

**PORADNIK**

# **USPRAWNIANIE WENTYLACJI**

**WENTYLACJA NATURALNA,  
ZDECENTRALIZOWANA  
I MECHANICZNA**

**RI** [rynekinstalacyjny.pl](http://rynekinstalacyjny.pl)

Efektywność działania wentylacji naturalnej i możliwości jej usprawnienia . . . . .	4
Rekuperacja decentralna – komfortowa wentylacja wewnątrz nawet do pojedynczych pomieszczeń . . . . .	14
Zdecentralizowana wentylacja budynków i mieszkań . . . . .	18
Systemy ogrzewania powietrznego zintegrowane z kominkami jako źródło zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego . . . . .	24
Wentylacja hybrydowa, co to takiego? . . . . .	34
Wentylacja w budynkach wielorodzinnych . . . . .	40
DachAirbox i RecirculationBox – nowatorskie rozwiązania dla hal przemysłowych . . . . .	44
SupraBox DELUXE – energooszczędny system wentylacji do bezpośredniej instalacji w pomieszczeniu . . . . .	52
Wentylacja hybrydowa w budynkach mieszkalnych – nowa jakość powietrza dla mieszkających w nich ludzi . . . . .	62
Odzysk ciepła z wentylacji – luksus czy konieczność . . . . .	66
Rekuperacja: energooszczędna wentylacja w nowoczesnym domu . . . . .	70
Konfiguracja centrali wentylacyjnej i źródła ciepła a koszty eksploatacji systemu grzewczo-wentylacyjnego domu jednorodzinnego . . . . .	74
Usprawnianie wentylacji – wentylacja naturalna, zdecentralizowana i mechaniczna . . . . .	84
Integracja systemów wentylacyjnych i grzewczo-chłodzących dla budynków pasywnych jednorodzinnych . . . . .	90
Rekuperacja stropowa SPIDERvent – NIEzwykły system rozdzielaczowy . . . . .	100
Centrale wentylacyjne – technologie i wymagania . . . . .	104
Ograniczenie zapotrzebowania na energię do wentylacji pomieszczeń handlowych centralnymi strefowymi urządzeniami wentylacyjnymi . . . . .	110
Określanie średniego strumienia powietrza wentylacyjnego na potrzeby obliczania wskaźnika $EP_{H+W}$ . . . . .	122
Bezprzeponowe powietrzne gruntowe wymienniki ciepła w układach wentylacji mechanicznej . . . . .	132
Wentylatory – wymagania i oczekiwania dotyczące efektywności . . . . .	140
Konsekwencje wprowadzenia nowej klasyfikacji filtrów dla wentylacji wg normy EN-ISO 16890 . . . . .	146



WWW.REKUPERATORY.PL®



uniwersal



Redakcja



#### Adres redakcji

ul. Karczewska 18, 04-112 Warszawa  
tel. 22 512 60 75  
faks 22 810 27 42  
www.rynekinstalacyjny.pl

#### Redakcja e-booka

Angelika Kosieradzka  
akosieradzka@medium.media.pl  
Przy opracowywaniu e-booka wykorzystano materiały zamieszczone w portalu rynekinstalacyjny.pl

#### Reklama

mdzierzawa@medium.media.pl  
ezgutka@rynekinstalacyjny.pl



#### Grupa MEDIUM

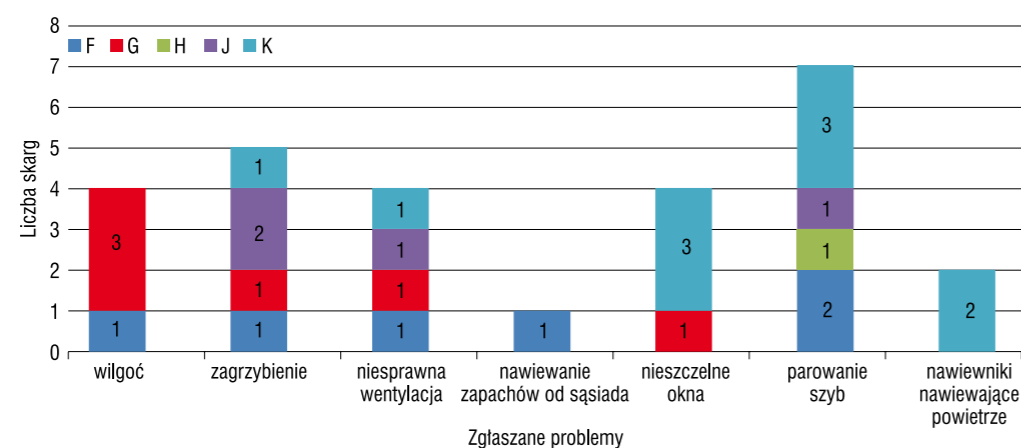
Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp.k.  
ul. Karczewska 18, 04-112 Warszawa  
tel. 22 810 21 24, faks 22 810 27 42

## Efektywność działania wentylacji naturalnej i możliwości jej usprawnienia

Wyniki badań wentylacji naturalnej w nowych budynkach wskazują, że nie działa ona poprawnie. Różnice między wymaganym strumieniem wentylacyjnym a rzeczywistym sięgają niejednokrotnie 100% – czyli praktycznie nie ma żadnej wentylacji. W obecnie projektowanych i wznoszonych budynkach należy odchodzić od wentylacji grawitacyjnej na rzecz hybrydowej lub mechanicznej.

Jednym z podstawowych kryteriów komfortu użytkownika lokali mieszkalnych są warunki wewnętrzne. Decydują o nich przede wszystkim właściwie zaprojektowane i wykonane przegrody budowlane (w tym stolarka okienna) czy odpowiednio dobrana i wykonana instalacja grzewcza i wentylacyjna. We wznoszonych budynkach mieszkalnych stosuje się najczęściej wentylację grawitacyjną. Prawidłowo zaprojektowana oraz wykonana [1] powinna zapewniać ciągłą wymianę powietrza. Przepływ powietrza wywołany jest różnicą ciśnień powstającą na skutek różnicy temperatury na zewnątrz i wewnątrz budynku oraz działania wiatru. Niestety coraz częściej w nowych budynkach mieszkalnych wentylacja grawitacyjna nie działa prawidłowo. Konsekwencją są takie zjawiska, jak kondensacja powierzchniowa i pleśń, niekorzystnie wpływające na komfort życia i zdrowie mieszkańców. W artykule podjęto próbę odpowiedzi na pytanie o przyczynę tej sytuacji oraz możliwości rozwiązania problemu.

Analizie poddano zespół mieszkalnych budynków komunalno-socjalnych z funkcją usługowo-handlową zaprojektowany w 2009 roku. W jego skład wchodzi pięć obiektów zaprojektowanych w tej samej technologii (oznaczonych na potrzeby artykułu jako F, G,



Rys. 1. Najczęściej zgłaszane przez mieszkańców lokali skargi

H, J i K). Wszystkie budynki są podpiwniczone. Każdy ma cztery kondygnacje nadziemne (parter i trzy piętra). Na parterze, piętrach pierwszym, trzecim i czwartym znajdują się cztery lokale mieszkalne, a na drugim piętrze – trzy. Większość lokali ma balkony. Przegrody zewnętrzne budynków zostały wykonane z bloczków silikatowych ocieplonych styropianem. Niewielkie fragmenty ścian zewnętrznych mają konstrukcję żelbetową, także ocieploną styropianem.

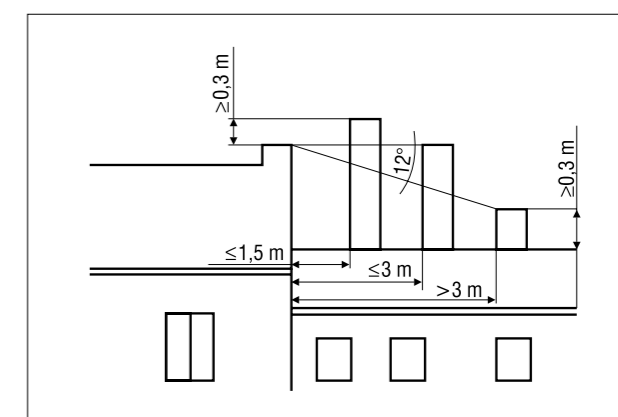
### Analiza skarg mieszkańców

Przed wykonaniem badań przeprowadzono analizę zgłaszanych przez mieszkańców skarg. Głównym problemem jest parowanie szyb w oknach oraz obecność w mieszkaniu pleśni spowodowana dużą wilgocą. Zgłaszane problemy oraz liczba skarg w danym budynku zostały przedstawione na wykresie (rys. 1).

Po pojawieniu się skarg w lokalach zamontowano nawiewniki okienne, których wcześniej nie było. Niestety opinie kominiarskie potwierdziły, że wentylacja grawitacyjna nadal nie działa prawidłowo pomimo zastosowania tych urządzeń.

### Ocena dokumentacji projektowej

Ocena zgodności zastosowanych rozwiązań z obowiązującymi w roku 2009 przepisami przeprowadzona została na podstawie udostępnionej dokumentacji. Stwierdzono, że zarówno projekt wykonawczy, jak i dokumentacja powykonawcza nie zawierają projektu wentylacji, pomimo że obowiązek projektowania wentylacji grawitacyjnej został wprowadzony rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego. W rozporządzeniu tym czytamy, że wprowadza się następujące zmiany: w § 11 w ust. 2: a) pkt 7 otrzymuje brzmienie: „rozwiązania zasadniczych elementów wyposażenia budowlano-instalacyjnego, zapewniające użytkowanie obiektu budowlanego zgodnie z przeznaczeniem, w szczególności instalacji i urządzeń budowlanych: sanitarnych, ogrzewczych, wentylacji grawitacyjnej, grawitacyjnej wspomagananej i mechanicznej, chłodniczych, klimatyzacji, gazowych, elektrycznych, telekomunikacyjnych, piorunochronnych, a także sposób powiązania instalacji obiektu budowlanego z sieciami zewnętrznymi wraz z punktami pomiarowymi, założenia przyjęte do obliczeń instalacji oraz podstawowe wyniki tych



Rys. 2. Prawidłowe usytuowanie wylotów komin wg PN-B-10425:1989 [2]

obliczeń, z uzasadnieniem doboru, rodzaju i wielkości urządzeń, przy czym należy przedstawić:

- dla instalacji ogrzewczych, wentylacyjnych, klimatyzacyjnych lub chłodniczych – założone parametry klimatu wewnętrznego z powołaniem przepisów techniczno-budowlanych oraz innych przepisów w tym zakresie,
- dobór i zwymiarowanie parametrów technicznych podstawowych urządzeń ogrzewczych, wentylacyjnych, klimatyzacyjnych i chłodniczych oraz określenie wartości mocy cieplnej i chłodniczej oraz mocy elektrycznej związanej z tymi urządzeniami”.

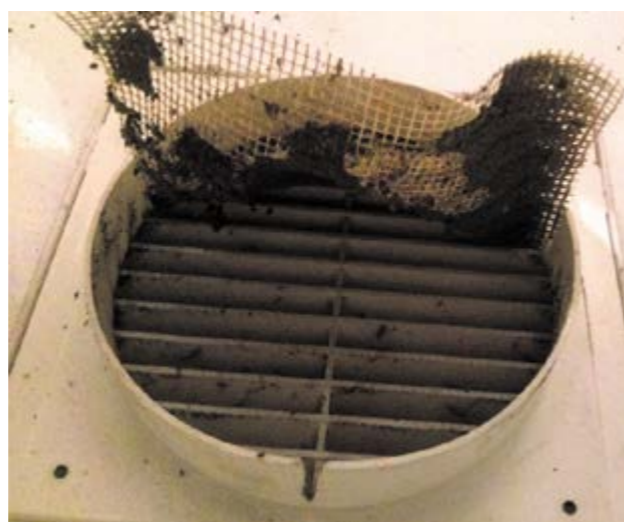
Ponadto stwierdzono, że odcinki kanałów wentylacyjnych są prowadzone częściowo poziomo, a dopuszcza się jedynie odchylenie przewodu od pionu o kąt 30 stopni zgodnie z normą PN-89/B-10425 [2]. Z kolei usytuowanie wylotów kanałów wentylacyjnych wywiewnych jest niezgodne z przepisami WT [7], które przywołują rozwiązania zawarte w normie PN-B-10425 [2] (**rys. 2**).

Przy usytuowaniu kominów obok przeszkody, przy dachach wgłębionych, do prawidłowego działania ich wyloty powinny się znajdować co najmniej na poziomie górnej krawędzi przeszkody (dla kominów usytuowanych w odległości od 1,5 do 3,0 m od tej przeszkody). Analizowane budynki mają stropodach płaski zwieńczony attyką. Część wylotów kominów znajduje się w odległości 2,48 m od ścianki attykowej, ich wyloty znajdują się 0,48 m poniżej górnej krawędzi tej ścianki.



**Fot. 1.** Otwory w drzwiach do łazienki [4] niespełniające wymagania dotyczące minimalnej powierzchni – 200 cm<sup>2</sup>

Jak stwierdzono na podstawie analizy dostępnej dokumentacji i inwentaryzacji, wyloty kominów wentylacyjnych nie spełniają wymagań normy PN-B-10425:1989 [2]. W celu usunięcia tej niezgodności w „Projekcie usprawnienia wentylacji grawitacyjnej” z września 2014 zaproponowano przebudowę kominów. Miała ona polegać na ich podwyższeniu o 1 m oraz dodaniu nasad typu Turbovent dla najkrótszych kanałów obsługujących lokale na najwyższej kon-



**Fot. 2.** Zapchana kratka wentylacyjna w łazience [4]

Kondygnacja	Nr lokalu	Liczba mieszkańców/ lokal	Strumień objętości powietrza wywiewanego wg PN-83/B-03430	Min. wymagany strumień powietrza nawiewanego	Całkowity wymagany strumień powietrza (maks. ze strumienia wywiewanego i nawiewanego)
		os.			
0	1	2-3	80	40-60	80
0	2	3-4	80-100	60-80	80-100
0	3	1-4	80-100	20-80	80-100
0	4	1-2	80	20-40	80
1	5	2-4	80-100	40-100	80-100
1	6	2-6	80-100	60-120	80-120
1	7	2-4	80-100	40-80	80-100
1	8	1-2	80	20-80	80
2	9	3-4	80-100	60-80	80-100
2	10	3-10	80-100	60-200	80-200
2	11	4-5	100	80-100	100
3	12	4-5	100	80-100	100
3	13	2-4	80-100	40-80	80-100
3	14	3-4	80-100	60-80	80-100
3	15	1-2	80	20-40	80

**Tabela 1.** Wymagania normowe dotyczące wentylacji pomieszczeń użytkowych – średnie wartości dla poszczególnych mieszkań

dygnacji. Zaproponowane rozwiązanie usuwa niezgodność z normą, lecz nie przyczynia się do znaczącej poprawy działania wentylacji grawitacyjnej w budynku. Przeprowadzone pomiary oraz obliczenia udowodniły, że również dla dłuższych kanałów wywiewnych ciąg jest niewystarczający i nie zapewnia uzyskania wymaganych normą PN-83/B-03430 [3] strumieni powietrza wentylacyjnego. Przebudowę taką należy uznać za bezcelową i zastosować inne rozwiązanie gwarantujące, że wentylacja będzie działać prawidłowo.

### Wymagana i obliczeniowa wydajność systemu wentylacji

W celu analizy obecnej sytuacji oraz zaproponowania rozwiązania usprawniającego działanie wentylacji wykonano obliczenia teoretyczne oraz badania rzeczywistej wydajności wentylacji grawitacyjnej w budynkach.

Etapem przygotowawczym było określenie wymaganych strumieni powietrza wentylacyjnego dla poszczególnych lokali. Strumień określono jako maksymalną wartość z sumy: a) strumieni powietrza wywiewanego zgodnie z PN 83/B-03430:Az 2000 [3] (norma wycofana, jednak obowiązująca w chwili projektowania budynków). Pomieszczeniami,

z których powietrze jest usuwane, w analizowanych lokalach są: wydzielona łazienka oraz wydzielona kuchnia z oknem i kuchnią elektryczną;

b) strumieni powietrza nawiewanego. Strumień przypadający na 1 osobę – w przypadku osób niepalących – to 20 m<sup>3</sup>/h.

Wartość ta wynosi od 80 do 200 m<sup>3</sup>/h. Średnie wartości dla poszczególnych mieszkań zostały przedstawione w **tabeli 1**.

Obliczenia polegały na:

- określeniu teoretycznej wielkości strumienia powietrza usuwanego przez pionowe kanały wentylacyjne wykonane z kształtek ceramicznych o średnicy 0,15 m, wielkość ta zależy głównie od wysokości czynnej kanałów,
- obliczeniu wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego dla układu nawiewniki, kratki i kanał wentylacyjny, obliczenia te wykonano na podstawie równania Bernoulliego z uwzględnieniem miejscowych strat ciśnienia występujących na nawiewnikach (przyjęto  $\xi = 2,0$ ), kratkach i kolankach oraz strat liniowych występujących w kanałach.

Kalkulację przeprowadzono dla temperatury powietrza zewnętrznego 12°C, temperatury powietrza w kuchni 20°C i temperatury w łazience 24°C.

Wyniki przeprowadzonych obliczeń oraz porównanie strumienia teoretycznego z obliczeniowym podano w **tabeli 2**. Jak widać, strumień obliczeniowy jest około pięciokrotnie

Nr lokalu	Teoretyczna wielkość strumienia w pionowych kanałach wentylacyjnych	Obliczeniowy strumień powietrza wywiewanego uwzględniający straty ciśnienia	Ubytek strumienia powietrza wywiewanego względem wymaganego
	m <sup>3</sup> /h		%
1	143	27,9	65
2	143	27,0	68
3	143	32,6	62
4	143	33,7	58
5	130	28,3	69
6	130	28,3	67
7	130	27,3	67
8	130	23,3	71
9	112	21,3	77
10	112	24,5	74
11	112	21,9	78
12	35	7,7	92
13	35	7,5	91
14	35	7,5	91
15	35	8,1	90

**Tabela 2.** Zestawienie teoretycznego oraz obliczeniowego strumienia powietrza wentylacyjnego

mniejszy od teoretycznego. Porównanie wymaganego strumienia powietrza wentylacyjnego (**tabela 1**) z obliczeniowym pokazuje, że brakująca ilość powietrza wynosi od 65 do 91%. Można zatem stwierdzić, że w żadnym z lokali istniejący system wentylacji grawitacyjnej nie jest w stanie zapewnić wymaganej wydajności dla warunków obliczeniowych.

### Badania wydajności systemu wentylacji

Badania przeprowadzone w lokalach obejmowały:

- określenie strumienia powietrza usuwanego przez kanały wywiewne grawitacyjne (**tabela 3**) – pomiary wykonywano przy oknach zamkniętych i wszystkich nawiewnikach w pozycji otwartej,
- określenie panujących wewnątrz lokali parametrów powietrza wewnętrznego – temperatury i wilgotności względnej,
- określenie liczby i sposobu użytkowania nawiewników,
- określenie skuteczności przepływu powietrza w lokalu mieszkalnym – szczeliny pod drzwiami, kratki wyrównawcze,
- ocenę drożności i sposobu wykonania kanałów wentylacyjnych i kratek,
- dokumentację niekorzystnych zjawisk powstałych w lokalach mieszkalnych.

Przeprowadzone badania pokazały, że w żadnym z lokali wentylacja grawitacyjna nie działała prawidłowo. Porównanie wymaganego strumienia powietrza wentylacyjnego (**tabela 1**) ze strumieniem zmierzonym pokazuje, że brakująca ilość powietrza wynosi od 54 do 82%. Uzyskana różnica jest zbliżona do różnicy obliczeniowej wynoszącej 65–91%.

Nr lok.	Strumień powietrza wywiewanego – na podstawie badań	Ubytek strumienia powietrza (wymaganie a badanie)
	m <sup>3</sup> /h	%
1	30	62
2	18	82
3	35	57
4	25	69
5	35	59
6	40	54
7	35	59
8	20	75
9	19	80
10	24	76
11	28	72
12	18	79
13	25	70
14	20	76
15	23	72

**Tabela 3.** Zestawienie średnich wartości strumienia powietrza wywiewanego określonych na podstawie badań rzeczywistych poszczególnych lokali mieszkalnych

### Przyczyny niesprawności wentylacji

Dla prawidłowego działania systemu wentylacji grawitacyjnej konieczne jest spełnienie trzech warunków.

## Dopływ powietrza przez otwory wentylacyjne

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy dostępnej dokumentacji stwierdzono następujące wady:

- liczba zastosowanych nawiewników okiennych jest niewystarczająca dla zapewnienia wymaganego strumienia powietrza wentylacyjnego. W przypadku jednego lokalu stwierdzono całkowity brak nawiewników;
- mieszkańcy okresowo zamykają nawiewniki, co znacząco ogranicza przepływ powietrza. Przeprowadzone badania ankietowe wskazują, że robi tak połowa mieszkańców;
- w wielu przypadkach stwierdzono, że otwory wylotowe nawiewników są zasłonięte przez rolety wewnętrzne, co skutkuje brakiem przepływu powietrza przez nawiewniki.

