



**Marcin Sosnowski, Karolina Grabowska**

*Akademia im. Jana Długosza*

*al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa*

*e-mail: m.sosnowski@ajd.czyst.pl*

## ANALIZA NUMERYCZNA WPŁYWU MATERIAŁU PALNEGO NA POLE TEMPERATURY PODCZAS POŻARU

**Streszczenie.** Celem pracy było dokonanie analizy numerycznej wpływu zastosowanego materiału palnego na pole temperatury podczas pożaru. Analizom poddano trzy materiały wykorzystywane do produkcji materacy. Symulacje przeprowadzone zostały w programie PyroSim, który wykorzystuje do obliczeń kod FDS (Fire Dynamics Simulator). Uzyskane w ramach pracy wyniki pozwoliły na zdefiniowanie cechy materiału, która posiada największy wpływ na rozkład temperatury. Ponadto określono w pracy rekomendacje w zakresie doboru materiałów wykończenia wnętrz.

**Słowa kluczowe:** spalanie, pożar, CFD, modelowanie numeryczne.

## NUMERICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF COMBUSTIBLE MATERIAL ON THE TEMPERATURE FIELD DURING FIRE

**Abstract.** The aim of the research was to analyze the influence of combustible material on the temperature field during building fire. Three materials used in mattress production were analyzed. The numerical analysis were performed in PyroSim software, which uses FDS (Fire Dynamics Simulator) code to accomplish calculations. The obtained results allowed to define the property of material, which strongly influences the temperature field. Moreover recommendations in selection of interior finishing materials were defined.

**Keywords:** combustion, fire, CFD, numerical modelling.

## Wprowadzenie

Požary budynków mieszkalnych stwarzają ogromne zagrożenie i stanowią trudne wyzwanie dla służb ratowniczych. Strażacy oprócz płomieni spotykają w swojej pracy zdezorientowanych i przestraszonych mieszkańców, którzy przy wysokiej temperaturze i ograniczonej widoczności nie są w stanie samodzielnie wydostać się ze swoich mieszkań lub domów. Przyczyną zagrożeń pożarowych w budynkach jest bardzo często czynnik ludzki. Źródłem zapłonu może być też źle eksploatowana instalacja elektryczna lub korzystanie z urządzeń elektrycznych, których przewody są uszkodzone [1]. Przyczyn pożarów w budynkach może być znacznie więcej, dlatego też, w celu ograniczenia do minimum zagrożeń pożarowych, w prawie budowlanym zdefiniowano wiele regulacji, które nakłada ustawodawca na etapie projektowania, budowania i eksploatacji budynków.

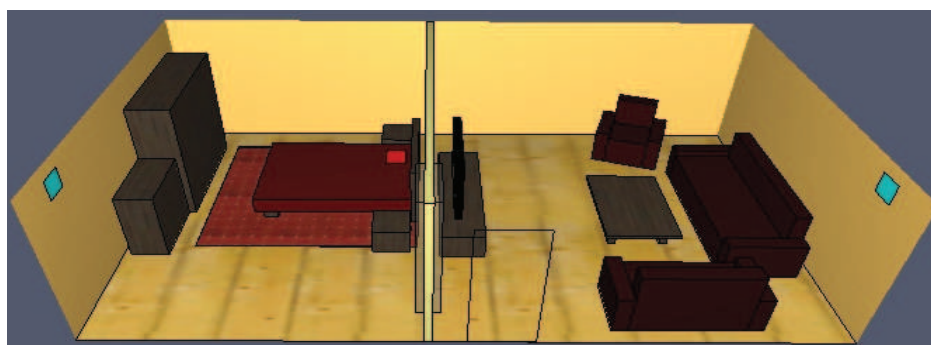
Obecnie wprowadza się inteligentne systemy przeciwpożarowe, które wykrywają pożar we wczesnej fazie rozwoju, w konsekwencji zapobiegając tragedii. Tworzenie coraz skuteczniejszej technologii w ochronie przeciwpożarowej jest możliwe dzięki stosowaniu numerycznego modelowania pożarów w przestrzeni wirtualnej, z wykorzystaniem kodów takich jak FDS (Fire Dynamics Simulator). Jest to narzędzie opracowane przez National Institute of Standards and Technology (NIST) w Stanach Zjednoczonych i wykorzystujące założenia modelu numerycznej mechaniki płynów (CFD), której podstawą są równania Naviera-Stokesa [9], opisujące zasadę zachowania masy i pędu. Problemem w opisywanym modelu jest matematyczne przedstawienie ruchu powietrza, który odbywa się najczęściej w zakresie przepływu turbulentnego [7]. Aby prawidłowo opisać przepływ turbulentny, obliczeniowa mechanika płynów (CFD) wykorzystuje modele dwuparametrowe RANS ( $k-\epsilon$ ) lub oparte na teorii wielkich wirów LES (Large Eddy Simulation) [8]. Wydzielanie ciepła dla opisanego procesu spalania zachodzi na drodze konwekcji naturalnej i wymuszonej, przewodzenia i promieniowania.

