

st. kpt. mgr inż. Paweł WRÓBEL
bryg. w st. spocz. mgr inż. Lesław DEC
st. kpt. dr inż. Tomasz DRZYMAŁA
Szkoła Główna Służby Pożarniczej
dr inż. Paweł SULIK
Instytut Techniki Budowlanej
inż. Jakub OKÓLSKI
inż. Łukasz OSTAPIUK

Analizy CFD w procesie projektowania systemów ochrony przeciwpożarowej

Omówienie
LEAD

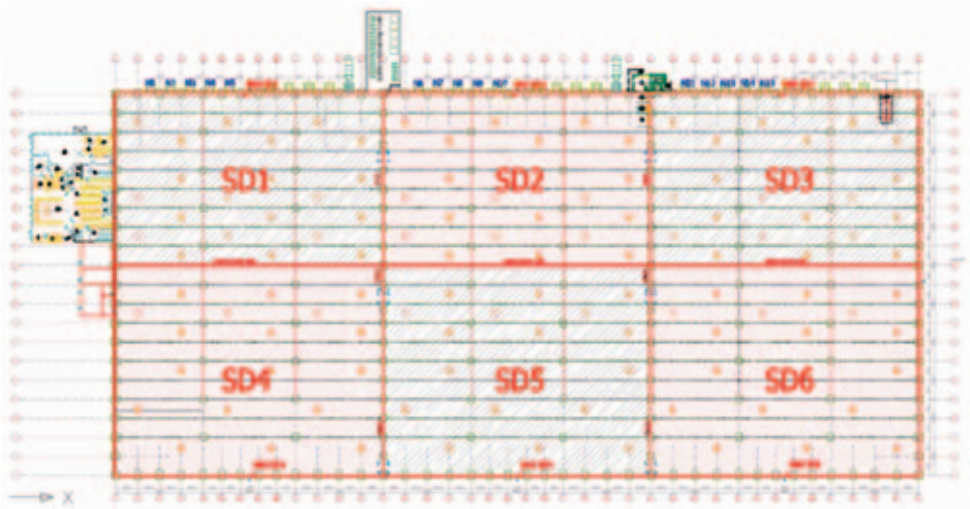
W artykule przedstawiono wybrane przykłady wykorzystania analiz CFD w procesie projektowania systemów ochrony przeciwpożarowej w budynkach. Obecnie symulacje CFD wykorzystywane są najczęściej w związku z projektowaniem grawitacyjnych i mechanicznych systemów oddymiania. Przydatność tego typu analiz jest jednak znacznie większa, czego dowodem są przedstawione przykłady.

Słowa kluczowe: pożar, analizy CFD, symulacje pożaru, odporność ogniowa konstrukcji.

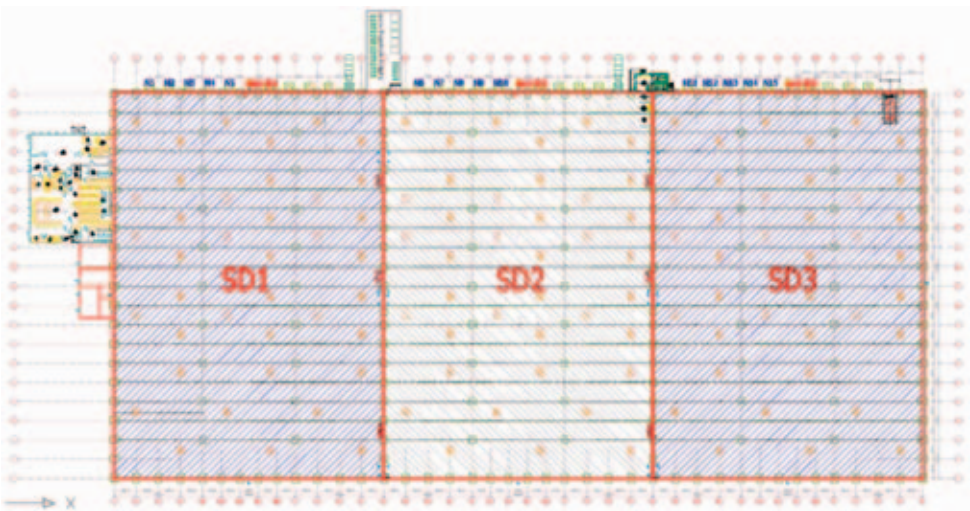
1. Przykład 1: Ocena skuteczności grawitacyjnego systemu oddymiania zaprojektowanego wg NFPA 204 [9]

Przykład pokazuje możliwość wykorzystania analiz CFD przy projektowaniu systemów oddymiania grawitacyjnego obiektów wielokubaturowych. Przeprowadzona analiza miała na celu weryfikację rozwiązania, polegającego na rezygnacji z kurtyny dymowej dzielącej przestrzeń każdej z trzech stref pożarowych magazynu na dwie strefy dymowe. Według przyjętego standardu projektowania, dla systemu oddymiania żaden z boków strefy dymowej nie może przekraczać $8H$, gdzie H jest wysokością obiektu. Analizowany obiekt w najwyższym punkcie miał wysokość 12,2 m, co pozwalało na zabudowę strefy dymowej o bokach nieprzekraczających 97,6 m. Powodowało to konieczność montażu kurtyny dymowej w osi budynku, wzdłuż jego dłuższego boku (rys. 1), która przebiegałaby przez trzy strefy pożarowe, dzieląc halę o szerokości 120,6 m na 6 stref dymo-

wych. Z uwagi na przeszkody konstrukcyjne, brak technicznych możliwości montażu kurtyn dymowych w wyznaczonym obszarze oraz uwzględniając wymagania eksploatacyjne obiektu, autor projektu systemu oddymiania dopuścił wykonanie systemu oddymiania bez kurtyn dymowych z zaznaczeniem, że rozwiązanie odbiegające od wymagań normy należy sprawdzić poprzez przeprowadzenie symulacji rozwoju pożaru, która zweryfikuje niestandardowe rozwiązanie. Obiekt podzielono na trzy strefy oddymiania, oddzielone między sobą ścianami oddzielenia pożarowego (rys. 2).