## Dopływ powietrza do pomieszczeń, z których jest ono usuwane

Badania i analiza dokumentacji umożliwiły stwierdzenie następujących wad:

- w części lokali szczeliny pod drzwiami wewnętrznymi są zbyt małe. Zgodnie z normą PN-83 B-03430:Az2000 [3] „Powietrze z pokoi mieszkalnych powinno być odprowadzane przez otwory wyrównawcze umieszczone ponad drzwiami lub w ich górnej części lub przez otwory wywiewne. Dopuszcza się odprowadzanie powietrza przez szczeliny pomiędzy dolną krawędzią drzwi a podłogą. Przekrój netto otworów lub szczelin powinien wynosić co najmniej 80 cm<sup>2</sup>.” Dla skrzydła o szerokości 0,8 m szczelina pomiędzy dolną krawędzią drzwi a podłogą powinna mieć min. 1 cm wysokości;
- wielkość kraterów w drzwiach do łazienek jest czasami zbyt mała. Dotyczy to w szczególności drzwi, które zostały wymienione przez mieszkańców (**fol. 1**). Powierzchnia otworu lub szczeliny w drzwiach do łazienki powinna wynosić co najmniej 200 cm<sup>2</sup>. Zbyt małe otwory utrudniają dopływ powietrza do łazienek.

## Uzyskanie odpowiedniego ciągu wentylacyjnego

Badania i analiza dokumentacji umożliwiły stwierdzenie następujących wad:

- długość i przekrój kanałów wentylacyjnych wywiewnych są zbyt małe dla zapewnienia odpowiedniego ciągu wentylacyjnego. Dotyczy to w szczególności kanałów w lokalach na ostatniej kondygnacji – ich długość wynosi jedynie 0,45 m;
- wyloty kominów są usytuowane niezgodnie z normą, co przy silnym wietrze powoduje powstawanie turbulencji zaburzających ciąg;
- poziome odcinki kanałów wywiewnych zwiększają opory przepływu powietrza, co prowadzi do zmniejszenia ciągu wentylacyjnego;

- część kraterów wywiewnych w kuchniach i łazienkach jest wyposażona w siatki, na których osadzają się zabrudzenia. Niektóre są całkowicie niedrożne, co uniemożliwia usuwanie powietrza (**fol. 2**). Część mieszkańców zainstalowała wentylatory wywiewne lub podłączyła okapy wywiewne w kuchni (do pojedynczego kanału wentylacyjnego znajdującego się w pomieszczeniu). Takie rozwiązania również utrudniają usuwanie powietrza w momencie, gdy wentylatory lub okapy nie pracują.

Niespełnienie nawet jednego z powyższych warunków może spowodować, że wentylacja grawitacyjna nie będzie działać prawidłowo.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz obliczeń można wnioskować, że wentylacja grawitacyjna wykonywana nawet zgodnie z aktualnymi wymaganiami nie działa poprawnie. Różnice między strumieniem wentylacyjnym wymaganym a rzeczywistym sięgają niejednokrotnie 100% (wentylacja jest w takim przypadku niesprawna w 100%). Bardzo dużym problemem wynikającym z braku działania wentylacji jest występowanie dużej wilgotności powietrza wewnętrznego (sięgającej nawet ponad 80%). Na skutek tak wysokiej wilgotności występuje bardzo duże ryzyko powstania powierzchniowej oraz międzywarstwowej kondensacji pary wodnej. Prowadzi to do powstawania i rozwoju pleśni.

Usprawnienie działania wentylacji grawitacyjnej w istniejących budynkach mieszkalnych jest możliwe na różne sposoby. Do najprostszych rozwiązań można zaliczyć:

- zwiększenie efektywności istniejącej wentylacji grawitacyjnej,
- wprowadzenie mechanicznej wentylacji wywiewnej,
- zastosowanie wentylacji hybrydowej.

Zwiększenie efektywności istniejącej wentylacji grawitacyjnej jest możliwe, ale wiązałoby się z koniecznością zastosowania rozwiązań trudnych do wprowadzenia ze względów technicznych. Jak wykazały badania i obliczenia, ciąg kominowy jest zbyt słaby dla zapewnienia odpowiedniego strumienia powietrza wentylacyjnego. Żeby go zwiększyć, konieczne byłoby wydłużenie istniejących kominów. Niestety nawet dla kondygnacji, na której długość kominów wynosi ok. 9,65 m, ciąg jest niewystarczający, należałoby też wprowadzić dodatkowe nawiewniki. Teoretycznie, żeby wentylacja mogła działać przy różnicy 10 Pa, należy zainstalować dodatkowo 1–5 nawiewników na lokal. Większa liczba nawiewników byłaby trudna do zamontowania, szczególnie w lokalach mających tylko dwa okna.

Zastosowanie wentylacji mechanicznej pozwoliłoby na uzyskanie wymaganych strumieni powietrza wentylacyjnego. Rozwiązanie takie może się jednak wiązać z koniecznością wykonania nowych kanałów wywiewnych w całym budynku – wyższe wymagania

dotyczące szczelności kanałów. Wentylacja pracowałaby również przy większej różnicy ciśnień niż naturalna, co mogłoby spowodować „wianie z nawiewników”. W przeciwieństwie do wentylacji grawitacyjnej byłaby ona jednak niezależna od warunków pogodowych. Zastosowanie wentylacji mechanicznej wiąże się z dodatkowym zużyciem energii przez wentylatory i ryzykiem wystąpienia hałasów od wentylatorów.

Wentylacja hybrydowa stanowi połączenie wentylacji grawitacyjnej z mechaniczną, zapewniając w budynku odpowiednią jakość powietrza, niezależnie od pory dnia i warunków atmosferycznych. Podstawowymi zaletami wentylacji hybrydowej są:

- niezależność od warunków pogodowych – wentylacja hybrydowa zapewnia usuwanie wymaganego strumienia powietrza przez cały rok;
- niski koszt eksploatacji – w nasadach hybrydowych stosuje się energooszczędne wentylatory, które działają okresowo – wspomagają uzyskanie różnicy ciśnienia tylko w sytuacji, gdy ciąg naturalny jest za słaby. W przeciwieństwie do wentylacji mechanicznej wytwarzana jest jedynie niewielka różnica ciśnienia, na poziomie 10 Pa;
- możliwość montażu w istniejącym budynku – system wentylacji hybrydowej można wprowadzić w istniejącym budynku bez potrzeby wykonywania nowych lub dodatkowych kanałów wentylacyjnych.

Podsumowując, należy stwierdzić, że w obecnie projektowanych i wznoszonych budynkach należy odchodzić od wentylacji grawitacyjnej na rzecz wentylacji hybrydowej lub mechanicznej. Zastosowanie wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła w połączeniu z wysoką szczelnością powietrzną budynku może także procentować wyższym standardem energetycznym budynku [5, 6].

**dr inż. Szymon Firląg**  
**mgr inż. Artur Miszczuk**

Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska

**Literatura:** <http://www.goo.gl/H CZ3bV>

**PRENUMERATA**

**RI Rynek  
instalacyjny**

na rok **2018**

ZADZWOŃ: 22 512 60 74

LUB NAPISZ: JWATOR@MEDIUM.MEDIA.PL

WIĘCEJ: RYNEKINSTALACYJNYPL/PRENUMERATA

## Rekuperacja decentralna – komfortowa wentylacja wewnątrz nawet do pojedynczych pomieszczeń

*Rosnące grono Polaków za istotną wartość codziennego życia uważa świeże powietrze. Dostarcza go rekuperacja, która niesłusznie jest zwykle kojarzona z centralą wentylacyjną oraz siecią kanałów dystrybuujących powietrze w rozległym domu. Warto pamiętać, że wentylację mechaniczną można zainstalować w każdym domu oraz mieszkaniu – niezależnie od jego wielkości i to zarówno w budownictwie nowym, jak i modernizowanym.*

Zdecentralizowana jednostka wentylacyjna musi być jednocześnie kompaktowa pod względem budowy, ale i wydajna w działaniu. Zehnder ComfoSpot 50 uzupełnia wymienione parametry jeszcze o łatwość montażu i możliwość uniknięcia prac budowlanych. Intuicyjną, łatwą obsługę tego urządzenia zapewnia panel sterowania. Wyposa-



żenie w entalpiczny wymiennik krzyżowo-przeciwprądowy pozwala na odzysk na wysokim poziomie z powietrza wywiewanego nie tylko ciepła, lecz także wilgoci. Nie tworzy się też kondensat, więc elewacja budynku pozostaje czysta. Synchroniczny tryb powietrza doprowadzanego i wywiewanego umożliwia ciągłe odzyskiwanie ciepła i wilgoci. Co więcej, membrany tego wymiennika zapobiegają przenikaniu zapachów, a konserwacja polega na prostym czyszczeniu wodą.

Elegancki wygląd – na zewnątrz widoczna jedynie dyskretna osłona – oraz możliwość pokrycia kolorem w odcieniu ściany sprawia, że wpasuje się w wystrój każdego pomieszczenia.

Zehnder ComfoSpot 50 może tłoczyć do 55 m<sup>3</sup>/h powietrza, pracując przy tym niezwykle cicho. To dzięki wewnętrznej powłoce EPP poziom ciśnienia akustycznego pozostaje



poniżej zakresu słyszalności. Do temperatury –5°C stosuje się go w pełnym zakresie, a w przedziale od –5 do –15°C jednostka wentylacyjna pracuje z regulacją ochrony przed zamarzaniem, co skutecznie zapobiega tworzeniu się warstwy lodu.

Drugim przykładem zdecentralizowanego urządzenia wentylacyjnego z odzyskiem ciepła i wilgoci o jeszcze wyższej wydajności – do 65 m<sup>3</sup>/h – jest Zehnder ComfoAir 70. Łatwy oraz szybki montaż będzie niewątpliwą zaletą w odnawianych, jak i nowych budynkach, mieszkaniach, domach studenckich

lub innych pomieszczeniach. Opcjonalnie może obsługiwać nawet dwa znajdujące się blisko siebie pomieszczenia. W tylnej części obudowy jednostki jest możliwość podłączenia dodatkowego kanału nawiewnego bądź wywiewnego. Wysoki odzysk ciepła i wilgoci (certyfikat PHI) umożliwia entalpiczny krzyżowo-przeciwprądowy





wymiennik ciepła, który jest odporny na zagrzybienie, drobnoustroje oraz zamarzanie. Mostki termiczne nie występują tam dzięki zastosowaniu izolacji ze spienionego polipropylenu EPP, który również powoduje, że praca urządzenia jest bardzo cicha, co wspomagają wysokiej jakości wentylatory. Kompaktowe wymiary można uzyskać również dzięki, zintegrowanych w jednym elemencie, czerpni i wyrzutni. Panel sterujący umożliwia wybór spośród czterech stopni regulacji wydajności powietrza oraz opcję sterowania z funkcją oszczędzania energii. Sygnalizuje także awarie oraz informację o konieczności wymiany filtrów. Ponadto możemy doposażyć urządzenie w filtr przeciwpyłowy F7 dla powietrza czerpanego. Jednostka pracuje stale, bez konieczności uruchomienia systemu antyzamrozeniowego do temperatur zewnętrznych sięgających nawet  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Jednostki ComfoSpot 50 oraz ComfoAir 70 można wyposażyć w dodatkowy zewnętrzny panel sterujący oraz czujniki mierzące i kontrolujące ich pracę na podstawie poziomu dwutlenku węgla, wilgotności oraz lotnych związków organicznych.

Posiadanie urządzenia wentylacyjnego to nie tylko korzyści techniczne opisane powyżej. Użytkownik uzyskuje komfort dla wszystkich domowników, poprawę zdrowia oraz samopoczucia, oszczędność energii i obniżenie kosztów, a także utrzymanie wartości nieruchomości. Instalator nie musi wykonywać kłopotliwych prac budowlanych, gdyż urządzenie należy zamontować na wewnętrznej stronie ściany zewnętrznej.



ZEHNDER SP. Z O.O.  
52-214 Wrocław, ul. Kurpiów 14a  
tel. 71 367 64 24, 71 790 27 47  
info@zehnder.pl, www.zehnder.pl

# zehnder

## Facebook

Prężnie działający profil gromadzący sympatyków RI



## Rynekinstalacyjny.pl

Popularny portal branżowy umożliwia natychmiastowy dostęp do wiarygodnych informacji – m.in. wszystkich publikacji RI od 2008 r.



## Magazyn

Specjalistyczny miesięcznik informacyjno-techniczny, punktowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W numerze m.in.: artykuły techniczne, porady specjalistów, opisy projektów, nowości techniczne



## TV instalacje

Telewizja branżowa: wywiady, filmy poradnikowe, relacje z wydarzeń

## Konferencje

Efektywna platforma wymiany praktycznej wiedzy i doświadczeń



## Biblioteka RI

Wydania specjalne w formie dodatków do gazety – bezpłatne dla prenumeratorów RI



## e-Newsletter

Aktualności dotyczące rynku instalacyjnego, wywiady, nowości produktowe, informacje o szkoleniach, konferencjach i targach



## Seria „i”

Poradniki instalacyjne przygotowywane przez praktyków i specjalistów

## Zdecentralizowana wentylacja budynków i mieszkań

*Technologia budowy i modernizacji budynków jest stale udoskonalana – są one coraz lepiej izolowane termicznie, mają szczelne okna i elewację. Do zapewnienia pełnego komfortu konieczna jest również sprawna wymiana powietrza wewnętrznego. To zadanie coraz rzadziej jest w stanie realizować wentylacja naturalna (grawitacyjna).*

Żeby sprostać wymaganiom, zaczęto stosować rozwiązania wspomagające wentylację grawitacyjną, np. wentylatory wywiewne oraz nawietrzaki nadokienne i ściennie. Stosuje się również regulację przepływu powietrza zależną od poziomu wilgoci lub poziomu CO<sub>2</sub>. Nie pozwala to jednak na pełną kontrolę i ograniczanie strat ciepła. Zadanie to skutecznie zrealizuje dopiero wentylacja mechaniczna: z centralą wentylacyjną nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła oraz z instalacją wentylacyjną.

Nie w każdym istniejącym czy modernizowanym budynku można zamontować instalację wentylacyjną z rekuperatorem. Ponadto wielu inwestorów i posiadaczy domów jednorodzinnych stara się maksymalnie zredukować nakłady inwestycyjne i unikać wydatków na wentylację. Jednak w całej UE, w tym w Polsce, stale rosną wymagania odnośnie do energoefektywności budynków. Możliwości redukcji zużycia energii poprzez stosowanie izolacji termicznej przegród budowlanych i stolarki są coraz mniejsze, sprawności urządzeń grzewczych też są wyśrubowane. Ale wentylacja ma nadal spory potencjał oszczędności. Tym samym wymagania dla nowych i modernizowanych budynków są tak konstruowane, aby zachęcać do odzyskiwania ciepła z powietrza wentylacyjnego.

Doświadczenia rynkowe skłoniły wielu producentów do konstruowania małych urządzeń wentylacyjnych z odzyskiem ciepła, które są w stanie doprowadzić świeże powietrze do pomieszczeń bez konieczności budowy rozbudowanej instalacji z kanałami nawiewnymi i wywiewnymi oraz montażu centrali w pomieszczeniu gospodarczym. Poszukiwania idą w wielu kierunkach. Coraz większą popularność zdobywają urządzenia niewymagające wiercenia czy wykuwania dużych otworów w ścianie zewnętrznej i tym samym naruszania jej właściwości nośnych (co do stycznia 2017 wiązało się z koniecznością uzyskania pozwolenia na budowę, obecnie powinno wystarczyć zgłoszenie).

Jeden z kierunków rozwoju urządzeń wentylacyjnych to naścienne minicentrale wentylacyjne z odzyskiem ciepła do obsługi pojedynczych pomieszczeń, które wymagają dwóch przejść przez ścianę zewnętrzną, dla przewodu nawiewnego i wywiewnego obok siebie, np. o średnicy ok. 90–100 mm. Oferowane są już rekuperatory z pojedynczym koncen-

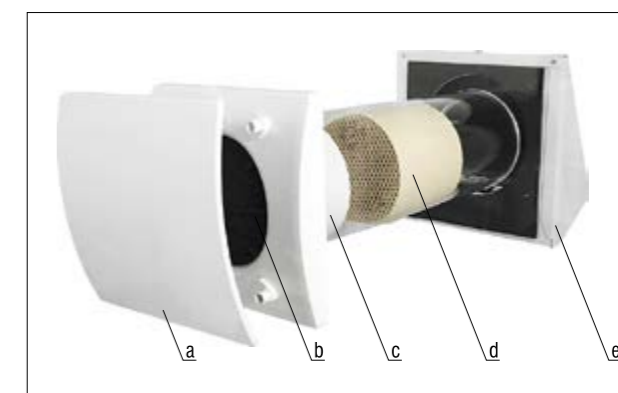
trycznym przewodem o średnicy 250 mm. Są to przeważnie jednostki z entalpicznymi wymiennikami krzyżowymi odzyskującymi nie tylko ciepło, ale też wilgoć. Niektóre mogą obsługiwać więcej niż jedno pomieszczenie – także drugie sąsiednie.

Drugi kierunek to minirekuperatory montowane w jednym otworze ściennym o małej średnicy – ok. 150 mm. Przeważnie wykorzystują ceramiczne wymienniki akumulacyjne – powietrze jest tłoczone przez nie naprzemiennie co kilkadziesiąt sekund (**rys. 1 i 2**). Pobór mocy elektrycznej takich minirekuperatorów wynosi kilka, kilkanaście watów.

### Rekuperatory z wymiennikami akumulacyjnymi

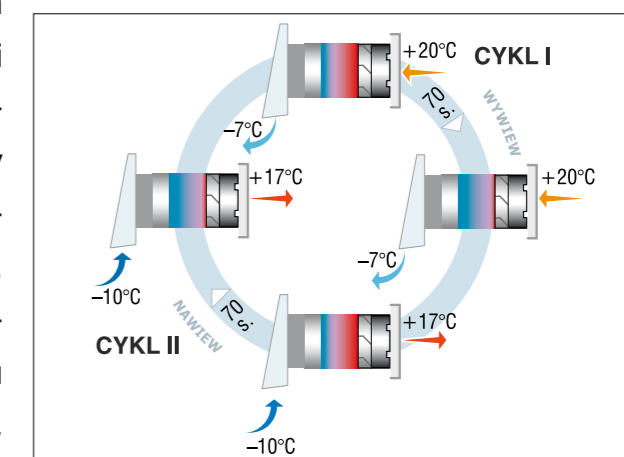
Ich konstrukcja jest prosta, a praca opiera się na dwóch naprzemiennych cyklach. W pierwszym cyklu pracy rewersyjny wentylator osiowy wyciąga zużyte powietrze z pomieszczenia, które przechodząc przez ceramiczny wymiennik, oddaje mu ciepło i wilgoć. Gdy wymiennik się nagrzejie i nie może przyjąć więcej ciepła, urządzenie automatycznie przechodzi w tryb nawiewny. Odwraca się wówczas przepływ, świeże powietrze z zewnątrz przechodzi przez wymiennik i odbiera od niego ciepło i wilgoć. Gdy temperatura wymiennika spadnie, wentylator ponownie zmienia kierunek przepływu. Zmiany następują co około 70 s.

Oferowane są też zestawy takich wymienników, które mogą tworzyć system wentylacji nie tylko jednego pomieszczenia, ale całego budynku czy mieszkania. W jednym pomieszczeniu z dwiema naprzeciwległymi ścianami zewnętrznymi mogą zostać zainstalowane dwa wymienniki – w czasie gdy jeden nawiewa, drugi wywiewa i po kilkadziesiąt sekund zamieniają się rolami. Tak samo wentylować można całe mieszkanie. Wprawdzie nie wymaga to montażu tradycyjnych przewodów wentylacyjnych, ale konieczne jest staranne wyodrębnienie stref wentylacyjnych ze zmianą kierunku przepływu (**rys. 3**).



**Rys. 1.** Rekuperator ścienny z ceramicznym wymiennikiem akumulacyjnym: a) przesłona ściany wewnętrznej, b) filtr, c) wentylator z naprzemiennym kierunkiem przepływu, d) akumulacyjny wymiennik ciepła, e) osłona w ścianie zewnętrznej

Rys. Alnor



**Rys. 2.** Schemat działania rekuperatora ściennego z wymiennikiem akumulacyjnym działającego w trybie naprzemiennego kierunku przepływu powietrza

Rys. Vents-Group.pl

Rekuperatory sprzęgnięte są bezprzewodowo (radiowo). Na przykład system sterowania dla rekuperatorów VITOVENT 100-D może służyć do centralnej obsługi trzech grup liczących po dwa urządzenia w przestrzeni mieszkalnej. Jest to moduł obsługowy z wyświetlaczem dotykowym do sześciu różnych trybów roboczych: sterowanie stopniami wentylacji; tryb eco (standardowy) z odzyskiem ciepła; tryb wentylacji doraźnej, np. przy gotowaniu; tryb snu z krótkotrwałym wyłączeniem wentylatorów na czas zasypiania; tryb przewietrzania do chłodzenia podczas ciepłych letnich nocy oraz tryb urlopowy z najniższym zużyciem prądu. Alternatywnie można sterować modułem obsługowym LED z podstawowymi funkcjami stopni wentylacji, trybem eco i przewietrzaniem. Niektóre firmy w panelach obsługi i sterowania mają nawet wskaźnik wymiany filtra.

