

dr inż. Stanisław KOZIOŁ

dr inż. Andrzej ZBROWSKI

andrzej.zbrowski@itee.radom.pl

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy

METODA POPRAWY BEZPIECZEŃSTWA BUDYNKÓW POPRAZ ZASTOSOWANIE ODZYSKU CIEPŁA W UKŁADACH WENTYLACJI POŻAROWEJ

The method for increasing the safety of the buildings by application of heat recuperation in the fire fighting ventilation systems

Streszczenie

W budynkach wysokich i wysokościowych pionowe klatki schodowe stanowią jedyną drogę ewakuacyjną w przypadku wystąpienia pożaru. W celu zapewnienia bezpiecznej ewakuacji z wyższych kondygnacji budynku stosowane są układy wentylacji pożarowej utrzymującej w drogach ewakuacyjnych odpowiednią atmosferę. W wyniku różnicy temperatur nawiewanego powietrza i konstrukcji klatki schodowej powstaje różnica ciśnienia powietrza pomiędzy górnymi, a dolnymi kondygnacjami tzw. ciąg kominowy utrudniający bezpieczną ewakuację w wyniku niekorzystnej migracji gazów pożarowych lub blokowania możliwości otwarcia drzwi wewnętrznych. Likwidacja ciągu kominowego wymaga stosowania kosztownych instalacji zdolnych do przetłaczania przez klatkę schodową dużych mas powietrza. W artykule wykazano związek między wysokością budynku i parametrami atmosferycznymi wewnętrznymi i zewnętrznymi, a wartością różnicy ciśnienia w klatce schodowej oraz jej wpływ na bezpieczeństwo akcji ratowniczej.

Przedstawiono sposób zmniejszenia ciągu kominowego przez zastosowanie odzysku ciepła w układzie wentylacji pożarowej. Założeniem zaproponowanej metody jest dążenie do wyrównania temperatur powietrza nawiewanego z zewnątrz i konstrukcji klatki schodowej, co w konsekwencji prowadzi do minimalizacji powstającej w takich warunkach różnicy ciśnień gdyż likwiduje przyczynę jej powstawania.

Przedstawiono koncepcję wykorzystania odrębnej instalacji wentylacji mechanicznej, części instalacji wentylacyjnej lub klimatyzacyjnej wyposażonych w układ odzysku ciepła o odpowiedniej wydajności do zniwelowania ciągu kominowego. Przedstawiono przykłady obliczeniowe wykazujące możliwość wyrównania ciśnień w klatce schodowej budynku o wysokości 120 m poprzez podgrzanie powietrza wprowadzanego do klatki schodowej przy pomocy powietrza usuwanego (rekuperacji) w wymiennikach o różnej sprawności. Wyprecyzowano najważniejsze wymagania dotyczące układu odzysku ciepła, które musi on spełniać, by mógł być zastosowany w tego rodzaju rozwiązaniu. Wykazano za pomocą obliczeń, że metoda ta pozwala na zachowanie wymaganych przepisami bezpieczeństwa parametrów atmosfery pozwalających na bezpieczną ewakuację w warunkach pożaru.

Summary

In tall buildings and skyscrapers the vertical staircases are the only evacuation way in case of the fire. To ensure safe evacuation from the higher floors of the building the special ventilation systems are used for maintaining of the proper atmosphere in the evacuation tract. As a result of the difference in temperatures between the fresh air and the staircase construction the difference between the pressures at the bottom and the top of the building occurs which causes so called chimney effect, which hinders safe evacuation by the strong draught of fire-produced gases and causing difficulties in opening the inner doors. The removal of the chimney effect requires the use of expensive plants for pushing the large amounts of air mass through the staircase. The article shows the relation between the height of the building and the parameters of the atmosphere indoors and outdoors and the value of the pressure in the staircase and its influence on the safety of the rescue mission.

Also the method for decreasing of the chimney effect by use of the heat recuperation in the fire ventilation system is presented. The assumption for the proposed method is the aiming at the equalisation of temperatures of the fresh air and the construction of the staircase, which leads to the minimalisation of created difference in pressures, as it removes the cause of its generation.

The concept of application of the separate system for mechanical ventilation, part of the ventilation or air-conditioning system equipped with the recuperation system of proper power to eliminate the chimney effect. The calculation exam-

ples are presented for the possibility of equalisation of the pressures in the staircase of the 120m tall building by heating the air introduced into the staircase by means of the air removed from the staircase in the heat exchangers of different efficiency. The most important requirements were specified for the heat recuperation system to make it sufficient to be applied in such a solution. It was shown by calculation, that the method allows keeping the law-enforced requirements for the parameters of the atmosphere that allows safe evacuation during the fire.

