

ASTOSOWANIE NATURALNYCH MODELI POŻARU W PROCESIE PROJEKTOWANIA KONSTRUCJI NA WARUNKI POŻAROWE NA PRZYKŁADZIE GARAŻU PODZIEMNEGO

Marian ABRAMOWICZ¹, Robert KOWALSKI², Paweł WRÓBEL³

¹The Main School of Fire Service, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warsaw, Poland. E-mail: aaa@vgtu.lt

²Warsaw University of Technology Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warsaw, Poland. E-mail: R.Kowalski@il.pw.edu.pl

³The Main School of Fire Service, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warsaw, Poland. E-mail: pwsmsp@o2.pl

Abstract. Abstract text should not exceed 300 words. The keywords should include 6 – 10 items. The words Abstract and Keywords should be bolded. The single line interval should be left between abstract and keywords. Three single line intervals should be left between keywords and main text.

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3, keyword4, keyword5, keyword6, keyword7.

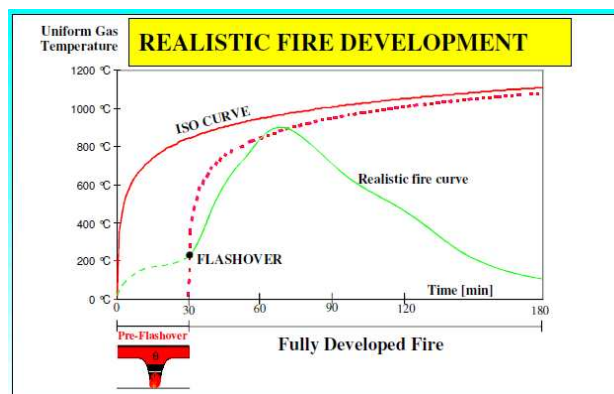
1. Wprowadzenie

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. Coraz częściej jednak w regulacjach krajowych dopuszcza się możliwość projektowania konstrukcji z wykorzystaniem tzw. koncepcji naturalnego bezpieczeństwa pożarowego, [1].

Metoda ta jest jednak pracochłonna i w związku z tym jej zakres stosowania jest ograniczony. Naturalne modele pożarów stosuje się głównie w dwóch przypadkach: podczas realizacji obiektów skomplikowanych, nie mieszczących się w ramach wyznaczonych przez tradycyjne metody projektowania konstrukcji oraz wtedy, kiedy 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.

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 normie [1]. W metodzie tej wykorzystuje się naturalne modele pożaru, co pozwala uwzględnić wiele parametrów nie branych pod uwagę w modelach pożarów nominalnych. Przykładowe porów-

nanie przebiegu pożaru naturalnego z krzywą standardową rozwoju pożaru pokazano na rysunku 1 [2].



Rys 1. Naturalne fazy rozwoju pożaru w porównaniu z krzywą pożaru standardowego [2]

Proces projektowania uwzględniający wpływ na konstrukcję pożaru naturalnego można podzielić na następujące etapy:

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

Do pożarów naturalnych zalicza się:

- modele uproszczone, w tym pożary charakteryzowane przez tzw. krzywe parametryczne oraz pożary lokalne,
- zaawansowane modele pożaru, które powinny uwzględniać właściwości gazu, wymianę masy oraz wymianę energii.

Zaawansowane modele pożaru dzielą się na: jedno-strefowe, dwustrefowe oraz bazujące na numerycznych analizach mechaniki płynów.

Wyboru pomiędzy pożarem strefowym (z rozgorzeniem), charakteryzowanym np. krzywą parametryczną, a pożarem lokalnym (bez rozgorzenia) jest dokonywany na podstawie przyjętego scenariusza pożarowego z uwzględnieniem geometrii analizowanej strefy pożarowej. W pewnych przypadkach na podstawie analizy przebiegu pożaru bez założonego rozgorzenia może okazać się konieczne przejście do modeli pożaru z rozgorzeniem. Możliwe jest również stosowanie kombinacji modeli, np. pożaru lokalnego z modelem strefowym. Przy ocenie prawdopodobieństwa wystąpienia rozgorzenia bierze się pod uwagę m.in. wysokość warstwy gazów pożarowych, jej temperaturę, wielkość pożaru oraz wymiary pomieszczenia.

W referacie przedstawiono wybrane modele pożaru naturalnego oraz wykonano obliczenia (symulacje) rozwoju pożaru w garażu podziemnym. Zaprezentowano:

- model pożaru lokalnego; jest to przykład uproszczonego modelu pożaru, opartego na stosowaniu ograniczonego zakresu parametrów fizycznych,
- model dwustrefowy, w którym przyjmuje się wystąpienie dwóch warstw: górnej z jednorodną zależną od czasu temperaturą i z zależną od czasu grubością oraz dolnej - z zależną od czasu równomierną (niższą) temperaturą,
- model numerycznej mechaniki płynów przedstawiający zmiany temperatury w całej strefie.

Na podstawie analizy wyników podjęto próbę określenia przydatności poszczególnych modeli do oceny bezpieczeństwa konstrukcji.

