

Poradnik

WENTYLACJA POŻAROWA 2025

Spis treści

Nowe wymagania przeciwpożarowe – czujki dymu i tlenku węgla 4

Systemy różnicowania ciśnienia. Nowelizacja normalizacji w zakresie projektowania, obliczania, montażu oraz badań i konserwacji 14

Oddymianie klatek schodowych – wybrane wymagania prawne i wytyczne projektowe 22

Klapy przeciwpożarowe odcinające – na co zwracać uwagę podczas montażu 32

Przeglądy urządzeń przeciwpożarowych 38

Zabezpieczenie przeciwpożarowe przewodów wentylacyjnych 45

Ocena skuteczności działania wentylacji strumieniowej garaży zamkniętych przy wykorzystaniu symulacji CFD 50

Detekcja gazów w garażach i parkingach podziemnych – sterowanie wentylacją mechaniczną 60

Wentylacja strumieniowa garaży zamkniętych 63

Inteligentny garaż podziemny – zasilanie i sterowanie wentylacją bytową i pożarową oraz systemami monitoringu 73

Nowe aspekty detekcji gazów w garażach 82

Koszty budowy wentylacji kanałowej oraz strumieniowej w garażu budynku wielorodzinnego 86

Systemy zasilania i sterowania wentylacją pożarową w tunelach drogowych 98

Wymagania prawne i wytyczne dotyczące projektowania wentylacji w tunelach 116

Redakcja

Adres redakcji
ul. Karłowicza 18, 04-112 Warszawa
tel. 22 512 60 75
www.rynekinstalacyjny.pl



Redakcja Agata Nowicka, anowicka@rynekinstalacyjny.pl
Reklama Marta Dzierżawa, mdzierzawa@medium.media.pl

Wydawca Grupa MEDIUM
www.medium.media.pl

W publikacji wykorzystano materiały opublikowane wcześniej w miesięczniku „Rynek Instalacyjny” i portalu rynekinstalacyjny.pl

Partnerzy publikacji



Zapraszamy na

RI Rynek instalacyjny.pl

CZYTAJ ARTYKUŁY

przygotowane

przez specjalistów

SPRAWDŹ ARCHIWUM

dotychczasowe wydania miesięcznika „Rynek Instalacyjny” – lista aktywnych linków pozwala szybko odnaleźć artykuł z danego numeru

PRZEGLĄDAJ KATEGORIE

Ogrzewanie

Dzięki podkategoriom łatwo znajdziesz treści dotyczące m.in. instalacji z pompami ciepła, kotłami, grzejnikami, projektowania c.o.

Wentylacja i klimatyzacja

Artykuły na temat central wentylacyjno-klimatyzacyjnych, rekuperatorów, wentylacji pożarowej, klimatyzacji i in.

Woda-kanalizacja

Wszystko o instalacjach wodociągowych, armaturze sanitarnej, wodomierzach, kanalizacji deszczowej

Instalacje OZE – NOWOŚĆ!

Smart Building – NOWOŚĆ!

promocja

Waldemar Joniec

Nowe wymagania przeciwpożarowe – czujki dymu i tlenku węgla

Statystyki pożarów i zatruc tlenkiem węgla wskazują, że zastosowanie w budynkach, mieszkaniach i lokalach choćby najprostszych czujek z sygnalizacją dźwiękową umożliwi szybszą i skuteczniejszą ewakuację oraz mniejsze straty. W niektórych krajach stosowanie czujek dymu i tlenku węgla obniża koszty polis ubezpieczeniowych, a nawet jest wymagane do ich zawarcia. W Polsce stosowanie autonomicznych czujek dymu i tlenku węgla w mieszkaniach i pomieszczeniach wyposażonych w kotły stanie się wkrótce obowiązkowe.

Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 21 listopada 2024 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (DzU 2024, poz. 1716) [1] wprowadza nowe wymagania dla pomieszczeń i jednostek mieszkalnych oraz takich, w których świadczone są usługi hotelarskie, a także dla pomieszczeń, w których odbywa się proces spalania paliwa stałego, ciekłego lub gazowego, wchodzących w skład lokalu mieszkalnego lub lokalu użytkowego przeznaczonego na pobyt ludzi, znajdującego się w strefie pożarowej zakwalifikowanej do kategorii zagrożenia ludzi ZL, czyli obiektów mieszkalnych i użyteczności publicznej.

W przypadku wymienionych powyżej pomieszczeń obowiązkowe stanie się stosowanie autonomicznych czujek dymu i tlenku węgla. Wynikiem wprowadzonych zmian jest nowy tytuł rozdziału 6, który otrzymuje brzmienie: „Stosowanie stałych urządzeń gaśniczych, systemów sygnalizacji pożarowej, autonomicznych czujek dymu, autonomicznych czujek tlenku węgla, dźwiękowych systemów ostrzegawczych i gaśnic”.

Nowe wymagania

W rozporządzeniu w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków [1] dodano po § 28 następujący zapis:

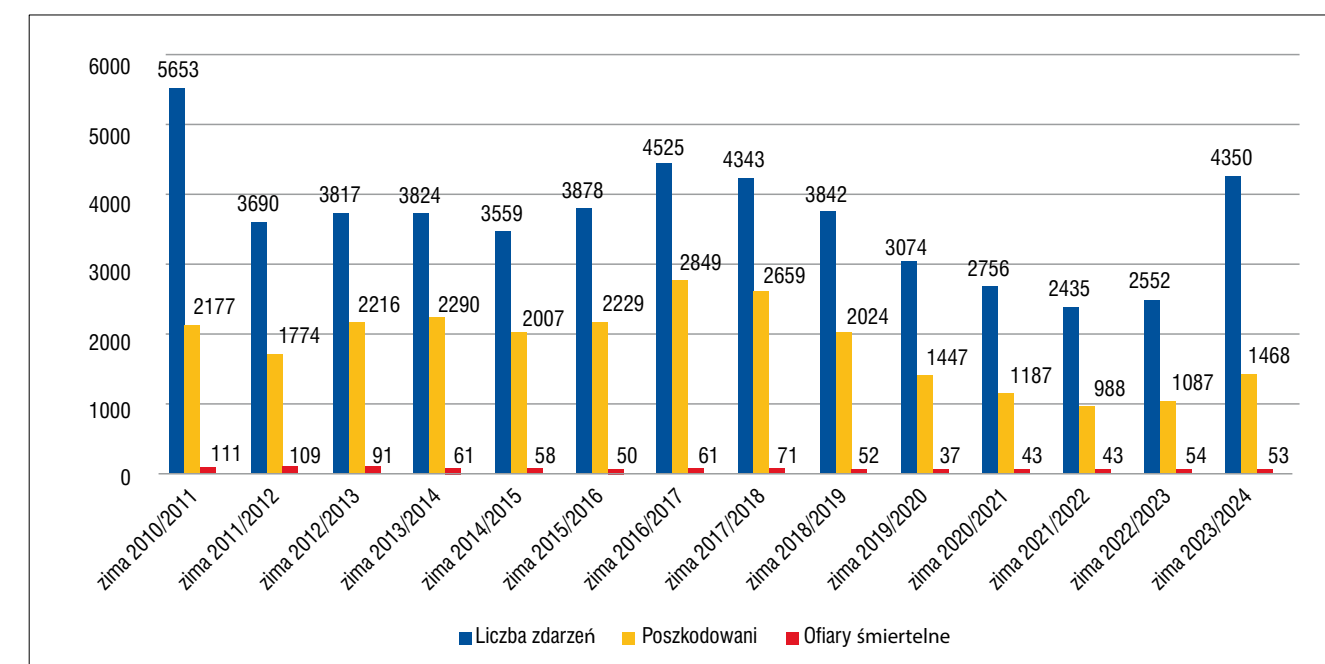
§ 28a. 1. Pomieszczenie mieszkalne lub jednostkę mieszkalną, o której mowa w przepisach wydanych na podstawie art. 45 ustawy z dnia 29 sierpnia 1997 r. o usługach hotelarskich oraz usługach pilotów wycieczek i przewodników turystycznych (Dz. U. z 2023 r. poz. 1944), w których są świadczone usługi hotelarskie, a także lokal mieszkalny należy wyposażać w co najmniej jedną autonomiczną czujkę dymu, spełniającą wymagania Polskiej Normy dotyczącej autonomicznych czujek dymu.

2. Przepisu ust. 1 nie stosuje się w przypadku ochrony pomieszczenia mieszkalnego, jednostki mieszkalnej lub lokalu mieszkalnego, o których mowa w ust. 1, przez system sygnalizacji pożarowej lub stałe samoczynne urządzenie gaśnicze.

3. Pomieszczenie, w którym odbywa się proces spalania paliwa stałego, ciekłego lub gazowego, wchodzące w skład lokalu mieszkalnego lub lokalu użytkowego przeznaczonego na pobyt ludzi, znajdującego się w strefie pożarowej zakwalifikowanej do kategorii zagrożenia ludzi ZL, należy wyposażać w co najmniej jedną autonomiczną czujkę tlenku węgla, spełniającą wymagania Polskiej Normy dotyczącej urządzeń elektrycznych do wykrywania tlenku węgla w pomieszczeniach domowych.

4. Przepisu ust. 3 nie stosuje się w przypadku, gdy proces spalania odbywa się w urządzeniu z zamkniętą komorą spalania, a także gdy spalanie ma miejsce w zasilanym paliwem gazowym urządzeniu przeznaczonym do przygotowania posiłków.

Spełnienie tych wymogów nie jest ani drogie, ani trudne technicznie, gdyż są to urządzenia stosunkowo tanie i autonomiczne w zakresie zasilania energią oraz pełnienia swoich funkcji. Dlatego przepisy zostały zmienione w ten sposób, że w przypadku czujek autonomicznych nie jest wymagany projekt urządzenia przeciwpożarowego i nie mają zastosowania ust. 1–3 § 3, które regulują również kwestie przeglądów i konserwacji. W kwestii eksploatacji urządzeń autonomicznych dodano do § 3 ust. 3a w brzmieniu: *Wymagań, o których mowa w ust. 1–3, nie stosuje się do autonomicznych czujek dymu i autonomicznych czujek tlenku węgla. Urządzenia te należy zamontować, konserwować i eksploatować w sposób określony w instrukcjach obsługi, opracowanych przez ich producentów.*



Rys. 1. Liczba zdarzeń związanych z tlenkiem węgla, poszkodowanych i ofiar śmiertelnych w wybranych zimowych sezonach grzewczych
Źródło: KG PSP

Terminy obowiązkowego montażu

Obowiązek stosowania od 24 grudnia 2024 r. autonomicznych czujek dymu i tlenku węgla dotyczy pomieszczeń oddawanych do użytku w nowo wznoszonych budynkach mieszkalnych oraz nowych pomieszczeniach mieszkalnych lub nowych jednostkach mieszkalnych przeznaczonych do świadczenia usług hotelarskich.

Pomieszczeń użytkowanych w dniu wejścia w życie tych przepisów dotyczą okresy przejściowe. W użytkowanych lokalach mieszkalnych stosowanie autonomicznych czujek dymu i tlenku węgla będzie obowiązkowe od 1 stycznia 2030 r. W pomieszczeniach, w których odbywa się proces spalania paliwa stałego, ciekłego lub gazowego, wchodzących w skład lokali mieszkalnych i użytkowanych jako takie pomieszczenia w dniu wejścia w życie omawianego rozporządzenia, stosowanie autonomicznych czujek dymu i tlenku węgla będzie obowiązkowe od 1 stycznia 2030 r.

Ważne są zapisy § 28 ust. 4 – czyli wyłączenia dla kotłów z zamkniętą komorą spalania, gdyż w przypadku tej technologii nie występuje zagrożenie przedostawania się spalin do pomieszczeń oraz kuchенок z palnikami gazowymi, zakłada się bowiem, że ich praca jest pod nadzorem, a palniki mają małą moc i korzystają z powietrza w dużej kubaturze mieszkania, którego wentylacja jest okresowo sprawdzana.

Wprowadzenie obowiązku stosowania czujek dymu i tlenku węgla MSWiA uzasadnia koniecznością poprawy poziomu ochrony przeciwpożarowej, zwłaszcza zmniejszenia liczby osób poszkodowanych w trakcie pożarów oraz zdarzeń związanych z emisją tlenku węgla. Statystyki pożarów wskazują, że ok. 80% ofiar śmiertelnych odnotowywanych jest w pożarach budynków mieszkalnych, a liczba pożarów wzrasta w okresie grzewczym i duża ich część występuje nocą. Autonomiczne czujki dymu i tlenku węgla reagują przy niskich emisjach we wczesnej fazie pożarów i emitują głośne sygnały dźwiękowe, co daje szansę skutecznej ewakuacji jeszcze przed przybyciem służb ratowniczych.

Rozporządzenie wprowadza też zmiany w oznakowaniu ścian oddzielenia pożarowego w budynkach handlowych, produkcyjnych oraz magazynowych, oddzielających strefy pożarowe o powierzchni co najmniej 2000 m² każda i w których zachodzi co najmniej jeden z następujących warunków: a) ściany zewnętrzne lub dach co najmniej jednej strefy pożarowej nie są wykonane z materiałów niepalnych lub b) w co najmniej jednej strefie pożarowej gęstość obciążenia ogniowego przekracza 1000 MJ/m².

Wymagania dla czujek

Oferowane na rynku czujki można samodzielnie montować i uruchamiać oraz wykonywać przeglądy. Wystarczy w tym celu wiedza zawarta w instrukcjach dołączanych do tych wyrobów.

Ważne jest, aby **czujki dymu** spełniały wymagania normy PN-EN 14604:2006 *Autonomiczne czujki dymu*. Określa ona wymagania, metody badań, kryteria zadziałania oraz instrukcje producenta dla autonomicznych czujek dymu, działających z wykorzystaniem światła rozproszonego, światła przechodzącego lub jonizacji, przeznaczonych do stosowania w mieszkaniach lub podobnych obiektach mieszkalnych i domach jednorodzinnych. Specjalne właściwości autonomicznych czujek dymu, takie jak komunikacja drogą radiową lub charakterystyki opracowywane ze względu na specyficzne zagrożenie, nie zostały w tej normie uwzględnione.

Eksperci i rzeczoznawcy ppoż. zwracają uwagę, że badania zgodności z normą i certyfikaty wydane przez renomowane ośrodki są najlepszą rekomendacją skuteczności i jakości. Niestety zdarza się, że importowane i wprowadzane do obrotu są produkty tanie, których certyfikaty zgodności z normą mogą budzić wątpliwości, oraz nieposiadające odpowiednich instrukcji, na co wskazują pośrednio m.in. wyniki kontroli czujek CO (patrz poniżej) oraz innych produktów, w przypadku których stwierdzono brak wymaganych informacji i ostrzeżeń, brak instrukcji użytkowania i ostrzeżeń w języku polskim lub dokumentację niepełną.

Autonomiczne **czujki tlenku węgla** w pomieszczeniach, w których odbywa się proces spalania paliwa stałego, ciekłego lub gazowego i które wchodzi w skład lokalu mieszkalnego lub lokalu użytkowego przeznaczonego na pobyt ludzi znajdującego się w strefie pożarowej zakwalifikowanej do kategorii zagrożenia życia ludzi ZL, powinny być zgodne z wymaganiami normy PN-EN 50291-1 *Wykrywacze gazu. Urządzenia elektryczne do wykrywania tlenku węgla w pomieszczeniach domowych. Część 1: Metody badań i wymagania eksploatacyjne*. Norma ta określa podstawowe wymagania dotyczące budowy, badań oraz parametrów metrologicznych i funkcjonalnych elektrycznych wykrywaczy tlenku węgla przystosowanych do pracy ciągłej w pomieszczeniach domowych. Obejmuje urządzenia zasilane z instalacji elektrycznej oraz z baterii. Zadaniem urządzenia jest ostrzeganie mieszkańców o przekroczeniu poziomu tlenku węgla, tak aby mogli zareagować, zanim zostaną narażeni na znaczące zagrożenie zatrucia tym gazem, czyli otworzyć okna i wietrzyć oraz wyłączyć źródło emisji, czyli kocioł, czy też szybko się ewakuować z pomieszczenia lub lokalu. Norma zawiera wymagania dla dwóch typów urządzeń: zapewniających wyłącznie alarm wizualny i dźwiękowy (zasilanych m.in. bateryjnie – autonomicznych) oraz urządzeń zapewniających łącznie alarm wizualny i dźwiękowy, a także transmisję sygnału wyjściowego pozwalającego na pośrednie lub bezpośrednie uruchomienie wentylacji albo innego urządzenia pomocniczego (nowe przepisy ppoż. tego nie wymagają). Oba typy urządzeń mogą być używane jednocześnie.

Omawiana norma nie obejmuje urządzeń przeznaczonych do:

- wykrywania gazów palnych innych niż tlenek węgla (patrz PN-EN 50194-1);
- wykrywania CO w instalacjach przemysłowych i obiektach handlowych (patrz PN-EN 45544-1, PN-EN 45544-2 i PN-EN 45544-3);

- pomiaru zawartości CO związanego z wykrywaniem dymu i pożaru;
- pomiaru zawartości CO w garażach samochodowych i w tunelach.

Właściwości CO i zalecane miejsca montażu

Tlenek węgla to gaz silnie trujący, powstający w wyniku niecałkowitego spalania paliw, czyli przy niedostatecznym dopływie powietrza. Jego normalny poziom w powietrzu atmosferycznym wynosi 0,01–0,2 ppm. W pomieszczeniach zamkniętych stężenie CO zależy od intensywności jego emisji ze źródła i szybkości wymiany powietrza. Stężenie 100–200 ppm powoduje lekki ból głowy przy ekspozycji przez 2–3 godziny, 400 ppm – powoduje silny ból głowy występujący po ok. 1 godz., 800 ppm – prowadzi do trwałej śpiączki po ok. 2 godz. Człowiek traci możliwość działania po ok. 5 min przy stężeniu 6000–8000 ppm i umiera w niecałe 20 minut. Natomiast stężenie 12 800 ppm powoduje praktycznie natychmiastową utratę przytomności po 2–3 wdechach i śmierć po ok. 3 minutach.

Autonomiczne **czujki tlenku węgla** należy montować zgodnie z załączoną do nich instrukcją. Emisja CO to część spalin powstających z niedostateczną ilością powietrza (tlenu) do spalania. Spaliny te ulatniają się często w na tyle małych ilościach, że choć są trudno wyczuwalne, zawierają groźne ilości CO. Tlenek węgla jest nieco lżejszy od powietrza – jego gęstość w stosunku do powietrza to 0,967 (powietrze przy temperaturze 20°C i ciśnieniu atmosferycznym ma gęstość 1,293 kg/m³, a tlenek węgla 1,250 kg/m³). W budynkach mieszkalnych przy źródle emisji CO spaliny unoszą się ku górze i mieszają z powietrzem o temperaturze ok. 20°C, rozprzestrzeniają wraz z ruchami konwekcyjnymi, wypełniając kubaturę pomieszczenia i migrując ku górze. W zaleceniach branżowych możemy znaleźć wskazówki, że optymalne miejsce montażu w pomieszczeniach z potencjalnym źródłem emisji to odległość co najmniej 1–2 m (nie dalej niż 3 m) od niego i wysokość ok. 1,8–2 m nad poziomem podłogi (strefa oddychania), z dala od otworów nawiewnych i wywiewnych (kratek wentylacyjnych), a także drzwi i okien, gdyż napływ świeżego powietrza może zakłócać pracę sensorów czujek. Nie ma potrzeby obniżania wysokości montażu w sypialniach, a np. amerykańska NFPA zwraca uwagę, że przeświadczenie o takiej konieczności może wynikać z faktu, że czujki były wcześniej zasilane z gniazdek instalacji elektrycznej.

Nie powinno się montować czujek tlenku węgla we wnękach i miejscach zasłoniętych, np. przez firanki czy zasłony, a także w miejscach emisji kurzu czy wilgoci. W domach i mieszkaniach może być więcej niż jedno źródło emisji CO i ważny jest układ pomieszczeń – wiele zatruć ma miejsce w sypialniach podczas snu, choć źródło emisji było poza nimi. KG PSP zaleca **rozmieszczenie czujek CO w taki sposób, aby były wyraźnie słyszalne w sypialniach**. W małych mieszkaniach czujki tlenku węgla zaleca się montować w strefie pomiędzy sypialnią a kuchnią i łazienką (potencjalne źródło emisji CO). Z kolei w domach, mieszkaniach i lokalach dwu- i wielokondygnacyjnych trzeba brać pod uwagę umiejscowienie potencjalnego źródła emisji CO (np. kotłownia lub kocioł czy

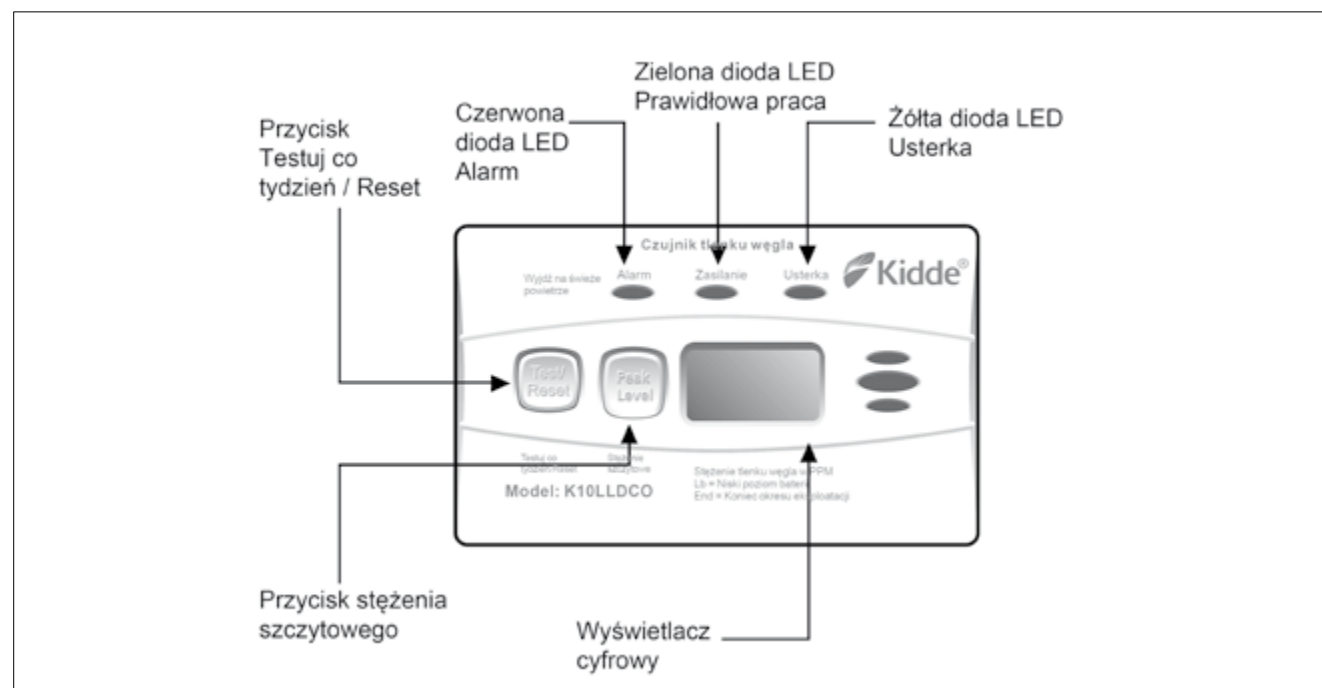
kominek na pierwszej kondygnacji, wówczas stężenie tego gazu będzie migrować wraz z powietrzem ku górze). Zaleca się, aby czujki były montowane na każdej kondygnacji na szlaku migracji CO od źródła (urządzenie, kotłownia, piwnica, kuchnia) do pomieszczeń takich jak salon i sypialnie i w taki sposób, aby sygnał był słyszalny przez wszystkich mieszkańców także podczas snu.

Wydział Prewencji Społecznej Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej wskazuje, że potencjalne źródła emisji CO w pomieszczeniach mieszkalnych stanowią kominki, gazowe podgrzewacze wody, kotły węglowe, gazowe lub olejowe oraz kuchnie gazowe. Tlenek węgla powstaje w wyniku niepełnego spalania paliw (także drewna) spowodowanego brakiem odpowiedniej ilości tlenu niezbędnej do pełnego spalania danego paliwa. Brak tlenu do spalania wynika najczęściej z braku dopływu świeżego (zewnętrznego) powietrza do pieca, kotła czy kominka. Inne przyczyny emisji CO do pomieszczeń to: zanieczyszczenie, zużycie lub zła regulacja palnika gazowego, przedwczesne zamknięcie paleniska kotła, pieca lub kuchni, zapchany i nieuszczelny przewód kominowy, uszkodzone połączenie między kominami i urządzeniami grzewczymi oraz do przygotowania c.w.u. Źródłem emisji tlenku węgla są też spaliny z silników pojazdów, dlatego warto montować czujki również w garażach.

W czujkach CO za wykrywanie tego gazu odpowiada sensor elektrochemiczny o wysokiej selektywności (wykrywa tylko tlenek węgla, nie dając fałszywych odczytów) i jest to technologia niedroga i stosunkowo trwała. Sensory elektrochemiczne pracują w stosunkowo szerokim zakresie temperatur i wilgotności, co zupełnie wystarcza w warunkach panujących w budynkach. Sensory czujek nie mogą być ekspozowane na niektóre substancje zawarte np. w płynach do czyszczenia i chemii domowej, lakierach i farbach. Ekspozycja na lotne związki powoduje obniżenie prawidłowości wykrywania i pomiaru sensorów elektrochemicznych. Żywotność tych sensorów w odpowiednich warunkach wilgotnościowo-temperaturowych i bez obecności zanieczyszczeń jest długa i powinna zostać podana przez producenta. Autonomiczne czujki mają funkcję testu prawidłowej pracy i należy go przeprowadzać okresowo według instrukcji.

Koszt oferowanych w sprzedaży autonomicznych czujek CO waha się od ok. 30 do 200–300 zł. Natomiast koszt profesjonalnego detektora tlenku węgla z zasilaniem z instalacji elektrycznej, który można podłączyć do instalacji alarmowej w budynku i sterowania wentylacją lub tylko sterownika uruchamiającego np. wentylator wyciągowy (np. w garażu domowym), to ok. 380–500 zł. Zaleca się wybór produktów uznanych marek w średnim i wyższym przedziale cenowym, dystrybuowanych przez znane sieci handlowe lub kupowanych bezpośrednio u uznanych producentów. Wskazują na to dane Państwowej Inspekcji Handlowej nt. wyników kontroli przeprowadzonej w 2024 roku. Spośród przebadanych 12 modeli czujek CO dwa modele miały wady konstrukcyjne oraz braki w oznakowaniu i w instrukcji, a kolejne trzy – braki w oznakowaniu. Braki w instrukcjach i oznakowaniu na urządzeniach zagrażają życiu i zdrowiu tak samo jak braki techniczne, gdyż użytkownik nie ma wymaganej wiedzy na temat poprawnej eksploatacji tych urządzeń.

Autonomiczne czujki wprowadzane do obrotu powinny mieć oznakowanie zawierające m.in. informacje o nazwie i adresie producenta lub dystrybutora oraz dane identyfikujące produkt. Czujki tlenku węgla powinny być wyposażone we wskaźniki optyczne (małe diody) w różnych kolorach z przypisanym do nich opisem funkcji. Przeważnie jest to: dioda zielona – zasilanie, czerwona – alarm oraz żółta – błąd. Testowe wciśnięcie alarmu powinno uruchomić sygnał dźwiękowy (patrz **rys. 2**).



Rys. 2. Widok przycisków obsługi czujki tlenku węgla z opisem funkcji – wersja z wyświetlaczem cyfrowym
Źródło: Kidde

Dostępne są też czujki łączące funkcje wykrywania dymu i CO z dwoma niezależnymi sensorami – optyczny wykrywa dym i sygnalizuje pożar, a elektrochemiczny wykrywa tlenek węgla i sygnalizuje przekroczenie jego dopuszczalnego stężenia. Nie zawsze stanowią one wybór optymalny, gdyż istnieją różne zalecenia dotyczące montażu, indywidualne dla danej funkcji i budynku – dym migruje szybko do góry, a migracja CO zależy także od wentylacji pomieszczenia. Oferowane są również czujki posiadające moduły komunikacyjne Wi-Fi i tym samym mogące przekazać informację o wykryciu dymu lub CO do systemu zarządzania bezpieczeństwem budynku i sygnalizacji pożarowej czy na aplikację w telefonie.

W budynkach z lokalami pełniącymi funkcje hotelowe (duża rotacja ludzi i często wiele kondygnacji) stosuje się systemy kontroli dostępu i bezpieczeństwa zapewniające m.in. sygnalizację włamania i napadu, dlatego wykorzystuje się w nich częściej urządzenia multisensorowe. Są one wpięte w systemy zarządzania i bezpieczeństwa budynku, co pozwala także na detekcję i lokalizację źródła pożaru (dymu i/lub ognia) oraz tlenku węgla. Nowe przepisy wymagają stosowania

co najmniej urządzeń autonomicznych, ale w obiektach takich wykorzystuje się raczej rozbudowane systemy kontroli i nadzoru dające możliwość szybkiej reakcji personelu w celu zwalczania zagrożenia oraz minimalizacji jego skutków. Alarm z czujki pożarowej może być wywołany z sensora optycznego (dym) lub sensora termicznego (skokowy wzrost temperatury lub jej podwyższona wartość). Niektóre modele mają możliwość ustawienia trybu detekcji, np. tylko optyczne, tylko temperaturowe lub optyczno-temperaturowe, co pozwala dostosować ich działanie do specyfiki danego pomieszczenia.

Montaż czujek dymu

Wydział Prewencji Społecznej KG PSP zaleca montaż czujek dymu na środku płaskiego sufitu danego pomieszczenia, a na sufitach pochyłych jedno- i dwuspadowych w obszarze do 90 cm od najwyższego punktu, z zachowaniem odległości minimum 10 cm od górnej krawędzi czujki do sufitu – patrz **rys. 3**. W mieszkaniach czujka dymu powinna być zamontowana na suficie w bezpośrednim sąsiedztwie sypialni, w przestrzeni łączącej ją (lub je) z salonem. W domach o jednej kondygnacji zaleca się montaż co najmniej jednej czujki w korytarzu lub holu pomiędzy sypialnią a salonem. Czujka powinna być słyszalna w każdej części domu nawet przy zamkniętych drzwiach. W dużych domach z korytarzami i przestronnym holem zaleca się montaż wielu czujek. W mieszkaniu wielokondygnacyjnym należy zamontować co najmniej jedną czujkę dymu na każdym piętrze – na parterze w holu i w pobliżu klatki schodowej, a na wyższych kondygnacjach co najmniej jedną w pobliżu klatki schodowej oraz na klatce schodowej nad schodami pomiędzy każdą kondygnacją.



Rys. 3. Zalecane miejsca montażu czujek dymu na sufitach dwu- i jednospadowych
Źródło: Wydział Prewencji Społecznej KG PSP



Rys. 4. Zasady rozmieszczania czujek dymu
Źródło: Wydział Prewencji Społecznej KG PSP

Z kolei amerykańska organizacja NFPA (The National Fire Protection Association) zaleca, aby w domach było wystarczająco dużo czujek dymu. Badania nad pożarami wykazały, że przy dzisiejszym nowoczesnym wyposażeniu wnętrz domów i mieszkań pożary mogą się rozprzestrzeniać znacznie szybciej niż w przeszłości, kiedy używano głównie naturalnych materiałów wykończeniowych i meblarskich. Z tego powodu montaż wystarczającej liczby prawidłowo zlokalizowanych czujników dymu jest niezbędny, aby zapewnić wystarczającą ilość czasu do szybkiej i skutecznej ewakuacji. Wytyczne NFPA 72 – *National Fire Alarm and Signaling Code* [7] wymagają jako minimum, aby czujniki dymu były instalowane wewnątrz każdej sypialni oraz na każdej kondygnacji poza sypialnią, łącznie z piwnicą i garażem. Na kondygnacjach bez sypialni czujki dymu należy zainstalować w salonie (gabinie, pokoju dziennym) lub w pobliżu schodów prowadzących na piętro, ewentualnie w obu miejscach. Czujki dymu instalowane w piwnicy należy montować na suficie przy schodach prowadzących na kolejną kondygnację. W kuchniach należy je instalować w odległości co najmniej 3 m od kuchenki, aby zminimalizować liczbę fałszywych alarmów podczas gotowania. Czujki montowane na ścianie należy lokalizować wysoko, lecz nie wyżej niż w odległości 30 cm do sufitu. Zalecenia dla sufitów skośnych są takie same, jak podano na **rys. 3**. Nie należy montować czujek dymu w pobliżu okien, drzwi i kanałów wentylacyjnych. Nie wolno też ich malować i dekorować. W większych domach i lokalach zaleca się montować czujki z możliwością wzajemnej komunikacji bezprzewodowej – uruchomienie jednej wywoła alarm pozostałych. Należy wówczas stosować czujki od tego samego producenta i muszą to być modele kompatybilne. Z badań przeprowadzonych przez amerykańską Komisję ds. Bezpieczeństwa Produktów Konsumenckich i dotyczących gospodarstw domowych, w których doszło do pożaru, w tym pożarów w początkowej fazie, do których nie wezwano straży pożarnej, wynika, że połączone ze sobą czujniki dymu zadziałały wielokrotnie częściej i skuteczniej oraz szybciej alarmowały mieszkańców o pożarze [8].

W czujkach dymu stosuje się dwa rodzaje detekcji – jonizacyjne i fotoelektryczne. Detektor jonizacyjny jest bardziej wrażliwy na płomienie, a fotoelektryczny bardziej wrażliwy na dym z tłących się pożarów. Aby zapewnić najlepszą ochronę, zaleca się stosowanie obu rodzajów alarmów lub kombinacji alarmów jonizacyjno-fotoelektrycznych. Należy brać pod uwagę fakt, że wymagania dotyczące wykrywania zdarzeń zmieniają się na przestrzeni lat i warto się upewnić, czy każdy dom ma wystarczającą liczbę czujników dymu, zwłaszcza po remoncie czy zmianie aranżacji i wystroju. Należy zachować instrukcję producenta, tak aby móc się z nią zapoznać w razie potrzeby. Testy i konserwację czujek dymu należy przeprowadzać zgodnie z instrukcjami producenta co najmniej raz w miesiącu za pomocą przycisku testowego. Oferowane obecnie czujki mają zasilanie bateryjne na 10 lat i alarmują dźwiękiem w przypadku spadku zasilania. Ceny autonomicznych czujek dymu wahają się od ok. 50 do 400 zł i zależą od jakości sensorów, zasilania i sygnalizacji dźwiękowej oraz

technologii komunikacji bezprzewodowej. Gwarantowana jakość i żywotność przez 10 lat markowych produktów w średnim i wyższym przedziale cenowym zachęca do ich wyboru.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 21 listopada 2024 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (DzU 2024, poz. 1716)
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie(t.j. DzU 2022, poz. 1225, z późn. zm.)
3. <https://www.gov.pl/web/kgpsp/czujka-na-strazy-twojego-bezpieczenstwa> (dostęp: 13.01.2025)
4. <https://www.gov.pl/web/kgpsp/prewencja-spoleczna-psp> (dostęp: 13.01.2025)
5. <https://www.gov.pl/web/kppsp-zary/czujka---co-gdzie-i-jak> (dostęp: 13.01.2025)
6. <https://www.gov.pl/web/kppsp-bedzin/czad-cichy-zabojca> (dostęp: 13.01.2025)
7. <https://www.gov.pl/web/kmpsp-kalisz/zasady-montazu-czujek-dymu-16122024> (dostęp: 13.01.2025)
8. <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-72-standard-development/72> (dostęp: 13.01.2025)
9. Greene Michael A., Andres Craig, *2004–2005 National Sample Survey of Unreported Residential Fires*, US Consumer Product Safety Commission, July 2009
10. Materiały techniczne firm: Eaton, Gazex, Kidde, P.T. Signal, TECH Sterowniki

Systemy różnicowania ciśnienia

Nowelizacja normalizacji w zakresie projektowania, obliczania, montażu oraz badań i konserwacji

Zmiany wprowadzone do normy projektowej dotyczącej systemów różnicowania ciśnienia porządkują i uściślają wytyczne dla projektantów instalacji wentylacji pożarowej. Ważne jest odejście od wygórowanych i w praktyce trudnych do spełnienia wymagań przy jednoczesnym zachowaniu skuteczności systemów. Z kolei nowa norma produktowa reguluje kwestię badania i dopuszczenia do obrotu zestawów urządzeń do różnicowania ciśnienia – w momencie jej zharmonizowania poszerzy się rynek dla tych urządzeń.



Włodzimierz Łacki
Aereco Wentylacja

Inżynierowie zajmujący się na co dzień zagadnieniami wentylacji pożarowej w budynkach od wielu lat korzystają z normy PN-EN 12101-6:2007 *Systemy kontroli i rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnienia. Zestawy urządzeń*. Dokument ten powstał w 2005 roku i był najszerzym opracowaniem stosowanym powszechnie przy projektowaniu, testowaniu i odbiorach systemów różnicowania ciśnienia (SRC) w układach kontroli dymu i ciepła. Norma, której najnowsza polska edycja pochodzi z 2007 roku, już od momentu powstania miała mieć szersze zastosowanie niż wytyczne projektowe i odbiorowe dla systemów różnicowania ciśnienia. Jak wskazuje jej tytuł, według pierwotnych założeń miała się stać normą wyrobu umożliwiającą wprowadzenie do obrotu systemów z oznakowaniem CE. Niestety ze względu na brak w jej treści odpowiednich załączników określających wymagania producenci nie mogli uzyskać certyfikatu zgodności z tą normą.

Mając na uwadze wady tego dokumentu, w Europejskim Komitecie Normalizacyjnym (CEN) kontynuowane były prace nad uzupełnieniem i rozszerzeniem zakresu normy. Zdecydowano o jej podziale na dwa odrębne dokumenty:

- **EN 12101 część 13**, która obejmuje zagadnienia projektowe, metody obliczeń, zalecenia dla instalacji, badania odbiorowe i okresowe, testy i obsługę;
 - **EN 12101 część 6**, która obejmuje wymagania dla zestawów urządzeń i komponentów SRC.
- Obydwa dokumenty weszły z końcem września do katalogu norm PKN, zastępując normę z 2007 roku:

- PN-EN 12101-13:2022-09 *Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 13: Systemy różnicowania ciśnienia (SRC). Projektowanie i metody obliczeniowe, instalowanie, badania okresowe i konserwacja*;

- PN-EN 12101-6:2022-09 *Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnienia. Zestawy urządzeń*.

Warto przyjrzeć się zmianom, jakie wprowadzają obydwie normy w zakresie projektowania, instalowania, badania, konserwacji, a także wymagań dla zestawów systemów różnicowania ciśnienia.

Znowelizowana norma **PN-EN 12101-6:2022** określa właściwości i metody badań elementów i zestawów do SRC w celu wytworzenia i kontroli wymaganej różnicy ciśnienia i przepływu powietrza między przestrzenią chronioną i niechronioną. Znajdziemy w niej metodykę badań dla trzech rodzajów zestawów urządzeń:

Zestaw 1 – **z samoczynną klapą nadmiarowo-upustową**. W układzie tym wentylator utrzymuje stałą wydajność, a nadciśnienie w przestrzeni chronionej regulowane jest barometryczną klapą nadmiarowo-upustową.

Zestaw 2 – **z automatycznie regulowaną klapą nadmiarowo-upustową**. Tutaj również wentylator pracuje ze stałą wydajnością, a regulacja ciśnienia odbywa się za pomocą klapy bądź przepustnicy regulowanej automatycznie siłownikiem od pomiaru ciśnienia w przestrzeni chronionej.

Zestaw 3 – **z regulacją wydajności wentylatora**. W układzie tym regulacja ciśnienia następuje poprzez zmianę wydajności wentylatora od pomiaru ciśnienia w przestrzeni chronionej.

W normie opisano metodykę wyboru próbek reprezentatywnych do badań, co pozwala uniknąć konieczności badania całego typoszeregu urządzeń producenta. Norma określa także, jak powinno



Fot. 1. Urządzenia zestawu różnicowania ciśnienia w przykładowym obiekcie

Źródło: Aereco Wentylacja

być zbudowane i wyposażone stanowisko testowe, w które muszą się wyposażyć jednostki akredytowane do przeprowadzania takich badań zgodnie z PN-EN 12101-6:2022. Stanowiskiem takim dysponuje w Polsce na przykład Instytut Techniki Budowlanej.

Procedura badań zestawów urządzeń obejmuje testy funkcjonalne mające na celu sprawdzenie skuteczności regulacji ciśnienia, testy wytrzymałości oraz oscylacji sprawdzające wytrzymałość układu na zakłócenia mogące wprowadzić go w oscylacje niegasnące. Wymienione testy mają na celu sprawdzenie, czy SRC jest w stanie odpowiednio (w czasie krótszym niż 3 s) reagować na zmiany – tj. w przypadku drzwi zamkniętych osiągnięcie nominalnej wartości nadciśnienia w pomieszczeniu chronionym, a w przypadku drzwi otwartych osiągnięcie minimalnej wartości prędkości.

Raport z badań wykonanych w akredytowanym laboratorium będzie podstawą do przeprowadzenia procesu certyfikacji wyrobu i w efekcie do uzyskania europejskiego certyfikatu stałości właściwości użytkowych, co umożliwi wprowadzenie urządzeń do obrotu również na innych rynkach, a nie, tak jak obecnie, tylko w Polsce. Stanowi to istotną zmianę, gdyż, jak wspomniano wcześniej, norma PN-EN 12101-6:2007 nie umożliwiała wprowadzenia wyrobu do obrotu z oznakowaniem CE. Należy jednak dodać, że PN-EN 12101-6:2022 nie ma jeszcze statusu normy zharmonizowanej, co odsuwa na pewien czas możliwość certyfikacji zestawów. Obecnie wprowadzenie na rynek zestawu urządzeń możliwe jest wciąż wyłącznie w systemie krajowym z oznakowaniem znakiem budowlanym.

Z kolei norma **PN-EN 12101-13:2022** obejmuje swoim zakresem głównie zagadnienia, które były już zawarte w wycofanej normie PN-EN 12101-6:2007, tj. zasady i wymagania dla projektowania, metody obliczeń, zalecenia dla instalacji oraz dla testów odbiorowych i okresowych. Norma ta jest przeznaczona do systemów stosowanych w budynkach o wysokości do 60 m, jednak w załączniku do niej znajdziemy wytyczne również dla budynków wyższych. W porównaniu do normy z 2007 roku w nowym dokumencie pojawiło się wiele istotnych zmian. Poniżej wymieniam te, które uważam za najbardziej istotne.

Tylko dwie klasy systemu

Wycofana wersja normy z 2007 roku określała sześć klas systemów (od A do F), dla których proponowane były konkretne i szczegółowe rozwiązania SRC. Decyzję o przypisaniu danego rozwiązania do właściwego budynku podejmował projektant, kierując się przeznaczeniem obiektu i uwzględniając założony sposób ewakuacji na wypadek pożaru. Wytyczne obejmowały szczegółowe kryteria dla utrzymania w strefie chronionej odpowiedniego nadciśnienia w przypadku wszystkich drzwi zamkniętych, prędkości powietrza w przypadku otwartych drzwi ewakuacyjnych oraz maksymalnej wartości siły wymaganej do otwarcia drzwi.

Wymagania dotyczące utrzymania nadciśnienia np. na chronionej klatce podane były z dokładnością ±10%, co oznaczało konieczność zapewnienia nadciśnienia w zakresie 45–55 Pa. W praktyce

Tabela 1. Wymagania projektowe dla układu różnicowania ciśnienia według norm PN-EN 12101-6:2007 i PN-EN 12101-13:2022

Parametr	PN-EN 12101-6:2007	PN-EN 12101-13:2022	
	Klasy A-F	Klasa 1	Klasa 2
Siła otwarcia drzwi	≤ 100 N	≤ 100 N	
Różnica ciśnienia – drzwi zamknięte	50 Pa ±10% 45 Pa ±10%	≥ 30 Pa	
Różnica ciśnienia – drzwi zewnętrzne otwarte	10 Pa ±10% dla klasy C i D	brak wymagań	
Prędkość przepływu powietrza	0,75 lub 2 m/s	≥ 1 m/s	≥ 2 m/s
Czas aktywacji	brak wymagań	≤ 60 s	
Czas pracy	jw.	≤ 120 s	
Czas reakcji	jw.	≤ 5 s	

wartości te okazywały się trudne do spełnienia z tak dużą dokładnością, szczególnie w budynkach wysokich i wysokościowych, gdzie istotny wpływ na rozkład ciśnienia ma m.in. ciąg kominowy. Powyższa dokładność utrzymania parametru nadciśnienia nie ma większego uzasadnienia, dlatego w nowej wersji normy zdecydowano się na zmianę w tym zakresie. Dotychczasowe sześć klas zastąpiono dwiema – klasą 1 i 2, a wymogi dotyczące utrzymania wartości nadciśnienia w pomieszczeniu chronionym zostały złagodzone. Wymagana różnica ciśnienia wynosi dla obu klas minimum 30 Pa. Zniesiony został również wymóg utrzymania 10 Pa nadciśnienia w klatce ewakuacyjnej w przypadku otwartych drzwi ewakuacyjnych na zewnątrz. Wymagana prędkość powietrza w drzwiach ewakuacyjnych wzrosła natomiast z 0,75 do 1 lub 2 m/s. W tabeli 1 porównano wytyczne wycofanej i nowej wersji normy.

Zastosowanie odpowiedniej klasy uzależnione jest od przeznaczenia budynku lub wyposażenia go w instalację tryskaczową. Klasa 1 powinna być stosowana:

- w budynkach wyposażonych w instalację z tryskaczami szybkiego reagowania (RTI < 50),
- w budynkach mieszkalnych o wysokości do 30 m lub, według krajowych wymogów, niższych niż limit budynków wysokościowych (w Polsce 55 m),
- w budynkach mieszkalnych, w których pomiędzy przestrzenią chronioną a pomieszczeniem potencjalnie objętym pożarem znajdują się co najmniej dwa pomieszczenia z małym ryzykiem wystąpienia w nich pożaru (bez obciążenia ogniowego), z drzwiami wyposażonymi w samozamykacze.

Klasa 2 powinna być stosowana we wszystkich pozostałych przypadkach.

Sprawdzanie czasu osiągnięcia wymaganych parametrów pracy systemu

Kolejną zmianą jest wprowadzenie wymogu spełnienia warunku dotyczącego określonego czasu, w jakim układ osiągnie odpowiednie parametry pracy. W nowej normie zwrócono uwagę na czas

osiągnięcia projektowych parametrów pracy, przypominając, że jest on szczególnie istotny pod kątem ewakuacji w budynku. Zbyt długi czas ustalenia parametrów pracy po otwarciu lub zamknięciu drzwi mógłby skutkować trudnościami w otwarciu drzwi, a tym samym utrudnić lub uniemożliwić ewakuację.

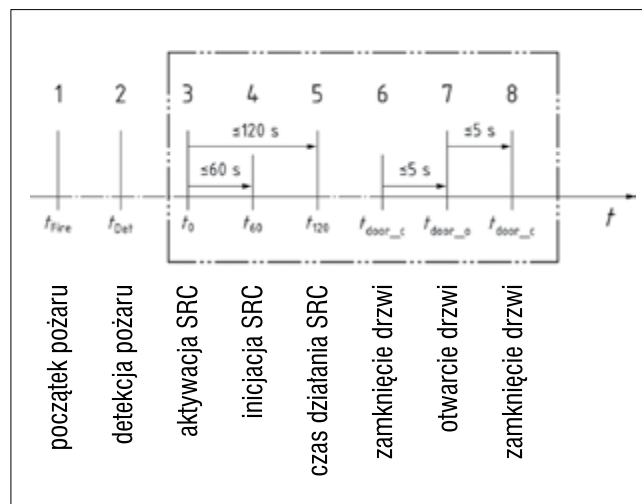
Należy zauważyć, że w wycofanej normie znajdziemy wzmiankę mówiącą o tym, że w przypadku zastosowania wentylatorów nawiewnych ze zmienną prędkością obrotową lub z klapami sterowanymi czujnikami ciśnienia system powinien osiągnąć 90% żądanej wydajności w ciągu 3 s od otwarcia lub zamknięcia drzwi. Dla wymagania tego nie została jednak podana metoda sprawdzenia, co w efekcie prowadziło do braku jego weryfikacji w trakcie budowy i odbiorów. Istotne jest również, że powyżej opisany wymóg dotyczy obecnie wszystkich typów systemów, a nie, jak w poprzedniej wersji, jedynie tych ze zmienną prędkością obrotową wentylatora lub z klapami sterowanymi czujnikami ciśnienia.