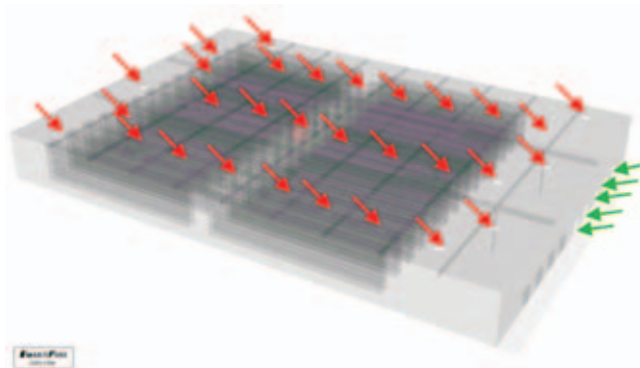


Rys. 1. Wymagany podział na strefy dymowe
Fig. 1. Required division into smoke zones



Rys. 2. Niestandardowe rozwiązanie podziału na strefy dymowe podlegające analizie
Fig. 2. Unusual solution of smoke zoning being analyzed

W związku z powyższym, wykonana została symulacja CFD dla wentylacji pożarowej, z uwzględnieniem otrzymanych danych na temat projektowanej instalacji tryskaczowej oraz na podstawie projektu systemu oddymiania grawitacyjnego. Zgodnie z projektem oddymiania, analizie CFD poddano niestandardowe rozwiązanie polegające na wykonaniu jednej strefy dymowej o przekroczonych wg normy NFPA 204 wymiarach, w której zamontowano 30 klap dymowych, o łącznej powierzchni geometrycznej wynoszącej 135 m² oraz pięć bram napowietrzających o łącznej powierzchni geometrycznej wynoszącej 48 m². Model 3D, z oznaczeniem poszczególnych otworów, przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Model 3D dla scenariusza z systemem oddymiania (strzałki czerwone – oddymianie, strzałki zielone – napowietrzanie)

Fig. 3. 3D-model for a scenario with smoke ventilation (red arrow – extraction point, green arrow – inlet)

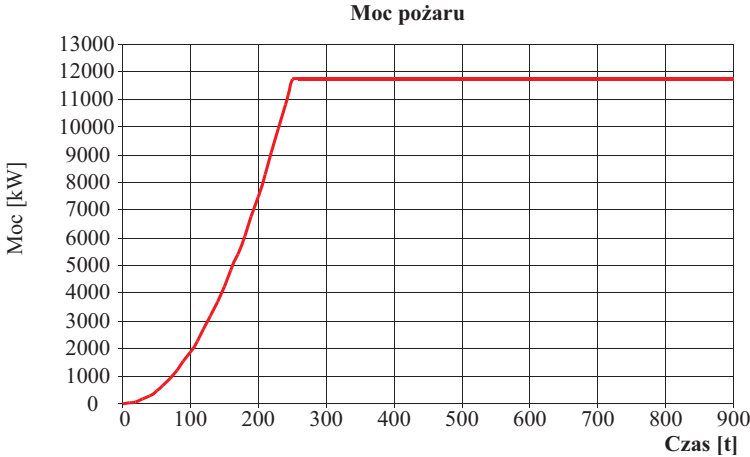
Założono lokalizację pożaru rozwijającego się u podstawy (posadzka hali) regału w centralnej części strefy pożarowej (dymowej). Na podstawie analizy przeznaczenia hali przyjęto niekorzystny wariant pożaru o następujących parametrach:

- pożar standardowy ($Q = t^2$) – bardzo szybki $\alpha = 0,188$;
- rozmiar pożaru stały – wymiary rzutu 2,4 m × 4 m, przy wysokości 5,5 m;
- ciepło spalania spalanego materiału ustalono na poziomie 30 MJ/kg;
- współczynnik produkcji sadzy – przyjęto wartość 0,08 kg/kg spalanego materiału.

Ponieważ w obiekcie przewidziano zastosowanie instalacji tryskaczowej, w przeprowadzonej symulacji założono, że moc pożaru zależna będzie od szybkości zadziałania instalacji tryskaczowej. Do celów symulacji przyjęto, że pożar rozwijał się będzie wg krzywej bardzo szybkiej (*ultra fast*), a następnie, po zadziałaniu instalacji tryskaczowej, moc pożaru utrzymywać się będzie na stałym poziomie. Przyjęty w symulacji przebieg pożaru przedstawiono na rys. 4.

Przyjęty niekorzystny scenariusz zakładał, że instalacja tryskaczowa nie ugasi pożaru, lecz ograniczy jego rozwój. Na potrzeby określenia czasu potrzebnego do uruchomienia instalacji tryskaczowej, licząc od momentu powstania pożaru,

przyjęto parametry charakterystyczne, takie jak wysokość montażu tryskaczy, szybkość zadziałania RTI, temperatura zadziałania i rozstaw siatki tryskaczowej. Oszacowano, za pomocą programu komputerowego DETACT QS, że czas ten będzie wynosił co najmniej 218,6 s.

