

dr inż. Grzegorz Kubicki^{a)}, st. kpt mgr inż. Tomasz Kiełbasa^{b)*}, inż. Jarosław Wiche^{c)}

^{a)}Politechnika Warszawska / Warsaw University of Technology

^{b)}Centrum Naukowo Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute

^{c)}Smay Sp. z o.o. / Smay LLC

*Autor korespondencyjny / Corresponding author: t.kiełbasa@cnbop.pl

Systemy oddymiania klatek schodowych – zalety i ograniczenia stosowanych rozwiązań technicznych

Stairwell Smoke Exhaust Ventilation Systems – Advantages and Limits of Applied Technical Solutions

Системы дымоудаления лестничных клеток – преимущества и ограничения используемых технических решений

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie właściwości różnych systemów odprowadzania dymu i ciepła z przestrzeni klatek schodowych.

Wprowadzenie: Oddymianie klatek schodowych stanowi fakultatywne rozwiązanie dopuszczone przez krajowe przepisy jako alternatywa dla doskonałych, ale droższych systemów różnicowania ciśnienia. W artykule skoncentrowano się głównie na ograniczeniach i poważnych zagrożeniach związanych z nieświadomym zastosowaniem różnych konfiguracji urządzeń służących do oddymiania. Analizie poddano systemy oddymiania grawitacyjnego, oddymiania z wykorzystaniem wentylatorów wyciągowych oraz najnowsze rozwiązania oddymiania pionowych dróg ewakuacji wspomaganych zmiennym nawiewem.

Metodologia: Postawione w artykule tezy wynikają m.in. z wieloletnich doświadczeń eksploatacyjnych. Słuszność przedstawionych założeń udowodniona została na podstawie wyników prowadzonych przy udziale autorów testów obiektowych i pełnowymiarowych prób pożarowych in-situ oraz analiz numerycznych. Podczas realizacji programu badawczego pt. „Bezpieczna ewakuacja” zostały porównane m.in. zasady działania wymienionych wyżej systemów oddymiania klatek schodowych, w różnych warunkach rozwoju pożaru i przy dynamicznie zmieniającym się stanie szczelności klatki schodowej (zmianie położenia drzwi na kondygnacji objętej pożarem i na poziomie wyjścia z budynku oraz po wypadnięciu okien w pomieszczeniu testowym). Przeprowadzone badania były realizowane w obiekcie rzeczywistym, o architekturze reprezentatywnej dla najwyższych budynków klasyfikowanych jako średniowysokie (SW wg [1]). Stanowisko badawcze zostało wyposażone w aparaturę pomiarową oraz urządzenia do monitoringu, sterowania oraz zbierania i archiwizacji danych. Równoległe do badań obiektowych prowadzone były analizy numeryczne oparte o modele walidowane w czasie prób dymowych i testów pożarowych.

Wnioski: Wszystkie przeprowadzone testy wyraźnie wskazują na najwyższą skuteczność systemów oddymiania klatek schodowych wspomaganych nawiewem mechanicznym, przy czym systemy tego typu muszą zostać wyposażone w wentylatory o zmiennym wydatku. Więcej ograniczeń efektywności działania wykazuje oddymianie grawitacyjne. Ograniczenia te dotyczą m.in. wyraźnego spadku efektywności oddymiania przy niskich temperaturach gazów pożarowych (w warunkach nie w pełni rozwiniętego pożaru), przy niekorzystnym układzie różnicy temperatury w przestrzeni klatki schodowej i na zewnątrz budynku oraz podatności systemu na oddziaływanie wiatru. Za niewłaściwe, a nawet niebezpieczne, należy uznać wykorzystanie wentylatorów oddymiających do ukierunkowania przepływu powietrza i dymu przez klatki schodowe. Artykuł może stanowić przydatne źródło informacji dla wszystkich osób uczestniczących w wyborze oraz projektowaniu systemów oddymiania klatek schodowych.

Słowa kluczowe: klatki schodowe, oddymianie grawitacyjne, nawiew mechaniczny, wentylator oddymiający

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 15.11.2016; Zrecenzowany: 27.03.2017; Opublikowany: 31.03.2017;

Procentowy wkład merytoryczny: G. Kubicki – 55%, T. Kiełbasa – 35%, J. Wiche – 10%;

Proszę cytować: BiTP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 142–153, doi: 10.12845/bitp.45.1.2017.11;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

ABSTRACT

Aim: The aim of this article is to present the characteristics of various stairwell heat and smoke exhaust ventilation systems.

Introduction: Stairwell smoke exhaust ventilation represents a facultative solution approved by Polish law as an alternative to more effective, but expensive pressure reduction systems. The article concentrates on limits and serious threats associated with unaware use of various configurations of smoke

ventilation devices. The analysis involved: natural smoke and heat exhaust ventilation systems, exhaust ventilation systems with powered ventilators (fans) as well as the newest solutions for smoke removal from vertical escape routes with mechanically-aided air supply.

Methodology: All arguments presented in this paper are based on the authors' many years operational experience. Provided information was confirmed by the results of numerical analyses as well as field research and full-size in-situ fire tests carried out in the presence of the authors. Realisation of the research programme "Bezpieczna ewakuacja" (Safe Evacuation) involved a comparison of, i.a., the operation principles of the stairwell smoke ventilation systems in various conditions of fire development and during dynamically changing stairwell leaktightness (by adjustment of doors position on the floor of fire origin and on the bottom floor as well as after a window break in the test room). The tests were carried out in a real building, characterized by the architecture features representative for the tallest buildings in Poland classified as SW (medium-height), according to [1]. The test stand was equipped with measuring, monitor, control, data collection and archive systems. Together with the field research, the authors performed numerical analyses based on models, validated in the course of hot smoke and fire tests.

Conclusions: All performed tests clearly show that stairwell ventilation systems aided by a mechanical air supply work the most efficiently, but they should be equipped with performance-regulated fans. Natural smoke exhaust systems have the most limitations. They include clear loss of efficiency at low temperatures of combustion gases (in the initial phase of fire development), at disadvantageous difference of temperatures between a stairwell and outside area, and system's vulnerability to wind influence. The use of powered mechanical ventilators (fans) for exhaust of air and smoke from the building stairwell ought to be considered inappropriate or even dangerous. Presented paper may constitute a useful source of information for everyone who participates in a choice or design of stairwell smoke ventilation systems.

Keywords: stairwell, natural smoke ventilation, mechanical air supply, smoke exhaust fan

Type of article: original scientific article

Received: 15.11.2016; Reviewed: 27.03.2017; Published: 31.03.2017;

Please cite as: BiTP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 142–153, doi: 10.12845/bitp.45.1.2017.11;

Percentage contribution: G. Kubicki – 55%, T. Kielbasa – 35%, J. Wiche – 10%;

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью статьи является представление характеристик различных систем дымо- и теплоудаления из лестничных клеток.

