

WENTYLACJA POŻAROWA W BUDYNKACH

zagadnienia szczegółowe



Paweł Sulik,
Instytut Techniki Budowlanej,
Szkoła Główna Służby Pożarniczej



Wojciech Węgrzyński,
Instytut Techniki Budowlanej

Część 2

W pierwszej części cyklu (1) omówiono podstawowe wymagania i opisano systematykę związaną z wentylacją pożarową stosowaną w budynkach. Natomiast w jego drugiej części, w poniższym artykule, skoncentrowano się na opisie zabezpieczenia dróg ewakuacyjnych przed zadymieniem, ocenie kryteriów skuteczności funkcjonowania systemów wentylacji pożarowej i zastosowaniu narzędzi inżynierskich wykorzystywanych przy ocenie na etapie projektowania poszczególnych rozwiązań wentylacji pożarowej.

Jednym z istotniejszych wymagań stawianych budynkom jest takie ich zaprojektowanie i wykonanie, żeby w przypadku wystąpienia zagrożenia pożarem zapewniły możliwość ewakuacji ludzi znajdujących się w budynku, co jest szczególnie istotne w przypadku budynków wielokondygnacyjnych, np. wysokich [4]. W przypadku pożaru, oprócz temperatury, bardzo duże utrudnienie w ewakuacji stwarza dym, który nie zawsze ma temperaturę krytyczną dla życia, ale zawsze

zmniejsza widzialność, przyczyniając się do powstania paniki podczas ewakuacji lub co najmniej jej utrudnienia. Nieprzypadkowo w obrębie dróg ewakuacyjnych spotykamy zamknięcia otworów o odporności ogniowej [5, 6, 7] lub dymoszczelności [8], których identyfikacja wcale nie jest zadaniem banalnym [9]. Zapewnienie w kontekście rozprzestrzeniającego się dymu i temperatury bezpieczeństwa na drogach ewakuacyjnych (korytarze, klatki schodowe) można zrealizować na dwa sposoby, to znaczy poprzez:

- zabezpieczenie przed zadymieniem, rozumiane jako usuwanie dymu, który dostał się na drogę ewakuacyjną w czasie otwarcia drzwi ewakuacyjnych poprzez system wentylacji oddymiającej grawitacyjnej, mechanicznej lub mieszanej;
- zapobieganie zadymieniu, za które uważa się niedopuszczenie do przedostania się dymu na drogę ewakuacyjną poprzez wytworzenie różnicy ciśnienia – nadciśnienia w przestrzeni klatki schodowej lub korytarza względem przestrzeni, w której wybuchł pożar.

System zabezpieczenia przed zadymieniem jest rozwiązaniem pozwalającym na usuwanie dymu bezpośrednio z obszaru korytarza lub klatki schodowej, w której mogą przebywać osoby w trakcie ewakuacji. Zadaniem tego systemu jest przede wszystkim usunięcie dymu, który przedostanie się do klatki schodowej w czasie otwarcia drzwi podczas ewakuacji. Do zrealizowania tego, oprócz poprawnie działającego systemu, niezbędne jest wymuszenie utrzymania szczelności otworów pomiędzy pomieszczeniami zagrożonymi a klatkami i korytarzami. W tym celu należy wyposażyć wszystkie drzwi w samozamykacze, tak żeby przypadkowo niedomknięte drzwi nie zaburzały lub wręcz uniemożliwiały poprawnego działania systemu – zarówno z ekonomicznego, jak i technicznego punktu widzenia niezwykle trudno byłoby bowiem zapewnić odprowadzenie dymu z klatki schodowej, nieprzerwanie napływającego z pomieszczenia, w którym mamy do czynienia z rozwiniętym pożarem. Takie usunięcie dymu ma szansę zaistnieć, jeżeli w tym samym czasie zrekompensuje się ubytek mieszaniny powietrza i dymu poprzez doprowadzenie niezbędnej ilości powietrza kompensacyjnego do obszaru oddymianego. Bez niego powstałoby w obszarze chronionym podciśnienie, co zwiększałoby napływ dymu, a to jest zaprzeczeniem idei oddymiania. W zależności od wielkości obiektu możliwe jest zabezpieczenie przed zadymieniem z wykorzystaniem systemu grawitacyjnego, mechanicznego oraz mieszanego, przy czym systemy – w których nawiew realizowany jest w sposób mechaniczny, a wyciąg w sposób grawitacyjny – wymagają, jak wynika z doświadczeń autorów w tym zakresie, szczególnie dokładnych analiz numerycznych potwierdzających skuteczność takiego roz-