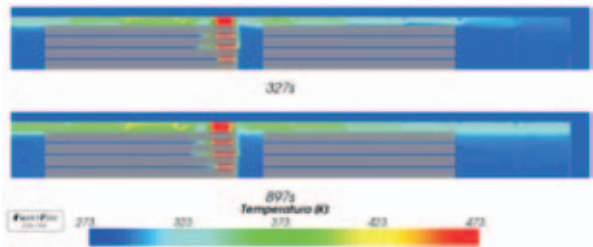


Rys. 4. Wartość mocy pożaru w czasie trwania symulacji

Fig. 4. A curve of heat release rate

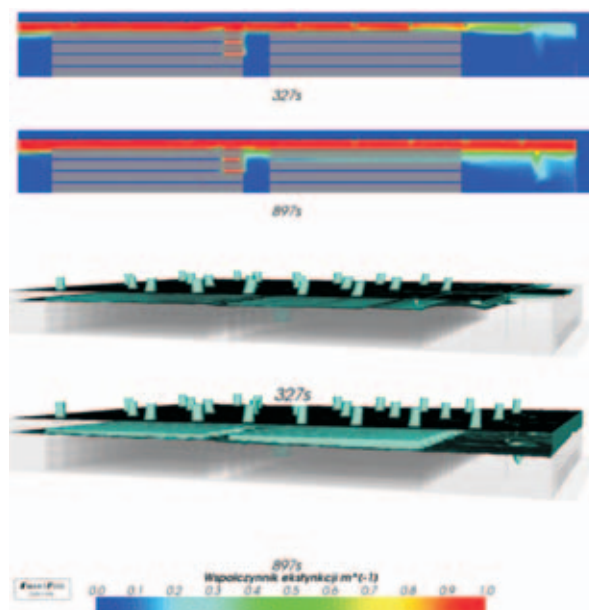
Zgodnie z założeniami projektowymi, uruchomienie systemu oddymiania następować miało po zadziałaniu instalacji tryskaczowej (sygnał z ZKA) oraz co najmniej jednej czujki dymu w strefie, w której powstał pożar. Na podstawie powyższych analiz dla wykonywanej symulacji założono, iż otwarcie klap dymowych oraz otworów napowietrzających nastąpi po około 250 s trwania symulacji.

Jako kryteria oceny wyników symulacji przyjęto konieczność zachowania skuteczności systemu oddymiania, tzn. stabilizację grubości warstwy dymu oraz temperatury po zadziałaniu instalacji tryskaczowej oraz zapewnienie spełnienia wymagań związanych z ewakuacją związanych z widocznością i temperaturą. Na podstawie przyjętych założeń oszacowano, że wymagany czas bezpiecznej ewakuacji z przestrzeni hali nie powinien przekroczyć 320 sekund. W omawianym przypadku należy zwrócić uwagę na zastosowane uproszczenie dotyczące instalacji tryskaczowej. Jej wpływ na rozwój pożaru został wzięty pod uwagę jedynie podczas szacowania mocy powstałego pożaru, nie uwzględniono natomiast wpływu tryskaczy na ochłodzenie gazów w kolumnie konwekcyjnej. Ilustrację graficzną wyników symulacji przedstawiono na rys. 5 i 6.



Rys. 5. Wyniki symulacji dla kryterium temperatury

Fig. 5. Simulation results for the temperature criterion



Rys. 6. Wyniki symulacji dla kryterium wysokości warstwy dymu oraz widoczności. Wartości 0,3 oraz 0,8 dla współczynnika ekstynkcji światła odpowiadają zasięgowi widoczności dla elementów odbijających światło odpowiednio około 10 m i 5 m

Fig. 6. Simulation results for the criteria of smoke layer thickness and visibility range. The value 0.3 and 0.8 of extinction coefficient are equal to visibility range of 10 m and 5 m respectively (for light-reflecting signs).

Analiza otrzymanych wyników wykazała, że rezygnacja z kurtyn dymowych dzielących daną strefę pożarową na dwie strefy oddymiania nie spowodowała niekorzystnego wpływu na funkcjonowanie zaprojektowanego grawitacyjnego systemu oddymiania. Na tej podstawie zaprojektowany system został zaakceptowany przez wszystkie strony procesu projektowego i przekazany do realizacji.

2. Analiza porównawcza dotycząca współdziałania instalacji oddymiania oraz instalacji tryskaczowej w budynku magazynowym [10]

Kolejny przykład obrazujący przydatność analiz numerycznej mechaniki płynów w procesie projektowania dotyczy problemu współdziałania instalacji oddymiania oraz instalacji tryskaczowej w budynku magazynowym z wymaganą funkcją przewietrzania. Problem ten pojawia się coraz częściej, m.in. w związku z występowaniem wzajemnie wykluczających się zapisów w stosowanych na coraz większą skalę standardach NFPA 204 oraz NFPA 13. Wielu projektantów instalacji tryskaczowych stoi na stanowisku, iż w przypadku stosowania w budynku instalacji gaśniczej wodnej z tryskaczami ESFR, niedopuszczalne jest stosowanie przewietrzania z wykorzystaniem kłap w dachu budynku. Niektórzy

projektanci dopuszczają stosowanie przewietrzania, pod warunkiem zastosowania w budynku systemu sygnalizacji pożarowej, co pozwala na automatyczne zamknięcie klap w przypadku wykrycia pożaru, a tym samym na poprawne zadziałanie instalacji tryskaczowej.

Przytoczona analiza porównawcza jest próbą określenia wpływu otwarcia klap dymowych w funkcji przewietrzania na rozkład temperatur w strefie podsufitowej hali w przypadku wystąpienia pożaru, w tym próby uzyskania odpowiedzi na pytanie czy pozostawanie części klap w pozycji przewietrzania w momencie powstania pożaru może mieć istotny wpływ na czas i sposób zadziałania tryskaczy w konkretnym obiekcie budowlanym. W tym konkretnym przypadku analiza dotyczyła strefy pożarowej w budynku magazynowym, w której przewidziano cztery strefy dymowe. Poniżej przedstawiono wykonany na potrzeby analizy model 3D (rys. 7).

Na potrzeby analizy wykonane zostały dwie symulacje wg następujących scenariuszy. W symulacji pierwszej założono, iż klapy dymowe przeznaczone do przewietrzania w momencie powstania pożaru zlokalizowanego bezpośrednio pod jedną z klap, pozostają w pozycji zamkniętej. W symulacji drugiej natomiast, iż klapy dymowe przeznaczone do przewietrzania

w momencie powstania pożaru zlokalizowanego bezpośrednio pod jedną z klap, pozostają w pozycji otwartej. Kopuły klap otwarte były na wysokość 30 cm. W obu symulacjach założono, iż w momencie powstania pożaru jedna z bram załadowniczych w analizowanej strefie dymowej jest otwarta. W strefie podsufitowej, w miejscach lokalizacji tryskaczy, umieszczono punkty pomiarowe rejestrujące zmiany temperatury. Umieszczenie pożaru w symulacji dla poszczególnych scenariuszy zaprezentowano na rys. 7.

