

*bryg. dr inż. Waldemar WNEK  
st. kpt. mgr inż. Przemysław KUBICA  
st. ogn. pchor. inż. Sylwia BOROŃ  
sekc. pchor. Marcin BURDA  
Katedra Bezpieczeństwa Budowli  
Zakład Technicznych Systemów Zabezpieczeń, SGSP*

## Analiza możliwości zastosowania mechanicznego nawiewu kompensacyjnego w systemach grawitacyjnego usuwania dymu z klatek schodowych

W artykule przedstawiono analizę możliwości zastosowania mechanicznego nawiewu powietrza w systemach oddymiania grawitacyjnego. Celem badania było porównanie metod oddymiania grawitacyjnego z nawiewem naturalnym i oddymiania grawitacyjnego z nawiewem mechanicznym. Na podstawie dokonanej analizy sformułowano wnioski z wykonanych badań.

The article presents an analysis of the possibility of using mechanical airflow in gravitational smoke removal systems.

The goal of the research was comparing methods of gravitational smoke removal systems and gravitational smoke removal with mechanical airflow. Analysis of the results served as basis for research conclusions.

**Słowa kluczowe:** kłapa dymowa, efekt kominowy, widoczność, natężenie przepływu powietrza, ewakuacja.

**Keywords:** smoke venting, chimney effect, visibility, airflow intensity, evacuation.

## 1. Wstęp

Zabezpieczenie pionowych dróg ewakuacyjnych (klatek schodowych) przed zadymieniem jest kluczowym zagadnieniem w koncepcji bezpieczeństwa ewakuacji z budynków. Współcześnie funkcjonują dwa sposoby zabezpieczenia klatek schodowych:

- zapobieganie zadymieniu (metoda nadciśnieniowa);
- usuwanie dymu z klatki schodowej (metoda grawitacyjna).

Systemy nadciśnieniowe zapewniają najwyższy poziom bezpieczeństwa, ponieważ uniemożliwiają przedostanie się dymu na klatkę schodową. Systemy te obligatoryjnie wymagane są w budynkach wysokich, za wyjątkiem mieszkalnych, oraz wszystkich wysokościowych. Ich stosowanie regulują odpowiednie normy i zasady wiedzy technicznej, m.in. PN-EN 12101-6:2007 [1], Instrukcja ITB 378/2002 [2].

Usuwanie dymu z klatek schodowych najczęściej wykonywane jest w sposób grawitacyjny. Kłapa dymowa umieszczana jest w dachu nad klatką schodową, a napływ powietrza odbywa się przez drzwi wyjściowe. Mechanizmem napędzającym przepływ jest tzw. „efekt kominowy” wynikający z różnicy gęstości gazów, będącej skutkiem różnicy temperatur w klatce i na zewnątrz klatki. Różnica gęstości gazów powoduje powstanie siły wyporu, która wytwarza różnicę ciśnień, co prowadzi do ruchu gazu.

W sytuacji, gdy temperatura otoczenia będzie wyższa niż temperatura wewnątrz klatki schodowej, gęstość powietrza w klatce będzie większa niż gęstość powietrza na zewnątrz. Wystąpi wtedy zjawisko tzw. „odwróconego efektu kominowego”. Wówczas przepływ powietrza będzie przebiegał w dół klatki schodowej, a dym zamiast wypływać z klatki przez otwór oddymiający, będzie w niej zalegał lub przepływał w dół do wyjścia ewakuacyjnego na zewnątrz budynku.

Technologia grawitacyjnego usuwania dymu z klatek schodowych powszechnie stosowana jest w oparciu o Polską Normę PN-B-02877-4:2001 [3]. Metodyka obliczeń powierzchni klap dymowych oraz otworów napowietrzających bazuje jedynie na powierzchni rzutu klatki schodowej. Zgodnie z tą normą przyjmuje się, że powierzchnia czynna klapy dymowej powinna wynosić co najmniej 5% rzutu klatki schodowej w budynkach do 25 m i 7,5% w budynkach powyżej 25 m. Powierzchnia otworu napowietrzającego powinna wynosić nie mniej niż 130% powierzchni otworu oddymiającego.

Zabezpieczenie klatki schodowej za pomocą instalacji do usuwania dymu budzi wśród fachowców uzasadnione wątpliwości. Dotyczą one m.in.: liczby drzwi, przez które będzie realizowany napływ powietrza zewnętrznego, stosowania nawiewu mechanicznego w przypadku, gdy wyjście z klatki prowadzi przez hol lub wiatrołap, doboru parametrów wentylatora nawiewnego, braku

badania weryfikujących skuteczność tego rozwiązania. Ponadto, w literaturze branżowej, specjaliści sygnalizują, że „samo grawitacyjne oddymianie klatki schodowej w budynku nie zapewnia na niej odpowiednich warunków ewakuacji” [4]. Po otwarciu klapy dymowej w dachu nad klatką oraz drzwi wejściowych na parterze umożliwiających napływ powietrza, tworzy się ciąg kominowy, do którego może być zasysany dym z kondygnacji objętej pożarem. Tym samym zakłada się występowanie dymu na drodze ewakuacyjnej, co pozostaje w sprzeczności z zapewnianiem warunków bezpiecznej ewakuacji.

Mając na uwadze powyższe, nasuwa się pytanie, jakie przesłanki skłaniają projektantów, aby wyposażać klatki schodowe w takie instalacje?