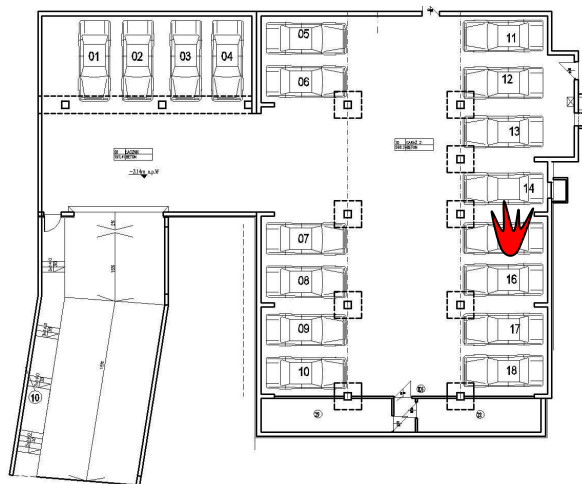
2. Założenia

Przebieg pożaru naturalnego rozpatrzono na przykładzie zamkniętego garażu dla samochodów osobowych, zlokalizowanego pod budynkiem mieszkalnym. Wykorzystano prosty scenariusz rozwoju pożaru obejmujący zapalenie się tylko jednego samochodu znajdującego się w najbardziej niekorzystnym miejscu z uwagi na bezpieczeństwo słupa żelbetowego.

W przyjętym scenariuszu założono, że podjęcie działań gaśniczych przez straż pożarną i zlokalizowanie pożaru nastąpi przed upływem 20 minut od początku pożaru. W takim przypadku, przy stosunkowo dużej powierzchni rozpatrywanej strefy nie należy oczekiwać zapalenia się kolejnych samochodów, a tym bardziej wystąpienia rozgorzenia.

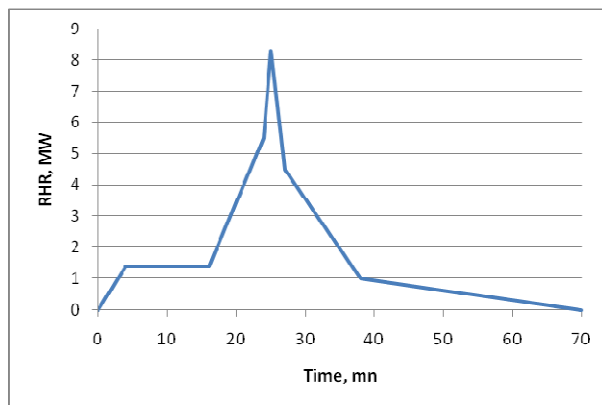
Rysunek 2 przedstawia rzut rozpatrywanego garażu i założone miejsce wystąpienia pożaru. Niżej podano podstawowe dane na temat analizowanego obiektu:

- budynek wykonany w konstrukcji żelbetowej,
- powierzchnia strefy wynosi 476 m^2 ,
- wysokość kondygnacji wynosi w całej strefie 2.8 m,
- w budynku nie ma instalacji tryskaczowej i oddymiającej.



Rys 2. Rzut rozpatrywanego garażu i lokalizacja płonącego samochodu

We wszystkich rozpatrzonych przypadkach przyjęto jednakową, określoną na podstawie badań eksperymentalnych [3], szybkość wydzielania ciepła podczas pożaru pojedynczego samochodu (rys. 3).



Rys 3. Szybkość wydzielania ciepła RHR przy spalaniu się pojedynczego samochodu [3]

3. Model pożaru lokalnego [1]

Jest to jeden z najprostszych modeli pozwalających obliczać oddziaływania pożaru, w którym nie występuje rozgorzenie. Umożliwia on oszacowanie temperatury wzdłuż osi płomienia oraz wartości strumienia ciepła oddziaływującego na powierzchnię elementów konstrukcyjnych, dzięki czemu możliwe jest oszacowanie ich

temperatury. Poniżej przedstawiono metodologię obliczeń przebiegu pożaru lokalnego na przykładzie podanych wyżej założeń oraz dodatkowych danych:

- średnica pożaru: $D=2$ m,
- odległość źródła ognia od sufitu: $H=2,6$ m.

Długość płomienia jest określona wzorem:

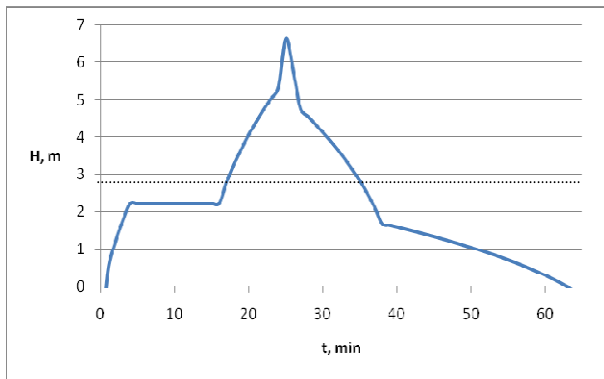
$$L_f = -1,02 \cdot D + 0,0148 \cdot Q^{2/5} \quad (1)$$

w którym:

D – średnica pożaru, m,

Q – szybkość wydzielania ciepła, W.

Rysunek 4 przedstawia wykres długość płomienia w funkcji czasu obliczonej według równania (1), przy założeniu szybkości wydzielania wg. zależności podanej na rysunku 3 oraz geometrii analizowanej strefy pożarowej. Należy zauważyć, że w rozpatrzonym przypadku płomienie sięgają sufitu od około 16.5 do 35.5 minuty.