Введение: Дымоудаление из лестничных клеток – это дополнительное решение, утверждённое государственным законодательством в качестве альтернативы для более совершенных, но дорогих систем дифференциации давления. Авторы статьи сосредоточились, в главной мере, на ограничениях и серьезных угрозах, связанных с бессознательным использованием разных конфигураций оборудования для дымоудаления. Анализу были подвергнуты системы гравитационного дымоудаления, дымоудаления, использующего вытяжные вентиляторы, а также новейшие методы дымоудаления вертикальных путей эвакуации с помощью переменной циркуляции.

Методология: Представленные в статье тезисы возникли благодаря многолетнему эксплуатационному опыту авторов. На основе результатов проведенных при участии авторов тестов in situ и реально масштабных пожарных испытаний на реальном объекте, а также численных анализов было доказано, что представленные предположения верны. Во время реализации исследовательской программы под названием „Bezpieczna ewakuacja” (*Безопасная эвакуация*) были сопоставлены, в частности, правила работы указанных выше систем дымоудаления из лестничных клеток в различных условиях развития пожара и при динамически изменяющимся состоянии герметичности лестничных клеток (изменении расположения дверей на этаже охваченным пожаром и на уровне выхода из здания, а также после выпадения окон в тестовом помещении). Исследования проводились на реальном объекте, архитектура которого характерна для наивысших зданий, причисленных к категории средневысоких (SW - согласно [1]). Испытательный стенд был оборудован измерительной аппаратурой и устройствами для мониторинга, управления, а также сбора и архивизации данных. Одновременно с исследованиями на объектах проводились численные анализы, основанные на моделях, проверяемых во время дымовых и пожарных исследований.

Выводы: Все проведенные исследования четко указывают на наибольшую эффективность систем с механической циркуляцией, а, в частности, систем дымоудаления с переменной циркуляцией. Больше ограничений эффективности имеет гравитационное дымоудаление. Эти ограничения относятся к четкому падению эффективности дымоудаления при низких температурах пожарных газов (в условиях не вполне развитого пожара), при неблагоприятном различии температур внутри лестничной клетки и вне здания, а также чувствительности системы к воздействию ветра. Недопустимым, и даже опасным, следует считать использование вентиляторов дымоудаления для направления потока воздуха и дыма через лестничные клетки. Данная статья может представлять собой полезный источник информации для всех людей, участвующих в выборе и проектировке систем дымоудаления лестничных клеток.

Ключевые слова: лестничные клетки, гравитационное дымоудаление, механическая циркуляция, вентилятор дымоудаления

Вид статьи: оригинальная научная статья

Принята: 15.11.2016; Рецензирована: 27.03.2017; Опубликована: 31.03.2017;

Процентное соотношение вклада в создание статьи: G. Kubicki – 55%, T. Kielbasa – 35%, J. Wiche – 10%;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 142–153, doi: 10.12845/bitp.45.1.2017.11;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Wstęp

Systemy oddymiania klatek schodowych stanowią jeden z dwóch podstawowych typów instalacji wentylacji pożarowej powszechnie stosowanych na pionowych drogach ewakuacji

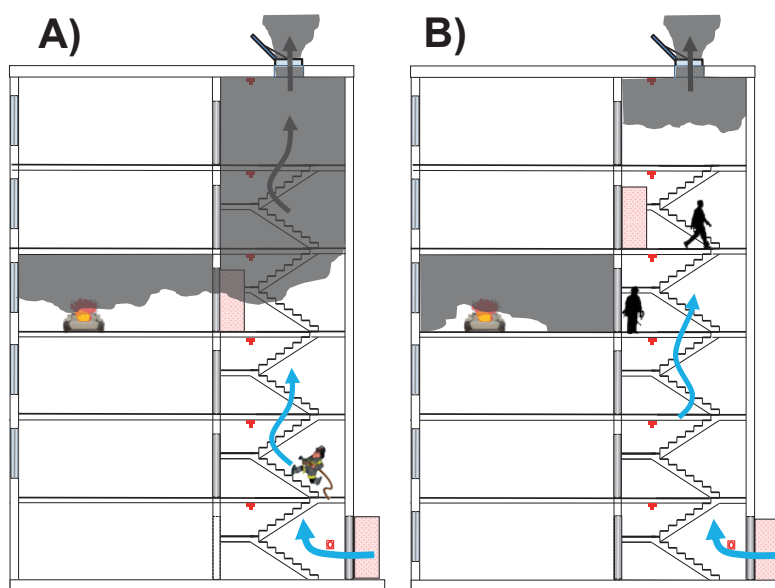
budynków wielokondygnacyjnych. Obowiązek stosowania urządzeń służących usuwaniu dymu z klatek schodowych (lub urządzeń zapobiegających zadymieniu) dotyczy niskich budynków zaliczanych do kategorii zagrożenia ludzi ZL II, średniowysokich budynków ZL I; ZLII; ZLIII i ZL V [1]. Zastosowanie urządzeń tego

typu dotyczy również budynków mieszkalnych (ZLIV), gdy przekroczona jest długość dojsć ewakuacyjnych. Zawarta w przepisach możliwość wyboru rozwiązania technicznego sprawia, że tytułowe systemy są powszechnie stosowaną alternatywą dla skuteczniejszych, ale droższych urządzeń służących zapobieganiu zadymieniu. Względy ekonomiczne nie mogą jednak stanowić jedynego kryterium wyboru rozwiązania technicznego, którego podstawową funkcją jest ochrona ludzkiego życia. Konieczne jest więc zaprojektowanie i wykonanie takiego systemu oddymiania zabezpieczającego przestrzeń klatki schodowej, który będzie zapobiegał utrzymywaniu się na niej dymu uniemożliwiającego bezpieczną ewakuację, utrudniającego działania oraz stwarzającego zagrożenie dla ekip ratowniczych ze względu na ograniczanie widoczności, wysoką toksyczność lub temperaturę. Dokonując odpowiedzialnego wyboru konkretnego rozwiązania technicznego, warto jest więc poznać mocne i słabe strony planowanego systemu. W dalszej części artykułu przedstawione zostały wady i zalety różnych systemów oddymiania klatek schodowych. Zamieszczone w tekście wnioski i spostrzeżenia wynikają z doświadczeń eksploatacyjnych istniejących instalacji, badań obiektowych przeprowadzonych przy udziale autorów, a także spostrzeżeń przekazanych przez przedstawicieli straży pożarnej.