wiązania. Powierzchnowe potraktowanie zagadnienia bardzo często prowadzi do błędów, które wychodzą albo w trakcie prób końcowych, albo podczas wystąpienia sytuacji akcyjnej, jaką jest pożar.

Systemy zapobiegania zadymieniu

Inna filozofia przyświeca systemom zapobiegania zadymieniu, które nie likwidują przyczyny – usuwają dym ze strefy chronionej, a zarazem nie dopuszczają do jego wplynięcia dzięki wytworzeniu nadciśnienia poprzez nawiew odpowiedniej ilości powietrza do chronionej przestrzeni z jednoczesnym zapewnieniem upustu jego nadmiaru w obszarze objętym pożarem. System ma dwa podstawowe stany działania. Przy domkniętych drzwiach, wyposażonych w samozamykacze, działają na wolnych obrotach, ograniczających nadmuchiwanie powietrza, starając się utrzymać w strefie chronionej ciśnienie wyższe o maksymalnie 50 Pa w stosunku do stref sąsiednich, w tym także zagrożonych. Z drugim stanem mamy do czynienia z chwilą otworzenia jakichkolwiek drzwi, kiedy ciśnienie pomiędzy obszarem chronionym i sąsiednim bardzo szybko się wyrównuje. Żeby utrzymać nadciśnienie w strefie chronionej, system musi wejść na wyższe obroty, zapewniając większy napływ powietrza do strefy chronionej a jednocześnie utrzymać przepływ powietrza przez otwarte drzwi o zadanej, nieprzekraczalnej prędkości. Ma to za zadanie umożliwić dostanie się ewa-

kuujących się osób do strefy chronionej lub ich wydostanie na zewnątrz. Zbyt duża prędkość przepływu powietrza przez otwór drzwiowy może stanowić bardzo duże utrudnienie lub wręcz uniemożliwić ewakuację. Regulacja systemów działających w taki sposób jest trudna i w tym przypadku stosuje się różnorakie zabiegi techniczne: klapy transferowe, klapy upustowe, falowniki regulujące wydajności wentylatorów itp. pozwalające precyzyjniej kontrolować parametry przepływu powietrza. Dodatkowo stosuje się zaawansowane wyposażenie elektroniczne, np. specjalistyczne zestawy mierników ciśnienia, które rozmieszcza się w odpowiednio zaprojektowanych lokalizacjach. System posiada w swojej pamięci wiele scenariuszy sterowania i automatyki, tak aby regulacja systemu w chwili otwarcia lub zamknięcia wybranych drzwi nie trwała dłużej niż 3 sekundy. Precyzyjne sterowanie ciśnieniem związane jest z koniecznością zachowania jego funkcjonalności. O prędkości przepływu powietrza przez otwarte drzwi już wspomniano powyżej. Drugim elementem jest możliwość ich otworzenia. Zbyt duże ciśnienie może uniemożliwić otwarcie drzwi, w szczególności przez osoby słabsze fizycznie, dlatego też przyjęto, że maksymalna siła działająca na klamkę przy otwarciu drzwi w trakcie działania systemu nie powinna przekraczać 100 N. Szczegółowe informacje z tego zakresu zawarte są w dokumentach PN-EN 12101-6 [10] oraz ITB nr 378/2002 [11].