Rys 4. Długość płomienia określona według (1)

Według [1] oddziaływanie termiczne określa strumień ciepła netto \dot{h}_{net} wyrażony w W/m^2 . Strumień ten powinien być ustalany z uwzględnieniem przepływu ciepła przez konwekcję i radiację:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \quad (2)$$

Konwekcyjny strumień ciepła netto $\dot{h}_{net,c}$ określa się na podstawie zależności:

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\Theta_g - \Theta_m) \quad (3)$$

w którym:

α_c – współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję (zalecane wartości określono w normie [1], do obliczeń przyjęto wartość $\alpha_c=25W/m^2K$);

Θ_g – temperatura gazu w otoczeniu elementu poddawanego działaniu pożaru, $^{\circ}C$;

Θ_m – temperatura powierzchni elementu, $^{\circ}C$;

Radiacyjny strumień ciepła netto $\dot{h}_{net,r}$ przypadający na jednostkę powierzchni (W/m^2) elementu określony jest wzorem:

$$\dot{h}_{net,r} = \phi \cdot \epsilon_m \cdot \epsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_r + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4] \quad (4)$$

w którym:

Φ – współczynnik konwersacji (przyjmujemy $\Phi=1,0$, jest to wartość jaka należy przyjmować, jeżeli w poszczególnych częściach Eurokodów nie podano zaleceń szczegółowych);

ϵ_m – emisyjność powierzchni elementu (dla betonu $\epsilon_m=0,7$);

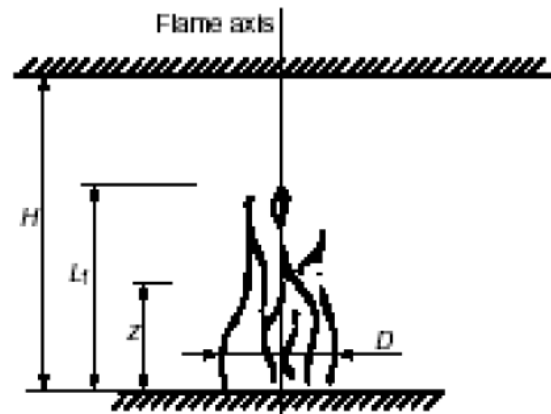
ϵ_t – emisyjność ognia (przyjęto $\epsilon_t=1,0$);

σ – Stała Stefana Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8}$, W/m^2K^4);

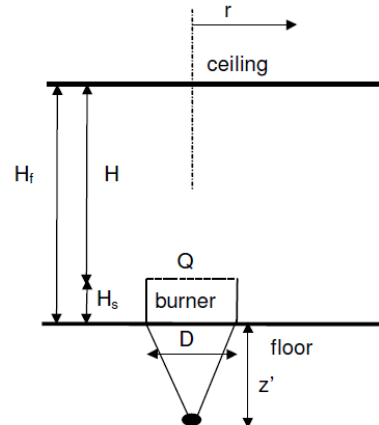
Θ_r – efektywna temperatura promieniowania środowiska pożaru, $^{\circ}C$;

Θ_m – temperatura powierzchni elementu, $^{\circ}C$;

Strumienia ciepła \dot{h} wyrażony w W/m^2 wyznacza się dwoma sposobami w zależności od tego czy płomienie sięgają do sufitu, czy nie (rys 5 i 6).



Rys 5. Ilustracja pożaru lokalnego dla $L_r < H$ [3]



Rys 6. Ilustracja pożaru lokalnego dla $L_r \geq H$ [3]

Jeżeli płomienie nie sięgają sufitu, czyli $L_f < H$ strumień ciepła jest obliczany wg wzoru [1]:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} = [\alpha_c \cdot (\Theta_{(z)} - \Theta_m)] + \phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_{(z)} + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4] \quad (5)$$

który po podstawieniu podanych wyżej wartości parametrów rekomendowanych w [1] przyjmuje postać:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} = [25 \cdot (\Theta_{(z)} - Q_m)] + 3,97 \cdot 10^{-8} \cdot [(\Theta_{(z)} + 273)^4 - (Q_m + 273)^4] \quad (5a)$$

Temperaturę płomienia $\Theta_{(z)}$ wzdłuż jego osi symetrii należy obliczać wg wzoru (6):

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0,25 \cdot Q_c^{2/3} \cdot (z - z_0)^{-5/3} \leq 900^\circ\text{C} \quad (6)$$

w którym:

Q_c - część konwekcyjna szybkości wydzielania ciepła, W (domyślnie 0,8Q [1]);

z - wysokość płomienia mierzona wzdłuż jego osi, m;

z_0 - wirtualne położenie początkowe osi, m:

$$z_0 = -1,02D + 0,00524Q^{2/5} = -2,04 + 0,00524Q^{2/5} \quad (7)$$

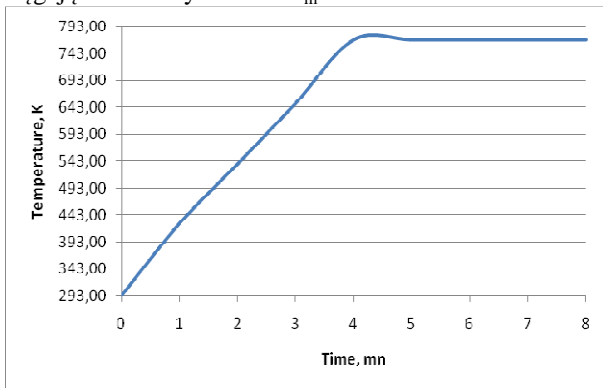
po podstawieniu do wzoru (7) założonych dla analizowanego przypadku wartości liczbowych otrzymujemy:

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0,25 \cdot (0,8 \cdot Q)^{2/3} \cdot (4,84 - 0,00524 \cdot Q^{2/5})^{-5/3} \quad (8)$$

$$\Theta_{(z)} \leq 900^\circ\text{C}$$

Otrzymane wyniki dla założonego przypadku przedstawia wykres 1. Wyniki prezentowane są dla przedziału od 1 do 16 minut. Po tym czasie płomienie dosięgają sufitu, co powoduje, że zależność (6) nie może być stosowana.

Wykres1. Wyniki dla przypadku w którym płomienie nie sięgają sufitu. Wyniki dla $\Theta_m = 20^\circ\text{C}$.