W nowej normie wyodrębnione zostały wymagania dotyczące czasu:

- aktywacji systemu, czyli czasu, w jakim system powinien się aktywować od momentu otrzymania sygnału o pożarze (≤ 60 s),
- pracy (operation time), tj. czasu mierzonego od aktywacji systemu do osiągnięcia pełnej sprawności układu (≤ 120 s),
- czasu reakcji (response time) – czasu, w którym po zmianie położenia drzwi z zamkniętych na otwarte lub z otwartych na zamknięte SRC powinien osiągnąć projektowane parametry (≤ 5 s).

W normie produktowej PN-EN 12101-6:2022 podany został krótszy czas reakcji, 3 s, natomiast w normie projektowej PN-EN 12101-13:2022 został on wydłużony do 5 s. Jest to oczywiście uzasadnione tym, że czasy mierzone w budynku o układzie bardziej złożonym niż stanowisko testowe mogą być trudniejsze do osiągnięcia.

W normie PN-EN 12101-13:2022 podano metodę sprawdzenia powyższych wymagań. Badanie zostało dodane jako nowy wymóg do obowiązkowych testów odbiorowych, jak i późniejszych testów sprawdzających, przeprowadzanych w trakcie eksploatacji systemu. Do wykonania tego testu niezbędne jest wykorzystanie manometru z możliwością rejestracji pomiaru różnicy ciśnienia w czasie. Procedura sprawdzenia polega na pomiarze ciśnienia w czasie następującej sekwencji otwarcia i zamknięcia drzwi:



Rys. 1. Czas reakcji systemu różnicowania ciśnienia wg PN-EN 12101-13

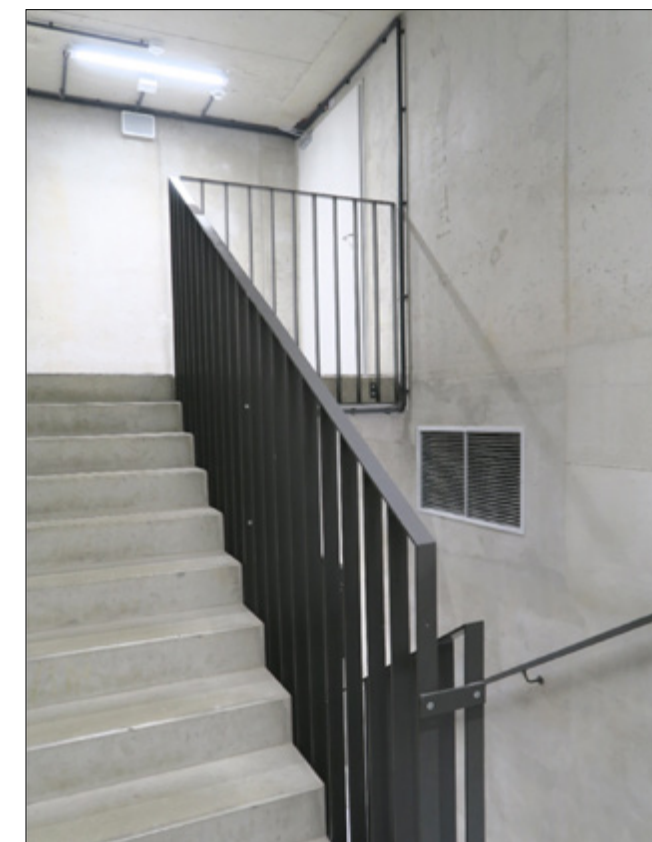
przez 30 s drzwi pozostają otwarte → na 1-2 s drzwi są zamykane → ponownie przez 10 s drzwi pozostają otwarte → zamknięcie drzwi przez samozamykacz → przez 60 s drzwi pozostają zamknięte

Na podstawie zarejestrowanych danych należy:

- a) wyznaczyć średnią różnicę ciśnienia na drzwiach (Δp_{c1}) z pierwszych 30 s zmierzonych danych, wykorzystując średnią arytmetyczną uzyskanych pomiarów,
- b) obliczyć maksymalną dopuszczalną różnicę ciśnienia odpowiadającą 100 N siły otwarcia ($\Delta p_{100\text{ N}}$),
- c) na podstawie danych określić czas, w którym zmierzone ciśnienie różnicowe przekracza ($\Delta p_{100\text{ N}}$) po raz pierwszy (t_1),
- d) określić czas po zamknięciu drzwi, w którym zmierzona różnica ciśnienia powraca poniżej ($\Delta p_{100\text{ N}}$) – czas (t_2), różnica czasu ($\Delta t = t_2 - t_1$) powinna być mniejsza niż 5 s,
- e) określić średnią różnicę ciśnienia w drzwiach (Δp_{c2}) z ostatnich 30 s pomiaru, wykorzystując prostą średnią z zarejestrowanych danych; (Δp_{c2}) musi się mieścić w zakresie $\pm 5\%$ wartości (Δp_{c1}).

Przewietrzanie pomieszczeń

Kolejnym nowym wymaganiem, które wprowadza nowa norma PN-EN 12101-13:2022, jest konieczność zapewnienia przewietrzania pomieszczeń chronionych na wypadek przedostania się do nich dymu z pomieszczeń objętych pożarem. Wymóg ten nie jest obligatoryjny, jednak autorzy normy zalecają zastosowanie przewietrzania w każdym projekcie SRC. Przewietrzanie klatki powinno być zapewnione w sposób stały zgodnie z lokalnymi wymaganiami, a w przypadku ich braku (jak w Polsce) z koniecznością zapewnienia wymiany powietrza co najmniej 7500 m³/h. Można to osiągnąć poprzez zastosowanie w pomieszczeniu np. otworu z klapą nadciśnieniową lub przepustnicą regulacyjną otwieraną w sposób automatyczny i dobraną tak, aby zapewnić wymagany przepływ powietrza. Należy również uwzględnić ten przepływ



Fot. 2. Klatka schodowa chroniona systemem różnicowania ciśnienia Źródło: Aereco Wentylacja

przy doborze wentylatora, biorąc równocześnie pod uwagę konieczność spełnienia głównych wymagań projektowych.

Wymagania dla elementów systemów SRC

Norma PN-EN 12101-13:2022 zawiera szereg wymagań dla elementów systemu różnicowania ciśnienia. Znajdziemy tam listę wszystkich urządzeń, które mogą być wykorzystane do zbudowania SRC. Każdy element został dokładnie scharakteryzowany, podane zostały także wymagania co do norm i wytycznych, które powinny być spełnione w odniesieniu do wszystkich składowych systemu.

Przykładowo przewody nawiewne zlokalizowane w ramach jednego pomieszczenia są dopuszczone w wykonaniu standardowym bez odporności ogniowej. Natomiast te, które prowadzone są poza tym pomieszczeniem, muszą być w wykonaniu ognioodpornym zgodnym z normą PN-EN 12101-7:2012 *Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 7: Odcinki przewodów wentylacji pożarowej*. Innym przykładem są klapy transferowe, które jako urządzenia nie zostały objęte oddzielną normą. Nowelizacja podaje, że klapy te stosowane pomiędzy klatką schodową a przedsionkiem oraz przedsionkiem i korytarzem powinny być zgodne z normą PN-EN 15650:2010 *Wentylacja budynków. Przeciwpowozarowe klapy odcinające montowane w przewodach*.

W normie PN-EN 12101-13:2022 znalazły się również nowe wytyczne dotyczące elementów wyposażenia SRC. Jednym z nich jest konieczność zainstalowania w obiekcie panelu ręcznej kontroli dla straży pożarnej. Panel ten powinien zostać zlokalizowany przy głównym wejściu do budynku lub w jego pobliżu. Dostęp do niego powinien być ograniczony jedynie do autoryzowanego personelu i ma on umożliwiać następujące tryby pracy systemu: OFF, AUTOMATIC i ON. W położeniu OFF wentylator zostaje wyłączony. W położeniu AUTOMATIC system pozostaje w trybie gotowości pracy, natomiast tryb ON, tj. włączony, pozwala na ręczne uruchomienie wentylatora nawiewnego bez przesterowywania innych urządzeń, jak np. klapy upustowe. Tryb ten może zostać wykorzystany przez straż pożarną w razie konieczności szybkiego przewietrzenia klatki schodowej i usunięcia zalegającego w niej dymu.

W nowej normie PN-EN 12101-13:2022 znalazł się również wymóg instalowania panelu lub przycisku ręcznej kontroli do wykorzystania przez osoby ewakuujące się z budynku. Przycisk taki powinien być również zainstalowany w pobliżu głównego wejścia do budynku, a jego zwolnienie spowoduje uruchomienie i zapewnienie działania opisanego wcześniej trybu przewietrzania.

Nawiew do wind pożarowych i innych

Nawiew do wind wykorzystywanych w czasie pożaru przez ekipy ratownicze powinien być zaprojektowany tak, by nie wpływał negatywnie na ich pracę, np. poprzez powodowanie ruchu kabli zasilających czy utrudnienia w otwieraniu drzwi kabiny. Nowym wymogiem w normie PN-EN

12101-13:2022 w porównaniu do zapisów PN-EN 12101-6:2007 jest ograniczenie maksymalnej prędkości nawiewu do 3 m/s. Kraty nawiewne mogą być zlokalizowane na stropie szybu lub w jego najniższym punkcie albo w obu wskazanych miejscach.

Nowością jest natomiast wymóg dotyczący maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego w szybie windy, który nie powinien przekraczać 80 dB(A) w przypadku, gdy straż pożarna może korzystać z intercomu do komunikacji w czasie pożaru. Wymaganie to sugeruje konieczność analizy poziomu hałasu wentylacji pożarowej i stosowania tłumików w przypadkach, gdyby był on wyższy.

Wentylatory rezerwowe

W normie PN-EN 12101-13:2022 nie znajdziemy natomiast wymogu stosowania rezerwowych jednostek wentylatorów. Przypomnijmy, że wymagania takie widniały w normie PN-EN 12101-6:2007 i dotyczyły ochrony przed zadymieniem pomieszczeń stanowiących jedyną drogę ewakuacyjną z budynku, np. w obiekcie z jedną klatką schodową. Dotychczas w takim przypadku konieczne było zastosowanie kompletnego duplikatu wentylatora wraz z napędem, co w efekcie oznaczało konieczność podwojenia liczby jednostek nawiewnych w instalacjach SRC. Konieczność stosowania rezerwowych jednostek znacznie zwiększała koszty inwestycyjne, a następnie eksploatacyjne instalacji. Z tego względu zmiana ta spotka się na pewno z dobrym przyjęciem wśród inwestorów i zarządców budynków.

Podsumowanie

Opisane powyżej zmiany w normach należy ocenić pozytywnie, gdyż porządkują one i uściślają wytyczne dla projektantów instalacji wentylacji pożarowej. Szczególnie istotne jest odejście od wygórowanych i w praktyce trudnych do spełnienia kryteriów utrzymania parametrów dla systemów różnicowania ciśnienia, przy jednoczesnym zachowaniu ich skuteczności. Istotne jest również, że w momencie zharmonizowana norma PN-EN 12101-6:2022 ureguje kwestię badań i dopuszczania do obrotu zestawów urządzeń do różnicowania ciśnienia. Umożliwi to ich testowanie w wielu laboratoriach na świecie i szerzej otworzy rynek producentom tych urządzeń.

Literatura

1. PN-EN 12101-13:2022-09 Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 13: Systemy różnicowania ciśnień (SRC). Projektowanie i metody obliczeniowe, instalowanie, badania okresowe i konserwacja
2. PN-EN 12101-6:2022-09 Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnień. Zestawy urządzeń
3. PN-EN 12101-6:2007 Systemy kontroli i rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnień. Zestawy urządzeń
4. PN-EN 12101-7:2012 Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 7: Odcinki przewodów wentylacji pożarowej
5. PN-EN 15650:2010 Wentylacja budynków. Przeciwpowozarowe klapy odcinające montowane w przewodach

Oddymianie klatek schodowych – wybrane wymagania prawne i wytyczne projektowe

Przepisy budowlane wymagają od wyposażenia technicznego budynków, aby podczas pożaru zapewnione zostały warunki umożliwiające ewakuację ludzi lub ich uratowanie w inny sposób oraz uwzględnione bezpieczeństwo ekip ratowniczych. W praktyce projektowej i budowlanej do oddymiania klatek schodowych stosuje się systemy grawitacyjne, a do zapobiegania zadymieniu systemy mechaniczne – różniące się wielkością nakładów inwestycyjnych oraz stopniem niezawodności działania.

Wymagania prawne

Warunki techniczne [1] w § 209 wyróżniają budynki oraz ich części stanowiące odrębne strefy pożarowe w rozumieniu § 226, z uwagi na przeznaczenie i sposób użytkowania, m.in.: ZL – czyli mieszkalne, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej charakteryzowane kategorią zagrożenia ludzi oraz PM – produkcyjne i magazynowe. Budynki oraz części budynków stanowiące odrębne strefy pożarowe określane jako ZL zalicza się do jednej lub więcej kategorii zagrożenia ludzi:

ZL I – zawierające pomieszczenia przeznaczone do jednoczesnego przebywania ponad 50 osób niebędących ich stałymi użytkownikami, a nieprzeznaczone przede wszystkim do użytku osób o ograniczonej zdolności poruszania się;

ZL II – przeznaczone przede wszystkim do użytku osób o ograniczonej zdolności poruszania się, takie jak: szpitale, żłobki, przedszkola, domy dla osób starszych;

ZL III – użyteczności publicznej, niezakwalifikowane do ZL I i ZL II;

ZL IV – mieszkalne;

ZL V – zamieszkania zbiorowego, niezakwalifikowane do ZL I i ZL II.

W § 207.1 działu VI WT poświęconego bezpieczeństwu pożarowemu, w części zawierającej zasady ogólne, zawarto wymóg, aby budynek i urządzenia z nim związane były projektowane i wykonane w sposób ograniczający możliwość powstania pożaru, a w razie jego wystąpienia umożliwiający ewakuację ludzi lub ich uratowanie w inny sposób oraz uwzględniający bezpieczeństwo ekip ratowniczych.

Ewakuację umożliwiają rozwiązania wyposażone w **urządzenia zapobiegające zadymieniu**, a „uratowania w inny sposób” – systemy **służące do usuwania dymu**. Każdy z nich uwzględnia bezpieczeństwo ekip ratowniczych. Warunki Techniczne stawiają wielu rodzajom budynków wysokich i wysokościowych wyższe wymagania niż budynkom mieszkalnym, tj. ZL IV.

Rozporządzenie [1] stanowi, że w budynkach wysokich (od powyżej 25 do 55 m nad poziomem terenu) i wysokościowych (od 55 m nad poziomem terenu) istnieje obowiązek stosowania w przypadku klatek schodowych i przedsionków pożarowych **urządzeń zapobiegających zadymieniu** (§ 246.2). Natomiast zgodnie z § 245 i § 246.3 klatki schodowe powinny być **wyposażone w urządzenia zapobiegające zadymieniu lub służące do usuwania dymu**, uruchamiane samoczynnie za pomocą systemu wykrywania dymu w następujących budynkach:

- niskich dla stref pożarowych ZL II;
- średniowysokich użyteczności publicznej dla stref: ZL I, ZL II i ZL III;
- średniowysokich zamieszkania zbiorowego dla kategorii zagrożenia ZL;
- wysokich dla stref PM (przemysłowych i magazynowych).

Ponadto w § 245 WT [1] wymagają, aby klatki schodowe w budynku niskim przeznaczone do ewakuacji ze stref pożarowych z kategorią zagrożenia ZL II oraz w budynkach średniowysokich przeznaczone do ewakuacji ze stref pożarowych z kategoriami ZL I, ZL II, ZL III lub ZL V były obudowane i zamykane drzwiami dymoszczelnymi oraz wyposażone w urządzenia zapobiegające zadymieniu lub służące do usuwania dymu, uruchamiane samoczynnie za pomocą systemu wykrywania dymu.

Każde z omawianych rozwiązań – **oddymiania lub zapobiegania zadymieniu** – ma indywidualne cechy techniczne i ekonomiczne oraz poziomy bezpieczeństwa, a decyzja o jego wyborze należy do inwestora i projektantów.

W przypadku zastosowania prostszego rozwiązania do oddymiania przyjmuje się, że nastąpi zadymienie klatki schodowej i użytkownicy budynku nie będą mieli skutecznej drogi ewakuacji, ale uratują się, pozostając w pomieszczeniach budynku, które mają odpowiednie klasy odporności ogniowej przegród i drzwi. W rozwiązaniu tym system oddymiania służy do oczyszczenia klatki schodowej z dymu w celu zapewnienia bezpieczeństwa ekipom ratowniczym (straży pożarnej), które przystępują do akcji gaszenia pożaru i ewakuacji. Oddymianie wymaga zastosowania urządzeń oddymiających, czyli klap dymowych na dachu, które zostaną uruchomione po detekcji pożaru, a także nawiewów kompensacyjnych. Dla osiągnięcia szybkiego efektu ekipy ratownicze mogą wykorzystywać wentylatory przenośne nawiewające powietrze u dołu klatki schodowej.



Rys. 1. Wytyczne CNBOP-PIB W-0003:2016
Systemy oddymiania klatek schodowych

Z kolei zadaniem systemów zapobiegania zadymieniu jest niedopuszczenie do przedostania się lotnych produktów spalania do przestrzeni dróg ewakuacyjnych (dróg ucieczki użytkowników budynku) i dróg pożarowych (dojścia ekip gaśniczo-ratowniczych). Zadanie to realizują systemy różnicowania ciśnień, tworząc odpowiednie warunki nadciśnienia lub przepływu w drzwiach otwartych. Utrzymanie takich warunków zabezpiecza strefę chronioną przed przedostawaniem się do niej dymu i zapewnia tym samym bezpieczną ewakuację oraz pracę ekip ratowniczo-gaśniczych. W dużym uproszczeniu działanie systemu tego typu polega na uruchomieniu wentylatora nawiewnego po wykryciu pożaru, tak aby tłoczył on powietrze do strefy chronionej w celu zapewnienia w niej nadciśnienia i uniemożliwienia napływu dymu. Wydajność systemu jest automatycznie dostosowywana do zdarzeń zachodzących w czasie ewakuacji, jak np. otwarcie drzwi przeciwpożarowych [13].

Koszty inwestycyjne

W artykule A. Bogusławskiej i D. Brzezińskiej [6] przedstawiono m.in. wyniki obliczeń kosztów inwestycyjnych czterech różnych rozwiązań oddymiania i zapobiegania zadymieniu dla przykładowej klatki schodowej w budynku średniowysokim o wysokości 20 m i kategorii zagrożenia ZL III.

Pierwszym analizowanym rozwiązaniem jest system grawitacyjnego odprowadzania dymu i ciepła z klatki schodowej składający się z klapy oddymiającej z napędem elektrycznym oraz otworów nawiewnych (drzwi), a także centrali sterującej. Obliczenia wykonano zgodnie z normą PN/B-02877-4:2001+A21/2006 [3].

Drugie rozwiązanie stanowi system różnicowania ciśnienia składający się z jednostki napowietrzającej, układu czujników, centrali sterującej oraz pięciu okien upustowych z siłownikami. Obliczenia wykonano wg normy PN-EN 12101-6 [4] w klasie C.

Trzecie rozwiązanie to oddymianie za pomocą klapy dymowej z nawiewem mechanicznym o stałej wydajności, składającym się z jednostki napowietrzającej, klapy oddymiającej z napędem elektrycznym i centrali sterującej. Obliczenia wykonano w ramach badań prowadzonych na Politechnice Łódzkiej. Rozwiązanie to różni się od pierwszego pod tym względem, że zwiększa niezawodność działania w zmiennych warunków atmosferycznych dzięki mechanicznemu nawiewowi u dołu klatki.

Czwarte rozwiązanie to oddymianie klapami dymowymi z nawiewem mechanicznym o zmiennej wydajności, składające się z jednostki napowietrzającej, klapy oddymiającej z napędem elektrycznym i regulatorem ciśnienia oraz centrali sterującej. Obliczenia wykonano według wytycznych CNBOP [2].

Autorki porównały rozwiązania nr 2–4 przyjmując, że rozwiązanie nr 1 stanowi 100% kosztów. Rozwiązanie drugie było droższe od pierwszego o 715%, trzecie o 135%, a czwarte o 385% [6].

Wymagania techniczne, niezawodność i bezpieczeństwo

Praktyka wskazuje, że najwięcej problemów w procesie projektowania instalacji oddymiania sprawiają kwestie doprowadzenia powietrza wentylacyjnego [8].

Grawitacyjne odprowadzenie dymu z klatki schodowej (wariant pierwszy) stosunkowo łatwo wykonać i tym samym jest to najtańsze rozwiązanie spośród stosowanych do oddymiania klatek schodowych. System jest prosty i nie wymaga urządzeń regulujących i sterujących, działa niezawodnie w ujęciu technicznym, ale bywa podatny na wpływ zmiennych warunków atmosferycznych – parcia wiatru i temperatury zewnętrznej. Wpływ różnicy temperatury między otoczeniem zewnętrznym a chronioną klatką schodową oceniły m.in. A. Bogusławska i D. Brzezińska [7] podczas badań przeprowadzonych na terenie kampusu Politechniki Łódzkiej w rzeczywistym budynku średniowysokim LabFactor o wysokości 19,8 m. Wyniki wskazują, że ten system oddymiania funkcjonuje z odpowiednią wydajnością przepływu powietrza przez klatkę schodową, czyli 10 wymian/godz. zgodnie z normą brytyjską BS 7346-7:2013, przez ok. 80% roku [7].

Aby system był wydajny, klapy dymowe na dachu budynku powinny być umieszczane bezpośrednio nad przestrzenią klatki schodowej i nie należy stosować okien lub ściennych urządzeń oddymiających. Ścienne punkty wylotu dymu powodują bowiem ryzyko powstania parcia wiatru na nie. Wiatr o prędkości 3–4 m/s, czyli 10–15 km/h, może *znacznie zakłócić proces oddymiania lub nawet zmienić kierunek przepływu dymu w przestrzeni klatki schodowej* [8].

Zastosowanie mechanicznego nawiewu o stałej wydajności i oddymiania klapami (wariant trzeci [6]) podnosi skuteczność tradycyjnego systemu grawitacyjnego, gdyż zwiększa jego niezależność od panujących warunków atmosferycznych.

Z kolei oddymianie klapami dymowymi z nawiewem mechanicznym o zmiennej wydajności (wariant czwarty [6]) ma wyższą skuteczność niż system grawitacyjny, gdyż zapewnia przepływ powietrza przez klatkę schodową niezależnie od warunków atmosferycznych oraz w zmiennych warunkach otwarcia i zamknięcia drzwi ewakuacyjnych.

System różnicowania ciśnienia (wariant drugi [6]) jest najmniej podatny na zmienne warunki zewnętrzne, zapewnia najwyższe bezpieczeństwo i najlepsze warunki do ewakuacji oraz działania służb ratowniczych, jest też przy tym najdroższy inwestycyjnie.

Zakres stosowania powyższych rozwiązań powinien być ściśle powiązany z rodzajem budynku, jego cechami indywidualnymi oraz charakterem funkcjonowania [6, 8]. Wspomniane powyżej przepisy § 207 WT wymagają od systemów oddymiania klatki schodowej łącznego spełniania dwóch zdań – co najmniej uratowania użytkowników budynku w inny sposób niż ewakuacja oraz stworzenia warunków do bezpiecznego działania ekip ratowniczych. System grawitacyjny jest prawnie usankcjonowanym rozwiązaniem, jednak nie zapewnia skutecznej ochrony pionowych dróg ewakuacji,

tylko uratowanie użytkowników budynku „w inny sposób”. Z tych powodów rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń ppoż. coraz częściej w przypadku wysokich budynków mieszkalnych zalecają stosowanie wentylacji pożarowej chroniącej klatkę schodową przed zadymieniem, czyli systemów różnicowania ciśnienia [8]. Skuteczność oddymiania grawitacyjnego w okresach wysokich temperatur zewnętrznych jest odwrotnie proporcjonalna do wysokości budynku i tym samym już w budynkach wysokich, a nie tylko wysokościowych występuje duże ryzyko, że nawet prawidłowo zaprojektowany system grawitacyjny nie usunie dymu z klatki schodowej [8].

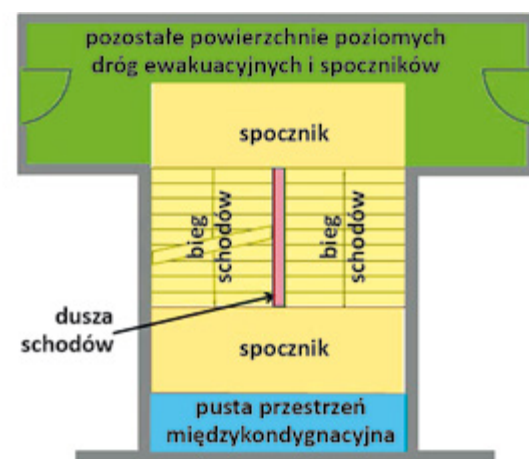
Powierzchnia obliczeniowa klatki schodowej i parametry systemów oddymiania grawitacyjnego

Szczegółowe zalecenia projektowania systemów oddymiania klatek schodowych zawierają Wytyczne CNBOP-PIB W-0003:2016 [2]. Podają one, że podstawą do wymiarowania elementów systemu oddymiania jest powierzchnia obliczeniowa klatki schodowej, określana w sposób opisany w rozdziale 6.1. Przedstawiona tam metoda obliczeniowa dotyczy klatek schodowych, w odniesieniu do których spełnione są wszystkie poniższe warunki:

- powierzchnia klatki schodowej na dowolnej kondygnacji nie przekracza 40 m²;
- z klatką schodową są połączone korytarze lub inne przestrzenie o długości do 10 m, licząc od granicy powierzchni obliczeniowej klatki schodowej;
- długość dojścia do granicy powierzchni obliczeniowej klatki schodowej z dowolnych drzwi nie przekracza 5 m;
- szerokość przyległego korytarza, stanowiącego wspólną przestrzeń z klatką schodową, nie przekracza 3 m.

W przypadku braku spełnienia któregoś z powyższych warunków Wytyczne wymagają, by skuteczność wstępnie zaprojektowanego systemu oddymiania zgodnego z wymaganiami tego rozdziału została potwierdzona z wykorzystaniem narzędzi CFD. Warunki i zasady prowadzenia obliczeń oraz kryteria oceny skuteczności systemu określone są w rozdziałach 6 i 7.

Wytyczne zalecają, aby klapy dymowe w dachu sytuować możliwie centralnie w stosunku do podstawy klatki schodowej. Przy określaniu powierzchni napływu powietrza kompensacyjnego należy dążyć do spełnienia warunku, by powierzchnia czynna otworów/urządzeń zastosowanych do zapewnienia napływu powietrza kompensacyjnego była nie mniejsza niż powierzchnia



Rys. 2. Obszary występujące na klatce schodowej. Źródło: Wytyczne CNBOP-PIB W-0003:2016

czynna zastosowanych urządzeń oddymiających. Sumaryczna powierzchnia czynna klap dymowych w budynkach niskich i średniowysokich powinna odpowiadać co najmniej 5% powierzchni obliczeniowej klatki schodowej i nie mniej niż 1 m², a w budynkach wysokich nie mniej niż 1,5 m².

Według wytycznych CNBOP powierzchnia obliczeniowa klatki schodowej wynika z przestrzeni wymaganej do swobodnego przemieszczania się ludzi pomiędzy najwyższą kondygnacją a poziomem wyjścia z budynku. Jest ona ograniczona wymiarami biegu schodów, wolną przestrzenią między nimi lub inną pustą przestrzenią międzykondygnacyjną oraz spocznikami wydzielonymi wzdłuż linii schodów, o szerokości takiej jak szerokość schodów w budynku (wymiar określony na podstawie projektowanej geometrii; **rys. 2**). Powierzchnię obliczeniową klatki schodowej definiują wielkości pól powierzchni: A, B, C i D (zgodnie z **rys. 3**). Należy również zdefiniować powierzchnię E, która służy do wyliczenia powierzchni klatki schodowej (A_{KS}), nie jest jednak wliczana do powierzchni obliczeniowej klatki schodowej (A_{KS-O}).

Do zdefiniowania **powierzchni obliczeniowej klatki schodowej** zastosowano następujące parametry, zobrazowane na rys. 2:

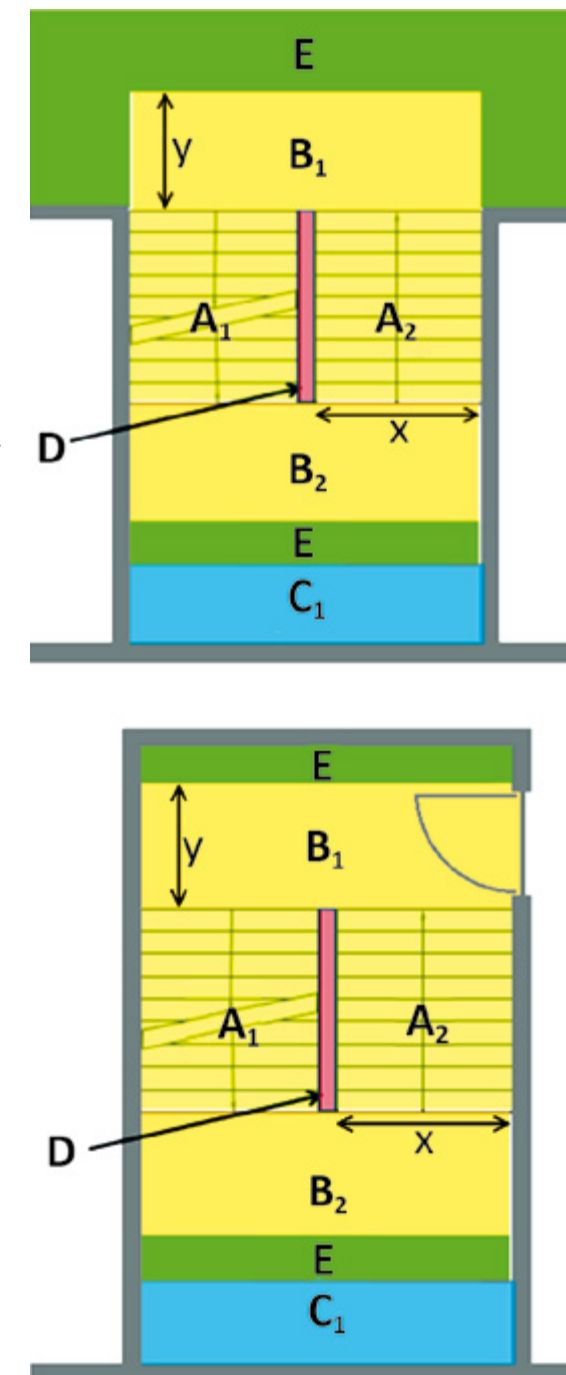
x – rzeczywista szerokość biegu schodów (nie mniejsza niż minimalna szerokość użytkowa biegu wynikająca z WT);

y – minimalna szerokość spocznika wynikająca z WT i nie mniejsza niż x;

A – maksymalna powierzchnia rzutu biegów schodów, o zdefiniowanej szerokości biegu (x):

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \text{ [m}^2\text{]} \quad (1)$$

B – minimalna wymagana powierzchnia spoczników wynikająca z geometrii klatki schodowej i wymaganej minimalnej szerokości użytkowej spocznika (wynikającej z WT):



Rys. 3. Rodzaje powierzchni występujących na klatce schodowej. Źródło: Wytyczne CNBOP-PIB W-0003:2016

$$B = \sum_{j=1}^m B_j \text{ [m}^2\text{]} \quad (2)$$

C – powierzchnia pozostałych otworów międzykondygnacyjnych:

$$C = \sum_{k=1}^p C_k \text{ [m}^2\text{]} \quad (3)$$

Powierzchnia C powinna spełniać następujący warunek:

$$C \leq 10\% (A + B) \quad (4)$$

W przypadku niespełnienia tego warunku można skorzystać z zasad projektowania zawartych w omawianych Wytycznych, jednak niezbędne jest potwierdzenie skuteczności projektowanego systemu oddymiania za pomocą analiz CFD zgodnie z rozdziałem 7;

D – powierzchnia duszy schodów, której stawia się następujący warunek:

$$D \leq 25\% (A + B) \quad (5)$$

W przypadku niespełnienia powyższego warunku można korzystać z zasad przedstawionych w Wytycznych po zweryfikowaniu skuteczności za pomocą analiz CFD;

E – pozostałe powierzchnie poziomych dróg ewakuacyjnych i spoczników. Jeżeli dla jednej klatki schodowej na poszczególnych kondygnacjach uzyskano różne wartości powierzchni obliczeniowej A_{KS-O} , do dalszych obliczeń należy wybrać największą z tych wartości.

W załączniku do Wytycznych podano przykłady wyznaczania powierzchni obliczeniowej A_{KS-O} dla klatek schodowych o różnej konstrukcji.

Wytyczne podają, że w przypadku klatek schodowych w budynkach istniejących, których wymiary biegu lub spocznika są mniejsze niż wymagane przez aktualne WT, do wyznaczenia powierzchni obliczeniowej klatki należy przyjąć minimalne szerokości użytkowe biegu/spocznika wynikające z aktualnych wymagań WT.

Wytyczne informują także, jak określać **parametry elementów wykonawczych systemów oddymiania grawitacyjnego** – urządzeń oddymiających i napływu kompensacyjnego.

Sumaryczna powierzchnia czynna klap dymowych (A_{cz}) w budynkach niskich i średniowysokich powinna odpowiadać co najmniej 5% powierzchni obliczeniowej klatki schodowej (A_{KS-O}) i nie powinna być mniejsza niż 1 m²:

$$A_{cz} = \max(0,05 \cdot A_{KS-O}; 1,0) \text{ [m}^2\text{]} \quad (6)$$

Klapy dymowe w dachu należy usytuować jak najbardziej centralnie w stosunku do podstawy klatki schodowej. W stropach pochylonych klapy dymowe należy umieszczać na 1/3 wysokości stropu, licząc od góry.

W procesie określania **powierzchni napływu powietrza kompensacyjnego** należy dążyć do spełnienia warunku, by powierzchnia czynna otworów/urządzeń zastosowanych do zapewnienia napływu powietrza kompensacyjnego (A_{cz_komp}) była nie mniejsza niż powierzchnia czynna zastosowanych urządzeń oddymiających (A_{cz}):

$$A_{cz_komp} \geq A_{cz} \quad (7)$$

Wymaga to jednak użycia urządzeń przebadanych pod kątem aerodynamicznym przez niezależne i kompetentne laboratorium badawcze z uwzględnieniem normy PN-EN 12101-2 i z akredytacją dla normy PN-EN ISO/IEC 17025.

Jeżeli powierzchnia czynna zastosowanych otworów kompensacyjnych (A_{cz_komp}) nie jest znana, ich powierzchnię należy wyznaczyć na podstawie powierzchni geometrycznej urządzeń oddymiających (A_{odd_geom}) według jednej z dwóch metod:

1. Jeśli otworem kompensacyjnym mają być drzwi otwarte pod kątem co najmniej 90°, powierzchnię geometryczną kompensacji (A_{komp_geom}) należy przyjąć jako o 30% większą od powierzchni geometrycznej urządzeń oddymiających (A_{odd_geom}):

$$A_{komp_geom} \geq 1,3 \cdot A_{odd_geom} \quad (8)$$

Funkcję napływu powietrza kompensacyjnego mogą pełnić automatycznie otwierane pojedyncze drzwi, pod warunkiem że łączą one przestrzeń klatki schodowej bezpośrednio z przestrzenią zewnętrzną, lub co najwyżej automatycznie otwierane dwoje drzwi w układzie szeregowym, łączące przestrzeń klatki schodowej z przestrzenią zewnętrzną, jeżeli odległość pomiędzy nimi nie będzie przekraczać 5 m.

2. W przypadku zastosowania innego automatycznie otwieranego otworu kompensacyjnego łączącego przestrzeń klatki schodowej bezpośrednio z przestrzenią zewnętrzną (np. okno, żaluzja, przepustnica itp.), dla którego producent udostępnia, na swoją odpowiedzialność, informację na temat powierzchni efektywnej urządzenia, powierzchnię kompensacji (efektywnej) przyjmuje się jako wartość o 30% większą od wartości powierzchni geometrycznej urządzeń oddymiających:

$$A_{komp_eff} \geq 1,3 \cdot A_{odd_geom} \quad (9)$$

Podsumowanie

Wybór sposobu ochrony dróg ewakuacyjnych – instalacji oddymiania lub systemu różnicowania ciśnień – powinien uwzględniać także akceptowalność cech danego rozwiązania w każdych warunkach, zmieniających się w ciągu roku. W wielu budynkach stawia się na systemy oddymiania grawitacyjnego ze względu na niższe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, co jest także wyborem

powszechnie akceptowalnym w zakresie bezpieczeństwa w budynkach niskich i średniowysokich oraz niektórych wysokich. Systemy różnicowania ciśnienia, choć są znacznie droższe i trudniejsze w utrzymaniu, zapewniają wysokie bezpieczeństwo zwłaszcza w budynkach wysokich i wysokościowych dzięki przewidywalnej i regulowanej pracy w reakcji na zmianę warunków w obiekcie oraz niepoddawaniu się wpływom zmiennych warunków atmosferycznych.

Waldemar Joniec

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2022 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (t.j. DzU 2022, poz. 1225)
2. Wytyczne CNBOP-PIB W-0003 *Systemy oddymiania klatek schodowych*, maj 2019, <https://www.cnbop.pl/wydawnictwa/wytyczne/wytyczne-systemy-oddymiania-klatek-schodowych.pdf> (dostęp: 20.03.2024)
3. PN-B-02877-4:2001Az2006 *Ochrona przeciwpożarowa budynków. Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła. Zasady projektowania*
4. PN-EN 12101-6:2022 *Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnień. Zestawy urządzeń*
5. PN-EN 12101-13:2022 *Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 13: Systemy różnicowania ciśnień (SRC). Projektowanie i metody obliczeniowe, instalowanie, badania okresowe i konserwacja*
6. Bogusławska Arleta, Brzezińska Dorota, *Systemy wentylacji pożarowej klatek schodowych*, „Instal” 12/2017
7. Bogusławska Arleta, Brzezińska Dorota, *Systemy oddymiania klatek schodowych. Wpływ temperatury zewnętrznej na przepływ powietrza*, „Cyrkulacje” 76 (lipiec-sierpień), 2023
8. Kubicki Grzegorz, *Problemy projektowania systemów oddymiania klatek schodowych w budynkach wielokondygnacyjnych*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” 4/2023, DOI:10.15199/9.2023.4.3
9. Kubicki Grzegorz, *Wentylacja pożarowa klatek schodowych budynków mieszkalnych – wybór rozwiązania*, „Rynek Instalacyjny” 10/2021, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/arttykul/systemy-ppoz/117546,ventylacja-pozarowa-klatek-schodowych-budynkow-mieszkalnych-wybor-rozwiazania>
10. Kubicki Grzegorz, Tekielak-Skałka Izabela, *Wyniki badań obiektowych systemu oddymiania klatek schodowych ze zmiennym nawiewem mechanicznym*, „Rynek Instalacyjny” 5/2017, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/arttykul/systemy-ppoz/30339,wyniki-badan-obiektowych-systemu-oddymiania-klatek-schodowych-ze-zmiennym-nawiewem-mechanicznym>
11. Łącki Włodzimierz, *Systemy różnicowania ciśnienia. Nowelizacja normalizacji w zakresie projektowania, obliczania, montażu oraz badań i konserwacji*, „Rynek Instalacyjny” 12/2022, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/arttykul/systemy-ppoz/153696,systemy-roznicowania-cisnienia>
12. Sztarbała Ewa, Sztarbała Grzegorz, *Siła otwarcia drzwi 100 N a samozamykacz w drzwiach do przestrzeni chronionej*, „Cyrkulacje” 76 (lipiec-sierpień), 2023
13. JoniecWaldemar, *Systemyróżnicowaniaciśnienia-wybraneaspektystosowania*, „RynekInstalacyjny” 11/2023, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/arttykul/systemy-ppoz/162621,systemy-roznicowania-cisnienia-wybrane-aspekty-stosowania>



czasopismo / portal / konferencje / książki



RZETELNE INFORMACJE DLA SPECJALISTÓW BRANŻY HVAC I WOD-KAN

przykłady projektów i realizacji

analizy techniczne i ekonomiczne instalacji

przepisy, normy i wytyczne

WWW.RYNEKINSTALACYJNY.PL

Marcin Gasiński

Aereco

Klapy przeciwpożarowe odcinające – na co zwracać uwagę podczas montażu

Zadaniem klap przeciwpożarowych jest ochrona sąsiadujących ze sobą pomieszczeń przed bezpośrednim przenoszeniem się pożaru pomiędzy nimi oraz ograniczenie rozprzestrzeniania się dymu w instalacji. Skuteczność tej biernej ochrony ppoż. zależy m.in. od poprawnego doboru i starannego przeprowadzenia prac montażowych na budowie.

Biorąc pod uwagę liczbę instalowanych co roku w budynkach przeciwpożarowych klap odcinających (dalej: klap), są to jedne z najczęściej stosowanych elementów biernych zabezpieczeń ppoż. Powszechne wykorzystanie nie zawsze idzie jednak w parze z prawidłowym użytkowaniem. Z powodu błędnego doboru czy niepoprawnego montażu istotny odsetek wbudowanych klap nie spełni deklarowanych właściwości użytkowych, co przełoży się na zwiększenie ryzyka dla użytkowników i ekip ratowniczych oraz strat materialnych.

Klapa jest wyrobem budowlanym wprowadzanym do obrotu z oznakowaniem CE. Oznacza to, że wszyscy producenci posługują się tą samą zharmonizowaną specyfikacją techniczną, normą do badań, klasyfikacji i rozszerzonego zastosowania wyników badań [1, 2, 3, 4]. Pozornie zasady prawidłowego stosowania tego wyrobu powinny być dobrze znane uczestnikom procesu budowlanego, a obecność w procesie rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych eliminować ewentualne niedostatki. Jednak wnikliwa obserwacja rynku i praktyk towarzyszących budowie wskazuje, że istotny wpływ na poziom bezpieczeństwa budynku mają kompetencje firm przeprowadzających instalację. To od doświadczenia i fachowości ich pracowników oraz ewentualnych ingerencji w zaprojektowane urządzenia (polegających przede wszystkim na poszukiwaniu tańszych zamienników, co jest obecnie na porządku dziennym w procesach budowlanych w obliczu rosnących kosztów) zależy najwięcej. Dochodzą do tego napięte harmonogramy oraz braki kadrowe powodujące pośpieszne podejmowanie decyzji i prac montażowych, a tym samym wzrost ryzyka popełnienia błędu.

Dobór klapy do przegrody budowlanej

Z obserwacji rynku wynika, że największy problem sprawia dobór klapy odpowiedniej do wybudowanej przegrody budowlanej, dla której wykonuje się zabezpieczenie przejścia instalacyjnego. Otrzymywane przez producentów klap zapytania ofertowe zawierają najczęściej rozmiar klapy oraz

oczekiwaną klasyfikację ogniową EIS, bez szczegółowych informacji dotyczących sposobu instalacji czy danych dotyczących samej przegrody oddzielenia przeciwpożarowego. Właściwości ogniowe klap są zawsze oceniane w powiązaniu z określonym sposobem montażu (wewnątrz, na powierzchni lub w oddaleniu od przegrody) w ściśle zdefiniowanej przegrodzie budowlanej, co oznacza, że ten sam wyrób zamontowany w inny sposób lub w przegrodzie innego typu może służyć do zabezpieczenia przejścia instalacyjnego o innej klasyfikacji EIS (szerzej pisałem o tym w RI 1–2/2020 [7]).

Zgodnie z normą PN-EN 1366-2:2015-08 [2] przeciwpożarowe klapy odcinające bada się w ścianach opisanych w normie PN-EN 1363-1:2020-07 [5]. W dokumencie tym wyróżniono tzw. standardowe i niestandardowe przegrody pionowe. Standardowe to takie, w odniesieniu do których wykonano tak wiele badań ogniowych, że ich klasyfikacja (R)EI jest znana bez konieczności przeprowadzenia badań dodatkowych. Ściany standardowe dzielą się na:

- sztywne o dużej gęstości, min. 850 kg/m³, murowane z cegły, betonu, żelbetu, bloczków silikatowych czy pustaków i grubości wynikającej ze spodziewanego czasu klasyfikacyjnego,
- sztywne o niskiej gęstości, 650±200 kg/m³, murowane z bloczków betonu komórkowego i grubości wynikającej ze spodziewanego czasu klasyfikacyjnego,
- elastyczne, zbudowane z płyt gipsowo-kartonowych typu F wg EN 520 na słupkach stalowych – szczegółowe wymagania dotyczące konstrukcji ściany elastycznej standardowej dla spodziewanego czasu klasyfikacyjnego określono w normie [5].

Badanie klapy po montażu w ścianie standardowej sztywnej pozwala na jej stosowanie w praktyce również w innych ścianach sztywnych standardowych pod warunkiem zachowania nie mniejszej grubości i gęstości niż ściana badana. Z kolei wykonanie badania wyłącznie w ścianie standardowej elastycznej umożliwia stosowanie w ścianie sztywnej standardowej o dowolnej gęstości, ale o minimalnej grubości i uszczelnieniu przejścia instalacyjnego jak dla badanej ściany elastycznej.

Ponieważ ściany w pomieszczeniach nie są wznoszone wyłącznie z uwagi na ochronę przed ogniem, w projektach pojawia się wiele konstrukcji niestandardowych w rozumieniu normy [5], w przypadku których również trzeba zabezpieczyć wykonane przejście instalacyjne. Przykładem takich niestandardowych ścian są np. ściany klejone z bloczków gipsowych. Montowanie klapy w ścianach niestandardowych wymaga jednak oddzielnych badań, bez względu na fakt przebadania wcześniej konstrukcji standardowych.

W jaki sposób odróżnić, czy przegroda, z którą mamy do czynienia na budowie, to ściana standardowa czy niestandardowa, jeśli nie można jej dopasować do kategorii opisanych w normie PN-EN 1363-1:2020-07 [5]? Najłatwiejszym do identyfikacji wyróżnikiem będzie klasyfikacja ogniowa. W przypadku ściany standardowej jest ona opisana w normach do projektowania konstrukcji (Eurokod), a dla ścian niestandardowych opracowywana oddzielnie przez laboratorium notyfikowane na podstawie wykonanych wcześniej badań. Szczegółowe informacje o rodzaju badanej ściany

oraz możliwościach montażu klapy w ścianach o innej konstrukcji również zawarte są w klasyfikacji ogniowej klapy, którą jej producent powinien udostępnić na żądanie.

Wykonanie otworu montażowego

Po prawidłowym zidentyfikowaniu przegrody i ocenie możliwości montażu klapy można przystąpić do wykonania otworu montażowego. Wymiary tego otworu są zawsze ściśle określone w czasie badania, a jego ewentualne powiększenie lub zmniejszenie możliwe w przypadkach opisanych w normie PN-EN 15882-2:2023-02. Możliwość rozszerzonego zastosowania wyników badań odporności ogniowej instalacji użytkowych [4] powinna być wskazana w dokumentacji technicznej klapy. Staranność wykonywania otworów montażowych na budowach jest często nie najwyższa. W przypadku wykonania nieprawidłowego otworu i nierównomiernego rozłożenia materiału uszczelniającego klapę w otworze można się spodziewać m.in. nierównomiernego wzrostu temperatury powierzchni ściany/obudowy klapy po stronie nieobjętej pożarem, czyli niedotrzymania deklarowanego czasu klasyfikacyjnego dla izolacyjności ogniowej (oznaczenie klasyfikacyjne „I”).