Do symulacji przyjęto pożar o następujących parametrach:

- pożar ultra szybki ($c = 0,188$)
- rozmiar pożaru stały o rozmiarach:
3,6 m długości \times 1,6 m szerokości \times 1,4 m wysokości;
- maksymalna moc pożaru wyniosła 7,5 MW osiągnięta została po 200 s.

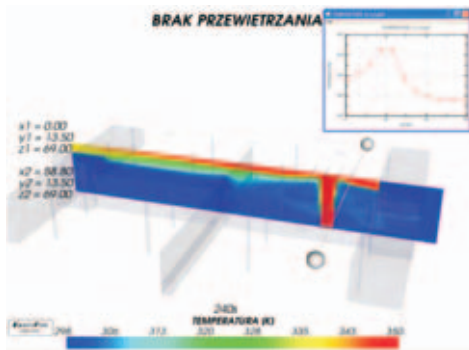
Jako kryterium oceny wpływu otwarcia klap oddymiających z funkcją przewietrzania na czas zadziałania tryskaczy przyjęto parametr temperatury w strefie podsufitowej hali oraz temperaturę punktów kontrolnych odpowiadających lokalizacji tryskaczy.



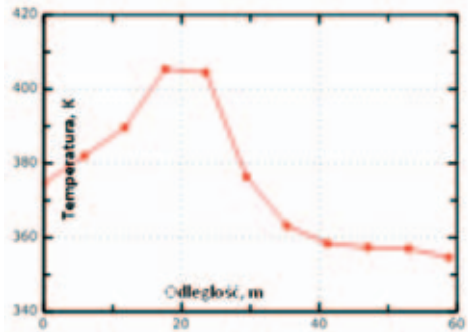
Rys. 7. Model 3D – analiza wpływu funkcji przewietrzania na działanie instalacji tryskaczowej

Fig. 7. 3D model – the analysis of impact of ventilation function to the sprinkler system operation

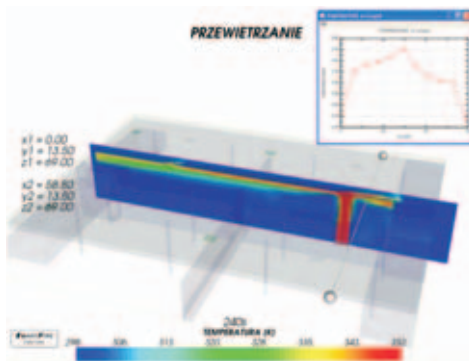
Na rysunkach 8, 9 i 10 przedstawiono przykład ilustracji wyników dla obu przypadków.



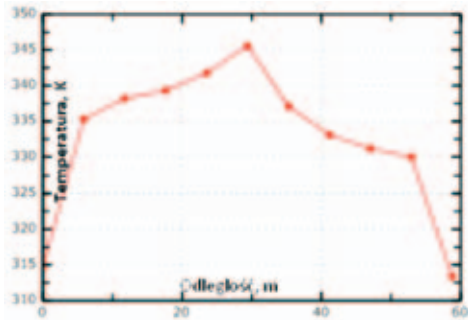
Rys. 8a. Brak przewietrzania. Temperatura w przekroju podłużnym przez źródło pożaru **Fig. 8a.** No ventilation. A longitudinal section of temperature distribution by fire source



Rys. 8b. Brak przewietrzania. Temperatura na wysokości montażu tryskaczy wzdłuż linii pomiarowej widocznej na rys. 8a **Fig. 8b.** No ventilation. Temperature measured at an altitude of sprinklers heads (along measuring line visible on fig. 8a)



Rys. 9a. Przewietrzanie (System w trybie przewietrzania?). Temperatura w przekroju podłużnym przez źródło pożaru **Fig. 9a.** System in ventilation mode. A longitudinal section of temperature distribution by fire source

