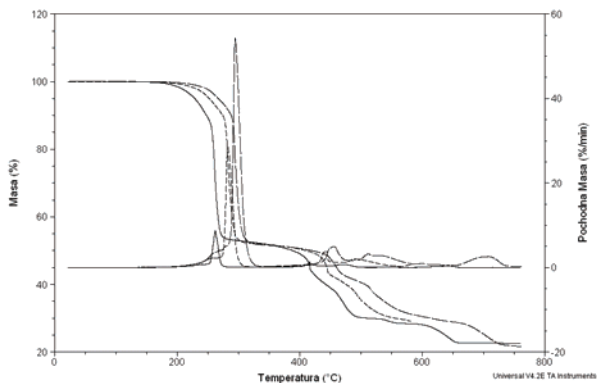
Rys. 3. Przykład krzywej TG przedstawiający wieloetapowy ubytek masy.

Analiza wyników badań

Obrazy krzywych TG wskazują, że rozkład termiczny dla polietylenu usieciowanego oraz tworzywa bezhalogenowego przebiega jednoetapowo (rys. 4), a dla polwinitu wieloetapowo (rys. 5).



Rys.4. Krzywe TG i DTG dla tworzywa bezhalogenowego



Rys.5. Krzywe TG i DTG dla poliwinitu

Tabela 1. Wyniki badań dla szybkości ogrzewania 2,5 °C/min.

Nazwa materiału	T _p rozkładu termicznego [°C]	T _{max} szybkości ubytku masy [°C]
Polwinit	255	262
Polietylen usieciowany	325	343
Tworzywo bezhalogenowe	401	441

Tabela 2. Wyniki badań dla szybkości ogrzewania 10 °C/min.

Nazwa materiału	T _p rozkładu termicznego [°C]	T _{max} szybkości ubytku masy [°C]
Polwinit	274	285
Polietylen usieciowany	360	370
Tworzywo bezhalogenowe	401	441

Tabela 3. Wyniki badań dla szybkości ogrzewania 20 °C/min.

Nazwa materiału	T _p rozkładu termicznego [°C]	T _{max} szybkości ubytku masy [°C]
Polwinit	287	293
Polietylen usieciowany	385	409
Tworzywo bezhalogenowe	403	446

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić:

1. Największą termostabilnością charakteryzuje się tworzywo bezhalogenowe.
2. Wyniki badań wskazują na jednoetapowy przebieg rozkładu termicznego dla polietylenu usieciowanego i tworzywa bezhalogenowego.
3. Ze wzrostem szybkości ogrzewania rośnie temperatura początku rozkładu termicznego z wyjątkiem tworzywa bezhalogenowego, dla którego nie zaobserwowano wpływu szybkości ogrzewania na temperaturę początku rozkładu termicznego.
4. Temperatura maksymalnej szybkości ubytku masy od 7°C do 43°C wyższa od temperatury początku rozkładu termicznego.

LITERATURA

- [1] PN-EN 60695-1-1: 2001: Badania zagrożenia ogniowego – Część 1-1: Wytyczne do oceny zagrożenia ogniowego wyrobów elektrotechnicznych – Wytyczne ogólne.
- [2] Florjańczyk Z., Paneczek S., Chemia polimerów. Podstawowe polimery i ich zastosowanie, *Oficyna wydawnicza PW, tom II, Warszawa 2001*
- [3] Pofit-Szczeptańska M., Jaskółowski W., Zagrożenia pożarowe powstałe podczas eksploatacji kabli elektroenergetycznych, *Biuletyn WAT, 2005, 73-86*
- [4] Borkowski R., Jaskółowski W., Piechocka E., Półka M., Fizykochemia spalania i wybuchów. Ćwiczenia laboratoryjne, *SGSP, Warszawa 1996*
- [5] PN-EN ISO 11358: 2004: Tworzywa sztuczne. Termogravimetria (TG) polimerów. Zasady ogólne.

Autorzy: dr inż. Waldemar Jaskółowski, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Zakład Spalania i Teorii Pożarów ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa, e-mail: wjaskolowski@sgsp.edu.pl dr inż. Ryszard Chybowski, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Zakład Elektroenergetyki, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa; dr Marzena Półka, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Zakład Spalania i Teorii Pożarów, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa