



Waldemar JASKÓŁOWSKI

Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Katedra Działań Ratowniczo-Gaśniczych, Zakład Spalania

## Badanie cech pożarowych wybranych materiałów izolacyjnych z wykorzystaniem kalorymetru stożkowego

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono możliwości zastosowania kalorymetru stożkowego do badań cech pożarowych materiałów izolacyjnych stosowanych w produkcji kabli elektrycznych. Badaniom poddano trzy rodzaje usieciowanych polietylenowych materiałów izolacyjnych o następujących oznaczeniach: LE 4205L, LE 4201R, HFDK 4201 EC. Zastosowano metodę badawczą opartą na normie ISO 5660-1:2002. Stwierdzono, że cechy pożarowe badanych materiałów wskazują na niewielkie różnice w zakresie ich własności termokinetycznych. Wykresy przedstawiające zmiany szybkości wydzielania ciepła są do siebie podobne jakościowo. Maksymalna szybkość wydzielania ciepła była największa dla materiału oznaczonego symbolem HFDK 4201 EC, niezależnie od natężenia strumienia cieplnego.

**Abstract.** (Investigation of fire properties of selected insulating materials by means of cone calorimeter). The article presents some possibilities of cone calorimeter use in tests of fire properties of isolating materials used in production of electrical cables. It also presents the results of selected fire properties of three kinds of isolating materials. The tests have been carried on following three types of crosslinkable polyethylene isolating materials: LE 4205 L, LE 4201 R, HFDK 4201 EC. Research method used in the test is based on the ISO 5660-1:2002 standard. The results show that fire properties of tested isolating materials indicate little differences in their thermokinetic properties. Diagrams of heat release rate are similar in their quality. Maximum speed of heat release rate was biggest for the material with the HFDK 4201 EC symbol. It was so, independently of heat of flux.

**Słowa kluczowe:** kabel elektryczny, materiał izolacyjny, cecha pożarowa, kalorymetr stożkowy, wydzielanie ciepła.

**Keywords:** electric cable, insulating material, fire property, cone calorimeter, heat release rate.

### Wstęp

Podstawowym wymaganiem stawianym instalacjom elektrycznym jest niezawodność w działaniu, na którą ma wpływ m.in. odporność kabli elektrycznych na oddziaływanie cieplne odpowiadające warunkom pożarowym. Z tego względu zagadnienia palności kabli i metody jej badania są od wielu lat w centrum zainteresowania wielu ośrodków badawczych. Jednym ze źródeł uzyskania wiedzy na temat właściwości pożarowych kabli elektrycznych są badania ogniowe prowadzone w specjalistycznych laboratoriach. W ostatnich latach zaobserwowano dynamiczny rozwój metod badawczych, na który zapewne mają wpływ odbiorcy kabli zainteresowani bezpiecznym produktem. Domagają się oni opracowania jednoznacznych i porównywalnych parametrów umożliwiających precyzyjną klasyfikację wyrobów i w konsekwencji odpowiedź na pytanie, który kabel elektryczny ma lepsze właściwości ze względu na bezpieczeństwo pożarowe. Na podstawie analizy literatury przedmiotu można stwierdzić, że w ostatnich latach zmieniło się podejście do badań właściwości palnych kabli. Stwierdzono, że stosowane do niedawna metody badawcze w małym stopniu odzwierciedlają warunki panujące w środowisku pożarowym.