Formalnie możliwość stosowania urządzeń do usuwania dymu na klatkach schodowych wynika z paragrafu 245 aktualnie obowiązującego rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [5]. Urządzenia do usuwania dymu znalazły się w powyższym rozporządzeniu już w 1994 r. i przetrwały wszystkie dotychczasowe zmiany i aktualizacje. Wcześniej, w 1980 r., urządzenia te nieco inaczej nazwane, występowały w rozporządzeniu Ministra Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki [6]. Tamże, w paragrafie 237, pojawił się zapis wymagający wyposażania klatek schodowych w pewnych budynkach w „urządzenia do awaryjnego usuwania dymów i gazów pożarowych”. Niestety, mimo upływu 32 lat, urządzenia do usuwania dymu nie doczekały się jednoznacznego zdefiniowania, ani określenia celu, jakiemu mają służyć. Warto jednak zwrócić uwagę na dwa fakty. Po pierwsze, autorzy przepisów już w 1980 r. mieli świadomość, że aby zapewnić możliwość ewakuacji klatką schodową, nie wolno dopuścić do jej zadymienia. Potwierdza to wymóg stosowania „urządzeń zapobiegających przenikaniu dymu i gazów pożarowych” stawiany budynkom powyżej 25 m. Po drugie, wymóg samoczynnego uruchamiania urządzeń do usuwania dymu pojawił się dopiero w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z 2002 r. [5] i dotyczył tylko budynków wysokich, a po zmianie w 2010 r., jedynie budynków wysokich produkcyjno-magazynowych.

Na podstawie powyższej analizy wymagań formalnych, można wnosić, że główną funkcją tych urządzeń jest ułatwianie działań ratowniczo-gaśniczych prowadzonych przez straż pożarną: po przyjeździe na miejsce pożaru strażacy przyciskiem lub dźwignią otwierają otwór w stropie, po czym następuje wypływ dymu i gazów pożarowych w stopniu umożliwiającym im dotarcie do miejsca zdarzenia. Tym samym można sformułować **pierwszy cel** stosowania urządzeń do usuwania dymu: *zabezpieczenie przed obniżaniem się poziomemu dymu w niewydzielonej przeciwpożarowo klatce schodowej poniżej kondygnacji objętej pożarem.*

Odrębnym przypadkiem są sytuacje wynikające z paragrafu 256 rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [5]. Przepis ten nakłada

obowiązek stosowania urządzeń do usuwania dymu, wraz z jednoczesnym stosowaniem drzwi do klatki schodowej o klasie odporności ogniowej EI 30. Drzwi te, dzięki wyposażeniu w samozamykacze i klasie odporności ogniowej, zabezpieczają przed przedostaniem się dymu do przestrzeni klatki schodowej. Wymaganie nałożone przez paragraf 256 ma ścisły związek z warunkami ewakuacji w budynku, ponieważ pozwala skrócić długość dojścia ewakuacyjnego, które wówczas mierzone jest do drzwi na klatkę schodową, zamiast do drzwi wyjściowych z budynku. Dym może dostać się na klatkę schodową jedynie w trakcie ewakuacji z zagrożonej kondygnacji. Na tej podstawie można sformułować **drugi cel** stosowania urządzeń do usuwania dymu: *możliwie najszybsze usunięcie dymu z wydzielonej przeciwpożarowo klatki schodowej, w celu poprawy warunków ewakuacji.*

## 2. Założenia metodologiczne badań

Głównym celem przeprowadzonej pracy badawczej była ocena możliwości zastosowania mechanicznego nawiewu powietrza w systemach oddymiania grawitacyjnego. Na wstępie dokonano analizy funkcjonalności instalacji do grawitacyjnego usuwania dymu. Na tej podstawie opracowano plan doświadczenia, w którym uwzględniono możliwe scenariusze zdarzeń w przypadku pożaru. W trakcie badań analizowano widoczność w przestrzeni zadymionej klatki schodowej przy założonych wydatkach objętościowych mechanicznie nawiewanego powietrza. Uzyskane wyniki porównywano z warunkami uzyskanymi podczas grawitacyjnego napływu powietrza realizowanego zgodnie z normą PN-B-02877-4:2001. Równoległe do badań wykonano symulacje komputerowe warunków zadymienia w klatce schodowej w celu sprawdzenia przydatności tego narzędzia inżynierskiego do projektowania oddymiania klatek.

Do przeprowadzenia badań przyjęto dwa możliwe scenariusze przebiegu pożaru w odniesieniu do klatki schodowej:

- pożar w budynku, w którym klatka pożarowa **nie jest** wydzielona przeciwpożarowo;
- pożar w budynku, w którym klatka pożarowa **jest** wydzielona przeciwpożarowo.

Badania realizowano odmiennie dla poszczególnych scenariuszy.

W przypadku pożaru w budynku, w którym klatka pożarowa **nie jest** wydzielona przeciwpożarowo, drzwi z klatki schodowej na kondygnację objętą pożarem pozostaną otwarte przez cały czas trwania pożaru. Dym będzie wydostawał się na klatkę schodową w trakcie pożaru. Urządzenia do usuwania dymu będą służyć do zabezpieczenia przed obniżaniem się poziomu dymu w klatce schodowej poniżej kondygnacji objętej pożarem oraz w marginalnym stopniu do rozrzedzania zadymienia na kondygnacji powyżej.

W tym scenariuszu przyjęto następujący przebieg badania:

- a) otwarcie drzwi do pomieszczenia objętego pożarem;
- b) otwarcie otworu oddymiającego i otworu napowietrzającego lub otwarcie otworu oddymiającego i uruchomienie wentylatora napowietrzającego;
- c) inicjacja pożaru (podpalenie alkoholu na tacy oraz włączenie generatora dymu);
- d) uruchomienie przyrządów pomiarowych;
- e) prowadzenie pomiarów przez 10 minut.