W sytuacji gdy płomienie sięgają do sufitu strumień ciepła oblicza się wzoru:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h} - \alpha_c (\Theta_m - 20) - \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma ((\Theta_m + 273)^4 - (293)^4) \quad (9)$$

Po podstawieniu otrzymano:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h} - 25(\Theta_m - 20) - 3,97 \cdot 10^{-8} \cdot ((\Theta_m + 273)^4 - (293)^4) \quad (9a)$$

Strumień ciepła zależy od parametru y . Jeżeli płomienie sięgają sufitu, czyli $L_f \geq H$, wówczas strumień ciepła \dot{h} , W/m², odbierany przez jednostkowe pola powierzchni, na które oddziałuje pożar na poziomie sufitu, wynosi:

$$\dot{h} = 100000 \text{ - jeżeli } y \leq 0,30$$

$$\dot{h} = 136300 - 121000y \text{ - jeżeli } 0,30 < y < 1,00$$

$$\dot{h} = 15000y^{-3,7} \text{ - jeżeli } y \geq 1,00$$

Parametr y jest określony wzorem:

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'} \quad (10)$$

w którym:

r - odległość pozioma pomiędzy osią pionową płomienia a punktem wzdłuż sufitu, gdzie obliczany jest strumień termiczny;

L_h - pozioma długość płomienia określona zależnością:

$$L_h = (2,9 \cdot H \cdot (Q_H^*)^{0,33}) - H \quad (11)$$

gdzie, Q_H^* jest bezwymiarową szybkością wydzielania ciepła wyrażoną wzorem:

$$Q_H^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot H^{2,5}) \quad (12)$$

z' oznacza pionowe położenie wirtualnego źródła ciepła określone wzorem:

$$z' = 2,4D \cdot (Q_D^{2/5} - Q_D^{2/3}) \text{ gdy } Q_D < 1,0 \quad (13)$$

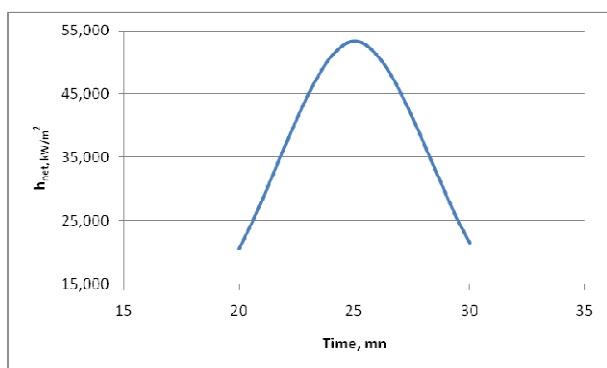
$$z' = 2,4D \cdot (1,0 - Q_D^{2/3}) \text{ gdy } Q_D \geq 1,0 \quad (14)$$

w którym:

$$Q_D^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot D^{2,5}) \quad (12)$$

Otrzymane wyniki dla analizowanego przypadku przedstawia wykres 2. Wyniki przedstawiają wartości dla $r=2,0\text{m}$ i $\Theta_m=20^\circ\text{C}$.

Wykres 2. Wyniki otrzymane dla pożaru lokalnego zgodnie z [1] dla przypadku w którym płomienie sięgają sufitu

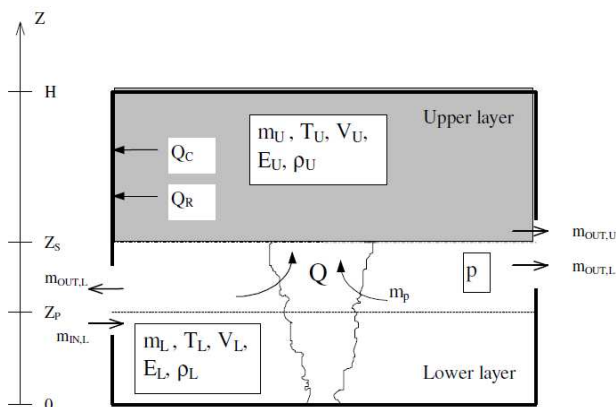


Strumień ciepła netto \dot{h}_{net} odbierany przez jednostkę powierzchni w poziomie sufitu, na którą oddziałuje pożar oblicza się ze wzoru (9a).

4. Model dwustrefowy

Modele strefowe wymagają stosowania oprogramowania numerycznego, za pomocą którego jest określana temperatura gazów w środowisku pożaru w funkcji czasu. Modele te opierają się na założeniu, że temperatura jest jednakowa w każdej ze stref. Uproszczenie to powoduje, że modele te nie powinny być stosowane do oceny wpływu pożaru na pojedyncze elementy konstrukcji.

W analizie wykorzystano program OZone v2.2 [3], umożliwiający określanie temperatur gazów w modelach jedno i dwustrefowych zgodnie z [1]. Rysunek 6 przedstawia sposób, w jaki jest rozpatrywany model dwustrefowy.

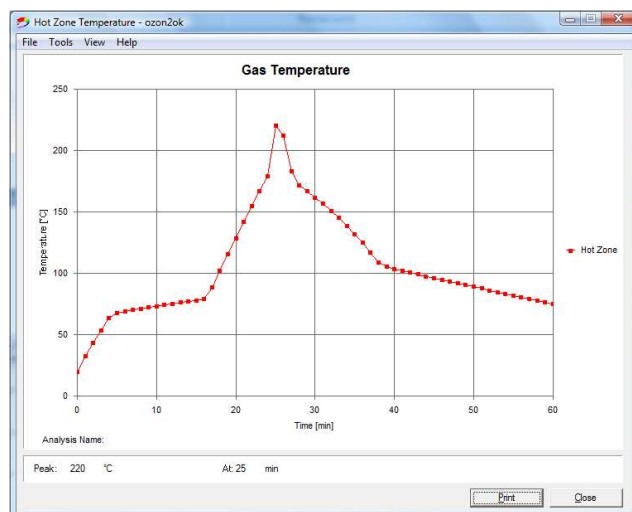


Rys 7. A compartment in a two zone model [2]