Skuteczność systemów wentylacji pożarowej

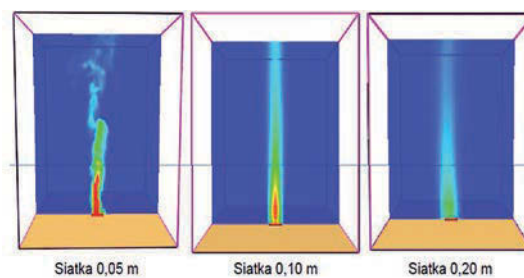
Kryteria stawiane właściwie działającym systemom wentylacji pożarowej w czasie trwania ewakuacji są niezmiennie i wprost powiązane z zapewnieniem bezpieczeństwa ewakuacji oraz dają możliwość prowadzenia akcji ratowniczej. Dopuszczalne jest zadymienie w bezpośredniej bliskości źródła ognia, ale zakłada się, że system powinien zapewniać drogę wolną od dymu dla wszystkich osób znajdujących się w zagrożonej strefie w chwili wybuchu pożaru. Nieco odmiennie wymagania stawiane są poszczególnym systemom w chwili rozpoczęcia akcji ratowniczo-gaśniczej. Systemy wentylacji oddymiającej oraz kontroli dymu i ciepła zapewniają możliwość lokalizacji oraz zbliżenia się do źródła ognia we względnie bezpiecznych warunkach środowiska. System oczyszczania z dymu zapewnia jedynie ograniczenie niebezpieczeństwa dla ekip ratowniczo-gaśniczych, które wynika przede wszystkim z zagrożenia wysoką temperaturą i toksycznością gazów pożarowych. Oznacza to, że w przypadku tego rozwiązania ratownicy mają bardziej złożone warunki pracy, wymagające większej liczby strażaków i sprzętu. Z powodu tego ograniczenia w ocenie autorów artykułu systemy oczyszczania z dymu nie nadają się do rozległych stref pożarowych o dużych powierzchniach, których przeszukanie w celu odnalezienia źródła ognia trwałoby zbyt długo i groziłoby nadmiernym rozwojem pożaru.

Tablica 1. Kryteria oceny systemów wentylacji pożarowej (12, 13)

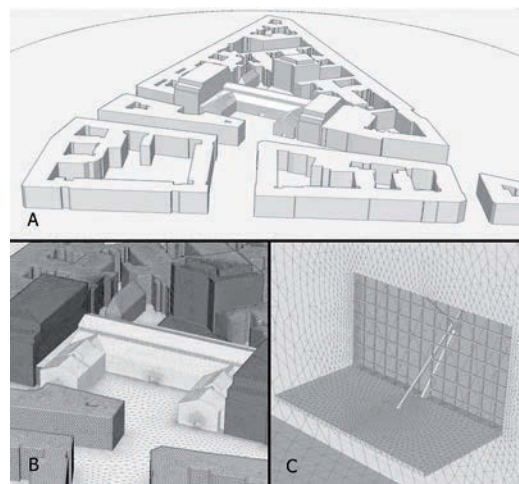
Kryterium	Oczyszczanie z dymu	Kontrola dymu i ciepła	Wentylacja oddymiająca
W czasie ewakuacji			
Zadymienie	Dym utrzymujący się pod stropem kondygnacji, na wysokości do 1,80 m – 0,105 g/m ³ (zasięg widzialności znaków ewakuacyjnych świecących własnym światłem – 10 m)		
Temperatura	Pod stropem – 200°C, na wysokości do 1,80 m – 60°C		
Promieniowanie	Mniej niż 2,5 kW/m ² w kierunku podłogi		
W czasie prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych			
Zadymienie	Strefa może być zadymiona	Na wysokości 1,50 m do 0,105 g/m ³ (zasięg widzialności znaków ewakuacyjnych świecących własnym światłem – 10 m) w odległości do 15 m od źródła pożaru	Na wysokości 1,50 m do 0,105 g/m ³ (zasięg widzialności znaków ewakuacyjnych świecących własnym światłem – 10 m) w odległości do 15 m od źródła pożaru
Temperatura	Na wysokości 1,50 m mniej niż 120°C w odległości ponad 15 m od źródła pożaru		
Promieniowanie	Do 15 kW/m ² w odległości 15 m od źródła pożaru, 2,5 kW/m ² w pozostałym obszarze	Do 15 kW/m ² w odległości 15 m od źródła pożaru od strony dojścia do pożaru, 2,5 kW/m ² w pozostałym obszarze	Do 15 kW/m ² w odległości 15 m od źródła pożaru, 2,5 kW/m ² w pozostałym obszarze
Dostęp do źródła ognia	Cały obszar strefy zadymionej – strefa pożarowa powinna być na tyle mała aby szybkie odnalezienie i lokalizacja pożaru były możliwe	Możliwy dostęp do źródła pożaru w odległości do 15 m od jego lokalizacji, drogą wolną od dymu	Dym w dwóch warstwach – źródło pożaru jest widoczne a dostęp do niego ułatwiony