Efektom rozważań naukowych są liczne w ostatnich latach publikacje odnoszące się do palności kabli elektrycznych [1-5]. Wszystkie podkreślają znaczenie badań szybkości wydzielania ciepła i jej wpływu na dynamikę rozwoju pożaru. W przedmiotowym zakresie szczególne znaczenie mają publikacje zespołu badawczego pod kierownictwem Przybyły i Gandhiego [1]. Prowadził on badania kabli wg normy UL 1581 (w istocie jest podobna do PN-89/E-04160/55) oraz kalorymetru stożkowego. Zastosowanie kalorymetru stożkowego miało na celu określenie czynników mających wpływ na odporność termiczną kabli oraz porównanie uzyskanych tą metodą wyników z odpornością wykazaną w teście UL 1581. Badania prowadzone dla różnych wielkości

natężenia promieniowania strumienia cieplnego umożliwiły określenie liniowej zależności pomiędzy ilością uwalnianego ciepła, a zniszczeniami uzyskanymi w eksperymencie na rozprzestrzenianie się płomieni po kablach elektrycznych. Inny zespół badawczy pod kierownictwem Hirschlera z Instytutu BDFGoodrich we współpracy z Underwriters Laboratories Studies [1] badał szybkość wydzielania ciepła podczas spalania kabli w małej i naturalnej skali. Do badań w małej skali wykorzystywano kalorymetr stożkowy oraz kalorymetr typu OSU. Na podstawie wykonanych badań przedstawiono zależność pomiędzy wynikami pomiarów szybkości wydzielania ciepła uzyskanymi różnymi metodami badawczymi.

Wyniki prowadzonych prac badawczych oraz obserwacji zachowań się kabli w pożarach postanowiono wykorzystać w celu opracowania nowych, bardziej precyzyjnych metod badawczych służących ocenie właściwości palnych kabli. W 1999 r. Europejska Komisja uruchomiła 3-letni projekt „Fire Performance of Electric Cables” (FIPEC) [2].

Celem projektu było:

1. Opracowanie bardziej spójnych międzynarodowych standardów (niż te określone w IEC 60332-3), wykorzystywanych do sprecyzowania różnic pomiędzy właściwościami kabli w aspekcie bezpieczeństwa pożarowego.
2. Dostarczenie danych wykorzystywanych w produkcji kabli oraz do oszacowania ryzyka pożarowego.
3. Opracowanie niedrogich oraz prostych i jednoznacznie oceniających metod badawczych.
4. Dostarczenie pakietu informacji dla elementów składowych kabla, które umożliwiłyby oszczędności na kosztownych testach gotowych wyrobów.

Zakres projektu obejmował następujące badania:

- standardowe w naturalnej skali,
- w małej skali w kalorymetrze stożkowym.

Badania eksperymentalne prowadzone na zlecenie producentów i brytyjskiego Ministerstwa Środowiska i Transportu w Fire Reserach Station w Londynie przycy-

niły się w istotny sposób do opracowania siedmiu klas europejskich charakteryzujących właściwości palne gotowych wyrobów: A1, A2, B, C, D, E oraz F. Ponadto przyjęto nowe parametry:

- „Fire Growth Rate (FIGRA) index – określający dynamikę zmiany szybkości wydzielania ciepła [W/s],
- Smoke Growth Rate (SMOGRA) index – określający dynamikę i zmiany szybkości uwalniania dymu [ $m^2/s$ ]

Zmierzone cechy pożarowe można wykorzystać do oceny niektórych aspektów zagrożenia pożarowego powodowanego przez kable elektryczne [ 3-6 ].

Reasumując, podstawę oceny bezpieczeństwa pożarowego kabli elektrycznych powinny stanowić kompleksowe badania zachowania się materiałów i wyrobów pod wpływem strumieni ciepłych symulujących środowisko pożarowe, uwzględniające:

1. Szybkość wydzielania ciepła i całkowitą ilość wydzielonego ciepła (decydują one w istocie o temperaturze pożaru i w konsekwencji o jego szybkości rozwoju).
2. Toksyczność produktów powstałych podczas rozkładu i spalania materiałów (bardzo istotna w aspekcie bezpieczeństwa użytkowników i ratowników przebywających w zagrożonym obiekcie).
3. Dymotwórczość materiałów (dym jest przyczyną 2/3 ofiar pożarów).
4. Szybkość rozprzestrzeniania płomieni po powierzchni wyrobu.
5. Czas do zapoczątkowania reakcji spalania.