Także urządzenia recoVAIR VAR 60 można dostosować do najróżniejszych potrzeb i zoptymalizować wydajność wentylacji, minimalizując zużycie energii. Tryby pracy można ustawiać za pomocą pilota. W trybie sterowania ręcznego dostępne są trzy poziomy wentylacji, a w automatycznym wentylacja kieruje się wilgotnością powietrza wewnętrznego. Wieczorem fotokomórka przełącza instalację z powrotem na najniższy poziom wydajności, żeby zapewnić cichą pracę. Z kolei w trybie ekonomicznym wentylacja działa tylko wtedy, gdy przekroczony zostanie zadany próg wilgotności powietrza. Natomiast funkcja „przewietrzenie” to praca bez odzysku ciepła. Instalacje z centralą recoVAIR VAR 60 mogą mieć układy sterowania z wbudowanym czujnikiem CO<sub>2</sub> (rys. 4). Gdy wzrasta jego poziom w pomieszczeniu (np. przy pojawieniu się gości), rośnie przepływ powietrza. Urządzenie ma trzy funkcje alarmowe sygnalizujące duży poziom CO<sub>2</sub>, zbyt dużą wilgotność powietrza i konieczność niezwłocznej wymiany filtra. Postęp elektroniki zapowiada, że tak jak w informatyce co dwa lata, tak i w tym przypadku następować będzie zmiana jakościowa w zakresie sterowania tymi urządzeniami.

Kolejną cechą opisywanych urządzeń jest prostota prac serwisowych. Na przykład recoVAIR VAR 60 wymaga tylko regularnego czyszczenia filtrów oraz czyszczenia wymiennika ciepła. Filtry wewnętrzny i zewnętrzny, które zapobiegają przenikaniu zanieczyszczeń do środka pomieszczenia i zabrudzeniu wymiennika, łatwo wy-



**Rys. 3.** Schemat ideowy systemu wentylacji bezprzewodowej z wykorzystaniem rekuperatorów ściennych  
Rys. Viessmann

czyścić lub wymienić, a pokrywa zewnętrzna jest wyposażona w siatkę, która zamyka drogę owadom. Ceramiczny wymiennik ciepła można myć ciepłą wodą, co gwarantuje higienę przez cały okres jego eksploatacji. Dostęp do urządzenia nie wymaga użycia specjalistycznych narzędzi.

Urządzenia z wymiennikiem akumulacyjnym pracują bez konieczności stosowania systemu antyzamrozeniowego. Te z rekuperatorami krzyżowymi pracują z optymalną wydajnością do temperatur zewnętrznych sięgających nawet -5°C, przy niższych temperaturach system automatycznie redukuje ilość powietrza czerpanego, a przy ok. -15°C wyłącza urządzenie.

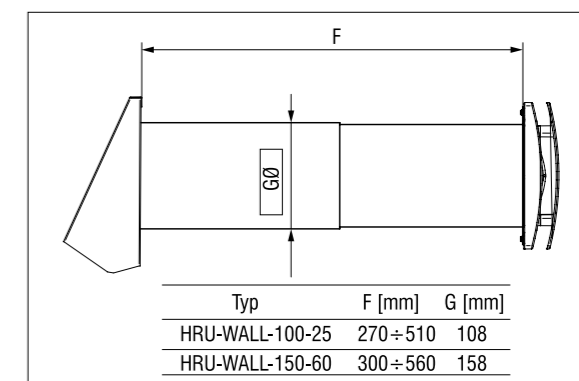
Dostępne są już na rynku także urządzenia niewiele różniące się budową zewnętrzną od małych rekuperatorów akumulacyjnych wewnętrznych, ale mające wymienniki pracujące z powietrzem stale przepływającym w obu kierunkach.

Przykładem rekuperatora wewnętrznie-ego o małej średnicy przewodu prowadzonego w ścianie zewnętrznej (108 i 158 mm – rys. 5) jest jednorurowy HRU-WALL wyposażony w wymiennik ceramiczny (odzysk do 90%) i energooszczędny wentylator EC (rys. 1). Dzięki niskiemu zużyciu energii oraz bardzo cichej pracy może on działać non stop z trzema prędkościami w zależności od potrzeb i wielkości pomieszczenia, z maksymalną wydajnością 25 lub 60 m<sup>3</sup>/h.

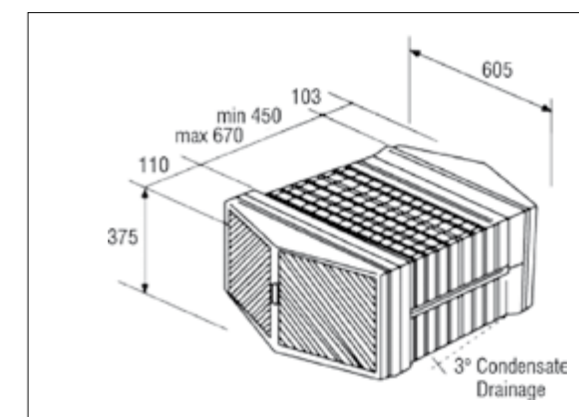
Rekuperatory pracują najefektywniej, gdy dwie jednostki zamontowane w dwóch blisko położonych pomieszczeniach podłączone są do jednego regulatora obrotów (lub dowolnych trzech przełączników dwupozycyjnych). W konfiguracji takiej istnieje możliwość synchronizacji urządzeń dla przemiennej pracy (jedna jednostka wyciąga powietrze, druga nawiewa).



**Rys. 4.** Panel kontrolny z czujnikiem CO<sub>2</sub>  
Rys. Vaillant



**Rys. 5.** Wymagane wymiary montażowe w ścianie dla rekuperatora wewnętrznie-ego HRU-WALL  
Rys. Alnor



**Rys. 6.** Wymiary montażowe centrali ściennej  
Rys. Vent-Axia

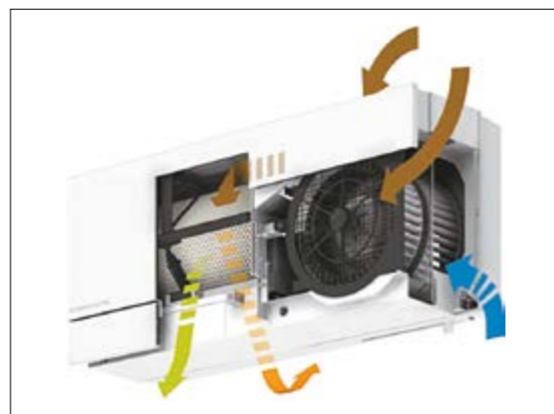
## Rekuperatory z wymiennikami krzyżowymi

Jednymi z pierwszych były kompaktowe konstrukcje wewnętrzne z wymiennikiem krzyżowym wymagające wyburzenia sporego otworu w ścianie zewnętrznej. Są one nadal stosowane, gdyż ich zaletą jest duża wydajność – w trybie odzysku ciepła z powietrza nawet 500 m<sup>3</sup>/h (**rys. 6**). Przeznaczone są do większych pomieszczeń, jak np. sale wykładowe, lekcyjne czy pomieszczenia biurowe. Centrala taka składa się ze wzmocnionego teleskopowego rękawa ściennego, który mieści główny korpus urządzenia. Za kratkami czołowymi schowane są filtry, elementy wymiennika ciepła i wentylatory. Wszystkie elementy rękawa, wymiennika ciepła i kratki wykonane są z wytrzymałych polimerowych materiałów łatwych do czyszczenia. Do regulacji wydajności oferowane są sterowniki.

Przykładem rekuperatorów z wymiennikiem krzyżowym do pojedynczych pomieszczeń montowanych na ścianie zewnętrznej są też urządzenia przypominające wyglądem jednostkę wewnętrzną klimatyzatora (**rys. 7**). Montaż takiego rekuperatora jest łatwy, a instalacja w ścianie wymaga wywiercenia dwóch otworów o średnicy ok. 90 mm. Komplet zawiera przewody do instalacji oraz osłony przeciwdeszczowe i separacyjne czerpni i wyrzutni. Urządzenia wyposażone są w dwa wentylatory (wyrzutnia i czerpnia) zasilane jednym silnikiem oraz wymiennik ciepła (odzysk 80%), który jest wymienny i można go czyścić odkurzaczem.

Żywotność wymiennika krzyżowego wynosi ok. 15 lat. Mogą one odzyskiwać nie tylko ciepło, ale również wilgoć, co pozwala uniknąć nadmiernego wysuszenia powietrza w okresie grzewczym. Urządzenia mają przesuwaną żaluzję, którą można przymknąć lub całkowicie zamknąć wlot/wylot kanałów. Mają filtr klasy EU3 (opcja EU-F7) i pracują cicho (25–37 dB(A)). Ich wydajność to 50–105 m<sup>3</sup>/h.

Innym przykładem jest rekuperator do montażu na ścianie zewnętrznej z entalpicznym wymiennikiem krzyżowo-przeciwprądowym (**rys. 8**). Osiąga on sprawność odzysku ciepła do 89%, a wilgoci do 79%. Wymiennik można myć ciepłą wodą. Działa przy temperaturze powietrza zewnętrznego do –5°C bez konieczności

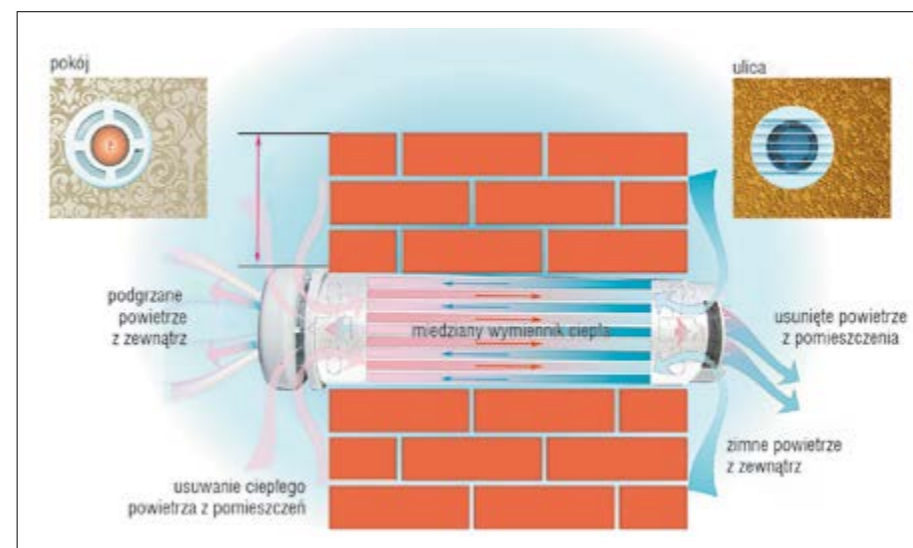


**Rys. 7.** Schemat ideowy pracy rekuperatora  
Lossnay Rys. Mitsubishi Electric



**Rys. 8.** Widok rekuperatora ściennego i wymiennika  
Rys. Zehnder

**Rys. 9.**  
Zasada działania rekuperatora z wymiennikiem przeciwprądowym  
Rys. Prana



uruchomienia systemu antyzamrozeniowego. Filtry (standard G3, opcja F7) znajdują się w przedniej części urządzenia i można je łatwo wymienić

bez konieczności użycia narzędzi. Wentylatory odśrodkowe powietrza nawiewanego i wiewianego zasilane są silnikami EC. Rekuperator ma cztery stopnie regulacji wydajności powietrza oraz możliwość sterowania z funkcją oszczędzania energii – wydajność od 15 do 65 m<sup>3</sup>/h. Dotykowy panel sterujący umieszczony jest na froncie urządzenia. Na panelu sterującym sygnalizowane są awarie oraz informacja o konieczności wymiany filtrów.

## Rekuperatory wewnętrzne z wymiennikiem przeciwprądowym

Na rynku oferowany jest także rekuperator wewnętrzny z wymiennikiem przeciwprądowym o sprawności do 90%. To miedziany wymiennik, przez który stale przepływa powietrze w obu kierunkach i nie dochodzi do mieszania przeciwnych strumieni (**rys. 9**). Odzyskuje ciepło w okresie grzewczym lub chłód latem w chłodzonych pomieszczeniach. Pracuje w lekkim nadciśnieniu – przykładowo najmniejszy rekuperator do obsługi pomieszczeń do 60 m<sup>2</sup> na wlocie ma 115 m<sup>3</sup>/h, a wylocie 105 m<sup>3</sup>/h. Jego zakres pracy dla temperatury zewnętrznej wynosi od –25 do 45°C. Rekuperator ma funkcję „minidogrzewanie” zabezpieczającą przed zamarzaniem. Ma też okapnik do odprowadzania skroplin i należy go montować ze spadkiem trzech stopni na zewnątrz. Producent określa jego żywotność na 10 lat. Obsługa techniczna polega na okresowym przeglądzie powierzchni wentylatorów i wymiennika ciepła, a w razie konieczności ich czyszczeniu – wentylatorów wilgotną szmatką, a wymiennika odkurzaczem. Nie ma filtrów, jedynie siatki przeciw owadom. Do sterowania służy pilot z różnymi trybami pracy, w tym cichej (o wydajności 25 m<sup>3</sup>/h). Oferowany jest w kilku wydajnościach i tym samym z różnymi wymiarami otworów – od 150 do 340 mm.

**Waldemar Joniec**

Opracowano na podstawie materiałów firm:

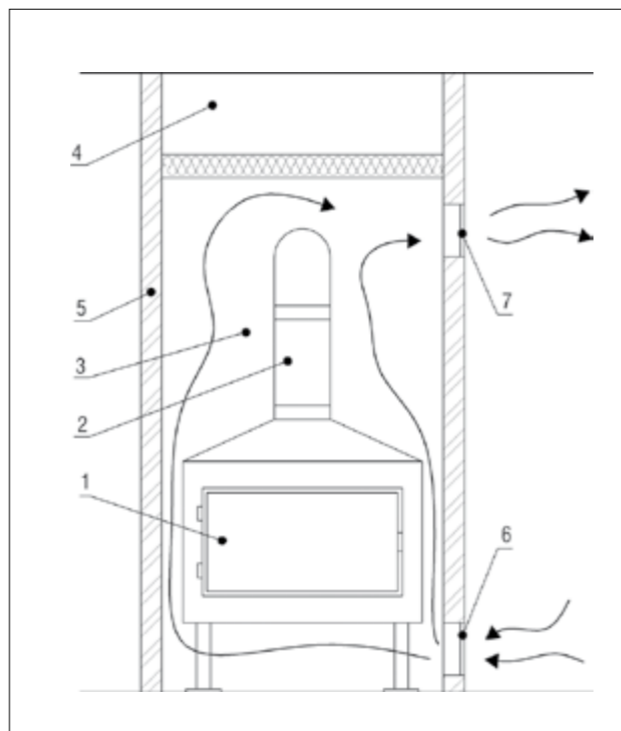
Alnor, Mitsubishi, Prana, Viessmann, Vaillant, Vents-Group, Vent-Axia i Zehnder

## Systemy ogrzewania powietrznego zintegrowane z kominkami jako źródło zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego

*Prawidłowa eksploatacja kominków oraz systemów dystrybucji ciepłego powietrza wymaga ich regularnego czyszczenia w celu zapobiegania emisji zanieczyszczeń do powietrza wewnętrznego, powstających m.in. w wyniku spiekania się kurzu na zewnętrznych powierzchniach wkładu kominkowego oraz przewodu kominowego.*

Kominki zyskały w ostatnich latach bardzo dużą popularność. Tworzą przyjemną atmosferę i uważane są za tanie w eksploatacji źródło ciepła. Stosowane są zwykle jako alternatywa dla konwencjonalnego systemu centralnego ogrzewania, rzadziej także do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Kominki i inne podobne urządzenia, jak piece wolnostojące, są jednak źródłem szkodliwych zanieczyszczeń do powietrza zewnętrznego. W zależności od sposobu działania urządzenia grzewczego, jego przygotowania i konserwacji oprócz dwutlenku i tlenku węgla uwalnia się wiele innych produktów spalania. Należą do nich pyły, aldehydy, tlenki azotu oraz węglowodory aromatyczne [1–4]. Część z emitowanych zanieczyszczeń jest wysoce toksyczna dla organizmu ludzkiego.

Kominki oraz piece wolnostojące są również uważane za potencjalne źródło zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego. W trakcie badań przeprowadzonych w Danii stężenie pyłów o średnicy mniejszej niż  $0,1 \mu\text{m}$  w pomieszczeniu wzrastało jedynie podczas otwierania drzwiczek pieca wolnostojącego [5]. Do podobnych wniosków doszli naukowcy niemieccy [6] – otwieranie drzwiczek od wkładu kominkowego powodowało wzrost stężenia pyłu oraz bezno[a]pirenu. Badacze nie zaobserwowali istotnego wpływu pracy kominka na stężenie dwutlenku węgla, tlenku węgla, tlenków azotu oraz sumaryczne stężenie lotnych zwią-



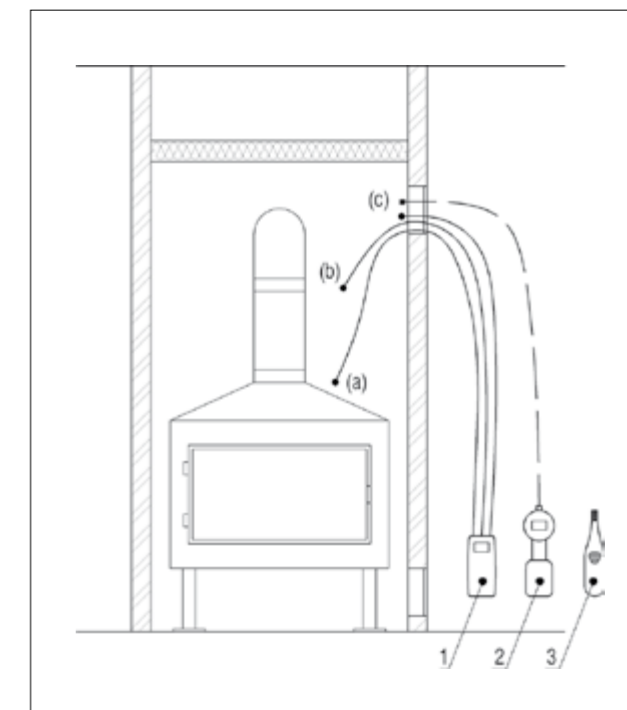
**Rys. 1.** Schemat budowy kominka wraz z przedstawionym procesem ogrzewania powietrza w pomieszczeniu; 1 – wkład kominkowy, 2 – przewód kominowy, 3 – komora grzewcza, 4 – komora dekompresyjna, 5 – obudowa kominka, 6 – kratka dolotowa (może być zastąpiona otworem /niszą/ pod wkładem kominkowym), 7 – kratka wylotowa

ków organicznych. Co ciekawe, wzrosty stężenia benzenu w powietrzu wewnętrznym odnotowano podczas używania oferowanej na rynku podpałki do rozpalania ognia. Badano także relacje między chorobami układu oddechowego a obecnością pieca wolnostojącego lub kominka w Kanadzie [7]. Z kolei według badaczy z USA wymiana starych pieców wolnostojących na nowe, szczelniejsze w ramach programu prowadzonego w latach 2005–2007 spowodowała ponad 70-procentowe obniżenie średniego dziennego stężenia pyłu  $\text{PM}_{2,5}$  w powietrzu wewnętrznym [8]. Wymienione powyżej publikacje wskazują, że istotną rolę w emisji zanieczyszczeń do powietrza wewnętrznego może odgrywać szczelność wkładu kominkowego. Zanieczyszczenia pochodzące z procesu spalania przedostają się do pomieszczeń głównie podczas operacji związanych z obsługą, np. rozpalaniem i dokładaniem drewna.

Szacuje się, że w Polsce znajduje się ponad 5 mln domów jednorodzinnych, z czego jedna czwarta wyposażona jest w kominek bądź piec wolnostojący [9]. Na Dolnym Śląsku większość kominków wykonywanych jest obecnie w konstrukcji przedstawionej na **rys. 1**. Ogrzewanie pomieszczenia, w którym znajduje się kominek, następuje poprzez podgrzanie powietrza, które omywa wkład kominkowy znajdujący się wewnątrz obudowy. Powietrze dostaje się do komory grzewczej kratką dolotową i przedostaje do pomieszczenia kratką wylotową. Skutkiem takiego przepływu powietrza jest



**Rys. 2.** Wkład kominkowy i przewód kominowy pokryty pyłem (kurzem) na całej powierzchni po kilku sezonach użytkowania



**Rys. 3.** Schemat zaplanowanego eksperymentu: 1 – rejestrator temperatury z trzema termoparami typu K, 2 – detektor fotojonizacyjny wraz z przewodem teflonowym do pobierania próbki, 3 – przyrząd do pomiaru temperatury i wilgotności powietrza oraz stężenia dwutlenku i tlenku węgla w powietrzu

pył (kurz) szybko gromadzący się niemal na całej powierzchni wkładu kominkowego i przewodu kominowego (**rys. 2**). Pył, na który oddziałują wysokie temperatury wkładu kominkowego, przekraczające nawet 400°C [10], może być źródłem zanieczyszczeń do powietrza wewnętrznego, takich jak amoniak i inne gazy działające drażniaco na drogi oddechowe [11]. Problem ten jest znany szczególnie w ogrzewnictwie – w niektórych rodzajach budynków, np. szpitalach, stosuje się grzejniki, które można bardzo łatwo wyczyścić. Pył spiekający się na zewnętrznej powierzchni wkładu kominkowego może być kolejnym źródłem zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego. Autor artykułu nie znalazł w literaturze naukowej informacji na temat badań tego zjawiska.