Podstawowe warunki efektywności systemów oddymiania klatek schodowych

Pod pojęciem system oddymiania należy rozumieć zestaw wszystkich podzespołów koniecznych do budowy instalacji służącej oddymianiu klatek schodowych, dobranych pod kątem ich właściwego współdziałania. Oznacza to, że gotowy do działania system obejmować musi nie tylko elementy wykonawcze takie jak kłapy dymowe, urządzenia fasadowe, otwory napływu powietrza kompensacyjnego, ale również system automatycznego sterowania, detekcji oraz zasilanie i okablowanie. O efektywności takiego systemu można mówić, gdy jego działanie, co najmniej nie dopuści do opadania dymu poniżej kondygnacji objętej pożarem. System powinien również umożliwić szybkie oczyszczenie przestrzeni klatki schodowej z dymu (Ryc. 1). Spełnienie powyższych celów, niezależnie od zastosowanego rozwiązania technicznego, możliwe będzie, gdy:

- wszystkie elementy wykonawcze systemu działać będą automatycznie i samoczynnie po wykryciu pożaru przez system detekcji lub w wyniku uruchomienia ręcznego przycisku oddymiania (RPO). Dotyczy to zarówno urządzeń służących usuwaniu dymu, jak i urządzeń napływu lub nawiewu powietrza kompensacyjnego.



Rycina 1. Cel działania systemu oddymiania klatek schodowych A) dym nie może opadać poniżej kondygnacji objętej pożarem B) możliwe powinno być szybkie oczyszczenie klatki z dymu (warunkowa ewakuacja)

Figure 1. Aim of operation of stairwell smoke exhaust ventilation system A) smoke should not flow below floor where fire occurred B) there should be possible fast exhaust of smoke from the stairwell (conditional evacuation)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

- elementy systemu zostaną dobrane i zamontowane z uwzględnieniem sposobu wydzielenia klatki schodowej oraz prawdopodobnej lokalizacji pożaru. Ważne jest tu m.in., czy klatka schodowa jest obudowana i oddzielona od potencjalnie zagrożonych pomieszczeń drzwiami przeciwpożarowymi (z samozamykaczami), czy też nie.

Organizacja architektury wewnętrznej (sposób oddzielenia różnych przestrzeni funkcjonalnych, konstrukcja i kształt klatki schodowej, długość przyległych do niej korytarzy itd.) decydować będzie o wyborze optymalnego rozwiązania technicznego oddymiania oraz o tym, jaki cel działania możliwy będzie do realizacji.

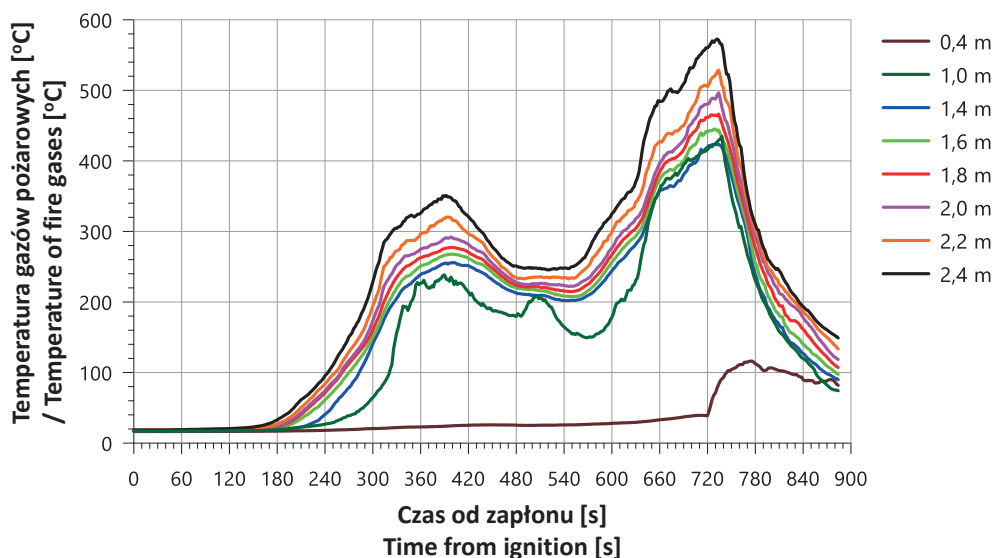
- wielkość urządzeń wykonawczych zostanie dobrana zgodnie z wypracowanymi na podstawie badań i eksperymentów procedurami obliczeniowymi, w których oprócz ww. elementów uwzględnione będą np. wielkość chronionej przestrzeni klatki schodowej, prawdopodobne zmiany w poziomie jej szczelności pojawiające się w czasie trwania pożaru itd.

Systemy grawitacyjnego oddymiania klatek schodowych – zalety i ograniczenia

Oddymianie grawitacyjne klatek schodowych powinno odbywać się przez zamontowane w najwyższym punkcie klatki schodowej urządzenie oddymiające: klapę dymową lub ścienną urządzenie oddymiające. Jednocześnie zapewnić należy napływ do przestrzeni klatki schodowej powietrza zewnętrznego przez automatycznie otwierane otwory kompensacyjne zlokalizowane w jej dolnej części. Zestaw urządzeń wchodzących w skład systemu oddymiania grawitacyjnego w połączeniu z prostym sterowaniem powoduje, że instalacje te stanowią najtańsze, a co za tym idzie najczęściej stosowane spośród prezentowanych tu rozwiązania. Ograniczenie kosztów jest w pełni zrozumiałe z punktu widzenia inwestora, ale czy systemy grawitacyjne gwarantują również wysoką rzeczywistą skuteczność działania? Odpowiedź na to pytanie nie jest już tak oczywista. Omawiane rozwiązanie, oprócz przystępnej ceny, ma jeszcze kilka innych zalet, niestety jednocześnie jego skuteczność może być poważnie ograniczona.

System oddymiania grawitacyjnego może być rozwiązaniem o akceptowalnej skuteczności, jeżeli rozwój pożaru

w pomieszczeniu przyległym do klatki odbywać się będzie przy wystarczającej ilości powietrza (pożar kontrolowany przez wentylację), czyli w sytuacji, gdy przyrost mocy pożaru będzie stały. Towarzysząca temu zjawisku wysoka stratyfikacja termiczna gazów pożarowych sprzyjać będzie efektywności całego systemu. Próby pożarowe i testy prowadzone w obiekcie rzeczywistym wykazały, że jeżeli pomieszczenie, w którym wybuchł pożar, jest stale połączone z klatką schodową przez otwarte drzwi (np. drzwi otwarte podczas ucieczki z pomieszczenia pozostają w tej pozycji), to ilość powietrza przepływająca do pomieszczenia z klatki schodowej jest wystarczająca do rozwoju pożaru. Skutkiem rozwijającego się pożaru jest stały przyrost temperatury gazów pożarowych. Powstający w takich warunkach dym charakteryzuje się wysoką stratyfikacją termiczną, dzięki czemu właściwie zaprojektowany i wykonany system oddymiania grawitacyjnego będzie działał skutecznie. Konsekwencją rozwoju pożaru w opisanej powyżej sytuacji jest jednak niemal pewne rozgorzenie, czyli samoistny zapłon wszystkich elementów palnych w pomieszczeniu. Temperatura w pomieszczeniu osiągać może 1000°C, co powoduje zapalenie się nawet niepełnych produktów spalania obecnych w gazach pożarowych. Podczas prowadzonych eksperymentów początek tego gwałtownego zjawiska następował ok 14-15 minuty od początku pożaru. Przykładowy przyrost temperatury, towarzyszący rozwojowi pożaru w pomieszczeniu połączonym z klatką schodową otwartymi drzwiami, odnotowany podczas jednej z prób pożarowych, przedstawiony został na Ryc. 2. Chwilowe osłabienie tego zjawiska (pomiędzy 370 i 500 s) związane jest z wypaleniem się pianki oparcia kanapy. Zilustrowany tu test pożarowy został przerwany w 720 s., aby nie dopuścić do wystąpienia zjawiska rozgorzenia.



