



Ryszard CHYBOWSKI, Marek KONECKI, Norbert TUŚNIO

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Modelowanie rozwoju pożaru w tunelu kablowym

Streszczenie. W referacie przedstawiono wyniki symulacji komputerowej rozwoju pożaru w typowym tunelu kablowym. Symulacje przeprowadzono przy użyciu programu komputerowego Fire Dynamics Simulator (FDS) wykorzystującego metodę komputerowej dynamiki płynów CFD. Wyniki obliczeń numerycznych wskazują na niedostateczną wentylację pożarową tego typu pomieszczeń.

Abstract. (Modelling of the fire development in the cable tunnel). The article presents calculating results of fire development in the cable tunnel. Calculations have been carried out using the computer program Fire Dynamics Simulator (FDS). Numerical results have shown poor fire ventilation in this type of object.

Słowa kluczowe: tunel kablowy, pożar, modelowanie.

Keywords: cable tunnel, fire, modeling.

Wstęp

Współczesna gospodarka potrzebuje coraz większej ilości przewodów z uwagi na złożoność zarówno procesów produkcyjnych jak i samych wyrobów. Przewody muszą mieć izolację i obecnie są to materiały palne o różnych własnościach pożarowych. W celu zabezpieczenia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa pożarowego stosuje się wybiórczo takie materiały izolacyjne i powłokowe, które ograniczają szybkość tworzenia się środowiska pożarowego. Osiąga się ten cel poprzez:

- ograniczenie możliwości rozprzestrzeniania się płomieni po przewodach,
- zapobieganie wydzielaniu się podczas pożaru nadmiernej ilości korozyjnych i toksycznych produktów rozkładu termicznego i spalania,
- dobór materiałów na elementy składowe przewodów, których wkład cieplny w potencjalny pożar byłby minimalny.

Na podstawie analizy literatury dotyczącej pożarów przewodów można stwierdzić o różnorodności metod badawczych służących do oceny własności pożarowych tych wyrobów, tzn. przewodów. Jednak z reguły oceny dotyczą pojedynczego przewodu [1], a tylko jedna dotyczy wiązek przewodu [2]. Wymagana duża liczba przewodów wymaga ułożenia ich tunelu kablowym i pożar w tych warunkach jest inny niż w narzuconych normą warunkach. W tunelu kablowym ułożone są różne przewody z różnymi materiałami izolacyjnymi i powłokowymi. Ilość przewodów jest zmienna w czasie. Dlatego badania wiązki przewodu nie odzwierciedlają warunków rzeczywistych [3, 4].

Pożar w przestrzeni ograniczonej, jaką stanowi tunel, prowadzi do formowania się przepływającego strumienia podsufitowego dymu i kumulacji produktów rozkładu termicznego i spalania pod stropem w postaci górnej warstwy i jej wzrost.

Rozwój pożaru jest opisywany za pomocą parametrów zmiennych w czasie jak temperatura gazu w pomieszczeniu, strumień ciepła, objętość produktów rozkładu termicznego i spalania oraz ich prędkość przepływu, stężenie dymu i inne.

Program komputerowy FDS

Szybki rozwój możliwości obliczeniowych komputerów i numerycznej dynamiki płynów (ang. *Computational Fluid Dynamics*) doprowadził do rozwoju tzw. modeli polowych przeznaczonych do opisu zjawiska pożaru. Modele te są oparte na uśrednionych równaniach Reynoldsa zasad

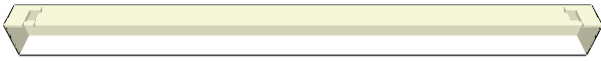
zachowania masy, energii, pędu, oraz modelach turbulencji. Modele CFD pozwalają opisywać różnorodne zjawiska fizyczne pożaru w złożonych geometriach.

Technika CFD używana w wielu dyscyplinach inżynierskich, jest oparta na rozwiązywaniu podstawowych, zależnych czasowo i przestrzennie zasad zachowania. Rozważana objętość kontrolna jest dzielona na bardzo dużą ilość objętości elementarnych. Każda z nich opisana jest podstawowymi prawami zachowania masy, pędu i energii. Większość programów CFD powstało do zastosowań w wielu dyscyplinach inżynierskich i jest ostatnich komercyjnie. W ostatnich latach w różnych ośrodkach naukowych na świecie powstały i są rozwijane modele przestrzenne CFD jak: PHOENICS, FLUENT, JASMINE – Fire Research Station (W. Brytania), wykorzystywane również do opisu środowiska pożaru, FIRE DYNAMICS SYMULATOR (FDS) – NIST (USA), SMARTFIRE – University of Greenwich (W. Brytania). Dwa ostatnie zbudowano specjalnie dla potrzeb modelowania pożarów.