### Pomiary emisji do powietrza wewnętrznego

W celu zbadania problemu zaplanowano eksperyment przedstawiony na **rys. 3**. Doświadczenie oparto na hipotezie, że wraz z rozpalaniem w kominku i wzrostem temperatury wkładu kominkowego stężenie zanieczyszczeń emitowanych wskutek spiekania się kurzu będzie rosło. Natomiast obniżyć się będzie w związku z wygasaniem ognia we wkładzie kominkowym i spadkiem temperatury powietrza wewnątrz obudowy. Założono, że emitowanymi zanieczyszczeniami będą amoniak i inne lotne związki organiczne.

Do pomiaru zanieczyszczeń użyto detektora fotojonizacyjnego (ang. photo-ionization detector, PID) wyposażonego w lampę 10,6 eV. Detektor PID szeroko używany jest do pomiaru lotnych związków organicznych w badaniach jakości powietrza wewnętrznego [12]. Przyrząd cechuje się małymi wymiarami i bardzo cichą pracą. Z punktu widzenia eksperymentu były to bardzo istotne atrybuty, ponieważ pomiary wykonywane były podczas obecności i normalnego funkcjonowania użytkowników badanych obiektów. PID jest detektorem nieselektywnym. Oferuje wynik pomiaru w postaci sumarycznego stężenia lotnych związków organicznych. Ze względu na wstępny charakter badań informację o charakterze ilościowym uznano za wystarczającą.

Zdecydowano, że powietrze pod względem LZO będzie badane przy jednej z kratki wylotowych. W związku z napotkanymi trudnościami przy pomiarze temperatury powierzchni wkładu kominkowego, wynikającymi z ograniczonego dostępu do wnętrza obudowy kominka, zdecydowano się na pomiar temperatury powietrza wewnątrz komory. Założono, że temperatura powietrza powinna się zmieniać podobnie jak temperatura wkładu kominkowego. Pomiar temperatury powietrza wewnątrz obudowy przeprowadzono trzema termoparami typu K na trzech wysokościach (**rys. 3**): a) w pobliżu wkładu kominkowego, b) w połowie odległości między wkładem kominkowym a kratką wylotową, c) przy kratce wylotowej. Równolegle wykonano pomiar innych parametrów powietrza w pomieszczeniu: temperatury, wilgotności względnej, stężenia tlenku węgla i stężenia dwutlenku

węgla. Podczas pomiarów zapisywano zdarzenia związane z aktywnością mieszkańców mogące wpłynąć na wyżej wymienione parametry.

Pomiary przeprowadzono na dwóch kominkach w okresie grzewczym na przełomie 2016 i 2017 roku. Kominek A znajdował się w salonie domu jednorodzinnego, natomiast kominek B w salonie mieszkania znajdującego się w zabytkowej kamienicy. Kominki A i B wyposażono w trzy kratki wylotowe, a funkcję kratki dolotowej spełniała nisza znajdująca się pod wkładem kominkowym. W obu przypadkach niezbędne do spalania powietrze z zewnątrz dostarczane było osobnym kanałem wentylacyjnym. Kominek A użytkowany był przez cztery sezony grzewcze, a kominek B przez dziesięć sezonów.

Kominki nigdy nie były czyszczone wewnątrz, przez co na wkładzie i przewodzie kominowym zebrała się warstwa kurzu (**rys. 4 i 5**). Kominek B wyposażony był w instalację rozprowadzającą ciepłe powietrze z komory do innych pomieszczeń. Podczas badań instalacja nie była używana. Wentylacja domu jednorodzinnego oraz mieszkania odbywała się poprzez otwieranie okien oraz wentylację grawitacyjną wywiewną. Obiekty były wyposażone w nowe szczelne okna z opcją mikrouchyłu, bez nawietrzaków.

Uzyskano zgodę właścicieli kominków na łącznie cztery sesje pomiarowe: trzy sesje na kominku A i jedną sesję na kominku B. Każda trwała ok. 20 godzin. Pomiary rozpoczynane były w godzinach od 11:00 do 13:00, przed rozpaleniem w kominku, i kończyły się następnego dnia w godzinach porannych (7:00–9:00). Każda sesja pomiarowa rozpoczynała się kalibracją detektora fotojonizacyjnego.

Podczas pierwszej sesji pomiarowej zaplanowano zbadanie temperatury powietrza panującej w kominku A. Przekraczała ona zakres pracy detektora fotojonizacyjnego (**rys. 6**). W celu rozwiązania problemu zdecydowano, że próbka gazu do detektora fotojonizacyjnego będzie pobierana przez przewód teflonowy. Dzięki temu wychładzała się do wartości temperatury powietrza



**Rys. 4.** Pokryty kurzem wkład kominkowy i przewód kominowy w kominku A

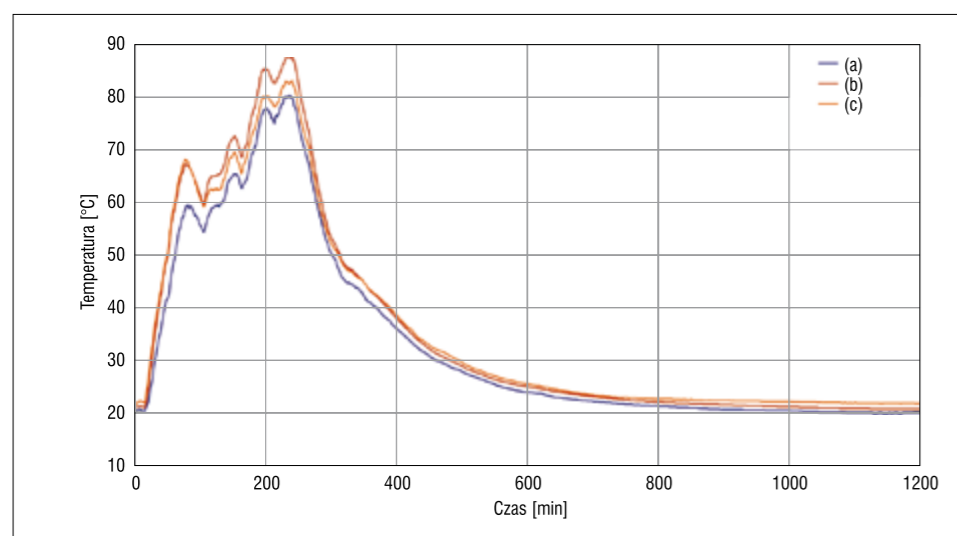


**Rys. 5.** Pokryty kurzem wkład kominkowy i przewód kominowy w kominku B

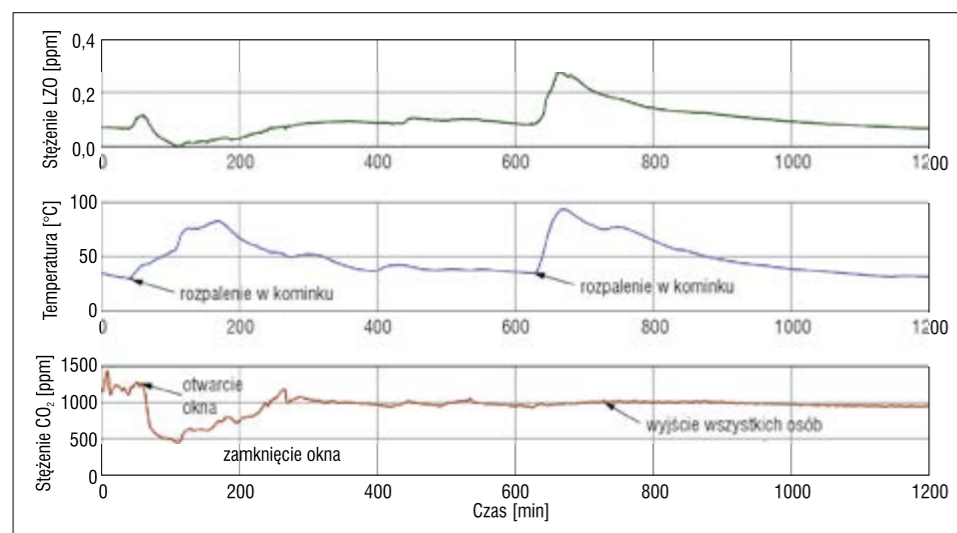
w pomieszczeniu i plasowała w zakresie temperatur pracy detektora. Następnie przeprowadzono dwie kolejne sesje na kominku A, podczas których mierzono już wszystkie zaplanowane parametry powietrza. Ostatnią sesję wykonano na kominku B. Odstęp między sesjami wynosił od 1 do 2 tygodni.

### Wyniki badań i dyskusja

W ramach badań przeprowadzono trzy sesje pomiarowe, podczas których mierzone były wszystkie zaplanowane parametry powietrza. Niestety, na potrzeby analizy dane z pierwszej pełnej sesji pomiarowej musiały zostać odrzucone. Badania odbywały się podczas normalnego użytkowania pomieszczenia, w którym spożywano w tym czasie posiłki, a nawet wietrzono, często bez kontroli prowadzącego pomiary. Miało to bardzo duży wpływ na uzyskane wyniki pomiarów, szczególnie z detektora PID, i uniemożliwiało ich interpretację. Po wyeliminowaniu niekontrolowanych czynników wpływających na pomiary (również w przypadku kominka B) do analizy wykorzystano dane z drugiej i trzeciej pełnej sesji.



Rys. 6. Temperatury powietrza występujące w kominku A



Rys. 7. Pomiary równoległe sumarycznego stężenia lotnych związków organicznych mierzonego detektorem fotojonizacyjnym (wartości uśrednione dla jednej minuty), temperatury powietrza w komorze grzewczej kominka oraz stężenia dwutlenku węgla w powietrzu w pomieszczeniu. Pomiary wykonane podczas drugiej sesji pomiarowej na kominku A

Średnie, maksymalne i minimalne wartości mierzonych parametrów wraz z odchyleniem standardowym zestawiono w tabeli 1 i 2. Pod względem temperatury powietrza w pomieszczeniu z kominkiem A oraz pomieszczeniu z kominkiem B przez większość czasu panowały warunki komfortu. Wilgotność względna w pomieszczeniu z kominkiem B także utrzymywała się na odpowiednim poziomie, natomiast w pomieszczeniu z kominkiem A znajdowała się poniżej wartości komfortowych. Pomieszczenie to było jednak dużo lepiej wentylowane, na co wskazuje średnie stężenie dwutlenku węgla. Temperatury powietrza w kominku nie osiągały wartości większych niż 100°C (rys. 6) i były znacznie niższe od przedstawionych w innym badaniu [10]. W punktach a), b) i c) temperatura powietrza była bardzo zbliżona, a najwyższa wartość podczas pracy kominka osiągnięta

	Stężenie dwutlenku węgla	Stężenie tlenku węgla	Wilgotność względna	Temperatura powietrza w pomieszczeniu	Stężenie lotnych związków organicznych	Temperatura powietrza wewnątrz kominka w punkcie a)	Temperatura powietrza wewnątrz kominka w punkcie b)	Temperatura powietrza wewnątrz kominka w punkcie c)
	ppm	ppm	%	°C	ppm	°C	°C	°C
Wartość średnia	940	2	33,2	24,5	0,096	43,0	48,9	48,5
Wartość maksymalna	1420	3	36,7	26,7	0,273	78,9	92,8	85,2
Wartość minimalna	438	1	30,3	20,0	0,005	27,1	29,2	29,7
Odchylenie standardowe	140	1	2,3	1,2	0,051	12,3	16,6	14,5

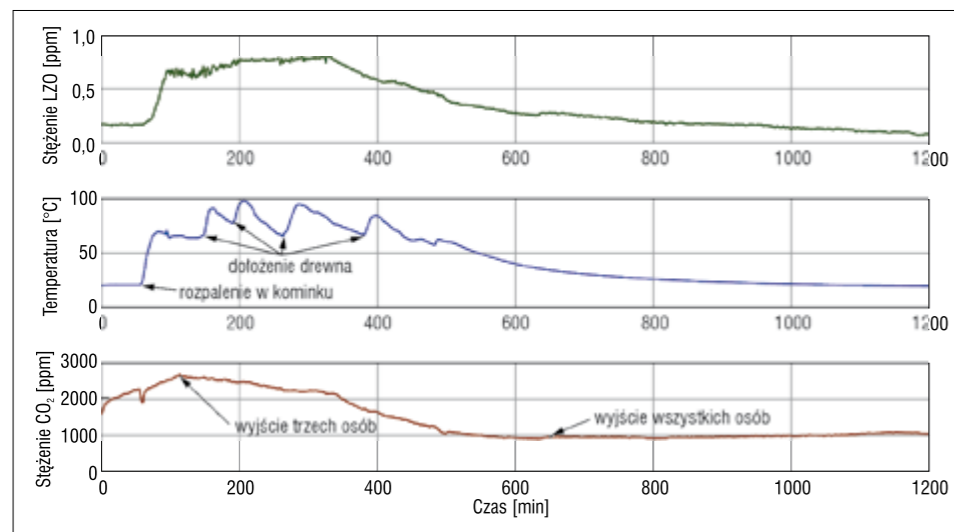
Tabela 1. Średnie, maksymalne i minimalne wartości parametrów mierzonych na kominku A podczas drugiej sesji pomiarowej

	Stężenie dwutlenku węgla	Stężenie tlenku węgla	Wilgotność względna	Temperatura powietrza w pomieszczeniu	Stężenie lotnych związków organicznych	Temperatura powietrza wewnątrz kominka w punkcie a)	Temperatura powietrza wewnątrz kominka w punkcie b)	Temperatura powietrza wewnątrz kominka w punkcie c)
	ppm	ppm	%	°C	ppm	°C	°C	°C
Wartość średnia	1397	2	41,9	23,6	0,352	41,0	43,8	45,0
Wartość maksymalna	2637	5	50,9	26,0	0,794	88,0	97,5	99,0
Wartość minimalna	862	1	34,2	20,3	0,005	18,5	18,6	18,9
Odchylenie standardowe	613	1	3,2	2,7	0,237	21,6	24,8	26,2

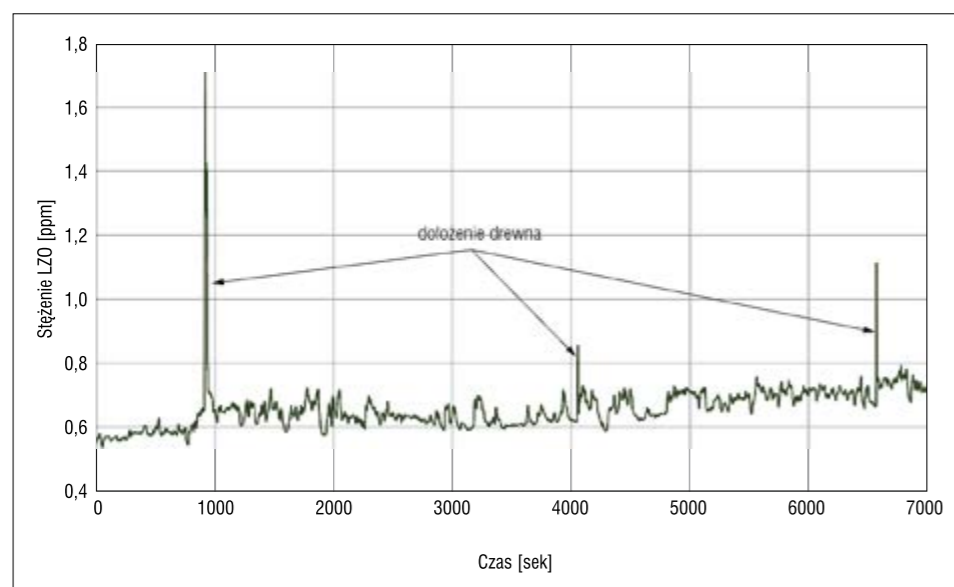
Tabela 2. Średnie, maksymalne i minimalne wartości parametrów mierzonych na kominku B podczas trzeciej sesji pomiarowej

była w punkcie b). Zauważono bardzo duże podobieństwo pomiędzy zmianą temperatury powietrza wewnątrz obudowy a sumarycznym stężeniem lotnych związków organicznych mierzonym przez detektor fotojonizacyjny przy kratce wylotowej (**rys. 7 i 8**). Stężenie LZO oraz temperatura powietrza zaczynała rosnąć i maleć w tych samych momentach. W miejscach, gdzie zmienność zmierzonych wartości temperatury i stężenia LZO była inna, wystąpiły czynniki wpływające na pomiar.

Podczas drugiej sesji pomiarowej otworzono okno w celu wywietrzenia (**rys. 9**). Zdarzenie to zaznaczone zostało na trzecim wykresie obrazującym zmienność stężenia dwutlenku węgla. Wietrzenie wpłynęło na pomiar detektorem PID, jednakże przed otwarciem okna zauważalny jest wzrost stężenia LZO, który rozpoczął się wraz ze wzrostem temperatury w kominku. Podczas drugiego rozpalenia wzrost stężenia LZO nie został zakłócony przez żaden czynnik i był wyraźnie widoczny. Podobna sytuacja wystąpiła podczas pomiarów przeprowadzonych na kominku B (**rys. 8**). Wraz z rozpaleniem i wzrostem tem-



**Rys. 8.** Pomiary równoległe sumarycznego stężenia lotnych związków organicznych mierzonych detektorem fotojonizacyjnym (wartości uśrednione dla jednej minuty), temperatury powietrza w komorze grzewczej kominka oraz stężenia dwutlenku węgla w powietrzu w pomieszczeniu. Pomiary wykonane podczas trzeciej sesji pomiarowej na kominku B. Wzrost stężenia CO<sub>2</sub> spowodowany był większą liczbą osób w pomieszczeniu i nie miał przełożenia na wzrost stężenia lotnych związków organicznych



**Rys. 9.** Fragment danych pochodzących z czwartej sesji pomiarowej, z widocznymi skokami sygnału detektora fotojonizacyjnego, które pojawiły się podczas otwarcia drzwiczek wkładu kominkowego

peratury powietrza w obudowie kominka nastąpił wzrost stężenia lotnych związków organicznych. Wartość LZO zaczęła maleć ze spadkiem temperatury powietrza. Po ostygnięciu kominka do temperatury początkowej stężenie lotnych związków organicznych podczas obu sesji pomiarowych wracało do poziomu podobnego do tego sprzed użytkowania kominka.

Obecność ludzi może skutkować zmianami stężenia lotnych związków organicznych – są oni jednym z wewnętrznych źródeł tych zanieczyszczeń. Podczas badań w pomieszczeniach przebywały 1–3 osoby (dwóch domowników oraz prowadzący badania). Na podstawie uzyskanych pomiarów nie zauważono, żeby mieszkańcy przebywający w pomieszczeniu wpływali na stężenie LZO. Świadczy o tym brak zmian stężenia LZO w momencie wyjścia wszystkich mieszkańców z pomieszczenia (wykresy dwutlenku węgla). Z kolei na początku sesji pomiarowej przeprowadzonej na kominku B właściciele mieszkania mieli niespodziewanych gości – ich wyjście z salonu zostało oznaczone na wykresie.

Stężenie tlenu węgla w obu pomieszczeniach znajdowało się na bardzo niskim poziomie (**tabela 1 i 2**). Świadczy to o poprawnym wykonaniu dopływu świeżego powietrza na potrzeby spalania oraz wysokiej szczelności wkładów kominkowych. Ewentualne wzrosty stężenia CO były spowodowane otwarciem wkładu kominkowego w celu rozpalenia lub dołożenia drewna, jednak nie powodowały zwiększenia stężenia tego związku do wartości mogących wywołać niebezpieczne skutki zdrowotne [13]. Na wysoką szczelność wkładów kominkowych wskazują także pomiary stężenia dwutlenku węgla. Zauważono, że zmienność tego parametru uzależniona była od aktywności ludzkiej oraz wietrzenia, a jego wartość utrzymywała się na poziomach spotykanych w budynkach mieszkalnych [14]. Na tej podstawie można sądzić, że za wzrost sygnału na detektorze fotojonizacyjnym nie były odpowiedzialne zanieczyszczenia wydostające się z wkładu kominkowego, podczas gdy jest on zamknięty.

Kolejnym czynnikiem mogącym wpływać na stężenie lotnych związków organicznych mierzonych na kominkach A i B jest rozpalenie kominka oraz dokładanie drewna – podczas tych czynności drzwiczki są otwarte. Udowodniono w trakcie innych badań, że powyższe operacje mogą skutkować przedostawaniem się zanieczyszczeń do pomieszczenia [5, 6]. Na **rys. 9** przedstawiono fragment pomiarów lotnych związków organicznych co jedną sekundę przy kratce wylotowej kominka B. Zauważono, że przy każdym otwarciu drzwiczek podczas dokładania drewna stężenie LZO na kilka sekund rosło. Wzrosty sygnału detektora PID były prawdopodobnie spowodowane zanieczyszczeniami zawartymi w gorącym powietrzu unoszącym się z otwartego paleniska i trafiającym w pobliże miejsca pobierania próbki. Wzrosty miały jedynie chwilowy charakter i nie wpływały na dalsze mierzone wartości.