Lokalizując w przegrodzie przejście instalacyjne zabezpieczone klapą, należy pamiętać o zachowaniu minimalnych odległości pomiędzy montowaną klapą a sąsiadującymi ścianą/stropem czy inną klapą montowaną w tej samej przegrodzie. Odległości te powinny być określone w deklaracji właściwości użytkowych oraz dokumentacji technicznej klapy. Należy pamiętać, że są one mierzone od powierzchni obudowy klapy, ewentualnie od powierzchni przewodu, w którym zamontowano klapę, a nie od krawędzi otworu montażowego.

Osadzenie klapy wewnątrz ściany

Po prawidłowym wykonaniu otworu należy osadzić klapę wewnątrz ściany. Niezmiernie istotne jest prawidłowe umieszczenie klapy w otworze na odpowiedniej głębokości. Pomocne są w tym



Rys. 1. Przykłady oznaczeń na klapie wykonanych za pomocą taśm i elementów graficznych, wskazujących na prawidłowe osadzenie wewnątrz przegrody na odpowiedniej głębokości



Źródło: Aereco

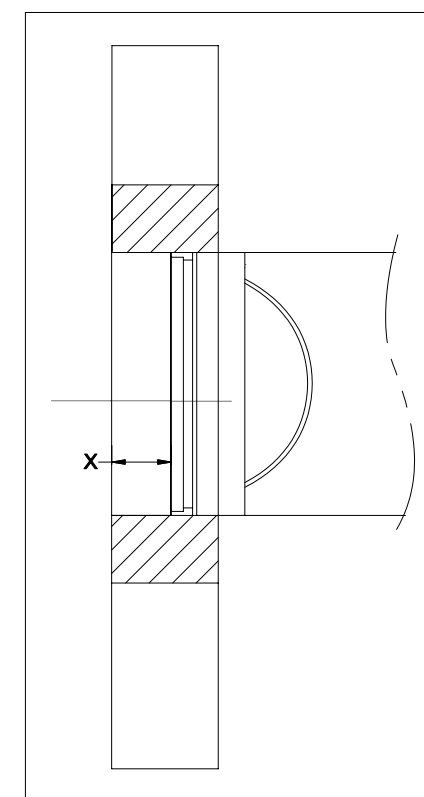
oznaczenia umieszczane na obudowie w postaci taśm/oznaczeń graficznych (rys. 1) czy elementów pozycjonujących (rys. 2). Pozycja klapy wewnątrz otworu ściennego jest o tyle istotna, że determinuje pozycję zamkniętej przegrody ogniochronnej klapy. Zmiana pozycji klapy, np. zbyt płytkie osadzenie, oznacza, że deklarowana klasyfikacja EIS nie będzie utrzymana. Ten aspekt montażu nabiera istotnego znaczenia w przypadku klap montowanych wewnątrz przewodów wentylacyjnych, stosowanych najczęściej w ścianach szachtów instalacyjnych w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. W czasie badań klasyfikacyjnych takich klap określana jest odległość pomiędzy obudową klapy, przynajmniej z jednej strony, a krawędzią otworu w ścianie (odległość X na rys. 3). O ile ustawienie klapy w otworze według zaleceń producenta nie jest skomplikowane, jej przesunięcie może nastąpić po montażu kratki wentylacyjnej od strony pomieszczenia (rys. 4). Zbyt długi króciec montażowy przemieści klapę do szachtu, wysuwając ją często poza obrys ściany. W takim przypadku klasyfikacja EIS nie będzie zachowana. Ponieważ po zamontowaniu kratki klapa jest niewidoczna, nie można wizualnie ocenić jej prawidłowego usytuowania. Zdecydowanie zaleca się sprawdzenie rozmiaru króćca kratki wentylacyjnej przed montażem, a gdy jego długość przekracza wartość X z rys. 4 – wysunięcie kratki do pomieszczenia i odpowiednie wykończenie lub zastosowanie innego typu kratki (z króćcem o mniejszej długości). Pozycja klapy powinna pozostać niezmienną, zgodnie z dokumentacją techniczną wyrobu.

Uszczelnienie klapy

Po prawidłowym osadzeniu klapy w otworze należy ją uszczelnić. Rodzaj materiału uszczelniającego określany jest w trakcie badań, najczęściej w powiązaniu z materiałem, z którego jest wykonana ściana, oraz preferowaną technologią uszczelnienia („na sucho”, „na mokro”). Jeśli materiał został stosunkowo dokładnie opisany, np. poprzez podanie minimalnej gęstości wełny mineralnej dla uszczelnień „na sucho”, sprawa jest prosta, gorzej



Rys. 2. Przykład klapy z elementem dystansującym wskazującym na prawidłowe osadzenie wewnątrz przegrody

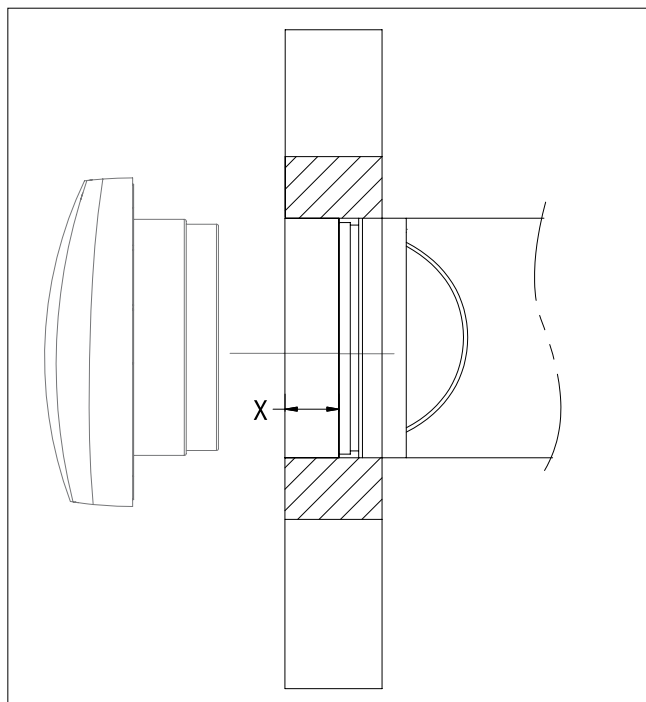


Rys. 3. Zbyt płytkie osadzenie spowoduje, że deklarowana klasyfikacja EIS nie zostanie utrzymana, dlatego także w przypadku klap montowanych wewnątrz przewodów wentylacyjnych należy zwracać uwagę na wymaganą odległość pomiędzy obudową klapy, przynajmniej z jednej strony, a krawędzią otworu w ścianie – na rys. oznaczoną symbolem X

Źródło: Aereco

wygląda sytuacja w przypadku tak popularnych uszczelnień „mokrych” jak „zaprawa murarska standardowa”. W obrotie jest wiele różnych materiałów uszczelniających, dlatego należy dołożyć szczególnej staranności przy wyborze tego właściwego.

Zaprawa murarska jest wyrobem budowlanym objętym znakowaniem CE, dla której specyfikację techniczną stanowi norma zharmonizowana PN-EN 998-2 *Wymagania dotyczące zaprawy do murów* [6]. Zaprawa standardowa stosowana do mocowania klap powinna odpowiadać klasie od M2,5 do M10 wg normy PN-EN 998-2. Norma ta została wskazana jako właściwa dla zaprawy w normie Eurokod 6 do projektowania konstrukcji murowych (seria norm PN-EN 1996). Normy Eurokod zostały przywołane w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, do obowiązkowego stosowania (§ 204 ust. 4).



Rys. 4. Należy zwracać uwagę na ryzyko przesunięcia klapy podczas montażu kratki wentylacyjnej od strony pomieszczenia. Zbyt długi króciec montażowy kratki przemieści klapę do szachtu, wysuwając ją poza obrys ściany. Przed montażem zaleca się sprawdzenie długości króćca kratki wentylacyjnej, tak aby nie przekraczać wartości X i w razie potrzeby zastosować kratkę z króćcem o mniejszej długości. Po zamontowaniu kratki klapa jest niewidoczna i nie można wizualnie ocenić prawidłowości jej usytuowania

Źródło: Aereco

Podsumowanie

Podsumowując powyższe zalecenia, warto przypomnieć listę najważniejszych zasad towarzyszących montażowi klap:

1. Właściwości użytkowe klap nie są związane wyłącznie z samym produktem, ale z jego zamontowaniem i odpowiednim uszczelnieniem w konkretnej przegrodzie oddzielenia przeciwpożarowego.
2. Badania wykonane przez producenta dla klapy ze ścianą standardową nie upoważniają do montażu w ścianie niestandardowej i odwrotnie, nawet jeśli obie ściany charakteryzują się taką samą grubością i klasyfikacją ogniową.
3. Jedynie producent wyrobu budowlanego ma prawo deklarować właściwości użytkowe – nie może tego robić montażysta.
4. Grubość badanej ściany określona w deklaracji właściwości użytkowych dotyczy zawsze konstrukcji bez tynku czy innych materiałów wykończeniowych. W przypadku ściany o grubości

mniejszej niż badana powiększenie jej grubości za pomocą dodatkowej warstwy tynku czy innych materiałów nie pozwala na montaż klapy.

5. Klasyfikacja ogniowa klapy dotyczy zawsze montażu w przegrodzie w określony sposób według zasad podanych w artykule opublikowanym w RI 1-2/2020 [7]. Zmiana pozycji montażu czy materiału uszczelniającego wymaga od producenta przeprowadzenia dodatkowych badań.
6. Klapy montowane wewnątrz przewodów wentylacyjnych przechodzących przez ściany szachtów instalacyjnych ulegają łatwemu przemieszczeniu po montażu kratki ze zbyt długim króćcem. Przed zamontowaniem kratki należy sprawdzić wolną przestrzeń montażową.

Literatura

1. PN-EN 15650:2010 *Wentylacja budynków. Przeciwpowozarowe klapy odcinające montowane w przewodach*
2. PN-EN 1366-2:2015-08 *Badania odporności ogniowej instalacji użytkowych. Część 2: Przeciwpowozarowe klapy odcinające*
3. PN-EN 13501-3+A1:2010 *Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 3: Klasyfikacja na podstawie badań odporności ogniowej wyrobów i elementów stosowanych w instalacjach użytkowych w budynkach: ognioodpornych przewodów wentylacyjnych i przeciwpowozarowych klap odcinających*
4. PN-EN 15882-2:2023-02 *Rozszerzone zastosowanie wyników badań odporności ogniowej instalacji użytkowych. Część 2: Przeciwpowozarowe klapy odcinające*
5. PN-EN 1363-1:2020-07 *Badania odporności ogniowej. Część 1: Wymagania ogólne*
6. PN-EN 998-2 *Wymagania dotyczące zaprawy do murów. Część 2: Zaprawa murarska*
7. Gasiński Marcin, *Właściwości użytkowe klap przeciwpowozarowych odcinających oraz klap odcinających do systemów wentylacji powozarowej*, „Rynek Instalacyjny” 1-2/2020, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/systemy-ppoz/42227,wlasciwosci-uzytkowe-klap-przeciwpowozarowych-odcinajacych-oraz-klap-odcinajacych-do-systemow-wentylacji-powozarowej>

Damian Kubera

rzeczoznawca ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych
F&K Consulting Engineers

Przeglądy urządzeń przeciwpożarowych

Które urządzenia w budynku powinny być poddawane przeglądom okresowym i konserwacyjnym? Większość zarządców i właścicieli obiektów wskaże na przeglądy gaśnic, hydrantów czy awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego. To jednak nie wszystkie czynności konieczne do wykonania w celu zapewnienia wysokiego bezpieczeństwa pożarowego i sprawnej ewakuacji z budynku w razie pożaru. W artykule zwrócono także uwagę na kwestie, które bywają pomijane z powodu braku znajomości przepisów i wiedzy praktycznej.

O przeglądach urządzeń przeciwpożarowych mówi rozporządzenie w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (DzU 2010, nr 109, poz. 719), w którym w § 2 pkt 9 zdefiniowano, czym jest urządzenie przeciwpożarowe: *należy przez to rozumieć urządzenia (stałe lub półstałe, uruchamiane ręcznie lub samoczynnie) służące do zapobiegania powstaniu, wykrywania, zwalczania pożaru lub ograniczania jego skutków.*

Oprócz samej definicji urządzenia przeciwpożarowego w dalszej części tego samego przepisu wymieniony został katalog takich urządzeń i są to w szczególności: *stałe i półstałe urządzenia gaśnicze i zabezpieczające, urządzenia inertyzujące, urządzenia wchodzące w skład dźwiękowego systemu ostrzegawczego i systemu sygnalizacji pożarowej, w tym urządzenia sygnalizacyjno-alarmowe, urządzenia odbiorcze alarmów pożarowych i urządzenia odbiorcze sygnałów uszkodzeniowych, instalacje oświetlenia ewakuacyjnego, hydranty wewnętrzne i zawory hydrantowe, hydranty zewnętrzne, pompy w pompowniach przeciwpożarowych, przeciwpożarowe klapy odcinające, urządzenia oddymiające, urządzenia zabezpieczające przed powstaniem wybuchu i ograniczające jego skutki, kurtyny dymowe oraz drzwi, bramy przeciwpożarowe i inne zamknięcia przeciwpożarowe, jeżeli są wyposażone w systemy sterowania, przeciwpożarowe wyłączniki prądu oraz dźwigi dla ekip ratowniczych.*

W powyższym fragmencie rozporządzenia znajduje się zatem odpowiedź na pytanie, które urządzenia w budynku powinny być poddawane okresowym przeglądom.

Urządzenia przeciwpożarowe wymagają cyklicznych konserwacji – z czego jednak wynika ten wymóg? Kwestię tę także reguluje wspomniane powyżej rozporządzenie w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków w § 3 ust. 2 i 3:

2. Urządzenia przeciwpożarowe oraz gaśnice przenośne i przewoźne, zwane dalej „gaśnicami”, powinny być poddawane przeglądom technicznym i czynnościom konserwacyjnym, zgodnie z zasadami

i w sposób określony w Polskich Normach dotyczących urządzeń przeciwpożarowych i gaśnic, w dokumentacji techniczno-ruchowej oraz w instrukcjach obsługi, opracowanych przez ich producentów.

3. Przeglądy techniczne i czynności konserwacyjne powinny być przeprowadzane w okresach ustalonych przez producenta, nie rzadziej jednak niż raz w roku.

Urządzenia przeciwpożarowe powinny więc być poddawane czynnościom konserwacyjnym i przeglądom co najmniej raz w roku. W ust. 2 czytamy, że należy je przeprowadzać zgodnie z zasadami określonymi w polskich normach oraz podawanymi przez producenta danego urządzenia. Daje to jednak bardzo szeroki zakres działania, przez co zarządca nie będzie wiedział, czego wymagać od firmy wykonującej przegląd urządzenia ppoż. W tej sytuacji pozwolę sobie zaproponować pewien sposób podejścia do przeglądów i konserwacji urządzeń przeciwpożarowych.

Jakie urządzenia należy kontrolować i jak często?

Dobrym przykładem do analizy jest system sygnalizacji pożarowej. Najczęstsze pytanie, z jakim spotykam się jako doradca ppoż. w budynkach, w których pracuję, brzmi: jak często powinien być wykonywany przegląd SSP – raz na rok, dwa razy w roku czy może kwartalnie?

W mojej ocenie zarówno odpowiedź „raz na rok”, jak i „kwartalnie” może się okazać poprawna. Od czego to zależy? W pierwszej kolejności zarządca powinien zajrzeć do projektu budowlanego, na podstawie którego budynek uzyskał pozwolenie na użytkowanie. Zaczęlbym od sprawdzenia w projekcie elektrycznym, czy SSP został zaprojektowany według konkretnej normy projektowej. Jeżeli powstawał wg specyfikacji technicznej PKN-CEN/TS 54-14 *Systemy sygnalizacji pożarowej*, to w tym standardzie określono szczegółowo sposób przeprowadzania konserwacji. O tym właśnie mówi wspomniane rozporządzenie w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków: działanie zgodne przede wszystkim z czasookresami normy czy standardu technicznego, według którego system został zaprojektowany. To jednak nie wszystko – istotne, a mimo to często pomijane są wymagania producentów stawiane w instrukcjach obsługi. Może się okazać, że dane urządzenie musi zostać sprawdzone w sposób bardziej szczegółowy, niż wskazuje np. polska norma. Osobiście nie znam jednak firmy, która by tak robiła (co oczywiście nie oznacza, że takich nie ma). Dlaczego? Odpowiedź jest prozaiczna – konserwatorowi najczęściej po prostu nie chce się urządzenia dodatkowo sprawdzać, do tej pory tego nie robił i „nikt się nie czepiał”. I rzeczywiście w praktyce takie podejście jakoś w Polsce przechodzi, pytanie: jak długo?

Istnieją oczywiście również budynki i systemy wykonane znacznie wcześniej, nim powstał standard CEN 54-14 czy nawet norma PN-E-08350-14:2002 *Systemy sygnalizacji pożarowej. Projektowanie, zakładanie, odbiór, eksploatacja i konserwacja instalacji*. Jeżeli w budynku mamy leciwy system sygnalizacji pożarowej, zaprojektowany na podstawie starych standardów technicznych lub normy,

z której wprost nie wynika, w jaki sposób powinny być przeprowadzane czynności konserwacyjne, należy je wykonywać przynajmniej raz w roku.

A w jaki sposób? Gdy nie wiemy, według jakiej normy system zaprojektowano i wyrobów którego producenta użyto lub gdy nie dysponujemy dokumentacją danej centrali sygnalizacji pożarowej, najlepiej sięgnąć do standardu CEN 54-14 i uwzględnić te czynności, które zostały wyszczególnione w ramach kwartalnych i rocznych przeglądów, i wykonywać je w trakcie przeglądu rocznego. W standardzie tym zawarte zostały podstawowe zasady zgodne z aktualną wiedzą techniczną, na podstawie których można przeprowadzić przegląd techniczny i konserwację.

Moim zdaniem sytuacja wkrótce się poprawi, gdyż we wrześniu 2021 roku zmieniło się rozporządzenie w sprawie uzgadniania projektu zagospodarowania działki lub terenu, projektu architektoniczno-budowlanego, projektu technicznego oraz projektu urządzenia przeciwpożarowego pod względem zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej (DzU 2021, poz. 1722). Za kilka lat, pod warunkiem spełnienia kilku warunków, projekt wykonawczy będzie uzgodnieniem projektu technicznego i już na etapie projektowym określone zostaną czynności konserwacyjne (i opisane w części technicznej projektu budowlanego).

A jak często kontrolować przeciwpożarowy wyłącznik prądu? Wielu zarządców zakłada błędnie, że powinien być on sprawdzany przy okazji przeglądu instalacji elektrycznych w budynku – co 5 lat. Jednak wyłącznik ppoż. to urządzenie przeciwpożarowe i jego przegląd musi być przeprowadzany co roku, mimo że czynność ta powoduje problemy w funkcjonowaniu budynków, które wymagają ciągłego zasilania (serwerownie, banki itp.). Na rynku są już jednak urządzenia, które ten problem rozwiązują, a w przyszłości będzie ich coraz więcej.

Można się też spotkać z sytuacjami, w których sprawdzanie i cykliczne testy oraz konserwacja awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego polegają jedynie na sprawdzeniu, czy po wyłączeniu napięcia dana oprawa awaryjna funkcjonuje, czy też nie. Nie można tego jednak nazwać corocznym przeglądem urządzenia ppoż. Moim zdaniem powinno się wykonywać corocznie pomiary natężenia awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego w sposób określony w polskiej normie, czyli przeprowadzać je pomiędzy punktami i weryfikować, czy na pewno wymagane jest natężenie np. 1 lx w osi drogi lub 5 lx przy urządzeniu przeciwpożarowym itd. Wprawdzie instalacje ledowe są mniej podatne na uszkodzenia, jednak w dalszym ciągu w wielu obiektach awaryjne oświetlenie ewakuacyjne stanowią stare świetlówki. Wraz z upływem czasu mogą one tracić na sprawności i choć przy odbiorze budynku zmierzono 1 lx, w kolejnych latach odnotowywany jest jedynie fakt, że awaryjne oświetlenie zadziałało, bez jego zmierzenia. A podczas kontroli budynku okazuje się, że pomiary awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego nie zostały przeprowadzone, bo nie ma ich wyników – zwracała na to uwagę m.in. Komenda Główna PSP, zalecenia w tej kwestii można znaleźć także w SITP WP-01:2020.

Kwalifikacje osób przeprowadzających przeglądy urządzeń ppoż.

Ważna jest także wiedza o tym, kto może wykonywać takie przeglądy. Przepisy tego nie określają, również ustawa o ochronie przeciwpożarowej, nie wynika z nich jednak, że może to robić każdy bez odpowiedniego przygotowania. Osoba bez kwalifikacji przede wszystkim nie będzie wiedziała, w jaki sposób czynności te prawidłowo wykonać. Standard PKN-CEN 54-14 wyraźnie podaje, że osoby prawne lub fizyczne wykonujące jakiegokolwiek prace będące przedmiotem tych wytycznych powinny mieć odpowiednie kompetencje, doświadczenie i kwalifikacje. I precyzuje, że montaż i uruchamianie instalacji powinny wykonywać osoby posiadające odpowiednią wiedzę teoretyczną i praktyczną oraz kwalifikacje. W zakresie konserwacji wytyczne podają, że powinni je wykonywać przeszkoleni w tym zakresie specjaliści.

Nadzór, próby i przeglądy okresowe systemów wentylacji pożarowej wymagają specjalistycznej wiedzy dotyczącej elementów systemów oddymiania i zapobiegania zadymieniu. Ważne są informacje nt. przeznaczenia i charakterystyki obiektu, wrażliwych elementów zastosowanego systemu oraz sposobów weryfikacji efektywności jego działania. Celem przeglądów okresowych jest m.in. sprawdzenie poprawności funkcjonowania układu oraz kontrola współdziałania z systemem sygnalizacji pożarowej. Informacja, że automatyczne klapy przeciwpożarowe to urządzenia bezobsługowe, może być niekiedy błędnie interpretowana w ten sposób, że nie muszą być one sprawdzane. A ich kontrola jest bardzo ważna i wymaga fachowej wiedzy na temat procedur testowania klap i wykonywania czynności serwisowych. Niektórzy producenci klap zastrzegają wręcz, że przeglądy i konserwacja powinny być przeprowadzane przez firmy przez nich autoryzowane według dokumentacji technicznej oraz instrukcji obsługi. Ważne są także kompetencje w zakresie przeglądów i konserwacji wentylatorów oraz automatyki (zasilacze ppoż., szafy sterujące itp.), w tym pomiarów elektrycznych.

W ustawie o ochronie przeciwpożarowej w art. 4 ust. 2 zapisano, że „czynności z zakresu ochrony przeciwpożarowej mogą wykonywać osoby posiadające odpowiednie kwalifikacje”, a art. 2a i 2b podają, jakie to powinny być kwalifikacje, czyli wykształcenie i przygotowanie. I są to przynajmniej uprawnienia inspektora ochrony przeciwpożarowej nabyte w ramach szkolenia w szkołach lub instytutach badawczych PSP (na 5 lat, wymagające odnawiania).

Czynności z zakresu ochrony przeciwpożarowej, o których mowa w ustawie, mają większy zakres niż przeglądy techniczne i czynności konserwacyjne, o których wspomina rozporządzenie. Ale czym jest np. przegląd urządzenia ppoż. polegający na sprawdzeniu wentylacji strumieniowej, gdy oprócz pomiarów wydajności musimy sprawdzić sekwencje uruchamiania urządzeń i zgodność ze scenariuszem pożarowym, oraz prowadzeniu innych czynności konserwacyjnych wymagających specjalistycznej wiedzy, jeśli nie czynnością z zakresu ochrony przeciwpożarowej? Dlatego przy wyborze firmy, która będzie przeprowadzała takie konserwacje, warto zwrócić na to uwagę i wpisać

do oferty wymóg, żeby wykonywały je osoby mające odpowiednie kwalifikacje wynikające także z ustawy o ochronie przeciwpożarowej. Jest to moim zdaniem bardzo istotne.

Pozostałe wymagania

O czym jeszcze powinien pamiętać zarządca przy eksploatacji obiektu? Może to się wydać banalne, ale ważne jest posiadanie instrukcji bezpieczeństwa pożarowego i jej aktualizacja co 2 lata lub przy okazji remontu, gdy zmienia się np. układ pomieszczeń. Nie każdy zdaje sobie sprawę, że w budynkach, które zostały wymienione w § 28 ust. 1 rozporządzenia w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków [1], wymagane jest stosowanie systemu sygnalizacji pożarowej, obejmującego urządzenia sygnalizacyjno-alarmowe służące do samoczynnego wykrywania i przekazywania informacji o pożarze, a także urządzenia odbiorcze oraz sygnałów o uszkodzeniu.

Instrukcję taką należy przekazać jednostkom PSP – oczywiście nie całą, ale najważniejsze informacje, które mogą być przydatne ekipom ratowniczo-gaśniczym w czasie ich ewentualnych działań w budynku. Można to zrobić także w formie elektronicznej, jednak o obowiązku tym niestety rzadko pamiętają odpowiedzialne za jego dopełnienie osoby. W wielu budynkach, w których przeprowadzałem audyt, procedura ta nie była realizowana.

Przejdźmy do kolejnych wymagań, np. dokumentacji zagrożenia wybuchem w budynkach, w których prowadzone są procesy wiążące się z możliwością powstania atmosfery wybuchowej. Nabiera to szczególnego znaczenia w kontekście powszechnego stosowania instalacji fotowoltaicznych w zakładach przemysłowych czy budynkach produkcyjnych. I nie chodzi tu jedynie o duże zakłady – nawet na stacjach paliw mamy do czynienia z mieszaniną par cieczy palnych z powietrzem, która może tworzyć atmosferę wybuchową. Czy możemy na dachu takiego budynku albo w jego pobliżu zamontować instalację fotowoltaiczną? Moduły PV w wykonaniu przeciwwybuchowym nie są dostępne. Dokumentacji zagrożenia wybuchem często się nie sporządza, a nawet jeśli wcześniej była, potrafi się „zawieruszyć”.

Uczulam zarządców i właścicieli budynków na tę kwestię i konieczność dbania o dokumentację, także projektową. Obowiązek oceny i posiadania dokumentacji stwierdzającej (lub nie) zagrożenie wybuchem wynika z przepisów przeciwpożarowych, które są zawsze obligatoryjne, a nie z zapisów rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, które w tym zakresie należy stosować obowiązkowo jedynie w przypadku zagrożenia życia ludzi.

Zachęcam także do przeprowadzania fachowych i rzetelnych przeglądów przewodów kominowych i przeglądów wentylacyjnych, wynikających z § 34 rozporządzenia w sprawie ochrony ppoż. budynków. Jeśli nie będą spełnione wymogi formalne i przegląd kominowy nie zostanie przeprowadzony, w sytuacji pożaru ubezpieczyciel nie wypłaci odszkodowania. Dotyczy to nie tylko budynków jednorodzinnych, ale wszystkich, w których znajdują się takie urządzenia.

Zarządcy zapominają również o obowiązku szkolenia pracowników i użytkowników budynków, wynikającym z art. 4 ustawy o ochronie przeciwpożarowej. Fakt odbycia takiego przeszkolenia powinien zostać potwierdzony podpisem przeszkolonego, tak jak zapoznanie się pracownika z instrukcją ppoż. i wdrożenie go w funkcjonowanie budynku. Warto mieć takie poświadczenia w dokumentacji eksploatacyjnej – mogą o nie zapytać strażacy podczas kontroli obiektu.

Przepisy ppoż. nie regulują częstotliwości szkoleń tego typu, zatem z formalnego punktu widzenia wystarczyłoby jednorazowe przeszkolenie i potwierdzenie. Ale dobre praktyki inżynierskie podpowiadają, że tak jak w zakresie BHP, również w kwestiach ppoż. warto odnawiać wiedzę pracowników. A kto powinien przeprowadzać takie szkolenia? Uprawnienia wyłącznie z zakresu BHP nie wystarczą, chyba że towarzyszą im dodatkowo uprawnienia inspektora ochrony przeciwpożarowej, co jest częstą praktyką. Jest to krótkie i fachowe szkolenie nadające kwalifikacje na podstawie ustawy o ochronie ppoż.

Kolejnym zagadnieniem są zasady prowadzenia w budynku prac niebezpiecznych pod względem pożarowym – moim zdaniem w 90% obiektów kwestia ta jest bagatelizowana. Czy niebezpieczne pod względem pożarowym są tylko prace spawalnicze, lutowanie na gorąco, cięcie szlifierką albo kładzenie papy na gorąco? Jakże dokumenty określają zasady prowadzenia takich prac w danym budynku i kto powinien poświadczyć zapoznanie się z tymi wymogami?

Zasady prowadzenia takich prac muszą zostać opisane w instrukcji bezpieczeństwa pożarowego. Prawidłowa procedura wygląda następująco: w momencie wejścia do budynku np. ekipy spawaczy powinni oni odbyć krótkie szkolenie i złożyć podpisy pod dokumentem dotyczącym prac niebezpiecznych pod względem pożarowym. Instrukcja bezpieczeństwa pożarowego może też zawierać sposób zabezpieczenia budynku przez wykonawcę na czas realizacji prac, jak np. stosowanie kół gaśniczych do osłony elementów łatwopalnych. Jednak w praktyce się tego nie robi.

Jakie są konsekwencje lekceważenia zasad i przepisów? Blisko 30% pożarów budynków w Polsce powstaje podczas prowadzenia prac niebezpiecznych pod względem pożarowym. Co więcej, znane są przypadki, gdy prace takie zlecano osobom niemającym uprawnień do ich wykonywania. W takiej sytuacji odpowiedzialność karną ponosi zarówno zlecający prace zarządca lub właściciel budynku, jak i zleceniobiorca.

Znany jest np. przypadek pożaru w supermarkecie, do którego doprowadzili spawacze bez odpowiednich kwalifikacji. Razem z właścicielem sklepu odpowiadali oni przed sądem z art. 163 Kodeksu karnego, stanowiącego, że kto umyślnie spowoduje zdarzenie, które zagraża życiu lub zdrowiu wielu osób albo mieniu w wielkich rozmiarach, mające postać m.in.: pożaru lub zaważenia się budowli, gwałtownego wyzwolenia energii, rozprzestrzeniania się substancji trujących, duszących lub parzących, podlega karze pozbawienia wolności od roku do lat 10. A jeśli następstwem czynu jest śmierć człowieka lub ciężki uszczerbek na zdrowiu wielu osób, kara pozbawienia wolności

wynosi od 2 do 12 lat. Nawet samo sprowadzenie bezpośredniego niebezpieczeństwa zdarzenia, jakie wymieniono powyżej, jest karane pozbawieniem wolności na okres od 6 miesięcy do lat 8. Gdyby w dokumentacji obiektu znalazły się prawidłowo wypełnione dokumenty dotyczące prowadzenia prac niebezpiecznych pod względem pożarowym – sprawy by nie było.

Przy okazji uczulam osoby sporządzające instrukcje bezpieczeństwa pożarowego, aby nie zawierały w nich procedur, które nie sprawdzają się w praktyce, jak np. wymaganie, żeby po zakończeniu prac miejsce ich przeprowadzenia było sprawdzane i dozorowane przez kilka godzin. Kto po wykonaniu zlecenia o godz. 18 czy 20 zostanie na obiekcie jeszcze przez 8 godzin i będzie obserwował, czy nie wystąpił pożar?

W celu nadania instrukcjom pożarowym waloru praktycznego, zachęcam do korzystania np. z wytycznych NFPA 51 B *Standard for Fire Prevention During Welding, Cutting, and Other Hot Work*, opracowanych w prosty i zrozumiały sposób. Zawarto w nich nawet wzór protokołu, jaki należy wypełnić. Na ich podstawie można przygotować instrukcję bezpieczeństwa pożarowego i wytyczne dotyczące prac niebezpiecznych pod względem pożarowym oraz protokoł zlecenia takich prac. Przykłady wytycznych można także znaleźć na stronach dużych firm czy podmiotów publicznych [4].

Podsumowanie

W artykule zwrócono uwagę na te elementy przeglądów urządzeń przeciwpożarowych, które są często pomijane z powodu braku znajomości przepisów i wiedzy praktycznej. O ile wszyscy zarządcy czy użytkownicy budynków pamiętają o przeglądach gaśnic i hydrantów oraz węży, umykają im inne ważne kwestie związane z bezpieczeństwem pożarowym budynków.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (DzU 2010, nr 109, poz. 719, z późn. zm.)
2. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 września 2021 r. w sprawie uzgadniania projektu zagospodarowania działki lub terenu, projektu architektoniczno-budowlanego, projektu technicznego oraz projektu urządzenia przeciwpożarowego pod względem zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej (DzU 2021, poz. 1722)
3. Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (DzU 1991, nr 81, poz. 351 z późn. zm., tekst jednolity: DzU 2022, poz. 20570)
4. Przykłady wytycznych dotyczących prac niebezpiecznych pod względem pożarowym:
 - a) https://www.orlen.pl/content/dam/internet/orlen/pl/pl/o-firmie/o-spolce/nasze-standardy/bezpieczenstwo-w-orlenie/wykonawcy-zewnetrni/dokumenty/SB-3_wytyczne_prace_pozarowo_niebezpieczne.pdf.coredownload.pdf
 - b) https://di.adm.agh.edu.pl/public/Wytyczne_dla_projektantow/wytyczne_do_prowadzenia_prac_pozarowo_niebezpiecznych.pdf
 - c) <https://phavi.umcs.pl/at/attachments/2020/0427/084902-instrukcja-wykonywania-prac-niebezpiecznych-pod-wzgledem-pojarowym-i-03-ppoz-2016.pdf>
 - d) <https://www.e-bip.org.pl/upload/683.55099.pdf>

Zabezpieczenie przeciwpożarowe przewodów wentylacyjnych

Przewody wentylacji bytowej, wraz z izolacją cieplną i akustyczną oraz urządzeniami montowanymi w kanałach, podlegają przepisom z zakresu ochrony przeciwpożarowej. Wymagania dotyczą bezpieczeństwa pożarowego i określają głównie palność i nierozprzestrzenianie ognia przez przewody wentylacyjne i ich izolację.

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki [1], w § 267 określa obowiązki w zakresie ochrony przeciwpożarowej w odniesieniu do przewodów wentylacyjnych oraz ich izolacji: *przewody wentylacyjne powinny być wykonane z materiałów niepalnych, a palne izolacje cieplne i akustyczne oraz inne palne okładziny przewodów wentylacyjnych mogą być stosowane tylko na zewnętrznej ich powierzchni w sposób zapewniający nierozprzestrzenianie ognia*. O palności i rozprzestrzenianiu ognia mówią klasy reakcji na ogień (euroklasy) wskazane w normie PN-EN 13501-1 [2] i przywołane w Warunkach Technicznych [1]:

■ klasy podstawowe:

- A1 – klasa najwyższa dla bezpiecznych i niepalnych wyrobów,
- A2, B, C, D, E – klasy dla wyrobów o pogarszających się własnościach ogniowych, w coraz większym stopniu palnych (wyroby niepalne, palne niezapalne, palne trudnozapalne i palne łatwozapalne),
- F – klasa najniższa obejmująca wyroby łatwopalne lub bez badań ogniowych, którym nie stawia się wymagań;

■ **klasy uzupełniające s** (ang. smoke) – ilość i szybkość wytwarzania dymu pod wpływem pożaru (dym mogą wytwarzać zarówno wyroby niepalne w klasie A2, jak i we wszystkich niższych klasach. Wyroby w klasie A1 nie wytwarzają dymu):

- s1 – niewielkie ilości i intensywność powstawania dymu (prawie bez dymu),
- s2 – średnia ilość i intensywność powstawania dymu,
- s3 – duża ilość i gęstość dymu;

■ **klasy uzupełniające d** (ang. droplets) – intensywność wytwarzania płonących kropli i cząstek przez palący się wyrób (płonące krople i cząstki mogą wytwarzać wyroby palne. Wyroby w klasie A1 i niepalne w klasie A2 nie wytwarzają płonących kropli):

- d0 – brak płonących kropli,
- d1 – niewiele płonących kropli (podobnie do iskier z płonącego drewna),
- d2 – bardzo wiele kapiących, płonących kropli i cząstek.

Przewody wentylacyjne niepalne

Przewodami niepalnymi są nie tylko przewody metalowe, ale też samonośne kanały wentylacyjne z odpowiednio przygotowanych płyt niepalnych, stosowanych także na okładziny metalowych kanałów wentylacyjnych.

Kanały wentylacyjne samonośne stosowane są jako rozwiązanie lekkie (np. do renowacji budynków, w których nie można nadmiernie obciążać stropów) oraz umożliwiające prefabrykację na placu budowy i dostosowanie kształtu powstałego przewodu do faktycznie dostępnego miejsca na montaż. Z płyt można budować nie tylko kanały, ale także kształtki: kolana, trójniki, redukcje, odsadzki etc. Na budowę kanału dostarczane są „na płasko” (w formie płyt przygotowanych do montażu na budowie), dzięki czemu ich magazynowanie i transport są ekonomiczne. Kanały samonośne montuje się łatwo – krawędzie płyt wyposażone są w łączniki typu wpust-pióro, choć duże wymagania wobec szczelności kanałów sprawiają, że niezbędna jest wysoka kultura pracy wykonawcy. Konieczne są staranne łączenia i zabezpieczenie miejsc połączeń (zarówno podłużnych, jak i poprzecznych) za pomocą montażowych akcesoriów systemowych, takich jak kleje, opaski uszczelniające, zszywki czy szpilki, pręty i gwoździe montażowe. Bardzo ważne jest także prawidłowe zabezpieczenie przejść przez przegrody, np. przez zastosowanie dodatkowych pasów z danej płyty lub systemowego zabezpieczenia z wykorzystaniem masy ogniochronnej.

Najczęściej stosowane w tym celu rozwiązania to płyty z twardej wełny mineralnej (klasa reakcji na ogień A2-s1, d0) z zewnętrzną warstwą zwiększającą szczelność powietrzną i wytrzymałość oraz warstwą wewnętrzną zapewniającą minimalne opory przepływu i higienę czy płyty silikatowo-cementowe (klasa reakcji na ogień A1), które cechują się brakiem wrażliwości na wilgoć i gładką powierzchnią wewnętrzną, nie wymagając więc dodatkowych warstw wykańczających.

Na bezpieczeństwo niepalnych kanałów samonośnych składa się trwałość ich cech w czasie (nie tracą własności ogniochronnych) i stabilny wymiar przekroju podczas pożaru. Bardzo wysoka odporność płyt silikatowo-cementowych na wysoką temperaturę i korozję chemiczną sprawia, że stosowane są one także jako kanały oddymiające, zapewniające odprowadzenie dymu i gorących gazów pożarowych.

Zapisy Warunków Technicznych stanowią też, że z materiałów niepalnych należy wykonywać zamocowania przewodów do elementów budowlanych. W przypadku pożaru zamocowania powinny zapewniać przejście powstającej siły w czasie nie krótszym niż wymagany dla klasy odporności ogniowej przewodu lub kłapy odcinającej [1].

Nierozprzestrzenianie ognia

Zgodnie z Warunkami Technicznymi [1] izolacje zewnętrzne instalacji, w tym wentylacyjnych, uznaje się za **nierozprzestrzeniające ognia** w dwóch przypadkach:

- zarówno izolację, jak i przewód wykonano z wyrobów o klasie reakcji na ogień: A1_L, A2_L-s(1-3), d0 lub B_L-s(1-3), d0 (oznaczenie „L” mówi o tym, że klasa dotyczy instalacji i ich izolacji),
- przewód i izolacja jako nierozłączna całość stanowią wyrób o klasie reakcji na ogień: A1_L, A2_L-s(1-3), d0 lub B_L-s(1-3), d0, a klasa reakcji na ogień warstwy izolacyjnej wynosi co najmniej E (oznaczenie „L” mówi o tym, że klasa dotyczy instalacji i ich izolacji).

Rozprzestrzenianie ognia warunkowane jest zatem zarówno przez podstawową klasę reakcji na ogień (A1, A2 lub B), jak i klasę uzupełniającą d0.

Przewody wentylacyjne w budynkach mieszkalnych

Zapis z § 267 [1] nie obowiązuje w przypadku domów jednorodzinnych stanowiących jeden lokal. Natomiast dla budynków wielorodzinnych, ale też jednorodzinnych z wydzielonymi dwoma lokalami mieszkalnymi lub lokalem mieszkalnym i użytkowym można w obrębie każdego lokalu stosować przewody wentylacyjne o klasie reakcji na ogień co najmniej E. Warunkiem jest jednak zainstalowanie odpowiedniego zabezpieczenia w miejscu przejścia przewodów przez przegrody, które wydzielają ten lokal:

- w budynkach niskich (N) i średniowysokich (SW) – zabezpieczenia ogniochronne o klasie odporności ogniowej co najmniej E I 30;
- w budynkach wysokich (W) i wysokościowych (WW) – przeciwpożarowej kłapy odcinającej o klasie odporności ogniowej co najmniej E I S 60.

Klasy odporności ogniowej określa się pod względem szczelności ogniowej, izolacyjności ogniowej i dymoszczelności (E I S) jako czas, przez który zabezpieczenie zachowuje wymagane parametry [3, 4, 5]:

- E (szczelność ogniowa) – zdolność do zapobiegania przedostaniu się płomieni i gazów na stronę przegrody wolną od pożaru oraz odporność na odkształcenia termiczne;
- I (izolacyjność ogniowa) – zdolność do zachowania temperatury swojej powierzchni po stronie przegrody niemającej kontaktu z ogniem (ograniczenie przyrostu temperatury);
- S (dymoszczelność) – zdolność do zapobiegania przedostawaniu się dymu i gazów pożarowych, niezależnie od ich temperatury.

Zatem w przypadku wymagań określonych w Warunkach Technicznych [1] zabezpieczenie ogniochronne powinno zapewniać szczelność i izolacyjność ogniową przez 30 minut, a kłapa odcinająca – szczelność i izolacyjność ogniową oraz dymoszczelność przez 60 minut.

Przewody wentylacyjne w szachtach

Przewody wentylacyjne mogą być także prowadzone wraz z innymi instalacjami w szachtach instalacyjnych. Za jednoczesną izolację akustyczną i spełnienie wymagań ochrony pożarowej szachtów

mogą odpowiadać specjalne systemy wykonane na bazie ognioodpornych płyt gipsowo-kartonowych (rzadziej gipsowo-wiórowych lub gipsowo-włóknowych). Mogą one mieć klasę reakcji na ogień A2-s1, d0 (nie przyczyniają się do rozwoju pożaru, a w warunkach pożaru rozwiniętego nie zapalają się i nie wydzielają ciepła, dymu ani płonących kropel lub cząstek). Odporność ogniowa całego systemu zabudowy – opisywana jak w przypadku przegród budowlanych przez takie parametry jak nośność ogniowa R, szczelność ogniowa E i izolacyjność ogniowa I – wynosi do (R)E I 120.

Obudowę szachtów instalacyjnych płytami g-k można zbudować w dwóch systemach – z wykorzystaniem konstrukcji nośnych z profili metalowych w różnych wykonaniach lub bez takiej konstrukcji. Wybór konkretnego rozwiązania zależy od: wysokości i szerokości zabudowy (każdy z systemów ma ograniczenia dotyczące maksymalnej wysokości i szerokości zabudowy), wymagań ochrony pożarowej dla zabudowy szachtu oraz dostępności miejsca do zabudowy. Z kolei zachowanie właściwej odporności ogniowej zależy w dużej mierze od prawidłowego wykonania obudowy. Dlatego zaleca się stosowanie rozwiązań systemowych – nie tylko płyt ognioodpornych, ale też właściwych mas lub gipsów szpachlowych, profili konstrukcyjnych, akcesoriów montażowych oraz wypełnień z wełny mineralnej.

Istotnym warunkiem spełnienia wymagań ochrony pożarowej jest zabezpieczenie przepustów – przejść przez stropy (przegrody oddzielenia pożarowego), aby zapobiec przenoszeniu ognia z jednej kondygnacji na drugą [6]. **W miejscu przejścia przewodu wentylacyjnego przez przegrodę** (element oddzielenia pożarowego) należy zapewnić klasę odporności ogniowej pod względem szczelności ogniowej, izolacyjności ogniowej i dymoszczelności (E I S) taką samą jak dla przegrody:

Tabela 1. Definicje określeń palności stosowane w Warunkach Technicznych [1]

Określenia stosowane w Warunkach Technicznych [1]		Klasy reakcji na ogień zgodnie z PN-EN 13501-1 [2]
Niepalne		A1 A2-s1, d0; A2-s2, d0; A2-s3, d0
Palne	niezapalne	A2-s1, d1; A2-s2, d1; A2-s3, d1; A2-s1, d2; A2-s2, d2; A2-s3, d2; B-s1, d0; B-s2, d0; B-s3, d0; B-s1, d1; B-s2, d1; B-s3, d1; B-s1, d2; B-s2, d2; B-s3, d2
	trudno zapalne	C-s1, d0; C-s2, d0; C-s3, d0; C-s1, d1; C-s2, d1; C-s3, d1; C-s1, d2; C-s2, d2; C-s3, d2; D-s1, d0; D-s1, d1; D-s1, d2
	łatwo zapalne	D-s2, d0; D-s3, d0; D-s2, d1; D-s3, d1; D-s2, d2; D-s3, d0; E-d2; E F

§ 234.1. Przepusty instalacyjne w elementach oddzielenia przeciwpożarowego powinny mieć klasę odporności ogniowej (E I) wymaganą dla tych elementów [1].

Ochrona ppoż. elementów instalacji wentylacyjnej

Wymagania bezpieczeństwa pożarowego dotyczą także innych elementów instalacji wentylacyjnej, związanych bezpośrednio z kanałami. Z materiałów niepalnych należy wykonywać zamocowania przewodów do elementów budowlanych. W przypadku pożaru zamocowania powinny zapewniać przejście powstającej siły w czasie nie krótszym niż wymagany dla klasy odporności ogniowej przewodu (lub, jeśli dotyczy, klapy odcinające) [1].

Natomiast połączenia elastyczne łączące sztywne przewody wentylacyjne z elementami instalacji lub urządzeniami mogą mieć długość maks. 4 m – z wyjątkiem podłączeń elastycznych wentylatorów, które nie mogą być dłuższe niż 0,25 m. Podłączenia takie muszą być wykonane co najmniej z materiałów trudno zapalnych (por. **tabela 1**). Odcinki przewodów elastycznych nie powinny być prowadzone przez elementy oddzielenia przeciwpożarowego [1].

jr

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (t.j. DzU 2022 poz. 1225)

2. PN-EN 13501-1 *Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 1: Klasyfikacja na podstawie badań reakcji na ogień*

3. PN-EN 15650 *Wentylacja budynków. Przeciwpożarowe klapy odcinające montowane w przewodach*

4. PN-EN 13501-3 *Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 3: Klasyfikacja na podstawie wyników badań odporności ogniowej wyrobów i elementów stosowanych w instalacjach użytkowych w budynkach: ognioodpornych przewodów wentylacyjnych i przeciwpożarowych klap odcinających*

5. PN-EN 1366-2 *Badania odporności ogniowej instalacji użytkowych. Część 2: Przeciwpożarowe klapy odcinające*

6. PN-EN 1366-3 *Badania odporności ogniowej instalacji użytkowych. Część 3: Uszczelnienia przejść instalacyjnych*

7. Materiały techniczne firm Paroc, Promat, Rockwool, Siniat, Ursa

Adam Krasuski, Andrzej Krauze, Michał Zugaj,
Włodzimierz Łacki, Arkadiusz Zawrotniak, Adam Dorsz

Ocena skuteczności działania wentylacji strumieniowej garaży zamkniętych przy wykorzystaniu symulacji CFD

Opracowane przez grupę naukowców i ekspertów wytyczne Akademii Pożarniczej [1] ujednolicają i unifikują tworzenie symulacji CFD dla systemów strumieniowej wentylacji oddymiającej. Zakres wytycznych jest kompleksowy i obejmuje definicję parametrów wejściowych, konfigurację oprogramowania, przeprowadzanie analiz oraz raportowanie wyników. Celem jest usystematyzowanie definicji scenariuszy projektowych oraz miar oceny wyników, tak aby analitycy mogli dokonywać prawidłowych doborów założeń i parametrów wejściowych dla analiz oraz kryteriów akceptacji uzyskanych wyników.