Słowa kluczowe: wentylacja pożarowa, ciąg kominowy, budynki wysokie, odzysk ciepła;

Key words: fire-fighting ventilation system, chimney effect, tall buildings, heat recuperation;

Wprowadzenie

Pożar jako zagrożenie bezpieczeństwa osób lub mienia musi być brany pod uwagę w przypadku każdego istniejącego oraz nowo projektowanego budynku. Zagrożenia te są szczególnie istotne w budynkach wysokich i wysokościowych, w których z założenia jedyną drogą ewakuacji, dla osób przebywających na górnych kondygnacjach, jest klatka schodowa. Jest to także jedyna droga dostępu dla ekip ratowniczych straży pożarnej. Z tego powodu w takich budynkach klatki schodowe, zgodnie z prawem budowlanym [1] czy też warunkami technicznymi [2], powinny spełniać określone wymagania. Również z tego powodu stosowane obecnie systemy wentylacji pożarowej przeznaczone dla budynków wysokich i wysokościowych mają za zadanie, jako jeden z podstawowych warunków, zapewnić bezpieczną drogę ewakuacji wszystkich osób znajdujących się w budynku oraz prawidłową drogę dostępu dla jednostek straży pożarnej.

Kluczowym elementem w tego typu rozwiązaniach jest odpowiedni układ gwarantujący prawidłową pracę systemu wentylacji pożarowej w trakcie akcji ratowniczej. Jednym z istotnych aspektów funkcjonowania takich systemów (system nadciśnieniowy) jest m.in. zapewnienie takiego rozkładu ciśnienia w klatce schodowej, który umożliwi bezproblemowe otwarcie drzwi ewakuacyjnych na każdej z kondygnacji przy równoczesnym uniemożliwieniu przedostania się gazów pożarowych z palącej się kondygnacji do przestrzeni klatki schodowej stanowiącej drogę ewakuacyjną. Różnica ciśnień pomiędzy korytarzem na danej kondygnacji, a klatką schodową powinna być utrzymywana na poziomie 50 Pa [3]. Wymaganie to powoduje wiele problemów, szczególnie w okresie zimowym podczas bardzo mroźnych dni oraz letnim podczas upałów. W przestrzeni klatki schodowej (szczególnie zlokalizowanej wewnątrz budynku) panuje względnie stabilna temperatura wynikająca z bilansu cieplnego budynku i znikomego wpływu warunków panujących na zewnątrz. Przykładowo w okresie zimowym wynosić ona może 20°C. W tej sytuacji nawiew zimnego powietrza zewnętrznego w celu napowietrzenia klatki schodowej spowoduje zjawisko ciągu kominowego. Dzieje się tak na skutek ogrzania strumienia zimnego powietrza od przegród budowlanych, w których zakumulowana jest duża ilość energii. Spełnienie powyższych zaleceń (zapewnienie równomiernego rozkładu ciśnień na całej wysokości klatki schodowej) wymaga

zmniejszenia lub zniwelowania oddziaływania wpływu konwekcji swobodnej w klatce schodowej.

Najnowszymi rozwiązaniami, które pojawiły się w ostatnich kilku latach na rynku [4, 5] i jednocześnie jednymi z najskuteczniejszych są systemy bazujące na rozwiązaniach zapewniających wytworzenie odpowiedniego dodatkowego przeciwcisnienia. Sumowanie się tych rozkładów ciśnień pozwala w znacznym stopniu zapobiec negatywnym skutkom efektu kominowego (konwekcji swobodnej) podczas akcji ewakuacyjnej. Systemy te wymagają jednak przetłaczania względnie dużych strumieni powietrza przez przestrzeń klatki schodowej oraz stosowania kosztownych rozwiązań technicznych. Wymusza to znaczne nakłady inwestycyjne wynikające z konieczności budowy niezależnego systemu wentylacji o dużych wydajnościach i sprężach dyspozycyjnych [6].