Średnie oraz maksymalne sumaryczne stężenie lotnych związków organicznych mierzonych podczas pracy kominka B było większe niż w przypadku kominka A (**tabela 1 i 2**). Wkład oraz przewód kominowy kominka B był bardziej pokryty kurzem niż kominka A, przez co emitowana mogła być większa ilość zanieczyszczeń. Przyczyną większej ilości kurzu jest prawdopodobnie dłuższy okres użytkowania kominka B oraz obecność instalacji wentylacyjnej rozprowadzającej ciepłe powietrze do innych pomieszczeń w mieszkaniu. Zasysanie większej ilości powietrza z pomieszczenia może intensyfikować proces osiadania kurzu na wewnętrznych elementach kominka.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów i obserwacji wykazano, że za zmiany sygnału na detektorze fotojonizacyjnym odpowiedzialne są zanieczyszczenia pochodzące z wnętrza komory grzewczej, powstające w wyniku spiekania się kurzu na gorących elementach kominka. Wykluczono inne potencjalne źródła lotnych związków organicznych w pomieszczeniach, jak nieszczelny wkład kominkowy, operacje związane z dokładaniem drewna i rozpalaniem w kominku oraz emisja LZO od ludzi. Przeprowadzone badania nie są niestety kompletne i można je uznać za wstęp do dalszych eksperymentów. Pomiarów te miały wiele słabych stron:

- nie przeprowadzono badań na kominku nowo wybudowanym, bez kurzu na elementach instalacji;
- przeprowadzono bardzo małą liczbę sesji pomiarowych i wykonano badania na bardzo małej liczbie obiektów;
- nie wykonano analizy jakościowej z rozróżnieniem na poszczególne zanieczyszczenia.

Eksperyment stanowi jednak pewną nowość w badaniach nad emisją zanieczyszczeń z kominków do powietrza wewnętrznego.

## Wnioski

Badania przeprowadzono w oparciu o twierdzenie, że wraz ze wzrostem temperatury kominka stężenie zanieczyszczeń mierzonych przez detektor fotojonizacyjny przy kratce wylotowej będzie rosło, a obniżało ze spadkiem temperatury. Zależność udało się potwierdzić, co może świadczyć o tym, że spiekający się kurz na gorących powierzchniach wkładu kominkowego oraz przewodu kominowego może być źródłem lotnych związków organicznych do powietrza wewnętrznego. Autorowi nie są znane rzeczywiste stężenia ani rodzaj zanieczyszczeń emitowanych z wnętrza kominka. Nie można także określić, jakie skutki zdrowotne może nieść ekspozycja na powstające zanieczyszczenia. Eksperyment wskazuje na nowe zastosowanie detektora fotojonizacyjnego do badań jakości powietrza wewnątrz pomieszczeń. Żeby uniknąć emisji zanieczyszczeń do powietrza wewnętrznego powstających w wyniku spiekania się kurzu na zewnętrznych powierzchniach

wkładu kominkowego oraz przewodu kominowego, wewnątrz kominka powinno być regularnie czyszczone.

Badania wykonano w ramach środków pochodzących z projektu statutowego na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej o numerze 0402/0090/16.

**mgr inż. Tomasz Pietrucha**

Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska

**Literatura:** <http://www.goo.gl/n6WHQC>

## Wentylacja hybrydowa, co to takiego?

*Szeroko stosowany system wentylacji naturalnej, od dawna zakorzeniony w naszym budownictwie, ma szereg zalet, ma jednak również wady. Są chwile, gdy nie spełnia swej funkcji. Co wtedy? Wentylacja mechaniczna – odpowiedź wydaje się prosta. Prosta, ale z różnych przyczyn kosztowna. Dodajmy więc nieco finezji i praktycznie wykorzystajmy system mieszany. Systemem tym jest wentylacja hybrydowa.*

Zacznijmy od początku. Obecnie w wielu domach, zarówno jednorodzinnych, jak i wielorodzinnych, często także w obiektach biurowych i halach produkcyjnych szeroko stosowany jest system wentylacji naturalnej, zwanej również grawitacyjną.

Praktycznie sprowadza się on do: kratki wentylacyjnej w pomieszczeniu wentylowanym, kanału wentylacyjnego wykonanego z różnego materiału, od cegieł zaczynając, poprzez pustaki wentylacyjne, kształtki metalowe, przewody Spiro, na bloczkach typu Schiedel kończąc oraz nasady wentylacyjnej, która wieńczy tak zbudowany system.

Zadaniem takiego układu jest zapewnienie norm higienicznych wymiany powietrza w pomieszczeniach, w ilościach odpowiednio:

- kuchnia z oknem zewnętrznym, wyposażona w kuchenkę gazową lub węglową – 70 m<sup>3</sup>/h,
- kuchnia z oknem zewnętrznym, wyposażona w kuchenkę elektryczną:
  - w mieszkaniu do 3 osób – 30 m<sup>3</sup>/h,
  - w mieszkaniu dla więcej niż 3 osoby – 50 m<sup>3</sup>/h,
- kuchnia bez okna zewnętrznego, wyposażona w kuchenkę elektryczną – 50 m<sup>3</sup>/h,
- kuchnia bez okna zewnętrznego, wyposażona w kuchenkę gazową, obowiązkowo z mechaniczną wentylacją wywiewną – 70 m<sup>3</sup>/h,
- łazienka z wc lub bez – 50 m<sup>3</sup>/h,
- oddzielny wc – 30 m<sup>3</sup>/h,
- pomieszczenie bezokienne (garderoba) – 15 m<sup>3</sup>/h,
- pokój mieszkalny oddzielony od kuchni, łazienki i wc więcej niż dwójgim drzwi lub pokój znajdujący się na wyższym poziomie w wielopięsiomowym domu jednorodzinnym



albo w wielopięsiomowym mieszkaniu domu wielorodzinnego – 30 m<sup>3</sup>/h. Wymiana powietrza w ciągu godziny powinna być równa co najmniej kubaturze pokoju.

### Pytanie jednak – czy zapewnia?

Musimy zdawać sobie sprawę ze zmiennej skuteczności działania takiej wentylacji. Wielu użytkowników obserwuje w swoich mieszkaniach bezruch powietrza w kanałach wentylacyjnych, a w skrajnych przypadkach – ciągi wsteczne, w których kratka wentylacyjna wywiewna zamienia się nagle w nawiewną, wskutek czego nieprzyjemne chłodne powietrze z różnymi zapachami w sposób niekontrolowany rozchodzi się po pomieszczeniu.

Odpowiada za to wiele czynników – usytuowanie budynku względem najczęściej występujących kierunków wiatru, jego wysokość, umiejscowienie wywiewnika na dachu (częste są przypadki, gdy wywiewnik jest zabudowany w strefie występujących zawi-



rowań powietrznych), temperatura powietrza zewnętrznego, temperatura pomieszczenia, jak również sposób doprowadzenia powietrza do budynku czy pomieszczenia.

Oczywiście można zaradzić tym negatywnym efektem wentylacji naturalnej, spełniając wszystkie kryteria dobrego jej doboru i właściwego podejścia do niej już na etapie projektowym. Mamy jednak zakorzenioną w świadomości termomodernizację, w związku z czym stosujemy ciepłą, wręcz hermetyczną stolarkę okienną i trudno jest nas przekonać do wprowadzenia nawiewnej kratki wentylacyjnej. A przecież nawet najlepiej zaprojektowany wywiewnik nie wytworzy, przy optymalnych dla jego pracy warunkach pogodowych, takiego podciśnienia, które wystarczy, by przeciągnąć powietrze z pomieszczenia na zewnątrz. Skąd bowiem na jego miejsce ma napłynąć powietrze świeże, przecież nie ma możliwości przedostania się przez szczelną stolarkę, a mikroszczeliny okienne są zazwyczaj niewystarczające.

Producenci wywiewników prześcigają się w pomysłach – konstrukcje Zefir, Bora, Bryza, Sir – każda z nich, odpowiednio użyta, potrafi zapewnić normatyw wentylacyjny w pomieszczeniu, ale nie sama. Konieczny jest odpowiednio skonstruowany kanał wentylacyjny o dużym przekroju, oczywiście dobrze zaizolowany, niskooporowa kratka wentylacyjna zamontowana w pomieszczeniu wentylowanym i właściwie rozwiązany sposób dopływu powietrza zewnętrznego do pomieszczenia, a także wreszcie jakże istotny punkt – duża świadomość użytkownika, że bez spełnienia tych kryteriów dobrze nie będzie.

Efekty negatywne widoczne są bardzo szybko, skraplająca się wilgoć początkowo tworzy na ścianach nieciekawe zacieki, woda strużkami płynie po wewnętrznych szybach okna, a wkrótce na ścianach, gdzie niedawno było mokro, pojawiają się czarne punkciki, początkowo małe, tworzące z czasem całą kolonię czarnych plam – zarodniki pleśni i grzybów.



Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) już ma na to definicję – ten budynek jest chory – a mieszkający w nim ludzie stają się mimowolnie ofiarami syndromu chorego budynku: ogólna apatia, częste bóle głowy, niezadowolenie z występującego w pomieszczeniu mikroklimatu.

Należy dodać, że wilgotność w pomieszczeniu już od poziomu 70% powoduje kłopoty z dotlenieniem organizmu, człowiek czuje się zmęczony, rozkojarzony i ma wrażenie duszności.

### Jak temu zaradzić?

Oczywiście należy zapewnić właściwą wymianę powietrza. Bardzo dobrze, kiedy myśli się o tym już na etapie projektowym, gdy jest jeszcze przestrzeń oraz można wyobrazić sobie i wykonać system wentylacyjny tak, by powietrze w niczym nieskrępowany sposób mogło



swobodnie przepływać przez nasze mieszkania i biura, zapewniając higieniczne normatywy. Jeśli można rozwiązać to przy pomocy wentylacji naturalnej, to mamy zysk w postaci niskiej ceny eksploatacyjnej i komfort wynikający z jej bezgłośnej pracy. Co jednak, gdy mimo starań projektowych, ten typ wentylacji nie wystarczy?

Przejszć na wentylację mechaniczną, chciałoby się powiedzieć, uwaga jak najbardziej trafna. Tutaj ciągła praca wentylatorów stworzy właściwe strumienie powietrza w kanałach wentylacyjnych i jeśli projektant przeliczył dokładnie opory sieci i właściwie dobrał wentylatory, to normatywy higieniczne ilości powietrza wywiewanego będą spełnione.

Pojawia się problem hałasu i zasilania elektrycznego, te dwa czynniki zmuszają do stosowania urządzeń nowoczesnych, wyposażonych w energooszczędne silniki, a wentylatory nierzadko muszą posiadać tłumiki akustyczne i to zarówno od strony wlotowej, jak i wylotowej.

Co jednak będzie, gdy z różnych powodów nastąpi zatrzymanie pracy koła wirnikowego wentylatora? Oczywiście do czasu usunięcia usterki pomieszczenia są całkowicie „zakorkowane”, wirnik wentylatora, wraz z całą jego konstrukcją, skutecznie blokuje drogę dla ruchu powietrza w kanale wentylacyjnym, więc wentylacja w sposób naturalny ustaje.

Wróćmy więc do początku tekstu tego artykułu i „dodajmy nieco finezji”. Wykorzystajmy system wentylacji hybrydowej. Jest to swoisty znak czasu w rozwoju technik wentylacyjnych, wykorzystujący zalety działania obu systemów – mechanicznego i naturalnego.

System taki działa naprzemiennie, wykorzystując siły natury, gdy potrafią być na tyle wydolne, by zapewnić poprawną jakość powietrza w budynku lub mechanikę pracy wirnika wentylatora, stwarzającego w tym przypadku warunki podobne, jak siły natury. Wentylacja hybrydowa działa więc naprzemiennie w sposób mechaniczny lub naturalny. Pozwala to użytkownikowi czerpać jednocześnie korzyści z zalet tych dwóch systemów, zarazem minimalizując koszty wynikające z uciążliwości pracy mechanicznej wentylatora. Jeśli dodamy do tego układ automatyki sterującej, otrzymamy system, który, w zależności od wybranego sposobu kontroli, będzie nadzorował poziom i kierunek przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym lub poziom wilgotności względnej w pomieszczeniach, gdzie zostanie zamontowany.



Wentylatory hybrydowe są urządzeniami energooszczędnymi, wystarczy powiedzieć, że dwubiegowy silnik wentylatora FENKO zużywa odpowiednio 9,5 W lub 6,2 W w zależności

od wybranego biegu pracy silnika i zapewnia dla jednego pomieszczenia wydajność na poziomie 180 m<sup>3</sup>/h lub, odpowiednio na niższym biegu, 120 m<sup>3</sup>/h. Proste przeliczenie cen mówi, że nawet gdyby wentylator pracował ciągle na wyższym biegu, łączny koszt zużytej energii elektrycznej wynosiłby nieco ponad 30 zł rocznie.

Niebagatelna zaletą jest również jego cicha praca – 41 dB(A) lub 33 dB(A) bezpośrednio przy nim powoduje, że w pomieszczeniu jest praktycznie niesłyszalny. Można go również montować na przewodach wentylacyjnych różnej konstrukcji, jest wariant montowany na: kanale tradycyjnym z cegły, pustaku wentylacyjnym typu P, rurze wentylacyjnej o średnicy 160 mm, istnieją adaptacje na dachówkę typu Brass, jak również szeroko rozpowszechnione bloczki wentylacyjne typu Schiedel, na które, w zależności od konfiguracji budowlanej, stworzono kilka odmian wentylatora.

Co z regulacją pracy wentylatora? Wydaje się, że zaproponowany przez producenta system HIGSTER jest sposobem najwłaściwszym. Pozwala on automatycznie wybrać między pracą mechaniczną, a grawitacyjną wentylatora FENKO. Jego działanie polega bowiem na ciągłym pomiarze wilgotności względnej panującej w pomieszczeniu. Przekroczenie progu nastawionego przez użytkownika powoduje automatyczne włączenie pracy mechanicznej. Dodatkową funkcją jest wykorzystanie czujnika światła, w który również wyposażony jest HIGSTER. W tym przypadku wentylator pracuje mechanicznie.

Tak długo, jak czujnik światła „wychwytuje” działające oświetlenie, nie jest aktywna funkcja pomiaru wilgotności. Wilgoć przejmuje kontrolę nad pracą wentylatora



w chwili, gdy oświetlenie jest wyłączone. Kiedy próg wilgotności względnej nie jest przekroczony, wentylator hybrydowy FENKO pracuje jako nasada wentylacyjna grawitacyjna, gdyż tak w zamyśle projektowym został stworzony przez swoich konstruktorów.

Przyszłość pokaże, który z tych trzech systemów wentylacyjnych będzie przeważać na rynku. Na pewno każdy z nich – grawitacyjny, mechaniczny lub hybrydowy – będzie miał swoich zwolenników i zacieklej adwersarzy, sędzić jednak należy, że system wentylacji hybrydowej, z urządzeniami typu FEN oraz FENKO, będzie coraz powszechniejszy, a tym samym architekci i projektanci systemów wentylacyjnych każdorazowo w pierwszej kolejności będą analizować możliwości jego zastosowania w obiekcie.



Uniwersal Sp z o.o.  
tel. +48 32 203-71-47  
+48 32 757-28-51, fax +48 32 201-87-04  
office@uniwersal.com.pl

## Wentylacja w budynkach wielorodzinnych

*Wentylacja w budynku wielorodzinnym musi zapewnić mieszkańcom bezpieczeństwo i komfort użytkowania mieszkań poprzez optymalną wymianę powietrza. Wymagania techniczne w tym zakresie są sprecyzowane w przepisach i normach branżowych. Jednak nawet doprowadzenie wymaganej ilości powietrza do mieszkania i zapewnienie drożnych kanałów wentylacyjnych dla powietrza wywiewanego nie gwarantują sprawnej wentylacji grawitacyjnej. W wielu wypadkach trzeba sięgać po wentylację mechaniczną lub rozwiązania hybrydowe.*

W budynkach wielorodzinnych najczęściej wykorzystywana jest wentylacja grawitacyjna. Nie wymaga ona zasilania energią elektryczną i skomplikowanych prac konserwacyjnych. Korzyścią jest również niski koszt wykonania i eksploatacji, a także brak uciążliwego hałasu podczas pracy oraz bezawaryjność – wynikająca z braku jakichkolwiek urządzeń mechanicznych i elektrycznych.

Jednak na prawidłową pracę takiej instalacji wpływa wiele czynników zewnętrznych. Chodzi tutaj przede wszystkim o wpływ temperatury powietrza na ciąg, np. latem podczas dnia temperatura powietrza znacznie wzrasta i może powodować ciąg wsteczny. Podciśnienie w pomieszczeniach może wystąpić również w skutek działania wiatru. Ponadto im kondygnacja budynku jest wyższa, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia wahań w pracy wentylacji i zmian wydajności.

W takich przypadkach konieczne jest więc stosowanie rozwiązań wspomagających pracę wentylacji grawitacyjnej. Oprócz nasad kominowych są to systemy wentylacji hybrydowej, gdzie pracę tradycyjnych nasad wspiera silnik elektryczny. Powoduje on, że ciąg w przewodach wentylacyjnych występuje również przy braku wiatru napędzającego turbiny.

Wentylacja hybrydowa zapewnia zatem regulację przepływu powietrza bez względu na warunki atmosferyczne.

### Nawiewniki okienne

W oknach montuje się nawiewniki okienne, nazywane również nawietrzakami okiennymi. Ich zadaniem jest zapewnienie ciągłego, ale kontrolowanego napływu powietrza do pomieszczeń. Doprowadzając wymaganą ilość świeżego powietrza nawet przy szczelnie zamkniętych oknach, nawiewniki zapewniają jego właściwą cyrkulację wewnątrz budynku.

Świeże powietrze przedostaje się z pomieszczeń wyposażonych w nawiewniki, tzw. pomieszczeń czystych, do pomieszczeń z kratkami wywiewnymi wentylacji grawitacyjnej

(np. kuchnie, łazienki, wc). Zużyte powietrze odprowadzane jest następnie na zewnątrz budynku poprzez kanały wentylacyjne. Należy przy tym pamiętać o odpowiednim rozmieszczeniu nawiewników, celem zapewnienia skutecznej wentylacji bez przenoszenia np. nieprzyjemnych zapachów, czyli tak, aby świeże powietrze napływało do pomieszczeń najmniej zanieczyszczonych i przepływało przez mieszkanie w kierunku kanałów wywiewnych, zbierając po drodze zanieczyszczenia.

W praktyce zastosowanie znajdują nawiewniki ciśnieniowe, higrosterowane i mechaniczne. Różnica pomiędzy nawiewnikiem ciśnieniowym a higrosterowanym wynika z rodzaju czynnika, jaki inicjuje wymuszenie przepływu powietrza przez nawiewnik – ciśnienie lub poziom wilgotności w pomieszczeniu.

Istotnym elementem nawiewników ciśnieniowych jest regulator nawiewu wyposażony w membranę ciśnieniową zabezpieczającą przed nadmierną wentylacją. Ilość powietrza, jaka jest dostarczana do pomieszczenia, zależy od różnicy ciśnienia na zewnątrz i wewnątrz. Wraz ze wzrostem ciśnienia membrany w nawiewniku odchylają się, ograniczając dopływ powietrza do pomieszczeń. Konieczność ograniczenia dopływu powietrza do pomieszczenia bardzo często jest wynikiem silnych podmuchów wiatru.

W przypadku nawiewników higrosterowanych napływający strumień powietrza zależy od poziomu wilgotności w pomieszczeniu. Specjalny materiał umieszczony w higrometrze zapewnia odpowiednią wydajność wentylacji w stosunku do poziomu wilgotności. Nawiewnik działa automatycznie, ale nie wymaga zasilania energią elektryczną.

W nawiewnikach mechanicznych sterowanie pracą urządzenia odbywa się ręcznie, poprzez ustawienie wielkości szczeliny i tym samym wielkości przepływu powietrza.

### Nasady kominowe

Nasady kominowe, wspomagające pracę wentylacji grawitacyjnej, montuje się na zakończeniu przewodu wentylacyjnego.

Nasady stabilizują i zwiększają intensywność ciągu w przewodach wentylacyjnych. Osłaniając kominy przed siłą wiatru, zapewniają prawidłowy ciąg – z mieszkania na zewnątrz. Dodatkowo otwór kominowy ma zwiększoną ochronę przed opadami deszczu. Niektóre wersje nasad wykorzystują specjalne miski (odstojniki), w których gromadzi się woda opadowa.

Trzeba mieć na uwadze fakt, że tradycyjna nasada kominowa nie ma napędu elektrycznego, zatem przy braku wiatru nie jest w stanie poprawić ciągu w kanale wentylacyjnym.

Warto zwrócić uwagę na nasady samonastawne, które za pomocą specjalnego elementu obracają się w zależności od kierunku, rodzaju i siły wiatru. Część ruchoma na-

sady – pełniąc funkcję żagla – osłania przewód kominowy i chroni go przed czynnikami atmosferycznymi. Po zawietrznej nasady powstaje podciśnienie proporcjonalne do siły wiatru, które wzmacnia siłę ciągu kominowego. Dzięki łożyskom konstrukcja części ruchomej ma małe tarcie.