Zastosowany w pracy program komputerowy FDS jest programem bezpłatnym przeznaczonym do badań naukowych, zbudowanym specjalnie dla potrzeb modelowania pożarów [5]. Aby opisać całościowo zjawisko pożaru do programu CFD włączono submodele opisujące modelowanie turbulencji, modelowanie promieniowania cieplnego i sadzy oraz modelowanie spalania. Obecnie FDS jest używany głównie w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Z powodu dużej złożoności modeli tego typu, ich ograniczone zastosowanie jest spowodowane tym, że wymagana jest gruntowna wiedza o wcześniej wymienionych procesach. Możliwa jest konstrukcja submodeli na danym poziomie złożoności (poziomie niezbędnym do rozwiązania konkretnego problemu), nawet przy stosunkowo prostych modelach fizycznych i chemicznych użytych w CFD. Mimo uproszczeń, modelowanie CFD w pewnych przypadkach wydaje się być jedyną drogą prowadzącą do rozwiązania danego problemu (rozprzestrzenianie dymu w tunelach, długich korytarzach budynku, w atriach, czy w ciągach pionowych budynku).

Założenia do symulacji

Modelowy tunel kablowy posiada następujące wymiary: 1,6 m szerokości, 2,2 m wysokości i 33 m długości. Wygląd modelowego tunelu kablowego zaprezentowano na rysunku 1.



Rys. 1. Modelowy tunel kablowy

Tunel nie posiada żadnych przegród (oddzieleń) na całej długości. Kable ułożone są na półkach rozmieszczonych po obu stronach tunelu. Wentylacja mechaniczna zapewniana jest za pomocą otworu o powierzchni $0,48 \text{ m}^2$. Czerpnia i wylot powietrza są umieszczone na przeciwnych końcach tunelu. Prędkość wyciąganego powietrza obliczono posiadając informacje, że wentylacja zapewni 10 wymian powietrza na godzinę, z czego wynika, że wynosi ona:

$$(1) \quad V = \frac{10 \cdot 1,6 \text{ m} \cdot 2,2 \text{ m} \cdot 33 \text{ m}}{0,48 \text{ m}^2 \cdot 3600 \text{ s}} \approx 0,67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Za materiał palny przyjęto polichlorek winylu (PCV) o ciepłe spalania $Q_s = 25 \text{ MJ/kg}$. Emisję dymu dla materiałów kablowych ulegających rozkładowi w czasie oddziaływania strumienia ciepła o gęstości w zakresie od 30 do 70 kW/m^2 przyjęto jako średnią wartość $\text{SOOT}_{\text{YIELD}} = 0,05 \text{ kg/kg}$ [6], a średnią wartość emisji tlenu węgla określoną w tych samych warunkach $\text{CO}_{\text{YIELD}} = 0,026 \text{ kg/kg}$ [6].

Rozpatrywano cztery scenariusze pożaru w tunelu kablowym, które scharakteryzowano w tabeli 1.

Tabela 1. Scenariusze pożaru

Nr scenariusza	Rozwój pożaru	Umiejscowienie strefy spalania
I	szybki	na początku tunelu
II	wolny	j. w.
III	szybki	w środku tunelu
IV	wolny	j. w.

Źródło pożaru położone było na początku tunelu lub w środku tunelu na poziomie podłogi.

Zależność szybkości wydzielania ciepła od czasu t jest opisana zależnością:

$$(2) \quad Q = \alpha t^2$$

(rozwój pożaru, α określa współczynnik wzrostu pożaru zależny od własności pożarowych materiału).

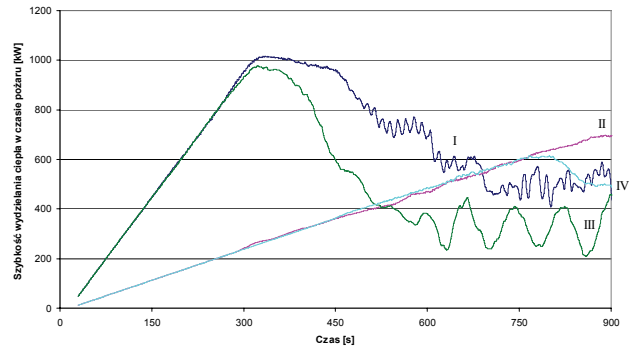
Po osiągnięciu wartości maksymalnej Q założono stałą jej wartość (pożar rozwinęły). Przyjęto dwie szybkości wzrostu Q , określające szybkość rozwoju pożaru. Przy szybkim rozwoju pożaru, maksymalna wartość mocy pożaru (1 MW) osiągana jest po czasie 150 s, a przy wolnym rozwoju po czasie 600 s [7]. Czas symulacji ustalono na 15 min. (900 s). Przyjęto podział badanego pomieszczenia na komórki o wymiarach $0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$. Krok czasowy był dobierany automatycznie i wynosił około 0,05 s.