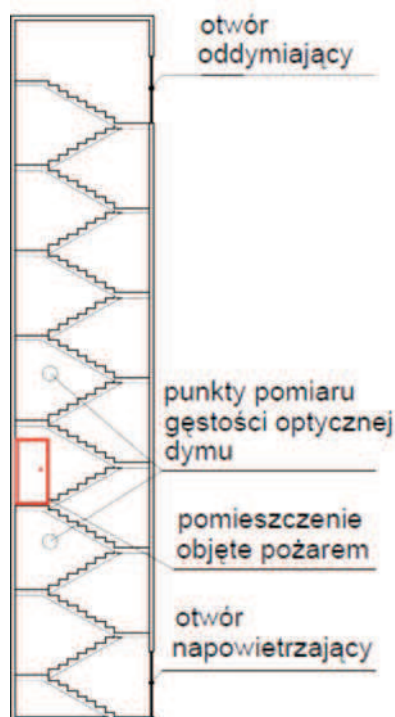
W trakcie pożaru, w budynku, w którym klatka pożarowa **jest** wydzielona przeciwpożarowo drzwiami z klatki schodowej na kondygnację objętą pożarem pozostaną otwarte tylko przez czas ucieczki osób z zagrożonej kondygnacji. Przyjęto, że ewakuacja z kondygnacji będzie trwała dwie minuty, po czym drzwi zostaną samoczynnie zamknięte. Urządzenia do usuwania dymu będą służyć do możliwie najszybszego usunięcia dymu z klatki schodowej w celu zapewnienia warunków bezpiecznej ewakuacji.

W tym scenariuszu przyjęto następujący przebieg badania:

- a) otwarcie otworu oddymiającego i otworu napowietrzającego lub otwarcie otworu oddymiającego i uruchomienie wentylatora napowietrzającego;
- b) inicjacja pożaru (podpalenie alkoholu na tacy oraz załączenie generatora dymu);
- c) uruchomienie przyrządów pomiarowych;
- d) po upływie jednej minuty od inicjacji pożaru otwarcie drzwi do pomieszczenia objętego pożarem;
- e) po upływie trzech minut od inicjacji pożaru zamknięcie drzwi do pomieszczenia objętego pożarem;
- f) prowadzenie pomiarów do momentu uzyskania całkowitej przezroczystości na klatce schodowej.

Badania realizowano w 8-kondygnacyjnej klatce schodowej o wymiarach rzutu poziomego  $4 \times 1,85$  m i wysokości 21 m. Klatka została wyposażona w otwór oddymiający o powierzchni czynnej  $0,4$  m<sup>2</sup>, co stanowiło 5% rzutu poziomego klatki, zgodnie z normą PN-B-02877-4:2001. Drzwi do klatki, które stanowiły otwór napowietrzający w wariantcie z napływem grawitacyjnym, miały powierzchnię  $1,68$  m<sup>2</sup>. Spełniono tym samym wymóg ww. normy odnośnie zapewnienia otworu napowietrzającego o powierzchni co najmniej 130% otworu oddymiającego. W wariantcie z napływem mechanicznym w otworze drzwiowym zamontowano w sposób szczelny wentylator nawiewny.

Do symulacji warunków pożaru wykorzystano wytwornicę dymu teatralnego. Dym podgrzewano za pomocą jednego litra alkoholu metylowego, płonącego na tacy o wymiarach  $297 \times 210$  mm i wysokości 45 mm. Tak dobrane źródło ciepła zapewniało moc 26 kW. Dobierając źródło pożaru, oparto się na normie australijskiej „Smoke management systems – Hot smoke test” [7]. Miejsce pożaru zlokalizowano w pomieszczeniu przylegającym do klatki schodowej, na trzecim piętrze.



*Rys. 1. Schemat klatki schodowej, w której przeprowadzono badania*

Klatkę wyposażono w aparaturę pomiarową:

- dwa densytometry do pomiaru optycznej gęstości dymu, wyrażonej w przezroczystości na drodze jednego metra. Densytometry umieszczono na kondygnacji powyżej miejsca pożaru oraz na kondygnacji poniżej miejsca pożaru, czyli odpowiednio na czwartym i drugim piętrze;
- cztery termopary zlokalizowane w pomieszczeniu objętym pożarem, przy densytmetrach oraz na zewnątrz klatki schodowej;
- przepływomierz i manometr do pomiaru parametrów wentylatora, umieszczone przy wentylatorze nawiewnym.

W celu scharakteryzowania obiektu badań przyjęto:

- wielkości wejściowe – niezależne wielkości, których wpływ na wielkość wyjściową stanowi istotę badania.  
Wielkość wejściową stanowiła wydajność wentylatora napowietrzającego oraz nawiew grawitacyjny realizowany przez otwarte drzwi. Przyjęto następujące wartości wielkości wejściowe: 2000 m<sup>3</sup>/h, 4000 m<sup>3</sup>/h, 8000 m<sup>3</sup>/h.
- wielkości wyjściowe – zależne od wielkości wejściowych, stanowiące efekt funkcjonowania obiektu badań.

Jako wielkości wyjściowe, umożliwiające porównanie metod oddymiania grawitacyjnego z nawiewem naturalnym i oddymiania z nawiewem mechanicznym

nym, przyjęto widoczność na kondygnacji poniżej miejsca pożaru oraz widoczność na kondygnacji powyżej miejsca pożaru.

- wielkości stałe – mające wpływ na wielkości wyjściowe, ale pozostające poza obszarem badań.

Za wielkości stałe przyjęto moc pożaru, geometrię klatki, powierzchnię otworu oddymiającego.

Liczbę powtórzeń badania ograniczono do trzech. Jako miarę położenia wielkości wyjściowej przyjęto średnią arytmetyczną, a jako miarę rozproszenia – różnicę między wartością maksymalną i minimalną [8].