Rycina 2. Rozkład temperatury w przekroju pomieszczenia testowego odpowiadający rozwijającemu się pożarowi

Figure 2. Temperature distribution in the test room during fire development

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Ważną zaletą systemu grawitacyjnego jest jego zdolność do samokompensacji. Wraz z rozwojem pożaru, któremu

towarzyszy przyrost ilości dymu oraz temperatury, klapa dymowa lub ścienna urządzenie oddymiające będzie w stanie nadal

skutecznie odprowadzać dym i ciepło z przestrzeni klatki schodowej. Jednocześnie na skutek wyższej wytworzonej wartości

ciągu termicznego nastąpi silniejsze zasysanie powietrza uzupełniającego przez otwory kompensacyjne.



Rycina 3. Skutki pożaru swobodnie rozwijającego się w pomieszczenia testowym

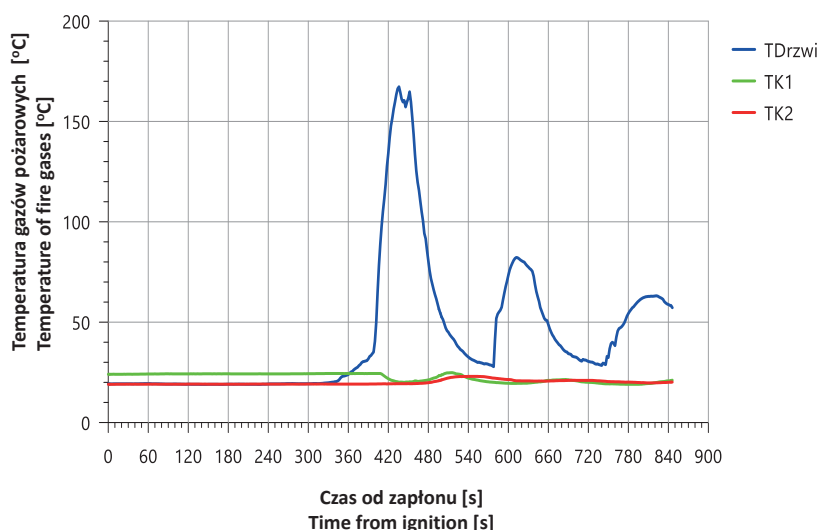
Figure 3. Results of fire developing freely in the test room

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Opisane powyżej właściwości wyczerpują jednak zalety systemów oddymiania grawitacyjnego klatek schodowych. Systemy te mogą okazać się całkowicie nieskuteczne dla pożarów, których rozwój ograniczony jest ilością powietrza, pożarów wolno rozwijających się lub w przypadku, kiedy pożar wybuchnie w pomieszczeniach oddalonych od klatki schodowej. Pierwszy przypadek ma miejsce, kiedy pożar rozwija się w pomieszczeniu zamkniętym lub posiadającym niewielkie nieszczelności. Sytuację taką obserwowano m.in. podczas

kilku testów pożarowych przeprowadzonych w ramach wymienionego powyżej programu badawczego. W każdym z tych przypadków pożar rozwijał się w pomieszczeniu testowym, do którego powietrze zewnętrzne napływało tylko przez nieszczelności (pomieszczenie charakteryzowało się wysokim stopniem szczelności – zgodnie z PN-EN 12101-6 [2]) oraz przez okresowo otwierane drzwi prowadzące do klatki schodowej. W takich warunkach rozwój pożaru był ograniczony, aż do całkowitego wygaśnięcia płomieni.



Rycina 4. Temperatura dymu wydostającego się przez okresowo otwierane drzwi na klatkę (TDrzwi) oraz przepływającego przez klapy dymowe 1 i 2 (odpowiednio TK1 i TK2)

Figure 4. Temperatures of smoke flowing through periodically opened doors to stairwell (TDrzwi) and through NSHEVs 1 and 2 (TK1 and TK2 accordingly)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Za każdym razem pomieszczenie testowe wypełniał gęsty dym o wysokim stopniu toksyczności, który po kolejnym

otwarcu drzwi przedostawał się do przestrzeni klatki schodowej. Temperatura dymu mieszającego się na klatce schodowej

z zimnym powietrzem bardzo szybko spadała, co powodowało duże wahania skuteczności systemu oddymiania. Mała dynamika procesu powodowała również cyrkulacje dymu na korytarzu łączącym pomieszczenie objęte pożarem z klatką

schodową. Oznacza to, że przystępujący do działań ratowniczo-gaśniczych strażacy będą musieli działać w warunkach praktycznie zerowej widoczności. Opisane zjawisko zilustrowane zostało na Ryc. 5.



Rycina 5. Cyrkulacja powietrza i dymu w obrębie korytarza łączącego pomieszczenie testowe z klatką schodową przy otwartych drzwiach na klatkę i działaniu systemu oddymiania grawitacyjnego

Figure 5. Circulation of air and smoke within the corridor space connecting test room with stairwell during open doors condition and operation of natural smoke ventilation system

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Przy niekorzystnych warunkach zewnętrznych, takich jak wpływ wiatru (szczególnie przy fasadowych otworach oddymiających wykonanych, co jest powszechną praktyką niezgodną z założeniami normy EN 12101-2 – szerzej wpływ wiatru na efektywność oddymiania klatki schodowej opisuje M. Król [6]), lub niższej niż zewnętrzna temperaturze powietrza w przestrzeni klatki schodowej, dym może opadać poniżej kondygnacji, na której wybuchł pożar, lub utrzymywać się pomiędzy kilkoma

kondygnacjami. Oba przypadki poważnie ograniczają możliwość ewakuacji i utrudniają dostęp do źródła pożaru ekipom ratowniczo-gaśniczym. Zjawisko opadania dymu zaobserwowane podczas testów pożarowych ilustrują Ryc. 6 i 7. Odniesienie do pożaru rzeczywistego jest w tym przypadku uzasadnione, ponieważ średnia temperatura dymu powstającego podczas niedotlenionego pożaru jest bardzo zbliżona do temperatury dymu gorącego wykorzystywanego w czasie testów.