Wyniki symulacji

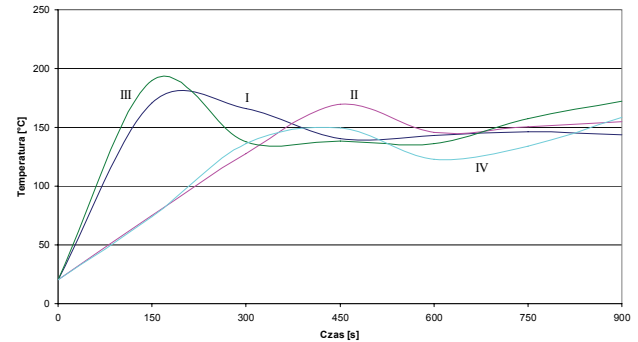
Wyniki symulacji przedstawiono w formie wykresów (rysunki od 2 do 5). Na rysunku 2 przedstawiono obliczoną zależność szybkości wydzielania ciepła od czasu dla poszczególnych scenariuszy pożaru.

Przedstawione na rysunku 2 zależności obliczeniowego wydzielania ciepła od czasu dla poszczególnych scenariuszy pożaru wynikają z wpływu zmniejszającego się stężenia tlenu w tunelu podczas spalania materiałów kablowych na ich szybkość spalania.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki obliczeń temperatury średniej dla poszczególnych scenariuszy pożaru.



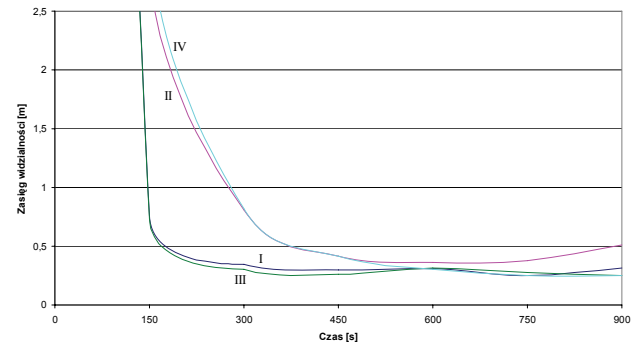
Rys. 2. Szybkość wydzielania ciepła w czasie pożaru (numer przy krzywej oznacza nr symulacji – tab. 1)



Rys. 3. Średnia wartość temperatury w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez oś tunelu (numer przy krzywej oznacza nr symulacji – tab. 1)

Maksymalne temperatury osiągnięte w czasie pożaru otrzymano pod sufitem tunelu i wynoszą one odpowiednio: dla scenariusza I – 520°C , II – 470°C , III – 420°C , IV – 320°C . Największy wzrost temperatury zaobserwowano dla scenariuszy I i III. Umiejscowienie strefy spalania na początku tunelu jest powodem zwiększonej akumulacji ciepła, która ma wpływ na szybkość wzrostu temperatury.

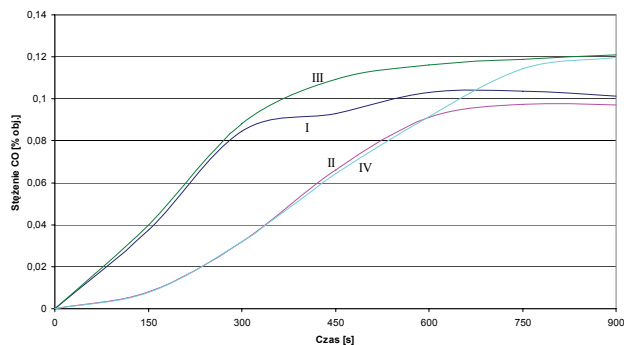
Na rysunku 4 przedstawiono wyniki obliczeń zasięgu widzialności dla różnych scenariuszy pożaru. Przez zasięg widzialności rozumie się największą odległość, z jakiej widziany jest dany przedmiot w warstwie dymu. Zasięg widzialności zależy od własności absorpcyjnych i rozpraszających cząsteczek dymu i rodzaju oświetlenia przedmiotu obserwowanego [5, 8].



Rys. 4. Zasięg widzialności uśredniony w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez oś tunelu (numer przy krzywej oznacza nr symulacji – tab. 1)

Najszybsza redukcja zasięgu widzialności występuje w przypadku scenariuszy I i III (rozwój szybki). Umiejscowienie źródła pożaru (początek i środek tunelu) nie ma wpływu na uśredniony zasięg widzialności. Wniosek dotyczy również scenariusza II i IV (pożar wolno rozwijający się).

Na rysunku 5 przedstawiono uśrednioną wartość stężenia tlenu węgla dla założonych scenariuszy pożaru.