Wprowadzenie

Urządzenia przeciwpożarowe projektowane są w Polsce zgodnie z obowiązującymi przepisami nakazowymi. Zmiany w warunkach techniczno-budowlanych wprowadziły konieczność wykazywania spełnienia określonych celów projektowych przez systemy wentylacji oddymiającej. W związku z tym do weryfikacji skuteczności zaprojektowanych instalacji zaczęto powszechnie stosować narzędzia inżynierskie. Przykładem mogą być garaże podziemne, w przypadku których projektanci decydują się na zastosowanie wentylacji strumieniowej. Obecnie nie zdarza się, aby garaże wyposażone w takie systemy były oddawane do użytkowania bez uprzedniej weryfikacji projektu za pomocą modelowania numerycznej mechaniki płynów (CFD).

Analitycy CFD często borykają się z problemami prawidłowego doboru założeń i parametrów wejściowych dla analiz komputerowych, jak również kryteriów akceptacji uzyskanych wyników. Wpływa to bezpośrednio na projekt oraz realizację instalacji wentylacji. W rezultacie projektanci nie są pewni przyjętych parametrów, a organy kontrolne stosują niespójne kryteria ocen. Dlatego grupa naukowców i ekspertów opracowała wytyczne, które ujednolicają i unifikują tworzenie symulacji CFD dla systemów strumieniowej wentylacji oddymiającej.

Zakres wytycznych jest kompleksowy i obejmuje definicję parametrów wejściowych, konfigurację oprogramowania, przeprowadzanie analiz oraz raportowanie wyników. Poruszono w nich kluczowe kwestie, które generowały różne nieporozumienia na etapie projektowania oraz odbiorów

budynków i instalacji. Wytyczne zawierają m.in. definicję pożaru projektowego, która obejmuje wybór umiejscowienia pożaru, wartości parametrów wejściowych symulacji oraz ustawienia programu dokonującego analiz. Kolejny obszar opracowania określa parametry odwzorowujące uruchamianie i działanie instalacji wentylacji oddymiającej. Sednem wytycznych jest zdefiniowanie wskaźników oceny poprawności projektu wentylacji oddymiającej w kontekście bezpieczeństwa użytkowników i ekip ratowniczych oraz ochrony mienia.

Procedura realizacji analizy CFD

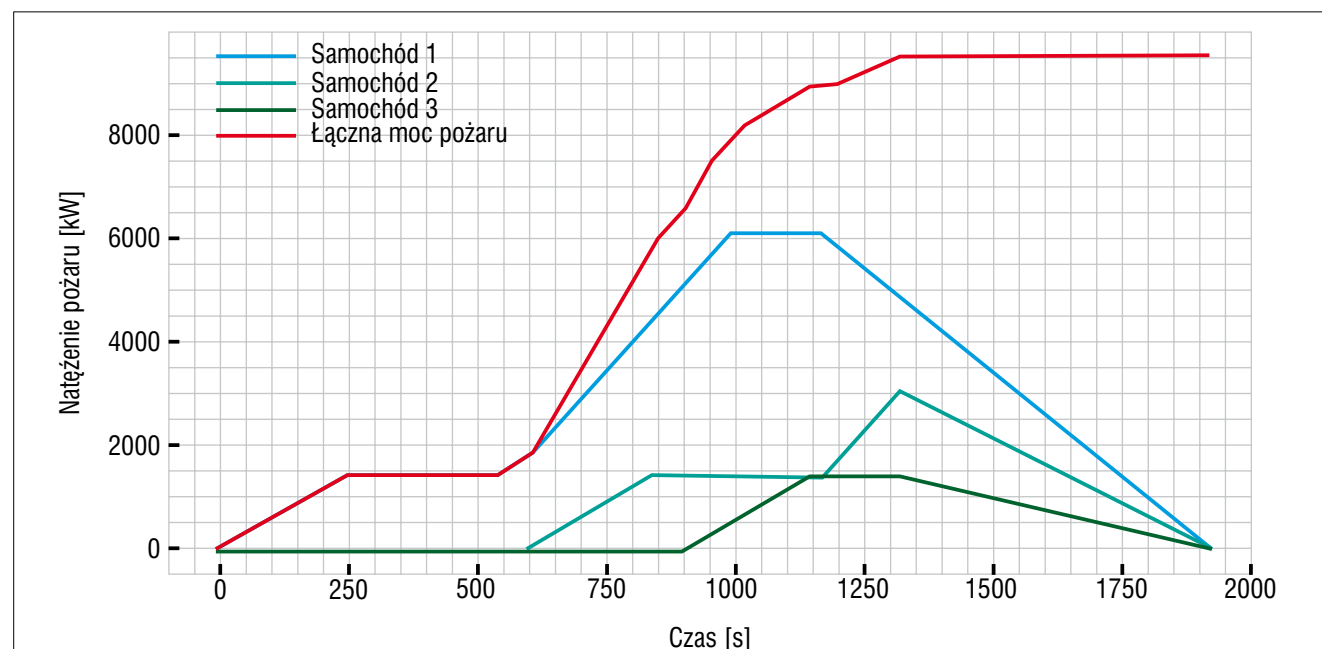
W ramach tego rozdziału omówiono szereg zagadnień związanych z przygotowaniem oraz przeprowadzeniem analizy CFD. Poniżej przedstawiono podsumowanie poszczególnych rozdziałów.

Rozdział 2.1. „Zdefiniowanie celu analizy CFD” koncentruje się na określeniu głównych celów, jakie mają zostać osiągnięte poprzez analizę CFD w kontekście instalacji wentylacji w garażach zamkniętych. Podstawowym celem jest wykazanie, że zaprojektowana instalacja wentylacji spełnia wymagania techniczne, takie jak usuwanie dymu z intensywnością zapewniającą bezpieczną ewakuację ludzi. Dodatkowe cele analizy CFD mogą obejmować wykazanie, że temperatura dymu nie przekracza 300°C, co łagodzi wymogi dla przewodów wentylacji pożarowej. Analiza ma również na celu wspomaganie ekip ratowniczych poprzez zapewnienie im bezpiecznych warunków działania. Każde inne, dodatkowe cele analizy CFD wynikające z potrzeb interesariuszy powinny być jasno zdefiniowane i wykazane w raporcie przez jej autorów.

Rozdział 2.2. „Umiejscowienie pożaru” omawia kluczowe aspekty związane z wyborem miejsca źródła pożaru projektowego oraz jego parametrami. Wybór ten jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na ocenę skuteczności instalacji wentylacji. Umiejscowienie pożaru projektowego przy bramie napowietrzającej może dostarczyć zupełnie innych wniosków niż jego umiejscowienie bezpośrednio pod wyciągiem wentylacji. W rozdziale tym zdefiniowano, że skuteczność wentylacji powinna być oceniana na podstawie minimum trzech scenariuszy: najbardziej niekorzystnego z punktu widzenia ewakuacji, działań ekip ratowniczych oraz instalacji wentylacji pożarowej. Wybór scenariusza pożaru powinien uwzględniać cele funkcjonalne wentylacji, takie jak bezpieczeństwo ewakuacji, bezpieczeństwo ekip ratowniczych oraz ochrona mienia. Dodatkowo rozdział 2.2 zawiera szczegółowe wytyczne dotyczące wyboru miejsc najbardziej niekorzystnych z punktu widzenia ewakuacji, działań ekip ratowniczych oraz oddziaływania na instalację wentylacji pożarowej. Wskazuje również na konieczność rozważenia wpływu pożaru na elementy konstrukcyjne.

Rozdział 2.5. „Krzywa pożaru” opisuje wykres zmiany szybkości uwalniania ciepła (energii) przez palne produkty spalania w zakładanym pożarze projektowym (pożarze obliczeniowym). W rozdziale tym zaproponowano szereg krzywych uwzględniających rodzaj pojazdu (spalinowy, elektryczny), sposób parkowania (standardowy i platformowy) oraz działanie stałych urządzeń gaśniczych

wodnych. Swoistą nowością jest propozycja krzywej rozwoju pożaru dla samochodów o napędzie elektrycznym opracowana na podstawie dotychczasowych badań naukowych, jak również standardów technicznych. Oprócz propozycji krzywych w rozdziale zawarto również inne parametry związane z modelem pożaru, takie jak ciepło spalania, gęstość mocy pożaru, ułamek sadzy czy też innych związków chemicznych. Na **rys. 1** przedstawiono krzywą rozwoju pożaru dla samochodów spalinowych w garażu niewyposażonym w instalację tryskaczową.



Rys. 1. Zalecana krzywa rozwoju pożaru w przypadku analizy przeprowadzonej dla samochodów spalinowych w garażu bez instalacji tryskaczowej [1]

Kryteria oceny

Kluczowym aspektem oceny efektywności systemów wentylacji oddymiającej są kryteria oceny. Obejmuje to zarówno rodzaj kryteriów (ilościowe versus jakościowe) i ich dobór, jak również akceptowalne wartości. Wytyczne koncentrują się na kryteriach ilościowych, które mają na celu zapewnienie obiektywnej oceny wyników symulacji CFD. W ramach tych kryteriów priorytetem jest ocena bezpieczeństwa ewakuacji, następnie bezpieczeństwo ekip ratowniczych oraz odpowiednie warunki eksploatacyjne instalacji oddymiającej. Zaproponowano również dodatkowe kryteria, takie jak ocena wpływu na konstrukcję oraz optymalizacja wyboru przewodów zasilających.

Ocena bezpieczeństwa ewakuacji

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (WT) [2], wskazuje, że widzialność jest jednym z głównych parametrów ocenianych przy analizie warunków ewakuacji. Spadek zasięgu widzialności wewnątrz pomieszczeń stanowi istotną

przeszkodę w ewakuacji osób podczas pożaru. W ramach symulacji komputerowych wykonywanych w celu oceny zgodności z § 270 WT projektanci muszą uwzględnić bezpieczeństwo ewakuacji w kontekście przewidywanego zadymienia. Ustalono, że bezpieczna wartość masowej koncentracji dymu nie powinna przekraczać 0,105 g/m³ na wysokości 1,80 m. Taka wartość odpowiada lokalnemu zasięgowi widzialności znaków ewakuacyjnych świecących własnym światłem, który nie powinien być mniejszy niż 10 m.

Wyznaczenia zasięgu widzialności w dymie w danym momencie czasowym można dokonać przy wykorzystaniu zależności opisanej wzorem nr 1:

$$S = \frac{C}{K} \quad (1)$$

gdzie:

C – stała o wartości C = 8 dla znaku emitującego światło i C = 3 dla znaku odbijającego światło;

K – współczynnik ekstynkcji światła.

Stać K, czyli wartość współczynnika ekstynkcji światła, jest wyliczana z zależności:

$$K = K_m \rho Y_s \quad (2)$$

gdzie:

K_m – masowy współczynnik ekstynkcji zależny od rodzaju spalanego paliwa, m²/kg;

ρY_s – stężenie dymu, kg/m³.

Wartość współczynnika ekstynkcji światła K zależy ściśle od analizowanego punktu. Oznacza to, że wartość zasięgu widzialności jest w bardzo dużym stopniu uzależniona od miejsca, w którym jest on analizowany. Opisane powyżej podejście opiera się na założeniu, że badany jest tzw. lokalny spadek zasięgu widzialności. Taki sposób interpretacji zasięgu widzialności ma swoje ograniczenia. W przypadku wykonywania komputerowego modelowania pożaru przy wykorzystaniu programów opartych na numerycznej mechanice płynów określony zostaje jedynie spadek zasięgu widzialności w najmniejszej objętości kontrolnej (komórce obliczeniowej). Przy takim podejściu analiza warunków ewakuacji w oparciu o kryterium zasięgu widzialności nie jest wystarczająco precyzyjna.

Niemniej możliwe jest zastosowanie alternatywnej metody, w której widzialność jest wyznaczana na zadanej ścieżce i uwzględnia niejednorodny rozkład dymu w badanej przestrzeni. Ilość światła pochłoniętego po przejściu przez ośrodek nazywana jest procentem zaciemnienia (λ) wyrażanym w [%]. Na podstawie procentu zaciemnienia i długości ścieżki pomiarowej można wyznaczyć moduł ekstynkcji zgodnie z poniższym wzorem:

$$\alpha = -\frac{\ln(1 - \lambda / 100)}{L} \quad (3)$$

gdzie:

α – moduł ekstynkcji, 1/m;

λ – procent zaciemnienia, %;

L – długość ścieżki, m.

Widzialność określana jest jako graniczna wartość zaciemnienia, przy którym obiekt może być jeszcze zauważony. Zależność między widzialnością oraz zaciemnieniem prezentuje poniższe równanie:

$$S = \frac{K}{\alpha} \quad (4)$$

gdzie:

S – widzialność, m;

K – współczynnik zaciemnienia, -;

α – moduł ekstynkcji, 1/m.

Jeśli widoczność jest większa lub równa długości badanej ścieżki ($S > L$), można przyjąć, że obserwowany obiekt jest widoczny. W przypadku gdy długość ścieżki jest taka sama jak widoczność ($L = S$), obiekt na końcu ścieżki może być ledwo dostrzegalny przez osobę o przeciętnym wzroku. Jeżeli obiekt znajduje się dalej niż określona widzialność, należy założyć, że taka osoba nie będzie mogła go zobaczyć. Procent zaciemnienia, określony we wzorach jako λ , można obliczyć w programie FDS poprzez zadanie w symulacji funkcji „PATH OBSCURATION”.

Temperatura na przejściach ewakuacyjnych prowadzących do wyjść ewakuacyjnych powinna być niższa niż 60°C na wysokości 1,8 m nad posadzką. Parametrem uzupełniającym ocenę warunków bezpiecznej ewakuacji jest oddziaływanie termiczne na osoby przemieszczające się przejściami ewakuacyjnymi do wyjść ewakuacyjnych. Podczas ewakuacji użytkowników garażu nie może dochodzić do przedostawania się dymu do stref dymowych, do których prowadzona jest ewakuacja. W przypadku garażu wyposażonego w więcej niż jedną strefę dymową konieczne jest utrzymanie dymu w strefie dymowej, w której doszło do pożaru. Strefa dymowa, w której nie występuje źródło pożaru, musi pozostać wolna od dymu. Wszystkie strefy dymowe w danej strefie pożarowej, w których nie ma źródła pożaru, są uznawane za strefy bez źródła pożaru.

Bezpieczeństwo działań ekip ratowniczych

Straż pożarna uznaje dostęp do źródła pożaru za wystarczający, jeśli spełnione są określone kryteria na wysokości 1,8 m nad posadzką. Widzialność: dym nie przenika do sąsiedniej strefy lub

widzialność wynosi przynajmniej 13,2 m (dla znaków odbijających światło) w odległości 18 m oraz przynajmniej 5,7 m w odległości 15 m od brzegu pożaru na drodze dostępu o szerokości min. 5 m. W przypadku spadku widzialności należy rozważyć inne rozwiązania techniczne. Temperatura mieszaniny gazów pożarowych i powietrza nie przekracza 120°C w odległości co najmniej 15 m od brzegu pożaru na drodze dostępu o szerokości min. 5 m. Jeśli temperatura przekracza 120°C, potrzebne są inne rozwiązania techniczne.

Działanie instalacji wentylacji

Prawidłowe odprowadzenie dymu i ciepła z zagrożonej przestrzeni jest kluczowe dla zapewnienia warunków bezpiecznej ewakuacji osób przebywających w budynku oraz minimalizacji skutków powstałego pożaru. Efektywność działania systemu wentylacji pożarowej bezpośrednio wpływa na bezpieczeństwo użytkowników obiektu, ułatwia prowadzenie akcji ratowniczo-gaśniczej, chroni stabilność konstrukcji oraz ogranicza straty materialne. Podczas projektowania wentylacji pożarowej garażu podziemnego ważnym elementem są wentylatory wyciągowe, które muszą być odporne na wysokie temperatury. Dlatego wykonuje się je zgodnie z określonymi klasami odporności temperaturowej, aby mogły funkcjonować skutecznie w warunkach przetłaczania gorących gazów pożarowych. Określenie klasy odporności temperaturowej wentylatorów wyciągowych wymaga oszacowania przewidywanej temperatury dymu, co uwzględniono w polskich przepisach techniczno-budowlanych.

Kluczowym parametrem mającym wpływ na funkcjonowanie instalacji wentylacji w trakcie pożaru jest oddziaływanie termiczne. Jako kryterium oceny wybrana została maksymalna temperatura mieszaniny gazów pożarowych ze świeżym powietrzem wpływających do szachtu/kanalu oddymiającego/komory rozprężnej przed wentylatorem wyciągowym, występująca w oprogramowaniu FDS jako parametr „GAS TEMPERATURE” – pomiar punktowy lub objętościowy.

Weryfikacja temperatury oddziałującej na wentylatory wyciągowe przy wykorzystaniu analizy CFD powinna odzwierciedlać – za pomocą modelu 3D zgodnego z wymiarami rzeczywistymi – drogę wyciąganych gazów pożarowych z przestrzeni objętej pożarem aż do miejsca, w którym zlokalizowane są wentylatory wyciągowe. Ściany szachtu/kanalu doprowadzającego gazy pożarowe do badanych wentylatorów wyciągowych powinny mieć zdefiniowane właściwości fizyczne odpowiadające materiałom, z jakich zostały wykonane.

Wentylatory strumieniowe w systemie wentylacji garaży podziemnych kierują przepływem powietrza podczas pożaru, wspomagając główne wentylatory. Skuteczność ich działania sprawdza się za pomocą programu FDS, określając temperaturę oddziałującą na wentylatory. Maksymalna temperatura pozwala ocenić klasę odporności temperaturowej wentylatorów. Jeśli pożar jest blisko wentylatora i przekroczy jego klasę odporności, należy zatrzymać działanie urządzenia. Po

osiągnięciu kontrolnej temperatury, np. 400°C dla klasy F400120, wentylator powinien być wyłączony, aby jego praca nie była uwzględniana w scenariuszu pożaru.

Oddziaływanie na konstrukcję jako kryterium uzupełniające

W zamkniętych garażach podziemnych elementy konstrukcyjne muszą odpowiadać klasie odporności pożarowej co najmniej „C”, z nośnością stropów i głównych konstrukcji R(EI) 60. Stropy oddzielające strefy pożarowe powinny spełniać kryterium REI 120, a słupy i ściany je podpierające R 120. W przypadku odrębnych budynków garaży wymagania mogą być niższe. Zgodnie z normami PN-EN do projektowania konstrukcji na warunki pożarowe (Eurokody), parametry REI odnoszą się do pożaru standardowego (krzywa ISO 834). Konstrukcje budynków projektuje się najczęściej, wykorzystując uproszczone metody obliczeniowe dla pożaru standardowego.

Symulacje CFD mają na celu potwierdzenie skuteczności systemów wentylacji, zapewnienie bezpiecznej ewakuacji oraz możliwości działań ratowniczych. Kluczowe parametry to widzialność, temperatura gazów pożarowych i gęstość strumienia promieniowania. Model pożaru uwzględnia ograniczony obszar i czas działania, a instalacja wentylacji minimalizuje kumulację ciepła.

Kontrola temperatury pożarowej elementów konstrukcyjnych została uwzględniona jako dodatkowe kryterium weryfikacji poziomu bezpieczeństwa konstrukcji dla analizowanego scenariusza pożaru. Krzywe rozwoju pożaru opracowane na potrzeby wentylacji nie powinny być używane do oceny globalnej odporności ogniowej elementów konstrukcyjnych. Analiza temperatury pożarowej elementów konstrukcyjnych nie jest obligatoryjnym kryterium akceptacji instalacji wentylacji garaży podziemnych, jednak jej przeprowadzenie może dostarczyć istotnych informacji projektowych.

Na podstawie analizy numerycznej CFD można określić krzywą przedstawiającą wartości temperatury na powierzchni elementu konstrukcyjnego (krzywa temperatura–czas). Podejście przedstawione w omawianych wytycznych stanowi uproszczenie służące weryfikacji, czy zagrożenia od występujących w garażu pojazdów w projektowanej konfiguracji są istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa konstrukcji i czy wymagają dodatkowych sprawdzeń lub zabiegów zapobiegawczych.

Analiza skuteczności wentylacji bytowej

Zgodnie z wymaganiami rozporządzenia WT [2] należy zapewnić odpowiednią wymianę powietrza zarówno w garażach zamkniętych, jak i otwartych. Dobrze zaprojektowana wentylacja mechaniczna w garażach, działająca podczas ich użytkowania, powinna zapewniać właściwą wymianę powietrza oraz rozrzedzenie produktów spalania paliw do bezpiecznego stężenia. Celem wentylacji jest również zapewnienie bezpiecznych warunków użytkowania przez ludzi, ograniczenie przenikania zanieczyszczeń do innych pomieszczeń oraz wentylacja awaryjna na wypadek nadmiernego

wzrostu stężenia gazu LPG. Skuteczność systemu wentylacji może być oceniana na podstawie wyników analizy CFD.

Określenie ilości powietrza wentylacyjnego dla garażu może być dokonane na podstawie emisji zanieczyszczeń pochodzących ze spalin silnikowych. Obliczenia można oprzeć na wytycznych zawartych w normie niemieckiej VDI 2053 [5] oraz w podręczniku ASHRAE [6].

Aby zapewnić odpowiednie warunki powietrza w garażu, konieczne jest określenie sposobu dystrybucji powietrza nawiewanego i wywiewanego. W przypadku wentylacji strumieniowej za transport powietrza i rozrzedzenie zanieczyszczeń odpowiadają wentylatory indukcyjne. Ich równomierne rozmieszczenie ma na celu zapewnienie ruchu powietrza w całej przestrzeni garażu przy zachowaniu przepływu powietrza od punktów nawiewnych do wyciągowych. Rozcieńczenie zanieczyszczeń w garażu przyjmuje się jako skuteczne przy zapewnieniu minimalnej prędkości przepływu powietrza 0,2 m/s. Analiza skuteczności pracy wentylacji powinna obejmować analizę rozkładu prędkości w garażu na co najmniej dwóch wysokościach (0,2 i 1,4 m) przy pracujących wentylatorach. Ocena skuteczności powinna być ilościowa – co najmniej 80% garażu powinno być objęte prędkością powietrza większą niż 0,2 m/s. Równocześnie ocenie powinno podlegać występowanie tzw. martwych stref w garażu, czyli miejsc, w których lokalnie zaobserwowano spadek prędkości powietrza poniżej 0,2 m/s. W takich przypadkach należy dokonać ponownego rozmieszczenia wentylatorów indukcyjnych lub zwiększenia ich wydajności.

Raportowanie

Raportowanie wyników analizy CFD obejmuje podstawowe informacje dotyczące obiektu, założenia analizy oraz szczegółowe metryki symulacji. Podstawowe informacje i metryki symulacji: raport powinien zawierać dane na temat programu użytego do analizy, krzywej rozwoju pożaru, czasu analizy, modelu przepływu turbulentnego, współczynnika widzialności oraz typu i rozdzielczości siatki. Szczegółowe kryteria oceny: raport powinien uwzględniać kryteria oceny skuteczności pracy wentylacji pożarowej, działań ekip ratowniczo-gaśniczych, klasy odporności temperaturowej wentylatorów oddymiających oraz skuteczności wentylacji bytowej. Wykresy i wnioski z analizy: w raporcie należy umieścić wykresy temperatury i widzialności oraz wnioski dotyczące marginesu bezpieczeństwa ewakuacji, dostępności wyjść ewakuacyjnych i skuteczności wentylacji bytowej.

Podsumowanie

Urządzenia przeciwpożarowe w Polsce muszą spełniać określone cele projektowe, co w przypadku garaży wymaga m.in. weryfikacji skuteczności zaprojektowanych instalacji za pomocą modelowania numerycznej mechaniki płynów.

Opracowane wytyczne [1] zawierają definicję parametrów wejściowych, konfigurację oprogramowania, przeprowadzanie analiz oraz raportowanie wyników. Kluczowe kwestie obejmują definicję pożaru projektowego, parametry odwzorowujące uruchamianie i działanie instalacji wentylacji oddymiającej oraz wskaźniki oceny poprawności projektu. Dokument omawia również szczegółowe wytyczne dotyczące wyboru miejsc najbardziej niekorzystnych z punktu widzenia ewakuacji oraz działań ekip ratowniczych.

Podsumowując, dokument stanowi kompleksowy przewodnik po analizie skuteczności wentylacji strumieniowej w garażach zamkniętych, z naciskiem na bezpieczeństwo użytkowników i ekip ratowniczych oraz ochronę mienia.

Literatura

1. Krasuski Adam (red.), *Wytyczne weryfikacji instalacji strumieniowej garaży zamkniętych za pomocą symulacji CFD*, Akademia Pożarnicza 2024, DOI:10.70402/apoz.2024.wytycznecfd
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU 2002 nr 75, poz. 690, z późn. zm.)
3. Węgrzyński Wojciech, Krajewski Grzegorz, *Systemy wentylacji pożarowej garaży. Projektowanie, ocena, odbiór*, Instrukcja ITB nr 493/2015, ITB, Warszawa 2015
4. Murley M.J. et al., *SFPE handbook of fire protection engineering*, 5th edition, Springer 2016, <https://www.sfpe.org/publications/handbooks/sfpehandbook>
5. VDI 2053 Blatt 1 – *Air Treatment Systems for Garages and Tunnels Garages*, 1995, <https://www.vdi.de/en/home/vdi-standards/details/vdi-2053-blatt-1-air-treatment-systems-for-garages-and-tunnels-garages>
6. 2013 ASHRAE Handbook – *Fundamentals* (I-P Editon), 2013, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpASHRAEB2/toc>

ksiegarniatechniczna.com.pl

Książki z dziedziny:

budownictwa	wentylacji i klimatyzacji
chłodnictwa	instalacji elektrycznych
ciepłownictwa i ogrzewnictwa	informatyki
gazownictwa	zarządzania i obsługi nieruchomości
instalacji sanitarnych	oraz programy, słowniki, poradniki
ochrony środowiska	



elektrotechnika
instalacje
budownictwo

**Księgarnia Techniczna
Grupa MEDIUM**

ul. Karczeńska 18, 04-112 Warszawa
tel.: 22 512 60 60
e-mail: eib@ksiegarniatechniczna.com.pl

www.ksiegarniatechniczna.com.pl

Detekcja gazów w garażach i parkingach podziemnych – sterowanie wentylacją mechaniczną

Najczęstsze przyczyny zatrucia tlenkiem węgla to, oprócz pożarów, wadliwe instalacje wentylacyjne. Niebezpieczeństwo związane z nagromadzeniem toksycznych produktów spalania paliw silników samochodowych dotyczy garaży, parkingów podziemnych, warsztatów samochodowych czy stacji kontroli pojazdów i wymaga technicznego rozwiązania problemu wentylacji.

Obowiązujące przepisy w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, zobowiązuje do nadzoru stężenia tlenku węgla w powietrzu oraz zastosowania wentylacji mechanicznej sterowanej czujnikami poziomu tego gazu. Dotyczy to wszystkich garaży i parkingów zamkniętych. Prawo wymaga także wykrywania gazu propan-butan, jeżeli w garażu istnieje możliwość parkowania samochodów zasilanych tym paliwem. Detektory gazu mają zatem za zadanie sterować pracą wentylacji w taki sposób, aby nadmiar niebezpiecznych substancji mógł zostać skutecznie usunięty. W sytuacji pojawienia się niebezpiecznego stężenia tlenku węgla, system detekcji powinien zapewnić uruchomienie mechanicznej wentylacji hal garażowych oraz sygnalizacji nadmiernego stężenia spalin.

Polska Norma PN-EN 50545-1 z roku 2012 *Elektryczne przyrządy do wykrywania i pomiaru gazów toksycznych i palnych w garażach oraz tunelach* określa wartości trzech progów alarmowych, przy których należy załączyć wentylację, aby usunąć nadmiar tlenku węgla. Wynoszą one odpowiednio: alarm 1 – 30 ppm, alarm 2 – 60 ppm, alarm 3 – 150 ppm.

Modułowy System Detekcji i Nadzoru stężenia CO

Głowice SMARTmaxi to podstawowy element Modułowego Systemu Detekcji i Nadzoru stężenia CO. Ich działanie jest w pełni zgodne z Polską Normą PN-EN 50545-1 z roku 2012 *Elektryczne przyrządy do wykrywania i pomiaru gazów toksycznych i palnych w garażach oraz tunelach*. Mają one trzy progi alarmowe tlenku węgla, przy których należy załączyć wentylację, aby usunąć jego nadmiar.

Urządzeniem pośredniczącym pomiędzy nimi a jednostką nadrzędną jest konwerter KT-16. Przy jego pomocy możliwa jest komunikacja z głowicami. Innymi elementami tego systemu mogą być urządzenia nadrzędne takie jak: systemy wizualizacji, komputery, sterowniki przekaźników, sterowniki PLC oraz inne.

Do wejścia konwertera KT-16 można podłączyć do 16 głowic łączonych w sposób szeregowy. Wyjście konwertera wyposażone jest w izolowany galwanicznie, dwuprzewodowy interfejs RS-485 (half duplex) z zaimplementowanym protokołem Modbus RTU („slave”). Do wyjścia konwertera można podłączyć dowolne urządzenie nadrzędne („master”) wyposażone w kompatybilne łącze i protokół transmisji. Urządzenie nadrzędne może za pośrednictwem konwertera odczytywać wszystkie parametry podłączonych głowic, zmieniać niektóre z nich, a także konfigurować parametry pracy samego konwertera. Oddzielną opcją pracy konwertera jest możliwość podłączenia do jego wyjścia analogowych modułów wyjść prądowych 4-20 mA. System wyposażony został w układy korekcji wpływu czynników klimatycznych na parametry czujników oraz rozbudowany układ kontroli poprawności pracy każdego czujnika. Nieodzownym elementem systemu detekcji tlenku węgla i LPG są tablice ostrzegawcze. Informują one osoby przebywające w garażu lub na parkingu o ewentualnym zagrożeniu związanym z nadmiernym stężeniem CO lub LPG oraz konieczności opuszczenia garażu. Świetlne tablice ostrzegawcze zawierające różnego typu informacje ostrzegawcze (np. „Nie wjeżdżać – nadmiar spalin”, „Opuścić garaż – nadmiar spalin” itp.), umieszcza się przed wjazdem do garażu lub przy głównych alejkach komunikacyjnych, którymi poruszają się samochody.

System ten odznacza się łatwością i różnorodnością jego konfiguracji, dlatego znajduje zastosowanie zarówno w obiektach małych, jak i dużych, które można podzielić na strefy. Jest to o tyle korzystne rozwiązanie, że pozwala na sterowanie wentylacją w tych częściach garażu czy parkingu, w których wystąpiło zagrożenie.

Detekcja CO i LPG – lokalizacja głowic

Szczególną uwagę należy zwrócić na dobór miejsca zamontowania głowic. Głowica powinna być tak umieszczona, by nagromadzenia gazu zostały wykryte zanim powstanie mieszanina niebezpieczna, czyli w miejscu najwyższych spodziewanych nagromadzeń gazu lub w strumieniu wentylacyjnym doprowadzającym gaz do czujnika z punktów najbardziej prawdopodobnych wypływów.

Sposób rozmieszczenia głowic powinien uwzględniać przede wszystkim:

- parametry fizyko-chemiczne gazu,
- topografię pomieszczenia,
- rodzaj wentylacji (naturalna, mechaniczna), jej niezawodność i możliwe zmiany natężenia i kierunku strumienia wentylacji.

Optymalne warunki pracy i działania systemu detekcji można uzyskać, kierując się następującymi wskazówkami przy lokalizacji głowic:

- w przypadku **tlenku węgla (CO)**, który jest nieco lżejszy od powietrza i łatwo się z nim miesza, najczęściej zaleca się umieszczanie głowic na wysokości 150–220 cm nad posadzką. Jeśli głowica montowana jest na ścianie, musi być umieszczona blisko sufitu, na wysokości większej niż

wszystkie okna i drzwi, ale nie bliżej niż 15 cm od sufitu, natomiast jeżeli głowica montowana jest na suficie, to musi znajdować się w odległości minimum 30 cm od wszystkich ścian,

- w przypadku **gazu płynnego (LPG)**, który jest cięższy od powietrza, głowice należy umieścić możliwie nisko nad posadzką, na wysokości około 15–50 cm od posadzki,
- głowice można montować na ścianach, filarach, podporach lub wysięgnikach,
- głowic nie należy montować w miejscach o dużym nasłonecznieniu oraz w pobliżu źródeł ciepła,
- głowica nie powinna znajdować się w miejscu występowania silnych pól elektromagnetycznych.

Szczegółowe zalecenia dotyczące rozmieszczania czujników gazów wybuchowych można znaleźć w PN-EN 60079-29-2 (środowisko przemysłowe) oraz PN-EN 50244 (środowisko domowe), natomiast zalecenia odnośnie do rozmieszczania czujników gazów toksycznych zawarte są w PN-EN 45544-4 (środowisko przemysłowe) oraz PN-EN 50292 (środowisko domowe). Rozmieszczeniem głowic pomiarowo-detekcyjnych powinna zająć się osoba posiadająca odpowiednią wiedzę i doświadczenie.



ALTER S.A.
ul. Pocztowa 13, 62-080 Tarnowo Podgórne
tel./fax: +48 61 814 65 57, 814 71 49, 814 62 90
e-mail: alter@altersa.pl, www.altersa.pl



Głowica pomiarowo - detekcyjna **SMARTmaxi** NOWOŚĆ



**3 PROGI
ALARMOWE DLA CO
ZGODNIE Z EUROPEJSKĄ
NORMĄ PN-EN 50545-1:2012**

- ➡ próg 1 – 30 ppm
- ➡ próg 2 – 60 ppm
- ➡ próg 3 – 150 ppm

**KOMPLETNY SYSTEM
DETEKCYI CO I LPG
W GARAŻACH PODZIEMNYCH**
(głowice SMARTmaxi, centrala-jednostka nadrzędna,
światłne tablice ostrzegawcze, sygnalizatory
optyczno-akustyczne)

- ➡ NIEZAWODNY
- ➡ ŁATWY W MONTAŻU
- ➡ BEZPIECZNY W EKSPLOATACJI

ALTER S.A.
ul. Pocztowa 13
62-080 Tarnowo Podgórne

alter@altersa.pl
www.altersa.pl

Waldemar Joniec

Wentylacja strumieniowa garaży zamkniętych

Z powodu braku w Polsce jednoznacznej metodologii wyznaczania wydajności wyciągu systemów wentylacji strumieniowej przyjmuje się często dużo wyższe wartości niż wskazywane w przypadku systemów oczyszczania z dymu, ale niższe od zalecanych dla systemów kontroli dymu. „Wytyczne projektowe: wentylacja strumieniowa garaży zamkniętych” Szkoły Głównej Służby Pożarniczej zawierają m.in. nowe zalecenia dotyczące szacowania wydajności wyciągu systemów wentylacji strumieniowej tak, aby utrzymać zadymienie w obrębie jednej strefy dymowej, pozostawiając pozostałe strefy wolnymi od dymu. Umożliwia to wejście ekip ratowniczo-gaśniczych do strefy niezadymionej, lokalizację pożaru i natarcie na źródło ognia, a także bezpieczną ewakuację.

Opracowane przez zespół specjalistów ze Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, Politechniki Warszawskiej oraz Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa „Wytyczne projektowe: wentylacja strumieniowa garaży zamkniętych” podają następującą definicję garażu zamkniętego – to *obszar przygotowany i przewidziany do parkowania wielu pojazdów, stanowiący samodzielny obiekt budowlany lub część innego obiektu budowlanego, będący garażem zamkniętym – z pełną obudową zewnętrzną i zamykanymi otworami.*

Wytyczne określają minimalne parametry, jakie muszą spełnić systemy wentylacji strumieniowej (SWS) w przypadku powstania pożaru wewnątrz garażu zamkniętego, żeby ograniczyć jego skutki w sposób zapewniający spełnienie postawionych celów projektowych. Dokument ten nie narzuca sposobu projektowania, jego zadaniem jest pomoc w realizacji celów projektowych. Jest on pomocny na każdym etapie procesu budowlanego, od projektu, poprzez budowę, po odbiór, gdyż umożliwia zdefiniowanie warunków brzegowych planowanego systemu bezpieczeństwa pożarowego. Zawarto w nim nowe podejście do projektowania systemów wentylacji strumieniowej, jednoznacznie nieokreślone w polskich przepisach, z tego powodu nie zaleca się jego wykorzystywania do weryfikacji istniejących garaży zamkniętych lub będących w trakcie procesu budowlanego. Wytyczne mogą być stosowane tylko w przypadku garaży zamkniętych w nowo projektowanych lub modernizowanych budynkach, zaprojektowanych w całości w oparciu o wymagania zawarte w tym dokumencie.

System wentylacji mechanicznej garażu zamkniętego powinien spełniać dwa nadrzędne cele projektowe: usuwanie nadmiaru spalin samochodowych podczas normalnego użytkowania garażu oraz usuwanie dymu i ciepła w razie wystąpienia pożaru w garażu.

Wentylację bytową nawiewno-wywiewną realizuje system wentylacji strumieniowej, kierując powietrze ze spalinami z przestrzeni garażu do punktów wyciągowych, skąd jest ono usuwane na zewnątrz budynku przez szachty lub kanały. Napływ kompensacyjny świeżego powietrza zapewniają punkty czerpania. Wydajność w tej funkcji sterowana jest za pomocą czujników CO i/lub VOC.

Wentylację pożarową oddymiającą, czyli ochronę przed zadymieniem i wzrostem temperatury w przejściach ewakuacyjnych w czasie potrzebnym do bezpiecznej ewakuacji ludzi, oraz wspomaganie działania ekip ratowniczo-gaśniczych i zabezpieczenie konstrukcji budynku także realizuje system wentylacji strumieniowej sterowany za pomocą systemu sygnalizacji pożarowej.

W wytycznych zawarto **nowe podejście do szacowania wydajności wyciągu** SWS. W Polsce z powodu braku jednoznacznej metodologii wyznaczania tego parametru przyjmowano dużo wyższe wydajności od wskazanych dla systemów oczyszczania z dymu (smoke clearance), ale niższe niż zalecane dla systemów kontroli dymu (smoke control). Powoduje to pewną dezorientację uczestników procesu budowlanego.

Systemy kontroli dymu mają wysokie wydajności punktów wyciągowych, co wpływa na koszt budowy dużych szachtów oraz liczbę urządzeń i zapotrzebowanie na moc do ich zasilania. Gwarantują jednak najwyższy poziom bezpieczeństwa ekipom ratowniczo-gaśniczym, gdyż zapewniają odpowiednią widoczność źródła ognia i ograniczają zadymienie w garażu.

Systemy oczyszczania z dymu mają jedno zadanie – jak najszybsze doprowadzenie garażu do ponownego użytkowania w momencie ugaszenia źródła ognia. Rozwiązanie to tylko pośrednio wspomaga działania ekip ratowniczo-gaśniczych poprzez jakiegokolwiek usuwanie dymu oraz obniżanie temperatury gazów pożarowych w trakcie działań gaśniczych. Ale nie jest to żadnym kryterium oceny ich skuteczności, gdyż systemy takie nie chronią w żaden sposób przed zadymieniem całego garażu w czasie trwania pożaru. Rozwiązanie to może stwarzać problemy dla straży pożarnej w lokalizacji pożaru wewnątrz garażu i tym samym jego niekontrolowane przenoszenie się na kolejne zaparkowane samochody.

Uzasadnione jest zatem wprowadzenie rozwiązania pośredniego, które umożliwi utrzymanie zadymienia w obrębie jednej strefy dymowej, pozostawiając pozostałe strefy wolnymi od dymu – taki sposób projektowania systemów wentylacji strumieniowej *pozwole na bezpieczne wejście ekip ratowniczo-gaśniczych do strefy niezadymionej, wstępną lokalizację pożaru np. przy użyciu kamery termowizyjnej, przygotowanie zabezpieczeń ochrony osobistej oraz armatury gaśniczej, a następnie natarcie na źródło ognia. Zabezpieczenie pozostałych stref dymowych wpłynie również na zwiększenie poziomu bezpieczeństwa użytkowników i osób przebywających w garażu. Osoby znajdujące się w bliskiej odległości od źródła ognia będą miały możliwość ewakuacji do bezpiecznej części garażu (do innej strefy dymowej, która pozostanie niezadymiona przez cały czas trwania pożaru). Natomiast osoby nieznajdujące się w bliskiej odległości od źródła ognia, reagujące jedynie na alarm akustyczny lub wizualny SSP, będą*

miały możliwość ewakuacji w swojej strefie dymowej przez cały czas trwania pożaru, ponieważ zadymienie nie powinno pojawić się w innej strefie dymowej niż w strefie objętej pożarem.

Zakres stosowania wytycznych

1. Zakres stosowania wytycznych obejmuje publiczne i prywatne garaże zamknięte, przeznaczone do parkowania samochodów osobowych i małych pojazdów dostawczych.
2. Wytyczne definiują założenia projektowe dla SWS w garażach zamkniętych nieposiadających bezpośredniego wjazdu lub wyjazdu z budynku albo o powierzchni przekraczającej 1500 m².
3. Dokument nie ma zastosowania do garaży otwartych.
4. Wytyczne nie poruszają całościowo problemu parkowania samochodów elektrycznych, w tym samochodów hybrydowych i zasilanych wodorem.
5. Garaże o wysokości poniżej 3,8 m niewyposażone w instalację gaśniczą wodną i garaże o wysokości poniżej 2,8 m wyposażone w instalację gaśniczą wodną powinny być zabezpieczone systemem wentylacji strumieniowej. Wymóg ten nie wyklucza projektowania SWS w garażach wyższych.
6. W garażach zamkniętych powiązanych funkcjonalnie z budynkami, w których mogą przebywać osoby niezaznajomione z dostępnymi drogami ewakuacyjnymi, zaleca się stosowanie systemu wentylacji kanałowej (SWK) przy jednoczesnym uwzględnieniu pkt 5.

Zakres stosowania SWS wynika m.in. z analiz norm zagranicznych (NBN S 21-208-2:2014, NEN 6098:2012, BS 7346-7:2013), które wskazują, że jednym z ważniejszych celów projektowych SWS jest potrzeba zapewnienia bezpieczeństwa ekipom ratowniczo-gaśniczym.

Założenia podstawowe

Garaże zamknięte nie powinny obejmować niewydzielonych pożarowo pomieszczeń, w których składowane będą materiały łatwopalne (pkt 1). Z przebiegu pożarów wynika bowiem, że gromadzone materiały, w tym łatwopalne, stanowią groźbę bardzo szybkiego rozwoju pożaru oraz duże zagrożenie dla ekip ratowniczo-gaśniczych, a także konstrukcji budynku.

Bez względu na lokalizację miejsca pożaru należy przewidzieć możliwość wejścia ekip ratowniczo-gaśniczych do strefy dymowej wolnej od zadymienia bezpośrednio z zewnątrz budynku. W komentarzu do tego wymagania autorzy wytycznych wskazują, że zalecaną drogą wejścia dla ekip ratowniczo-gaśniczych jest wjazd lub wyjazd z garażu. Jeśli interwencja ekip ratowniczo-gaśniczych nie następuje przez wjazd lub wyjazd, należy przewidzieć możliwość wejścia przez klatkę schodową i przedsionek przeciwpożarowy.

SWS muszą zapewnić określone cele projektowe w przypadku powstania pożaru w dowolnym miejscu w garażu (miejsca postojowe, pas ruchu), ale przy założeniu wystąpienia tylko jednego

ogniska pożaru. Jeśli do garażu prowadzi kilka wejść, zaleca się, by wejście do garażu było wyraźnie oznakowane. Wejście to musi pozostawać otwarte lub zostać automatycznie odblokowane w razie detekcji pożaru. W komentarzu do tego wymogu po raz kolejny wskazuje się na znaczenie szybkiego wejścia ekip ratowniczo-gaśniczych do garażu, co może decydować o skuteczności podjętych działań, zwłaszcza w budynkach z kilkoma kondygnacjami podziemnymi.

Wejście do garażu przez ekipy ratowniczo-gaśnicze powinno być realizowane ze strefy dymowej nieobjętej pożarem lub od strony nawiewu świeżego powietrza. Elementy SWS muszą zostać automatycznie uruchomione, otwarte lub zamknięte zgodnie ze scenariuszem pożarowym i pozostać zablokowane w docelowej pozycji bez konieczności ręcznej interwencji.

W ostatnim punkcie tego rozdziału zwrócono uwagę, że wytyczne nie rozwiązują kompleksowo problemów związanych z garażami o gęstości obciążenia większej niż 500 MJ/m², tj. w przypadku zastosowania wielopoziomowych platform parkingowych, palet przesuwanych poziomo, parkowania samochodów dostawczych, autobusów lub ciężarówek. Przypadki te powinny być rozpatrywane indywidualnie, przy uwzględnieniu odpowiednio większej mocy pożaru oraz innych ryzyk z tym związanych.

Wybrane wymagania przepisów

Kolejny rozdział wytycznych zawiera wybrane wymagania przepisów techniczno-budowlanych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego, w tym pochodzące z rozporządzenia w sprawie warunków technicznych.

Cele projektowe

System wentylacji strumieniowej musi realizować następujące cele projektowe:

1. Wspomóc proces ewakuacji ludzi z garażu zamkniętego.
2. Zapewnić dostęp ekip ratowniczo-gaśniczych od strony nawiewanego powietrza.
3. Utrzymać zadymienie w strefie dymowej, w której wystąpił pożar.
4. Zabezpieczyć konstrukcję budynku przez obniżenie temperatury wewnątrz garażu.

W komentarzu do tego rozdziału autorzy zwracają uwagę m.in. na fakt, że w większości przypadków system ma tylko wspomagać proces ewakuacji. Z kolei spełnienie wymogu zapewnienia odpowiedniego zasięgu widzialności w każdym miejscu garażu (system kontroli dymu) zgodnie z normami (NBN S 21-208-2:2014, NEN 6098:2012, BS 73467:2013) jest w polskich realiach bardzo kosztowne inwestycyjnie i trudne w realizacji, gdyż wymaga systemu o wydajności w zakresie 300 000–500 000 m³/h i więcej, w zależności od projektowanej geometrii garażu. Z tego powodu w większości przypadków w Polsce projektowane są systemy oczyszczania z dymu o wydajności rzędu 160 000–200 000 m³/h, które nie gwarantują ograniczenia w rozchodzeniu się zadymienia,

a jedynie pozwalają obniżyć temperaturę gazów pożarowych gromadzonych wewnątrz garażu. A rozwiązanie to, jak wspomniano powyżej, może powodować problemy z szybką lokalizacją miejsca pożaru i tym samym grozi jego niekontrolowanym rozwojem na kolejne samochody.

Kryteria oceny skuteczności

1. Zasięg widzialności na wysokości 1,8 m nad poziomem posadzki nie powinien być mniejszy niż 10 m w czasie ewakuacji ludzi.
2. Temperatura na wysokości 1,8 m nad poziomem posadzki nie powinna być wyższa niż 60°C w czasie ewakuacji ludzi.
3. Co najmniej jedna droga ewakuacyjna powinna pozostawać wolna od zadymienia przez cały czas ewakuacji ludzi z garażu.
4. Temperatura gazów pożarowych na wysokości 1,5 m nad poziomem posadzki, w odległości 15 m od źródła ognia nie może przekraczać 120°C po uzyskaniu przez pożar maksymalnej mocy projektowej przy jednoczesnym uwzględnieniu czasu podjęcia działań ratowniczo-gaśniczych.
5. Gazy pożarowe powinny zostać utrzymane przez cały czas trwania pożaru projektowego w obrębie strefy dymowej, w której wystąpił pożar. Wymóg nie dotyczy garaży z jedną strefą dymową.

W komentarzu autorzy zwracają uwagę, że zaprojektowanie garażu w sposób umożliwiający ewakuację ludzi jest kluczowym celem projektowym. Istnieje ryzyko, że osoby, które nie będą się znajdowały bezpośrednio w strefie dymowej, w której powstał pożar, zareagują na zagrożenie po dłuższym czasie rozpoznania, dlatego istotne jest, żeby zadziałanie SWS zapewniło możliwość ewakuacji do co najmniej jednego wyjścia ewakuacyjnego. Wymóg ten jest istotny przede wszystkim w przypadku projektowania systemów jednokierunkowych, gdzie zadymienie wyjść ewakuacyjnych następuje relatywnie szybko.