Zarządca budynku powinien pamiętać, że nasada stanowi część składową komina i podlega systematycznym przeglądom przeprowadzanym przez kominiarza.

## Wentylacja hybrydowa

Nasady kominowe systemów wentylacji hybrydowej do wspomagania ciągu kominowego wykorzystują siłę wiatru, a w przypadku jego braku – napędu elektrycznego. Nowoczesne nasady bazują na silnikach bezszczotkowych o małym zapotrzebowaniu na energię elektryczną.

Napęd elektryczny wprawia w ruch turbiny niezależnie od siły i kierunku wiatru. Turbina obraca się zawsze w jednym kierunku, wytwarzając podciśnienie na dolocie nasady. W efekcie dochodzi do wzrostu natężenia przepływu powietrza w przewodach wentylacyjnych. Silnik elektryczny, napędzając turbinę, wspomaga pracę nasady wówczas, gdy siła wiatru jest zbyt mała. Natomiast gdy siła wiatru jest zbyt duża – silnik elektryczny zmniejsza prędkość obrotową. Tym sposobem przy właściwym wietrze nasada hybrydowa działa tak, jak tradycyjna nasada kominowa.

W wentylacji hybrydowej ilość powietrza wypływającego z pomieszczenia jest regulowana za pomocą specjalnych urządzeń montowanych za kratkami, na wlocie do przewodów wentylacyjnych. Używana jest przy tym specjalna przepustnica, która stopniowo zamyka się wraz ze zwiększeniem strumienia powietrza przepływającego i wzrostem podciśnienia w przewodzie wentylacyjnym.

Z kolei nawietrzaki w systemie wentylacji hybrydowej odpowiadają za doprowadzenie powietrza do pomieszczeń i jego wstępną filtrację. Nawietrzaki zapobiegają odwróceniu przepływu oraz tłumią dźwięki z zewnątrz. Na rynku dostępne są także nawietrzaki z grzałką, które wstępnie podgrzewają powietrze doprowadzane do pomieszczeń.

W nowoczesnych systemach wentylacji hybrydowej można wykorzystać sterowniki, które uruchamiają wentylator np. w przypadku podwyższonego poziomu wilgotności w pomieszczeniach. Dostępne są też programy komputerowe przeznaczone do sterowania nasadami. Z poziomu oprogramowania można sterować pracą nasad z uwzględnieniem prędkości obrotowej i przedziałów czasowych. Taka sieć obejmuje maksymalnie 32 nasady.

Konkludując: kiedy wentylacja grawitacyjna w wielorodzinnym budynku mieszkalnym działa nieprawidłowo, trzeba zadbać o dostarczenie odpowiedniej ilości powietrza do lokali poprzez zamontowanie nawiewników.

Aby zapobiegać ryzyku wystąpienia wstecznego ciągu w kanałach wentylacyjnych, warto montować odpowiednie nasady kominowe. Gdy pomimo dopływu powietrza w wystarczającej ilości, właściwych nasad i drożnych kanałów wentylacyjnych wciąż występuje zjawisko słabego ciągu kominowego, warto zastosować wentylację hybrydową, czyli połączenie wentylacji grawitacyjnej z mechaniczną.

**Damian Żabicki**

## DachAirbox i RecirculationBox – nowatorskie rozwiązania dla hal przemysłowych

Minimalizowanie kosztów zużycia energii przy zachowaniu wysokiego komfortu cieplnego skutkuje koniecznością zastosowania kontrolowanego ogrzewania i chłodzenia. Tym samym wdrażane technologie obróbki powietrza muszą sprostać coraz większym wymaganiom. Kwestia ta dotyczy również hal przemysłowych.



### Charakterystyka ogólna

Roofboxy DachAirbox i RecirculationBox (rys. 1.) to innowacyjne rozwiązania opracowane przez inżynierów Grupy Rosenberg na potrzeby kontrolowanego ogrzewania, chłodzenia i wentylacji hal przemysłowych.

Jednostki te doskonale sprawdzają się w wentylacji hal przemysłowych lub tylko ich części, kiedy pełnią zróżnicowane funkcje i posiadają różne konstrukcje.

Dzięki zastosowaniu bardzo wydajnej technologii odzysku ciepła oraz energooszczędnej technologii EC roofboxy charakteryzują się doskonałą efektywnością energetyczną. Płynna regulacja gwarantuje wysoką oszczędność kosztów zużycia energii.



**Rys. 1.** Centrale typu roofbox Grupy Rosenberg:  
a) DachAirbox,  
b) RecirculationBox

Obudowa części zewnętrznych jednostek DachAirbox, zaprojektowana do zastosowań zewnętrznych, spełnia wymagania dla kategorii A+ według normy PN-EN 13053+A1:2011.

**Nowatorskie rozwiązanie** DachAirbox i RecirculationBox opiera się na zaawansowanej technologii sterowania (z korzyściami płynącymi z zastosowania technologii EC).

Urządzenia mają budowę kompaktową, a ich podłączenie jest proste i nie pociąga za sobą wysokich kosztów dodatkowych. Roofboxy mogą być włączone do systemu zdalnego monitorowania BMS (ang. Building Management System) – do ich obsługi nie jest konieczna wiedza specjalistyczna.

**Koszty inwestycyjne są niskie**, ponieważ urządzenia nie wymagają oddzielnego pomieszczenia (maszynowni) ani doprowadzenia dodatkowej instalacji wentylacyjnej (kanałów).

**Montaż jednostek jest szybki i prosty.** Części zamienne są łatwo dostępne. Czynności związane z obsługą bieżącą można wykonać bezpośrednio na dachu, bez konieczności używania specjalistycznego sprzętu.

Centrale **DachAirbox** i **RecirculationBox** zostały zaprojektowane i wykonane zgodnie z Dyrektywą w sprawie charakterystyki energetycznej budynków **2010/31/UE**, Dyrektywą Ekoprojektu **2009/125/UE**, normą **PN-EN 13053+A1:2011** i niemieckimi wytycznymi dla central wentylacyjnych **RLT 01/2014**.

Dzięki dużemu doświadczeniu produkcyjnemu Grupy Rosenberg oraz niemieckiej sztuce inżynierskiej urządzenia działają niezawodnie, a koszty ich eksploatacji są niewielkie.

Wentylacja hal przemysłowych realizowana przez roofboxy **DachAirbox** i **RecirculationBox** jest opłacalna. Zdecentralizowana praca tych urządzeń umożliwia wentylację hal dowolnej wielkości przy użyciu wielu jednostek tego samego modelu. Rozwiązanie to

pozwała na uzyskanie różnych parametrów powietrza dla rozmaitych technologii zlokalizowanych w odrębnych częściach hali. Może również się zdarzyć, że technologia stosowana w hali nie wymaga dopływu świeżego powietrza i wystarczy użyć **RecirculationBox** w celu zapewnienia recyrkulacji wewnątrz pomieszczeń.

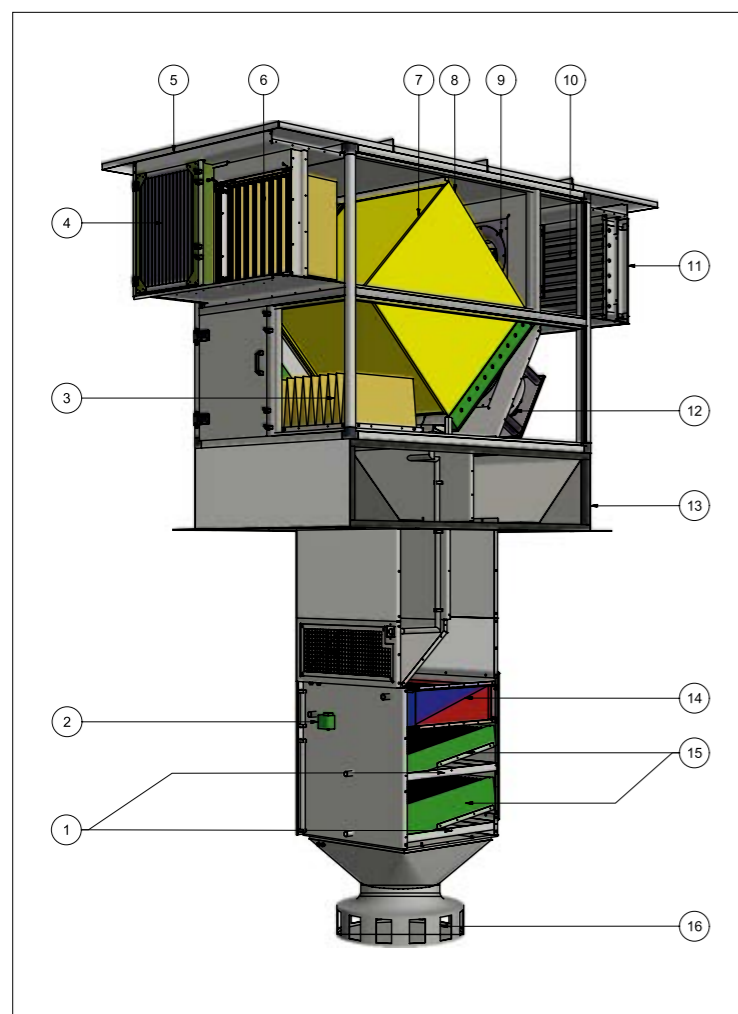
Jednostki DachAirbox zostały opracowane w 3 wielkościach, aby zapewnić zdecentralizowane ogrzewanie, chłodzenie i wentylację, przy przepływie **5000, 6500 i 8000** m<sup>3</sup>/h.

Gdy ilość świeżego powietrza jest wystarczająca, a pojawi się potrzeba dodatkowego dogrzania/ochłodzenia go, wówczas – w dowolnym miejscu hali – DachAirbox mogą zostać uzupełnione przez jednostki RecirculationBox, które również produkowane są w 3 wielkościach o tych samych wydajnościach, co DachAirbox.

## DachAirbox

DachAirbox jest zbudowany z trzech głównych części: zewnętrznej, wewnętrznej oraz podstawy. Przykładową budowę pokazuje rys. 2.

Część zewnętrzna posadowiona jest na dachu, natomiast wewnętrzną montuje się już wewnątrz hali przemysłowej. Podstawę stanowi izolowana konstrukcja wsporcza. Zapo-



**Rys. 2.**  
Budowa przykładowej jednostki DachAirbox z nagrzewnicą i chłodnicą

### Wykaz podzespołów:

- 1 – Taca ociekowa
- 2 – Termostat przeciwzamrozeniowy
- 3 – Filtr (wywiew)
- 4 – Żaluzje chroniące przed deszczem
- 5 – Daszek ochronny
- 6 – Filtr (nawiew)
- 7 – Wymiennik przeciwprądowy z przepustnicą obejścia
- 8 – Sterowanie
- 9 – Wentylator (wywiew)
- 10 – Przepustnica
- 11 – Żaluzje chroniące przed deszczem
- 12 – Wentylator (nawiew)
- 13 – Podstawa
- 14 – Wymiennik z funkcją grzania/chłodzenia
- 15 – Odkraplacz
- 16 – Dyfuzor rewersyjny

biega ona tworzeniu się mostków cieplnych między częścią zewnętrzną i wewnętrzną. Podstawa jest pokryta tym samym materiałem izolacyjnym, co dach. Podnosi również jednostkę powyżej najwyższego przewidywanego poziomu śniegu.

W części zewnętrznej znajdują się główne elementy centrali i podzespoły regulacyjne. Rama posiada współczynnik mostków cieplnych klasy TB2, a izolowane ściany boczne, wykonane z galwanizowanej blachy stalowej, posiadają izolacyjność termiczną klasy T2 (na specjalne zamówienie, w celu redukcji masy urządzenia, ściany boczne mogą być wykonane z aluminium).

Świeże powietrze wprowadzane do urządzenia kierowane jest do przeciwprądowego wymiennika ciepła o sprawności do 71%, co jest bardzo dobrym wynikiem w tej kategorii.

Różne tryby pracy centrali realizowane są poprzez odpowiednie sterowanie przepustnicami i obejściami.

Płyty wymiennika ciepła służy do ogrzewania zimnego powietrza zewnętrznego w trybie zimowym, chłodzenia ciepłego powietrza w trybie letnim oraz przekazywania ciepła, zgodnie z zapotrzebowaniem, w trybie wiosennym i jesiennym. Wężownicę wymiennika ciepła, jak również rozdzielacz i kolektor, wykonano z miedzi, zgodnie z wytycznymi RLT01, natomiast lamele są aluminiowe. Grubość płyt została zaprojektowana tak, aby kondensowane krople wody były możliwie największe. Są one zbierane przez odkraplacz o zwiększonej efektywności.

Odkraplacz jest zbudowany z dwóch odpowiednio dobranych, wysokowydajnych separatorów zamontowanych pod kątem i prowadzących skropliny na tacę kondensacyjną. Taca posiada wylot, do którego może być podłączony syfon lub pompa umożliwiające odprowadzenie skroplin do kanalizacji.

Zastosowany dyfuzor rewersyjny (ciągu wstecznego) to typowe rozwiązanie dla wysokich pomieszczeń. Może dostarczać zarówno ciepłe, jak i zimne powietrze. Dyfuzor posiada podwójną obudowę. Część wewnętrzną obraca się przez siłownik, otwierając i zamykając wlot powietrza z boku i od dołu dyfuzora.

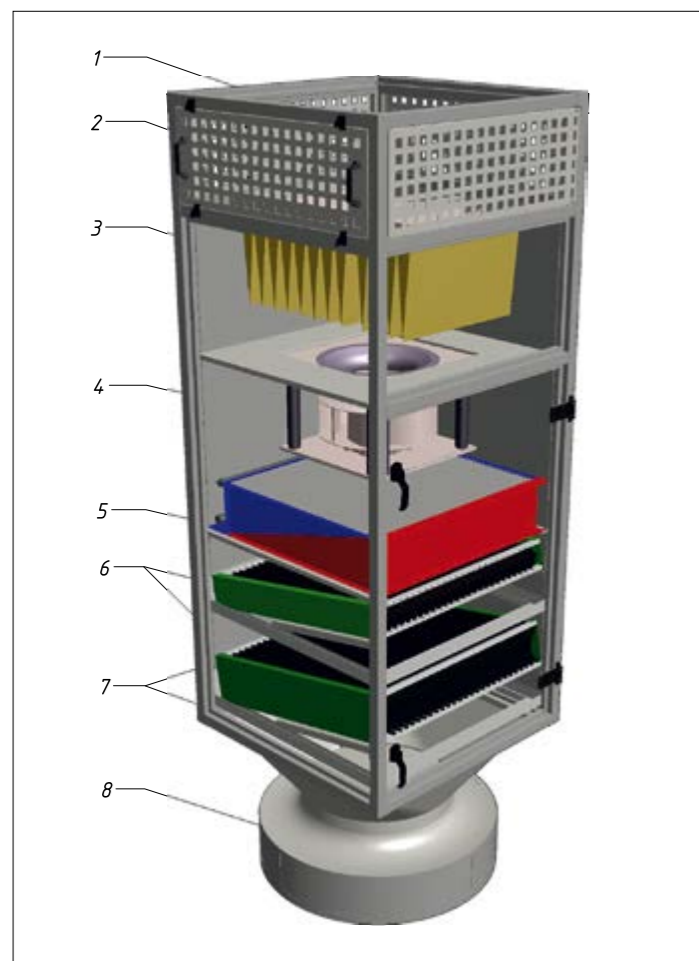
Przy funkcji grzania otwory w dolnej części obudowy są odblokowane, a powietrze jest nawiewane do wnętrza hali zgodnie z zaprojektowanym zasięgiem.

Przy funkcji chłodzenia dyfuzor znajduje się w pozycji poziomej, dzięki czemu, za sprawą grawitacji, zimne powietrze równomiernie opada w dół do przestrzeni zajmowanej przez ludzi, przyjmując kształt parasola.

## RecirculationBox

Budowę centrali RecirculationBox pokazuje rys. 3.





**Rys. 3.** Budowa jednostki RecirculationBox

**Wykaz podzespołów:**

- 1 – Obudowa z kratką ochronną
- 2 – Zdemontowana kratka ochronna
- 3 – Filtr
- 4 – Wentylator GKHM
- 5 – Wymiennik z funkcją grzania/chłodzenia
- 6 – Odkraplacz
- 7 – Taca kondensacyjna
- 8 – Dyfuzor rewersyjny

Obudowę ramową stanowią galwanizowane profile stalowe typu S40, połączone odlewanyymi, aluminiowymi narożnikami. Łączenia zabezpieczone są uszczelkami z EPDM.

Ścianki boczne obudowy wykonano z podwójnych paneli z galwanizowanej blachy stalowej o grubości 1 mm, ale mogą być również powlekane proszkowo. Standardowym kolorem jest RAL 7035. Inne kolory dostępne są na zamówienie.

Przestrzeń pomiędzy panelami wypełnia warstwa izolacyjna z niepalnej wełny mineralnej o gęstości 33 kg/m<sup>3</sup>.

Panele są montowane we wpustach profili ramowych od zewnątrz, dzięki czemu wewnątrz urządzenia jest gładkie i higieniczne. Dodatkowe mocowanie za pomocą śrub jest niewidoczne, a otwory są osłonięte zaślepkami z tworzywa sztucznego.

Drzwi serwisowe standardowo mocowane są za pomocą zacisków. Opcjonalnie mogą zostać wyposażone w zawiasy (do wyboru jeden z trzech możliwych kierunków otwarcia).

Powietrze jest oczyszczane w filtrach workowych o dużej powierzchni filtracji i dużej pojemności magazynowania pyłu. Wkłady są zamocowane do ramy za pomocą zacisków sprężynowych.

Właściwa temperatura powietrza jest uzyskiwana za pomocą wymiennika ciepła wykonanego z miedzi/aluminium, z wodą jako nośnikiem ciepła, w skali odpowiedniej do po-

trzeb obsługiwanej przestrzeni. Wymiennik chłodzi powietrze latem i ogrzewa je w okresie zimowym.

Prawidłowe rozprowadzenie nawiewanego powietrza zapewnia regulowany dyfuzor. Nawiewa on ciepłe powietrze pionowo, a chłodne – dodatkowo również w bok.

## Regulacja

### System sterowania

Roofboxy dostarczane są z zainstalowanym systemem automatycznego sterowania, w pełni przetestowane, a także kompletne. Tym samym montaż i uruchomienie urządzenia nie stanowi trudności. Dla ułatwienia montażu części zewnętrzna oraz wewnętrzna jednostki są wyposażone w rozłączne okablowanie. Układ automatycznego sterowania stanowi integralny element wnętrza obudowy.

Panele obsługi są dobierane w zależności od potrzeb klienta i obsługiwanych funkcji.

Zastosowane sterowniki Siemens Climatix dają wiele możliwości sterowania:

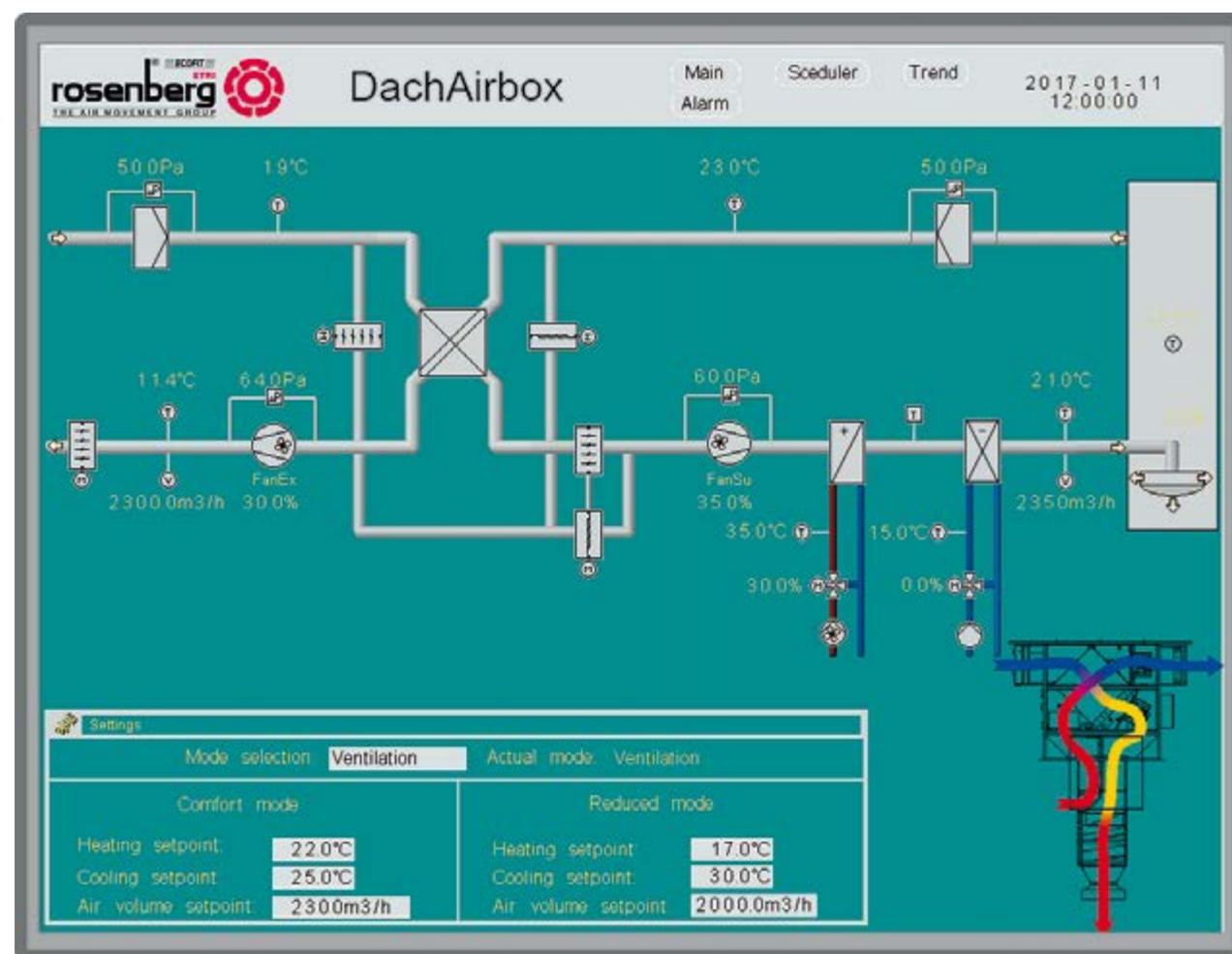
- zdalne sterowanie wartością analogową i/lub cyfrową,
- komunikację z platformą SCADA/BMS za pomocą protokołu BACnet, KNX, Modbus,
- sterowanie wieloma jednostkami,
- sterowanie master-slave,
- sterowanie grupowe,
- inne.