Oczywiste wydają się koncepcje systemów wentylacji przeciwpożarowej pozwalające zoptymalizować działanie oraz koszty tego typu instalacji poprzez zniwelowanie oddziaływania wpływu konwekcji swobodnej na funkcjonowanie instalacji oddymiających. Założeniem nie jest tutaj wytwarzanie przeciwcisnienia, lecz dążenie do wyrównania temperatur powietrza nawiewanego z zewnątrz i konstrukcji klatki schodowej, co w konsekwencji prowadzi do minimalizacji powstającej w takich warunkach różnicy ciśnień gdyż likwiduje przyczynę jej powstawania. Wynika to z założenia, iż podgrzewając powietrze w zimie oraz ochładzając w lecie dąży się do wyrównania temperatur i co za tym idzie minimalizacji zjawiska konwekcji swobodnej i wynikającej z niej różnicy ciśnień zwanej ciągiem kominowym. Stosowanie specjalnych wymienników ciepła przeznaczonych do zmiany temperatury powietrza przeznaczonego do napowietrzania klatek schodowych byłoby jednak bardzo trudne do praktycznej realizacji. Wynika to z relatywnie dużej mocy tych wymienników ciepła w porównaniu z istniejącą w danym budynku instalacją klimatyzacji czy wentylacji oraz konieczności zapewnienia medium grzewczego lub instalacji chłodniczej. W przypadku okresu zimowego należałoby zainstalować nagrzewnicę elektryczną o dużej mocy, zamówić tę moc i ponieść związane z tym koszty podczas gdy w przypadku normalnej eksploatacji budynku (nie zdarza się pożar) moc ta nigdy nie zostałaby wykorzystana. Zastosowanie alternatywnie nagrzewnicy gazowej byłoby niedopuszczalne w przypadku pożaru, a kotłownia gazowa połączona z nagrzewnicą wodną potrzebowałaby czasu na osiągnięcie

parametrów pracy (akumulacja energii) co uniemożliwiłoby reakcję systemu w wymaganym czasie.

Powietrze napływające do przestrzeni klatki schodowej podczas ewakuacji budynku jest z niej następnie wyprowadzane. Z założenia nie powinno ono zawierać żadnych gazów pożarowych. Można więc wykorzystać je do podgrzania powietrza wprowadzanego do klatki schodowej. Efekt ten można uzyskać dzięki wykorzystaniu spełniającego odpowiednie wymagania systemu odzysku ciepła. Kluczowym parametrem będzie tutaj sprawność procesu wymiany ciepła. Instalacja taka poprzez niwelowanie ujemnego wpływu konwekcji swobodnej i minimalizowanie szkodliwego wpływu efektu kominowego, byłaby w stanie zapewnić prawidłową pracę instalacji napowietrzania dróg ewakuacyjnych podczas pożaru.

Wpływ ciągu kominowego w pionowej drodze ewakuacyjnej na bezpieczeństwo pożarowe budynku

Podstawowymi czynnikami stwarzającymi zagrożenie dla ludzi przebywających w budynku w trakcie pożaru są:

- dym - poprzez ograniczenie widoczności,
- niedostateczna ilość tlenu,
- toksyczne produkty spalania,
- wysoka temperatura gazów i powierzchni,
- bezpośrednie oddziaływanie płomieni.

Dla osób znajdujących się w budynku największe zagrożenie dla ich zdrowia i życia stanowi dym [7]. Ogranicza on widoczność, powoduje, że ludzie tracą orientację i w konsekwencji nie są w stanie odnaleźć drogi ewakuacji. W budynkach znaczna ilość wyposażenia składa się z łatwopalnych tworzyw sztucznych, podczas spalania tego typu substancji wydzielane są toksyczne związki, które nawet w niewielkich ilościach stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. Należy podkreślić, że szczególnie ważny z punktu widzenia bezpieczeństwa jest czas ucieczki i ewakuacja osób z objętego pożarem budynku. W przypadkach gdy osoby znajdujące się wewnątrz nie są w stanie w sposób prawidłowy i możliwie szybki wydostać się z budynku, narażone są na oddziaływanie wszystkich czynników stanowiących zagrożenie dla życia.

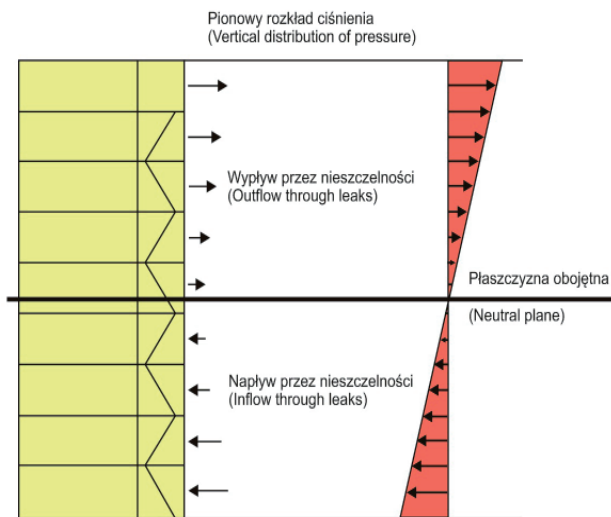
W trakcie pożaru dym rozprzestrzenia się w sposób wynikający z praw fizyki, które stanowią główną siłę napędową przemieszczania się dymu wewnątrz budynku. Norma PN-EN 12101-6 [3] wymienia następujące czynniki powodujące przemieszczanie się dymu podczas pożaru:

- siła wyporu działająca na gazy na kondygnacji objętej pożarem - ze względu na zmniejszoną gęstość dym powstający w strefie objętej pożarem podlega siłom wyporu, co prowadzi do przemieszczania do góry przez nieszczelności w pionowych przegrodach oraz otwory stanowiące elementy konstrukcyjne budynku,

- rozszerzalność cieplna gorących gazów w strefie objętej pożarem wywołana wzrostem temperatury w wyniku powstania pożaru powoduje wzrost ciśnienia, któremu towarzyszy wypływ gorących gazów z pomieszczenia,
- siła naporu wiatru - wiatr wiejący w stronę danej ściany budynku jest przez nią spowalniany, w konsekwencji wzrasta ciśnienie po stronie nawietrznej i spadek ciśnienia po stronie zawietrznej wywołując poziomy ruch powietrza i dymu przez budynek ze strony nawietrznej do zawietrznej,
- efekt kominowy - różnica ciśnień oraz związany z nią ruch gazu wynikające ze zmian jego gęstości, które powstają na skutek różnicy temperatur; jest to zjawisko fizyczne dzięki któremu powstaje naturalny przepływ cieplejszego powietrza z dołu do góry w klatkach schodowych budynków, szybach wentylacyjnych, szybach wind itp.,
- instalacje wentylacji, klimatyzacji i ogrzewanie budynku mają istotny wpływ na rozwój pożaru - mogą przykładowo dostarczać powietrze do strefy objętej pożarem, wspomagając spalanie lub przemieszczać dym do sąsiednich stref; podczas pożaru są zwykle wyłączane, jednak mogą być tak zaprojektowane aby ograniczały rozprzestrzenianie się dymu bądź były używane w połączeniu z ciśnieniowym systemem wentylacji pożarowej.

W celu zapobiegania zagrożeniu jakie niesie ze sobą pojawienie się dymu, stosuje się różnego typu rozwiązania wentylacji pożarowej wyznaczając w budynkach strefy chronione. Służą one kontroli rozprzestrzeniania dymu poprzez takie ukierunkowanie ruchu gazów pożarowych w budynku, aby zapewnić odpowiednie bezpieczeństwo. Są to przede wszystkim korytarze ewakuacyjne, przedsionki przeciwpożarowe, szyby windowe oraz obudowane i oddzielone drzwiami klatki schodowe (jako obszary wolne od dymu i ognia). Strefy te stanowią drogę bezpiecznej ewakuacji osób znajdujących się w budynku.

W budynkach wysokich i wysokościowych szczególnie niekorzystny wpływ na bezpieczeństwo pożarowe ma ciąg kominowy. W klatkach schodowych budynków przepływ gazów odbywa się m.in. dzięki nieszczelnościom, otwartym oknom oraz drzwiom. W klimacie polskim jest to szczególnie odczuwalne w okresie zimowym. Powietrze o temperaturze znacznie niższej od temperatury przegród klatki schodowej wpływa do jej wnętrza na niskich kondygnacjach, ogrzewa się przez co zmniejsza swoją gęstość i przepływa w górną część przestrzeni klatki schodowej, gdzie powstaje strefa podwyższonego ciśnienia, natomiast w dolnej części ciśnienie maleje. Ciąg termiczny powoduje pionowy rozkład ciśnienia (Rys. 1).