### 3. Wyniki badań

#### Pożar w budynku, w którym klatka pożarowa nie jest wydzielona przeciwpożarowo

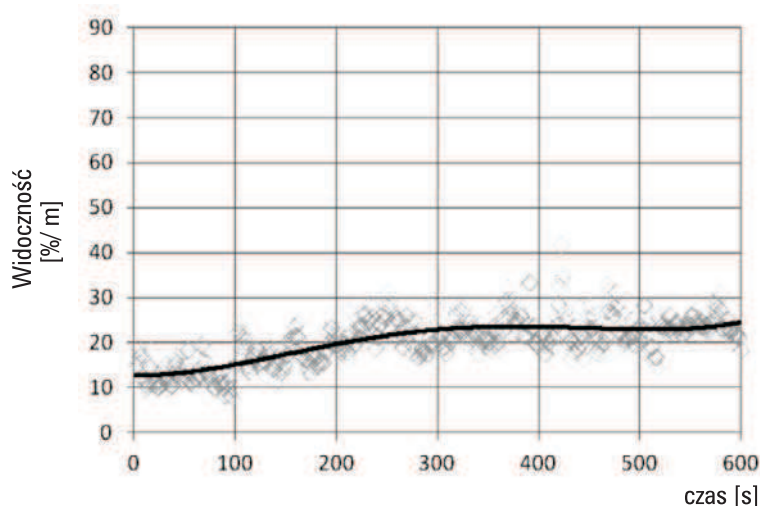
Wielkości wyjściowe mierzone w trakcie badania:

- $z_1$ : widoczność na klatce schodowej na kondygnacji poniżej miejsca pożaru,
- $z_2$ : widoczność na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru.

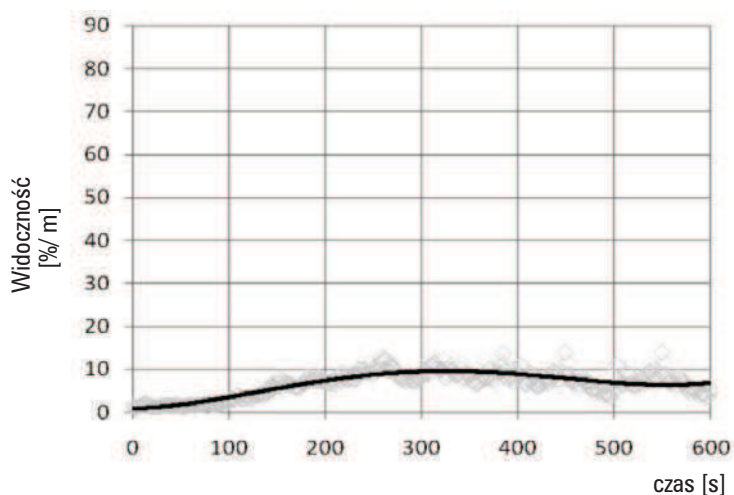
Pomiary prowadzono przy temperaturze na zewnątrz wynoszącej ok.  $7^{\circ}\text{C}$ , temperatura początkowa w klatce schodowej wynosiła ok.  $12^{\circ}\text{C}$ .

Widoczność na klatce schodowej na kondygnacji poniżej miejsca pożaru ( $z_1$ ) wynosiła 100%.

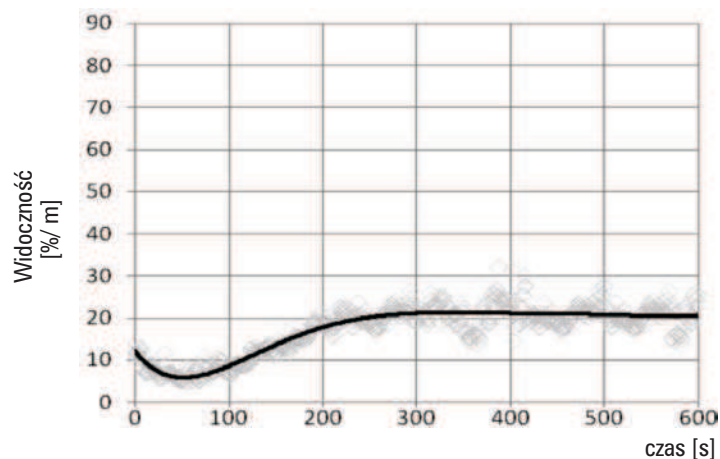
#### Nawiew grawitacyjny



*Rys. 2. Widoczność na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru ( $z_2$ ) w wariacie z nawiewem grawitacyjnym – punkty pomiarowe uśrednione na podstawie trzech pomiarów*

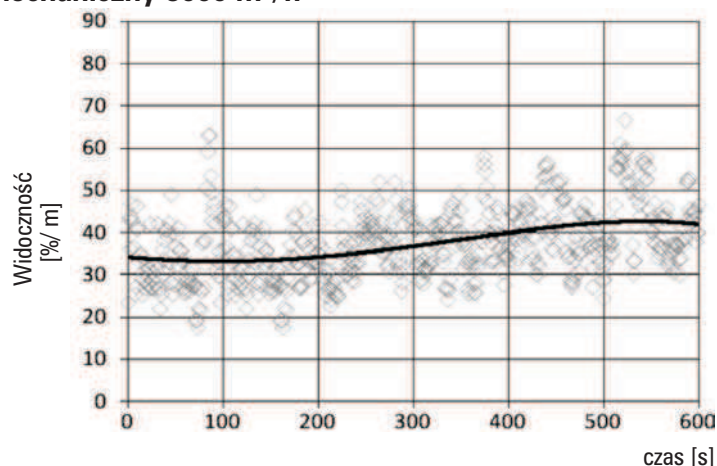
**Nawiew mechaniczny 2000 m<sup>3</sup>/h**

*Rys. 3. Widoczność na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru ( $z_2$ ) w wariacie z nawiewem mechanicznym 2000 m<sup>3</sup>/h – punkty pomiarowe uśrednione na podstawie trzech pomiarów*

**Nawiew mechaniczny 4000 m<sup>3</sup>/h**

*Rys. 4. Widoczność na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru ( $z_2$ ) w wariacie z nawiewem mechanicznym 4000 m<sup>3</sup>/h – punkty pomiarowe uśrednione na podstawie trzech pomiarów*



**Nawiew mechaniczny 8000 m<sup>3</sup>/h**

*Rys. 5. Widoczność na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru ( $z_2$ ) w wariancie z nawiewem mechanicznym 8000 m<sup>3</sup>/h – punkty pomiarowe uśrednione na podstawie trzech pomiarów*

Przy nawiewie grawitacyjnym oraz mechanicznym o wartości 2000 m<sup>3</sup>/h, widoczność na klatce schodowej początkowo nieznacznie wzrasta, po czym utrzymuje się na stałym poziomie. Przy nawiewie mechanicznym 4000 m<sup>3</sup>/h widoczność na klatce schodowej po początkowych wahaniami utrzymuje się na stałym poziomie. W odróżnieniu od pozostałych pomiarów, przy nawiewie mechanicznym 8000 m<sup>3</sup>/h zauważalny jest duży rozrzut wartości widoczności w trakcie pomiaru.