FDS wykorzystywany jest przez specjalistów z dziedziny inżynierii bezpieczeństwa pożarowego do przedstawiania dynamiki pożaru w określonej geometrii i poznania zjawisk fizycznych, które towarzyszą procesom spalania [9]. Jako dane wyjściowe takiej symulacji możemy otrzymać szereg informacji dotyczących przebiegu pożaru w danym obiekcie oraz sposobu spalania określonych materiałów. Program umożliwia też projektowanie odpowiednich systemów przeciwpożarowych w budynkach. Projektanci mogą modelować przy pomocy FDS systemy czujników ciepła, dymu i instalacje tryskaczowe oraz symulować ich zadziałanie. Program ten jest również wykorzystywany w celu ustalenia przyczyn rzeczywistych pożarów. Możliwości programu w tym zakresie zostały przedstawione m.in. w pracy [10], gdzie został opisany przebieg pożaru sali kinowej. Prowadzenie tego typu badań numerycznych nie niesie ze sobą dużych nakładów finansowych, ponieważ wszystkie testy pożarowe prowadzone są w środowisku wirtualnym, dzięki czemu możliwe jest przeanalizo-

wanie wielu scenariuszy pożarowych bez konieczności niszczenia rzeczywistych przedmiotów, materiałów i całych budynków.

### Parametry modelu symulacyjnego

Wpływ materiału palnego na pole temperatury podczas pożaru oceniony został poprzez przeprowadzenie symulacji w domenie obliczeniowej przedstawionej na rys. 1, złożonej z dwóch pomieszczeń mieszkalnych o wymiarach 4 m x 5 m i 5 m x 5 m.



Rys. 1. Domena obliczeniowa składająca się z dwóch pomieszczeń o łącznej powierzchni wynoszącej 45 m<sup>2</sup>

Analizom poddano materiały, z których produkowane są materace łóżek, a ich właściwości bezpośrednio wpływające na wywiązywanie się ciepła (gęstość, ciepło właściwe i przewodność cieplna) przedstawiono w tabeli 1. Wartości parametrów materiałów pochodzących z biblioteki programu PyroSim posiadają walidację NIST. Pozostałe parametry materiałów, które wprowadzono do biblioteki, pochodzą z normy PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabełaryczne wartości obliczeniowe [14].

Nazwa materiału	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	Ciepło właściwe [kJ/(kg·K)]	Przewodność cieplna [W/(m·K)]
Pianka silikonowa	750	1	0,12
Pianka poliuretanowa PU	70	1,5	0,05
Pianka FOAM	28	1,7	0,05

Tab. 1. Parametry analizowanych materiałów

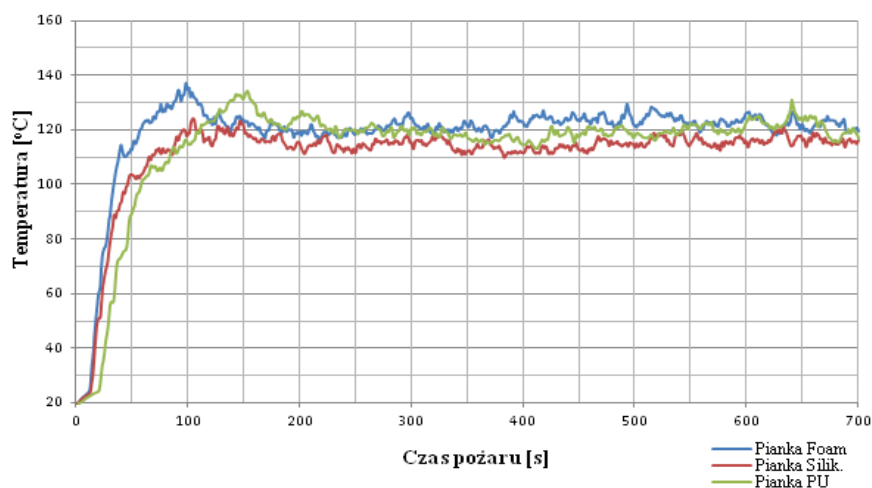
Warunki wejściowe wszystkich przeprowadzonych analiz różniły się jedynie zastosowanym materiałem materaca. Symulowany czas trwania pożaru wynosił 700 s. Powierzchnię płonąca dla potrzeb symulacji umieszczono na materacu łóżka i zdefiniowano następująco:

- jednostkowe wydzielanie ciepła:  $2000 \text{ kW/m}^2$ ,
- rozmiar powierzchni:  $0,3 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$ .