Rycina 6. Efekt cofania się dymu podczas działania systemu grawitacyjnego wyposażonego w okna oddymiające – efekt parcia wiatru na okno oddymiające

Figure 6. Effect of smoke flowing downward during operation of natural smoke ventilation system equipped with smoke exhaust windows – effect of wind impact on smoke exhaust windows

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 7. Zjawisko odwróconego przepływu dymu w chłodnej klatce schodowej

Figure 7. Effect of flow of smoke in stairwell at indoor, low temperature

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Systemy oddymiania z wykorzystaniem wentylatorów wyciągowych

Zdarzają się przypadki, w których klatki schodowe nie mają bezpośredniego połączenia z przestrzenią zewnętrzną (w górnej części oddzielone są od niej poddaszem lub stropodachem) lub wyjście z budynku prowadzi przez korytarz i dwoje lub więcej drzwi. W takiej sytuacji projektanci sięgają po rozwiązania mechanicznie wymuszające przepływ powietrza i dymu w przestrzeni klatki schodowej.

Wykorzystanie wentylatorów oddymiających do usuwania dymu i ciepła z przestrzeni klatki schodowej jest najgorszym z możliwych i bardzo ryzykownym rozwiązaniem. Uzasadnieniem tej tezy są następujące fakty związane z funkcjonowaniem opisanego rozwiązania:

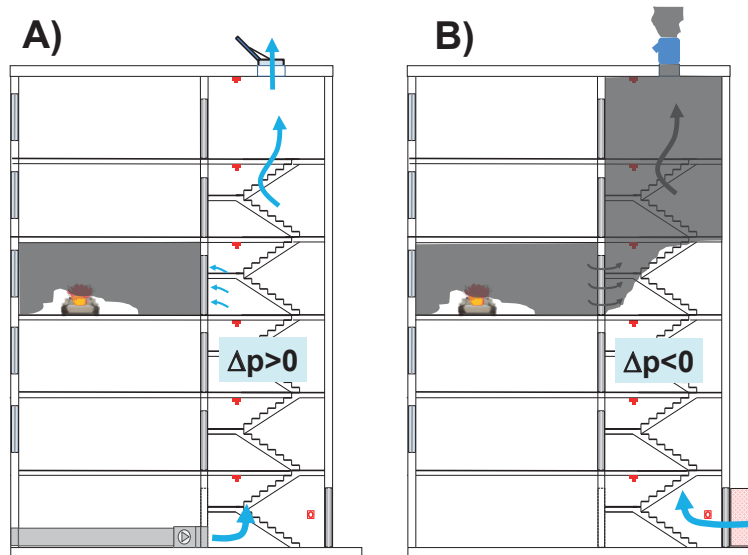
1. Ruch powietrza i dymu w przestrzeni klatki schodowej odbywa się na skutek podciśnienia wytwarzanego przez wentylator. W zależności od wysokości budynku i konstrukcji klatki schodowej (tj. oporów przepływu) wartość tego podciśnienia osiągać może kilkadziesiąt Pa. Jak wykazują doświadczenia obiektowe, będzie to powodować stałe podsysanie przez nieszczelności w stolarnie budowlanej dymu z kondygnacji, na której wybuchł pożar, nawet jeżeli zastosowane zostały drzwi pożarowe. Oznacza to, że klatka schodowa powyżej kondygnacji objętej pożarem będzie w sposób ciągły zadymiona (Ryc. 8 B). Z drugiej strony, o ile wydajność zastosowanego wentylatora będzie wystarczająca do usuwania całego dymu, przedostającego się do przestrzeni klatki schodowej (przy czym należy zwrócić uwagę, że nie ma standardu pozwalającego na wyliczenie tej wielkości), to ograniczone zostanie ryzyko zadymienia wyżej położonych pięter. Jednocześnie jednak wyposażona w tego typu instalację klatka schodowa pozostanie zadymiona również po ugaszeniu pożaru, do czasu pełnego oczyszczenia budynku z dymu.
2. Wobec braku wystandaryzowanych zasad prowadzenia obliczeń celem określenia wydajności wentylatora oddymiającego jego dobór opiera się często na większym

lub mniejszym „wyczuciu” projektanta. W praktyce oznaczać może to, że wielkość wentylatora będzie niewystarczająca do odprowadzenia całej ilości dymu przedostającego się do przestrzeni klatki schodowej. Należy podkreślić, że w odróżnieniu od systemów gravitacyjnych systemy oddymiania mechanicznego nie są „elastyczne”. Oznacza to, że wielkość (wydajność) wentylatora będzie wystarczająca tylko dla określonej wielkości pożaru. Dlatego wydajność instalacji oddymiania mechanicznego i jej skuteczność powinna być potwierdzana w toku analizy CFD. Opis procedury przeprowadzenia takiej analizy dla klatki schodowej przedstawiony został np. w artykule [5].

3. Odporność pożarowa wentylatorów wyciągowych może okazać się niewystarczająca dla ich działania w warunkach pożaru rozwiniętego. Podczas jednego z przeprowadzonych testów pożarowych doszło do zjawiska rozgorzenia w pomieszczeniu testowym. Temperatura dymu wydostającego się na klatkę schodową przekroczyła wówczas 700°C (Ryc. 9). W przypadku pożaru zlokalizowanego w niewielkiej odległości od punktu wyciągowego (do 2-3 kondygnacji) bardzo prawdopodobne zjawisko rozgorzenia spowodowałoby wypływ dymów i gazów pożarowych mogących doprowadzić do uszkodzenia w zasadzie każdego z powszechnie stosowanych wentylatorów oddymiających.
4. Mechaniczne oddymianie utrudnia prowadzenie działań ratowniczo-gaśniczych, a nawet stwarza zagrożenie dla ekip ratowniczych. Działanie wentylatora oddymiającego spowoduje, że strażacy nacierać będą w kierunku przeciwnym do przepływu gazów pożarowych, których temperatura może dochodzić do kilkuset stopni Celsjusza (podczas testów w korzystniejszych warunkach nawiewu mechanicznego przekraczała 700°C). Sytuacja taka zilustrowana została na Ryc. 10B i 11B.
5. Zastosowanie wentylatora oddymiającego spowoduje szybszy przepływ gazów w kierunku opisanym powyżej, a co za tym idzie dochodzić będzie do mieszania

się gazów pożarowych z utleniaczem (tlenem) zawartym w powietrzu na klatce schodowej. Przy wysokiej temperaturze gazów pożarowych może to prowadzić do pojawiania się płomieni bezpośrednio nad strażakami. Warunki takie mogą pojawić się również przy zastosowaniu

innych rozwiązań, ale w analizowanym przypadku ryzyko ich wystąpienia jest najwyższe. Działaniem zapobiegającym wystąpieniu takiego zagrożenia jest podawanie pulsacyjne rozproszonych prądów wodnych w strefę podsufitową.