Z kolei kryteria dotyczące gazów pożarowych są istotne w kontekście wejścia ekip ratowniczo-gaśniczych. Do sprawdzenia skuteczności utrzymywania gazów pożarowych w obrębie strefy dymowej zalecane jest stosowanie symulacji komputerowych. Z analiz wynika, że głównym czynnikiem powodującym skuteczne utrzymanie zadymienia jest odpowiednia konfiguracja nawiewów i równomierna dystrybucja powietrza z sąsiednich stref dymowych, a zatem niepoprawne ukierunkowanie strumienia powietrza nawiewanego może spowodować efekt odwrotny, powodując zadymienie więcej niż jednej strefy dymowej.

Kolejne rozdziały zawierają szerokie i szczegółowe wymagania dla poszczególnych elementów SWS: stref dymowych, układów wyciągowych, czerpni i wyrzutni pożarowych, otworów kompensacyjnych, bram wyjazdowych, wentylatorów strumieniowych i ich klas temperaturowych oraz systemów detekcji pożaru i sterowania, a także zasilania elektrycznego, platform wielopoziomowego parkowania, współdziałania SUG z wentylacją strumieniową

oraz stanowisk ze stacjami ładowania pojazdów elektrycznych. Z uwagi na dużą objętość niektórych rozdziałów, poniżej przedstawiono jedynie główne zalecenia.

Strefy dymowe

Powierzchnia pojedynczej strefy dymowej nie może przekraczać 2500 m². Długość boku zbiornika dymu nie powinna być większa niż 60 m w każdym kierunku. Na granicy stref dymowych zaleca się stosowanie kurtyn dymowych w klasie D₆₀₀ 60 lub przegród dymowych EI 60. Dopuszcza się instalowanie urządzeń i elementów SWS bezpośrednio w kurtynach lub przegrodach dymowych, np. wentylatorów strumieniowych na granicy stref dymowych. Z każdej strefy dymowej musi istnieć możliwość ewakuacji bezpośrednio na zewnątrz, do innej strefy pożarowej lub do bezpiecznego miejsca.

Wydajność układu wyciągowego

Wydajność wyciągu SWS musi zostać dobrana w sposób zapewniający ograniczenie zadymienia do strefy dymowej, w której wystąpił pożar, i powinna uwzględniać kryterium obniżenia temperatury. W przypadku braku stałego urządzenia gaśniczego minimalna wydajność wyciągu SWS powinna być większa lub równa 120 000 m³/h, przy jednoczesnym uwzględnieniu wymogu doboru zapewniającego ograniczenie zadymienia do strefy dymowej, w której wystąpił pożar. Prędkość powietrza na kratkach wyciągowych nie powinna przekraczać 8 m/s, przy czym dopuszcza się 12 m/s.

Metoda szacowania wydajności przedstawiona została w załączniku do wytycznych. Aby uniemożliwić powstawanie zbyt wysokich temperatur, autorzy zalecają wydajność wyciągu nie mniejszą niż 120 000 m³/h, co skutecznie uniemożliwi powstanie temperatury większej niż 400°C, oddziałującej na wentylatory wyciągowe w razie pożaru projektowego 8 MW. Ograniczenie temperatury gazów pożarowych zabezpieczy również przed powstaniem zjawiska rozgorzenia, które mogłoby być szczególnie niebezpieczne dla ekip ratowniczo-gaśniczych.

Czerpnie i wyrzutnie pożarowe

We wstępie do tego rozdziału autorzy przypominają, że aktualnie polskie przepisy techniczno-budowlane nie podają jednoznacznych wymagań dotyczących odległości czerpni i wyrzutni pożarowych dachowych, elewacyjnych czy też terenowych względem sąsiednich budynków, stref pożarowych, dróg komunikacji ogólnej czy innych elementów infrastruktury. Bezpośrednie połączenie przestrzeni garażu oraz czerpni lub wyrzutni pożarowej powoduje, że elementy te są częścią garażu. W takim przypadku zasadne wydaje się zastosowanie ogólnych przepisów określających odległości pomiędzy budynkiem PM o obciążeniu ogniowym nieprzekraczającym 500 MJ/m² (garaż) a innymi budynkami. Autorzy wskazują, że wykorzystali również normę belgijską NBN S 21-208-2:2014, która definiuje wymagania dotyczące odległości wyrzutni od innych elementów budynku w sposób

chroniący przed rozprzestrzenianiem się pożaru. Rozdział ten zawiera 15 punktów określających wymagania dla czerpni i wyrzutni. Zawarto w nim też wymóg, by odrębną strefą pożarową stanowiły pomieszczenia, w których umieszczone są maszynownie wentylacji, rozdzielnice elektryczne i zasilające oraz niezbędne podczas pożaru instalacje i urządzenia.

Otwory kompensacyjne mechaniczne i grawitacyjne

Rozdział zawiera 8 punktów, w których podano wymagania projektowe dla szachtów oraz krat grawitacyjnych i mechanicznych, a także maksymalne prędkości powietrza na drogach ewakuacyjnych i dla wyciągów.

Bramy wjazdowe

W rozdziale tym zawarto wymagania bardzo ważne dla działania ekip ratowniczo-gaśniczych. Autorzy wskazują, że brama wjazdowa w wielu przypadkach projektowych może być najlepszą drogą prowadzenia rozpoznania i działań ratowniczo-gaśniczych. Wykorzystanie bramy wjazdowej jest uzasadnione jedynie w przypadku pożaru na poziomie, na który prowadzi brama. Gaszenie poziomów niższych lub wyższych wiązałoby się z koniecznością budowania bardzo długiej linii gaśniczej oraz ryzykiem zadymienia kolejnych kondygnacji garażu i pogorszeniem warunków prowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczej.

W wytycznych zawarto zalecenia dotyczące automatycznego otwarcia bramy w momencie wystąpienia alarmu II stopnia oraz stosowania zasilania bram przed wyłącznikiem przeciwpożarowym. W komentarzach autorzy wskazują, że bramy warto wyposażać w rozwiązania techniczne dające możliwość jej otwarcia lub zamknięcia przez kierującego działaniami ratowniczo-gaśniczymi, np. poprzez wyprowadzenie przycisku umożliwiającego otwarcie bramy z pomieszczenia ochrony lub pomieszczenia, w którym znajduje się centrala SSP, albo za pomocą łącznika (stacyjki) uruchamianego kluczem o profilu trójkątnym, będącym na wyposażeniu PSP.

Wentylatory strumieniowe

We wstępie do tego rozdziału autorzy podkreślają, że głównym zadaniem wentylatorów strumieniowych jest odpowiednie ukierunkowanie powietrza do punktów wyciągowych SWS. O skuteczności ich działania stanowi zdolność do usuwania zadymienia oraz kompensowania powietrza.

Wytyczne zalecają zastosowanie w wentylatorach strumieniowych deflektorów nawiewanego powietrza w celu uniknięcia efektu Coandy. Ich rozmieszczenie w garażu powinno zapobiegać powstawaniu tzw. martwych stref, spód wentylatora powinien się znajdować na wysokości 2,0–2,5 m nad poziomem posadzki. Lokalizowanie wentylatorów strumieniowych relatywnie jak najniżej pozwala bowiem na efektywniejsze wykorzystanie strumienia nawiewanego powietrza.

Klasy temperaturowe wentylatorów, przewodów i klap

We wstępie do tego rozdziału autorzy wskazują, że klasa temperaturowa wentylatorów oddymiających powinna być ściśle powiązana z warunkami pożarowymi panującymi wewnątrz zabezpieczanej strefy budynku. W większości przypadków stosowanie wentylatorów w klasie temperaturowej wyższej niż F400 nie ma uzasadnienia, ponieważ powstanie wyższych temperatur oznacza niepoprawne zaprojektowanie SWS lub jego działania. Standardy zagraniczne zalecają zastosowanie wentylatorów wyciągowych F300. Autorzy sugerują oszacowanie klasy temperaturowej wentylatorów głównych wyciągowych na dachu na podstawie obliczeń zgodnie z załącznikiem nr 2 wytycznych albo symulacji komputerowych.

Z kolei klasę wentylatorów głównych wyciągowych w pomieszczeniu wentylatorni na poziomie garażu lub terenu zaleca się wyznaczać w oparciu o wyniki symulacji komputerowych, gdyż jest to metoda umożliwiająca jednostkowe podejście do każdego przypadku. Wytyczne zawierają także szereg szczegółowych zaleceń dotyczących zastosowania wodnych instalacji gaśniczych. Przewody wentylacji oddymiającej i klapy powinny odpowiadać co najmniej wymaganiom zawartym w WT.

Detekcja pożaru i sterowanie

Rozdział zawiera szczegółowe zalecenia dla alarmów I oraz II stopnia – ich wywołania i sekwencji działania systemów ostrzegawczych i wentylacyjnych (bytowych i pożarowych).

Zasilanie elektryczne

To obszerny fragment wytycznych z zaleceniami dotyczącymi czasu gwarantowanej niezawodności zasilania, wydzielania obwodów oraz podstawowych i rezerwowych źródeł zasilania.

Platformy do wielopoziomowego parkowania samochodów

We wstępie do tego rozdziału autorzy wskazują, że aktualne przepisy techniczno-budowlane nie regulują problematyki wielopoziomowego parkowania samochodów w garażach zamkniętych. A brak formalnych regulacji w tym zakresie powoduje wiele problemów projektowych, co pośrednio przekłada się na bezpieczeństwo pożarowe budynku. Wytyczne zalecają zatem, żeby w przypadku stosowania dwupoziomowych platform parkingowych przyjmować pożar minimum czterech samochodów o mocy nie mniejszej niż 16 MW. W sytuacji zastosowania platform parkingowych o liczbie poziomów większej niż dwa moc pożaru powinna być określana indywidualnie. Podano także miejsca sytuowania wentylatorów strumieniowych i zalecono dodatkowe stosowanie wodnych instalacji gaśniczych.

Współdziałanie samoczynnego urządzenia gaśniczego z wentylacją strumieniową

Autorzy zwracają uwagę, że obecnie żadne standardy, dotyczące projektowania zarówno wentylacji oddymiającej, jak i samoczynnych urządzeń gaśniczych, nie odnoszą się wprost do problematyki współdziałania systemu wentylacji strumieniowej z instalacją gaśniczą. Jednak aktywacja SWS nie pozostaje bez wpływu na jej działanie, co może powodować zakłócenia w poprawnej lokalizacji pożaru oraz efektywnym działaniu instalacji gaśniczej. Wytyczne zalecają zatem uwzględnienie czasu zwłoki w uruchomieniu wentylatorów strumieniowych względem instalacji wodnej gaśniczej. Otwarcie tryskacza powinno nastąpić przed uruchomieniem wentylatorów strumieniowych. Czas aktywacji tryskacza należy oszacować na podstawie obliczeń empirycznych lub numerycznych. W zależności od rodzaju budynku powiązanego funkcjonalnie z garażem można rozważyć uruchomienie głównych wentylatorów nawiewnych i wyciągowych bezzwłocznie po wystąpieniu alarmu II stopnia wywołanego przez SSP. Dla instalacji tryskaczowej zaleca się przyjęcie powierzchni działania powiększonej o 100% względem wytycznych w standardzie, na podstawie którego projektowany jest system. W scenariuszu pożarowym należy przewidzieć automatyczne wyłączenie wentylacji bytowej w alarmie I stopnia wywołanym przez SSP.

Stanowiska ze stacjami ładowania pojazdów elektrycznych

Nie można jednoznacznie wskazać, że parkowanie w garażach zamkniętych samochodów elektrycznych zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru w porównaniu z samochodami z konwencjonalnym silnikiem spalinowym. Jednak podczas projektowania należy wziąć pod uwagę następujące hipotezy: krzywa rozwoju mocy pożaru może być różna dla każdego przypadku pożaru samochodu elektrycznego, dynamika rozwoju pożaru w pierwszej fazie jest dużo wyższa, rozwój pożaru na kolejne samochody elektryczne może być zainicjowany relatywnie niskimi temperaturami, powodując przegrzanie ogniwa, obecne zabezpieczenia przeciwpożarowe garaży mogą się okazać niewystarczające, a proces gaszenia samochodów elektrycznych wymaga dłuższych działań zastępów PSP.

Dla działań ratowniczo-gaśniczych istotne jest odpowiednie lokalizowanie miejsc postojowych pojazdów elektrycznych z funkcją ładowania. Chodzi głównie o możliwość relatywnie łatwego dostarcia do pożaru, jak również późniejszego usunięcia pojazdu z garażu.

W wytycznych zawarto zatem dwa krótkie zalecenia:

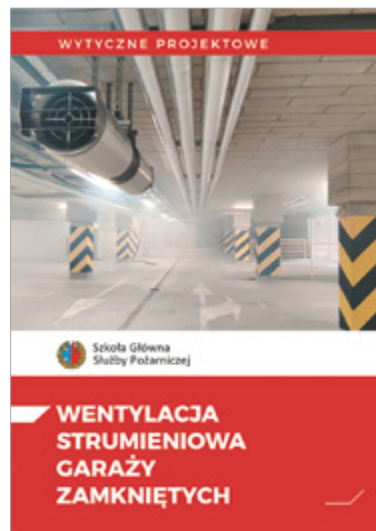
1. Podczas projektowania SWS należy uwzględnić szybszy przyrost mocy pożaru w pierwszej fazie rozwoju.
2. Zaleca się lokalizowanie miejsc postojowych [z funkcją ładowania – red.] na zewnątrz budynku w przypadku garaży z windą samochodową.

Dokument obejmuje także trzy załączniki: *Określanie wydajności wyciągu pożarowego; Określanie klasy temperaturowej wentylatorów wyciągowych oraz Procedura odbiorowa*. Zamyka je obszerny wykaz literatury.

opr. red.

Wytyczne projektowe opracował zespół specjalistów ze Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, Politechniki Warszawskiej i Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa: mgr inż. Matusz Fliszkiewicz, dr inż. Małgorzata Majder-Łopatka, dr hab. inż. Andrzej Polańczyk, dr hab. inż. Wioletta Rogula-Kozłowska, mgr inż. Antoni Celej, mgr inż. Jan Czajkowski, dr inż. Tomasz Klinke, mgr inż. Ireneusz Kopczyński, mgr inż. Damian Kubera, mgr inż. Karol Mojski, mgr inż. Edward Skiepmo, mgr inż. Janusz Woźniak.

Dostępne pod adresem: https://www.sgsp.edu.pl/?page_id=24172



Literatura

1. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (DzU 1994, nr 89, poz. 414, z późn. zm.)
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU 2002, nr 75, poz. 690, z późn. zm.)
3. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (DzU 2010, nr 109, poz. 719, z późn. zm.)
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie (DzU 2011, nr 144, poz. 859)
5. NBN S 21-208-2:2014: *Fire protection in buildings – Design of smoke and heat exhaust ventilation systems for enclosed car park*, 2014
6. NEN 6098:2012: *Smoke control systems for powered smoke exhaust ventilators in car parks*, 2012
7. BS 7346-7:2013: *Components for smoke and heat control systems – Part 7: Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks*, 2013
8. *Wytyczne projektowe dla wentylacji strumieniowej garaży zamkniętych*, „Rynek Instalacyjny” 1–2/2022, rynekinstalacyjny.pl

Robert Zapala

dyrektor techniczny NEURON Sp. z o.o. Sp.K.

Inteligentny garaż podziemny – zasilanie i sterowanie wentylacją bytową i pożarową oraz systemami monitoringu

Inteligentne budynki wymagają inteligentnych rozwiązań i systemów także w garażach podziemnych, tym bardziej że od ich skutecznego działania zależy życie ludzi i bezpieczeństwo mienia. Odpowiedni dobór niezbędnych systemów, jakość ich wykonania oraz wzajemne połączenie i wymiana danych są kluczowe dla zapewnienia komfortu i bezpieczeństwa nie tylko w przypadku garażu, ale i całego budynku oraz jego użytkowników.

Bardzo dużo mówi się w ostatnim czasie o inteligentnych budynkach, pasywnym budownictwie i możliwościach automatyki kontrolno-sterującej zarówno w kontekście korzyści materialnych dla inwestora i użytkownika, jak i ochrony środowiska, a także zwiększenia komfortu użytkowania obiektów. Jednym z elementów nowoczesnego budynku użyteczności publicznej czy mieszkaniowego jest jego garaż – ze względu na oszczędność miejsca i terenu lokalizowany na kondygnacjach podziemnych. Umieszczenie garażu wpływa bezpośrednio na dodatkowe wymagania, jakie musi on spełniać – abstrahując od wymogów dotyczących konstrukcji pod kątem wytrzymałościowym czy odporności ogniowej, dotyczą one w szczególności rodzaju, budowy i liczby instalacji, które muszą zostać wykonane, aby podziemny garaż był bezpieczny i wygodny w codziennym użytkowaniu.

Do instalacji takich zaliczamy przede wszystkim systemy: sygnalizacji pożarowej, wentylacji bytowej i pożarowej wraz z systemem detekcji szkodliwych i niebezpiecznych gazów (CO, LPG), monitoringu wizyjnego i termowizyjnego, kontroli dostępu, zajętości miejsc parkingowych oraz oświetlenia. Oczywiście najbardziej pożądana jest sytuacja, gdy wszystkie te instalacje kontrolowane są przez jeden, nadrzędny system monitoringu i kontroli, taki jak BMS (Building Management System) czy SIUP (System Integrujący Urządzenia Przeciwpowarowe), czyli wersja BMS dopuszczona do stosowania w ochronie przeciwpożarowej (posiadająca wymagane przepisami dopuszczenia i certyfikaty w pierwszym systemie oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych).

Robert Zapala

specjalista w zakresie zasilania i sterowania urządzeniami ppoż. oraz systemami wentylacyjnymi i gaśniczymi
dyrektor techniczny
Neuron – Grupa TECH



O systemach BMS czy SIUP pisano już wiele, dlatego tematem niniejszego opracowania są systemy i instalacje niezbędne do prawidłowego i bezpiecznego funkcjonowania garaży podziemnych, a także zwiększające komfort i funkcjonalność ich codziennej eksploatacji.

System sygnalizacji pożarowej (SSP)

Pierwszym niezbędnym systemem bezpieczeństwa, choć nie w każdym garażu (budynku) wymaganym, jest system sygnalizacji pożarowej. Jest on odpowiedzialny za wczesne wykrycie zagrożenia pożarowego w danej strefie, zaalarmowanie odpowiednich służb (budynkowych oraz Państwowej Straży Pożarnej poprzez system transmisji alarmu pożarowego), a następnie zainicjowanie niezbędnych akcji i sterowań dla innych systemów bezpieczeństwa pożarowego, takich jak system sterowania i zasilania systemów kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła, dźwiękowy system ostrzegawczy czy system kontroli dostępu.

W skład systemu sygnalizacji pożarowej wchodzi: centrala, czujki dymu (i ciepła), ręczne ostrzegacze pożarowe, sygnalizatory optyczne i akustyczne oraz karty wejść i wyjść (zwane również elementami liniowymi). Za wykrycie zagrożenia pożarowego na jak najwcześniejszym etapie odpowiedzialne są bezpośrednio czujki dymu i ciepła. Natomiast w budynkach i garażach można dodatkowo wspomóc się systemem kamer termowizyjnych – jest to obecnie często stosowane w obiektach, w których na bezpieczeństwo kładzie się duży nacisk. Takie rozwiązania i aplikacje są coraz tańsze i zyskują na popularności ze względu na swoje zalety i szeroką funkcjonalność. Obejmują nie tylko sprzęt (hardware), ale również odpowiednie oprogramowanie (software), które może być zarówno częścią samej kamery, jak i aplikacji kontrolno-sterującej, co daje już dziś bardzo duże możliwości. Kamery termowizyjne mają zazwyczaj dwa obiektywy (dwie matryce) – termowizyjny o niskiej rozdzielczości i wizyjny o rozdzielczości wysokiej. Oba sygnały są na siebie nakładane i na obrazie z kamery widzimy zróżnicowanie temperatury obiektów, a także ich kształty. Obraz taki analizowany jest przez oprogramowanie samej kamery lub systemu nadzorującego – najczęściej ze sztuczną inteligencją – dzięki czemu sygnały alarmowe mogą



Centrala sterująco-zasilająca urządzeniami przeciwpożarowymi

być generowane automatycznie. Dodatkowo system termowizyjny i wizyjny umożliwia zweryfikowanie zagrożenia przez obsługę obiektu.

W przeciwieństwie do czujek dymu (i ciepła), które potrafią wykryć zagrożenie pożarowe, tylko gdy pojawi się dym lub odpowiednio wysoka temperatura w samej czujce, system kamer termowizyjnych umożliwia wykrycie potencjalnego zagrożenia generowanego przez poruszające się lub pozostawione w garażu podziemnym samochody. W przypadku awarii układów elektrycznych, paliwowych czy hamulcowych samochodu (kiedy ciepło generowane jest jeszcze przed pojawieniem się dymu i płomienia), sensor termowizyjny może zgłosić obsłudze obiektu zagrożenie, dając tym samym szansę jego eliminacji, zanim dojdzie do pożaru. Dodatkowo dzięki termowizji i zaimplementowanemu inteligentnemu oprogramowaniu można w garażu bardzo łatwo wykryć nie tylko obecność człowieka, ale i przybranie przez niego nienaturalnej pozycji (kiedy np. leży na posadzce na skutek zasłabnięcia). W przypadku zagrożenia pożarowego daje też możliwość sprawdzenia, czy w danym pomieszczeniu znajduje się użytkownik, do którego trzeba dotrzeć w pierwszej kolejności. Algorytmy wykrywające obecność ludzi stają się więc najbardziej pożądanymi i najszybciej rozwijającymi aplikacjami w dziedzinie termowizji pod kątem zastosowania w budownictwie.

Dźwiękowy system ostrzegawczy (DSO)

Drugim systemem z kategorii przeciwpożarowej, montowanym zarówno w garażach podziemnych, jak i w całym budynku, jest dźwiękowy system ostrzegawczy (DSO). Dzięki strefowemu sygnałowi pożarowemu aplikacje dają w przypadku tego systemu możliwość uruchomienia automatycznego komunikatu głosowego o potrzebie ewakuacji z zagrożonej strefy, informując dodatkowo o dostępnych drogach ewakuacyjnych. Jeżeli w garażu funkcjonuje także wcześniej wspomniany system wizyjny czy termowizyjny i wiemy, że w zagrożonej przestrzeni może się znajdować człowiek, DSO poprzez panel ręcznego sterowania pozwala wystosować do tej osoby indywidualne komunikaty głosowe i skierować do bezpiecznego wyjścia ewakuacyjnego.

W inteligentnym budynku, którego garaż jest częścią, przemyślane zaprojektowanie i montaż systemów musi obejmować ich wzajemne zestrojenie i współpracę, aby w razie zagrożenia możliwa była odpowiednia reakcja na zmieniającą się dynamicznie sytuację, co ma znaczący wpływ na bezpieczną ewakuację. Ważne jest zatem nie tylko spełnienie przepisów bezpieczeństwa pożarowego, ale również korzystanie z instalacji, systemów i wyposażenia podążającego za rozwojem i aktualnym stanem wiedzy i techniki.

Dynamiczne oświetlenie ewakuacyjne

Przykładem nowej technologii w zakresie bezpieczeństwa pożarowego i ewakuacji może być dynamiczne oświetlenie ewakuacyjne (nieobjęte wymaganiami norm), które dzięki zmiennym symbolom

graficznym w znakach świetlnych pozwala skierować użytkowników garażu nie tylko do najbliższego wyjścia ewakuacyjnego, ale przede wszystkim do wyjścia **bezpiecznego**. Umieszczone w posadzce znaki kierunkowe o dynamicznej iluminacji zapewniają dodatkowo lepszą ich widzialność w przypadku dużego zadymiania i konieczności ewakuowania się użytkowników „na czworakach”, a taka sytuacja może się zdarzyć przy niskim pułapie dymu lub po załączeniu wentylatorów strumieniowych, które powodują zmniejszenie temperatury podstropowej gazów pożarowych, ale równocześnie zadymiają całą strefę. Należy pamiętać o zależności między dynamicznym oświetleniem ewakuacyjnym i systemem kontroli dostępu, który pozwoli udostępnić bezpieczne wyjścia (zwolnić rygle), ale równocześnie powinien zablokować wyjścia, które z jakiegoś powodu prowadzą w niebezpieczne rejony. Ważne jest zatem, aby wszystkie powyższe systemy były połączone systemem integrującym, nad którym czuwa odpowiednio przeszkolony operator, który dzięki systemowi wizyjnemu czy termowizyjnemu, a także DSO, kontroli dostępu i dynamicznemu oświetleniu ewakuacyjnemu będzie w stanie odpowiednio zarządzać ewakuacją.

Systemy wentylacyjne

Inteligentne i nowoczesne rozwiązania ochrony przeciwpożarowej w garażach podziemnych w znacznym stopniu zwiększają bezpieczeństwo i ułatwiają pracę służbom utrzymania budynku w przypadku codziennej eksploatacji, wykrywania potencjalnego zagrożenia czy niebezpieczeństwa oraz ewakuacji, są także pomocne dla służb ratowniczo-gaśniczych. Bardzo duże znaczenie ma system wentylacji, a przede wszystkim jego zasilanie i sterowanie. Taki zaprogramowany system ma w sytuacji zagrożenia odpowiednie algorytmy pracy, zależne od strefy (i kondygnacji), w której wykryto zagrożenie. Większość garaży jest dziś podzielona na strefy i w zależności od miejsca, w którym wykryte zostanie zagrożenie pożarowe, oddzielane są obszary bezpieczne od przestrzeni objętej pożarem (za pomocą klap przeciwpożarowych, bram przeciwpożarowych czy ruchomych kurtyn dymowych). Następnie, w odpowiednim kierunku, w zaprogramowanej sekwencji i z zadaną wydajnością uruchamiane są wentylatory oddymiające, kompensacyjne i przetłaczające (strumieniowe) i utrzymywane w tym stanie, dokąd zagrożenie występuje. Pożar natomiast jest zjawiskiem bardzo dynamicznym, a jego rozwój i rozprzestrzenianie się są często trudne do przewidzenia. Dlatego coraz częściej mówi się o możliwości ręcznego sterowania systemem wentylacji, co pozwala mieć wpływ na jego efektywność, a tym samym na poziom bezpieczeństwa ekip gaśniczych i ochronę mienia.

Centrale sterująco-zasilające

Obecnie systemy sterowania urządzeniami przeciwpożarowymi w garażach podziemnych oparte są na mikroprocesorowych, programowalnych kontrolerach (zwanym modułami

kontrolno-sterującymi lub centralami sterującymi), a w kontekście zasilania na układach stycznikowych oraz przetwornicach częstotliwości. Połączenie tych podzespołów daje szerokie możliwości sterowania i zasilania wraz z wieloma algorytmami pracy (w zależności od strefy zagrożenia pożarowego), a połączenie z systemem integrującym pozwala na ręczne zmiany nastaw nawet w czasie pracy systemu w trybie pożarowym. Dodatkowo centrale sterująco-zasilające wyposaża się często w dotykowe panele HMI, umieszczone na obudowie i umożliwiające ręczne sterowanie urządzeniami wykonawczymi (wentylatorami, klapami wentylacji pożarowej, bramami itp.). Aby jednak odpowiedzieć sobie na pytanie, czy możemy lub czy powinniśmy ręcznie sterować wentylacją pożarową w garażu podziemnym w trakcie akcji ratowniczo-gaśniczej, musimy dokonać ogólnej analizy charakterystyki budowy i pracy urządzeń przeciwpożarowych w garażu podziemnym.

Wentylatory

Pierwszym elementem instalacji w garażu są oczywiście wentylatory oddymiające i kompensacyjne. Są to urządzenia o średnicy najczęściej od 0,8 do 1,5 m i mocy od 22 do 55 kW, ich bezwładność jest zatem bardzo duża. W przypadku zasilania przez przetwornice częstotliwości wentylatory takie rozpędzają się w ciągu jednej–dwóch minut, a zatrzymują po ok. trzech–czterech minutach. Natomiast w przypadku rozruchu stycznikowego typu gwiazda/trójkąt rozpędzanie się urządzeń trwa ok. dwadzieścia sekund, a zatrzymanie nawet pięć minut (nie ma możliwości hamowania wentylatora przeciwpędem z przetwornicy częstotliwości). Z tego powodu w przypadku sterowania ręcznego należy pamiętać, że zatrzymanie pracującego układu i załączenie go w drugim kierunku spowoduje kilkuminutową przerwę w funkcjonowaniu systemu, a tym samym w oddymianiu i obniżaniu temperatury nie tylko w strefie objętej pożarem, ale i w całym garażu.

W przypadku wentylatorów strumieniowych, urządzeń o średnicy do 0,4 m i mocy do 1,5 kW, problem ten nie występuje, ponieważ ich rozpędzanie i zatrzymywanie trwa od kilku do kilkunastu sekund. Zmiana biegu (są to często wentylatory dwubiegowe) czy kierunku w porównaniu z wentylatorami głównymi (oddymiającymi i kompensacyjnymi) nie trwa długo, więc możliwe jest ręczne sterowanie ich pracą.

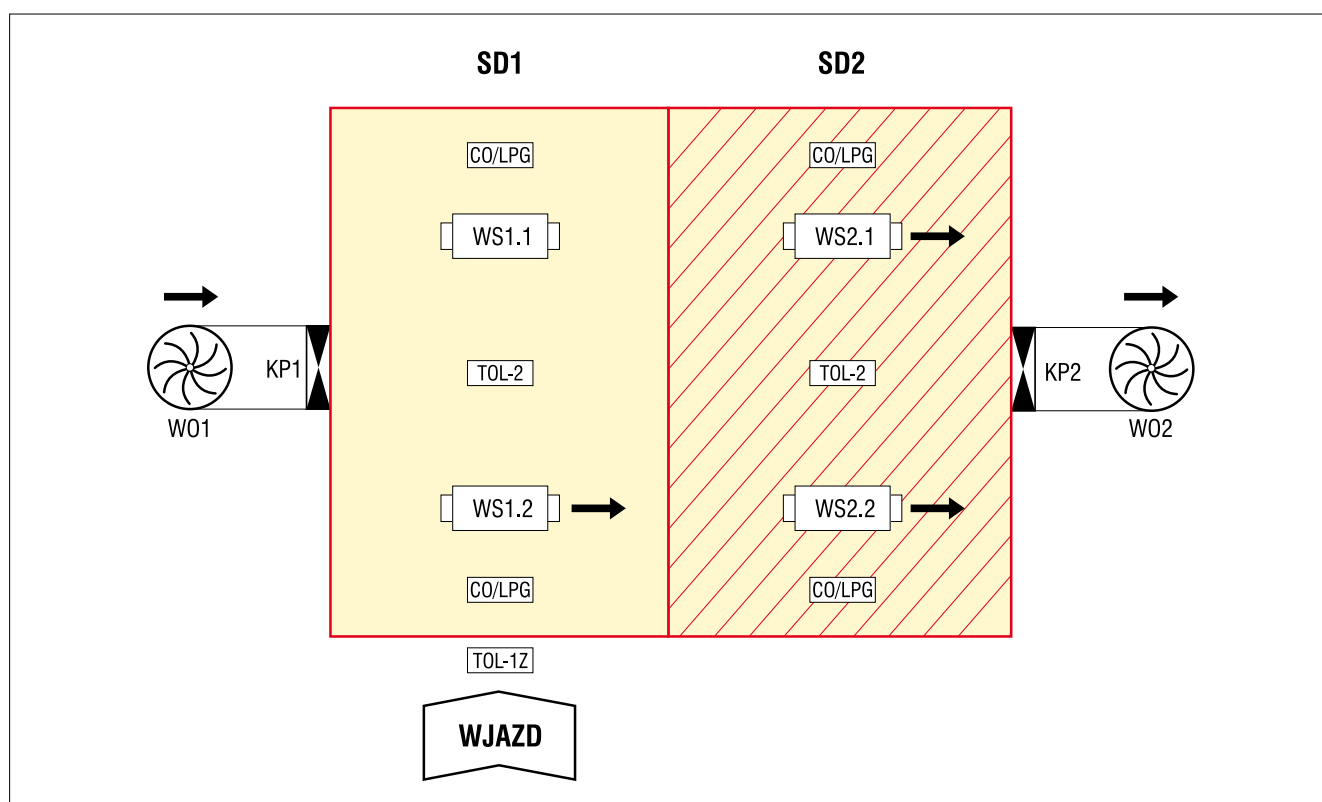
Klapy wentylacji pożarowej

Kolejnym bardzo istotnym elementem systemów wentylacji pożarowej i zabezpieczenia garażu podziemnego przed skutkami pożaru są klapy wentylacji pożarowej. Urządzenia te zbudowane są z blachy stalowej, ruchomej, izolacyjnej płyty ceramicznej oraz układu napędowego z siłownikiem. Ręczne sterowanie klapami polega na umożliwieniu operatorowi ich otwarcia lub zamknięcia. Należy jednak pamiętać, że jeśli klapy były już narażone na oddziaływanie wysokiej temperatury, to te, które zostały otwarte, najprawdopodobniej nie będą w stanie się zamknąć, a klapy, który były

zamknięte, nie będą mogły się otworzyć. Ma to związek z możliwością uszkodzenia napędu pod wpływem wysokiej temperatury, zwiększenia objętości uszczelek pęczniejących, szczelnie wypełniających nieszczelności kłapy i zapewniających izolacyjność ogniową, dymową i temperaturową, a także odkształcenia samej konstrukcji lub układu przeniesienia napędu. Dlatego ręczne przestawianie kłap wentylacji pożarowej w trakcie pożaru nie wchodzi w grę – są to urządzenia, które powinny przyjąć położenie pożarowe w pierwszej fazie zagrożenia, gdy temperatura nie będzie wyższa niż 100–120°C.

Panele operatorskie

Biorąc pod uwagę powyższe informacje, ręczne sterowanie – o ile zostało założone i jest wymagane – powinno się ograniczać do ewentualnej zmiany prędkości wentylatorów oddymiających i kompensacyjnych sterowanych z przetwornic częstotliwości czy ich zatrzymania lub wstrzymania pracy wentylatorów strumieniowych. Decyzję o takim kroku może podjąć jedynie osoba kierująca akcją ratowniczo-gaśniczą, a jego realizacja powinna być umożliwiona nie w pomieszczeniu obsługi, do którego i tak w ferworze walki z pożarem nie będzie można wejść, ale w pobliżu wejścia czy bramy do garażu. Taką możliwość dają panele dotykowe HMI połączone z centralą sterującą przez protokół komunikacji (oczywiście trasą E90), zainstalowane w pobliżu miejsc, przez które ekipy ratowniczo-gaśnicze będą wchodziły do objętego pożarem garażu. W Europejskim Komitecie



Rys. Przykładowa wizualizacja panelu operatorskiego

Normalizacyjnym (CEN) trwają obecnie prace nad wytycznymi dotyczącymi paneli operatorskich systemów garaży podziemnych. Jednak dokąd takie wytyczne nie powstaną, działanie urządzeń przeciwpożarowych powinno się opierać na wiedzy inżynierskiej i doświadczeniu wynikającym ze znajomości zagadnień związanych z systemami sterowania i zasilania ppoż. dla obiektów tego typu. Przede wszystkim panele operatorskie powinny znajdować się przy każdym wejściu (dla ekip ratowniczo-gaśniczych) do garażu, dodatkowo zabezpieczone przed ingerencją osób niepowołanych (np. w obudowie zamykanej na klucz, dostępny po zbitiu szybki, jak w przypadku hydrantów). Na takim panelu operatorskim ekipy ratowniczo-gaśnicze powinny znaleźć informację, w której strefie występuje zagrożenie pożarowe, które wentylatory działają i w jakim kierunku pracuje system, a także mieć możliwość ewentualnej zmiany wydajności systemu (zwiększenie lub zmniejszenie) oraz wyłączenia poszczególnych wentylatorów – jeżeli kierujący akcją ratowniczo-gaśniczą uzna, że jest to konieczne. Rozwiązanie z panelami operatorskimi jest aplikacją bardzo pożądaną, zwiększającą bezpieczeństwo budynku, garażu i ekip straży pożarnej, ale jeszcze niestosowaną w praktyce. Przykładową wizualizację panelu operatorskiego przedstawiono na rys.

Systemy detekcji gazów

Z wentylacją garażu podziemnego nierozdzielnie wiąże się również system detekcji niebezpiecznych i szkodliwych gazów, takich jak tlenek węgla (CO) oraz gaz służący jako paliwo samochodowe (LPG). Ze względu na fakt, że tlenek węgla ma tylko nieco mniejszą gęstość od powietrza, detektory CO montuje się na wysokości ok. 1,5 m, natomiast detektory LPG na wysokości ok. 0,2 m (gaz ten jest cięższy od powietrza). W przypadku detekcji gazów nie możemy mówić o zasięgu, ponieważ każdy detektor mierzy stężenie punktowo. Rozmieszczenie tych urządzeń zależy od zjawiska dyfuzji gazu w powietrzu – na ogół przyjmuje się jeden detektor na ok. pięć miejsc postojowych.

Zaletą stosowania systemu detekcji, zarówno CO, jak i LPG, jest zmniejszenie zagrożenia dla osób przebywających w garażu (CO jest gazem groźnym dla życia i zdrowia człowieka), a także niwelacja zagrożenia wybuchem (LPG jest gazem palnym, wybuchowym). Działanie systemu detekcji w powiązaniu z wentylacją polega na wykrywaniu progów stężenia (dwóch lub trzech) i załączaniu wentylacji w strefach zagrożenia, z prędkością zależną od wykrytego progu (przy wyższym progu wentylacja uruchamia się na wyższym biegu). Dodatkowo przy drugim lub trzecim progu stężenia zapalają się tablice ostrzegawcze, często z sygnalizatorami akustycznymi informującymi o zakazie wjazdu do garażu, konieczności jego opuszczenia czy zakazie wejścia do garażu. Najczęściej system wentylacji na określonym biegu załączany jest w całym garażu, natomiast w przypadku bardziej wyrafinowanych, inteligentnych rozwiązań możliwe jest przypisanie detektorów do stref wentylacji (im mniejsze, tym lepiej) i załączenie wentylatorów strumieniowych tylko w strefie zagrożenia (wentylatory główne muszą pracować tak samo). Zmniejsza to poziom hałasu w garażu, a także

zużycie energii elektrycznej, a dodatkowo informacja może zostać wysłana do systemu SIUP czy BMS i obsługa budynku dowiaduje się o zagrożeniu w danej strefie i może podjąć interwencję, jeśli z jakiegoś powodu utrzymuje się ono zbyt długo.

Strefy i drzwi pożarowe

Oprócz miejsc postojowych w garażach podziemnych w budynkach występują również pomieszczenia maszynowni, komórki lokatorskie, pomieszczenia magazynowe, przedsionki pożarowe itp. Pomieszczenia te są wydzielone pożarowo, a dostęp do nich zabezpieczony jest drzwiami o wymaganej odporności ogniowej (niektóre zamykane są na klucz lub mają kontrolę dostępu, inne umożliwiają swobodne przemieszczanie się – np. drzwi na drogach ewakuacyjnych). Niestety drzwi te często pozostają niezamknięte (ze względu na ingerencję osób trzecich, często bywają np. podpierane gaśnicą), a tym samym nie spełniają swojej podstawowej funkcji, czyli wydzielenia strefy pożarowej. Dlatego w inteligentnych budynkach i inteligentnych garażach zaleca się montowanie zarówno w drzwiach o odporności ogniowej, jak i drzwiach z systemami kontroli dostępu czujników ich otwarcia. Takie czujniki są bezprzewodowe, komunikują się z wykorzystaniem protokołu LoRa (o dużym zasięgu) i zasilane są bateryjnie, więc ich instalacja nie wymaga prowadzenia dodatkowych tras komunikacji, a bateria starcza na pięć–dziesięć lat. Informacja z czujników przekazywana jest do systemu BMS lub SIUP, a tym samym fakt długotrwałego nienaturalnego otwarcia drzwi i w konsekwencji brak wydzielenia strefy pożarowej jest komunikowany obsłudze, która może podjąć działania mające na celu usunięcie zagrożenia.

Sygnalizacja zajętości miejsc postojowych

Garaż to przede wszystkim miejsce czasowego postoju pojazdów, a więc jego funkcjonalność pod tym kątem powinna być dla projektujących i wykonujących priorytetem. Pojęcie „inteligentnego garażu” nierozdzielnie wiąże się z systemem zajętości miejsc parkingowych. Każdy kierowca, wjeżdżając na podziemny parking, niejednokrotnie borykał się z długotrwałym poszukiwaniem wolnego miejsca – z pomocą przychodzą tu nowoczesne rozwiązania.

W skład systemu sygnalizacji zajętości miejsc postojowych wchodzi: sterownik zarządzający z możliwością komunikacji z systemem nadrzędnym (BMS lub SIUP), parkingowy czujnik zajętości miejsca, sygnalizatory optyczne (najczęściej czerwone informują o zajętych miejscach postojowych, a zielone o wolnych) oraz tablice informacyjne i kierunkowe, które informują, czy są dostępne wolne miejsca i kierują kierowców w te rejony parkingu, w których miejsca są dostępne. Sterownik, montowany w szafach sterujących w maszynowniach garażu, połączony jest za pomocą protokołu komunikacyjnego z systemem zarządzającym budynkiem, aby informacja o zajętości garażu była przekazywana również do obsługi budynku. Przy każdym miejscu parkingowym, na suficie

lub posadzce, montowany jest czujnik, najczęściej ultradźwiękowy, który potrafi wykryć, czy w jego zasięgu pozostawiony został pojazd, taka informacja trafia następnie do sterownika zarządzającego, który zapala lampkę sygnalizacyjną (czerwoną lub zieloną) umiejscowioną w alejce dojazdowej na konstrukcji podsufitowej. Dodatkowo system monitoruje liczbę wolnych miejsc i wyświetla informację o nich na tablicy sygnalizacyjnej przy wjeździe do garażu. W samym garażu, na alejkach dojazdowych, przejazdach i skrzyżowaniach, montowane są dodatkowe tablice, które za pomocą strzałek kierują poruszający się pojazd do najbliższego wolnego miejsca. Dzięki takiemu systemowi w alejkach dojazdowych garaży podziemnych panuje mniejszy tłok, tym samym generowana jest mniejsza ilość spalin, co umożliwia obniżenie wydajności wentylacji – czyli zmniejszenie kosztów eksploatacji, nie mówiąc już o zwiększeniu komfortu użytkowników i oszczędności ich czasu. Ma on również duże znaczenie w aspekcie bezpieczeństwa, gdyż wiedza na temat liczby pojazdów znajdujących się w danej strefie pozwala w razie zagrożenia uzyskać lepszy obraz aktualnej sytuacji. Oczywiście montaż takiego systemu wiąże się dla inwestora z dodatkowymi kosztami, jednak korzyści związane ze zwiększeniem poziomu bezpieczeństwa i komfortu użytkownika (na co zwraca się dziś szczególną uwagę) są spore.

Podsumowanie

Na przykładzie przedstawionych rozwiązań i systemów widać wyraźnie, że nawet tak prozaiczna pod względem architektonicznym i użytkowym przestrzeń w budynku jak garaż podziemny, w kontekście zainstalowanych systemów zasilania, sterowania i monitoringu staje się bardzo istotną częścią inteligentnego budynku. W praktyce jest to miejsce, w którym dla większości z nas zaczyna się i kończy wizyta w danym budynku, dlatego musi to być przestrzeń komfortowa w użytkowaniu, a przede wszystkim bezpieczna – nie tylko dla użytkownika garażu, ale i całego obiektu. Zagrożenie pożarowe, wybuch oparów gazu, kolizja i tym podobne niebezpieczne sytuacje wpływają bezpośrednio na funkcjonowanie budynku, więc odpowiedni dobór niezbędnych systemów, jakość ich wykonania oraz wzajemne połączenie i wymiana danych to elementy kluczowe dla obiektu komfortowego i bezpiecznego, a inteligentne rozwiązania i nowoczesna technologia ułatwią jego eksploatację.

Nowe aspekty detekcji gazów w garażach

W nowo budowanych obiektach powstają wielopoziomowe garaże z windami, na rynku przybywa także pojazdów z alternatywnymi technologiami zasilania, w tym na metan i wodór. Stawia to nowe wyzwania w projektowaniu i eksploatacji systemów wentylacji garaży oraz detekcji gazów toksycznych i palnych. Niezmienna jest jednak zasada, że na uwadze należy mieć przede wszystkim zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa oraz gwarancję niezawodności działania wybranych rozwiązań.



Michał Domin
Przedsiębiorstwo
Techniczne SIGNAL

W zgodzie z przepisami i normami

Detekcja gazów toksycznych i palnych w garażach regulowana jest przez rozporządzenie w sprawie warunków technicznych [1]. Stosowanie systemów detekcji gazów w garażach reguluje także rozporządzenie w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów [2], które stanowi w rozdziale 1:

w § 2 pkt 1.9, że ilekroć w rozporządzeniu jest mowa o: *Urządzeniach przeciwpożarowych – należy przez to rozumieć (...) urządzenia zabezpieczające przed wybuchem i ograniczające jego skutki;*

w § 3 pkt 1, że: *Urządzenia przeciwpożarowe w obiekcie powinny być wykonane zgodnie z projektem uzgodnionym przez rzeczoznawcę do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych, a warunkiem dopuszczenia do ich użytkowania jest przeprowadzenie odpowiednich dla danego urządzenia prób i badań, potwierdzających prawidłowość ich działania.*

Instalacja detekcji gazów w garażach należy do systemów przeciwpożarowych i tym samym wymaga wykonania projektu przez uprawnionego projektanta i uzgodnienia przez rzeczoznawcę ochrony przeciwpożarowej.

Powyższe regulacje nie określają jednak, jak powinien wyglądać system detekcji w garażu. Pomocne mogą być informacje zawarte w normie PN-EN 50545-1 *Elektryczne przyrządy do wykrywania i pomiaru gazów toksycznych i palnych w garażach oraz w tunelach. Część 1: Podstawowe wymagania funkcjonalne i metody badań dotyczące wykrywania i pomiaru tlenku węgla oraz tlenków azotu* [3]. Zawiera ona m.in. wymagania, jakie powinny spełniać elementy systemów detekcji.



Fot. 1. Przykładowa centrala wskazująca jednocześnie dwa pomiary: bieżący (C) i średni (A)

Źródło: archiwum autora

Norma ta nie została dotąd przetłumaczona na język polski i nie jest przywołana w polskich przepisach. Tym samym jej wymagania nie są obowiązkowe do stosowania. Norma ta określa dla detektorów CO i NO₂ m.in. trzy progi alarmowe: 30/60/150 ppm (średnia ważona) dla tlenku węgla (CO) oraz 3/6/15 ppm (średnia ważona) dla ditlenku azotu (NO₂), zakres pomiarowy: 0–300 ppm dla CO i 0–30 ppm dla NO₂. Ponadto zawiera ona opis układów centrala i detektorzy z jednoznaczą identyfikacją (adresem) oraz

rozwiązania z czterema wyjściami, tj. trzema alarmowymi i jednym dla sygnalizacji awarii. Zaleca stopień ochrony dla detektorów minimum IP54 i kalibrację nie rzadziej niż co 12 miesięcy.

Na rynku dostępne są różne rozwiązania urządzeń do detekcji CO i NO₂, w tym takie, które spełniają niektóre podstawowe wymagania wspomnianej normy. Opieranie się na rozwiązaniach normatywnych nie jest obowiązkowe, może być jednak dla projektanta instalacji wykrywania gazów i sterowania wentylacją bezpieczną metodą. Spełnienie wymagań normy PN-EN 50545-1 może też być istotnym zabezpieczeniem dla projektanta i inwestora w razie pojawienia się propozycji zmian wykonawczych, które pod pretekstem zmniejszenia kosztów mogłyby obniżyć bezpieczeństwo i funkcjonalność systemu.

Garaże z windami parkingowymi

Coraz wyższe koszty powierzchni w budynkach, a także budowanie wielokondygnacyjnych garaży skłaniają do szukania alternatywnych rozwiązań rozmieszczenia pojazdów. Jedną z nich są windy parkingowe (ang. parklift) pozwalające na umieszczenie pojazdów na dwóch lub trzech poziomach. Tego typu rozwiązanie wymaga jednak zarówno pomieszczenia o dużej wysokości, jak i wykonania odpowiednich zagłębień dla urządzeń dźwigowych. Jeżeli garaż ma zostać dopuszczony do parkowania pojazdów zasilanych gazem płynnym (LPG), konieczne jest zastosowanie odpowiedniej wentylacji oraz umieszczenie detektorów LPG we wspomnianych zagłębieniach.