Jako parametr umożliwiający porównanie poszczególnych badań przyjęto średnią widoczność liczoną z wartości zmierzonych w trakcie całego pomiaru, tj. 600 wartości (zapis co 1 sek.).

**Tabela 1.** Widoczność na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru ( $z_2$ )

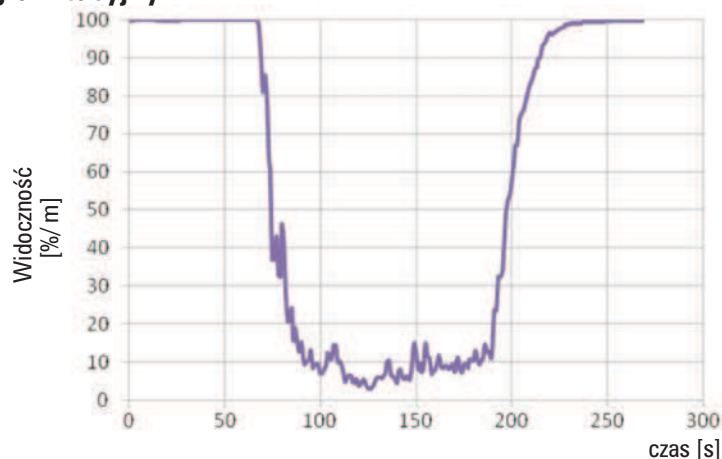
Pomiar	Widoczność średnia [%/m]			
	z nawiewem grawitacyjnym	z nawiewem mechanicznym		
		2000 m <sup>3</sup> /h	4000 m <sup>3</sup> /h	8000 m <sup>3</sup> /h
1	20,40	6,98	19,19	39,20
2	21,88	7,73	20,11	37,86
3	19,11	8,32	21,16	36,59
średnia z pomiarów	20,46	7,68	20,15	37,88
rozstęp	2,77	1,34	1,97	2,61

### Pożar w budynku, w którym klatka pożarowa jest wydzielona przeciwpożarowo

Wielkości wyjściowe, mierzone w trakcie badania:

- $z_1$ : czas utrzymywania zadymienia (obniżonej widoczności) na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru.

### Nawiew grawitacyjny

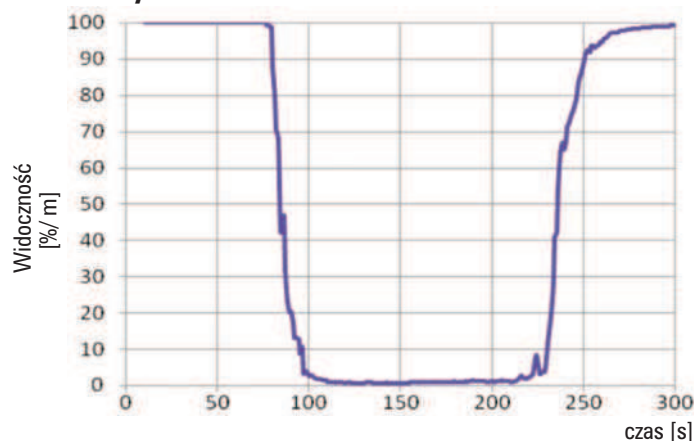


*Rys. 6. Widoczność na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru ( $z_1$ ) w wariacie z nawiewem grawitacyjnym – przebieg krzywej uśredniony na podstawie trzech pomiarów*

Jako obniżoną widoczność uznawano warunki, gdy widoczność na klatce schodowej była poniżej 90%/m.

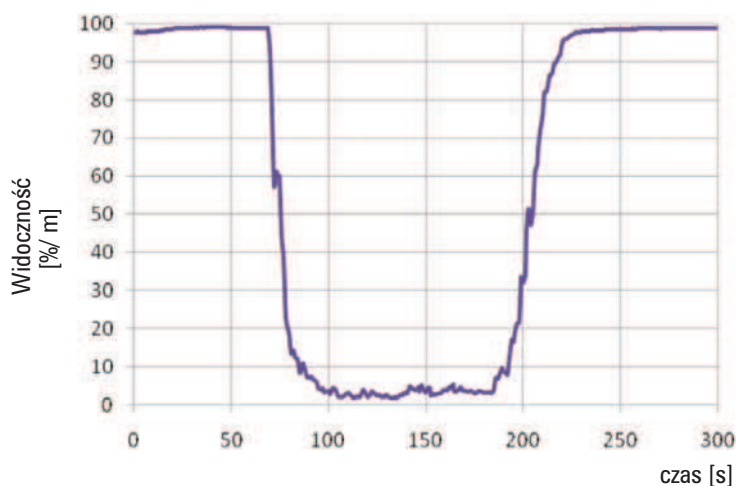
Pomiary prowadzono przy temperaturze na zewnątrz wynoszącej ok. 5°C, temperatura początkowa w klatce schodowej wynosiła ok. 10°C.