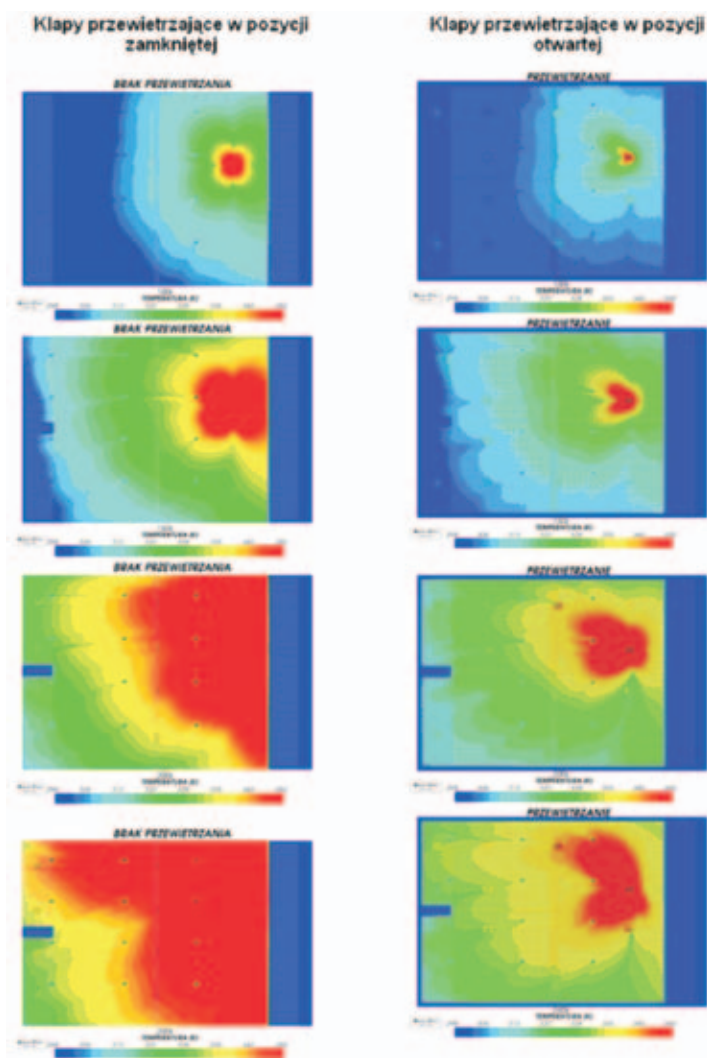


Rys. 9b. Przewietrzanie. Temperatura na wysokości montażu tryskaczy wzdłuż linii pomiarowej widocznej na rys. 9a **Fig. 9b.** System in ventilation mode. Temperature measured at an altitude of sprinklers heads (along measuring line visible on fig. 9a)

Analiza wyników przeprowadzonych obliczeń dla dwóch przypadków pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. W pierwszym z analizowanych przypadków, w którym w momencie powstania pożaru wszystkie kłapy wentylacyjne były zamknięte, czas, po jakim temperatura w strefie podsufitowej w sąsiedztwie kłapy osiągnęła wartość 347 K (74°C odpowiadającej temperaturze zadziałania tryskacza) wyniosła 118 s.

2. W drugim z analizowanych przypadków, w którym w momencie powstania pożaru wybrane klapy dymowe (8 szt.) otwarte były w funkcji wentylacyjnej, czas, po jakim temperatura w strefie podsufitowej w sąsiedztwie klapy osiągnęła wartość 347 K (74°C) wyniósł 159 s. Zaobserwowano, że czas potrzebny do osiągnięcia temperatury otwarcia tryskacza w sąsiedztwie klapy przewietrzającej dla przypadku z otwartymi klapami był o około 40 s dłuższy niż w przypadku zamkniętych klap. Należy jednocześnie zaznaczyć, iż w przypadku braku napowietrzania zaobserwowana różnica byłaby znacząco mniejsza.
3. W strefie podsufitowej występowały różnice temperatur mogące mieć istotny wpływ na czas i sposób zadziałania instalacji tryskaczowej.



Rys. 10. Wyniki symulacji – porównanie temperatur w strefie podsufitowej
 Fig. 10. Simulations results – comparison of temperatures below the ceiling

W celu zniwelowania stwierdzonego niekorzystnego wpływu otwarcia klap przewietrzających na czas oraz sposób otwarcia tryskaczy, zalecono, aby w przypadku pożaru klapy przewietrzające zamykane były automatycznie, bezpośrednio (bez zwłoki czasowej) po wykryciu pożaru przez czujki dymu zlokalizowane w świetle klapy oddymiającej z funkcją przewietrzania. System czujek powinien umożliwiać jednoczesne zamknięcie wszystkich klap w strefie pożarowej w wyniku wykrycia pożaru przez dowolną czujkę. Należy zaznaczyć, iż analizy dokonano dla wybranego scenariusza oraz określonych warunków zewnętrznych i wewnętrznych panujących w analizowanym obiekcie. Funkcja, jaką pełnią obiekty magazynowo-logistyczne, powoduje, że w wielu przypadkach należy rozważać więcej niż jeden scenariusz. Opisany przykład pokazuje, jakie problemy można napotkać przy projektowaniu urządzeń przeciwpożarowych w (z pozoru prostych w budowie) obiektach, jakimi są hale produkcyjno-magazynowe. Należy pamiętać również o tym, że osoba dokonująca analizy wyników symulacji CFD musi być świadoma liczby i zmienności wielu parametrów fizycznych mających wpływ na wyniki końcowe danej analizy.

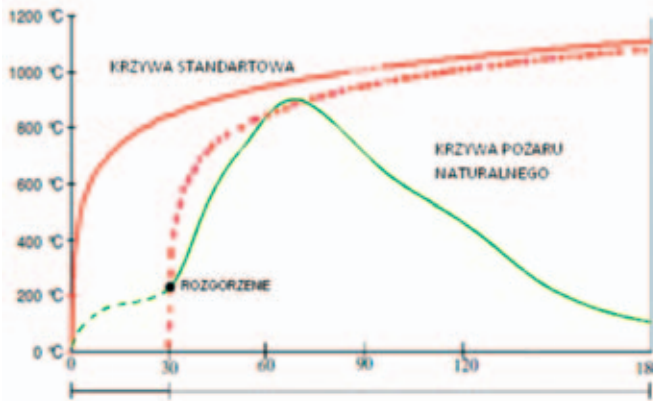
3. Przykład 3:

Analiza rozkładu temperatur na potrzeby odporności ogniowej stalowych elementów konstrukcji dachu [11]

W Polsce projektowanie konstrukcji na wypadek pożaru odbywa się, w większości przypadków, poprzez realizację wymagań przepisów technicznych oraz norm. Odporność ogniową konstrukcji budynku najczęściej określa się na podstawie badań elementów poddanych działaniu pożarów nominalnych, tzn. na podstawie podanych zależności temperatura-czas. W regulacjach krajowych dopuszcza się jednak możliwość projektowania konstrukcji z wykorzystaniem tzw. koncepcji naturalnego bezpieczeństwa pożarowego [1]. Metoda ta jest jednak pracochłonna i w związku z tym jej zakres stosowania był dotychczas znacznie ograniczony. Naturalne modele pożarów stosuje się głównie w dwóch przypadkach: podczas realizacji obiektów skomplikowanych, niemieszczących się w ramach wyznaczonych przez tradycyjne metody projektowania konstrukcji oraz wtedy, gdy zastosowanie koncepcji naturalnego bezpieczeństwa pożarowego powoduje znaczne obniżenie kosztów realizacji inwestycji. Jest to możliwe, jeżeli uda się wykazać, że w celu odpowiedniego zabezpieczenia konstrukcji przed działaniem rzeczywistego (naturalnego) pożaru, mogą być wprowadzone rozwiązania znacznie tańsze niż w przypadku przyjęcia modelu pożaru nominalnego lub możliwa jest całkowita rezygnacja z zabezpieczania konstrukcji, która i tak spełniała będzie stawiane jej wymagania w zakresie nośności ogniowej.