Rys.1. Ciąg kominowy -schemat rozkładu ciśnienia
Fig.1. The chimney effect – the diagram of the distribution of the pressure

W okresach letnich, gdy powietrze zewnętrzne jest o wyższej temperaturze niż wewnątrz budynków następuje efekt odwrrotny - ciepłe powietrze napływające do przestrzeni klatki schodowej ochładza się zwiększając swoją gęstość i w konsekwencji opada w dół na skutek działania siły grawitacji. W górnej części klatki schodowej budynku z tego powodu pojawia się ciśnienie niższe od ciśnienia na zewnątrz, co powoduje przepływ powietrza skierowany w dół. W obu przypadkach w okolicach środka wysokości słupa powietrza powstaje obszar neutralnego ciśnienia. Jest to obszar gdzie ciśnienie powietrza zewnętrznego i wewnętrznego są sobie równe. Wartość ciśnienia ciągu kominowego można oszacować następującą uproszczoną zależnością:

$$\Delta p_0 = (\rho_p - \rho_g) \cdot h \cdot g \text{ [Pa]}$$

gdzie:

ρ_p - gęstość powietrza zewnętrznego przy temperaturze T_p [°C] i ciśnieniu b [hPa],

ρ_g - średnia gęstość powietrza wewnętrznego przy temperaturze T_{gs} [°C] i ciśnieniu b [hPa],

h - wysokość klatki [m],

g - przyspieszenie ziemskie = 9,81 [m/s²].

Wartości ρ_g i ρ_p można obliczyć korzystając z równania stanu:

$$\rho_p = \frac{p_a}{R \cdot T_p} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right], \quad \rho_g = \frac{p_a}{R \cdot T_g} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

gdzie:

T_p - średnia temperatura powietrza zewnętrznego [K]

T_g - średnia temperatura powietrza wewnętrznego [K]

p_a - ciśnienie barometryczne [hPa].

R - Indywidualna stała gazowa powietrza 287.05 [J/kgK]

Badania laboratoryjne, poligonowe oraz testy numeryczne wykazują, że w rzeczywistych warunkach ciąg kominowy jest nieco mniejszy od wartości wyliczonej z powyższej zależności. W pracy [8] wprowadzono współczynnik korekcyjny zmniejszający tę wartość. Niestety określenie wartości uniwersalnych tego współczynnika wymaga przeprowadzenia symulacji lub badań dla wielu budynków. Zmodyfikowana zależność przyjmuje postać:

$$\Delta p_i = C \cdot \Delta H \cdot \psi \text{ [Pa]}$$

gdzie:

C - stała ciągu wyrażana jako $C = (\rho_p - \rho_g) \cdot g \left[\frac{\text{Pa}}{\text{m}} \right]$,

ΔH - wysokość danej kondygnacji poniżej węzła, dla którego wyliczane jest ciśnienie [m],

ψ - współczynnik korekcyjny ciągu.

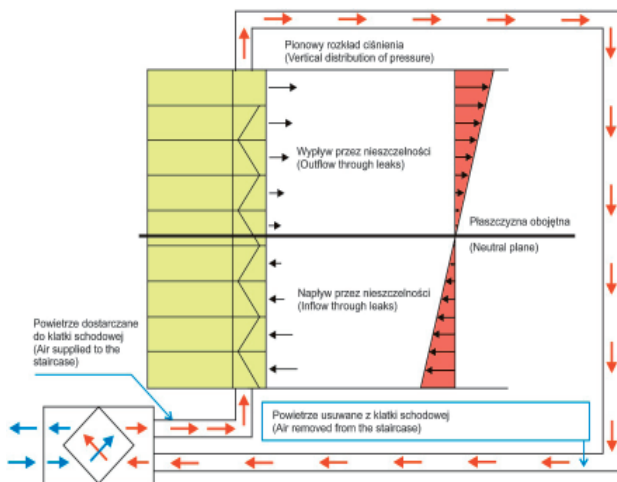
Efekt kominowy stanowi bardzo niekorzystne zjawisko, w kontekście wentylacji pożarowej. Jest to szczególnie niebezpieczne w przypadku klatek schodowych budynków wysokich i wysokościowych gdzie prowadzi do poważnych utrudnień w działaniu systemów zabezpieczających klatki schodowe przed zadymieniem, a w konsekwencji bezpiecznego prowadzenia akcji ewakuacyjnej. Systemy wentylacji pożarowej zwykle wtłaczają do klatek schodowych duże ilości powietrza w celu zapewnienia nadciśnienia w przestrzeni klatki w stosunku do korytarzy ewakuacyjnych. Powietrze zewnętrzne o temperaturze znacznie niższej od temperatur panujących wewnątrz klatki schodowej wywołuje silny efekt ciągu kominowego, który wytwarza duży gradient ciśnienia wewnątrz klatki schodowej budynku. Powstała różnica ciśnień może być tak duża, że na wielu skrajnych kondygnacjach znacznie są przekroczone, określone w normach i wytycznych, wartości siły koniecznej do otwarcia drzwi na drodze ewakuacyjnej oraz nie są utrzymane minimalne wartości ciśnienia koniecznego do zapobiegania przedostawaniu się dymu na klatkę schodową. Z tego też powodu szczególnie niebezpieczne jest pojawienie się efektu podciśnienia, ponieważ skutkować to może zasysaniem dymu do wnętrza klatki schodowej stanowiącej kluczowy element drogi ewakuacyjnej w budynkach wysokich i wysokościowych.