### Funkcjonalność systemu sterowania

#### Funkcje regulacji:

- Regulacja temperatury powietrza nawiewanego/powietrza w hali przy użyciu: wymiennika z funkcją grzania/chłodzenia i wodą jako medium magazynującym ciepło, nagrzewnicy gazowej, przełączania lato/zima.
- Optymalizacja zużycia energii w danym trybie pracy.
- Płynna regulacja pracy wentylatorów na podstawie natężenia przepływu powietrza.
- Harmonogram tygodniowy oparty na 6 zmianach dziennych plus programie wyjątku.
- Praca w trybie wyspowym lub strefowym.
- Zapisywanie ważnych danych kontrolnych (temperatura, sygnały sterujące itp.).



**Rys. 4.** Interfejs graficzny zapewnia przejrzystą i prostą obsługę. Animowane obiekty, obsługa błędów, wyświetlanie tendencji, możliwość tworzenia harmonogramu

#### Funkcje komfortu:

- Wbudowany panel obsługi z ekranem LCD (rys. 4.) i wyborem języka (niemiecki/angielski/węgierski) oraz zewnętrzny panel obsługi z interfejsem tekstowym (rys. 5.) lub graficznym oraz ekranem dotykowym.
- Obsługa przez przeglądarkę internetową (PC, notebook, smartfon itp.) z użyciem trybu tekstowego lub graficznego.

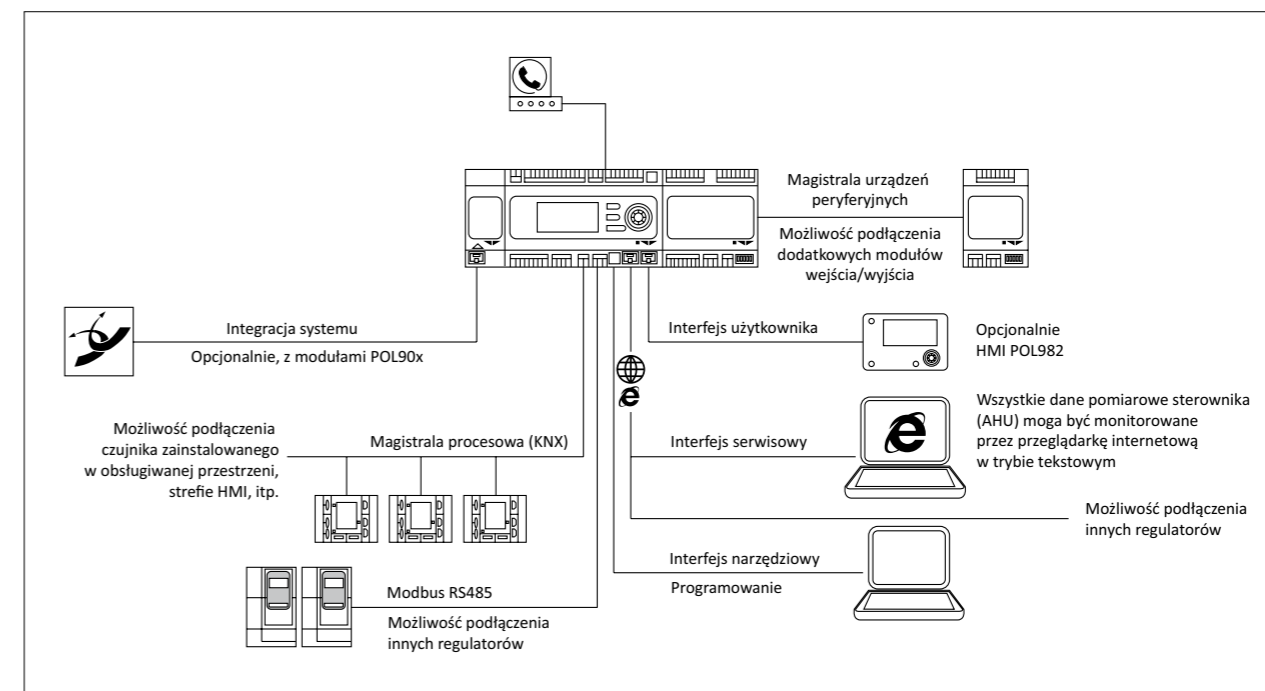


**Rys. 5.** Zewnętrzny wyświetlacz tekstowy zapewnia oszczędne rozwiązanie – ponieważ jest on mobilny, może być używany do więcej niż jednej jednostki

#### Funkcje bezpieczeństwa:

- monitorowanie i ciągły pomiar zanieczyszczeń filtracyjnych,
- ochrona przeciwoblodzeniowa wymiennika,
- ochrona przeciwzamrożeniowa wymiennika z wodą jako nośnikiem ciepła,

- ochrona przed przegrzaniem,
  - zabezpieczenie przed suchobiegiem pompy.
- Na rys. 6. przestawiona jest topologia systemu.



**Rys. 6.** Topologia systemu

ROSENBERG KLIMA POLSKA SP. Z O.O.  
05-830 Nadarzyn, ul. Plantowa 5  
tel. 22 720 67 73 lub 74  
biuro@rosenberg.pl, www.rosenberg.pl

## SupraBox DELUXE – energooszczędny system wentylacji do bezpośredniej instalacji w pomieszczeniu

Kompaktowe jednostki SupraBox DELUXE oferowane przez Grupę Rosenberg przeznaczone są do zastosowań w salach szkoleniowych, pomieszczeniach konferencyjnych oraz biurach i poczekalniach. Dzięki zintegrowanemu nawiewowi, jak również bezpośredniemu odprowadzaniu zużytego powietrza poprzez jednostkę, nie jest wymagana instalacja dodatkowych kanałów wentylacyjnych.

Automatyczne sterowanie centralą wentylacyjną pod względem koncentracji CO<sub>2</sub> w pomieszczeniu zapewnia optymalną jakość powietrza, a tym samym najwyższy komfort. Dostępne są dwie wielkości urządzeń (rys. 1.), zależnie od szacowanej ilości osób przebywających w danym pomieszczeniu. Obie charakteryzują się wyjątkowo niskim poziomem hałasu wynoszącym 35 dB(A) w odległości 1 m, stwarzając optymalne warunki do pracy.



Rys. 1.  
Centrale kompaktowe  
SupraBox Deluxe

### Wentylacja wyporowa – najwyższa efektywność przy minimalnym generowaniu hałasu

Obie jednostki typu SupraBox DELUXE przeznaczone są do zdecentralizowanej wentylacji pomieszczeń.

Zapobiegają powstawaniu przeciągów, gwarantując równomierne rozproszanie powietrza dzięki zintegrowanemu nawiewowi wyporowemu. System nawiewu wyporowego, według PN-EN 13779, jest dwa razy skuteczniejszy w porównaniu z systemami indukcyjnymi (mieszającymi) wykorzystującymi anemostaty ścienne lub sufitowe. Ze względu na bardzo niską emisję hałasu (35 dB(A) w odległości 1 m) w pomieszczeniu panują komfortowe warunki do pracy lub wypoczynku.

Poniższa tabela, przygotowana na podstawie PN-EN 15251:2012P, przedstawia zalecany poziom ciśnienia akustycznego, skorygowany według charakterystyki częstotliwościowej A, dla różnych środowisk wewnętrznych, zależnie od zastosowania.

**Tabela.** Kryteria dotyczące hałasu instalacyjnego w niektórych pomieszczeniach i budynkach (wyciąg [PN-EN 15251:2012P, Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę; Wprowadza EN 15251:2007; Załącznik E])

Budynek	Rodzaj pomieszczenia	Poziom dźwięku dB(A)	
		Typowy zakres	Wartość domyślna (dla obliczeń)
Opieka nad dziećmi	Żłobek	30 ÷ 45	40
	Przedszkole	30 ÷ 45	40
Biura	Małe biura	30 ÷ 40	35
	Sale konferencyjne	30 ÷ 40	35
	Biura wielkoprzestrzenne	35 ÷ 45	40
Restauracje	Kawiarnie	35 ÷ 50	40
	Restauracje	35 ÷ 50	45
	Kuchnie	40 ÷ 60	55
Szkoły	Sale lekcyjne	30 ÷ 40	35
	Korytarze	35 ÷ 50	40
	Sale gimnastyczne	35 ÷ 45	40
	Pokoje nauczycielskie	30 ÷ 40	35
Sport	Zadaszone stadiony sportowe	35 ÷ 50	45
	Hale pływalni	40 ÷ 50	45

### Odpowiednie do potrzeb sterowanie czujnikiem CO<sub>2</sub>

Jednostki SupraBox DELUXE pracują płynnie w trybie automatycznym, dbając o to, aby w pomieszczeniu nie zostało przekroczone dopuszczalne stężenie CO<sub>2</sub> wynoszące 1000 ppm\*.

\* ppm (parts per milion) – tutaj: liczba cząsteczek CO<sub>2</sub> przypadająca na milion cząsteczek powietrza.

Sterowanie ilością dostarczanego świeżego powietrza odbywa się przy pomocy czujnika CO<sub>2</sub>. Jeśli w pomieszczeniu nie przebywają ludzie (emitujący dwutlenek węgla na skutek naturalnych procesów metabolicznych), urządzenie wyłącza się samoczynnie, zapobiegając niepotrzebnemu zużyciu energii.

W razie potrzeby, na panelu sterowania znajdującym się przy urządzeniu, można nastawić tryb sterowania ręcznego, który umożliwi wybór jednego z trzech poziomów wydajności.

### Zintegrowane obejście (bypass)

Oba modele central wentylacyjnych zostały wyposażone w zintegrowane, stałe obejście, dzięki któremu możliwe jest obniżenie temperatury w pomieszczeniu (tzw. swobodne chłodzenie, ang. *free-cooling*).

Funkcję tę wykorzystuje się zazwyczaj latem w godzinach porannych oraz nocą, gdy temperatura na zewnątrz jest niższa.

### Łatwa instalacja urządzenia

Jednostki wentylacyjne SupraBox DELUXE zaprojektowane zostały jako urządzenia stojące. Ze względu na bezpośredni odbiór zużytego powietrza z pomieszczenia przez centralę oraz zintegrowany nawiew wyporowy, w pomieszczeniu nie ma systemu kanałów łączących z wentylatornią (co eliminuje źródło hałasu i zwiększa bezpieczeństwo pożarowe).

Urządzenia są fabrycznie okablowane i dostarczane jako urządzenia gotowe do podłączenia – Plug&Play.

### Najwyższa efektywność energetyczna

Wysokowydajny odzysk ciepła i energooszczędne wentylatory Rosenberg wykonane w najnowszej technologii EC sprawiają, że centrale SupraBox DELUXE należą do czołówki najbardziej energooszczędnych systemów wentylacji.

Wysoce zaawansowany, zintegrowany system odszraniania wymiennika eliminuje konieczność montażu nagrzewnicy wstępnej i wtórnej.

### Stworzone zgodnie z aktualnymi normami i wytycznymi

Typoszereg urządzeń SupraBox DELUXE został zaprojektowany oraz wykonany zgodnie z obowiązującymi aktualnie standardami bezpieczeństwa i higieny.

Gładka obudowa, wykonana z paneli o podwójnych ściankach, zapewnia odporność na gromadzenie się zanieczyszczeń i łatwość utrzymania w czystości.

### Równomierny rozdział powietrza, bez przeciągów

Jednostki SupraBox DELUXE zostały specjalnie zaprojektowane do bezpośredniej instalacji w pomieszczeniu. System ten opiera się na zaawansowanej koncepcji wentylacji, dzięki której osoby przebywające w pomieszczeniu oraz właściciele/inwestorzy budynków odnoszą wymierne korzyści. Eliminuje przeciągi i zapewnia równomierny rozdział powietrza, wykorzystując zintegrowany nawiew wyporowy.

Wbudowane tłumiki na nawiewie i wywiewie stanowią gwarancję niskiego poziomu hałasu. W odległości 1 m nie przekracza on 35 dB(A) przy przepływach nominalnych central (odpowiednio 500 m<sup>3</sup>/h i 750 m<sup>3</sup>/h), dzięki czemu pracujące urządzenie nie przeszkadza w prowadzeniu spotkań/szkoleń w pomieszczeniu.

SupraBox DELUXE są idealnym rozwiązaniem do wentylacji pomieszczeń o stosunkowo dużej objętości, jak klasy, sale seminaryjne, biura, pomieszczenia konferencyjne czy salony.

### Łatwość adaptacji do układu pomieszczenia

Urządzenie jest wolnostojące. Łatwe do montażu zarówno w nowych, jak i istniejących obiektach. Jest dostarczane w pełni okablowane i gotowe do podłączenia (Plug&Play). Indywidualnie regulowane dysze nawiewne (płyta dysz zintegrowana z urządzeniem) dają wiele możliwości ustawienia jednostki w pomieszczeniu. W zależności od ustawienia przestrzennego zalecane są odpowiednie ustawienia dysz (szczegóły w DTR urządzenia).

Dla zapewnienia najwyższej jakości powietrza centrala kompaktowa SupraBox DELUXE nie wymaga systemu kanałów łączących z wentylatornią, nie są również konieczne dodatkowe urządzenia tłumiące. Niezależność jednostki zwiększa również bezpieczeństwo pożarowe (brak możliwości rozprzestrzeniania się pożaru poprzez system kanałów).

### Wentylacja wyporowa dla maksymalnego komfortu

Świeże powietrze nawiewane jest do pomieszczenia z niską prędkością na poziomie podłogi (rys. 2). Rozchodząc się równomiernie dołem, zostaje następnie ogrzane przez osoby przebywające w pomieszczeniu (źródła emitujące ciepło) i unosi się do góry (pasywny system wentylacji). W ten sposób do każdej osoby w pomieszczeniu dociera świeże, wolne od zanieczyszczeń powietrze. Ciepłe i zużyte powietrze przemieszcza się dalej pod sufit, skąd zostaje zassane przez kratkę wlotową znajdującą się w górnej części urządzenia i usunięte na zewnątrz. Wentylacja realizowana jest w trybie automatycznym, a sterowanie nawiewem świeżego powietrza odbywa się z wykorzystaniem czujnika CO<sub>2</sub> monitorującego stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniu.



**Rys. 2.** Zasada działania: świeże powietrze nawiewane jest dołem, nad podłogą, następnie wznosi się i jest odbierane z powrotem u góry

Czujnik CO<sub>2</sub> zostaje dostarczony wraz z urządzeniem. Oprócz trybu automatycznego i ręcznego dostępna jest również funkcja „Kontrolowane obniżanie temperatury/tryb letni” i „Obniżenie nocne”.

Zależnie od przeznaczenia, warunkowanego docelową ilością osób korzystających z pomieszczenia, dostępne są dwa modele central:

- o wydajności 500 m<sup>3</sup>/h, z przyłączem pionowym (V);
- o wydajności 750 m<sup>3</sup>/h z przyłączem poziomym (H).

W centrali SupraBox DELUXE 500V króćce powietrza świeżego i usuwanego znajdują się w górnej części urządzenia oraz są skierowane pionowo do góry. Model 750H posiada je z boku w poziomie.

Zaprojektowane wymiary króćców zapewniają prędkość przepływu poniżej 3 m/s.

Króćce podłącza się bezpośrednio do czerpni/wyrzutni zamontowanej w ścianie zewnętrznej.

### Podstawowe zalety wentylacji wyporowej

Zużyte powietrze stopniowo wypierane jest przez napływające z niską prędkością świeże powietrze. Tym samym jakość powietrza, zapewniana przez wentylację wyporową w strefie przebywania ludzi, jest dużo wyższa niż przy wentylacji mieszającej. Zgodnie z normą VDI 6022 część 3 ilość powietrza zewnętrznego przy zastosowaniu wentylacji wyporowej może być mniejsza nawet o 30% w porównaniu z wentylacją mieszającą, zapewniając w pomieszczeniu jednakową lub lepszą jakość powietrza. Tym samym SupraBox DELUXE może zapewnić najwyższą jakość powietrza, pracując z niższą wydajnością przepływu i mniejszą prędkością nawiewu niż urządzenia wentylacji mieszającej (rys. 3a., 3b.).



**Rys. 3a.** Wentylacja wyporowa (konwekcja)

- Efektywność wentylacji 2 (VDI 3804, PN-EN 13779)
- Świeże powietrze jest rozprowadzane dołem, następnie unosi się na skutek konwekcji wywołanej oddziaływaniem znajdujących się w pomieszczeniu ludzi (źródła ciepła). Zużyte powietrze wędruje pod sufit i jest usuwane.
- Prędkość powietrza jest bardzo niska, w strefie przebywania ludzi niemierzalna. Brak przeciągów w pomieszczeniu!
- Jakość powietrza w obszarze wdechu niemal bez zmian (zawsze świeże, filtrowane powietrze).



**Rys. 3b.** Wymuszone, turbulентne rozprowadzenie powietrza

- Efektywność wentylacji 1 (VDI 3804, PN-EN 13779)
- Duża prędkość powietrza: prędkość na nawiewie w granicach od 2 m/s do 5 m/s. Maksymalna głębokość penetracji odpowiada 2- do 4-krotnej wysokości pomieszczenia.
- Zanieczyszczenia i CO<sub>2</sub> rozpraszane są turbulently po całym pomieszczeniu.
- Jakość powietrza w pomieszczeniu odpowiada jakości powietrza wydychanego.

### Odzysk ciepła minimalizuje koszty ogrzewania

Stosowanie centrali SupraBox DELUXE, szczególnie w sezonie grzewczym, przynosi oszczędności energii i kosztów. Dzięki wentylacji mechanicznej do wszystkich osób dociera odpowiednia ilość świeżego powietrza. Można zrezygnować z wietrzenia przez otwiera-

nie okien, podczas którego zimą ucieka cenne ciepło. Wbudowany w urządzenie, bardzo wydajny, przeciwprądowy wymiennik płytowy odzyskuje ciepło z powietrza usuwanego i ogrzewa świeże powietrze nawiewane do pomieszczenia. Sprawność odzysku ciepła może przekroczyć nawet 90%. Doświadczenia z modernizacji szkół pokazują, że zużycie energii może zostać w znacznym stopniu ograniczone. Jeśli powietrze w pomieszczeniu przed rozpoczęciem zajęć jest wstępnie podgrzane do 22°C, to odzysk ciepła z powietrza i promieniowania ciepła przez uczniów wystarcza do utrzymania temperatury na komfortowym poziomie.

Dogrzewanie można zazwyczaj pominąć. Przy zbyt niskiej temperaturze w pomieszczeniu oraz jednocześnie niskiej temperaturze powietrza nawiewanego można zastosować opcjonalnie dodatkowy element grzewczy.

Istnieje możliwość wyposażenia obu modeli central w nagrzewnicę elektryczną (PTC). Element ten może być zamontowany w dowolnym momencie (doposażenie) i połączony z automatyką.

### Wysoka jakość podzespołów

Do odzysku ciepła wykorzystywane są wysokoefektywne, przeciwprądowe wymienniki płytowe. Napęd wentylatorów centrali SupraBox DELUXE stanowią energooszczędne silniki najnowszej technologii EC.

Wbudowane tłumiki na nawiewie i wywiewie oraz izolowana akustycznie obudowa (500V – 40 mm; 750H – 60 mm) zapewniają cichą pracę urządzenia. Przepustnice wyposażone są w siłowniki. W standardzie dostarczany jest również filtr powietrza świeżego klasy F7 i powietrza usuwanego z pomieszczenia klasy M5. Konstrukcja urządzenia umożliwia także zastosowanie dodatkowych filtrów. Wraz z centralą dostarczany jest panel umożliwiający sterowanie pracą urządzenia.

Przewidziane dodatkowo standardowe akcesoria to wbudowany czujnik temperatury pomieszczenia oraz czujnik temperatury zewnętrznej i czujnik CO<sub>2</sub> (do zamontowania w pomieszczeniu).