Metoda projektowania bazująca na naturalnej koncepcji bezpieczeństwa pożarowego została opracowana z wykorzystaniem podejścia statystycznego, probabilistycznego i deterministycznego [2]. Zasady jej stosowania podano m.in. w nor-

mie [1]. W metodzie tej wykorzystuje się naturalne modele pożaru, co pozwala uwzględnić wiele parametrów niebranych pod uwagę w modelach pożarów nominalnych. Przykładowe porównanie przebiegu pożaru naturalnego z krzywą standardową rozwoju pożaru pokazano na rys. 11 [2].



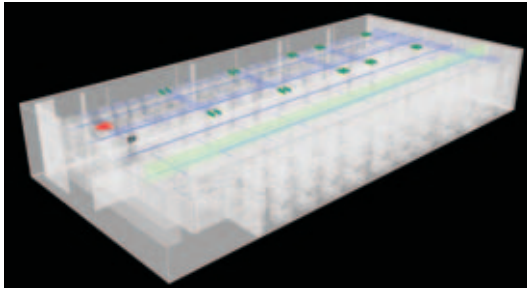
Rys. 11. Naturalne fazy rozwoju rzeczywistego w porównaniu z krzywą pożaru standardowego [2]
 Fig. 11. Natural fire growth phases compared to standard fire curve [2]

Proces projektowania uwzględniający wpływ na konstrukcję pożaru naturalnego dzieli się na następujące etapy:

- 1) wybór właściwych scenariuszy pożarowych; należy tu przeprowadzić analizę projektu w celu zlokalizowania najbardziej niekorzystnych miejsc wystąpienia pożaru z uwagi na bezpieczeństwo konstrukcji budynku,
- 2) wybór właściwego pożaru obliczeniowego oraz określenie jego przebiegu,
- 3) obliczenie temperatury w wybranych elementach konstrukcyjnych,
- 4) ocenę mechanicznego zachowania się konstrukcji poddanej oddziaływaniu pożaru.

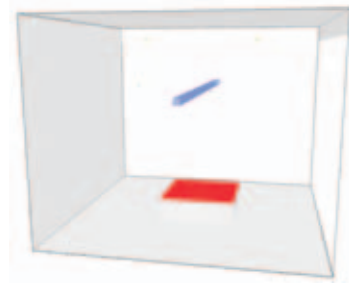
Ostatni prezentowany przykład stosowania symulacji obejmuje dwa pierwsze etapy. Tym razem symulację CFD wykorzystano na potrzeby oceny możliwości rezygnacji z zabezpieczenia stalowej konstrukcji nośnej dachu w budynku magazynu wysokiego składowania z zachowaniem przez tę konstrukcję wymaganej odporności ogniowej R15, poprzez potwierdzenie, iż w wymaganym czasie nie zostanie przekroczone kryterium temperatury krytycznej wyznaczonej zgodnie z [7].

Analiza komputerowa rozkładu temperatur gazów pożarowych prowadzona była na dwóch rodzajach modeli komputerowych, modele „duże” – kompleksowe obejmujące całą geometrię analizowanego obszaru wraz z systemami wentylacji oraz tryskaczowym, oraz na modelach „małych” odzwierciedlających: pożar, element konstrukcyjny oraz tryskacze (modele do kalibracji ustawień w scenariuszach docelowych). W przeciwieństwie do poprzednich przykładów, tym razem w symulacji wykorzystano model tryskaczy. Przedmiotem analizy był rozkład temperatur w przestrzeni pod dachem budynku, w obszarach gdzie rozwój pożaru może skutkować zwiększeniem temperatury konstrukcji stalowej.



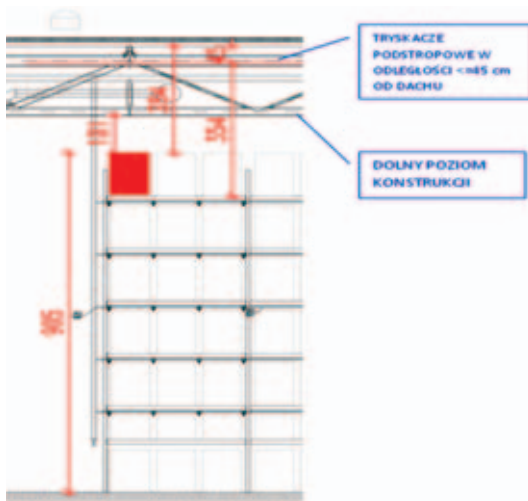
Rys. 12. Model 3D strefy dymowej magazynu będącej przedmiotem analizy

Fig. 12. 3D-model of storage building smoke zone being analyzed



Rys. 13. Przykładowy „mały” model (kalibracyjny)

Fig. 13. Example of “small” model (calibrational)



Rys. 14. Przekrój poprzeczny – rozmieszczenie tryskaczy

Fig. 14. Cross-section – the distribution of sprinklers

dopodobnym położeniem pożaru. W analizowanym obiekcie przewidziano zastosowanie mechanicznej wentylacji oddymiającej oraz instalacji tryskaczowej międzyregalowej oraz tryskaczowej podstropowej (rys. 14).

Przyjęto, iż największy wpływ, pod względem oddziaływania na konstrukcję dachu, będzie miał pożar zlokalizowany na najwyższej półce magazynu. Taka lokalizacja spowoduje brak aktywacji tryskaczy międzyregalowych (bądź w przypadku ich aktywacji brak oddziaływania na pożar). Pożar, rozwijając się, będzie oddziaływał temperaturowo na elementy konstrukcyjne, kontrola pożaru może nastąpić dopiero po aktywacji tryskaczy podstropowych. Taki pożar może rozwinąć się, np. w związku z awarią urządzeń bądź instalacji znajdujących się pod dachem (oświetlenie itp.).