Celem referatu jest przedstawienie:

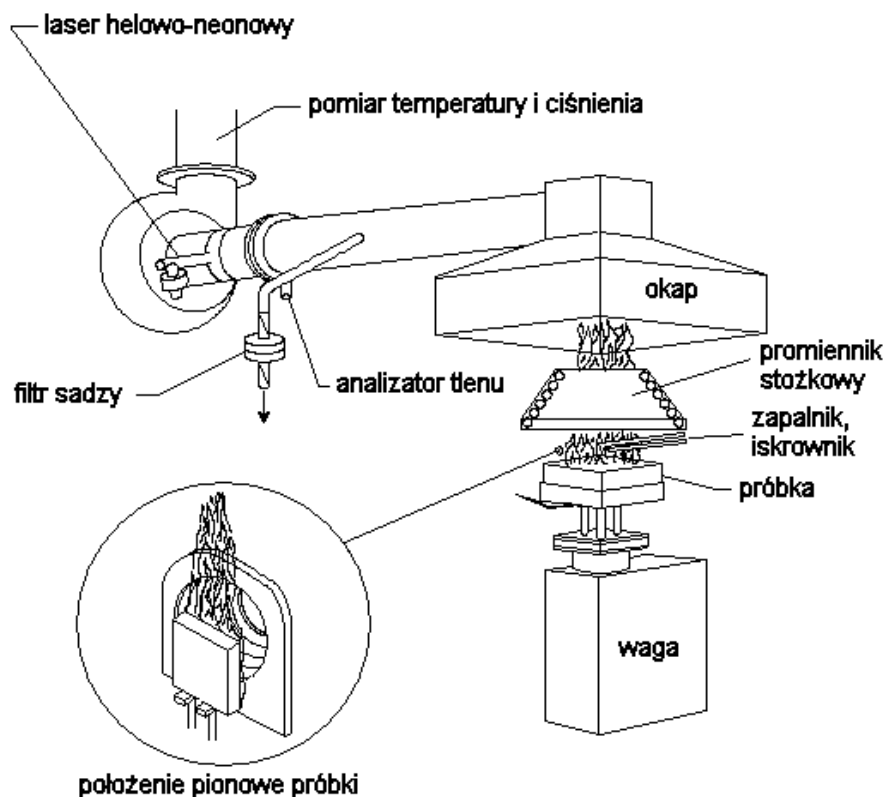
- możliwości zastosowania kalorymetru stożkowego do badania cech pożarowych materiałów izolacyjnych kabli elektrycznych.

- wyników badań wybranych materiałów izolacyjnych stosowanych w kraju do produkcji kabli.

#### Metodyka badań

Badaniom poddano trzy powszechnie stosowane rodzaje usieciowanych polietylenowych materiałów izolacyjnych: LE 4205 L, LE 4201 R, HFDK 4201 EC. Próbki materiałów dostarczone były przez wiodącego producenta kabli elektrycznych w Polsce. W tabeli 1. przedstawiono charakterystykę poszczególnych próbek.

Do badania cech pożarowych materiałów wykorzystano kalorymetr stożkowy (rys.1.), w którym zastosowano technikę pomiaru cech pożarowych m.in. na podstawie prawa kalorymetrii zużycia tlenu opartą na sformułowanej w 1917 r. zasadzie Thornton'a, który wykazał, że dla zdecydowanej większości materiałów, w tym tworzyw sztucznych, ilość ciepła wydzielanego w procesie spalania – przypadająca na jednostkę masy zużytego tlenu – jest stała i wynosi 13,1 J/g z dokładnością 5% [7]. Próbki umieszczone w uchwycie poddawano oddziaływaniu strumienia ciepłego. Wszystkie próbki badano w położeniu poziomym, zgodnie z normą ISO 5660-1 [8]. Każdy z trzech badanych materiałów został poddany oddziaływaniu strumienia promieniowania ciepłego o natężeniu 30 i 70  $kW/m^2$ . Spalanie inicjowano poprzez zapłon. Czas trwania testu był ograniczony czasem spalania płomieniowego próbki. Podczas badań rejestrowano: czas do zainicjowania reakcji spalania, szybkość wydzielania ciepła, całkowitą ilość wydzielonego ciepła, efektywne ciepło spalania, ubytek masy.