W przypadku klatek schodowych wewnątrz budynku, do których wpływa i wypływa tylko powietrze wewnętrzne z przestrzeni użytkowej budynku zjawisko ciągu kominowego może nie występować. Efekt kominowy będzie pojawić się dopiero w momencie napowietrzania klatki schodowej przez wentylację pożarową - w momencie gdy bardzo duże ilości powietrza zewnętrznego zaczną wymieniać ciepło (ogrzewać się lub ochładzać) wewnątrz klatki schodowej. Jest to podstawowy problemem przy nadciśnieniowym zabezpieczeniu pionowych stref ewakuacyjnych. Wielkość efektu kominowego zależy przede wszystkim od wysokości obiektu oraz od różnicy temperatur, które bezpośrednio wpływają na gęstość powietrza.

Sposób zmniejszenia ciągu kominowego przez zastosowanie odzysku ciepła w układzie wentylacji pożarowej

Koncepcja wykorzystania odrębnej instalacji wentylacji mechanicznej, części instalacji wentylacyjnej lub klimatyzacyjnej wyposażonych w układ odzysku ciepła o odpowiednio wysokiej sprawności, dawałaby możliwość zniwelowania efektu kominowego, który jest szczególnie niebezpieczny w przypadku klatek schodowych stanowiących często jedyną drogę ewakuacji w przypadku pożaru z budynków wysokich i wysokościowych. W przypadku doboru odpowiednich systemów odzysku ciepła, wykorzystywanych również w systemach wentylacji bytowej, do minimalizacji różnic temperatur powietrza nawiewanego przez wentylację pożarową - szczególnie zaś systemy zapobiegania przed zadymieniem pionowych dróg ewakuacji, pozwoliłyby na podniesienie bezpieczeństwa i jakości systemów wentylacji pożarowej często przy równoczesnym obniżeniu całościowych kosztów układów przeciwpożarowych.

Należy podkreślić, że prawidłowe zastosowanie odpowiedniego układu odzysku ciepła minimalizowałoby powstawanie ciągów termicznych występujących w pionowych drogach ewakuacji, dzięki czemu zapewnione zostałyby dobre warunki każdemu ze stosowanych systemów napowietrzania jedno lub wielopunktowego [9], systemów przeciwciaгу i wszelkim innym rozwiązaniom, ponieważ założeniem jest doprowadzenie różnicy temperatur do wartości mającej pomijalny wpływ na zjawisko ciągu kominowego.



Rys. 2. Schemat ideowy koncepcji systemu wentylacji pożarowej napowietrzającego klatki schodowe budynków wysokich i wysokościowych z wykorzystaniem podgrzania powietrza nawiewanego wymiennikiem do odzysku ciepła.

Fig. 2. The diagram of the concept of the fire-fighting ventilation system for the staircases of the tall buildings and skyscrapers with use of heated air introduced by the heat recuperation

Ideowo koncepcję systemu wentylacji pożarowej napowietrzającego klatki schodowe budynków wysokich i wysokościowych przedstawiono na rysunku nr 2.

Poniżej przedstawiono przykład obliczeniowy, który wykazuje możliwość wyrównania ciśnień w klatce schodowej budynku o wysokości 120 m poprzez podgrzanie powietrza wprowadzanego do przestrzeni klatki schodowej przy pomocy powietrza usuwanego (rekuperacji) w wymiennikach o różnej sprawności. Posłużono się wzorami opisanymi wyżej oraz następującą zależnością na sprawność temperaturową rekuperatora zakładającą równość strumieni powietrza w wymienniku:

$$\eta = \frac{T_R - T_Z}{T_P - T_Z}$$

gdzie:

T_p – temperatura powietrza wewnętrznego [°C],

T_z – temperatura powietrza zewnętrznego [°C],

T_R – temperatura powietrza po rekuperatorze [°C],

η - sprawność rekuperatora.