### Nawiew mechaniczny 2000 m<sup>3</sup>/h



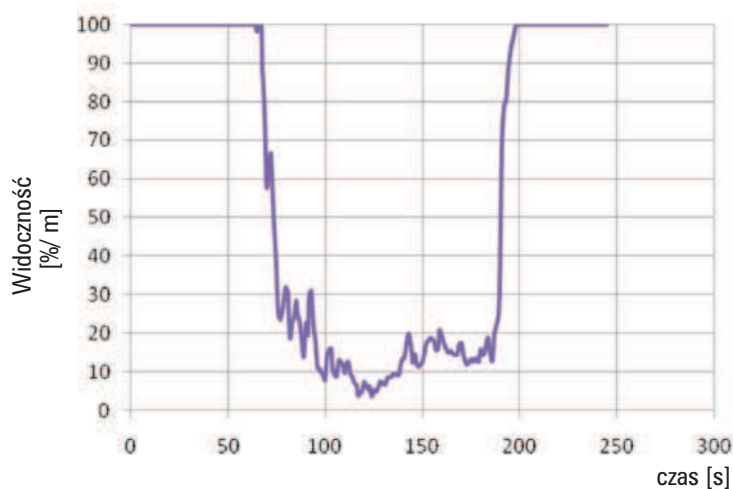
*Rys. 7. Widoczność na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru ( $z_1$ ) w wariacie z nawiewem mechanicznym 2000 m<sup>3</sup>/h – przebieg krzywej uśredniony na podstawie trzech pomiarów*

### Nawiew mechaniczny 4000 m<sup>3</sup>/h



*Rys. 8. Widoczność na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru ( $z_1$ ) w wariancie z nawiewem mechanicznym 4000 m<sup>3</sup>/h – przebieg krzywej uśredniony na podstawie trzech pomiarów*

### Nawiew mechaniczny 8000 m<sup>3</sup>/h



*Rys. 9. Widoczność na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru ( $z_1$ ) w wariancie z nawiewem mechanicznym 8000 m<sup>3</sup>/h – przebieg krzywej uśredniony na podstawie trzech pomiarów*

We wszystkich badanych przypadkach po otwarciu drzwi do pomieszczenia (60 sekunda) następuje wypływ dymu na klatkę schodową. W czasie ewakuacji z zagrożonej kondygnacji, na klatce utrzymuje się obniżona widoczność.

Po zamknięciu drzwi następuje usunięcie dymu i uzyskanie całkowitej widoczności.

**Tabela 2.** Czas utrzymywania się widoczności poniżej 90%/m ( $z_2$ )

Pomiar	Czas obniżonej widoczności [s]			
	z nawiewem grawitacyjnym	z nawiewem mechanicznym		
		2000 m <sup>3</sup> /h	4000 m <sup>3</sup> /h	8000 m <sup>3</sup> /h
1	142,00	164,00	143,00	125,00
2	146,00	173,00	139,00	127,00
3	137,00	168,00	146,00	122,00
średnia z pomiarów	141,67	168,33	142,67	124,67
rozstęp	9,00	9,00	7,00	5,00

#### 4. Analiza wyników pomiarów

Przy założeniach przyjętych jak w scenariuszu pierwszym, tj. w budynku, w którym klatka pożarowa nie jest wydzielona przeciwpożarowo, analizowano:

- widoczność na klatce schodowej na kondygnacji poniżej miejsca pożaru;
- widoczność na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru.

Wyniki przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Średnia widoczność na kondygnacji poniżej i powyżej miejsca pożaru w czasie trwania pomiaru (600 sek.)

Wariant badania	Widoczność poniżej miejsca pożaru [%/m]	Widoczność powyżej miejsca pożaru [%/m]
napowietrzanie grawitacyjne	100	20,46
napowietrzanie mechaniczne 2000 m <sup>3</sup> /h	100	7,68
napowietrzanie mechaniczne 4000 m <sup>3</sup> /h	100	20,15
napowietrzanie mechaniczne 8000 m <sup>3</sup> /h	100	37,88

Widoczność, na kondygnacji poniżej miejsca pożaru podczas każdego badania wynosiła 100%. Na tej podstawie stwierdza się, że w żadnym z badań poziom dymu nie obniżył się poniżej kondygnacji objętej pożarem.

Widoczność na kondygnacji powyżej miejsca pożaru była uzależniona od wydajności wentylacji. W warunkach badania, przy wydajności nawiewu mechanicznego wynoszącej 4000 m<sup>3</sup>/h, widoczność była zbliżona do wydajności uzyskiwanej za pomocą nawiewu grawitacyjnego. Wyższe wydajności zapewniały lepszą widoczność.

W trakcie pomiaru uzyskano niewielką wartość rozstępu między skrajnymi wynikami uzyskanymi dla poszczególnych powtórzeń – tabela 4.

**Tabela 4.** Rozstęp wyników pomiarów średniej widoczności na kondygnacji powyżej miejsca pożaru

Wariant badania	Widoczność [%/m]	Rozstęp [%/m]
napowietrzanie grawitacyjne	20,46	2,77
napowietrzanie mechaniczne 2000 m <sup>3</sup> /h	7,68	1,34
napowietrzanie mechaniczne 4000 m <sup>3</sup> /h	20,15	1,97
napowietrzanie mechaniczne 8000 m <sup>3</sup> /h	37,88	2,61

Na tej podstawie można wnioskować, że uzyskany wynik badań nie jest skutkiem czynników losowych, wpływających na pomiar, ale systematycznym oddziaływaniem wydajności wentylacji na widoczność na klatce schodowej.

Przy założeniach przyjętych jak w scenariuszu drugim, tj. w budynku, w którym klatka pożarowa nie jest wydzielona przeciwpożarowo, analizowano:

- czas utrzymywania zadymienia (obniżonej widoczności) na klatce schodowej na kondygnacji powyżej miejsca pożaru.

W trakcie pomiaru uzyskano niewielką wartość rozstępu między skrajnymi wynikami uzyskanymi dla poszczególnych powtórzeń. Wyniki przedstawiono w tabeli 5.