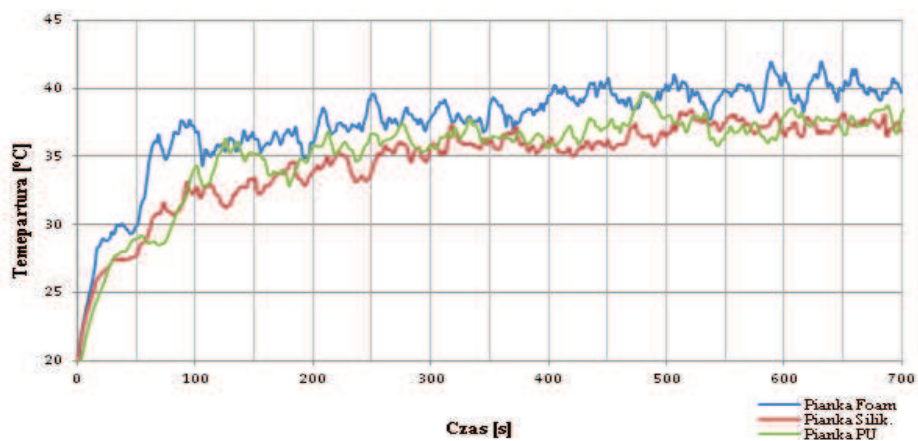
W celu dokonania analizy temperatury do jej rejestracji wykorzystano termopary umieszczone w centrum pomieszczenia objętego pożarem na sześciu różnych wysokościach: od  $2,2 \text{ m}$  od  $0,7 \text{ m}$  z krokiem co  $0,3 \text{ m}$ . Dodatkowo zdefiniowano jedną termoparę usytuowaną w sąsiednim pomieszczeniu.

## Wyniki analiz

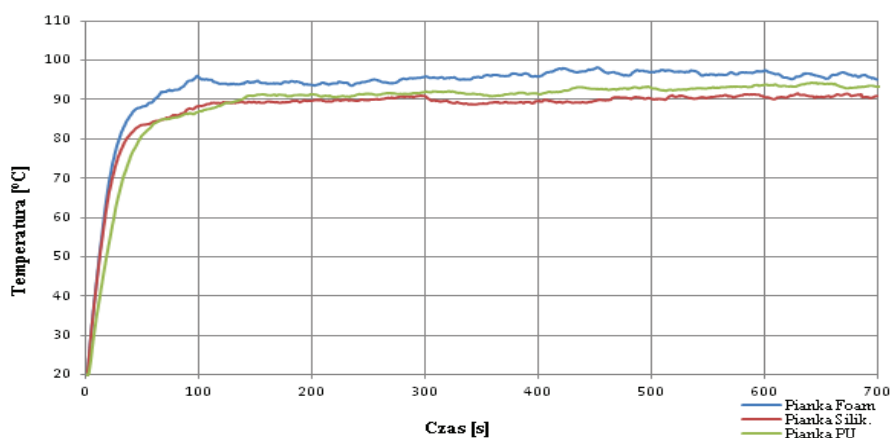
Wartości temperatur zanotowanych podczas symulacji pożarowych dla każdego z analizowanych materiałów nie odbiegają od siebie znacząco, jednak najwyższą temperaturę spalania zanotowano dla pianki typu Foam na każdej z wysokości, na których umieszczone były termopary (rys. 2 i 3). Porównując właściwości zastosowanych materiałów (tabela 1), zauważyć można, że pianka typu Foam ma najniższą gęstość, a pozostałe parametry analizowanych materiałów mają porównywalne wartości. Ponadto dla materiału o największej gęstości (pianka silikonowa) osiągnięto najniższe temperatury. Wynika z tego wniosek, iż gęstość miała największy wpływ na wywiązywanie ciepła podczas spalania. W przypadku pianki poliuretanowej zanotowano najwolniejszy przyrost temperatury w czasie. Zależność przyrostu temperatury od czasu zobrazowano na przebiegach średnich wartości temperatur w dwóch pomieszczeniach (rys. 4 i 5).