Narzędzia stosowane w projektowaniu wentylacji

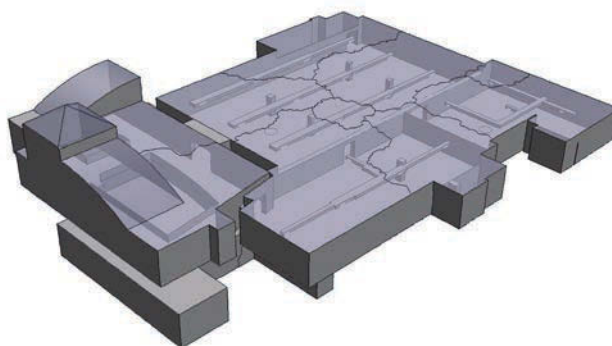
W inżynierii bezpieczeństwa pożarowego wykorzystuje się szereg metod numerycznych, jak np. metoda elementów skończonych MES, stosowana w analizach wpływu podwyższonej temperatury na konstrukcję obiektu [14], czy modele jedni- i dwustrefowe, pozwalające przewidzieć przepływ dymu w obiekcie dla prostego układu powiązanych ze sobą pomieszczeń. W przypadku analiz związanych z wentylacją pożarową szczególne znaczenie mają jednak analizy numeryczne wykorzystujące metodę obliczeniowej mechaniki płynów (ang. Computational Fluid Dynamics, CFD) [15]. Analizy CFD, kojarzone głównie z aerodynamiką czy optymalizacją przepływu płynów, np. analizą obciążenia budynków wiatrem, stanowią obecnie najdoskonalsze narzędzie, znakomicie sprawdzające się w szacowaniu rozprzestrzeniania się dymu i ciepła powstających w pożarze. Przepływ dymu wymuszony jest oddziaływającymi siłami wyporu lub działaniem urządzeń wentylacji pożarowej. Każde z tych oddziaływań może być dokładnie odwzorowane w analizie numerycznej wykorzystującej metodę CFD. Z technicznego punktu widzenia analiza ta polega na rozwiązaniu układu równań różniczkowych opisujących przepływ masy i energii w badanym układzie, podzielonym na skończoną liczbę niewielkich objętości, właściwie odwzorowujących rzeczywistość w dokładnie opisanych następujących po sobie krokach czasowych. Rozwiązanie równań stanowią wartości ciśnienia, temperatury, prędkości przepływu, stężenia dymu, itp. Wielkości te znane są dla każdej objętości w badanym układzie oraz w każdym momencie. Dzięki temu CFD jest tak dobrym narzędziem w rękach inżyniera, pozwalając analizować dowolne miejsce w badanym budynku, w dowolnej chwili, i w stosunkowo krótkim czasie, pozwalającym ocenić warunki środowiska tam panującego. Analizy CFD są bardzo wrażliwe na odpowiedni dobór warunków brzegowych czy początkowych (rys. 1). W związku z tym w rękach niedoświadczonego inżyniera, dysponującego niewystarczająco wydajną jednostką obliczeniową, mogą być narzędziem stwarzającym realne zagrożenie, nie tak łatwe do wykrycia na podstawie końcowych wykresów np. temperatury czy zadymienia przez osobę bez



Rys. 1. Wyniki symulacji CFD, spalania alkoholu etylowego na tacy o powierzchni $0,25 \text{ m}^2$, w zależności m.in. od wymiarów modularnych siatki modelu dyskretnego. Archiwum ITB



Rys. 2. Model otoczenia budynku wewnątrz którego jednocześnie analizowane było rozprzestrzenianie się dymu i ciepła (rys. A), widok siatki w otoczeniu budynku (rys. B) oraz widok modelu okna oddymiającego (rys. C). Archiwum ITB