Pojawia się tu jednak poważny problem eksploatacyjny, ponieważ schodzenie osób w zagłębienie windy lub opuszczanie się w nie z wykorzystaniem wind jest niedozwolone. Tym samym okresowy serwis oraz kalibracja detektorów LPG nie jest możliwa bez kosztownej wizyty specjalisty serwisującego dźwig, który mógłby umożliwić dostęp do detektorów umieszczonych na najniższym poziomie powierzchni garażu. Rozwiązaniem może być zastosowanie detektora jedno- (LPG) lub dwugazowego (LPG + CO) z wyniesionym sensorem LPG. Baza detektora umieszczana jest



Fot. 3. Przykładowy system MSR-Traffic połączony z systemem detekcji gazów MSR-Electronic
Źródło: archiwum autora

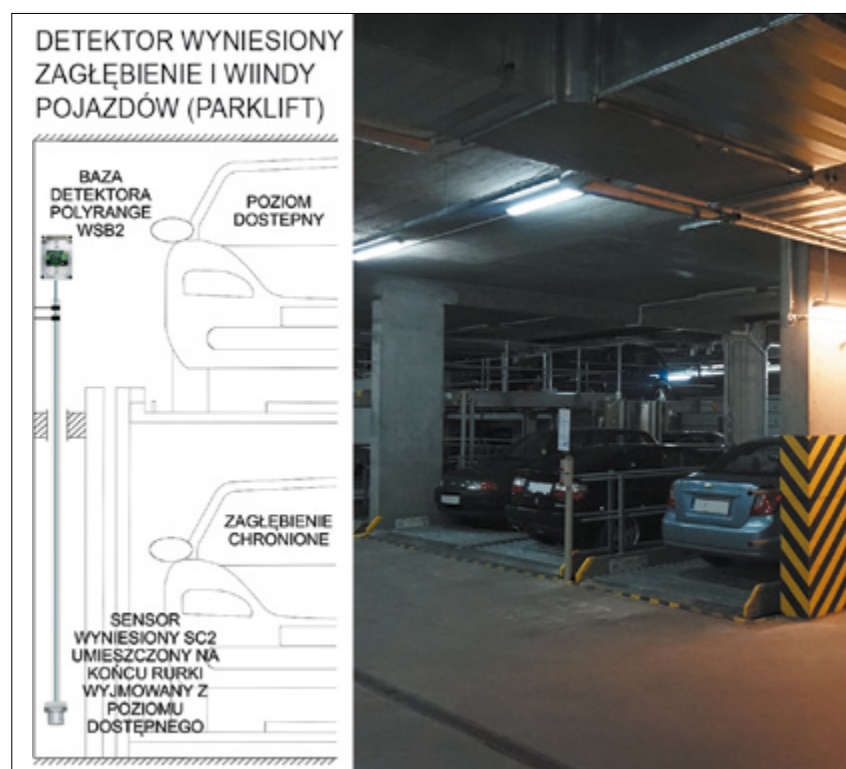
wówczas w dostępnym miejscu na wysokości 1–1,5 m od najniższego podłoża, natomiast sam niewielki i lekki sensor LPG (lub LPG + CO) umieszczany jest w zagłębieniu na wysięgniku, co umożliwia jego wyjęcie na czas przeprowadzania prac serwisowych (fot. 2).

Alternatywne zasilanie pojazdów

Benzyna, olej napędowy i LPG dominują jako paliwa zasilające silniki spalinowe w pojazdach osobowych. Na rynek wchodzi jednak także inne rozwiązania napędu samochodów, jak np. zasilanie elektryczne, CNG (sprężony gaz ziemny), LNG (skroplony gaz ziemny) czy H₂ (wodór). Spośród nich tylko samochody zasilane elektrycznie nie wymagają stosowania systemów detekcji gazów palnych w garażach, co nie oznacza, że nie jest w ich wypadku konieczne stosowanie innych systemów ppoż. Pozostałe technologie napędu samochodów wykorzystują paliwa, które są substancjami palnymi, i wyciek tych paliw gazowych może stanowić zagrożenie dla ludzi i obiektów, gdyż tworzą one atmosferę wybuchową.

Przepisy techniczne nie nadążają za zmianami technologicznymi, tym samym nie znajdziemy w nich regulacji wymagających zastosowania detektorów dla takich gazów, jak np. wodór i metan. Nie oznacza to jednak, że nowe paliwa są bezpieczne. Projektując garaże należy wziąć pod uwagę, czy w obiekcie ma zostać dopuszczone parkowanie pojazdów osobowych na CNG, LNG lub H₂. Tego typu samochodów jest jednak jak na razie mało, dlatego warto przeanalizować celowość ponoszenia kosztów wyposażenia garaży w odpowiednią dla nich detekcję i wentylację. Decyzja o takiej inwestycji należy do zamawiającego.

Z zupełnie inną sytuacją mamy do czynienia w przypadku pojazdów transportowych, komunikacji miejskiej czy specjalnych. W tych sektorach takie paliwa jak CNG czy LNG, a nawet H₂ są od dawna stosowane i wiele obiektów garażowych, warsztatowych czy diagnostycznych oraz stacji tankowania przeznaczonych dla tego taboru wyposażonych jest w detektory metanu czy wodoru.



Fot. 2. Detektor z wyniesionym sensorem LPG dla garażu z windami
Źródło: archiwum autora

Jak zredukować koszty i zwiększyć bezpieczeństwo?

Głównym zabezpieczeniem każdego garażu zamkniętego jest wentylacja mechaniczna. To ona, uruchamiana przez sygnał alarmowy z detektorów, usuwa spaliny lub rozrzedza stężenie wyciekającego paliwa gazowego. W obiektach o dużym natężeniu ruchu (szczególnie w okresach świątecznych) powstaje jednak problem stałego napływu nowych pojazdów chcących zaparkować i krążących w poszukiwaniu wolnego miejsca postojowego. W sytuacji krytycznej, czyli nadmiernej ilości spalin, powinno nastąpić wyłączenie danej sekcji parkingu (czy poziomu) do czasu jej przewietrzenia. Zastosowanie systemu informacji o wolnych miejscach parkingowych redukuje czas potrzebny na znalezienie miejsca parkingowego o ponad 40%. Umożliwia to dużą redukcję spalin, a także energii zużywanej na dodatkowe wentylowanie. System wskazujący wolne miejsca parkingowe połączony z systemem detekcji gazów może np. uczynić daną sekcję parkingu niedostępną i tym samym uniemożliwić napływ nowych pojazdów. Zwiększa jednocześnie stopień wypełnienia parkingu i sprawia, że klienci chętniej korzystają z obiektu, w którym łatwiej zaparkować.

Oszczędność energii

Aktywnie poszukuje się obecnie możliwości redukcji energii zużywanej przez obiekty, w tym energii elektrycznej, zwłaszcza zużywanej w procesach ciągłych lub długookresowych. Jej efektywniejsze zużycie rozważane jest także w kontekście systemów wentylacyjnych. Odpowiednie sterowanie wentylacją pozwala uzyskać duże oszczędności energii. Na przykład systemy czteroprogowe, oparte na progach średniej ważonej, pozwalają znacznie efektywniej regulować pracę wentylacji, zapewniając redukcję energii w porównaniu do starszych systemów dwuprogowych, wymuszających uruchamianie pełnej mocy wentylatorów nawet przy niewielkich stężeniach monitorowanych gazów.

Oszczędności energetyczne można znaleźć także w systemach detekcji. Przykładowo centrala cyfrowa zużywa 95% mniej energii niż analogowa, sensor elektrochemiczny CO – 98% mniej energii niż półprzewodnikowy, a katalityczny LPG – 63% mniej niż półprzewodnikowy (oczywiście w zależności od wybranych modeli). W przypadku sensorów nie są to znaczne ilości energii, ale system taki działa bez przerwy. Przy wyborze rozwiązań systemów detekcji należy mieć na uwadze przede wszystkim zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa i gwarancji niezawodności ich działania.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania (DzU 2002, nr 75, poz. 690, ze zm.)
2. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (DzU 2010, nr 109, poz. 719)
3. PN-EN 50545-1:2012 *Elektryczne przyrządy do wykrywania i pomiaru gazów toksycznych i palnych w garażach oraz w tunelach. Cz. 1. Podstawowe wymagania funkcjonalne i metody badań dotyczące wykrywania i pomiaru tlenku węgla oraz tlenków azotu*

mgr inż. Mikołaj Olszewski

absolwent Instytutu Inżynierii Środowiska

Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Koszty budowy wentylacji kanałowej oraz strumieniowej w garażu budynku wielorodzinnego

Wybór systemu wentylacji garażu podziemnego ma zasadnicze znaczenie dla bezpieczeństwa, komfortu użytkowników oraz efektywności energetycznej budynku wielorodzinnego. Ważne są nie tylko koszty i techniczne aspekty montażu, ale również środowiskowe konsekwencje wyboru związane z energią wbudowaną w budynek i gospodarką cyrkularną. Każdy z systemów ma swoje atuty i ograniczenia. Wiele zależy od tego, czy na początkowym etapie projektowania budynku i znajdującego się w nim garażu podjęto decyzję, jaka wentylacja zostanie w nim zastosowana, m.in. po to, aby przewidzieć miejsce na kanały, czerpnie, wyrzutnie oraz aranżację kubatury i przewidywanych w niej instalacji.

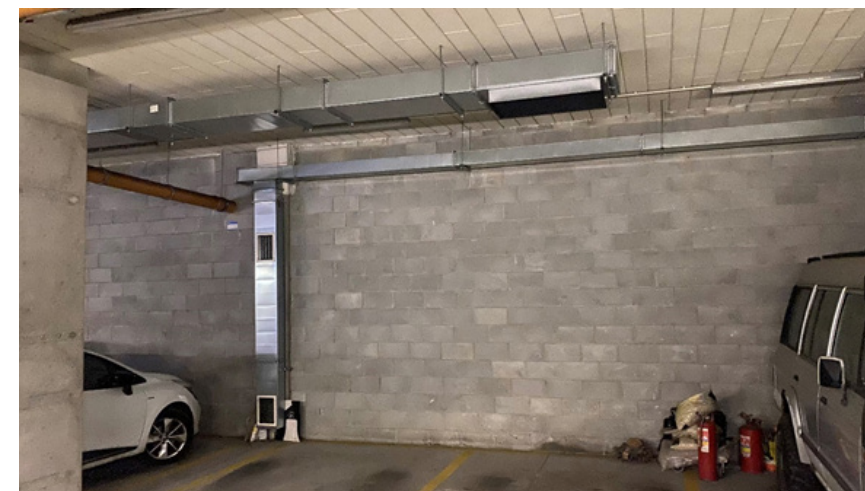
W artykule zawarto analizy dwóch technologii wentylacji garażu podziemnego dla zespołu budynków wielorodzinnych w Warszawie z dwupoziomowym garażem zlokalizowanym na kondygnacjach podziemnych –1 i –2, o łącznej powierzchni 12 060 m², podzielonym na sześć stref pożarowych i osiem stref dymowych. Na poziomie –2 wydzielono dwie strefy pożarowe: SP-5 i SP-6. Strefa SP-5 została dodatkowo podzielona na dwie strefy dymowe – SD-7 i SD-8, natomiast SP-6 stanowi jedną strefę dymową SD-9. Na poziomie –1 garaż podzielono na cztery strefy pożarowe: SP-1, SP-2, SP-3 i SP-4. Strefa SP-1 ma bezpośredni wjazd z zewnątrz, a jej powierzchnia nie przekracza 1500 m², dzięki czemu nie wymaga systemu oddymiania. Strefa SP-2 została podzielona na dwie strefy dymowe: SD-2 i SD-3. Podobnie SP-3 składa się z SD-4 i SD-5, natomiast SP-4 obejmuje jedną strefę dymową SD-6.

Przy porównywaniu skupiono się na praktycznych aspektach obu systemów, ich efektywności i korzyściach oraz ograniczeniach, a także na kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Kluczowym elementem analizy ekonomicznej przy wyborze technologii wentylacji są całkowite koszty systemu wentylacyjnego ponoszone przez cały okres jego użytkowania, wliczając w to koszty początkowe, operacyjne oraz ewentualne modernizacje. System wentylacji może stanowić znaczący składnik budżetu inwestycyjnego i eksploatacyjnego budynków wielorodzinnych i komercyjnych.

Instalacje wentylacji kanałowej

Systemy wentylacji i oddymiania kanałowego są projektowane tak, aby umożliwiały również ewakuację ludzi i działania służb ratowniczych oraz minimalizowały szkody materialne poprzez kontrolowane usuwanie dymu i gorących gazów z przestrzeni budynku w razie pożaru. Systemy oddymiania kanałowego składają się z kilku podstawowych komponentów, jakimi są: kanały wentylacyjne odporne na wysokie temperatury i korozję, umożliwiające bezpieczny transport dymu na zewnątrz budynku, wentylatory oddymiające usuwające dym i gorące gazy, klapy dymowe otwierane automatycznie w celu umożliwienia przepływu do kanałów wentylacyjnych, czujniki dymu i ciepła automatycznie uruchamiające system oddymiania w przypadku wykrycia pożaru, a także szafa sterownicza i panel kontrolny do zarządzania pracą elementów systemu oddymiania. Technologia ta umożliwia dokładne utrzymywanie parametrów jakości powietrza wewnętrznego i wymaga odpowiednich przestrzeni do prowadzenia przewodów oraz poniesienia większych kosztów inwestycyjnych – m.in. z tych powodów wybierana jest częściej w budynkach niemieszkalnych.

Wybór materiałów i wymiarów kanałów wentylacyjnych jest uzależniony od wielu czynników. Przede wszystkim należy uwzględnić miejsce montażu, dostępność miejsca oraz wymagania dotyczące izolacji akustycznej i pożarowej. Kanały wykonuje się najczęściej ze stali ocynkowanej, ale mogą być też wykonane z płyt silikatowo-cementowych. Ta technologia wymaga szczegółowej analizy i oceny przestrzeni przeznaczonej dla montażu instalacji oraz zaplanowania trasy przewodów, tak aby uzyskać efektywny



Fot. 1. Nawiew i wywiew wentylacji kanałowej

Źródło: arch. autora



Fot. 2. Kanał oddymiający w izolacji systemu CONLIT o klasie odporności EIS 120

Źródło: arch. autora

przepływ oraz uniknąć kolizji z innymi instalacjami. Montaż musi gwarantować szczelność i stabilność połączeń oraz skuteczną izolację termiczną z materiałów wysokiej jakości, zabezpieczoną przed zjawiskiem kondensacji wilgoci. Montaż kanałów to proces wymagający precyzji, doświadczenia oraz zastosowania odpowiednich materiałów i technik.

W procesie doboru wentylatorów oprócz ich parametrów pracy ważny jest wybór odpowiedniego miejsca na ich umieszczenie, tak aby umożliwić optymalne prowadzenie kanałów wentylacyjnych oraz łatwy dostęp w celu konserwacji i serwisu urządzeń. Należy też rozważyć potrzebę zastosowania rozwiązań tłumiących hałas od wentylatorów.

Ważnym etapem jest też uruchomienie i testowanie prawidłowości działania całego systemu oraz jego zgodności z założeniami projektowymi. Odbiór instalacji wentylacji kanałowej jest końcowym etapem procesu instalacyjnego, który potwierdza, że system został wykonany zgodnie z projektem, spełnia wszelkie wymagania techniczne i jest gotowy do eksploatacji. Po zakończeniu wszystkich kontroli i testów sporządza się szczegółowy protokół odbioru instalacji wentylacyjnej. Protokół jest formalnym potwierdzeniem, że instalacja została wykonana prawidłowo i jest gotowa do użytkowania. Ostatnim etapem odbioru jest oficjalne przekazanie instalacji wentylacyjnej do eksploatacji.

Koszty budowy instalacji kanałowej i jej eksploatacji

Wydatki obejmują zarówno koszty początkowe, związane projektem, zakupem i montażem sprzętu, jak i koszty operacyjne obejmujące konserwację, naprawy oraz zużycie energii. Koszty analiz potrzeb budynku, opracowania projektu technicznego oraz wyboru odpowiednich komponentów i konsultacje mogą stanowić znaczną część wydatków, są jednak absolutnie niezbędne do stworzenia efektywnego systemu. Do tego dochodzą koszty zakupu m.in. kanałów, kształtek, izolacji, wsporników, mocowań, wentylatorów, tłumików oraz systemów sterowania.

Kolejnym kosztem są wydatki na montaż. Precyzja i doświadczenie wykonawców przekładają się na wyższe koszty pracy, ale są kluczowe dla prawidłowego funkcjonowania systemu. Prace montażowe mogą generować dodatkowe wydatki (np. przebudowa, wzmocnienie elementów stropów, montaż dodatkowych konstrukcji wsporczych). Po montażu dochodzą koszty testów funkcjonalnych oraz wyregulowania instalacji.

Zgodnie z założeniami do projektu budowlanego dla opisywanego kompleksu budynków wielorodzinnych przyjęto, że oddymianiu będzie podlegał garaż podziemny na poziomach –1 i –2. Zaprojektowano system wentylacji mechanicznej kanałowej wspomaganej wentylatorami strumieniowymi bezklasowymi. System wentylacji ma za zadanie zapewnić przewietrzanie garażu oraz usuwanie powietrza zanieczyszczonego. Powietrze jest usuwane spod sufitu oraz rozrzedzane i przepychane przez wentylatory strumieniowe, skutecznie wymuszające jego ruchy w całym przekroju i wysokości

Tabela 1. Koszty wykonania wentylacji kanałowej w garażu podziemnym budynku wielorodzinnego na podstawie opracowywanych projektów (ceny z połowy 2024 roku)

	Opis materiału	Jednostka	Liczba	Suma
1	Wentylatory bytowe JETFAN + MUB JF1 Venture	szt.	12	54 450
2	Wentylator bytowy MUB 042 450EC-K	szt.	1	5 500
3	Kłapy dymowe ppoż. z siłownikiem Belimo B(L)E	szt.	31	96 869
4	Kanały PD o przekroju prostokątnym – komplet oddymianie w garażu	m²	2 600	676 000
5	Kratki nawiewno-wywiewne ST-PP-W/Steel smoke extraction 1025x325 mm	szt.	112	23 968
6	Obudowy kanałów płytami ppoż. Promat EI 120 gr. 60 mm	m²	15	9 000
7	Próby i uruchomienie instalacji wentylacji, pomiary skuteczności i głośności	kpl.	1	3 000
8	Wentylatory oddymiające osiowe M-D Trox BSH	szt.	5	159 000
9	Kanały PD o przekroju prostokątnym – komplet na dachu	m²	350	91 000
10	Zawiesie systemowe	kpl.	1	2 000
11	Tłumiki kanałowe 300 x 1150 mm	szt.	10	4 904
12	Kłapy dymowa ppoż. FID S/V Mercor z siłownikiem Belimo B(L) E	szt.	6	53 000
13	Obudowa kanałów płytami ppoż. Pomat EI 120 gr. 150 i 60 mm	m²	882	1 039 200
14	Próby i uruchomienie instalacji wentylacji, pomiary skuteczności i głośności	kpl.	1	3 000
15	Kłapy dymowe ppoż. z siłownikiem Belimo B(L)F	szt.	44	96 075
16	Kanały PD o przekroju prostokątnym – komplet oddymianie w garażu	m²	5980	1 554 800
17	Kratki nawiewno-wywiewne ST-PP-W/Steel smoke extraction 1025 x 325 mm	szt.	224	47 936
18	Obudowa kanałów płytami ppoż. Promat EI 120 gr. 60 mm	m²	6	3 600
19	Próby i uruchomienie instalacji wentylacji, pomiary skuteczności i głośności	kpl.	1	3 000
20	Tłumiki akustyczne do przewodów prostokątnych 1200 x 400 x 600 mm	szt.	2	10 937
21	Wentylatory bytowe JETFAN JF2 Venture	szt.	18	89 100
22	Kłapy dymowe ppoż., w tym FID S/V z siłownikami Belimo B(L)E	szt.	48	103 061
23	Kanały PD o przekroju prostokątnym – komplet oddymianie w garażu	m²	5980	1 554 800
24	Kratki nawiewno-wywiewne ST-PP-W/Steel smoke extraction 1025 x 325 mm	szt.	224	47 936
25	Obudowa kanałów płytami ppoż. Promat EI 120 gr. 60 mm	m²	6	3 600
26	Próby i uruchomienie instalacji wentylacji, pomiary skuteczności i głośności	kpl.	1	3 000
27	Wentylatory napowietrzające klatkę schodową BNAXN 12/56/560 M-D Trox BSH + szafa sterująca	szt.	2	28 000
28	Wentylatory oddymiające osiowe BVAXO 9/27/1120 M-D Trox BSH	szt.	4	140 000
29	Wentylatory bytowe osiowe AXO 6/27/900 M-D Trox BSH	szt.	2	38 000
30	Kanały wentylacyjne o przekroju prostokątnym 1700 x 500 i 1400 x 800 mm	mb.	75	14 000
31	Kanały PD o przekroju prostokątnym – komplet na dachu	m²	250	65 000
32	Zawiesie systemowe	kpl.	1	2 000
33	Tłumiki kanałowe 300 x 1150 mm	szt.	12	6 000
34	Kłapy dymowe ppoż. FID S/V Mercor 1800x1250 siłownikiem Belimo B(L) E	szt.	4	48 000
			Razem	6 079 736

garażu, nawet nad posadzką. W trybie pracy bytowej wentylatory wyciągowe sterowane są dwustopniowo z zegarem czasowym. Wyciąg powietrza z garaży będzie wyprowadzony ponad dach budynku szachtami zlokalizowanymi w rejonie trzonu wind i klatek schodowych. Dla garażu przewidziano wyciąg powietrza realizowany przez wentylatory osiowe zainstalowane na dachu budynku. Powietrze usuwane kompensowane będzie przez otwory kompensacyjne. Wentylatory bytowe na dachu będą miały tłumiki akustyczne.

Zalety tego systemu to: stała i równomierna wymiana powietrza w całym budynku, wysoka jakość powietrza i elastyczność w regulacji parametrów stężenia CO i LPG. Po stronie wad są: wysokie koszty instalacji i konserwacji, konieczność regularnej konserwacji i czyszczenia kanałów oraz brak elastyczności w przypadku zmian w układzie budynku.

Tabela 2. Zużycie energii elektrycznej na potrzeby wentylacji kanałowej w ciągu roku (ceny z połowy 2024 roku)

Rodzaj wentylatora	Jednostka	Liczba	Moc [kW]	Czas działania w ciągu 1 doby [h]	Ilość zużytej energii [kWh]	Zużycie energii w ciągu roku [kWh]	Suma [kWh]
Wentylator bytowy JETFAN JF1 Venture	szt.	11	0,25	4	1	1 460	16 060
Wentylator bytowy MUB 042 450EC-K	szt.	1	0,83	4	3,33	4 858,88	4 858,88
Wentylator oddymiający osiowy AXO 9/27/1120 M-D Trox BSH	szt.	1	10	4	40	58 400	58 400
Wentylator bytowy JETFAN JF1 Venture	szt.	18	0,25	4	1	1 460	26 280
Wentylator bytowy osiowy AXO 6/27/900 MD Trox BSH	szt.	2	10	4	40	58 400	116 800
Suma							222 399

W tabeli 1 zestawiono koszty wykonania wentylacji kanałowej w garażu podziemnym w opisywanym budynku wielorodzinnym na podstawie projektu. Łączny koszt budowy i uruchomienia tego systemu wyniósł 6 079 736 zł. Jak wspomniano wcześniej, koszty eksploatacyjne wentylacji kanałowej obejmują koszty energii, regularnej konserwacji oraz serwisu, a także czyszczenia i ewentualnych napraw. Mogą również obejmować przyszłe inwestycje w modernizację systemu, konieczne w miarę rozwoju technologii oraz zmieniających się wymagań, a także zmian powodowanych wprowadzaniem na rynek nowych napędów pojazdów. W tabeli 2 zawarto obliczenia rocznego zużycia energii elektrycznej na potrzeby wentylacji kanałowej w opisywanym budynku, które wynosi 222 399 kWh. Do tego należy dodać koszt rocznych serwisów systemu wentylacji kanałowej w kwocie 12 000 zł. **Przyjmując cenę 1 kWh w wysokości 1 zł, łączny koszt eksploatacji tego systemu wentylacji w analizowanym obiekcie wyniósłby 234 399 zł.**

Instalacja wentylacji strumieniowej

Oddymianie strumieniowe preferowane jest zwykle w dużych przestrzeniach, takich jak garaże podziemne czy tunele. Zapewnia szybkie i skuteczne usuwanie dymu, co znacząco zwiększa bezpieczeństwo oraz ułatwia działania służb ratunkowych. Systemy te są elastyczne i łatwe do adaptacji w różnych typach budynków, jednak wymagają bardzo precyzyjnego projektowania oraz instalacji, aby zapewnić ich wysoką skuteczność. Wykorzystują technologię wentylatorów strumieniowych typu JET oraz wentylatorów osiowych kompensacyjnych. Powietrze jest dostarczane w przestrzeni pomieszczenia do określonych stref w celu wymiany powietrza wentylacyjnego oraz w funkcji oddymiania. Głównym założeniem systemu jest wykorzystanie wentylatorów strumieniowych w funkcji oddymiania do kierowania strumienia powietrza w określone szachty oddymiające, co eliminuje potrzebę stosowania rozległych sieci kanałów wentylacyjnych.

Kluczowym elementem tego systemu są wentylatory strumieniowe montowane pod sufitem, o kompaktowej budowie i dużej wydajności, co pozwala na generowanie silnych strumieni powietrza przy stosunkowo niskim zużyciu energii. Są one często wyposażone w zaawansowane mechanizmy regulacji, które umożliwiają precyzyjne dostosowanie intensywności i kierunku przepływu powietrza do potrzeb. Kolejnym elementem systemu są wentylatory nawiewne i wyciągowe, a także systemy sterowania, które umożliwiają monitorowanie i regulację pracy wentylatorów oraz obsługują czujniki jakości powietrza i wycieku paliw gazowych, automatycznie



Fot. 3. Ukierunkowanie gorącego dymu przez wentylatory strumieniowe

Źródło: arch. autora



Fot. 4. Zadymienie podczas próby z gorącym dymem przed uruchomieniem systemu oddymiania wentylacji strumieniowej

Źródło: arch. autora

dostosowujące parametry pracy systemu w odpowiedzi na zmieniające się warunki w garażu. Wentylacja strumieniowa działa w sposób ciągły i ze zmienną wydajnością, minimalizując zużycie energii i zapewniając optymalne warunki powietrza wewnętrznego.

Wloty i wyloty powietrza odgrywają kluczową rolę w systemie wentylacji strumieniowej. Projektowanie i rozmieszczenie tych elementów ma bezpośredni wpływ na efektywność systemu oraz jakość powietrza wewnętrznego. Wloty powinny być umieszczone w miejscach, gdzie powietrze jest najmniej zanieczyszczone (elewacje, dachy), a wyloty powinny być usytuowane tak, aby skutecznie usuwać powietrze z miejsc, gdzie jest ono najbardziej zanieczyszczone, i jednocześnie zapobiegać jego recyrkulacji.

Regulacja i sterowanie w systemach wentylacji strumieniowej to kluczowe aspekty, które zapewniają optymalne funkcjonowanie systemu oraz utrzymanie wysokiej jakości powietrza wewnętrznego. Systemy te są zazwyczaj wyposażone w zaawansowane mechanizmy kontroli, które umożliwiają dynamiczne dostosowywanie przepływu powietrza do aktualnych potrzeb. Centralnym elementem jest jednostka sterująca, która zbiera dane z różnych czujników rozmieszczonych w garażu. Systemy sterowania wentylacji strumieniowej mogą być programowane według różnych scenariuszy działania, dostosowanych do specyficznych potrzeb obiektu i jego użytkowników.

Projektowanie instalacji wentylacji strumieniowej to proces, który wymaga odpowiedniego planowania i analizy, aby zapewnić skuteczną cyrkulację powietrza oraz spełnienie wymagań dotyczących liczby wymian powietrza. Technologia ta wymaga także doświadczenia ekip montujących system. Ostatnim etapem prac jest przygotowanie szczegółowej dokumentacji technicznej, która obejmuje wszystkie aspekty projektowania, montażu oraz testowania systemu wentylacji strumieniowej. Dokumentacja ta jest niezbędna do późniejszej eksploatacji i konserwacji systemu. Należy też przeprowadzić instruktaż personelu odpowiedzialnego za obsługę systemu.

Koszty budowy instalacji strumieniowej i jej eksploatacji

Zgodnie z założeniami do projektu budowlanego przyjęto, że garaż obejmuje dwie kondygnacje podziemne. W projekcie budowlanym przewidziano rozwiązania architektoniczno-instalacyjne stanowiące podstawę do określenia zasad funkcjonowania systemu zabezpieczenia przed zadymieniem, takie jak: a) w garażu podziemnym znajdować się będzie strumieniowa instalacja wentylacji oddymiającej; b) garaż będzie stanowił sześć stref pożarowych podzielonych na dziewięć stref dymowych; c) strefa pożarowa SP-1 nie jest wyposażona w system oddymiania mechanicznego; d) w garażu nie projektuje się instalacji tryskaczowej; e) pomieszczenia techniczne i klatki schodowe zostały wydzielone pożarowo od części garażu przeznaczonej na parkowanie samochodów; f) z garaży możliwa jest ewakuacja łącznie do dziewięciu obudowanych klatek schodowych na poziomie

Tabela 3. Koszty wykonania wentylacji strumieniowej w garażu podziemnym budynku wielorodzinnego na podstawie opracowywanych projektów (ceny z połowy 2024 roku)

Opis materiału	Jednostka	Liczba	Cena	Suma
NW1 – 4 komplety				
Wentylator osiowy HT125JMTSP/40/4/9/22	szt.	4	34 149,54	34 150
Tłumik B1D	szt.	4	7 674,55	7 675
Komplet stóp montażowych (2 szt.) 1250 mm	kpl.	4	2 027,77	2 028
Przeciwnożnierz 1250 mm	szt.	16	686,04	2 744
Króćce elastyczne z opaskami zaciskowymi 1250 mm	szt.	8	299,95	600
Wibroizolatory sprężynowe zestaw 4 szt.	kpl.	4	573,59	574
			Razem	191 078
WB – 2 komplety				
Wentylator osiowy 90JM/25/4/6/24	szt.	2	6 100,00	
Tłumik C1D	szt.	4	6 500,34	
Komplet stóp montażowych (2 szt.) 900 mm	kpl.	2	657,48	
Przeciwnożnierz 900 mm	szt.	8	58,3	
Króćce elastyczne z opaskami zaciskowymi 900 mm	szt.	4	297,73	
Wibroizolatory gumowe zestaw 4 szt.	kpl.	2	62,02	
			Razem	41 298
WB-3				
Wentylator osiowy 50JMV/16/2/6/18	szt.	1	3 980,00	3980
Tłumik C1D	szt.	2	5 500,34	11001
Komplet stóp montażowych (2 szt.) 500 mm	kpl.	1	164,74	165
Przeciwnożnierz 500 mm	szt.	4	154,43	618
Króćce elastyczne z opaskami zaciskowymi 500 mm	szt.	2	96,29	193
Wibroizolatory gumowe zestaw 4 szt. WB-4	kpl.	1	62,02	62
Wentylator osiowy 56JM/20/2/24	szt.	1	4 424,00	4 424
Tłumik C1D	szt.	2	5 500,34	11 001
Komplet stóp montażowych (2 szt.) 560 mm	kpl.	1	164,74	165
Przeciwnożnierz 560 mm	szt.	4	174,43	698
Króćce elastyczne z opaskami zaciskowymi 560 mm	szt.	2	116,29	233
Wibroizolatory gumowe zestaw 4 szt.	kpl.	1	62,02	62
Wentylatory strumieniowe				
Wentylator strumieniowy 31JT-4SL i 2SL	szt.	28	5 983,55	170 744
Wentylatory oddymiające				
Wentylator osiowy 100JM/25/4/9/22, przeciwnożnierze, króćce, wibroizolatory i stopy montażowe	szt.	1	4 092,89	12 225
Sterowanie				
Centrala sterująca ZEOS CP 03 dedykowana do systemów kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła SMCP-01, SMCP01	kpl.	1	236 232,66	236 233
Montaż wentylatorów strumieniowych i osiowych	kpl.	1	44 050,00	44 050
Nadzór oraz koordynacja	kpl.	1	18 750,00	18 750
Kanały PD na dachu	m²		260	95 547
Roboty elektryczne i automatyka (prowadzenie tras kablowych, okablowanie, produkcja szaf sterowniczych i obsługa klap ppoż.)	kpl.	1	864 863	864 863
Klapy ppoż.				
Klapa dymowa ppoż. różne rozmiary z siłownikami Belimo B(L)E	szt.	89		300 931
			Razem	2 008 319

-1 oraz do pięciu na poziomie -2; g) do garażu prowadzi jeden wjazd; h) budynek będzie objęty całodobową ochroną.

Łączny koszt wykonania systemu wentylacji strumieniowej garażu podziemnym opisywanego kompleksu budynków wielorodzinnych wyniósł 2 008 319 zł. System będzie zużywał rocznie energię elektryczną w ilości 204 517 kWh. Jego coroczny serwis kosztować będzie 6000 zł. Przyjmując koszt 1 kWh jako 1 zł, łączny **roczny koszt eksploatacji systemu wentylacji strumieniowej w garażu analizowanego budynku wyniesie 210 517 zł.**

Analizy CFD i nowe wytyczne dot. weryfikacji wentylacji strumieniowej

Ważnym narzędziem w procesie projektowania instalacji wentylacyjnych jest analiza Computational Fluid Dynamics (CFD). Jest to zaawansowane narzędzie stosowane w projektowaniu i ocenie systemów wentylacji, szczególnie w kontekście bezpieczeństwa pożarowego. Pozwala na szczegółowe modelowanie przepływu powietrza, rozprzestrzeniania się dymu oraz dystrybucji temperatury w pomieszczeniach i budynkach, co jest kluczowe dla optymalizacji systemów wentylacyjnych oraz skutecznej ewakuacji i ochrony ppoż. Analiza CFD umożliwia symulację dynamicznych warunków pożarowych, uwzględniając takie zmienne, jak prędkość przepływu powietrza, ciśnienie, temperatura oraz stężenie dymu. Pozwala na tworzenie scenariuszy pożarowych i ocenę skuteczności systemów oddymiania. Umożliwia optymalizację rozmieszczenia czerpni, wyrzutni, kanałów wentylacyjnych, wentylatorów oraz klap dymowych, aby zapewnić równomierne rozprowadzanie

Tabela 4. Zużycie energii elektrycznej na potrzeby wentylacji strumieniowej w ciągu roku (ceny z połowy 2024 roku)

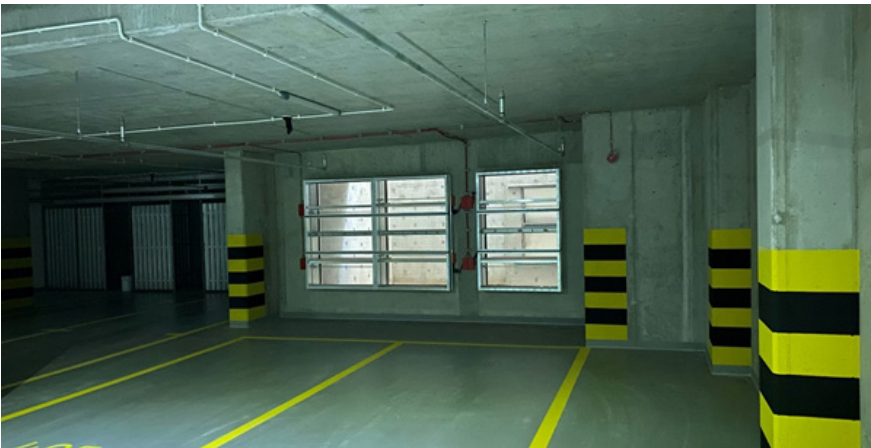
Rodzaj wentylatora	Jednostka	Liczba	Moc [kW]	Czas działania w ciągu 1 doby [h]	Ilość zużytej energii [kWh]	Zużycie energii w ciągu roku [kWh]	Suma [kWh]
Wentylator osiowy 90JM/25/4/6/24	szt.	1	10	4	40	58 400	58 400
Wentylator osiowy 90JM/25/4/6/24	szt.	1	10	4	40	58 400	58 400
Wentylator osiowy 50JMV/16/2/6/18	szt.	1	3,45	4	13,8	20 148	20 148
Wentylator osiowy 56JM/20/2/24	szt.	1	3,45	4	13,8	20 148	20 148
Wentylator strumieniowy 31JT-4SL-UBD-TB	szt.	6	0,29	4	1,16	1 693,6	10 161,6
Wentylator strumieniowy 35JT-4SL-UBD-TB	szt.	17	0,29	4	1,16	1 693,6	28 791,2
Wentylator strumieniowy 35JT-4SL-RDD-TB	szt.	2	0,29	4	1,16	1 693,6	3 387,2
Wentylator strumieniowy 35JT-2SL-UBD-ISL	szt.	3	0,29	4	1,16	1 693,6	5 080,8
Suma							204 517

powietrza i efektywne usuwanie dymu. Jest narzędziem, które pomaga w weryfikacji zgodności projektów wentylacyjnych z obowiązującymi normami i przepisami dotyczącymi bezpieczeństwa pożarowego. Symulacje pozwalają udowodnić, że system spełnia wymagania dotyczące ewakuacji, kontroli dymu i ochrony konstrukcji budynku.

Analiza CFD dla systemów wentylacji strumieniowej rozpoczyna się od stworzenia cyfrowego modelu budynku i jego systemu wentylacyjnego. Model ten uwzględnia wszystkie istotne elementy, takie jak układ pomieszczeń, przeszkody, a także źródła ciepła i dymu. Następnie na podstawie danych wejściowych, takich jak właściwości powietrza, charakterystyki dymu oraz warunki początkowe i brzegowe, przeprowadzane są symulacje komputerowe.

Wyniki analizy CFD są prezentowane w formie wizualizacji i danych liczbowych, które umożliwiają dokładną ocenę zachowania się systemu wentylacyjnego. Wizualizacje przedstawiające przepływ powietrza, rozkład temperatury i koncentrację dymu pozwalają na intuicyjne zrozumienie dynamiki tych procesów. Na ich podstawie można zidentyfikować potencjalne problemy, takie jak strefy zastoju dymu czy niewystarczająca wentylacja w niektórych obszarach. Analiza wyników umożliwia również przeprowadzenie optymalizacji systemu wentylacyjnego. Na podstawie uzyskanych danych inżynierowie mogą wprowadzać zmiany w projekcie, takie jak modyfikacja rozmieszczenia wentylatorów, zmiana parametrów pracy urządzeń czy dostosowanie wlotów i wylotów powietrza.

Opracowane w 2024 roku przez grupę naukowców i ekspertów Akademii Pożarniczej Wytyczne weryfikacji instalacji strumieniowej garaży zamkniętych za pomocą symulacji CFD [7] ujednolicają i unifikują tworzenie symulacji CFD dla systemów strumieniowej wentylacji oddymiającej. Zakres wytycznych jest kompleksowy i obejmuje definicję parametrów wejściowych, konfigurację oprogramowania, przeprowadzanie analiz oraz raportowanie wyników. Ich celem jest usystematyzowanie definicji scenariuszy projektowych oraz miar oceny wyników, tak aby analitycy mogli dokonywać prawidłowych doborów założeń i parametrów wejściowych dla analiz oraz kryteriów akceptacji uzyskanych wyników. Poruszono w nich kluczowe kwestie, które generowały różne nieporozumienia na etapie projektowania oraz odbiorów budynków i instalacji. Zdefiniowano wskaźniki oceny poprawności projektu wentylacji oddymiającej w kontekście bezpieczeństwa użytkowników i ekip ratowniczych oraz ochrony mienia.



Fot. 5. Szacht kompensacyjny z bateriami klap oddymiających jedno-płaszczyznowych

Stanowią one aktualny przewodnik po analizie skuteczności wentylacji strumieniowej w garażach zamkniętych.

Podsumowanie

W przypadku analizowanego garażu koszty inwestycyjne systemu wentylacji kanałowej wyniosłyby 6 079 736 zł, a roczna eksploatacja 234 399 zł. Z kolei koszty inwestycyjne wentylacji strumieniowej wyniosłyby 2 008 319 zł, a roczna eksploatacja 210 517 zł.

Wybór rozwiązania często zależy od tego, czy na początkowym etapie projektowania budynku i znajdującego się w nim garażu podejmowano decyzje, jaka wentylacja zostanie w nim zainstalowana, m.in. po to, aby przyjąć odpowiednią ilość miejsca na kanały, czerpnie, wyrzutnie oraz aranżację kubatury i przewidywanych w niej instalacji.

Oba systemy wymagają serwisowania i konserwacji, a ich trwałość zależy w dużej mierze od jakości zaprojektowania, doboru urządzeń oraz wykonania, a także serwisu. Wentylacja kanałowa zapewnia bardziej precyzyjną wymianę powietrza, ale wiąże się to z wyższymi kosztami budowy instalacji i jej konserwacji. Z kolei wentylacja strumieniowa jest bardziej elastyczna i łatwiej dostosowuje się do zmieniających się potrzeb, ale może nie oferować tak precyzyjnej wymiany powietrza, niemniej zapewnia wysokie bezpieczeństwo dla użytkowników. Wybór odpowiedniego systemu zależy od indywidualnych potrzeb i budżetu inwestora oraz warunków pozwolenia na budowę.

Artykuł powstał na podstawie pracy dyplomowej pt. Porównanie wentylacji kanałowej i wentylacji strumieniowej w budynku wielorodzinnym, pod względem kosztów instalacji oraz eksploatacji opracowanej przez mgr. inż. Mikołaja Olszewskiego, pod kierunkiem dr hab. inż. Katarzyny Gładyszewskiej-Fiedoruk w Instytucie Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Literatura

1. Olszewski Mikołaj, *Porównanie wentylacji kanałowej i wentylacji strumieniowej w budynku wielorodzinnym, pod względem kosztów instalacji oraz eksploatacji*, praca dyplomowa magisterska wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. Katarzyny Gładyszewskiej-Fiedoruk, w Katedrze Hydrauliki i Inżynierii Sanitarnej Instytut Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa 2024
2. Węgrzyński Wojciech, Krajewski Grzegorz, *Systemy wentylacji pożarowej garaży. Projektowanie, ocena, odbiór*, Instrukcja ITB nr 493/2015, ITB, Warszawa 2015
3. Kubicki Grzegorz, *Wentylatory w systemach oddymiania*, „Rynek Instalacyjny” 11/2010, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/systemy-ppoz/9603,ventylatory-w-systemach-oddymiania>
4. Mizieliński Bogdan, *Wentylacja pożarowa: oddymianie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2017
5. Pełech Aleksander, *Wentylacja i klimatyzacja: podstawy*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2013
6. *Wytyczne projektowe dla wentylacji strumieniowej garaży zamkniętych*, „Rynek Instalacyjny” 1-2/2022, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/projektowanie-went-klima/132730,wytyczne-projektowe-dla-wentylacji-strumieniowej-garazy-zamknietych>

7. Krasuski Adam (red.), *Wytyczne weryfikacji instalacji wentylacji strumieniowej garaży zamkniętych za pomocą symulacji CFD*, Akademia Pożarnicza, Warszawa 2024, DOI: 10.70402/apoz.2024.wytycznecfd, <https://www.ksiegarniatechniczna.com.pl/wytyczne-weryfikacji-instalacji-wentylacji-strumieniowej-garaży.html>
8. Burdzy Tomasz i in., *Wentylacja strumieniowa garaży. Przewodnik Safety Carpark*, https://wentylacja.com.pl/att/article/smay_wentylacja_strumieniowa_przewodnikpdf-6471.pdf (dostęp: 24.02.2025)
9. Pykacz Sławomir, *Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji wentylacyjnych: zalecane do stosowania przez Ministerstwo Infrastruktury*, Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Techniki Instalacyjnej INSTAL, 2002

Robert Zapala

dyrektor techniczny NEURON Sp. z o.o. Sp.K.

Systemy zasilania i sterowania wentylacją pożarową w tunelach drogowych

Wentylacja pożarowa tuneli to zadanie złożone, wymagające współdziałania stron na wszystkich etapach projektowania, wykonawstwa oraz odbioru urządzeń i systemu zarządzania nimi, gdyż od wzajemnego powiązania tych elementów zależy bezpieczeństwo użytkowników korzystających z obiektu i skuteczne prowadzenie akcji ratowniczo-gaśniczych.

W Polsce buduje się coraz więcej tuneli drogowych, szczególnie w południowej części kraju, na terenach górzystych, głównie na potrzeby nowych tras ekspresowych. Kwestie budowy tuneli drogowych reguluje rozporządzenie z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych [1], które weszło w życie we wrześniu 2022 r. Przepisy tego rozporządzenia mają zastosowanie do projektowania, budowy, przebudowy lub użytkowania dróg publicznych oraz projektowania, budowy lub przebudowy urządzeń obcych sytuowanych w pasach tych dróg. W rozdziale 9 wymienione zostały takie obiekty drogowe, jak: mosty, wiadukty i tunele.

W załączniku 3 rozporządzenia zatytułowanym *Bezpieczeństwo pożarowe i przygotowanie do prowadzenia działań ratowniczych* znalazł się rozdział 2 i ust. 25 mówiący o szczególnych warunkach dotyczących drogowych obiektów inżynierskich, a w nim wymóg, by były one projektowane w sposób zapewniający w razie pożaru nośność konstrukcji, ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia i dymu, ograniczenie rozprzestrzeniania się pożaru na sąsiednie obiekty budowlane lub tunele przyległe, możliwość ewakuacji lub uratowania osób (użytkowników i pasażerów pojazdów) w inny sposób. Powinna zostać także zapewniona możliwość prowadzenia skutecznych działań ratowniczych przy jednoczesnym uwzględnieniu bezpieczeństwa przeprowadzających je ekip.

Rozdział 3 tego załącznika zatytułowany *Szczególne warunki dotyczące wentylacji tuneli* wymienia wentylację bytową, która działa tylko w czasie normalnej eksploatacji tunelu, oraz wentylację pożarową. Tunel wyposażony jest więc w wentylację służącą do odprowadzania spalin emitowanych z silników pojazdów oraz do usuwania dymu i ciepła w przypadku pożaru. Wentylacja tunelu w normalnych warunkach użytkowania powinna zapewnić odpowiednią wymianę powietrza, tak aby nie zostały przekroczone stężenia zanieczyszczeń zagrażających użytkownikom tunelu. Zadaniem

wentylacji bytowej jest też dbanie o płynność i komfort jazdy poprzez usuwanie spalin oraz zanieczyszczeń powietrza ograniczających jego przejrzystość, co ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ruchu pojazdów. Wydajność wentylacji ustalana jest na podstawie wartości progowych stężeń tlenu węgla i dwutlenku azotu oraz przejrzystości powietrza wyrażonej czynnikiem absorpcji K. Czujniki te montowane są co pewien dystans. Jeżeli któryś z nich wykryje przekroczenie wartości progowej monitorowanego parametru, wówczas system sterujący wentylacją powinien załączyć odpowiednią parę wentylatorów lub odpowiedni system wentylacji w danej strefie, aby jak najszybciej osiągnąć warunki umożliwiające dalszą bezpieczną eksploatację tunelu. Jeżeli z jakichś względów dalsza eksploatacja byłaby niemożliwa, czyli stężenia mierzonych niebezpiecznych substancji w powietrzu utrzymywałyby się przez odpowiednio długi czas, obsługa tunelu może podjąć decyzję o wyłączeniu określonej nawy z ruchu.

Obecnie oddawane do użytkowania tunele wyposażone są w budynki techniczne, w których służby techniczne dyżurują 24 godziny na dobę, nadzorując funkcjonowanie obiektu. Obsługa na bieżąco monitoruje parametry powietrza, kamery monitoringu oraz kamery termowizyjne i może zdecydować, czy za pomocą drogowej sygnalizacji świetlnej zatrzymać wjazd pojazdów do tunelu, umożliwiając jednocześnie autom już się w nim znajdującym jego bezpieczne opuszczenie, gdy stężenie niebezpiecznych substancji jest za wysokie.