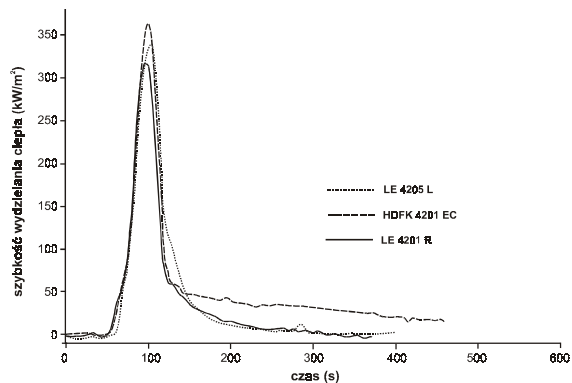
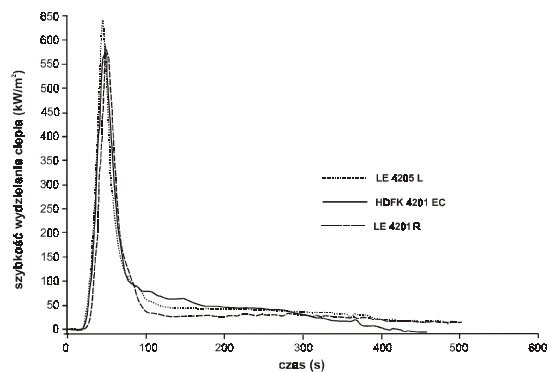
Rys.1. Schemat kalorymetru stożkowego [7]

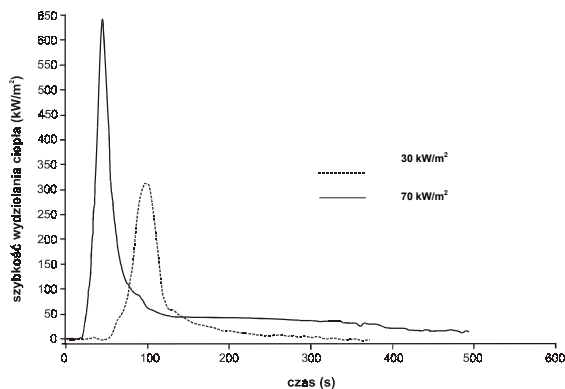
Tabela 1. Charakterystyka badanych materiałów

Parametr	Nazwa materiału			Metoda badawcza
	LE 4205 L	LE 4201 R	HFDK 4201EC	
Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	923	922	921	ISO 1872-1/ISO1183
Wskaźnik płynięcia (190°C, 2,16 kg) [g/10 min]	2,3	2	0,25 (130°C, 2,16 kg)	ISO 1133
Wytrzymałość na rozciąganie (MPa)	>17 (500 mm/min)	17 (250 mm/min)	18	ISO 527
Wydłużenie [%]	>450 (500 mm/min)	450 (250 mm/min)	500	ISO 527/IEC 811-1-1
Zmiana wytrzymałości po starzeniu cieplnym, [%]	<25 135°C, 168 h	<20 500h/135°C	<25 150°C/10 dni	IEC 60811-1-2/IEC 811-1-2
Wydłużenie trwałe w podwyższonej temperaturze (200°C, 0,20 MPa) - przy obciążeniu [%] - bez obciążenia [%]	<175 <15	75 5	<100 <5	IEC 60811-2-1/IEC 811-2-1
Przenikalność elektryczna względna (50 Hz)	<2,3	2,3	2,3	IEC 60250/IEC 250
Współczynnik strat dielektrycznych (50 Hz)	< 0,0005	<0,0003	<0,0003	IEC 60250/IEC 250
Ryzystywność [Ω/cm]	>10 <sup>16</sup>	10 <sup>16</sup>	> 10 <sup>16</sup>	IEC 60093
Wytrzymałość elektryczna [kV/mm]	>20	>22	> 22	IEC 60243