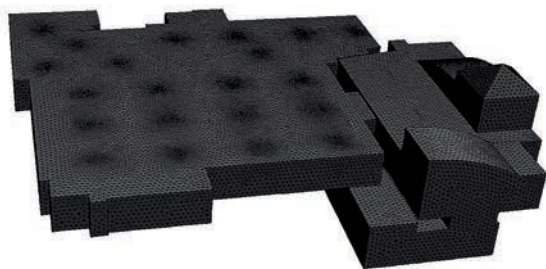
Rys. 3. Przykładowy model numeryczny lokalu. Archiwum ITB

odpowiedniego doświadczenia. Szczególnie moc obliczeniowa oraz gęstość siatki są tutaj kluczowe. Optymalne jest takie dobranie siatki, by w racjonalnym czasie uzyskać wiarygodne wyniki. Należy pamiętać, że nie dysponując klastrem obliczeniowym, starając się wykonać rachunek na prostym komputerze, z góry skazujemy się na ograniczenia związane z wielkością analizowanej objętości i gęstością przyjętej siatki obliczeniowej, ponieważ im gęstsza siatka i więcej elementów (rys. 2), tym więcej równań jest do rozwiązania, co w konsekwencji może oznaczać wielogodzinne lub wielodniowe oblicze-

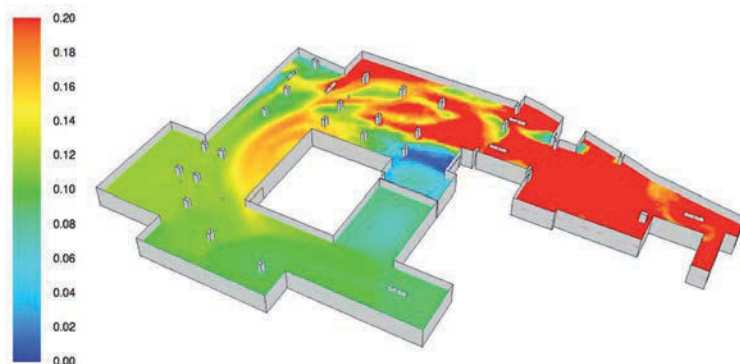
nia, nie zawsze możliwe do wykonania na niedostatecznie wydajnym komputerze.

Nie bez znaczenia jest także dobór oprogramowania, a raczej dobór modeli fizycznych, które mogą być wykorzystane w danym oprogramowaniu. Nie każdy dostępny na rynku program będzie nadawał się do obliczeń każdego zagadnienia związane z wentylacją pożarową, aczkolwiek narzędzia te są coraz bardziej udoskonalane.

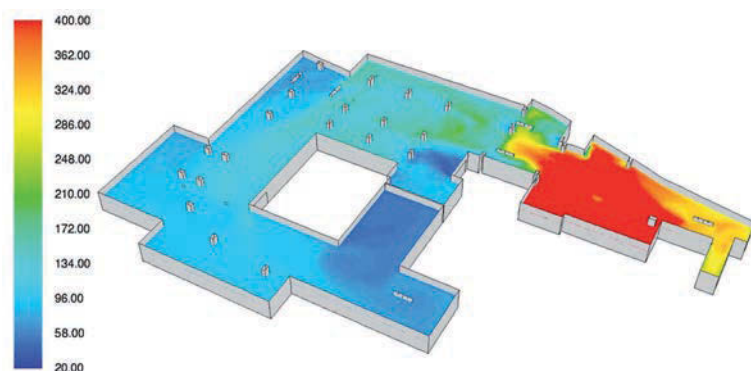
Skuteczny system wentylacji to nie tylko dobry projekt, lecz także jego poprawne wykonanie, co obejmuje pełną spójność systemu z innymi in-



Rys. 4. Siatka obliczeniowa nałożona na model numeryczny lokalu. Archiwum ITB



Rys. 5. Przewidywana masowa koncentracja dymu (0-0,20 g/m³ i więcej) na wysokości 1,80 m powyżej poziomu posadzki w 10 minucie prowadzonych obliczeń. Archiwum ITB



Rys. 6. Przewidywana temperatura (20-400°C i więcej) na wysokości 1,80 m powyżej poziomu posadzki w 20 minucie prowadzonych obliczeń. Archiwum ITB

stalacjami bezpieczeństwa pożarowego w obiekcie. Takie współdziałanie może zostać zweryfikowane wyłącznie na gotowym obiekcie, np. przy wykorzystaniu prób z gorącym dymem, które zostaną omówione w trzeciej części cyklu.