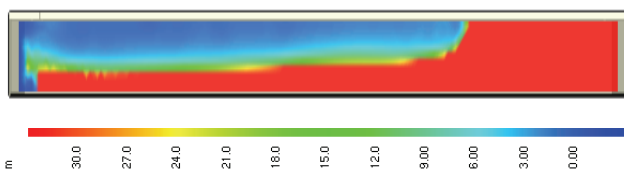


Rys. 5. Średnie stężenie tlenu węgla w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez oś tunelu (numer przy krzywej oznacza nr symulacji – tab. 1)

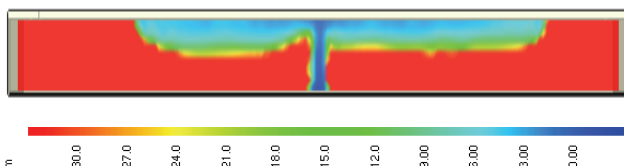
Dla szybko rozwijających się pożarów otrzymano większy wzrost średniego stężenia CO w tunelu.

W przypadku scenariuszy I i III po czasie około 300 s średnie stężenie CO zależy od umiejscowienia źródła ognia. Ten sam efekt w przypadku scenariuszy II i IV obserwuje się po czasie około 600 s. Przed podanymi wyżej czasami umiejscowienie strefy spalania nie wpływa na przebieg krzywej uśrednionego stężenia CO. Po czasie około 800 s następuje wyrównanie stężenia CO dla scenariuszy I i III oraz II i IV.

Niżej na rysunkach 6 i 7 podano wizualizację zasięgów widzialności w strumieniu podsufitowym dymu rozprzestrzeniającego się w tunelu dla scenariusza I i III.



Rys. 6. Zasięg widzialności dla scenariusza I pożaru po czasie 39 s od momentu zapłonu materiału kablowego.



Rys. 7. Zasięg widzialności dla scenariusza III pożaru po czasie 23 s od momentu zapłonu materiału kablowego.

Średnia prędkość rozprzestrzeniania się dymu w tunelu odpowiednio dla scenariuszy wynosi: I – 0,66 m/s, II – 0,46 m/s, III – 0,56 m/s, IV – 0,40 m/s.

Cała objętość tunelu wypełniała się dymem po czasie odpowiednio: scenariusz I – 100 s, II – 140 s, III – 80 s, IV – 130 s.

Większe prędkości rozprzestrzeniania dymu otrzymuje się w przypadku scenariusza o większej szybkości wydzielania ciepła i umiejscowienia pożaru na początku tunelu.

Wnioski

1. Na podstawie wyników obliczeń numerycznych przy założonych scenariuszach pożaru i warunkach symulacji można stwierdzić niedostateczną wentylację pożarową tunelu.
2. Największy wzrost temperatury, stężenia CO i najniższą redukcję zasięgu widzialności otrzymano przy założeniu scenariusza o największej szybkości wydzielania ciepła w pożarze.
3. Z uwagi na zadymienie najbardziej niekorzystny przypadek występuje przy założeniu miejsca spalania w środku tunelu.
4. Największe temperatury otrzymano w przypadku umiejscowienia strefy spalania na początku tunelu.

LITERATURA

- [1] PN-EN 50265-1:2001, Wspólne metody badania palności przewodów i kabli. Sprawdzenie odporności pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie płomienia.
- [2] PN-EN 50266-1:2002, Wspólne metody badań palności przewodów i kabli. Sprawdzenie odporności na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia wzdłuż pionowo zamontowanych wiązek kabli i przewodów.
- [3] Praca zbiorowa, Poradnik inżyniera elektryka, tom 3, WNT, Warszawa 1997
- [4] Kornowska K., Szota B., Kable w ogniu, *Elektroinstalator*, nr 10, 2001
- [5] McGrattan K., Fire Dynamics Simulator (Version 4). Technical Reference Guide, *NIST Special Publication 1018*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 2006
- [6] Jaskółowski W., Półka M., Jarosz W., Szybkość tworzenia się zagrożeń toksycznych podczas spalania materiałów izolacyjnych stosowanych do produkcji kabli elektroenergetycznych w warunkach cieplnych symulujących środowisko pożarowe, *I Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna, Współczesne problemy bezpieczeństwa pożarowego w budownictwie i inżynierii środowiska*, Koszalin-Łazy 2004, s. 194-203
- [7] Norma NFPA 204M, Guide for smoke and heat venting, Quincy, NA 1985.
- [8] Jn T., Visibility through fire smoke, *Journal of Fire and Flammability*, 1978, vol. 9, s. 135-142

Autorzy: st. kpt. dr inż. Ryszard Chybowski, dr Marek Konecki, kpt. mgr inż. Norbert Tuśnio, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa, E-mail: zbp@sgsp.edu.pl