**Tabela 5.** Średni czas utrzymywania zadymienia

Wariant badania	Czas [s]	Rozstęp [s]
napowietrzanie grawitacyjne	141,67	9
napowietrzanie mechaniczne 2000 m <sup>3</sup> /h	168,33	9
napowietrzanie mechaniczne 4000 m <sup>3</sup> /h	142,67	7
napowietrzanie mechaniczne 8000 m <sup>3</sup> /h	124,67	5

Czas utrzymywania zadymienia na klatce schodowej uzależniony był od wydajności wentylacji. W warunkach badania, przy wydajności nawiewu mechanicznego wynoszącej 4000 m<sup>3</sup>/h, czas utrzymywania zadymienia był zbliżony do czasu uzyskiwanego przy nawiewie grawitacyjnym. Wyższe wydajności nawiewu zapewniały krótszy czas utrzymywania się zadymienia na klatce schodowej.

Można wnioskować, że uzyskany wynik badań nie jest skutkiem czynników losowych wpływających na pomiar, ale systematycznym oddziaływaniem wydajności wentylacji na czas zadymienia na klatce schodowej.

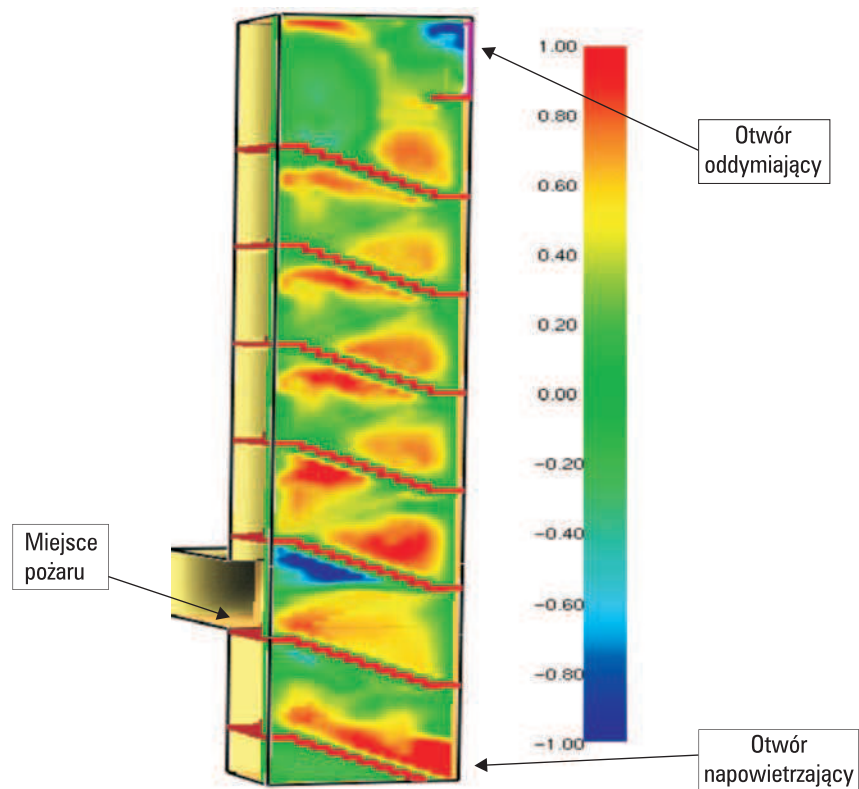
## 5. Symulacje komputerowe

Równoległe z prowadzonymi badaniami, za pomocą powszechnie stosowanego programu FDS, wykonywano symulacje komputerowe. Ich celem było wyznaczenie wydajności powietrza, napływającego przy grawitacyjnym napowietrzeniu klatki.

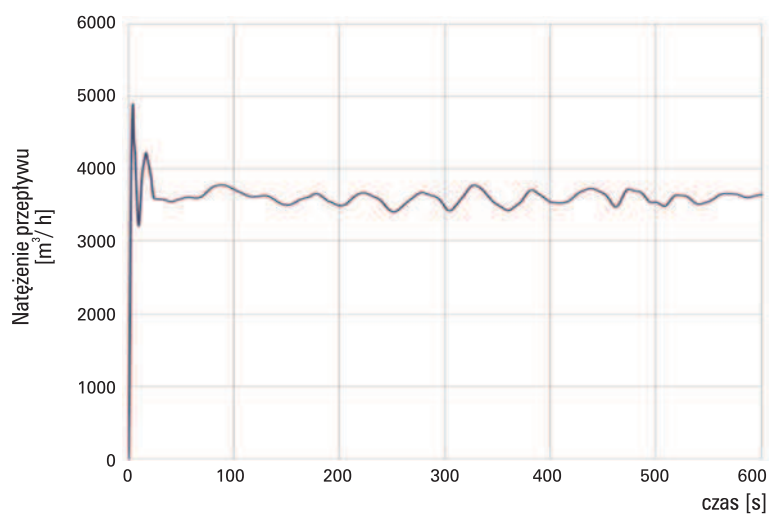
Na rys. 10 przedstawiono przykładowy rozkład prędkości w kierunku poziomym, wyrażony w m/s w 180 sekundzie badania.

Po wyizolowaniu płaszczyzny drzwi, odczytano przepływ objętościowy powietrza przez tę płaszczyznę, wynik w postaci wykresu przedstawiono na rys. 11.

Po okresie początkowym następuje stabilizacja przepływu na poziomie ok. 3700 m<sup>3</sup>/h. Powyższa wartość znakomicie wkomponowuje się w kontekst całego eksperymentu. Na podstawie wcześniejszej analizy stwierdza się, że parametry mierzone na klatce schodowej osiągają zbliżone wartości przy napływie grawitacyjnym oraz napływie mechanicznym, z wydajnością 4000 m<sup>3</sup>/h. Spostrzeżenie to wynikające z pomiarów, znalazło potwierdzenie w symulacji komputerowej, co uwiarygodnia to narzędzie inżynierskie.