Wentylacja pożarowa tunelu służy do usuwania dymu i ciepła z intensywnością gwarantującą, że w czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi na drodze z miejsc wystąpienia pożaru do miejsc bezpiecznych nie wystąpi zadymienie lub temperatura, która uniemożliwi bezpieczną ewakuację. Wentylacja pożarowa musi też uwzględnić bezpieczeństwo ekip ratowniczych i kontrolować rozprzestrzenianie się dymu i ciepła, a to zadanie skutecznie spełni wentylacja mechaniczna.

Wentylację pożarową projektuje się z wykorzystaniem symulacji numerycznych, gdyż tunele to obiekty skomplikowane i wielkokubaturowe. Na podstawie tych analiz oraz obowiązujących przepisów dobiera się rodzaj systemu, a także liczbę zestawów wentylatorów o odpowiedniej mocy i wydajności. Do wybranego systemu wentylacji dobierany jest odpowiedni system zasilania i sterowania, tak aby zapewnić spełnienie wszystkich założeń projektowych oraz wymagany poziom niezawodności. Zdarzają się tunele na tyle krótkie, że w ich wypadku wystarczy wentylacja naturalna, różnica między poziomem nawy wjazdowej i wyjazdowej jest znaczna i jesteśmy w stanie udowodnić, że wentylacja ta będzie skuteczna.

Załącznik 3 w ust. 94 podaje trzy rodzaje wentylacji mechanicznej w tunelach:

- wzdłużna – z wzdłużnym przepływem powietrza na całej długości tunelu,
- poprzeczna – z poprzecznym ruchem powietrza na całej długości tunelu,
- półpoprzeczna – z poprzeczno-wzdłużnym lub wzdłużno-poprzecznym przepływem powietrza w tunelu.

W ramach wentylacji wzdłużnej tunel wentylowany jest na całej długości. W przypadku wentylacji poprzecznej tunel podzielony jest na odpowiednie strefy i jeśli w danej strefie wystąpi zagrożenie pożarowe i zadymienie, dym nie jest przetłaczany przez resztę tunelu, tylko w odpowiednich miejscach następuje nawiew powietrza kompensacyjnego i oddymianie strefy zagrożonej pożarem. Z kolei wentylacja półpoprzeczna z półpoprzeczno-wzdłużnym lub wzdłużno-poprzecznym przepływem powietrza w tunelu może obejmować wiele różnych rozwiązań, zależących od specyfiki tunelu i rozwiązania przyjętego przez projektanta.

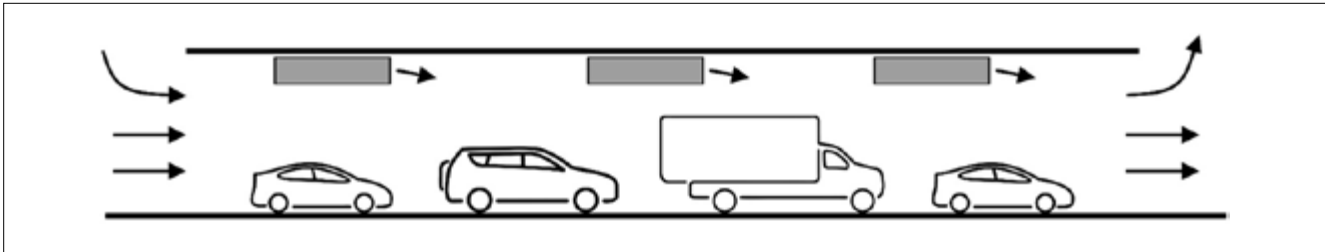
Rodzaje wentylacji i wentylatory

Zakres stosowania systemu wentylacji działającej dzięki wymuszonemu przepływowi powietrza wzdłuż lub w poprzek osi tunelu podaje ust. 96 załącznika 3 [1]. **Tabela 1** określa, dla jakiej długości tunelu można zastosować dany system wentylacji pożarowej. W załączniku tym znalazło się również rozgraniczenie ze względu na liczbę naw w tunelu. Nawa to przestrzeń, w której poruszają się pojazdy – mamy tunele jednonawowe i wówczas jezdnie dwukierunkowe oraz tunele dwunawowe, gdzie w każdej nawie tunelu prowadzony jest ruch tylko w jednym kierunku.

Rysunek 1 ilustruje przypadek jednokierunkowej nawy tunelu z widocznymi wentylatorami strumieniowymi, realizującymi projektowe założenia wentylacji wzdłużnej – wentylatory działają w kierunku ruchu pojazdów. Jeżeli mamy do czynienia z mechaniczną wentylacją bytową i mechaniczną wentylacją pożarową, to gdy w danej nawie wystąpi pożar, powietrze kierowane jest w kierunku od portalu wjazdowego do wyjazdowego. Chodzi o to, aby pojazdy znajdujące się za samochodem, który uległ pożarowi, zmuszone były do zatrzymania, a ich pasażerowie oraz inni użytkownicy

Tabela 1. Zakres stosowania systemów wentylacji mechanicznej działającej dzięki wymuszaniu przepływu powietrza wzdłuż lub w poprzek osi tunelu (z zastrzeżeniem ust. 98)

System wentylacji mechanicznej	Długość tunelu	
	prowadzącego jezdnię dwukierunkową	o oddzielnych konstrukcjach dla różnych kierunków ruchu
Wzdłużnej	nie większa niż 1000 m	nie większa niż 3000 m
Półpoprzecznej	większa niż 250 m, ale nie większa niż 1000 m	większa niż 250 m, ale nie większa niż 1000 m
Poprzecznej	większa niż 1000 m	większa niż 1000 m



Rys. 1. Wentylacja wzdłużna tunelu – schemat nawy i kierunku wentylacji

Źródło: ARDOR

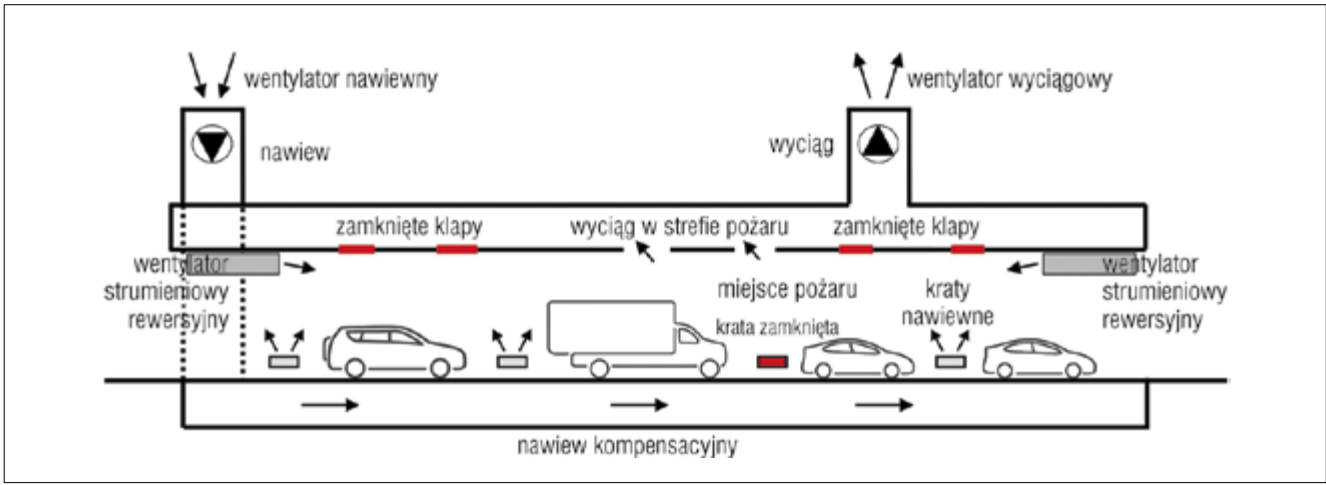
tunelu ewakuowali się, przechodząc do drugiej nawy tunelu (ewakuacyjnej), i zbieżali w stronę portalu wjazdowego, natomiast dym kierowany był w stronę portalu wyjazdowego. Pojazdy znajdujące się przed miejscem wybuchu pożaru lub zagrożenia pożarowego mogą swobodnie opuścić obiekt, jadąc w tym samym kierunku, w którym usuwane jest powietrze z tunelu.



Fot. 1. Wentylacja wzdłużna tunelu – widok pary wentylatorów strumieniowych

Źródło: Neuron

Na **fot. 1** widać parę wentylatorów strumieniowych w nawie tunelu z wentylacją wzdłużną. Wentylatory te w większości tuneli montowane są i działają w parach. Jeżeli w danej parze nastąpiłaby awaria jednego wentylatora, który by się nie uruchomił albo przestał pracować, system sterowania musi natychmiast na to zareagować i wyłączyć również drugi wentylator (uruchamiając w zamian inną parę wentylatorów, żeby zachowana została wymagana wydajność przewietrzania). Obserwacje pracy tylko jednego wentylatora strumieniowego z danej pary w tunelu, w którym urządzenia

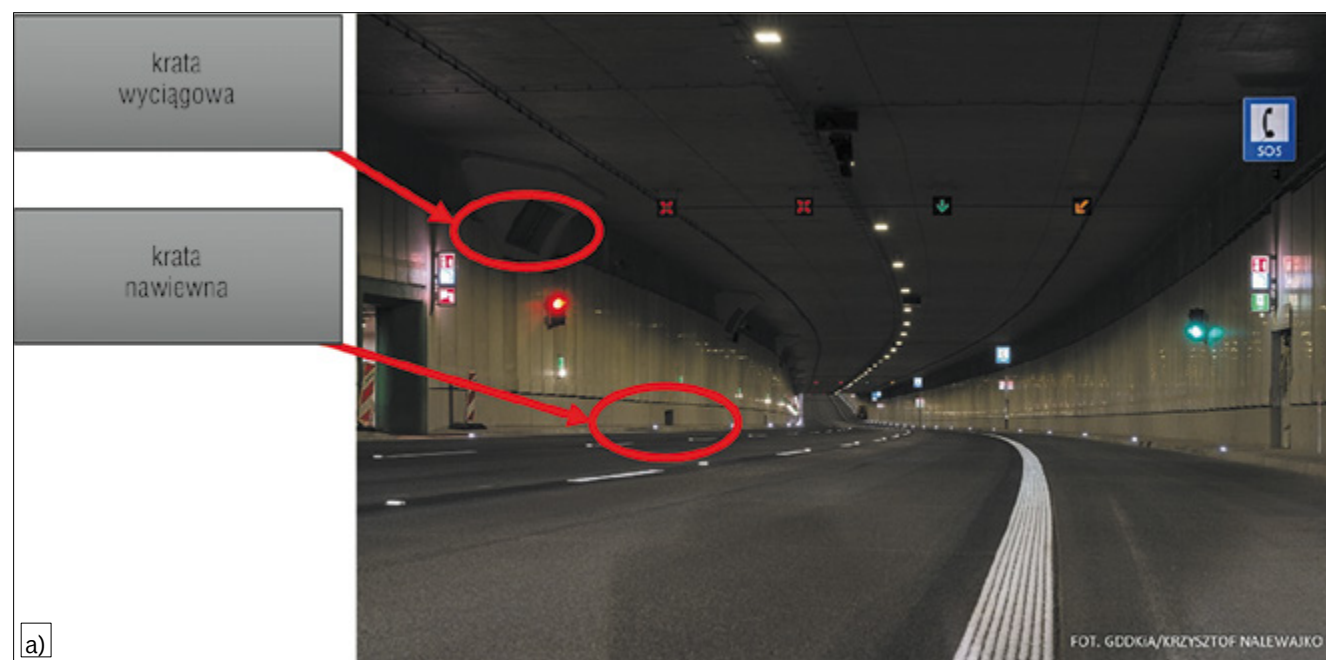


Rys. 2. Schemat działania wentylacji pożarowej poprzecznej w tunelu

Źródło: ARDOR

te zamontowane są przy ścianach bocznych, wskazują, że powietrze zaczyna krążyć od jego wylotu do wlotu i kotłuje się, zamiast utrzymywać oczekiwany kierunek. Dlatego zawsze trzeba wyłączyć parę wentylatorów strumieniowych, jeżeli pojawi się sygnał, że jeden z nich uległ uszkodzeniu. System sterowania monitoruje takie przypadki i gdy zajdzie potrzeba, automatycznie zareaguje, dokonując niezbędnych sterowań awaryjnych, przekazując również informację o uszkodzeniu do systemu nadrzędnego.

W przypadku wentylacji poprzecznej (**rys. 2**) mamy do czynienia z głównym wentylatorem nawiewnym i głównym wentylatorem wyciągowym oraz punktami nawiewnymi i wywiewnymi



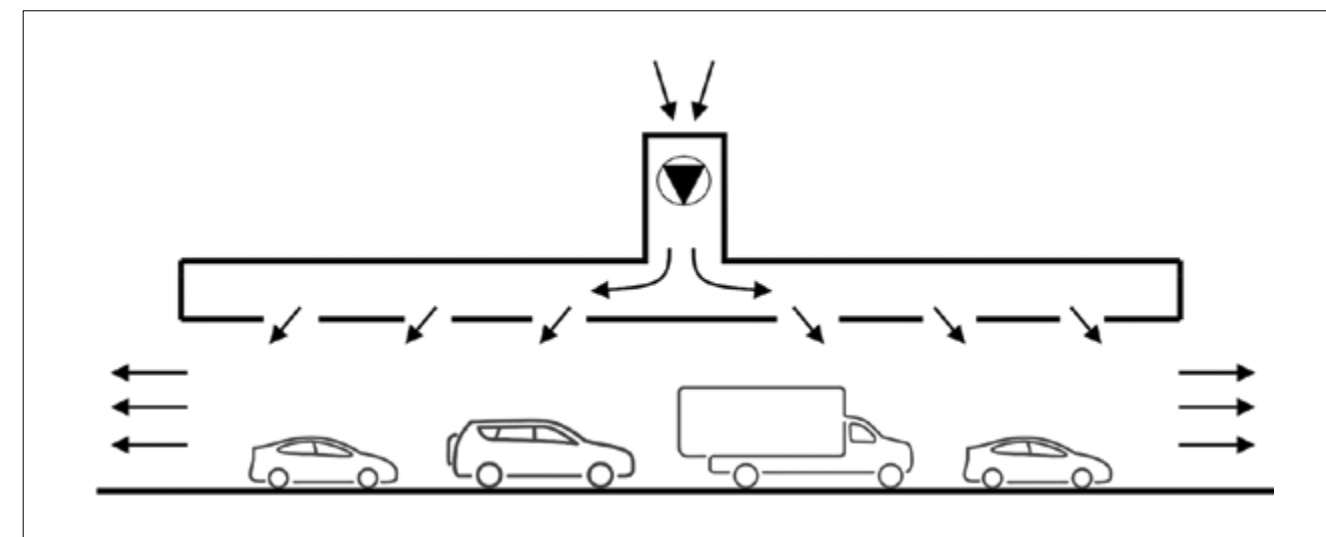
Fot. 2. Widok tunelu: a) zaznaczone kraty nawiewne i wyciągowe, b) para wentylatorów strumieniowych

Źródło: Neuron

wyposażonymi w automatycznie sterowane klapy przeciwpożarowe. Jeżeli w danej strefie wykryte zostanie zagrożenie pożarowe, włącza się nawiew kompensacyjny oraz wyciąg gorącego dymu – mieszaniny gazów pożarowych i powietrza. Krata nawiewna (lub kraty) w pobliżu miejsca pożaru (klapa przeciwpożarowa) zostaje zamknięta, a powietrze kompensacyjne jest kierowane z przodu i z tyłu miejsca (strefy) objętego pożarem, natomiast wyciąg następuje w strefie objętej pożarem.

Na **fot. 2a i b** przedstawiono przykład tunelu z wentylacją poprzeczną. Na początku i na końcu nawy występują często wentylatory strumieniowe rewersyjne, ponieważ w tunelu mamy zawsze do czynienia ze zjawiskiem ciągu powietrza. Wiatr, który pojawia się ze względu na warunki pogodowe, oraz ruch powierza spowodowany przez samochody przejeżdżające przez tunel od portalu wjazdowego do wyjazdowego powodują „efekt tłoka”, czyli przesuwanie się mas powietrza zgodnie z kierunkiem ruchu pojazdów. Jeżeli chcemy oddymić jedną strefę w tym tunelu, nie mamy innego wyjścia jak zatrzymanie tego ruchu powietrza w momencie wykrycia pożaru. Służą do tego wentylatory strumieniowe, które załączają się w odpowiedniej sekwencji, z określonym algorytmem sterowania.

Bardzo ważną kwestią, która zostanie poruszona poniżej, jest pomiar kierunku i prędkości powietrza w tunelu, gdyż tylko na tej podstawie można załączyć strumieniowe wentylatory rewersyjne we właściwych kierunkach i z odpowiednią mocą, tak aby ustabilizować prędkość powietrza w tunelu w zakresie od ok. $-0,5$ do $0,5$ m/sekundę. Jest to potrzebne, żeby dym nie rozprzestrzenił się na całą objętość tunelu i mógł być wyciągnięty z danej strefy poprzez klapy znajdujące się w miejscu pożaru za pomocą ciągu z wentylatora oddymiającego. Na fot. 2b widzimy parę wentylatorów strumieniowych, które służą do zniwelowania ruchu powietrza wywołanego przez wiatr i utrzymania zadymienia tylko w jednej strefie. Z kolei na fot. 2a zaznaczone są kraty nawiewne i wyciągowe, czyli miejsca wlotu i wylotu powietrza od wentylatora nawiewnego i wyciągowego



Rys. 3. Wentylacja pożarowa półpoprzeczna

Źródło: ARDOR

oddymiającego. Na **rys. 2** zaznaczono tylko po jednym wentylatorze, ale w praktyce stosuje się ich wiele, najczęściej pary odcięte odpowiednimi przepustnicami i klapami. Wentylatory te są dublowane po to, żeby w przypadku uszkodzenia jednego z nich został on odcięty, a system włączył wentylator rezerwowy.

W ramach wentylacji półpoprzecznej możliwe jest zastosowanie bardzo wielu rozwiązań. Na **rys. 3** podano jeden z przykładów wentylacji, w ramach której zastosowano wentylator nawiewny tłoczący powietrze do kanału nawiewnego, rozprowadzającego je po całej długości tunelu, oraz wywiew powietrza przez portale wjazdowy i wyjazdowy. Nawiew może być realizowany także w dolnej części tunelu. Zastosowane mogą być również wentylatory strumieniowe, które przetłaczają niebezpieczne gazy w przypadku normalnej, codziennej eksploatacji tunelu, jak również gazy



Fot. 3. Widok tunelu z nawiewem od dołu i rewersyjnymi wentylatorami strumieniowymi Źródło: Neuron

pożarowe w razie wystąpienia zagrożenia pożarowego czy też już bezpośrednio podczas pożaru.

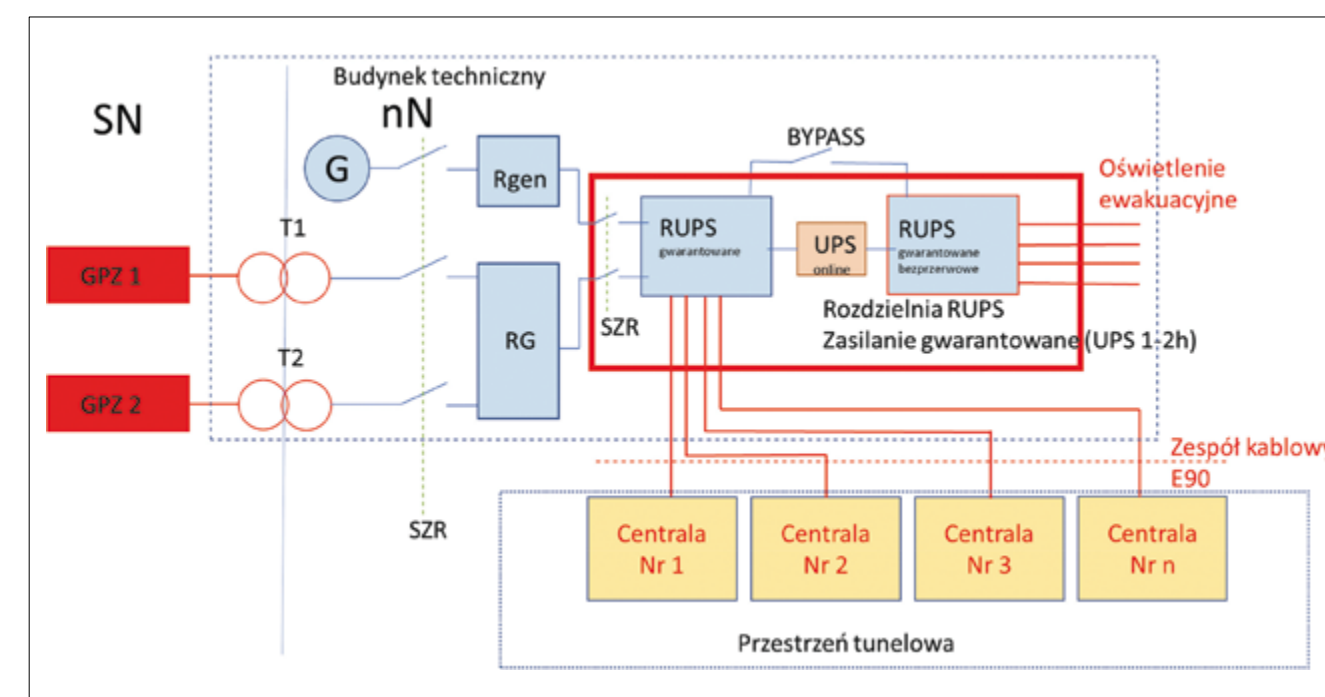
Na **fot. 3** pokazano tunel, w którym zastosowany został jeden z wariantów wentylacji półpoprzecznej. Zaznaczono parę wentylatorów strumieniowych rewersyjnych oraz miejsca, w których znajdują się kratki nawiewne. W przypadku wystąpienia zagrożenia pożarowego powietrze jest nawiewane przez kratki nawiewne w dolnej części, natomiast rewersyjne wentylatory strumieniowe załączają się w odpowiednim kierunku i dążą do usunięcia dymu i gorących gazów pożarowych z przestrzeni tunelu, tak aby możliwa była ewakuacja oraz by można było usunąć jak najwięcej ciepła i gazów pożarowych celu przeprowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczej. System wentylacji usuwa też ciepło z pożaru, żeby zapobiec zapłonowi kolejnych samochodów. Przykładowo zapłon kilku ciężarówek w przypadku niedostatecznego odprowadzenia ciepła może spowodować zagrożenie nawet dla konstrukcji tunelu. Oczywiście konstrukcje te są wykonywane w odpowiedniej klasie nośności z użyciem stosownych izolacji przeciwpożarowych, niemniej ryzyko istnieje. Ważne jest też, że jeżeli sprawnie odprowadzimy ciepło, przywrócenie tunelu do eksploatacji będzie prostsze, szybsze i przede wszystkim mniej kosztowne.

Zasilanie i sterowanie urządzeniami

Rozpatrując kwestie sterowania wentylacją, musimy przede wszystkim wziąć pod uwagę, jak wygląda system zasilania dla danego tunelu. Większość projektantów ma doświadczenia związane z budynkami, w których wykorzystywane są systemy wentylacji pożarowej i zasilające je instalacje elektryczne. Znany jest zatem standard dotyczący zasilania systemów ppoż. w budynkach z dwóch źródeł. W przypadku tuneli jest to bardziej złożona kwestia.

W typowym budynku doprowadza się główne przyłącza zasilania i agregatu prądotwórczego do głównej rozdzielni, która powinna być także zasilaczem urządzeń przeciwpożarowych – certyfikowanym w pierwszym systemie weryfikacji stałości właściwości użytkowych, ponieważ służy do zasilania urządzeń ppoż. Wielkość takiej prostej rozdzielni głównej zależy od wielkości obiektu.

Natomiast w tunelach drogowych na ich obu końcach znajdują się budynki techniczne (czego wymaga rozporządzenie), które odpowiadają za zapewnienie zasilania całego systemu wentylacji i innych systemów w tunelu, takich jak oświetlenie ewakuacyjne, system rozgłoszeniowy komunikatów alarmowych, oświetlenie wjazdowe, sterowanie ruchem w tunelu, przejścia ewakuacyjne itd. – ilustruje to **rys. 4**. Mamy zatem zawsze dwa przyłącza z głównych przyłączy zasilania i energia trafia do rozdzielni głównej, dodatkowo na każdym końcu tunelu znajduje się agregat prądotwórczy. To wszystko trafia do kolejnej rozdzielni z UPS-em dla oświetlenia ewakuacyjnego, czyli mamy do czynienia z dodatkowym zasilaniem i wyjściem z tej rozdzielni przez dodatkowe UPS-y, które zapewniają tak naprawdę czwarte już podtrzymanie zasilania na pełne dwie godziny pracy systemu



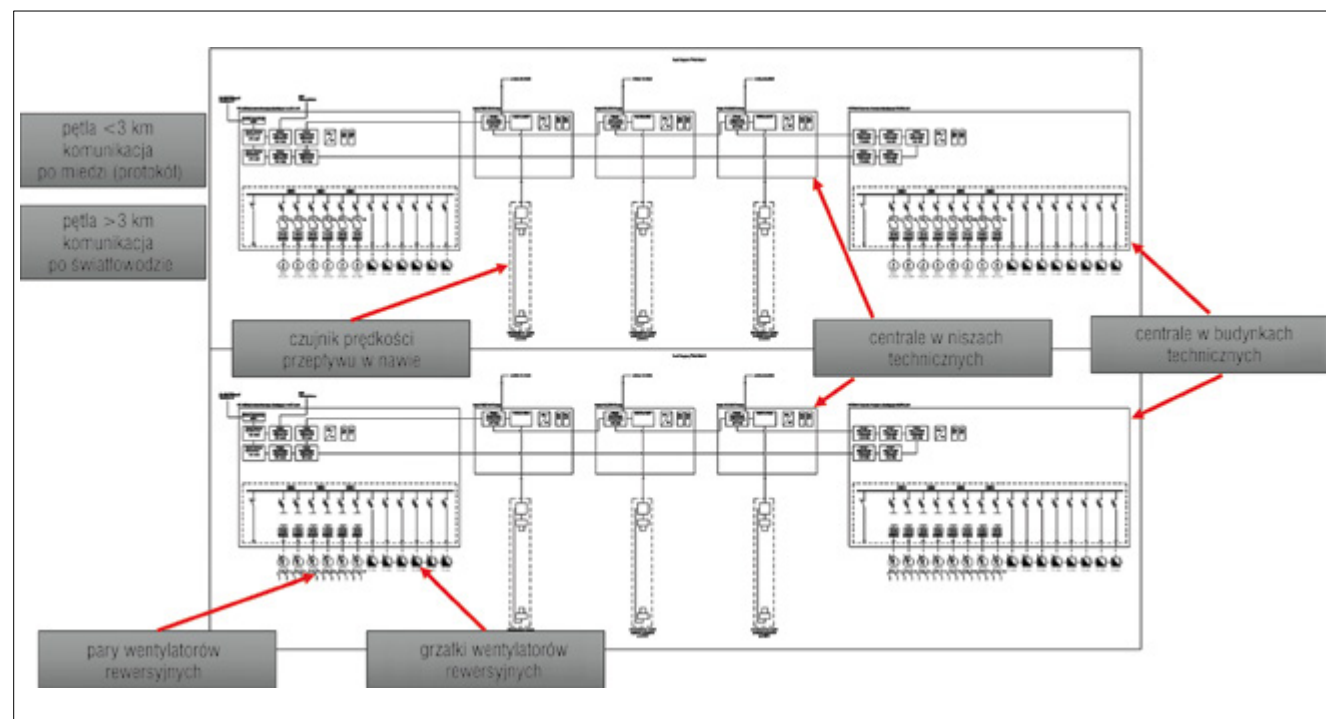
Rys. 4. Schemat ideowy zasilania tunelu drogowego

Źródło: Voltar System

oświetlenia. Natomiast sprzed UPS-a mamy wyprowadzone zasilanie do central sterująco-zasilających systemu wentylacji pożarowej.

System taki może mieć kilka rozwiązań zasilania obiektowego central – mogą to być pojedyncze tory zasilania, gdyż w rozdzielniach w budynku technicznym zamontowany jest układ SZR (samoczynnego załączenia rezerwy) i pewność zasilania jest zapewniona. W innym skutecznym rozwiązaniu na dwóch końcach tunelu znajdują się główne rozdzielnie i główne centrale sterująco-zasilające wentylacją, do których doprowadzone jest napięcie zasilania z rozdzielni zasilanej z dwóch źródeł oraz z agregatu prądotwórczego. Centrale sterująco-zasilające przełączają zasilanie pomiędzy różnymi źródłami (rozdzielnia, agregat), a dodatkowo wyprowadzone jest z nich zasilanie dla kolejnych central (obiektowych, niszowych).

Na **rys. 5** zamieszczono schemat zasilania i sterowania systemu wentylacji pożarowej w tunelu, który ma ok. 600 m długości. Doprowadzenie zasilania do każdej centrali sterująco-zasilającej realizowane jest z bliższego końca tunelu, tak aby zasilanie całego systemu odbywało się z obu budynków technicznych znajdujących się na końcach obiektu – tego wymaga rozporządzenie. Mamy też kolejne niszowe centrale sterująco-zasilające. Nisze to pomieszczenia w przestrzeni tunelu, zabezpieczone i zamknięte odpowiednimi drzwiami przeciwpożarowymi, gdzie znajdują się lokalne centrale bądź centrale zasilania i sterowania systemów wentylacji kolejnych grup wentylatorów, par wentylatorów strumieniowych lub służące do zbierania informacji z czujników, które są wymagane do pracy systemu sterowania i nadzoru obiektu.



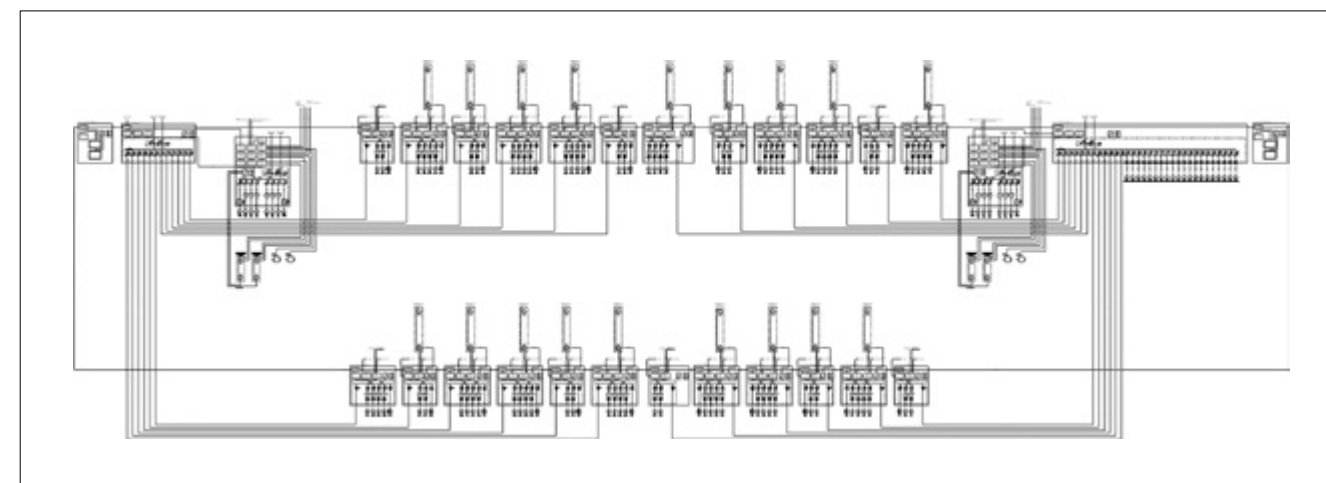
Rys. 5. Schemat zasilania i sterowania wentylacją pożarową w tunelu drogowym o długości ok. 600 m

Źródło: Neuron

W tunelach drogowych mamy do czynienia z czujnikami prędkości przepływu powietrza w nawach. Są one bardzo ważne, gdyż przez cały czas mierzą prędkość przepływu powietrza w tunelu i pozwalają odpowiednio reagować wentylacji bytowej w sytuacji, gdy wiatr jest zbyt silny i przepływ za duży, oraz w razie wystąpienia zagrożenia pożarowego – żeby możliwe było utrzymanie prędkości przepływu w odpowiednich granicach w początkowej fazie pożaru oraz gazów pożarowych w jednej strefie, tak by przeprowadzona została ewakuacja z pozostałej części nawy. Z kolei w czasie oddymiania tunelu konieczna jest możliwość nadążnego kontrolowania prędkości przepływu powietrza, tak by nie była ani za mała, ani zbyt duża. Za duża prędkość spowoduje, że prowadzenie akcji ratowniczo-gaśniczej będzie utrudnione – prędkość powyżej ok. 6 m/s to już mocny wiatr, przy którym działania ekip ratowniczo-gaśniczych będą zdecydowanie utrudnione. Z kolei przy prędkościach mniejszych, poniżej 2–3 m/s, w określonych warunkach może dojść do cofania się gazów w kierunku, w którym jest to niezamierzone i niebezpieczne.

Na **rys. 5** zaznaczone zostało m.in. zasilanie miejscowych par wentylatorów rewersyjnych i grzałek do tych wentylatorów. W tunelach występuje bowiem wysoka wilgotność powietrza, gdyż są one lokalizowane poniżej poziomu gruntu – pod rzekami, górami lub budynkami. Ponadto w okresie niskich temperatur może dochodzić do wykraplania się wilgoci w wentylatorach, dlatego powinny one być w odpowiedni sposób wygrzewane (osuszane).

Komunikacja pomiędzy wszystkimi centralami, czujnikami prędkości przepływu powietrza itd. powinna być realizowana w topologii pętlowej, aby w przypadku pojedynczej przerwy w torze transmisji możliwa była komunikacja z każdym elementem systemu sterowania i zasilania. W praktyce pętla komunikacyjna do ok. 3 km wykonywana jest przewodami „po miedzi”, natomiast w przypadku



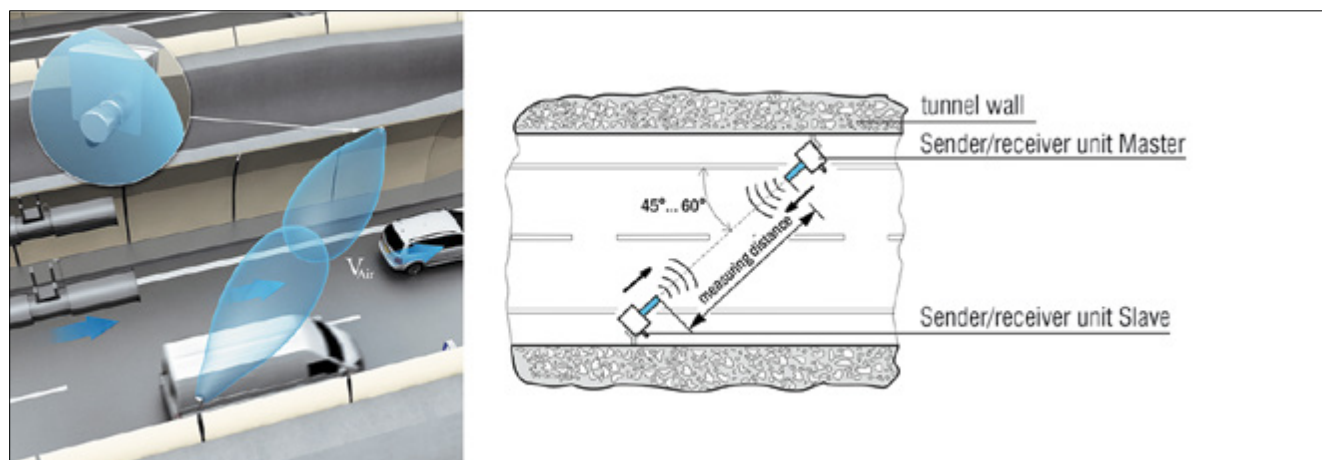
Rys. 6. Schemat instalacji zasilania i sterowania wentylacją pożarową w tunelu o długości ok. 2100 m. Opis: pętla światłowodowa – 7 km; dwa panele ręcznego sterowania (strażaka); cztery centrale w budynkach technicznych (z SZR) – wentylatory nawiewne, przepustnice, kurtyny powietrzne; dwadzieścia cztery centrale niszowe – pary wentylatorów strumieniowych (rewersyjnych) oraz ultradźwiękowe czujniki prędkości przepływu powietrza; zasilanie – połowa tunelu z budynku technicznego

Źródło: Neuron

większych odległości realizowana za pomocą protokołu światłowodowego, gdyż daje on szerokie możliwości – działa skutecznie, nawet gdy kolejne urządzenia dzieli 20 km, a jest ich łącznie aż 255. Między poszczególnymi centralami występują przeważnie odległości od 200 m do 1 km. Ten jeden kilometr to odległość do budynków technicznych, gdzie znajdują się panele ręcznego sterowania i monitoringu dla obsługi tunelu lub kierującego akcją ratowniczo-gaśniczą, o których mowa poniżej.

Na **rys. 6** znajduje się schemat systemu zasilania i sterowania w tunelu o długości ponad 2 km. Jest to system dużo bardziej rozbudowany, z większą liczbą urządzeń. W przypadku poprzednio opisywanego tunelu mieliśmy do czynienia z trzema czujnikami prędkości przepływu powietrza na nawę, tutaj jest ich aż dziewięć. Prędkość z pomiarów w tych czujnikach jest uśredniana – skrajne wartości są odrzucane. Algorytm sterowania nie bierze również pod uwagę pomiarów z czujników, które zgłaszają stan awaryjny oraz których pomiary odbiegają o ponad 0,5 m/s od pozostałych. Na rysunku widać, że panele dla kierującego akcją ratowniczo-gaśniczą znajdują się po każdej ze stron tunelu w budynkach obsługi technicznej. Układy zasilania central są redundantne. Połowa tunelu jest zasilana z jednej strony, a druga połowa ze strony drugiej. Dla takiego obiektu pętla światłowodowa między kolejnymi urządzeniami wynosi ok. 7 km. To bardzo duże odległości – w budynkach użyteczności publicznej maksymalna długość pętli komunikacyjnej wynosi ok. 1000 m (w przypadku obiektów o wysokości 200–250 m i rozbudowanej podstawie, jak np. Sky Tower we Wrocławiu).

W układzie sterowania i zasilania tunelu o długości ok. 2 km występują dwa panele ręcznego sterowania dla kierującego akcją ratowniczo-gaśniczą, cztery centrale główne w budynkach technicznych oraz 24 centrale niszowe. Centrale główne obsługują główne wentylatory nawiewne i klapy pożarowe tych wentylatorów oraz zasilają wszystkie centrale niszowe, które z kolei zasilają i sterują

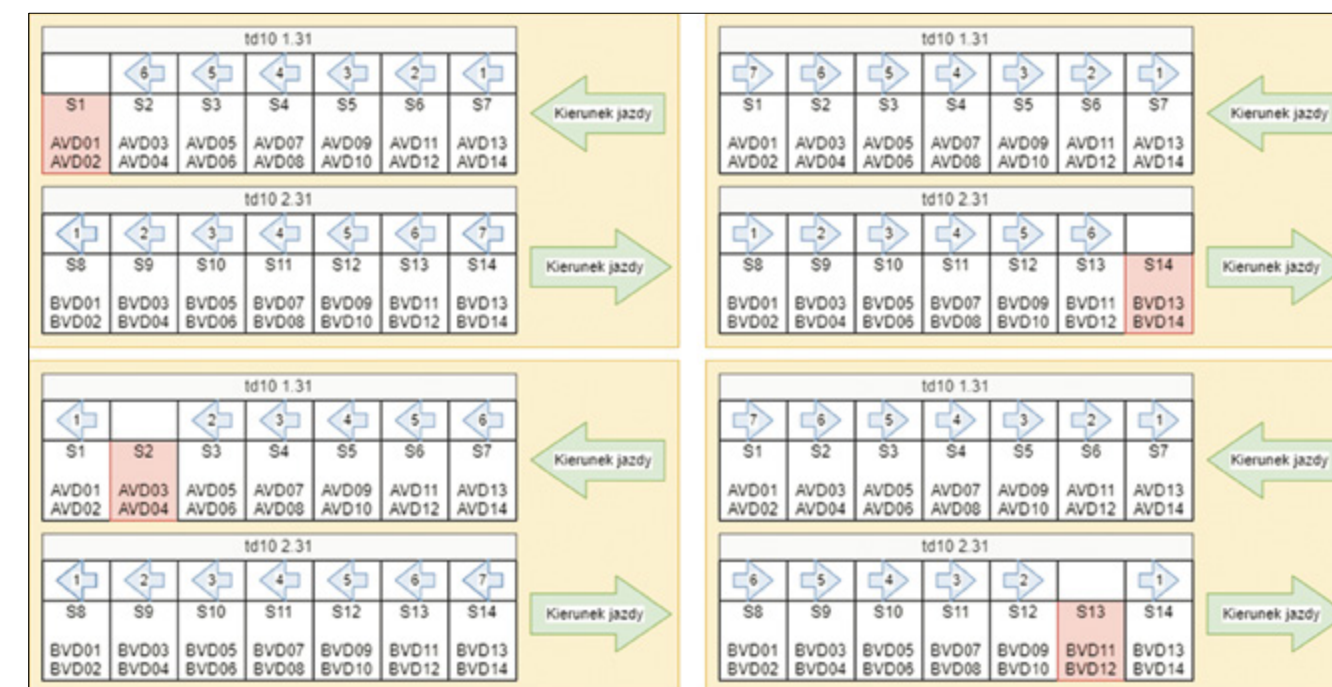


Rys. 7. Ultradźwiękowy czujnik prędkości przepływu powietrza w tunelu. Funkcje: obudowa – stal kwasoodporna, IP65; ultradźwiękowa metoda pomiaru prędkości przepływu powietrza; pomiar w zakresie od -20 do +20 m/s („-” oznacza kierunek przeciwny do ruchu pojazdów, „+” oznacza kierunek zgodny z ruchem pojazdów); urządzenie przebadane w CNBOP (element Centrali Sterująco-Zasilającej HT-X000)

Źródło: Neuron

parami wentylatorów strumieniowych rewersyjnych oraz nadzorują i zbierają informacje, a także zasilają ultradźwiękowe czujniki prędkości przepływu powietrza. Ultradźwiękowy czujnik przepływu (**rys. 7**) powietrza składa się z jednostki nadzorującej umiejscowionej w centrali sterująco-zasilającej urządzeń przeciwpożarowych. Posiada dwa sensory zamontowane pod kątem od 45 do 60 stopni i dysponuje sygnałami ultradźwiękowymi, które pozwalają określić prędkość i kierunek przepływu powietrza w tunelu.

Ze względu na szkodliwe i ciężkie warunki pracy w tunelach drogowych obudowa takich sensorów ultradźwiękowych wykonana jest ze stali kwasoodpornej i ma IP65. Pomiar wykonywany jest w zakresie od -20 do +20 m/s (minus oznacza kierunek przeciwny do kierunku ruchu pojazdów, a plus zgodny z tym kierunkiem) – jest to bardzo istotne dla algorytmu sterującego. Urządzenia te wykorzystywane są także w czasie pracy wentylacji pożarowej, będąc jednym z kluczowych elementów systemu. Dlatego powinny być wprowadzone do obrotu i stosowane w zakresie ochrony przeciwpożarowej w pierwszym systemie oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych. W rozporządzeniu dotyczącym wyrobów budowlanych wymieniono np. czujniki ciśnienia, które można badać, utworzyć dla nich krajową ocenę techniczną i certyfikować jako oddzielne urządzenia czy oddzielne wyroby budowlane. Natomiast czujników prędkości przepływu nie ma w rozporządzeniu



Rys. 8. Schematy działania wentylacji pożarowej w dwóch nawach tunelu drogowego z pożarem w strefie innej niż wjazdowa. Opis: brak uruchomienia pary wentylatorów najbliższej źródła pożaru; uruchomienie wentylatorów w nawie objętej pożarem zgodnie z kierunkiem ruchu; uruchomienie wentylatorów w nawie ewakuacyjnej zgodnie z wentylatorami w nawie objętej pożarem; regulacja prędkości przepływu powietrza w nawie objętej pożarem oraz w nawie ewakuacyjnej; T0 – alarm pożarowy; T1 – czas ewakuacji: prędkość 0 m/s < V1 < 1,5 m/s – konieczność hamowania występującego wiatru; T2 – czas zakończenia ewakuacji: prędkość 3 m/s < V2 < 6 m/s

Źródło: Neuron

i z tego powodu – w zgodzie z aktualnym prawem – powinny być one elementami innego systemu, np. centrali sterująco-zasilającej w tunelu.

Na **rys. 8** zilustrowane zostały schematy działania systemu wentylacji dla tunelu dwunawowego (każda nawa jest jednokierunkowa). W momencie wystąpienia zagrożenia pożarowego w którejkolwiek strefie nawy w czasie oddymiania powinno się załączyć tyle par wentylatorów, ile jest konieczne ze względu na utrzymanie wymaganej prędkości przepływu o odpowiednim kierunku. Sprawdzanie wartości prędkości przepływu odbywa się na bieżąco, a algorytm sterujący załącza lub wyłącza kolejny pary w celu utrzymania prędkości w wymaganych granicach. Natomiast w nawie ewakuacyjnej, aby nie doszło do podciągania i zasysania do niej dymu z nawy objętej pożarem, wentylatory powinny się włączyć w tym samym kierunku, w którym włączają się wentylatory w nawie objętej pożarem (w kierunku ruchu pojazdów) – sytuację tę ilustruje lewa górna część rys. 8. Ponieważ między nawami znajdują się przejścia i użytkownicy tunelu muszą się ewakuować z nawy objętej pożarem do sąsiedniej, nawa ewakuacyjna wymaga zabezpieczenia przed zassaniem dymu.

Ważne jest, aby nie nastąpiło uruchomienie wentylatorów znajdujących się najbliżej źródła pożaru, tam, gdzie strażacy muszą przystąpić do akcji gaśniczej. Praca wentylatorów w tym miejscu grozi bowiem rozwarstwieniem dymu i brakiem widoczności oraz dostępem do źródła pożaru.

Ważna jest regulacja wentylacji w czasie od 0 do T1, czyli od alarmu do końca ewakuacji. Może to trwać kilka minut i zależy od liczby dróg ewakuacyjnych do sąsiedniego tunelu, długości dojeżdż i długości tunelu. W tym czasie należy utrzymywać prędkość przepływu w zakresie od $-1,5$ do $1,5$ m/s (najlepiej od $-0,5$ do $0,5$ m/s). Czyli jeżeli nastąpi wykrycie pożaru, należy sprawdzić, jaka jest prędkość i kierunek przepływu powietrza i włączyć odpowiednią liczbę par wentylatorów we właściwym kierunku, tak aby ruch powietrza wyhamować, żeby dym nie był rozprawdany po całej długości tunelu, ale utrzymywał się w strefie objętej pożarem. Natomiast gdy następuje czas T2, czyli zakończenie ewakuacji, prędkość wentylacji w zależności od rozwiązania i długości tunelu oraz założeń projektowych powinna wynosić od 3 do 6 m/s. Czyli należy cały czas kontrolować, w którym kierunku odbywa się przepływ powietrza i jaką ma wartość, żeby załączyć odpowiednią liczbę par wentylatorów. System musi nadążnie sterować tymi wentylatorami w taki sposób, aby prędkość ta była utrzymywana. Warto pamiętać, że bezwładność systemu, czyli czas od włączenia pary wentylatorów do momentu osiągnięcia zamierzonego efektu w tunelu, wynosi ok. 1–1,5 min. Zatem zanim rozpędzimy albo wyhamujemy dany strumień powietrza w tunelu, minie ok. 1 min. Z tego wynika konieczność wykonania serii symulacji, które pomogą określić, ile par wentylatorów należy włączyć w razie wybuchu pożaru, aby skutecznie wyhamować ruch w zależności od wartości prędkości powietrza w tunelu, a następnie dołączać lub odłączać kolejne pary wentylatorów lub nie podejmować żadnych działań, gdy prędkość utrzymuje się w granicach projektowych. Nie

należy się sugerować zmianą bądź jej brakiem po kilku sekundach – w praktyce należy stosować interwały czasowe ok. 1–1,5 min.