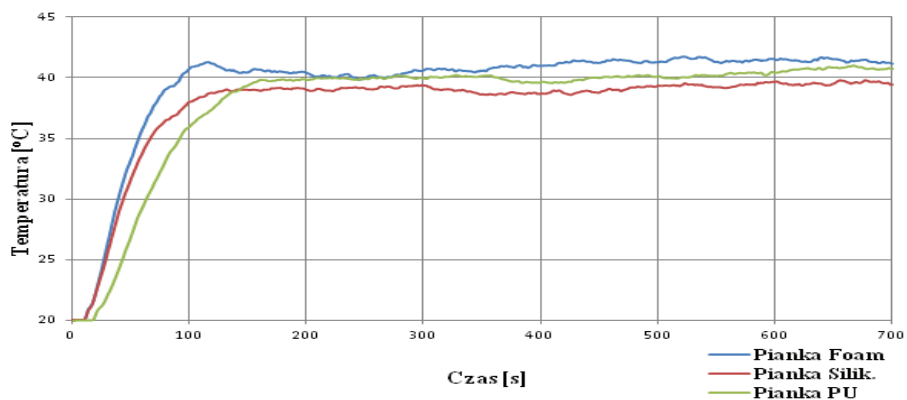
Rys. 2. Wartości temperatury na wysokości  $1,6 \text{ m}$



Rys. 3. Wartości temperatury na wysokości 0,7 m



Rys. 4. Wartości średnie temperatury w pomieszczeniu objętym pożarem



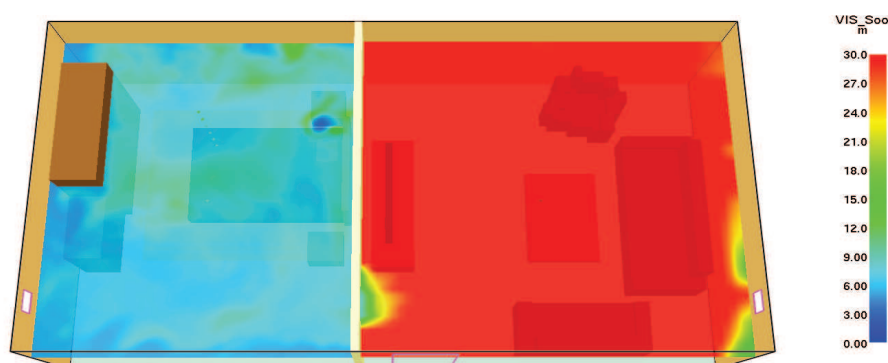
Rys. 5. Wartości średnie temperatury w pomieszczeniu sąsiadującym z pomieszczeniem objętym pożarem

Analizując gradient temperatury na poszczególnych termoparach, widać, iż jest on największy na wyższych wysokościach, co dowodzi możliwości występowania zjawiska rozgorzenia podczas pożarów w pomieszczeniach zamkniętych. Gorące gazy pożarowe unoszą się ku górze i w miarę upływu czasu tworzą coraz grubszą warstwę. Jeżeli gazy osiągną wystarczająco wysoką temperaturę, ulegają zapłonowi w całej objętości. Zróżnicowanie wartości temperatury na różnych wysokościach przedstawiono na rys. 6.