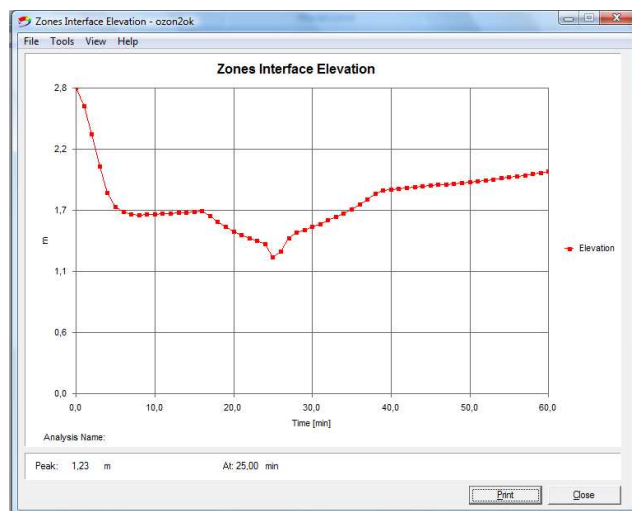
Modele strefowe pozwalają na uwzględnienie w obliczeniach informacji na temat parametrów fizycznych przegród budowlanych oraz występujących w nich otworów (wentylacji). W obliczeniach przyjęto, że ściany, podłoga oraz sufit są wykonane z betonu zwykłego. Do programu wprowadzono dane dotyczące wentylacji przestrzeni garażu. Założono, że wymiana powietrza następuje poprzez trzy kratki wentylacyjne o wymiarach 0.2m x 0.2m, oraz otwartą bramę wjazdową o wymiarach 2.2m x 5.0m. Ponieważ w programie nie można uwzględnić danych dotyczących opóźnienia otwarcia

bramy przyjęto, że jest ona otwarta przez cały czas trwania pożaru.

Na rysunku 8 przedstawiono obliczoną temperaturę górnej warstwy gazów, a na rysunku 9 jej wysokość w funkcji czasu. Wartości maksymalne wystąpiły w 25 minucie trwania pożaru obliczeniowego i wynosiły odpowiednio 220°C i 1,57 m.



Rys 8. Temperatura górnej warstwy



Rys 9. Wysokość górnej warstwy w funkcji czasu. Maksymalna grubość górnej warstwy wyniosła 1,57m w 25 minucie

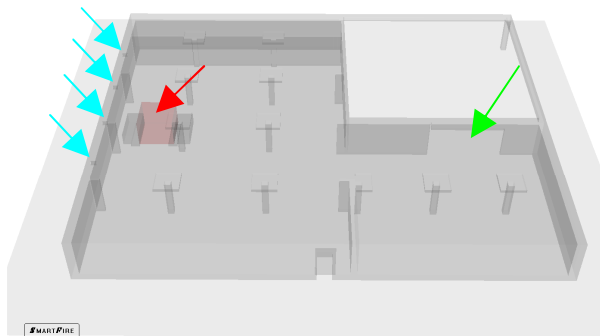
5. Model numerycznej mechaniki płynów (CFD)

Obliczenia (symulacje) wykonano programem SMARTFIRE v4.1 [9]. Wykorzystuje on matematyczne modele przepływu, transferu ciepła, promieniowania, transportu dymu oraz turbulencji. Umożliwia to wykonywanie zaawansowanych obliczeń przebiegu pożaru. Program zapewnia dobre odwzorowanie rzeczywistych warunków pożaru oraz umożliwia kontrolę na zakresie popełnianych błędów.

Programy CFD, w porównaniu z wyżej omówionymi modelami, pozwalają na wprowadzanie znacznie więk-

szej liczby danych. Umożliwia to wykonanie obliczeń bardziej zgodnych z przyjętym scenariuszem. W rozpatrywanym przypadku przyjęto, że brama wjazdowa zostanie otwarta po upływie 1200 sekund od początku pożaru. Odpowiada to w założonym czasie przyjazdu straży pożarnej. Podobnie jak w poprzednim modelu przyjęto, że przegrody budowlane wykonane są z betonu. Grubość ścian stropów wynosi 0,4 m. Wymiary przekroju słupa przyjęto: 0,4 x 0,4 m.

Symulacje wykonano przy stałym kroku czasowym wynoszącym 1 sekundę. Liczba iteracji dla każdego kroku czasowego wynosiła 30. Wykorzystano siatkę obliczeniową złożoną z 155295 komórek. Rysunek 10 przedstawia przyjęty model 3D, wykonany na podstawie rzutu kondygnacji garażu przedstawionej na rys. 2.