Fot. 4. Próby dymowe w tunelu: a) w trakcie ewakuacji, b) w czasie pracy systemu oddymiania Źródło: Neuron



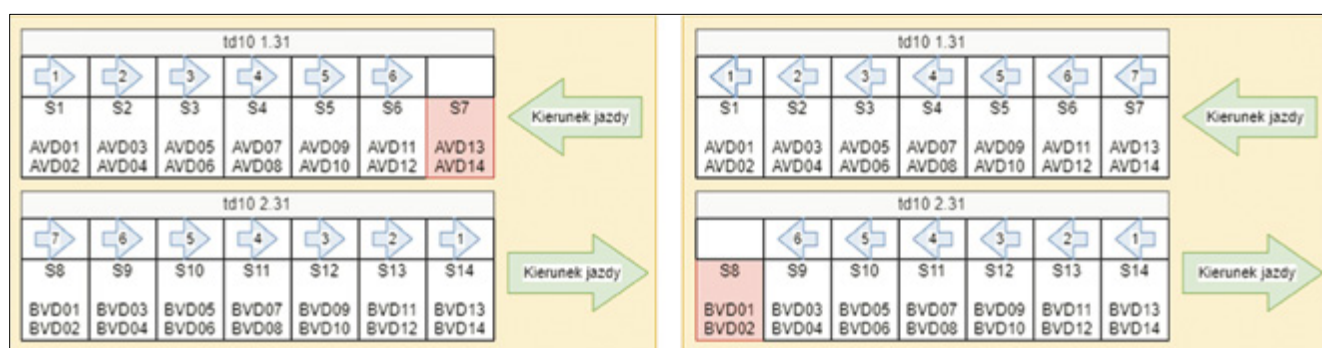
Fot. 5. Próby dymowe w tunelu drogowym – widoczne przemieszczanie się dymu po przejściu systemu w tryb akcji ratowniczo-gaśniczej Źródło: Neuron

Fot. 4 ilustruje próby dymowe w tunelu – widać, że w czasie przewidzianym na ewakuację dym utrzymuje się w strefie i nie występuje przepływ powietrza przez tunel (dym gromadzi się w miejscu objętym pożarem). Z kolei po ewakuacji, w czasie pracy systemu oddymiania dym przemieszcza się w kierunku od nawy wjazdowej do wyjazdowej.

Na **fot. 5** widać, że dym podgrzewany przez płomień z tą prędkością od 3 do 6 m/s. W czasie prób nie ma wysokiej temperatury i nie unosi się ku samej górze – migruje w dużej przestrzeni tunelu. Próba dymowa ma jednak za zadanie przede wszystkim sprawdzenie działania systemu wentylacji i kierunków przepływu w tunelu i niniejsza potwierdza jego skuteczność.

Wyjątkiem od zasady, że przy wentylacji wzdłużnej należy oddymiać tunel zawsze zgodnie z kierunkiem jazdy, jest sytuacja, kiedy pożar wybucha przy portalu wjazdowym (**rys. 9**).

Stosując zasadę, że oddymiamy zgodnie z kierunkiem poruszania się samochodów, trzeba byłoby przepychać dym i mieszaninę gazów pożarowych od portalu wjazdowego przez cały tunel do portalu wyjazdowego. Dlatego jeśli pożar wystąpi w tej strefie bądź w dwóch pierwszych strefach nawy przy portalu wjazdowym, kierunek przepływu ustala się jako przeciwny do kierunku jazdy



Rys. 9. Schemat działania wentylacji w przypadku pożaru w portalu wjazdowym

Źródło: Neuron



Fot. 6. Portal wjazdowy do nawy tunelu drogowego – oddymianie przeciwne do kierunku poruszania się samochodów daje najlepsze efekty

Źródło: Neuron

pojazdów. Dym i mieszanina gazów pożarowych mają wówczas najkrótszą drogę do opuszczenia tunelu. W nawie ewakuacyjnej wentylacja powinna pracować w tym samym kierunku co w nawie pożarowej, a więc tym razem kierunek wentylacji będzie w niej zgodny z kierunkiem jazdy samochodów. Chodzi o to, aby nie było możliwości zassania dymu z nawy objętej pożarem do nawy ewakuacyjnej. Na **fot. 6** pokazano portal wjazdowy do nawy tunelu drogowego. Widać, że oddymiając przeciwnie do kierunku poruszania się samochodów, osiągniemy najlepsze efekty.



Fot. 7. Panel sterowania

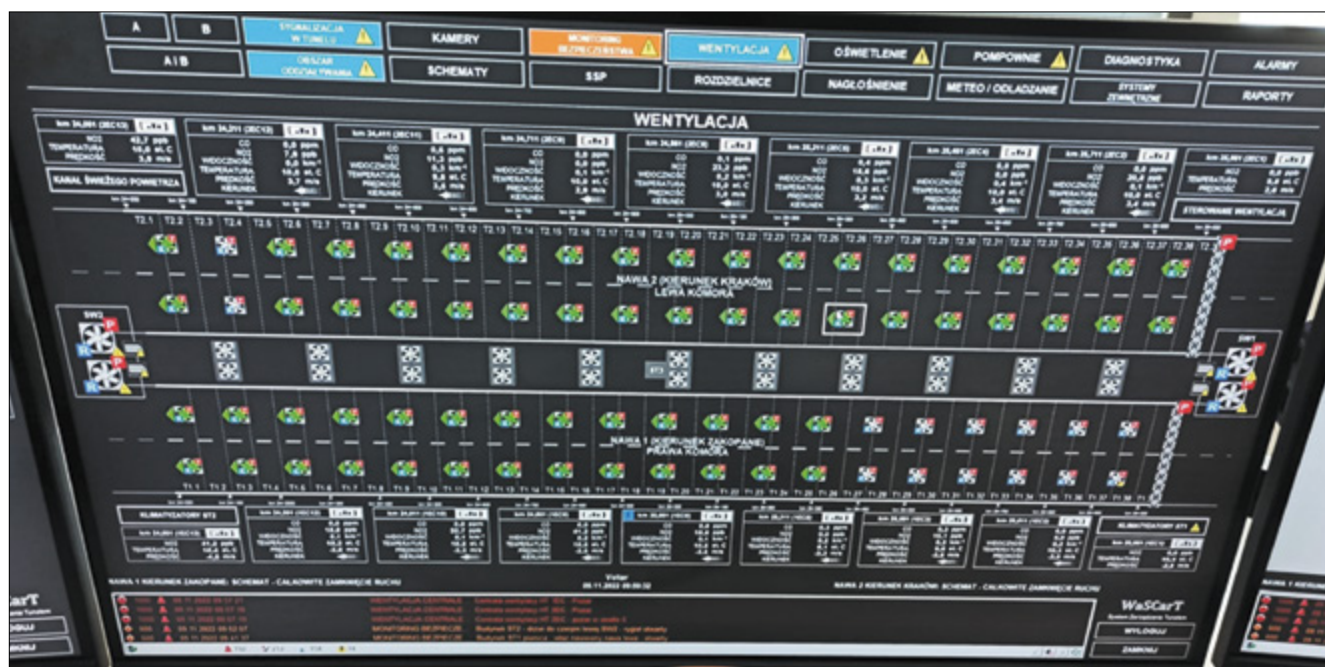
Źródło: Neuron

Istotnym elementem systemu jest panel obsługi dla straży pożarnej (**fot. 7**). Jest to również pełnowartościowa centrala sterująco-zasilająca urządzeń przeciwpożarowych. W przypadku tuneli o znacznej długości każda nawa powinna mieć swój panel dotykowy, z możliwością ręcznego sterowania wszystkimi elementami systemu (wentylatory, kłapy przeciwpożarowe), załączenia odpowiedniej strefy pożarowej, czyli wywołania akcji w odpowiedniej strefie lub zatrzymania danej nawy czy części systemu w celu ułatwienia akcji ratowniczej po zakończeniu akcji gaśniczej. Komunikacja z takim panelem powinna być pętlowa (ograniczenie możliwości utraty funkcji nadzoru i sterowania), wykonywana najczęściej w standardzie światłowodowym (ze względu na znaczne odległości tunelu od budynków obsługi technicznej). Panel powinien również zapewniać wizualizację pracy

wszystkich elementów systemu. Funkcje ręcznego sterowania powinny być zabezpieczone kodem dostępnym dla strażaka na poziomie drugim. Panel powinien mieć funkcje wyłączenia, załączenia, zmiany kierunku pracy każdej pary wentylatorów strumieniowych i głównych oraz otwarcia i zamknięcia przepustnic klap wentylatorów nawiewnych, a także zmiany kierunku przepływu nawy objętej pożarem oraz nawy ewakuacyjnej, wywołania konkretnego scenariusza pożarowego i resetu pożarowego (czy też blokady pracy systemu).

Przykładowo w jednym z tuneli podczas ćwiczeń służb ratowniczych, które przeprowadzono przed jego otwarciem, okazało się, że panel taki ma duże znaczenie, gdy jest zlokalizowany w pomieszczeniu obsługi, gdyż kierujący akcją ratowniczo-gaśniczą, obserwując sytuację na systemie monitoringu wizyjnego i termowizyjnego, mógł nadążnie ręcznie sterować pracą systemu wentylacji pożarowej w sytuacji, w której uznał to za konieczne – ułatwiając działania służb. Mając również kontakt z prowadzącymi akcję bezpośrednio w tunelu, mógł reagować na sugestie pochodzące z miejsca zdarzenia, gdzie zdecydowano o wyłączeniu wentylacji w nawie objętej pożarem w sytuacji usunięcia zagrożenia i oddymienia nawy, gdy pracujące wentylatory mogły utrudniać działania służb ratowniczych.

Fot. 8 przedstawia wizualizację w systemie BMS tunelu – widoczne są: nawa objęta pożarem, nawa ewakuacyjna oraz przejścia poprzeczne (ewakuacyjne). Załączyły się pary wentylatorów w nawie objętej pożarem (poza parą najbliższą miejsca pożaru) oraz pary wentylatorów strumieniowych w nawie ewakuacyjnej – z wyjątkiem sześciu par, aby w przypadku otwartego przejazdu w środku tunelu pomiędzy nawami utrzymany był kierunek przepływu powietrza z nawy ewakuacyjnej



Fot. 8. Panel z wizualizacją systemu wentylacji i jego elementów w systemie monitoringu i nadzoru tunelu
Źródło: Neuron

do nawy objętej pożarem i nie występował przepływ dymu z nawy objętej pożarem do nawy ewakuacyjnej, a w nawie ewakuacyjnej włączone są pary wentylatorów w odpowiednim kierunku. Widać wentylatory główne i przepustnice. W przejściach poprzecznych zastosowano nadciśnieniowy system zapobiegania zadymieniu, który utrzymuje wymagane nadciśnienie w przypadku drzwi zamkniętych lub wymagany przepływ w przypadku drzwi otwartych. Powietrze do nadciśnieniowego zabezpieczenia przejścia czerpane jest zawsze z nawy ewakuacyjnej.

Podsumowanie

Wentylacja tuneli to zadanie złożone i ważne jest, aby na etapie projektowania elementów i rozwiązań zarządzenia użytkowaniem i bezpieczeństwem tunelu przewidzieć wzajemne powiązania między poszczególnymi systemami obiektu, a na etapie wykonawstwa i prób, podczas uruchomień i odbiorów sprawdzić realizację przyjętych założeń i poprawność funkcjonowania elementów bezpieczeństwa i zastosowanych systemów zasilania i sterowania urządzeniami.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (DzU 2022, poz. 1518)
2. Materiały techniczne firm: Ardor, Neuron – Grupa TECH, Voltar System

Waldemar Joniec

Wymagania prawne i wytyczne dotyczące projektowania wentylacji w tunelach

Nad bezpieczeństwem użytkowników tuneli drogowych czuwają systemy detekcji dymu, temperatury i gazów, a nawet pracownicy centrum zarządzania monitorujący sytuację przez 24 godziny na dobę i 365 dni w roku. Na co dzień spotykamy się m.in. z zakazami wjazdu do tunelu, zmianami prędkości poruszania się w nim czy wyłączeniem pasów ruchu z powodu kolizji lub prowadzonych robót. Największym zagrożeniem w tunelu jest jednak pożar pojazdu i to na wypadek takiej sytuacji tworzone są systemy bezpieczeństwa, w tym wentylacji pożarowej, pozwalające przyspieszyć i usprawnić ewakuację oraz ułatwić działania ratowniczo-gaśnicze.

W Polsce mamy wbrew pozorom wiele tuneli drogowych, a powstają kolejne, także na drogach krajowych o dużym natężeniu ruchu. Postęp w wiedzy na temat wentylacji tuneli drogowych, jaki dokonuje się w wyniku jednostkowych zastosowań i doświadczeń z eksploatacji, a także dzięki symulacjom cyfrowym oraz wprowadzaniu do systemów bezpieczeństwa sztucznej inteligencji, wskazuje m.in., że można i warto zmieniać wymagania dla wentylacji w kwestii przyjmowania prędkości krytycznej. Poniżej przywołano najważniejsze krajowe regulacje prawne dotyczące wentylacji tuneli oraz wytyczne i zalecenia branżowe.

Podstawy prawne wentylacji w tunelach

Ważnym dla krajów UE dokumentem jest dyrektywa 2004/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa dla tuneli w transeuropejskiej sieci drogowej [1]. Wyznacza ona minimalny poziom bezpieczeństwa użytkowników dróg w tunelach dłuższych niż 500 m w europejskiej sieci drogowej. Zawiera ogólne regulacje dotyczące m.in. infrastruktury, geometrii tunelu, ogniotrwałości budowli i urządzeń, liczby naw i pasów ruchu, wentylacji, wymagań dla dróg ewakuacyjnych i wyjść awaryjnych oraz dostępu dla służb ratunkowych. Państwa członkowskie mają swobodę w zakresie określania powyższych wymagań.

W Polsce dyrektywę tę wdraża rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych [2]. Dział III tego dokumentu określa szczególne warunki dotyczące wentylacji tuneli. Zgodnie z nim tunel powinien być wyposażony w wentylację służącą do odprowadzania spalin emitowanych z pojazdów oraz

usuwania dymu i ciepła w przypadku pożaru. Wentylacja tunelu w normalnych warunkach użytkowania powinna zapewniać:

- odpowiednią wymianę powietrza – aby nie został przekroczony poziom stężeń zanieczyszczeń zagrażający przebywającym w tunelu użytkownikom;
- bezpieczeństwo i komfort jazdy – poprzez usuwanie emitowanych przez pojazdy zanieczyszczeń powietrza ograniczających jego przejrzystość oraz regulowanie ruchu i wymiany powietrza.

Wydajność wentylacji tunelu ustala się na podstawie wartości progowych stężeń tlenku węgla (CO) i ditlenku azotu (NO₂) w powietrzu w tunelu oraz przejrzystości powietrza wyrażonej współczynnikiem absorpcji K, które zostały podane w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości progowe stężeń tlenku węgla i ditlenku azotu w powietrzu w tunelu oraz przejrzystości powietrza wg [2]

Rodzaj ruchu pojazdów w tunelu	Stężenie tlenku węgla (CO)	Stężenie ditlenku azotu (NO ₂) ¹⁾	Przejrzystość powietrza – współczynnik absorpcji K
Płynny z prędkością 50–100 km/h	70 ppm	1,0 ppm	0,005 m ⁻¹
Codziennie utrudniony zatorami, zatrzymany na wszystkich pasach ruchu	70 ppm	1,0 ppm	0,007 m ⁻¹
Wyjątkowo ograniczony zator, zatrzymany na wszystkich pasach ruchu	100 ppm	1,5 ppm	0,009 m ⁻¹
Długotrwałe prace w tunelu	30 ppm	0,3 ppm	0,003 m ⁻¹

¹⁾ Średnie stężenie na całej długości tunelu.

Tunel z wentylacją mechaniczną powinien być wyposażony w urządzenia monitorujące jakość powietrza w tunelu i urządzenia służące do zamykania go dla ruchu, jeżeli:

1. stężenie CO przekroczy wartość 200 ppm;
2. stężenie NO₂ przekroczy wartość 4 ppm;
3. współczynnik absorpcji K przekroczy wartość 0,012 m⁻¹.

Wentylacja mechaniczna w tunelach powinna być uruchamiania i sterowana automatycznie za pomocą czujników monitorujących jakość powietrza w tunelu. Dopuszczalne stężenie, określone ułamkiem molowym tlenku azotu w powietrzu tunelu, wynosi 0,0025%. Dopuszczalne stężenie masowe sadzy w powietrzu tunelu wynosi 2 mg/m³.

Wentylacja tunelu służąca do usuwania dymu i ciepła powinna:

- usuwać dym z intensywnością gwarantującą, że w czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi z miejsc wystąpienia pożaru do miejsc bezpiecznych nie wystąpią zadymienie lub temperatura uniemożliwiająca bezpieczną ewakuację;
- uwzględniać bezpieczeństwo ekip ratowniczych;
- kontrolować rozprzestrzenianie się dymu i ciepła – w przypadku wentylacji mechanicznej.

Wydajność wentylacji tunelu, która służy do usuwania dymu i ciepła, ustala się przy uwzględnieniu mocy pożaru projektowego nie mniejszej, niż określono w **tabeli 2**.

Tabela 2. Moce pożaru projektowego służące do wyznaczania wydajności wentylacji tunelu w celu usuwania dymu i ciepła wg [2]

Rodzaj pojazdów dopuszczonych do ruchu w tunelu	Całkowita moc pożaru projektowego	Procent całkowitej mocy pożaru przekazywany do gazów pożarowych
Wyłącznie pojazdy o masie całkowitej nie większej niż 3,5 t	5 MW	73%
Pojazdy o masie całkowitej nie większej niż 15,0 t oraz autobusy niezależnie od masy całkowitej	30 MW	64%
Pojazdy o masie całkowitej nie większej niż 23,0 t	50 MW	64%
Pojazdy o masie całkowitej powyżej 23,0 t oraz pojazdy przewożące towary niebezpieczne	100–200 MW ¹⁾	64%
Pojazdy z cysternami przewożącymi paliwa płynne lub gazowe	100–300 MW ¹⁾	64%

¹⁾ Odpowiednią wartość całkowitej mocy pożaru ustala się w odniesieniu do ilości materiałów palnych oraz ich charakterystyki pożarowej.

Wentylację tuneli projektuje się w szczególności jako:

1. naturalną;
2. mechaniczną:
 - a) wzdłużną – z wzdłużnym przepływem powietrza na całej długości tunelu,
 - b) poprzeczną – z poprzecznym ruchem powietrza na całej długości tunelu,
 - c) półpoprzeczną – z poprzeczno-wzdłużnym lub wzdłużno-poprzecznym przepływem powietrza w tunelu.

Wentylację naturalną, działającą dzięki różnicy ciśnień między głowicami tunelu oraz w wyniku ruchu pojazdów, stosuje się w tunelu prowadzącym jezdnię:

- dwukierunkową – o długości nieprzekraczającej 500 m;
- jednokierunkową – o długości nieprzekraczającej 700 m.

Dopuszcza się zastosowanie wentylacji naturalnej w tunelu o długości większej niż 250 m pod warunkiem jednoznacznego potwierdzenia skuteczności jej działania w analizie ryzyka. Obejmuje ona w szczególności analizę numeryczną skuteczności działania tego rodzaju wentylacji przy uwzględnieniu co najmniej następujących uwarunkowań tunelu: nachylenia terenu, warunków topograficznych i klimatycznych, rodzaju ruchu pojazdów, przewozu towarów niebezpiecznych, scenariuszy pożarowych oraz strategii ewakuacji.

Zakres stosowania systemów **wentylacji mechanicznej**, działającej dzięki wymuszaniu przepływu powietrza wzdłuż lub w poprzek osi tunelu, określa **tabela 3**. Wentylację mechaniczną wzdłużną

lub półpoprzeczną można zastosować w tunelu o długości większej, niż określono w tabeli, prowadzącym jezdnię dwukierunkową lub w tunelu z dużym natężeniem ruchu jednokierunkowego, jeżeli spełniony jest co najmniej jeden z poniższych warunków:

- takie rozwiązanie jednoznacznie dopuszcza sporządzona analiza ryzyka, która obejmuje w szczególności analizę numeryczną skuteczności działania tego rodzaju wentylacji przy uwzględnieniu co najmniej następujących uwarunkowań tunelu: nachylenia, warunków topograficznych i klimatycznych, rodzaju ruchu pojazdów, przewozu towarów niebezpiecznych, scenariuszy pożarowych oraz strategii ewakuacji;
- przewidziano podjęcie szczególnych środków, takich jak: stosowne zarządzanie ruchem, krótsze odległości do wyjść awaryjnych lub punkty odprowadzające dym w odpowiednich odstępach wynikających z analizy ryzyka.

Tabela 3. Zakres stosowania systemów wentylacji mechanicznej wg [2]

System wentylacji mechanicznej	Długość tunelu	
	prowadzącego jezdnię dwukierunkową	o oddzielnych konstrukcjach dla różnych kierunków ruchu
Wzdłużnej	nie większa niż 1000 m	nie większa niż 3000 m
Półpoprzecznnej	większa niż 250 m, ale nie większa niż 1000 m	większa niż 250 m, ale nie większa niż 1000 m
Poprzecznej	większa niż 1000 m	większa niż 1000 m

Wentylacja mechaniczna wzdłużna powinna zapewniać możliwość wytworzenia takiej prędkości przepływu powietrza w tunelu, przy której nie następuje cofanie się dymu w kierunku przeciwnym do założonego, przy czym wartość tej prędkości w przypadku pożaru powinna być nie niższa niż 1,5 m/s, o ile z obliczeń prędkości krytycznej nie wynika wartość wyższa.

Wentylacja mechaniczna poprzeczna, z poprzecznym ruchem powietrza na całej długości tunelu, działająca w wyniku różnicy ciśnień w kanałach umieszczanych wzdłuż tunelu, wymaga umieszczenia otworów:

- do doprowadzenia powietrza – w dolnej części tunelu, na wysokości kół pojazdów;
- do odprowadzenia powietrza – w części stropowej; dopuszcza się rezygnację z kanałów odprowadzających i usuwanie zużytego powietrza przez głowice tuneli lub pośrednie szyby wywiewne.

Wentylacja mechaniczna poprzeczna i wentylacja mechaniczna półpoprzeczna zastosowane w tunelu prowadzącym jezdnię dwukierunkową i posiadającym centrum kontroli powinny posiadać:

- klapy przeciwpożarowe w systemie wentylacji usuwania dymu i ciepła, które mogą być obsługiwane oddzielnie lub grupowo;
- możliwość monitorowania wzdłużnej prędkości przepływu powietrza i sterowania nią poprzez odpowiednią regulację przepustnic i wentylatorów systemu wentylacji.

Prędkość przepływu powietrza w tunelu z wentylacją mechaniczną powinna być nie większa niż 10 m/s.

Przejścia poprzeczne powinny być wyposażone w urządzenia zapobiegające ich zadymieniu. Wentylatory służące do usuwania dymu i ciepła powinny posiadać klasę F, określoną zgodnie z polską normą dotyczącą wymagań dla wentylatorów oddymiających, wynikającą z obliczeniowej temperatury dymu, przy czym klasa ta nie powinna być mniejsza niż F400 120. Wentylatory wywiewne we wszystkich systemach wentylacyjnych powinny być chłodzone lub przystosowane do pracy w podwyższonej temperaturze.

W tunelu z wentylacją mechaniczną poprzeczną kanały świeżego i zużytego powietrza oddziela się przegrodami z materiałów lub wyrobów budowlanych co najmniej klasy A2, d0 reakcji na ogień, o klasie odporności ogniowej ze względu na szczelność ogniową (E) i dymoszczelność (S) co najmniej ES 120, zgodnie z polską normą dotyczącą klasyfikacji ogniowej wyrobów budowlanych.

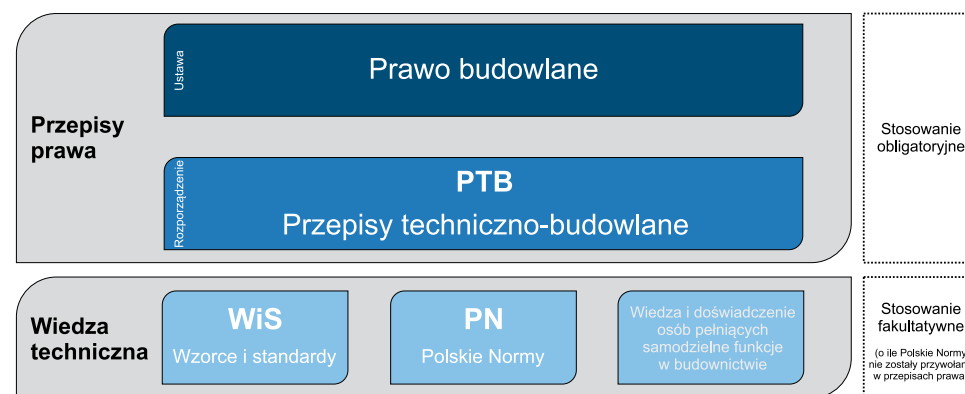
Standardy międzynarodowe i normy katalogu PKN

Powszechnie uznawanym standardem technicznym w zakresie wentylacji oraz wentylacji pożarowej tuneli jest NFPA 502 *Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways*. Dokument ten określa wymagania dotyczące ochrony przeciwpożarowej i bezpieczeństwa pożarowego dla autostrad oraz tuneli drogowych i mostów.

Ważną normą określającą wymagania dla systemów detekcji gazów wymaganych do sterowania wentylacją w tunelach jest PN-EN 50545-1:2012 (wersja angielska) *Elektryczne przyrządy do wykrywania i pomiaru gazów toksycznych i palnych w garażach oraz w tunelach. Część 1: Podstawowe wymagania funkcjonalne i metody badań dotyczące wykrywania i pomiaru tlenku węgla oraz tlenków azotu i zmiany do niej w PN-EN 50545-1:2012/A1:2016-06 (wersja angielska).*

Wytyczne Ministerstwa Infrastruktury

Od maja 2021 r. przy Ministrze Infrastruktury działają ciała doradcze w zakresie wzorców i standardów (WiS). Ich zadaniem jest doskonalenie WiS przez Komitety Techniczne, w tym: wskazywanie obszarów tematycznych i zakresów opracowania nowych WiS, wskazywanie obszarów tematycznych



Rys. 1. Wymagania techniczne w drogownictwie [3]

i zakresów zmian w rekomendowanych WiS, opiniowanie dokumentów w obszarze WiS. Prace toczą się w ramach: Komitetu Technicznego Drogownictwa (KTD), Komitetu Technicznego Mostownictwa (KTM) oraz Komitetu Technicznego Cyfryzacji Drogownictwa i Mostownictwa (KTC). Opinia Komitetu Technicznego jest przedkładana ministrowi infrastruktury przed podjęciem decyzji o rekomendowaniu danego opracowania do stosowania na podstawie ustawy o drogach publicznych.

Podstawą prawną dla ministra właściwego do spraw transportu do wydawania, rozpowszechniania oraz rekomendowania wzorców i standardów (WiS) dotyczących przygotowania inwestycji w zakresie dróg publicznych, budowy, przebudowy, remontu oraz utrzymania i ochrony jest art. 17 ust. 3 ustawy o drogach publicznych. WiS są przeznaczone do dobrowolnego stosowania. Nie stanowią obligatoryjnych przepisów techniczno-budowlanych w rozumieniu Prawa budowlanego oraz nie zwalniają osób wykonujących samodzielne funkcje techniczne w budownictwie z odpowiedzialności zawodowej. Projekty zgodne z wytycznymi określonymi w WiS nie powodują automatycznego spełnienia obowiązków wynikających z Prawa budowlanego. Rekomendowane są w nich jednak metody spełnienia obligatoryjnych wymagań funkcjonalno-technicznych określonych w przepisach. Jeśli projektant uzna, że inne rozwiązanie gwarantuje spełnienie wymagań przepisów budowlanych, to może je zastosować. W każdym przypadku odpowiedzialność za przyjęte rozwiązania ponosi projektant. WiS nie zastępują ani nie konkurują z polskimi normami – są ich uzupełnieniem, zwłaszcza w obszarach dotychczas nieobjętych normalizacją. Dostęp do WiS jest bezpłatny na stronie Ministerstwa Infrastruktury [3].

Celem WiS jest wspomaganie projektantów, zarządców dróg i całej administracji drogowej, organów administracji architektoniczno-budowlanej i nadzoru budowlanego oraz wykonawców w ich codziennej pracy, poprzez zapewnienie dostępu do najnowszej, aktualnej, sprawdzonej i jednoznacznie sformułowanej wiedzy technicznej w drogownictwie. Proces powstawania WiS jest ciągły. Składają się one z serii opracowań, które podzielono na trzy podstawowe grupy:

1. WR-D – wytyczne rekomendowane dotyczące dróg (tzw. drogowe),
2. WR-M – wytyczne rekomendowane dotyczące drogowych obiektów inżynierskich (tzw. mostowe lub obiektowe),
2. BIM – wzorce i standardy dotyczące modelowania informacji o budowaniu (Building Information Modeling) dotyczące dróg (BIM-D) i drogowych obiektów inżynierskich (BIM-M).

Z zagadnieniami bezpieczeństwa i pożarowymi wentylacji w tunelach związane są:

- WR-M-41 *Wytyczne projektowania zabezpieczeń przeciwpożarowych drogowych obiektów inżynierskich* [4],
- WR-M-42 *Wytyczne projektowania wentylacji drogowych tuneli* [5].

Pierwsze zawierają m.in.: wymagania dotyczące ochrony przeciwpożarowej dla tuneli, w tym ocenę zagrożenia pożarowego, podział i wielkości stref pożarowych w tunelu, dopuszczalne

powierzchnie stref pożarowych, warunki i strategie ewakuacji ludzi z tunelu lub ich uratowania w inny sposób. W kwestii scenariusza pożarowego tunelu informują, że powinien on zostać uzgodniony z rzeczoznawcą ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych. Elementem składowym scenariusza powinna być tablica operacyjna sterowań, opracowana w formie zestawienia tabelarycznego z uwzględnieniem wszystkich urządzeń i elementów poszczególnych instalacji technicznych sterowanych za pomocą systemu sygnalizacji pożaru. Matryca powinna określać stan położenia poszczególnych elementów instalacji i urządzeń mających wpływ na zabezpieczenie przeciwpożarowe w przypadku wykrycia pożaru (ze zróżnicowaniem na alarm I i II stopnia).

Wytyczne WR-M-41 zawierają też informacje o urządzeniach przeciwpożarowych i innych elementach służących bezpieczeństwu pożarowemu w tunelu: systemie sygnalizacji pożaru, stałych urządzeniach gaśniczych, elementach zaporowych, oświetleniu ewakuacyjnym i oznaczeniu dróg ewakuacyjnych, a także kanalizacji i hydrantach, zasilaniu energetycznym, szczególnych wymaganiach w zakresie zasilania systemu wentylacji, a także przygotowaniu tunelu i terenu do prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych.

W kwestiach wentylacji pożarowej odsyłają one do wytycznych WR-M-42 [5]. Opracował je zespół w składzie: Janusz Rymsza, Ewa Sztarbała i Grzegorz Sztarbała. Wytyczne zawierają zasady projektowania systemów wentylacji tuneli drogowych, oceny skuteczności działania przyjętych rozwiązań projektowych za pomocą symulacji komputerowych (CFD) oraz wymagania w zakresie metodyki wykonania i prowadzenia testów odbiorczych i okresowych.

Zakres wytycznych obejmuje projektowanie systemów wentylacji tuneli drogowych o długości przekraczającej 250 m, znajdujących się w ciągach dróg publicznych, w tym w transeuropejskiej sieci drogowej. Określają minimalne wymagania dotyczące systemów wentylacji w celu kontrolowania poziomu zanieczyszczeń wpływających na poziom bezpieczeństwa użytkowników tunelu w warunkach normalnej eksploatacji oraz zapewnienia możliwości ewakuacji i wspomagania działań ratowniczo-gaśniczych w warunkach pożaru. Wytyczne można stosować w procesie projektowania, rozbudowy lub przebudowy tuneli drogowych. Zawarte w nich wymagania w odniesieniu do systemów wentylacji tuneli są zgodne z dyrektywą 2004/54/WE [1].

Wytyczne zawierają definicje, objaśnienia skrótów i symboli. Szczegółowo omawiają systemy wentylacji tuneli, w tym wymagania ogólne i zakres stosowania oraz wentylację naturalną, mechaniczną, wzdłużną, poprzeczną, półpoprzeczną. Podają wskazówki dotyczące wymiarowania systemów wentylacji w warunkach normalnej eksploatacji oraz w warunkach pożaru, wentylacji dróg ewakuacji z tunelu w warunkach pożaru oraz wymagań dla elementów systemów wentylacji przeznaczonych do pracy w warunkach pożaru. Zawarto w nich kryteria oceny skuteczności funkcjonowania rozwiązań projektowych w warunkach pożaru za pomocą symulacji komputerowych, a także testów odbiorczych i okresowych systemów wentylacji mechanicznej. W załączniku do wytycznych

podano dane wejściowe do wymiarowania systemów wentylacji tuneli drogowych w warunkach normalnej eksploatacji, w tym m.in. wielkości emisji z pojazdów.

Wytyczne GDDKiA

Zarządzeniem Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 23 czerwca 2021 r. powołany został zespół ds. standaryzacji wymagań na etapie projektowania, realizacji, utrzymania i zarządzania tunelami. Opracował on m.in. zestaw dokumentów wykorzystywanych w postępowaniu przetargowym na bieżące utrzymanie tuneli. Wytyczne zobowiązują wykonawcę, na etapie opracowywania projektu i dokumentacji bezpieczeństwa, do oceny zagrożeń z uwzględnieniem prognozy ruchu i analizy ryzyka wypadków. Podają też wskazówki dotyczące obsady centrum zarządzania tunelem oraz automatycznego systemu gaszenia pożaru. Zespół pracuje m.in. nad ujednoliceniem Warunków wykonania i odbioru robót budowlanych (WWiORB) dla inwestycji tunelowych oraz systemów sterowania ruchem. Podejmie również działania związane z wdrożeniem technologii BIM (Building Information Modeling) do zadań tunelowych.

Zespół tunelowy w GDDKiA pracuje od 2021 roku nad dokumentem zawierającym wymagania dotyczące projektowania tuneli drogowych w ciągu dróg leżących w zakresie kompetencji Dyrekcji. Z tych względów zaleca, aby rozwiązania zawarte w projekcie, przeprowadzane obliczenia i symulacje przyjmować i wykonywać z założeniem, że do tunelu dopuszczony jest całodobowy wjazd pojazdów transportujących materiały niebezpieczne (kategoria ADR tunelu: A), i wentylację projektować z uwzględnieniem mocy pożaru wynoszącej 100 MW, a ilości dymu i gazów pożarowych min. 200 m³/s. Wytyczne obejmują ponad 70 stron zaleceń, w których określono wymagania m.in. w zakresie wentylacji i systemów przeciwpożarowych. Projekt jest od lipca 2023 r. publicznie dostępny na stronie GDDKiA [6]. Do końca września 2023 r. można było zgłaszać do niego uwagi.

W projekcie wytycznych GDDKiA [7] znalazł się m.in. rozdział pt. „System wentylacji wraz z instalacją pomiarową”. Zawarto w nim wymaganie, że wentylacja ma zapewnić bezpieczną eksploatację tunelu oraz w szczególności wymianę powietrza w stopniu powodującym obniżenie szkodliwych koncentracji zanieczyszczeń gazowych, pyłowych i dymów w powietrzu do poziomu dopuszczonego przez odpowiednie przepisy lub inne wymagania (np. medyczne). Ma także zapewnić dobrą widoczność oraz korzystne warunki klimatyczne, m.in. poprzez regulację prędkości i temperatury powietrza. Jej zadaniem jest umożliwienie sprawnej ewakuacji użytkowników w razie wystąpienia pożaru i sprawnego prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych.

Wentylację bytową należy projektować z uwzględnieniem wszystkich stanów użytkowania – od płynnego ruchu po zator w tunelu. Należy przeanalizować i uwzględnić w projekcie, obliczeniach i symulacjach możliwość skutecznej pracy przyjętego systemu wentylacyjnego i utrzymania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa w tunelu. Kierunek działania wentylacji pożarowej w obszarze

objętym pożarem ma być zgodny z kierunkiem jazdy samochodów. Wyjątkiem może być sytuacja, gdy ognisko pożaru jest usytuowane w bezpośrednim sąsiedztwie portalu wjazdowego. Prędkość powietrza w tunelu nie może przekroczyć 10 m/s, gdyż uniemożliwi skuteczną ewakuację ludzi ze względu na opór powietrza. Powinny zostać wykonane obliczenia i symulacje oraz analizy wyników m.in. dla obliczeń numerycznych i symulacji czasów ewakuacji osób z tunelu, przy czym średnia prędkość czasu ewakuacji dla pieszego ma wynosić maks. 0,9 m/s.

Komputerowa analiza rozprzestrzeniania się dymu i ciepła w tunelu powinna być przeprowadzona w odniesieniu do największej całkowitej mocy pożaru projektowego, przy założeniu najbardziej niekorzystnych lokalizacji źródła pożaru w tunelu. W symulacjach rozprzestrzeniania się dymu i ciepła należy uwzględniać najbliższe otoczenie portali tunelu, w tym oddziaływanie wiatru z najbardziej niekorzystnego kierunku (może ono zostać określone na podstawie danych meteorologicznych dla danego obszaru). Konieczne jest przeprowadzenie kompletnych obliczeń z uwzględnieniem różnicy i prędkości wiatrów, uwarunkowań wynikających z lokalizacji oraz ukształtowania terenu i możliwej różnicy ciśnień na wlotach. Praca wentylatorów strumieniowych w czasie normalnej eksploatacji ma zapewnić użytkownikom tunelu odpowiednią jakość powietrza. W celu oceny skuteczności działania systemów wentylacji bytowej należy przeprowadzić obliczenia numeryczne oraz symulacje komputerowe emisji zanieczyszczeń w postaci CO, NO_x i sadzy. Wytyczne zawierają szczegółowe wymagania dotyczące oceny skuteczności funkcjonowania rozwiązań projektowych w warunkach pożaru, czyli symulacji komputerowych, jakie powinien przeprowadzić wykonawca.

Systemy bezpieczeństwa a czynnik ludzki w czasie zagrożenia

Ciekawe spostrzeżenia na temat zachowań ludzi w tunelach wynikają z badań dr inż. Natalii Schmidt-Polończyk z Wydziału Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie [8]. Użytkownicy nie wiedzą, jak się zachować w tunelu, kiedy konieczna jest ewakuacja – powinien to być element szkolenia kandydatów na kierowców. Ludzie giną w tunelach nie od ognia, ale z braku tlenu i nadmiaru toksycznych gazów.

W opisywanym eksperymencie ok. 60 studentów (niepoinformowanych, że biorą udział w badaniu) jechało autokarem przez 700-metrowy tunel, w którym wyjścia ewakuacyjne znajdowały się co 170 m. Autobus po wjechaniu do tunelu napotkał zasymulowany pożar z zimnym dymem i się zatrzymał. Zachowania studentów były podobne do zachowań ofiar rzeczywistych pożarów – pomimo że system alarmowy bezzwłocznie się uruchomił i wzywał użytkowników tunelu do natychmiastowego skierowania się do wyjścia ewakuacyjnego, studenci pozostawali wewnątrz pojazdu, uznając go za bezpieczny. Dopiero po pewnym czasie, biorąc przykład z jednej osoby, zdecydowali się na ewakuację i podążali za liderem do wyjścia ewakuacyjnego – widocznego, gdyż zadymienie było jeszcze niewielkie.

Celem kolejnego eksperymentu było sprawdzenie, jak szybko przebiegnie ewakuacja w warunkach dużego zadymienia i czego uczestnicy nauczyli się poprzednim razem. W trzecim etapie zadaniem studentów była jak najszybsza ewakuacja – stwierdzono, że w zadymionym tunelu ludzie poruszają się o blisko 70% wolniej niż w niezadymionym. W czwartym eksperymencie studenci byli pewni, że nic już ich nie zaskoczy – wjechali do tunelu z zamkniętymi oczami, autokar zatrzymał się o 100 m dalej niż poprzednio, a widoczność nie przekraczała ok. 0,5 m. W tych warunkach uczestnicy rozproszyli się na małe grupki i poruszali, trzymając się rąk lub pleców kolegów. Stracili orientację i nie trafili do wyjścia ewakuacyjnego, tylko skierowali w stronę pożaru. Studenci zauważyli, że w sytuacji bardzo dużego zadymienia dużą barierą był dla nich krawężnik, który gdyby był mocno podświetlony, byłby dobrym drogowskim wskazem w trakcie ewakuacji.

Systemy detekcji na potrzeby wentylacji mechanicznej w tunelach

Wentylacja mechaniczna stosowana jest w większości tuneli o długości przekraczającej 250 m. Dyspozycja dotycząca włączenia wentylatorów lub zwiększenia wymiany powietrza w tunelu wypływa z odczytu systemu pomiaru zanieczyszczeń powietrza – obowiązkowych pomiarów CO oraz NO_x, a także detektorów przejrzystości powietrza (głównie spaliny, w tym sadze, również mgła). CO i NO₂ stanowią duże zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi już w niskich stężeniach. Z kolei CO₂ jest niebezpieczny tylko w bardzo dużych stężeniach i przy ok. 30 tys. ppm powoduje dwukrotne przyspieszenie oddechu, wzrost ciśnienia krwi i pulsu, a w zakresie od ponad 50 tys. do 100 tys. ppm – utrudniony oddech, zaburzenie widzenia i utratę przytomności. Podczas normalnej eksploatacji tunelu może się zdarzyć, że monitorowane emisje CO i NO_x są niskie, a niemonitorowany poziom CO₂ wysoki, gdyż nowoczesne silniki spalinowe mają katalizatory lub układy z mocznikiem redukujące dwutlenek węgla. A to może oznaczać, że system wentylacji nie zwiększy swojej wydajności.

W czasie pożaru system wentylacji odpowiada za bezpieczeństwo ludzi w tunelu i jego zadaniem jest zapewnienie bezpiecznych, niezadymionych dróg ewakuacyjnych. Zadanie to realizowane jest na podstawie dużej liczby danych z wielu detektorów, w tym danych meteorologicznych. W tunelu znajdują się także instalacje detekcji pożaru – czujniki pożaru (dymu) oraz liniowe czujniki temperatury, a także punktowe czujniki temperatury lokalizowane w miejscach newralgicznych, takich jak wentylatornie. Ze względów bezpieczeństwa systemy te są redundantne (zdublowane). Stosowane są też systemy wizyjne, a nawet stały nadzór. Wszystkie dane są na bieżąco gromadzone i analizowane, co wymaga odpowiednich technologii ich przetwarzania. Na podstawie tych danych oraz miejsca, rodzaju i wielkości zagrożenia pożarowego przyjmowany jest do realizacji scenariusz pożarowy. Jakość danych jest bardzo ważna, a zależy zarówno od jakości samych detektorów, jak i central je integrujących.

Na rynku dostępne są nowoczesne centrale cyfrowe spełniające surowe normy bezpieczeństwa dla systemów detekcji w garażach i tunelach. Wyposażane są w opcje dodatkowe, aby można je było dopasować do danego obiektu i jego funkcji. Obsługują po kilkadziesiąt detektorów i korzystają ze standardowych technik komunikacji oraz zarządzania. Progi alarmowe mogą być ustawiane na wiele sposobów, w tym w oparciu o przepisy dotyczące danego obiektu.

Bardzo ważna jest autodiagnostyka wskazująca ewentualne nieprawidłowości za pomocą czytelnych kodów błędów oraz umożliwiającą precyzyjną lokalizację i usunięcie problemu. Konstrukcja detektorów powinna umożliwiać łatwą wymianę elementów detektora. Sensory mogą być indywidualnie adresowane. Sposobu rozmieszczenia detektorów w instalacji detekcji gazów w tunelu nie regulują przepisy – wymagana jest tu wiedza i doświadczenie projektanta. Przepisy określają tylko główne parametry pomiarowe i funkcje oraz sposób przesyłania danych.

Tunele to obiekty pracujące w trybie ciągłym, wymagające prowadzenia bieżącej oceny stanu technicznego urządzeń. Operator zobowiązany jest do utrzymania urządzeń wentylacji i instalacji detektorów w pełnej sprawności technicznej i użytkowej, zapewniającej prawidłową pracę wentylatorów, czujników gazów i automatyki. Usuwanie awarii urządzeń wentylacji i detektorów powinno być łatwe oraz odbywać się bez zwłoki. Systemy wentylacji i detekcji można wyposażać w funkcjonalność wizualizacji i monitoringu z podłączeniem do systemu nadrzędnego, z którego możliwe jest sterowanie i monitoring instalacji oddymiania dla każdej grupy wentylatorów.

SUG zwiększające bezpieczeństwo

Wyniki testów oraz analiza działania systemów gaśniczych w trakcie rzeczywistych pożarów w tunelach wskazują, że stałe urządzenia gaśnicze wodne stosowane w celu ograniczenia, a nawet minimalizacji zasięgu pożaru i tempa jego wzrostu mogą znacznie zwiększyć bezpieczeństwo osób ewakuowanych oraz efektywność i skuteczność działań ekip ratowniczych. Umożliwiają one jednostkom straży pożarnej dotarcie w pobliże źródła pożaru i jego szybkie dogaszenie.

Literatura

1. Dyrektywa 2004/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa dla tuneli w transeuropejskiej sieci drogowej (Dz.Urz. UE L 167 z 30.04.2004)
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (DzU 2022, poz. 1518)
3. Wymagania techniczne w drogownictwie rekomendowane przez Ministerstwo Infrastruktury, <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/wymagania-techniczne-w-drogownictwie> (dostęp: 4.03.2024)
4. WR-M-41 Wytyczne projektowania zabezpieczeń przeciwpożarowych drogowych obiektów inżynierskich (wersja), <https://www.gov.pl/attachment/d3af6aa9-f083-4504-922d-2edae5337c2d> (dostęp: 4.03.2024)
5. WR-M-42 Wytyczne projektowania wentylacji drogowych tuneli <https://www.gov.pl/attachment/8851e833-ce59-4b3d-9d94-3297a143ec5a> (dostęp: 4.03.2024)

6. Informacja o pracach nad projektem wytycznych GDDKiA zawierających potrzeby i wymagania dla projektowania tuneli drogowych, <https://www.gov.pl/web/gddkia/konsultujemy-wymagania-dla-tuneli-drogowych> (dostęp: 4.03.2024)
7. Projekt wytycznych GDDKiA zawierających opis potrzeb i wymagań dla projektowania tuneli, <https://www.gov.pl/attachment/fbe6bb49-d609-48df-a6c8-318c48a44d78> (dostęp: 4.03.2024)
8. *Jak się zachowywać w tunelach, żeby nie zginąć? Ekspertka wyjaśnia*, Natalia Schmidt-Polończyk w rozmowie z Onet.pl, <https://www.onet.pl/turystyka/onetpodroze/jak-sie-zachowywac-w-tunelach-zeby-nie-zginac-ekspertka-wyjasnia/sdn2dfb,07640b54> (dostęp: 4.03.2024)
9. Zapala Robert, *Systemy zasilania i sterowania wentylacją pożarową w tunelach drogowych*, „Rynek Instalacyjny” 1–2/2023, www.rynekinstalacyjny.pl
10. Król Małgorzata, Król Aleksander, *Modelowanie systemów wentylacji tuneli drogowych*, „Rynek Instalacyjny” 12/2018, www.rynekinstalacyjny.pl
11. Mazur Piotr, Kulewski Dariusz, *Wentylacja pożarowa dróg ewakuacyjnych w tunelach. Przykłady wykorzystania systemu FRANEC RC*, „Rynek Instalacyjny” 11/2022

ALTER S.A.

ul. Pocztowa 13, 62-080 Tarnowo Podgórne

tel./fax: +48 61 814 65 57, 814 71 49, 814 62 90

e-mail: alter@altersa.pl, www.altersa.pl



Tu może znaleźć się Twój wpis w Katalogu firm