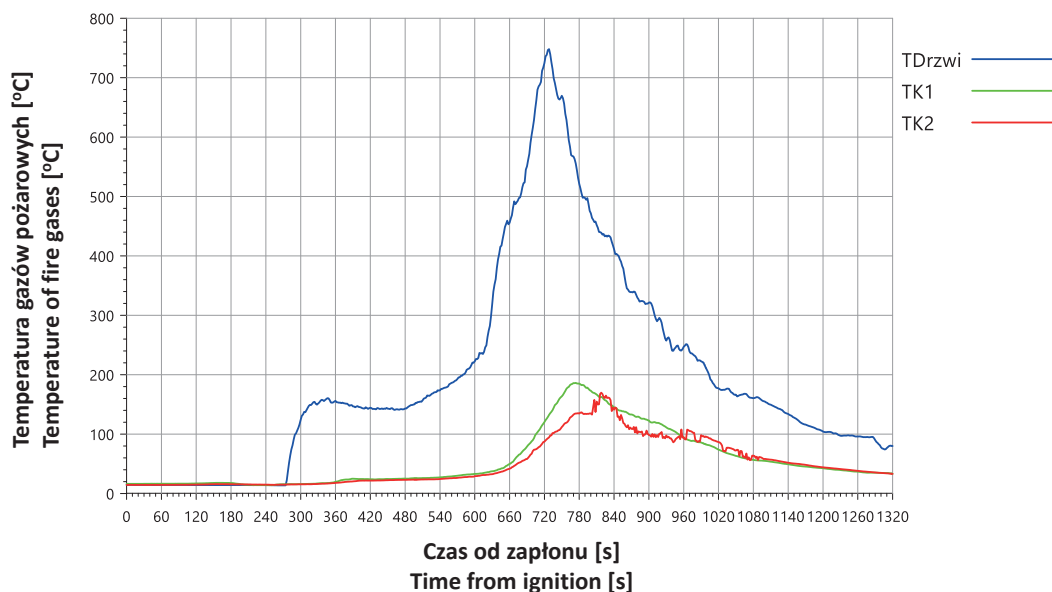


Rycina 8. Efekt działania systemów oddymiania A) z nawiewem mechanicznym i B) wentylatorem oddymiającym, kiedy drzwi na klatkę schodową pozostają zamknięte

Figure 8. Effect of operation of smoke ventilation system A) with mechanical air supply and B) with smoke exhaust powered-fan, when doors leading to the stairwell stay closed

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

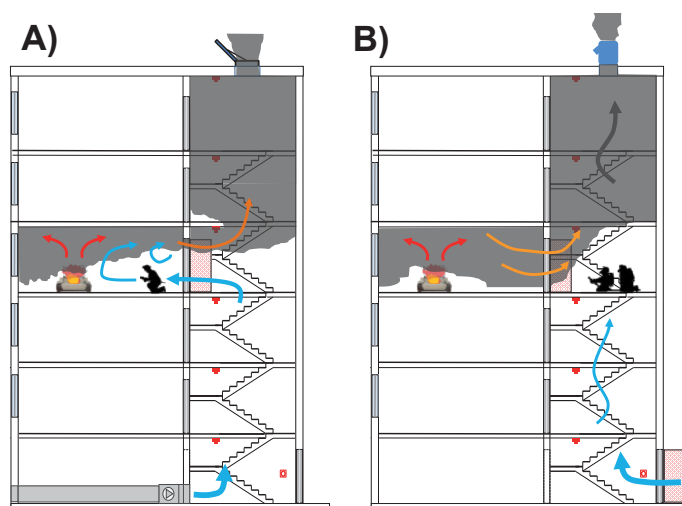


Rycina 9. Rozkład temperatury dymu wypływającego do klatki schodowej przy rozgorzeniu w pomieszczeniu testowym

Figure 9. Temperature distribution of smoke flowing to the stairwell during flashover conditions in a test room

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

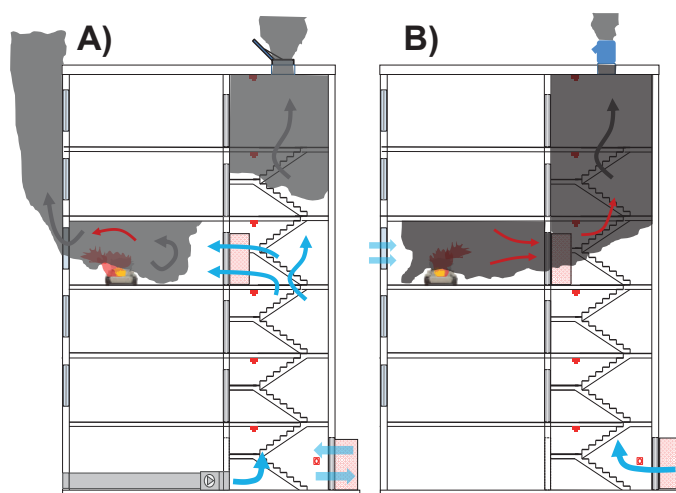


Rycina 10. Efekt działania systemów oddymiania A) z nawiewem mechanicznym i B) wentylatorem oddymiającym, kiedy drzwi na klatkę schodową zostaną otwarte

Figure 10. Effect of operation of smoke ventilation system A) with mechanical air supply and B) with smoke exhaust powered-fan, with doors connecting room to the stairwell opened

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 11. Efekt działania systemów oddymiania A) z nawiewem mechanicznym i B) wentylatorem oddymiającym, kiedy następuje pęknięcie okien, a drzwi na klatkę schodową pozostają otwarte

Figure 11. Effect of operation of smoke ventilation system A) with mechanical air supply and B) with smoke exhaust powered-fan, with window broken in the room under fire and doors to the stairwell opened

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Systemy oddymiania z nawiewem mechanicznym

Podstawowa zasada działania systemu oddymiania z nawiewem mechanicznym polega na zastosowaniu wentylatora w funkcji nawiewu powietrza kompensacyjnego. W odróżnieniu od opisanego powyżej oddymiania przez wentylatory wyciągowe, nawiew mechaniczny posiada kilka podstawowych zalet:

- utrzymuje przestrzeń klatki schodowej w nadciśnieniu, co sprzyja doszczelnieniu tej przestrzeni, kiedy drzwi łączące klatkę schodową z kondygnacją objętą pożarem pozostają zamknięte. Umożliwia to warunkową ewakuację osób znajdujących się na kondygnacjach powyżej kondygnacji objętej pożarem. Ewakuacja może być jednak prowadzona jedynie przy zabezpieczeniu przez straż pożarną lub odpowiednio do tego celu przygotowane i wyposażone służby techniczne drzwi łączących

przestrzeń klatki schodowej z przestrzenią objętą pożarem (Ryc. 8A).