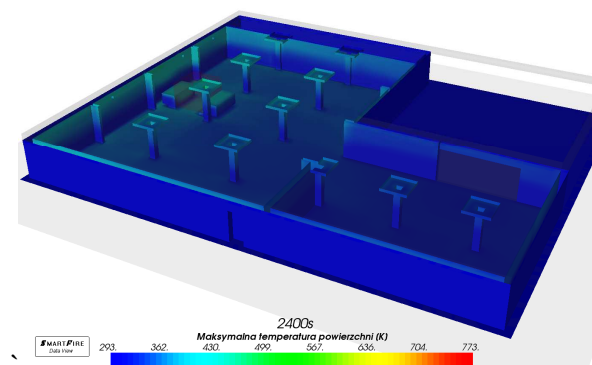
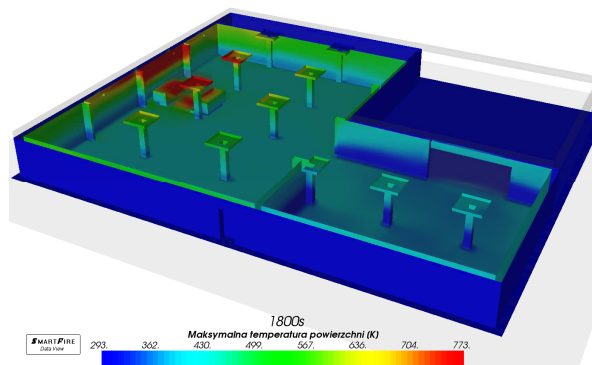
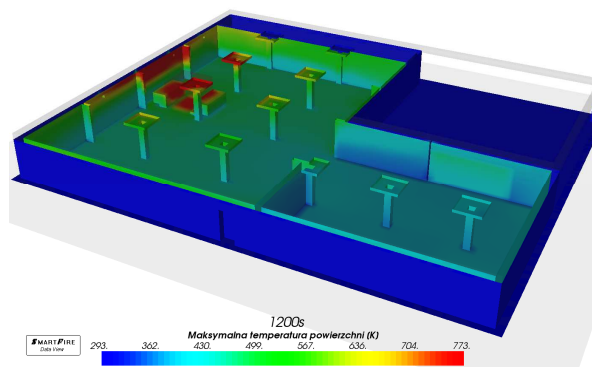
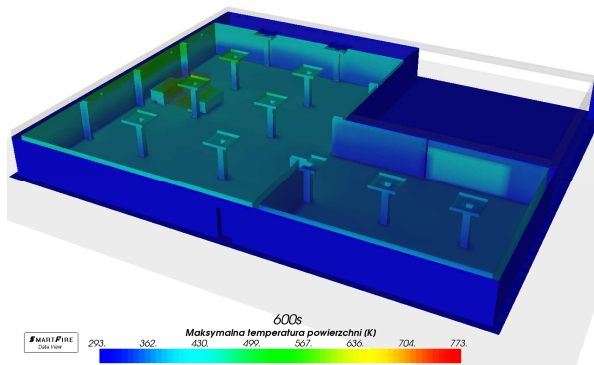


Rys 10. Model 3D przyjęty w obliczeniach. Czerwoną strzałką oznaczono pozycję pożaru. Strzałki niebieskie pokazują lokalizację kanałów wentylacyjnych. Strzałka zielona pokazuje lokalizację bramy wjazdowej.

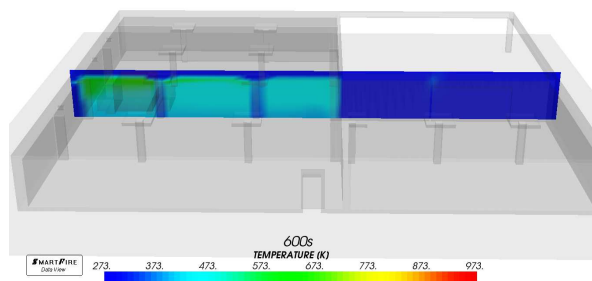
Niżej podano przykłady wyników obliczeń. Rysunek 11 przedstawia temperaturę powierzchni elementów w różnych momentach trwania pożaru, a rysunki 12 i 13 rozkład temperatury gazów w analizowanym pomieszczeniu.

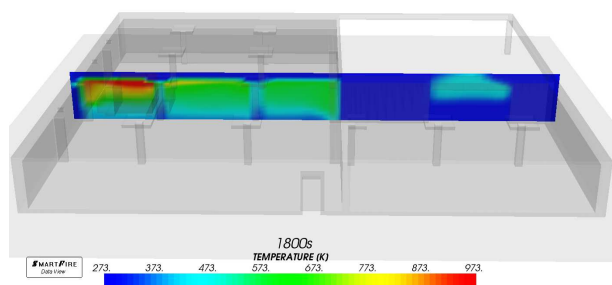
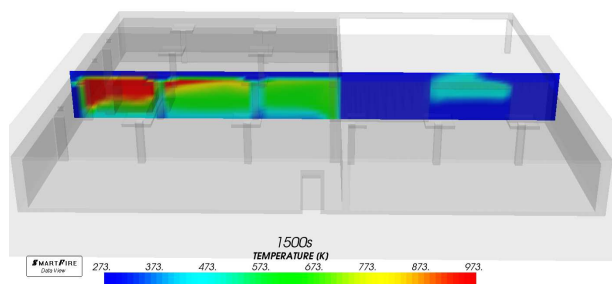
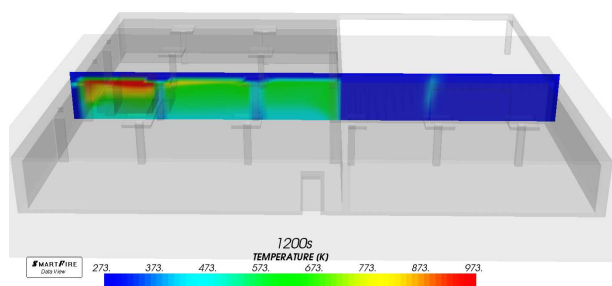
Na podstawie map podanych na rys. 11 - 13 jest możliwa szybka ogólna ocena uzyskanych wyników obliczeń. Na tej podstawie można zlokalizować miejsca, w których należy przeprowadzić dokładniejszą analizę.

Program umożliwia również precyzyjne określanie wartości szukanych wielkości fizycznych w każdym punkcie analizowanej przestrzeni. Przykładowo podano przebieg zmienności dwóch z nich.