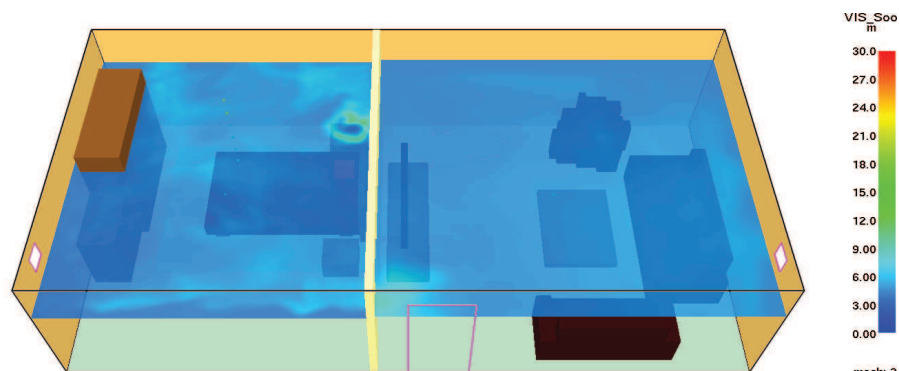


Rys. 6. Rozkład temperatury w domenie obliczeniowej dla pianki PU

Analizując symulację pożaru w budynkach, w których przebywają ludzie, warto zwrócić również uwagę na wskaźnik widoczności podczas spalania poszczególnych materiałów. Zmiany widoczności pokazano na rys. 7 na płaszczyźnie na wysokości 1,65 m (odpowiadającej poziomowi wzroku). W przypadku wszystkich analizowanych materiałów widoczność miała zbliżone wartości i bardzo szybko zmniejszała się, gdyż już w 30 s symulacji w pomieszczeniu objętym pożarem nie przekraczała 9 metrów, a dym zaczął przenosić się do sąsiedniego pomieszczenia. Po upływie 350 s od rozpoczęcia pożaru widoczność w obu pomieszczeniach spada poniżej 4 m (rys. 8), co uniemożliwia efektywną ewakuację.



Rys. 7. Wskaźnik widoczności po 30 s od rozpoczęcia pożaru (pianka PU)



Rys. 8. Wskaźnik widoczności po 350 s od rozpoczęcia pożaru (pianka PU)

## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań numerycznych uzyskano informacje o przebiegu procesu spalania analizowanych materiałów i ich wpływie na pole temperatury podczas pożaru. Ponadto wskazano gęstość jako właściwość materiału, która miała największy wpływ na rozkład temperatury.

Wykazano ponadto, iż modelowanie numeryczne jest bardzo dobrym narzędziem badawczym, istnieje możliwość jego zastosowania w inżynierii bezpieczeństwa. Największą zaletą tej techniki jest uzyskanie charakterystyki przebiegu badanych procesów bez potrzeby prowadzenia prób eksperymentalnych, które wymagają nakładów materiałowych oraz specjalistycznego sprzętu. Dlatego też badania komputerowe oparte na obliczeniowej mechanice płynów (CFD) stanowią przyszłość rozwoju inżynierii bezpieczeństwa pożarowego.

Niemniej jednak należy pamiętać, że istotą modelowania jest przedstawianie badanego zjawiska w sposób uproszczony. Obliczenia numeryczne polegają na zaniechaniu mało istotnych parametrów i szukaniu rozwiązań głównych założeń modelu. Pomimo ciągłego wzrostu możliwości obliczeniowych komputerów nadal w akceptowalnym czasie jesteśmy w stanie osiągnąć tylko przybliżone rozwiązania symulowanych procesów. Dlatego aby uznać wynik symulacji komputerowej za wiarygodny, zastosowany algorytm musi zostać zwalidowany z zastosowaniem tradycyjnych metod eksperymentalnych.

## Literatura

- [1] International Association of Fire Chiefs, N.F.P.A., Fundamentals of Fire Fighter Skills. Jones & Bartlett Learning, Third Edition ed. 2012
- [2] Harper Ch.A., Handbook of Building Materials for Fire Protection, Wydawnictwo McGraw – Hill, 2004 s. 43–53.



- [3] Cadorin J.F., Compartment fire models for structural engineering, Uniwersytet w Liège, Belgia 2003, s. 2–4, 11–20, 43–45, 64–68.
- [4] Maślak M.: Trwałość pożarowa stalowych konstrukcji prętowych. Politechnika Krakowska, Kraków 2008.
- [5] Kopański M.: Badanie palności mebli tapicerowanych, Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa, t. 2, 2014, DOI: <http://dx.doi.org/10.16926/tiib.2014.02.10>.
- [6] Särndqvist S., Initial Fires. RHR, Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests, Lund University, 1993.
- [7] Novozhilov V., Computational fluid dynamics modeling of compartment fires. Progress in energy and combustion science, 2001 s. 614–618.
- [8] Rudniak L., Sztarbała G., Krajewski G., Zastosowanie obliczeniowej mechaniki płynów (CFD) do prognozowania rozprzestrzeniania dymu i transportu ciepła w obiektach budowlanych, Politechnika Warszawska, 2010.
- [9] Smardz P., Validation of Fire Dynamics Simulator (FDS) of forced and natural convection flows, University of Ulster, 2006.
- [10] Glasa J., Valasek L., Weisenpacher P., Halada L., Cinema Fire Modelling by FDS, Slovak Academy of Sciences, Bratysława 2013, DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/410/1/012013>.
- [11] STIGO, Instrukcja obsługi programu PyroSim, Kraków 2011.
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002, nr 75, poz. 690).
- [13] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. 2010, nr 109, poz. 719).
- [14] PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabełaryczne wartości obliczeniowe.