- zastosowanie nawiewu mechanicznego w znacznym stopniu uniezależnia efektywność systemu od zmieniających warunków temperaturowych oraz wpływu wiatru. Dzięki zastosowaniu nawiewu mechanicznego na potrzeby oddymiania wykorzystywane mogą być również fasadowe urządzenia oddymiające (np. okna oddymiające lub wyrzutnie ścienne).
- otwarcie drzwi w warunkach rozwiniętego pożaru (przed pęknięciem okien) powoduje napływ zimnego powietrza



Rycina 12. Przepływ powietrza i dymu na korytarzu łączącym pomieszczenie objęte pożarem przy otwartych drzwiach na klatkę schodową i działaniu nawiewu kompensacyjnego

Figure 12. Flow of air and smoke through open doors on the corridor connecting room of fire origin with the stairwell and with mechanical air supply working

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

- system oddymiania ze wspomaganie mechanicznym zachowuje wysoką elastyczność działania podobnie jak instalacje oddymiania grawitacyjnego. Również w tym przypadku, gdy do przestrzeni klatki schodowej przepływa dym o wyższej temperaturze, silniejsza stratyfikacja termiczna zwiększa prędkość jego przepływu przez klatkę, a urządzenia oddymiające są w stanie odebrać większy strumień gazów pożarowych.

Sposób realizacji nawiewu mechanicznego

Bardzo ważnym zagadnieniem, będącym jednym z głównych celów programu badawczego „bezpiecznaewakuacja.pl” [3], było określenie i przetestowanie optymalnego pod kątem skuteczności i niezawodności zestawu urządzeń systemu oddymiania ze wspomaganie mechanicznym. Analiza zebranych podczas testów i prób pożarowych danych pozwala na scharakteryzowanie tej metody w następujący sposób:

- Wentylatory stałego wydatku działające w funkcji nawiewu kompensacyjnego nie zawsze pozwalają na efektywną pracę systemu. Może on powodować wzrost nadciśnienia na wyższych kondygnacjach i przesączenie się dymu przez zamknięte drzwi z klatki schodowej. Zbyt mała wydajność

przez dolną część otworu drzwiowego, mieszanie się powietrza i dymu oraz wypływ gorącej mieszaniny górną częścią otworu drzwiowego. Napływ powietrza sprzyja wprawdzie rozwojowi pożaru, ale skutkuje również wystąpieniem silniejszej stratyfikacji temperatury oraz wyraźnym obniżeniem koncentracji dymu w warstwie przypodłogowej. Efekt ten ułatwia strażakom dostęp do źródła pożaru i podjęcie efektywnych działań gaśniczych (Ryc. 12A).

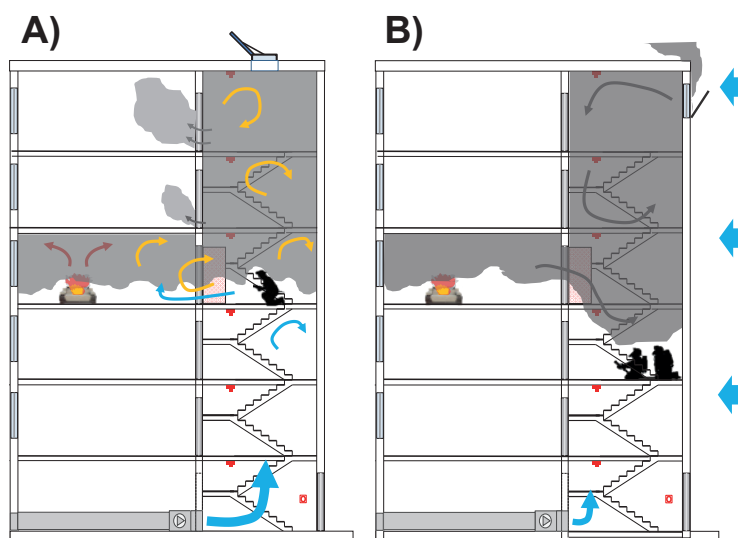
jednostki napowietrzającej może z kolei okazać się niewystarczająca dla należytego usuwania dymu z klatki przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych (parcie wiatru, odwrócony ciąg termiczny) lub otwartych drzwiach np. na poziomie wyjścia z budynku (Ryc. 13).

- Dla optymalnego działania systemu oddymiania **najwłaściwszym rozwiązaniem jest zastosowanie nawiewu o zmiennym wydatku**. Intensywność nawiewu powietrza do przestrzeni klatki schodowej powinna być regulowana w zależności od temperatury dymu napływającego do klatki schodowej i zmieniającego się podczas trwania pożaru poziomu szczelności tej przestrzeni. W toku prowadzonych badań wykazano, że:

- system jest w stanie zaadaptować się w szerokim zakresie do zmiany wielkości strumienia wypływającego z kondygnacji objętej pożarem na klatkę schodową. Dzięki temu zwiększony strumień objętościowy gazów pożarowych usuwany jest ze stałą efektywnością przez tę instalację. Jednocześnie zachowana jest stała, ustalona prędkość przepływu powietrza w przestrzeni klatki schodowej, ponieważ rosnący ciąg termiczny, przy wyższej temperaturze gazów pożarowych, powoduje wzrost ciśnienia w górnej części klatki schodowej. Jest to sygnał do ograniczenia nawiewu mechanicznego.

- system oddymiania klatki schodowej wspomagany zmiennym nawiewem mechanicznym skutecznie adaptuje się do dynamicznie zmieniających się warunków w chronionej przestrzeni. Kiedy zmienia się położenie drzwi pomiędzy klatką schodową i pomieszczeniem objętym pożarem oraz pomiędzy klatką schodową i wyjściem na zewnątrz budynku (zmiany charakterystyczne przy stopniowej ewakuacji zagrożonej strefy oraz rozpoczęciu działań ratowniczo-gaśniczych), w znacznym stopniu zmieniają się warunki dla działania nawiewu. Utrzymanie stałej prędkości przepływu powietrza w przestrzeni klatki schodowej wymaga płynnego

regulowania wydajności wentylatora napowietrzającego. Regulowany strumień nawiewany przez wentylator zapewnia również wymagany przepływ na urządzeniach oddymiających, przy wypływie części wprowadzanego do przestrzeni klatki schodowej powietrza przez drzwi na parterze. Zdarzenie takie jest charakterystyczne dla sytuacji podjęcia działań przez ekipy ratowniczo-gaśnicze, które rozpoczynają rozpoznanie sytuacji pożarowej od wejścia na klatkę schodową. Opis przedstawiony powyżej sporządzony został na podstawie danych z prób pożarowych. Działanie instalacji podczas jednej z wykonanych prób ilustruje Ryc. 14.