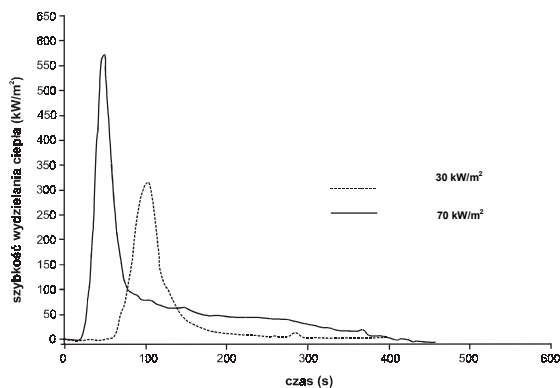
Tabela 2. Wyniki badań termokinetycznych materiałów izolacyjnych podczas oddziaływania strumienia promieniowania cieplnego o natężeniu 30 i 70 kW/m<sup>2</sup> (wartości średnie)

Oznaczenie materiału	Czas do zapłonu [s]	Maksymalna szybkość wydzielenia ciepła [kW/m <sup>2</sup> ]	Szybkość wydzielenia ciepła w 1 min [kW/m <sup>2</sup> ]	Szybkość wydzielenia ciepła w 3 min [kW/m <sup>2</sup> ]	Szybkość wydzielenia ciepła w 5 min [kW/m <sup>2</sup> ]	Średnie efektywne ciepło spalania [MJ/kg]	Całkowita ilość wydzielonego ciepła [MJ/m <sup>2</sup> ]	Szybkość ubytku masy [g/s]
<b>30 kW/m<sup>2</sup></b>								
LE 4205 L	60	349,94	206,04	96,78	58,50	40,87	17,8	0,100
LE 4201 R	55	316,51	176,27	83,62	47,69	40,85	15,4	0,105
HFDK 4201 EC	60	390,95	211,07	103,65	71,85	40,51	22,85	0,130
<b>70 kW/m<sup>2</sup></b>								
LE 4205 L	19	584,82	239,50	112,23	85,89	41,82	29,7	0,157
LE 4201 R	21	580,32	243,22	109,14	78,16	42,23	26,75	0,168
HFDK 4201 EC	21	595,78	278,24	123,34	92,70	44,38	26,2	0,164

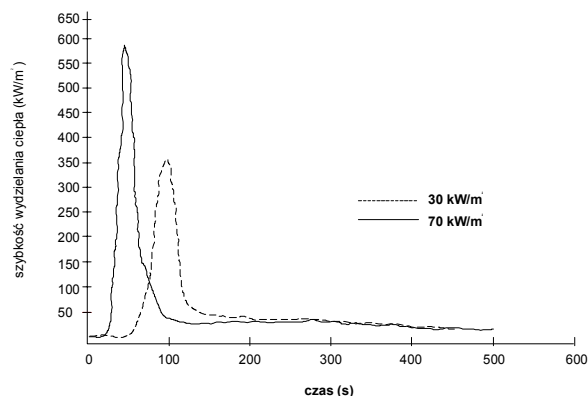
Rys.2. Szybkość wydzielenia ciepła z badanych materiałów przy oddziaływaniu strumienia promieniowania cieplnego 30 kW/m<sup>2</sup>Rys.3. Szybkość wydzielenia ciepła z badanych materiałów przy oddziaływaniu strumienia promieniowania cieplnego 70 kW/m<sup>2</sup>



Rys.4. Szybkość wydzielania ciepła z materiału HFDK 4201 EC



Rys.5. Szybkość wydzielania ciepła z materiału LE 4205 L przy oddziaływaniu strumienia promieniowania cieplnego 30 i 70kW/m<sup>2</sup>



Rys.6. Szybkość wydzielania ciepła z materiału LE 4201 R przy oddziaływaniu strumienia promieniowania cieplnego 30 i 70kW/m<sup>2</sup>

### Wyniki badań

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 2 oraz na rysunkach 2-6.