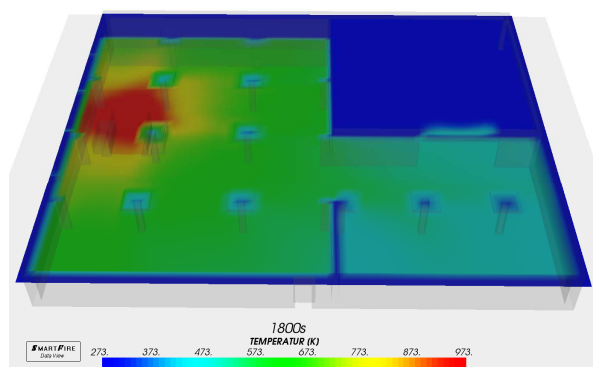
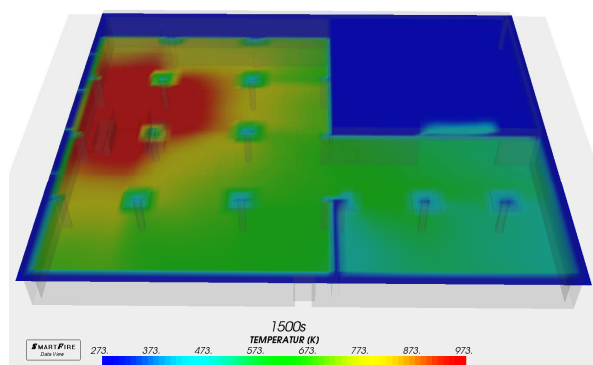
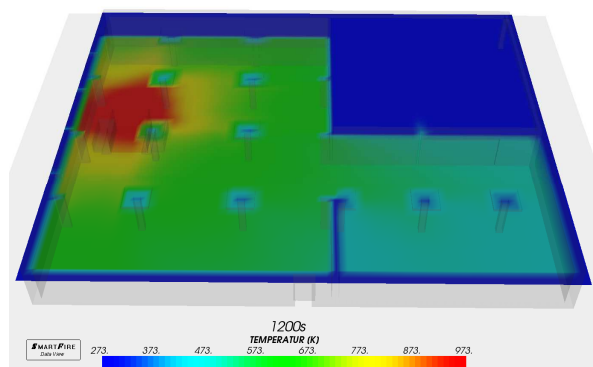
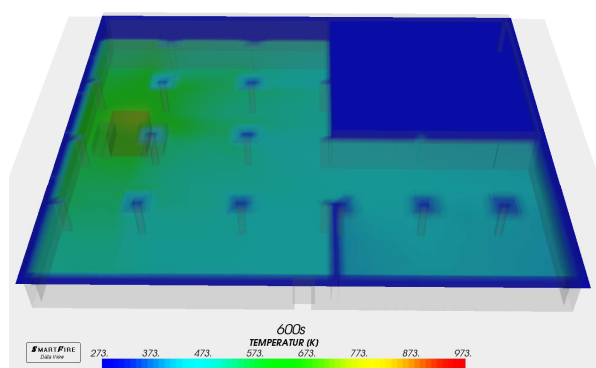


Rys 11. Temperatura powierzchni elementów konstrukcyjnych.



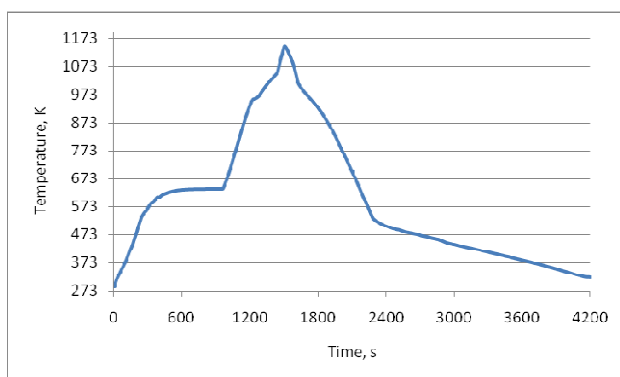


Rys 12. Temperatura gazów w przekroju poprzecznym.



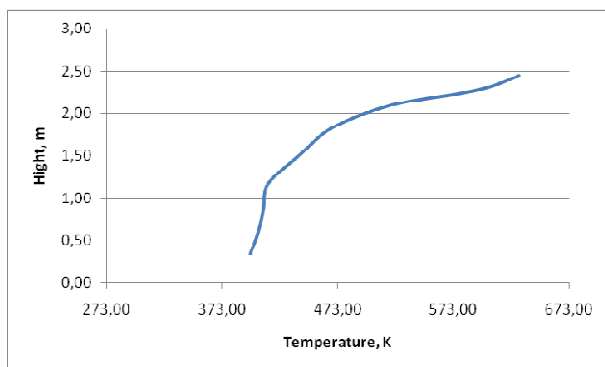
Rys 13. Temperatura w przekroju poziomym na wysokości 2.5m.

Na rysunku 14 podano temperaturę pod stropem garażu w funkcji czasu, w punkcie oddalonym o 2 m od osi pożaru (w pobliżu analizowanego słupa).



Rys 14. Temperatura gazów pod sufitem w odległości 2m od osi pożaru.

Na rysunku 15 podano rozkład temperatury gazów wzdłuż wysokości słupa przy krawędzi znajdującej się najbliższej płonącego samochodu.



Rys 15. Rozkład temperatury gazów wzdłuż krawędzi słupa w bezpośrednim sąsiedztwie pożaru w 15 minucie symulacji.

6. Analiza wyników uzyskanych różnymi metodami

Wyniki otrzymane za pomocą trzech przeanalizowanych modeli istotnie różnią się od siebie, zarówno co do ilości otrzymywanych danych, ich wartości, jak i stopnia przydatności do oceny bezpieczeństwa konstrukcji. W szczególności należy zauważyć duże różnice między otrzymanymi temperaturami gazów.