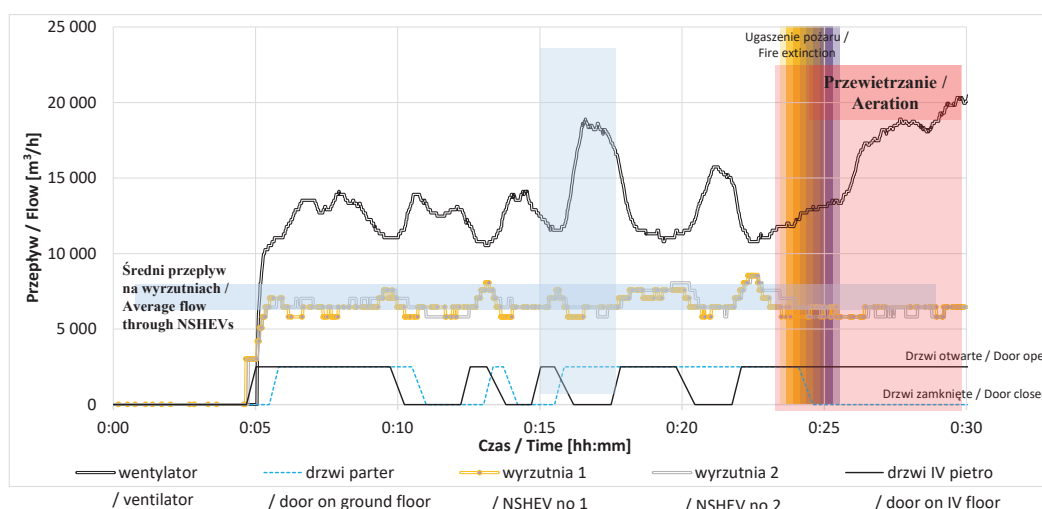


Rycina 13. Możliwe zaburzenia działania systemu oddymiania wspomagane nawiewem mechanicznym przy A) zbyt dużej i B) zbyt małej intensywności nawiewu

Figure 13. Possible malfunctions of smoke ventilation system with mechanical air supply at A) too high and B) too low flow velocity

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 14. Przepływ na wentylatorze i wyrzutniach oraz sterowanie drzwiami przy realizacji scenariusza stopniowej ewakuacji i działania straży pożarnej

Figure 14. Flow through ventilator and through wall natural smoke ventilator as well as control of doors position during realization of scenario of phased evacuation and during operation of fire-fighting units

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Podsumowanie

Wybierając rozwiązanie techniczne systemu oddymiania klatki schodowej, należy przede wszystkim zdefiniować cel działania tej instalacji w konkretnym budynku. Jak wynika z powyższego tekstu, nie każde z powszechnie stosowanych rozwiązań w równym stopniu ułatwia ewakuację oraz działanie ekip ratowniczo-gaśniczych. Znajomość opisanych powyżej ograniczeń różnych systemów może ułatwić dokonanie właściwej oceny ryzyka ich zastosowania w budynku i świadomego wyboru rozwiązania technicznego na potrzeby osiągnięcia oczekiwanego poziomu bezpieczeństwa pożarowego obiektu budowlanego. Przedstawione w powyższym artykule tezy opierają się na wynikach badań obiektowych, które stały się podstawą opracowania nowych wytycznych projektowych CNBOP-PIB [7]. Jest to pierwszy standard, który przedstawia m.in. zasady doboru wielkości elementów wykonawczych systemu oddymiania wspomagane go zmiennym nawiewem.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2015 r., poz. 1422)
- [2] PN-EN 12101-6:2007 Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła – Część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnień – Zestawy urządzeń.
- [3] Strona internetowa projektu pt. Bezpieczna ewakuacja, www.bezpiecznaewakuacja.pl [dostęp: 10.02.2017].
- [4] Kubicki G., *Oddymianie klatek schodowych – jak zaprojektować i wykonać efektywny system*; Ochrona przeciwpożarowa w budownictwie, Seminarium Naukowo-Techniczne, Zakopane 6–8 października 2016.
- [5] Sztarbała E., Sztarbała G., *Analiza rozwoju pożaru w pomieszczeniu mieszkalnym oraz analiza rozprzestrzeniania się dymu i ciepła w obrębie dróg ewakuacji budynku średniowysokim – wyniki badań w skali rzeczywistej, obliczeń numerycznych oraz testów z ciepłym dymem*, Ochrona przeciwpożarowa w budownictwie, Seminarium Naukowo-Techniczne, Zakopane 6–8 października 2016.
- [6] Król M., *Analiza wpływu warunków zewnętrznych na skuteczność usuwania dymu z klatek schodowych za pomocą okien oddymiających*, Ochrona przeciwpożarowa w budownictwie, Seminarium Naukowo-Techniczne, Zakopane 6–8 października 2016.
- [7] Wytyczne CNBOP-PIB, W-0003:2016 Systemy oddymiania klatek schodowych.

DR INŻ. GRZEGORZ KUBICKI – wykładowca Politechniki Warszawskiej z ponad 18-letnim stażem. Specjalista w dziedzinie wentylacji pożarowej, prowadzący przedmiot „Wentylacja pożarowa”. Założyciel i od 11 lat kierownik studiów podyplomowych „Systemy oddymiania budynków – wentylacja pożarowa”. Autor lub współautor wielu artykułów i referatów oraz podręcznika akademickiego z dziedziny wentylacji pożarowej Wentylacja Pożarowa. Autor licznych ekspertyz oraz koncepcji technicznych z zakresu bezpieczeństwa pożarowego (m.in. dla portu lotniczego im. F. Chopina w Warszawie, Auli Głównej PW, Warsaw Spire itd). Aktywny członek SITP, członek sekcji wentylacji i klimatyzacji PAN, członek PZITS. Uczestnik i współautor programów badawczo-rozwojowych dotyczących systemów różnicowania ciśnienia, układów adaptacyjnych dla systemów wentylacji pożarowej oraz systemów oddymiania klatek schodowych.

ST. KPT. MGR INŻ. TOMASZ KIELBASA – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. W CNBOP-PIB od 2004 roku związany z działalnością certyfikacyjną i dopuszczeniową. Prowadził procesy certyfikacji systemów i podzespołów urządzeń gaśniczych i zabezpieczających oraz wykonywał oceny warunków produkcji wyrobów do ochrony ppoż. w zakładach produkcyjnych zlokalizowanych na całym świecie. Od 2010 roku kierownik Jednostki Certyfikującej CNBOP-PIB. Autor lub współautor kilkunastu publikacji (rozdziałów w monografiach, artykułów, standardów, referatów) poświęconych tematyce związanej z ochroną przeciwpożarową. Autor kilkadziesiątu wystąpień podczas szkoleń, warsztatów, seminariów i konferencji o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Członek Komitetu Technicznego PKN nr 180 ds. Bezpieczeństwa Pożarowego Obiektów.

INŻ. JAROSŁAW WICHE – wiceprezes Zarządu, Dyrektor Techniczny SMAY Sp z o.o. Z wykształcenia inżynier mechanik, absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej. Od 2000 roku związany z branżą wentylacyjną jako konstruktor wiodący, autor szeregu produktów związanych z zabezpieczeniami przeciwpożarowymi w budownictwie, znajdujących się w ofercie firmy SMAY. Autor licznych publikacji z zakresu wentylacji pożarowej. Menadżer prowadzący grupę inżynierów, mechaników i automatyków w trzech generacjach zestawu do różnicowania ciśnień oferowanego przez firmę SMAY. Szef projektu „Bezpieczna ewakuacja”, realizowanego w obiekcie poligonowym w Sosnowcu.