Wyniki badań cech pożarowych badanych materiałów izolacyjnych wskazują na niewielkie różnice w zakresie ich własności termokinetycznych. Wykresy przedstawiające przebieg szybkości wydzielania ciepła są do siebie jakościowo podobne (patrz: rys.2 - 6). Oddziaływanie na powierzchnię badanych materiałów strumienia cieplnego o natężeniu 30 i 70 kW/m<sup>2</sup> spowodowało zapłon wszystkich

badanych materiałów. Analiza własności termokinetycznych pozwala stwierdzić, że maksymalna szybkość wydzielania ciepła była największa dla materiału oznaczonego symbolem HFDK 4201 EC, niezależnie od natężenia strumienia cieplnego. Potwierdzono podczas badań jednoznacznie, że kinetyka generacji ciepła jest funkcją natężenia strumienia promieniowania cieplnego (patrz rys. 4 - 6). Wyniki badań szybkości ubytku masy wykazują, że przy oddziaływaniu strumienia promieniowania cieplnego 30 kW/m<sup>2</sup> niższe wartości otrzymano dla materiałów LE 4205 L i LE 4201 R. Wynik ten wskazuje zatem na większą termostabilność tych materiałów w porównaniu z HFDK 4201 EC podczas pożaru w jego początkowej fazie rozwoju. Zwiększenie strumienia do 70 kW/m<sup>2</sup> spowodowało natomiast, że najniższą szybkość ubytku masy spośród badanych materiałów zarejestrowano dla LE 4205 L.

### Podsumowanie

W referacie przedstawiono możliwości zastosowania kalorymetru stożkowego do badania cech pożarowych materiałów izolacyjnych stosowanych do produkcji kabli elektrycznych, mających wpływ na bezpieczeństwo pożarowe w aspekcie dynamiki tworzenia się środowiska pożarowego. Właściwości palne kabli zależą przede wszystkim od zastosowanych do produkcji materiałów izolacyjnych i powłokowych. Wyniki otrzymane podczas przedmiotowych badań mogą zostać wykorzystane np. do oceny zagrożenia pożarowego kabli elektrycznych, o których mowa w normie PN-EN 60695-1-1 [9].

### LITERATURA

- [1] Gandhi P., Przybyła S.J., Electric Cable Applications, in *Heat Release in Fires*, E&FN SPON, (1996), 545 – 564
- [2] Grayson S.J., Upton S.G., Using Bench Scale Tests to Predict the Performance of Polymer products and electric cables, *Fire Testing Technology* (1999), 51-63
- [3] Fernandez-Pello A.C. i inni, A Study of the Fire Performance of electrical cables, Pike G.E., Proceedings of the Third International Symposium, *Fire Safety Science* (1998), 237-247
- [4] Hirschler M.M., Can Heat Release Testing Really Predict the Flame Spread of Electrical Cables?, *Fire and Materials* (1993), 181-185
- [5] Beyer G. i in., New Advances in Assessing the Fire Performance of Non-Halogenated Cables by Means of the Cone Calorimeter, *Fire Science & Engineering*, (1999), 1305 – 1309
- [6] Fardell P.J., Fire Testing Communications Cables, *Fire Safety Engineering* (2000), 10, 5
- [7] Babrauskas V., The Cone Calorimeter in *Heat Release in Fires*, E&FN SPON, (1996), 61 – 91
- [8] ISO 5660-1:2002, Reaction to fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate
- [9] PN-EN 60695-1-1: 2001, Badanie zagrożenia pożarowego. Wytyczne do oceny zagrożenia ogniowego wyrobów elektrotechnicznych. Wytyczne ogólne

**Autor:** dr inż. Waldemar Jaskółowski, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa, E-mail: wjaskolowski@sgsp.edu.pl