W związku z faktem, iż kluczowym kryterium w niniejszej analizie jest temperatura w strefie podsufitowej, pod uwagę wziąć należy fakt, iż walidacje zastosowanego oprogramowania wykazały możliwość różnicy w oszacowaniu temperatur w strefie podsufitowej do 20% [11]. Na rys. 12 przedstawiono trójwymiarowy model wykonany na potrzeby symulacji.

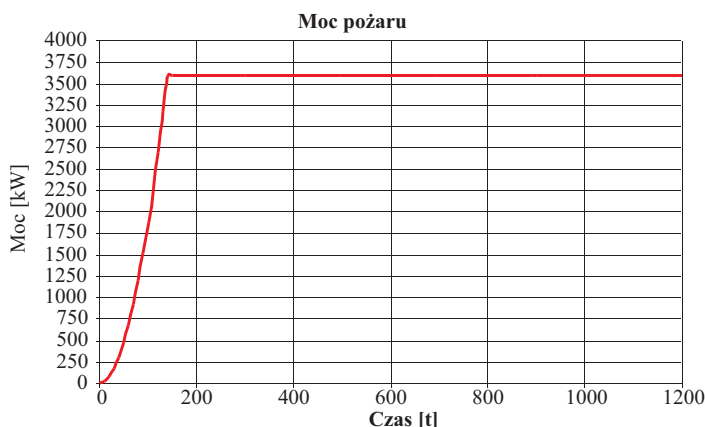
W celu zbadania rozkładu temperatur w strefie podsufitowej, wybrano zjawiska pożarowe stwarzające największe zagrożenie dla konstrukcji. Symulacje rozwoju pożaru w projektowanym obiekcie wykonano z niekorzystnym, praw-

Do oceny mocy pożaru, który może rozwinąć się na najwyższej półce regałów, posłużono się programem komputerowym DETACT T2. Przeprowadzono analizę, w której przyjęto, iż instalacja charakteryzuje się następującymi parametrami:

- sieć tryskaczowa z główkami tryskaczowymi rozmieszczonymi co 3 m;
- parametry charakteryzujące główkę tryskacza: RTI <80, temperatura zadziałania 68°C.

Dla przyjętej w analizie krzywej szybkości rozwoju pożaru „ULTRA-FAST” – bardzo szybka, aktywacja pierwszego tryskacza nastąpi po około 98 s, gdy pożar osiągnie moc około 1825 kW.

Po dokonaniu powyższej analizy założono, iż rozwój pożaru nie zostanie zahamowany błyskawicznie i jego moc ustabilizuje się na poziomie 3600 kW (bardzo szybki rozwój pożaru – czas potrzebny na ustabilizowanie charakterystyki; tryskacze nie znajdują się w bezpośredniej bliskości stropu, ale w odległości do 45 cm, co jest korzystne, biorąc pod uwagę pożar międzyregałowy i związany z nim podsufitowy strumień ciepła. Z uwagi na stosunkowo niewielki pożar pod stropem układ taki powodować może opóźnienie zadziałania tryskaczy). Moc ta zostanie osiągnięta zgodnie z krzywą rozwoju pożaru bardzo szybkiego, po około 140 s (rys. 15).



Rys. 15. Wykres mocy pożaru dla scenariusza pożaru w magazynie
 Fig. 15. A curve of heat release rate for scenario of fire in storage building

Podsumowując, do symulacji przyjęto pożar o następujących parametrach:

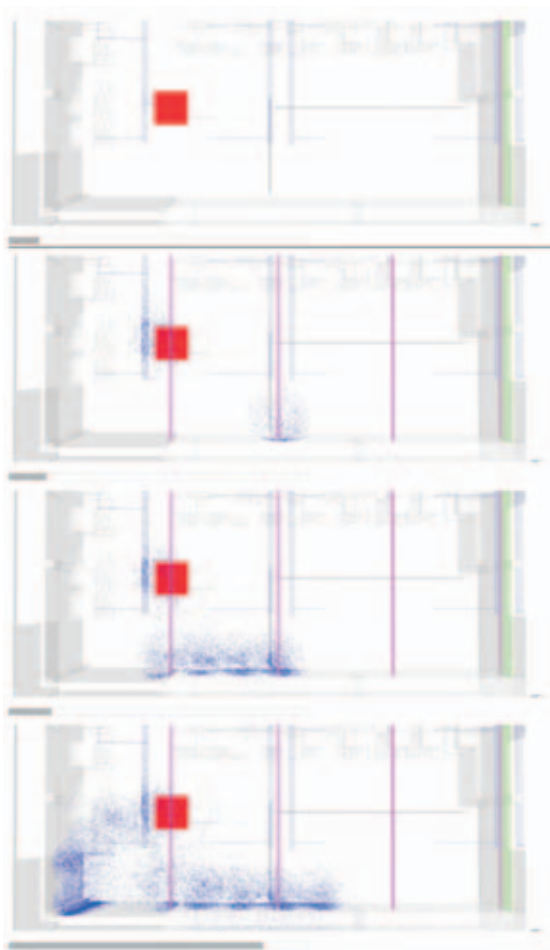
- rozmiar pożarów stały – górna płaszczyzna 1 m poniżej dolnej belki konstrukcyjnej (górny poziom składowania);
- przyjęto charakterystykę szybkości rozwoju mocy pożaru standardową, zgodne ze wzorem na moc pożaru $Q = \alpha t^2$ – przyjęto pożar bardzo szybki dla $\alpha = 0,1876$ (krzywa pożarowa charakterystyczna dla pożarów magazynów);
- maksymalna moc pożaru wyniosła 3600 kW, zgodnie z przedstawioną analizą;
- ustabilizowanie się pożaru wynika z założenia, że zadziała instalacja tryskaczowa; nie założono możliwości ugaszenia pożaru przez tryskacze – przyjęto

wariant pesymistyczny (nie zaprojektowano tryskaczy szybkiego reagowania ESFR).