Obliczenia wykonano dla skrajnie niekorzystnych warunków zimowych kiedy temperatura wewnątrz budynku wynosi $T_p = 20\text{°C}$, temperatura powietrza zewnętrznego $T_z = -20\text{°C}$, a sprawność rekuperatora $\eta =$ odpowiednio 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8 lub 0,9, współczynnik korekcyjny ciągu przyjęto $\psi = 0,9$. Wyniki obliczeń dla takich założeń przedstawiono w tabeli nr 1.

Tabela 1.

Porównanie pracy systemu napowietrzania dróg ewakuacyjnych wyposażonego w rekuperatory różnej sprawności

Table 1.

Comparison of the ventilation system for the evacuation tracts equipped with the recuperators of different efficiency

η	T_R [°C]	ρ_g [kg/m ³]	ρ_p [kg/m ³]	Δp [Pa]	P_{d_g} [Pa]	P_{d_d} [Pa]
0	-20	1.20	1.39	201,53	150,76	-50,76
0,4	-4	1.20	1,31	113,73	106,86	-6,86
0,5	0	1.20	1,29	93,39	96,69	3,31
0,6	4	1.20	1,27	73,63	86,82	13,18
0,7	8	1.20	1,26	54,44	77,22	22,78
0,8	12	1.20	1,24	35,78	67,89	32,11
0,9	16	1.20	1,22	17,64	58,82	41,18

gdzie:

η - sprawność rekuperatora,

T_R – temperatura powietrza po rekuperatorze [°C],

ρ_g – gęstość powietrza w temperaturze T_p [K] przy ciśnieniu 1013 [hPa],

ρ_p – gęstość powietrza w temperaturze T_R [K] przy ciśnieniu 1013 [hPa],

P_{d_g} – ciśnienie mierzone na drzwiach na górnych kondygnacjach [Pa],

P_{d_d} – ciśnienie mierzone na drzwiach na dolnych kondygnacjach [Pa].

W obliczeniach założono, że celem instalacji jest utrzymanie ciśnienia w przestrzeni klatki schodowej na poziomie 50Pa. Przy założeniu liniowego rozkładu ciśnienia w klatce schodowej wartość ta będzie zachowana na poziomie płaszczyzny obojętnej (Rys.1 oraz 2). Przyjmuje się, że dla zapewnienia skuteczności systemu napowietrzania klatek schodowych najniższa różnica ciśnień zmierzona pomiędzy korytarzem ewakuacyjnym i przestrzenią klatki schodowej wynosi odpowiednio 12.5 Pa wg NFPA 92A – amerykański standard dotyczący ochrony przed zadymieniem dróg ewakuacyjnych, 20Pa wg instrukcji ITB 378/2002 lub 30Pa wg znowelizowanej normy PN-EN 12101 – 6. Najwyższe ciśnienie w klatce schodowej względem korytarza nie może zaś przekroczyć w zależności od przyjętego standardu wartości odpowiadającej wartości siły potrzebnej do otwarcia drzwi 133 N wg NFPA 92A, 80 Pa wg Instrukcja ITB 378/2002, 100 N wg znowelizowanej normy PN-EN 12101 – 6. Należy więc przyjąć jako skrajnie niekorzystne wartości:

- najniższe dopuszczalne ciśnienie 30 Pa,
- najwyższe dopuszczalne ciśnienie 80 Pa.

Z wyników obliczeń zamieszczonych w tabeli wynika, że w odniesieniu do przepisów NFPA 92A oraz Instrukcji ITB 378/2002 wymagane warunki rozkładu ciśnienia powietrza w klatce schodowej zostaną zachowane już przy sprawności rekuperatora na poziomie 70%, zaś w odniesieniu do PN-EN 12101 wymagana sprawność odzysku ciepła wynosi 80%. Należy przy tym uwzględnić fakt, że zakładamy tutaj dowolny system nawiewu powietrza. Przy zastosowaniu specjalnych systemów nawiewu jak np. system przeciwciągu (system SAFETY WAY firmy SMAY [6]) wartości te mogą okazać się znacznie niższe. Poza tym przy tego typu kierunkowych nawiewach powietrza znacznie spadnie wydajność instalacji wentylacji pożarowej co może przyczynić się do bardzo dużych oszczędności inwestycyjnych związanych z zakupem takiej instalacji do budynku.