Maksymalna średnia temperatura określona dla strefy podsufitowej w modelu strefowym, w 25 minucie pożaru, wyniosła zaledwie 220°C. Analogiczna temperatura otrzymana w modelu CFD przekroczyła 700°C.

Model pożaru lokalnego w ogóle nie pozwala na bezpośrednie określenie temperatury gazów w sąsiedztwie pożaru. Na podstawie określonej temperatury płomienia można jednak wnioskować, że znacznie przekroczy ona wartości uzyskane w modelu dwustrefowym.

Warto zwrócić uwagę na określenie przydatności poszczególnych modeli do analizy bezpieczeństwa konstrukcji. W rozpatrywanym przypadku szacowanie skutków pożaru sprowadza się do określenia jego wpływu na konkretny element konstrukcyjny (słup żelbetowy) znajdujący się w najbliższym pożaru. Kierując się zasadą, że w

obliczeniach należy uwzględniać wielkości najbardziej niekorzystne do dalszej analizy nośności konstrukcji należałoby wykorzystać wyniki otrzymane dla modelu numerycznej mechaniki płynów. Model ten może być wykorzystywany jako najpewniejsze źródło danych do dalszych analiz.

Jako drugi pod względem przydatności można sklasyfikować model pożaru lokalnego. Jest on prostszy, uwzględnia znacznie mniej zmiennych wejściowych, jednak w wyniku otrzymuje się jedynie temperaturę płomienia i strumień ciepła wnikaający w powierzchnię elementu. W pewnych przypadkach informacje te mogą być wystarczające.

Model pożaru lokalnego jest szczególnie popularny przy projektowaniu konstrukcji stalowych, ponieważ w są dostępne wzory pozwalające przeliczać otrzymane wartości strumienia ciepła na temperaturę elementów stalowych [?]. Zakłada się tam jednak równomierny rozkład temperatury w całym elemencie. Przy rozpatrywaniu elementów żelbetowych nie można zastosować takiego uproszczenia, co powoduje, że model pożaru lokalnego staje się mniej przydatny.

Model dwustrefowy jest mało przydatny do analiz odporności ogniowej pojedynczych elementów konstrukcyjnych, ponieważ temperatura obliczana za jego pomocą jest wartością średnią dla całej górnej warstwy. Temperatura ta jest więc znacznie zaniżona w stosunku do maksymalnych wartości temperatury występujących lokalnie.

7. Wnioski

Obecnie, w praktyce do oceny bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji najczęściej są wykorzystywane nominalne modele pożarów. Dokładniejszą ocenę zapewniają jednak modele pożarów naturalnych. Wymagają one bardziej pracochłonných analiz, jednak dzięki ich przeprowadzeniu jest możliwe obniżenie kosztów realizacji inwestycji oraz niekiedy dopuszczenie do realizacji nowatorskich skomplikowanych rozwiązań.

W pracy przedstawiono wybrane metody służące do prognozowania przebiegu pożaru naturalnego oraz podjęto próbę oceny ich przydatności do prognozowania bezpieczeństwa konstrukcji. Analizy wykonano, na przykładzie scenariusza pożaru zakładającego zapalenie się pojedynczego samochodu w garażu podziemnym o konstrukcji żelbetowej, zlokalizowanego pod budynkiem mieszkalnym.

Najbardziej wiarygodną ocenę zapewnia model numerycznej mechaniki płynów (CFD). W wyniku jego zastosowania jest możliwe oszacowanie temperatury gazów w dowolnym miejscu rozpatrywanej strefy, w dowolnej chwili rozpatrywanego pożaru. Model ten może być zatem przydatny zarówno do przeprowadzenia globalnej analizy konstrukcji, jak i do lokalnych analiz poszczególnych elementów.

Model pożaru lokalnego jest prostszy, uwzględnia znacznie mniej danych wejściowych, a w wyniku otrzymuje się jedynie temperaturę płomienia i strumień ciepła wnikaający w powierzchnie elementu. Parametry te mogą być wystarczające do dalszych analiz konstrukcji stalowych, kiedy można założyć równomierny rozkład temperatury w całym elemencie. Przy rozpatrywaniu elementów żelbetowych nie stosuje się takiego uproszczenia, co powoduje, że model pożaru lokalnego staje mało przydatny.

Model dwustrefowy jest mało przydatny do analiz odporności ogniowej pojedynczych elementów konstrukcyjnych, ponieważ w wyniku otrzymuje się średnią temperaturę całej górnej warstwy. Temperatura ta jest więc znacznie zaniżona w stosunku do wartości maksymalnych występujących lokalnie.

References

- [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] Projekt ECSC. "Development of design rule for steel structures subjected to natural fires in closed car parks" European Commission Directorate-General for Research; 1999.
- [4] Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich 89/106/EWG z 21 grudnia 1988 r. w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych państw członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych. Wyd. w jęz. Polskim: ITB. Warszawa 1994.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. nr 72 z dnia 15.06.2002r., poz. 690 (z późn. zm.)
- [6] PN-EN 1990:2004. Eurokod- Podstawy projektowania konstrukcji
- [7] Kowalski R.: Obliczeniowa ocena nośności zginanych elementów żelbetowych w sytuacji pożaru. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej. Budownictwo. 149/2008.
- [8] Valorisation project: Natural Fire Safety Concept. 2001.
- [9] J.Ewer, F.Jia, A.Grandison, I.Frost, E.Galea and M.Patel; Smarfire V4.1, User Guide for the Smartfire Environment, The University of Greenwich 2008.