Celem analizy było wyznaczenie temperatury gazów pożarowych w bezpośrednim sąsiedztwie analizowanej konstrukcji dachu, z uwzględnieniem najbardziej niekorzystnego scenariusza rozwoju pożaru. Przyjęto, jako bezpieczne założenie upraszczające, iż wyznaczona w ten sposób temperatura gazów pożarowych będzie stanowiła podstawę do oceny nośności ogniowej nośnej konstrukcji dachu. Przykład ilustracji otrzymanych wyników przedstawiono na rysunkach 16, 17, 18. Zaobserwowano znaczący przyrost temperatury gazów pożarowych na wysokości dolnego pasa kratownicy, maksymalna odnotowana temperatura gazów pożarowych to 570°C.

Ze względu na niewielką odległość pomiędzy dolną belką kratownicy, a obszarem składowania zaobserwowano przyrost temperatury mogący powodować przekroczenie wartości temperatury krytycznej w elementach konstrukcji dachu. W analizowanym scenariuszu wybrany pożar rozwijający się na najwyższej półce regałów wywoła lokalny znaczący przyrost temperatury. Dolny pas konstrukcji może znajdować się w bezpośrednim oddziaływaniu płomieni, aktywacja tryskaczy może opóźnić się w czasie (podstropowe, w odległości do 45 cm od stropu). Powyższe dane wskazują na konieczność zabezpieczenia dolnej belki konstrukcji do wymaganej klasy R15 i rezygnacji z zabezpieczenia pozostałych elementów kratownicy.

W celu określenia obliczeniowej temperatury w wybranych elementach konstrukcyjnych oraz dokonania szczegółowej oceny mechanicznego zachowania się



Rys. 16. Ilustracja ukazująca aktywację kolejnych tryskaczy. Pierwszy tryskacz aktywował się ponad pożarem, natomiast kolejne aktywowały się przy ścianach co związane jest z kumulacją ciepła

Fig. 16. Activation of consecutive sprinklers. The first sprinkler activated above a fire, subsequent activated near walls (accumulation of heat)

konstrukcji poddanej oddziaływaniu pożaru możliwe jest wykonanie dalszych analiz numerycznych.



Rys. 17. Izopowierzchnia reprezentująca punkty o temperaturze 400°C. Dolna belka kratownicy znajduje się w zasięgu obszaru o temperaturze przekraczającej 400°C

Fig. 17. Isosurface representing points with temperature of 400°C. The lower beam of truss within the area of temperature range exceeding 400°C



Rys. 18. Odczyt temperatury z powierzchni elementu

Fig. 18. Measurement of temperature from beam surface

4. Podsumowanie

Przedstawione przykłady pokazują szeroki zakres możliwości wykorzystania analiz numerycznej mechaniki płynów w procesie projektowania systemów w ochronie przeciwpożarowej. W najbliższym czasie można spodziewać się wzrostu wykorzystania symulacji, w związku z możliwością projektowania konstrukcji na warunki pożarowe zgodne z przytoczoną procedurą wynikającą z eurokodów. Należy jednak pamiętać, że w ślad za coraz większym stopniem szczegółowości i zaawansowania wykonywanych analiz numerycznych muszą iść również kwalifikacje osób wykonujących je.

Literatura

- [1] PN-EN 1991-1-2: 2006. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania na konstrukcję w warunkach pożaru.
- [2] Cajot L.G., Haller M. & Pierre M.: Seminarium: Projektowanie Konstrukcji Stalowych Zespolonych z Uwzględnieniem Warunków Pożarowych. DIFISEK. Poznań 2008.
- [3] PN-EN 1990:2004: Eurokod – Podstawy projektowania konstrukcji.
- [4] PN-EN 1991-1-1 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [5] PN-EN 1991-1-2 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.

- [6] PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [7] PN-EN 1993-1-2 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
- [8] Verification & Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications, Volume 7: Fire Dynamics Simulator. US Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research (RES), May 2007.
- [9] PROTECT sp.j.: Analiza systemu wentylacji pożarowej w przestrzeni hali wysokiego składowania. Warszawa, sierpień 2011.
- [10] PROTECT sp.j.: Analiza porównawcza dotycząca współdziałania instalacji oddymiania oraz instalacji tryskaczowej w budynku magazynowym, Warszawa, marzec 2012.
- [11] PROTECT sp.j.: Analiza rozkładu temperatur w strefie podsufitowej na wypadek wystąpienia pożaru, Warszawa, marzec 2012.
- [12] P. Wróbel, L. Dec, J. Okólski, Ł. Ostapiuk: Wpływ wyników symulacji pożaru na sposób projektowania systemów ochrony przeciwpożarowej w budynkach wielkokubaturowych, Konferencja „Zabezpieczenia przeciwpożarowe i eksploatacja obiektów wielkokubaturowych”, Łódź 2012.

Paweł WRÓBEL
Lesław DEC
Tomasz DRZYMAŁA
Paweł SULIK
Jakub OKÓLSKI
Łukasz OSTAPIUK

CFD Analysis in the Fire Protection Systems Designing Process

The article presents the selected examples of the CFD analysis application during the designing process of fire protection systems in buildings. At present the CFD simulations are mainly used in designing the gravitation and mechanical systems of smoke venting. As the presented examples show, the usefulness of such analysis is much bigger. They show the wide range of possibilities of the analysis of numerical liquid mechanics application in the process of designing the systems of fire protection.

In the nearly future, we may expect the growth of simulation use. It is so, because of the possibility to design the fire resistant constructions according to the procedure resulting from the eurocodes. We must remember that the more detailed and developed numerical analysis are the more competent the persons making them should be.

Key words: fire, CFD analysis, fire simulations, fire strength of constructions.