Wybrany model numeryczny, siatkę nałożoną na model oraz przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 3, 4, 5 i 6

Podsumowanie

W publikacji, stanowiącej drugą część cyklu poświęconego wentylacji pożarowej, przedstawiono zagadnie-

nia związane z zabezpieczeniem dróg ewakuacyjnych przed zadymieniem, oceniono kryteria skuteczności funkcjonowania systemów wentylacji pożarowej, tj., systemy wentylacji odrymniającej oraz kontroli dymu i ciepła oraz system oczyszczania z dymu, jak również przedstawiono najpopularniejsze narzędzia inżynierii bezpieczeństwa pożarowego stosowane w projektowaniu wentylacji pożarowej. Kolejną część cyklu będzie poświęcono odbiorom i weryfikacji poprawności zaprojektowanego i wykonanego systemu wentylacji pożarowej w obiekcie. ■

Literatura

- [1] Sulik P., Węgrzyński W., Wentylacja pożarowa w budynkach. Cz.1. Wymagania i systematyka, „Builder”, nr 3/2015, s. 96-99.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690), z późniejszymi zmianami.
- [3] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. nr 109, poz. 719), z późniejszymi zmianami.
- [4] Sulik P., Kimbar G., Papis B., Wybrane aspekty bezpieczeństwa pożarowego budynków wysokich, „Materiały Budowlane”, nr 11/2015, 59-61.
- [5] Kinowski J., Sędłak B., Sulik P., Izydorczyk D., Fire resistance of timber windows – Part 1: Test procedure and classification, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 2015, No. 92, 183-187.
- [6] Izydorczyk D., Sulik P., Kinowski J., Sędłak B., Fire resistance of timber doors – Part II: Technical solutions and test results, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 2015 No. 92, 113-116.
- [7] Sulik P., Sędłak B., Odporność ogniowa drzwi z dużymi przeszkleniami, „Świat Szkła”, nr 3/2015, 38-42.
- [8] Sędłak B., Przeszkłone drzwi dymoszczelne – badania oraz klasyfikacja w zakresie dymoszczelności, „Świat Szkła”, nr 4/2013, 35-38.
- [9] Izydorczyk D., Sędłak B., Sulik P., Problematyka prawidłowego odbioru wybranych oddzieleń przeciwpożarowych, „Materiały Budowlane”, nr 11/2015, 62-64.
- [10] PN-EN 12101-6:2007 Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła – Część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnień – Zestawy urządzeń.
- [11] Głąbski P., Kosiorek M., Projektowanie instalacji wentylacji pożarowej dróg ewakuacyjnych w budynkach wysokich i wysokościowych, Instrukcja ITB 378/2002, Instytut Techniki Budowlanej, 2002.
- [12] Węgrzyński W., Krajewski G., Głąbski P., Projektowanie systemów wentylacji pożarowej w obiektach budowlanych. Kurs organizowany przez Zakład Badań Ogniowych. Warszawa: Instytut Techniki Budowlanej, 2014.
- [13] Sztarbała G., An estimation of conditions inside construction works during a fire with the use of Computational Fluid Dynamics, Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, Vol. 61, nr 1/2013.
- [14] Sulik P., Turkowski P., Łukomski M., Porównanie metod oceny odporności ogniowej konstrukcji stalowych, „Materiały Budowlane”, nr 11/2015, 62-64.
- [15] Węgrzyński W., Krajewski G., Sulik P., Narzędzia numeryczne w kreowaniu bezpieczeństwa pożarowego obiektów, „Materiały Budowlane”, nr 11/2015, 56-58.
- [16] Węgrzyński W., Sztarbała G., Krajewski G., Praktyczne aspekty zastosowania wentylacji strumieniowej w garażach zamkniętych, Budownictwo Górnicze i Tunnelowe, nr 3/2012, 6-10.