Aby jednak system odzysku ciepła mógł zostać zastosowany we współpracy z wentylacją pożarową musiałby spełnić odpowiednie wymagania. Wymagania te to przede wszystkim:

- potwierdzona badaniami odpowiednia efektywność odzysku ciepła dająca gwarancje minimalizowania do możliwego do zaakceptowania poziomu efektu kominowego w określonych warunkach temperaturowych,
- efektywna praca systemu w przypadku wysokich wilgotności powietrza wywiewanego oraz niskich temperatur powietrza zewnętrznego (problem obładzenia w przypadku niektórych wymienników przeponowych),
- efektywność odzysku chłodu w przypadku wyższych temperatur powietrza zewnętrznego w okresach letnich,

- odpowiednia szczelność,
- odporność temperaturowa w przypadku pojawienia się gorących gazów w powietrzu wywiewanym.

Podsumowanie

Systemy odzysku ciepła stosowane w instalacjach wentylacji mechanicznej wpływają bezpośrednio na energochłonność instalacji, a co za tym idzie koszty użytkowania budynku. Poza aspektami związanymi ze zużyciem energii efektywność tych urządzeń nie wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo osób przebywających w budynku. W przypadku jednak zastosowania rekuperatora jako elementu instalacji oddymiającej jego efektywność staje się parametrem kluczowym gdyż zależy od niej bezpośrednio bezpieczeństwo osób ewakuowanych z budynku podczas pożaru. Dlatego wymienniki ciepła (rekuperatory) zastosowane w tego typu instalacjach muszą być dobierane z zachowaniem szczególnej dbałości o uzyskanie wymaganych parametrów pracy. Mając na uwadze korzyści jakie może przynieść wykorzystanie opisanej metody poprawy bezpieczeństwa pożarowego budynków, opierając się o dostępne zalecenia normatywne, wytyczne i procedury badawcze w zakresie wymagań jakie powinny spełniać rekuperatory w systemach wentylacyjnych, powinny zostać podjęte w tym zakresie odpowiednie prace badawcze i rozwojowe. Celem badań powinno być wypracowanie procedur pozwalających określić i zweryfikować wymagania jakie powinien spełniać system odzysku ciepła, aby można było go zastosować do instalacji napowietrzania dróg ewakuacyjnych.

Literatura

1. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. *Prawo budowlane* (Dz. U. Nr 89, poz. 414) z późniejszymi zmianami (Dz. U. z 2010 r. Nr 234 poz. 1623 tekst jednolity)
2. EN-13141-7 *Ventilation form buildings Performance testing of components/products for residential buildings -Part 7: Performance testing of mechanical supply and exhausted ventilation unit (including heat recovering) for mechanical ventilation systems intended for single family dwellings.*
3. PN-EN 12101-6:2007 *Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnień. Zestawy urządzeń.*
4. Dział rozwoju firmy SMAY; *Safety Way® – nowy sposób na ochronę klatek schodowych*; Chłodnictwo i Klimatyzacja 1-2/2009
5. Dział rozwoju firmy SMAY; *Praktyczne spostrzeżenia wynikające z badań systemu Safety Way®*; Chłodnictwo i Klimatyzacja 3/2009
6. Kubicki G.; Wiche J., *Safety Way® – pierwszy inteligentny system ochrony przed zadymieniem dróg ewakuacji*; Ochrona Przeciwożarowa 3/2010

7. PN-B-02856:1989 – *Ochrona przeciwpożarowa budynków – Metoda badania właściwości dymotwórczych materiałów.*
8. Sypek G., Tekielak I., Wiche J., *Różnicowanie ciśnienia w pionowych drogach ewakuacyjnych budyn-*

- ków wysokościowych. Analiza numeryczna działania systemów;* Chłodnictwo i Klimatyzacja 6/2010
9. Sypek G., Wiche J.: *Temperatura a systemy ochrony przed zadymieniem pionowych dróg ewakuacji;* Ochrona Przeciwpożarowa 12/2009

dr inż. Stanisław Koziol

jest adiunktem w Instytucie Technologii Eksploatacji - PIB w Radomiu. Kieruje pracami Działu Projektowania. Jest autorem lub współautorem 60 publikacji naukowych, 10 uzyskanych patentów oraz 50 zgłoszeń patentowych. Brał udział w realizacji 40 projektów badawczych, ponadto kierował 20 projektami badawczymi i rozwojowymi.

Dr inż. Andrzej Zbrowski

jest adiunktem w Instytucie Technologii Eksploatacji - PIB w Radomiu. Kieruje Zakładem Doświadczalnym. Jest autorem lub współautorem 130 publikacji naukowych, 35 uzyskanych patentów oraz 110 zgłoszeń patentowych. Brał udział w realizacji 40 projektów badawczych, ponadto kierował 12 projektami badawczymi i rozwojowymi.