*Rys. 10. Rozkład prędkości w kierunku poziomym w 180 sekundzie badania, przy napływie grawitacyjnym*



*Rys. 11. Natężenie przepływu powietrza w drzwiach napowietrzających, przy badaniu z napływem grawitacyjnym*

## 6. Podsumowanie i wnioski

Powszechnie stosowanym urządzeniem do usuwania dymu jest instalacja grawitacyjna, najczęściej wykonywana zgodnie z normą PN-B-02877-4:2001. Norma ta posiada liczne niedoskonałości, powszechnie krytykowane w środowisku pożarniczym [9]. Najistotniejsza z nich to ograniczona skuteczność w przypadku „odwróconego efektu kominowego” oraz uzależnianie powierzchni czynnej klapy jedynie od powierzchni rzutu klatki schodowej. Rzadko praktykuje się inne sposoby usuwania dymu, np. wyciąg mechaniczny. Przyczyną jest brak podstaw normowych lub innych wytycznych projektowych o charakterze „wiedzy technicznej”. Przeprowadzone badania pozwalają postawić wniosek, że napowietrzanie mechaniczne w instalacjach do grawitacyjnego usuwania dymu mogą zapewnić lepsze warunki na klatce schodowej, przy jednoczesnej eliminacji wad napływu grawitacyjnego.

Na podstawie analizy funkcjonalności urządzeń do usuwania dymu na klatkach schodowych, rysuje się konieczność doprecyzowania przepisów w zakresie określania celu stosowania tych urządzeń. Jednoznaczne wskazanie celu stosowania tych urządzeń, pozwoliłoby dobrać właściwe rozwiązanie techniczne, odpowiednie do każdego przypadku.

### Wnioski poznawcze

1. Na podstawie badań stwierdzono, że stosowanie nawiewu mechanicznego, może zapewnić warunki na klatce schodowej nie gorsze niż nawiew naturalny.
2. Skuteczność nawiewu mechanicznego jest w zdecydowanie mniejszym stopniu zależna od różnicy temperatur między otoczeniem, a klatką schodową, niż skuteczność nawiewu grawitacyjnego.
3. Możliwe jest wykorzystanie narzędzi inżynierskich, opartych o komputerowe metody obliczeniowe, do oceny warunków na klatce schodowej.

### Wnioski uylitarne

- Stosowanie wentylatorów napowietrzających w instalacjach do grawitacyjnego usuwania dymu na klatkach schodowych powinno być poprzedzone symulacją komputerową.



- Pragmatyka rynku wskazuje, że mimo braku wytycznych projektowych i tak stosowane są wentylatory napowietrzające w instalacjach grawitacyjnego usuwania dymu. Dobór wydajności wentylacji dokonywany „na wyczucie” projektanta, najczęściej mieści się w przedziale 2000 m<sup>3</sup>/h – 4000 m<sup>3</sup>/h. Na podstawie wykonanych pomiarów stwierdza się, że minimalna wydajność wentylatora napowietrzającego nie powinna być niższa niż 4000 m<sup>3</sup>/h, natomiast preferowana wydajność powinna wynosić 8000 m<sup>3</sup>/h. Jednocześnie należy stosować rozwiązania zabezpieczające przed przyrostem nadciśnienia na klatce schodowej powyżej wartości utrudniającej otwarcie drzwi do klatki (50 Pa).

### Wnioski rozwojowe

- Pełna weryfikacja przedmiotowego zagadnienia badawczego wymaga prowadzenia badań w pełnej skali naturalnej, przy rzeczywistym pożarze.
- Niezbędne jest równoległe prowadzenie symulacji komputerowych i badań pełnowymiarowych, przy wybranych geometriach klatek schodowych oraz wybranych mocach pożaru.
- Należy podjąć prace nad sformalizowaniem w przepisach celu stosowania urządzeń do usuwania dymu i ciepła. Po określeniu celu, wystąpi możliwość określenia rozwiązań technicznych, którymi cel można osiągnąć. Powszechnie stosowana norma PN-B-02877-4:2001 bazuje na założeniach niemających związku z pożarem, ponadto w upalne dni skuteczność instalacji grawitacyjnych na klatkach schodowych może być znikoma.

## Piśmiennictwo

- [1] PN-EN 12101-6:2007 – Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła, część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnień. Zestawy urządzeń.
- [2] Projektowanie instalacji wentylacji pożarowej dróg ewakuacyjnych w budynkach wysokich i wysokościowych. Instrukcja ITB 378/2002.
- [3] PN-B-02877-4:2001 – Ochrona przeciwpożarowa budynków – Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła – Zasady projektowania.
- [4] Brzezińska D., Machowski K.: Zabezpieczenie przed zadymieniem klatek schodowych w budynkach średniowysokich. *Ochrona Przeciwpożarowa* 2010, nr 1/10 (31) s. 29–34.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU nr 75, z 15 czerwca 2002 r., poz. 690 z późn. zm.).
- [6] Rozporządzenie Ministra Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska z 3 lipca 1980 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki (DzU z 1980 r., nr 17, poz. 62).
- [7] Australian Standard, AS 4391-1999, Smoke management systems – Hot smoke test.
- [8] Górecka R.: Teoria i Technika Eksperymentu. Politechnika Krakowska, Kraków 1996.
- [9] Skaźnik M.: Urządzenia do usuwania dymu z przestrzeni klatek schodowych. *Ochrona Przeciwpożarowa* 2011, nr 4/11(38) s. 15–21.

## Summary

*Waldemar WNEK*  
*Przemysław KUBICA*  
*Sylwia BORON*  
*Marcin BURDA*

### Analysis of Possibility of Using Mechanical Compensory Airflow in Gravitational Smoke Removal Systems from Staircases

In this article results of analysis of the possibility of using mechanical airflow in gravitational smoke removal systems were shown. The article was based on the report from research project nr KBN S/E – 422/8/11 accomplished in the Main School of Fire Service.

The research consisted of the visibility analysis in a smoky staircase in two cases:

- with natural airflow;
- with specified mechanical airflow.

Simultaneously with the researches, computer simulations were carried out using computer program FDS (Fire Dynamic Simulator).

Conducted researches allow to state, that mechanical ventilation in gravitational smoke removal systems provides better conditions than natural ventilation in the staircase.

It is also necessary to clarify the rules for determining the application of smoke removal systems.