Zastosowane w modelu 500V drzwi frontowe, mające charakter dekoracyjny z estetycznie perforowanym wzorem, nie występują w modelu 750H w standardzie. Dostępne są wyłącznie opcjonalnie jako wyposażenie dodatkowe.

### SupraBox DELUXE 500V nagrodzona na PLUS X AWARD

PLUS X AWARD to największy na świecie konkurs dla innowacyjnych produktów z dziedziny techniki, sportu i stylu życia. To szczególne wyróżnienie dla producentów, którzy z myślą o przyszłości tworzą produkty wysokiej jakości, zdecydowanie lepsze od innych.



**Rys. 4.** Centrala SupraBox DELUXE 500V została nagrodzona na konkursie dla innowacyjnych produktów z dziedziny techniki, sportu i stylu życia

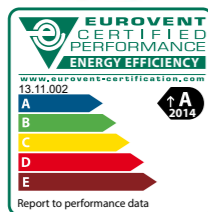
Centrala SupraBox Deluxe 500V na konkursie PLUS X AWARD otrzymała kilka nagród. Została doceniona aż w 4 (z 7 możliwych) kategoriach: innowacyjność, wysoka jakość, funkcjonalność i ekologia. Ponadto Jury konkursu PLUS X AWARD przyznało SupraBox Deluxe 500V, jako najlepszej wentylacyjnej centrali kompaktowej, etykietę „Najlepszy Produkt Roku 2013” (rys. 4).

ROSENBERG KLIMA POLSKA SP. Z O.O.  
05-830 Nadarzyn, ul. Plantowa 5  
tel. 22 720 67 73 lub 74  
biuro@rosenberg.pl, www.rosenberg.pl





**Airbox**



**Elastyczne podejście, inteligentne rozwiązania**

Grupa Rosenberg - czołowy producent urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych na świecie, posiada w ofercie szeroką gamę gotowych rozwiązań, promując **wysoką jakość i energooszczędność**. Zarówno w zakresie zaawansowanych technologii, jak i klasycznej klimatyzacji budynków, urządzenia Grupy Rosenberg dostarczają do pomieszczeń czyste powietrze o odpowiedniej temperaturze i wilgotności.

**Centrale wentylacyjno-klimatyzacyjne AIRBOX** wykonywane są z oddzielnych modułów dających się łatwo łączyć w indywidualne zestawy.

Dostępne są do wydajności 132 000 m<sup>3</sup>/h w wykonaniu wewnętrznym, zewnętrznym - odpornym na warunki atmosferyczne, przeciwwybuchowym oraz higienicznym, zgodnym ze standardem RLT.

Wszystkie centrale wentylacyjne i wentylacyjno-klimatyzacyjne produkcji Rosenberg, oferowane i dostarczane na rynek Polski, są zgodne z wytycznymi **Dyrektywy ErP** i spełniają wymagania **Rozporządzenia Komisji UE 1253/2014**.

Centrale F40 i T60 certyfikowane są dodatkowo przez **Eurovent Certification**, uznanego światowego lidera w dziedzinie certyfikacji charakterystyk wydajności pracy produktów wentylacyjnych, chłodniczych i klimatyzacyjnych, zgodnie z normami europejskimi i międzynarodowymi.

Urządzenia odpowiadają **klasie energetycznej A+** i spełniają **najwyższe wymagania** w zakresie efektywności, energochłonności oraz jakości.

**Oferowane serie:**

- S40, S60, T60 - konstrukcje ramowe, wykonywane na bazie profili łączonych narożnikami. Szkielet zabudowany jest panelami i wypełniony niepalną, dźwiękochłonną i termoizolacyjną wełną mineralną. Poszczególne sekcje oraz materiał wykonania szkieletu obudowy są dobierane zgodnie z wymaganiami odbiorcy.
- F40 - bezramowe konstrukcje przeznaczone do montażu w sufitach podwieszanych.

Więcej informacji na stronie internetowej:  
[www.rosenberg.pl](http://www.rosenberg.pl)



**NAJWIĘKSZE WYDARZENIE BRANŻOWE**

**27 - 28 LUTEGO WARSZAWA**

**WYDARZENIA TARGOWE**

**SEMINARIA  
ARENA TECHNOLOGII  
STREFA INSTALATORA  
KONKURS**

**MIĘDZYNARODOWE TARGI TECHNIKI WENTYLACYJNEJ I KLIMATYZACYJNEJ I CHŁODNICZEJ**

Pomysłodawca i organizator:



spw@wentylacja.org.pl | tel. fax 22 542 43 14

[www.forumwentylacja.pl](http://www.forumwentylacja.pl)

**CHCESZ WIEDZIEĆ WIĘCEJ?**

Wejdź na [www.forumwentylacja.pl](http://www.forumwentylacja.pl)

i zostaw e-mail - prześlemy dodatkowe informacje

## Wentylacja hybrydowa w budynkach mieszkalnych – nowa jakość powietrza dla mieszkających w nich ludzi

Współczesny architekt na etapie projektowania systemu wentylacyjnego obiektu do niedawna miał dwie możliwości. Mógł wybrać wentylację naturalną – znaną w jego środowisku czasami jako wentylacja tradycyjna – lub wentylację mechaniczną ciągłą.



W pierwszym przypadku etap projektowania uważano za zakończony, gdy pomieszczenie zaopatrzone w **kanal wentylacyjny z kratką wywiewną**, a na dachu istniał komin z bocznymi otworami, przykryty czapą betonową. Sporadycznie na zwieńczeniu wybierano **wywietrznik grawitacyjny**, natomiast o współczynniku oporu **kratki wentylacyjnej** zupełnie nie myślano.

Te warunki jednak w istotny sposób ważyły na kierunku i wartości ciągu grawitacyjnego w kanale, a tym samym miały znakomity wpływ na **jakość powietrza** w pomieszczeniu.

Budynki wysokie zaopatrywano w **wentylatory**, zadaniem których jest mechaniczna praca wywiewu – sposób zapewniający wysoką **jakość powietrza**, jednak częstokroć zawodny przy długich okresach eksploatacyjnych ze względu na zużywające się podzespoły mechaniczne, które to, jak w każdej maszynie, należy okresowo poddawać przeglądom technicznym i konserwacji.

Oba te sposoby bywały z różnych powodów zawodne. **Wentylacja naturalna** ze względu na zmienność sił natury (inaczej pracuje latem, inaczej zimą, inaczej w okresie wietrznym, a jeszcze inaczej podczas braku wiatru). W przypadku **wentylacji mecha-**

**nicznej** jakże częsty jest problem hałasu, na który uskarżają się mieszkańcy. Mowa tu o hałasie przepływowym oraz mechanicznym, mogącym nasilać się w miarę eksploatacji.

Niebagatelny jest również poziom zużycia energii elektrycznej zasilającej silniki wentylatorów. Tymczasem normy są nieubłagane i tym lub innym sposobem musimy zapewnić, wymienione poniżej, normatywy higieniczne dla pomieszczeń.

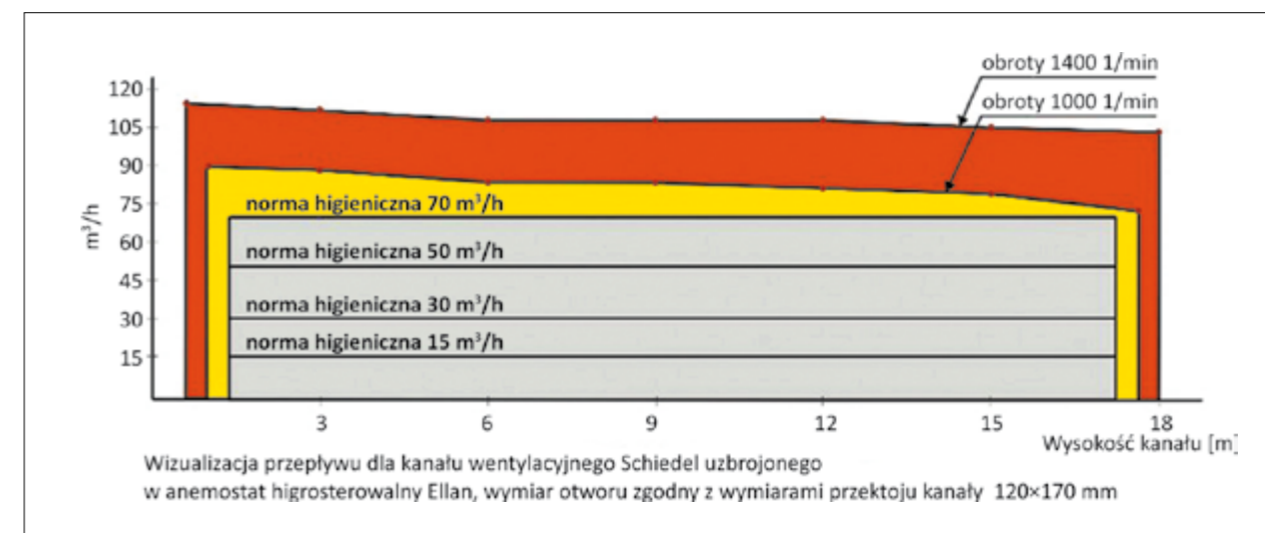
Idealnie byłoby połączyć zalety systemu mechanicznego i grawitacyjnego, eliminując jednocześnie ich cechy charakterystyczne stanowiące o zawodności każdego z nich. **Wykorzystując wentylatory hybrydowe Fenko oraz Mag-200**, przyjrzyjmy się typowym przykładom wentylacji stosowanym w budynkach mieszkalnych.

**Normatywy higieniczne** dla pomieszczeń:

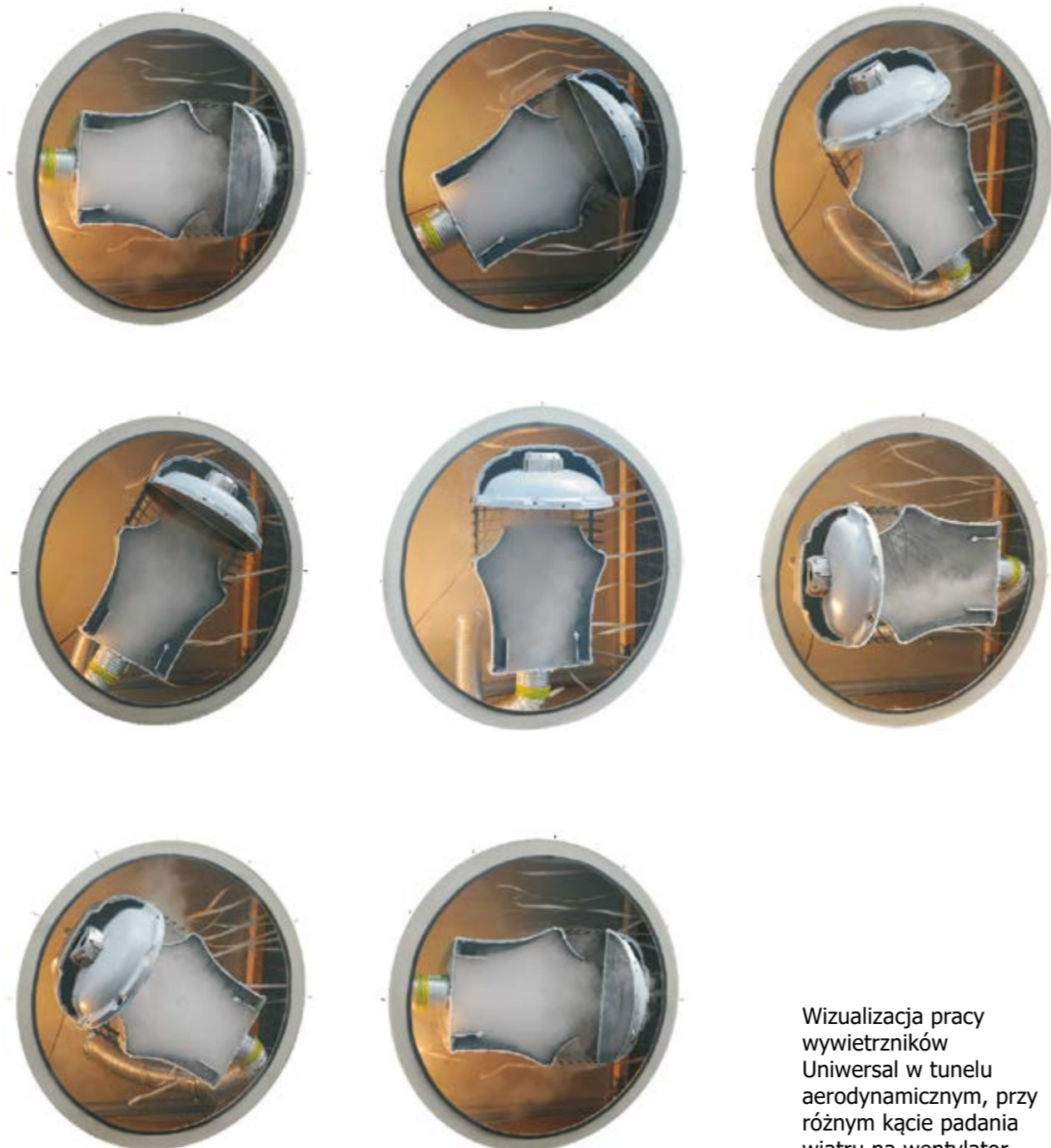
- kuchnia z oknem zewnętrznym, wyposażona w kuchenkę gazową lub węglową – 70 m<sup>3</sup>/h,
- kuchnia z oknem zewnętrznym, wyposażona w kuchenkę elektryczną:
  - w mieszkaniu do 3 osób – 30 m<sup>3</sup>/h,
  - w mieszkaniu dla więcej niż 3 osoby – 50 m<sup>3</sup>/h,
- kuchnia bez okna zewnętrznego, wyposażona w kuchenkę elektryczną – 50 m<sup>3</sup>/h,
- kuchnia bez okna zewnętrznego, wyposażona w kuchenkę gazową, obowiązkowo z mechaniczną wentylacją wywiewną – 70 m<sup>3</sup>/h,
- łazienka z wc lub bez – 50 m<sup>3</sup>/h,
- oddzielny wc – 30 m<sup>3</sup>/h.

### Wentylacja na kanałach indywidualnych

W tym przypadku na zwieńczeniu komina wentylacyjnego stoi **nasada Fenko**, nadzorując niejako i utrzymując poziom normatywu higienicznego. Pomiary wykonano na stoisku rzeczywistym, wybudowanym z pustaka wentylacyjnego Schiedel o wysokości odpowiedniej dla budynku do 6 kondygnacji. Badania przeprowadzono dla różnych kratki wenty-







Wizualizacja pracy wywiewników Uniwersal w tunelu aerodynamicznym, przy różnym kącie padania wiatru na wentylator

lacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem kratki Ellan z wbudowanym w nią systemem automatyki higrosterowalnej.

Wykres pokazuje, że praca hybrydowego wentylatora Fenko potrafi zapewnić poprawną jakość powietrza dla wszystkich analizowanych przypadków, kuchni, łazienek, toalet.

### Wentylacja na kanałach zbiorczych

W tym przypadku zastosowano **wentylatory Mag-200** – jednostkę hybrydową o wydajności większej niż Fenko. Zadaniem wentylatora jest bowiem dokonanie poprawnej

wentylacji zbiorczo dla np. ośmiu kuchni, łazienek czy toalet, spiętych w tak zwane piony wentylacyjne.

### Co otrzymaliśmy?

W przypadku zastosowania **wentylatorów Mag-200/EC** (27-watowy silnik elektronicznie komutowany) uzyskaliśmy normatywy higieniczne pomieszczeń dla budynku o łącznej wysokości do pięciu kondygnacji. Należy dodać, że kanał wentylacyjny wykonany jest z rur metalowych o średnicy 200 mm, jak to często obecnie jest stosowane w szeroko występującym budownictwie TBS.

Maksymalna wydajność **wentylatora Mag-200/EC** wynosi 400 m<sup>3</sup>/h przy spiętrzeniu statycznym wynikającym z charakterystyki przepływowej, w wyniku czego nie można go stosować w budynkach wyższych. Dla budynków ośmiopiętrowych badania wykonano na **wentylatorze Mag-200/AC** (50-watowy silnik asynchroniczny z wirującym stojanem), którego maksymalna wydajność – 800 m<sup>3</sup>/h – daje możliwość jednoczesnego przewietrzania pomieszczeń w analizowanym budynku.

Stosowanie **wentylatorów hybrydowych** w budynkach mieszkalnych daje nam zysk pod postacią niskiego zużycia energii elektrycznej, jego bezszumowej pracy, spełnienia normatywów higienicznych dla pomieszczeń i, co również nie jest bez znaczenia, pozwala nam wykorzystać efekty wentylacji grawitacyjnej, gdy warunki pogodowe są dla jej pracy korzystne.

Symulacja w tunelu aerodynamicznym pokazuje poprawną pracę wentylatora zarówno z wiatrem, jak i bez niego przy różnych kątach jego natarcia. Widać to wyraźnie, gdyż w każdym z analizowanych przypadków dym produkowany w komorze jest przez „hybrydę” zasysany.

Uniwersal Sp z o.o.  
tel. +48 32 203-71-47  
+48 32 757-28-51, fax +48 32 201-87-04  
office@uniwersal.com.pl

## Odzysk ciepła z wentylacji – luksus czy konieczność

*Nowe wymagania dla budynków w zakresie efektywności energetycznej wymagają od projektantów stosowania energooszczędnych rozwiązań ogrzewania, wentylacji, a także chłodzenia. Odzysk ciepła w systemach wentylacji mechanicznej jest obecnie praktycznie niezbędny, a wymagania w tym zakresie będą coraz wyższe.*

Wejście w życie wymagań zawartych w warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [2], wiąże się z obowiązkiem zapewnienia nowego poziomu EP w nowo budowanych obiektach. Według ekspertów, po 2021 r. praktycznie niemożliwie będzie uzyskanie wskaźnika EP na wymaganym poziomie bez zastosowania rekuperacji. W przypadku wielu budynków konieczne będzie wykorzystanie odnawialnych źródeł energii [3]. Zapewnienie odpowiedniego wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną gwarantuje wysoką energooszczędność i relatywnie niskie koszty eksploatacji obiektu. W nowych i docieplanych budynkach z wentylacją grawitacyjną większość strat ciepła związana jest z wentylacją. Najlepszym sposobem ograniczenia niekontrolowanego przepływu powietrza w budynku jest zastosowanie wentylacji mechanicznej lub hybrydowej. W dużych obiektach centrale wentylacyjno-klimatyzacyjne stosowane są już od dawna. W budownictwie mieszkaniowym i jednorodzinym małe centrale wentylacyjne, czyli rekuperatory, wciąż kojarzone są z luksusem, ale w perspektywie wymagań zawartych w WT 2021 staną się standardem. Jednak zastosowanie wentylacji mechanicznej w budynku to nie tylko spełnienie wymagań, ale także dodatkowe korzyści, np. zapewnienie komfortu i czystego powietrza.

Z drugiej strony są także wymagania dotyczące obowiązku stosowania odzysku ciepła zawarte w rozporządzeniu nr 1253/2014 [1] dotyczącym wymogów ekoprojektu dla systemów (urządzeń) wentylacyjnych. Podzielono je na dwa etapy. Pierwszy już obowiązuje (od 1 stycznia 2016), a kolejne wymagania wprowadzone zostaną w 2018 r. Rozporządzenie 1253/2014 jako systemy przeznaczone do stosowania w budownictwie mieszkaniowym klasyfikuje te, w których maksymalna wartość natężenia przepływu wynosi 1000 m<sup>3</sup>/h, natomiast do stosowania w pozostałych obiektach – powyżej 250 m<sup>3</sup>/h [1].

Od 1 stycznia 2016 r. we wszystkich systemach nawiewno-wywiewnych obowiązkowe jest zastosowanie układu do odzysku ciepła. Urządzenie stosowane do wentylacji, tutaj centrala wentylacyjna, powinny być wyposażone w: obudowę, minimum dwa wentylatory z płynną regulacją prędkości obrotowej, odzysk ciepła oraz filtr – bardzo dokładny

na nawiewie i dokładny na wywiewie. Dodatkowo wprowadzono obowiązek stosowania regulacji sprawności wymiennika ciepła poprzez np. zmianę prędkości rotora czy zastosowanie obejścia. Minimalna sprawność odzysku ciepła powinna wynosić 67% (63%, jeśli zastosowano wymiennik z cieczą pośredniczącą). Od 1 stycznia br. obowiązkowe jest też etykietowanie urządzeń przeznaczonych do budynków mieszkalnych z informacją o ich efektywności energetycznej. Podstawą ich zaliczenia do poszczególnych klas energetycznych jest jednostkowe zużycie energii JZE. Rozporządzenie zobowiązuje producentów do podawania szczegółowych informacji dotyczących urządzeń, które są istotne z punktu widzenia eksploatacji. Dla inwestora jest to bardzo korzystne, może bowiem dokonać świadomego wyboru.

### Wentylacja grawitacyjna

Wentylację grawitacyjną trudno kontrolować (patrz s. 4) i nie gwarantuje ona odpowiedniego strumienia powietrza. Tym samym jakość powietrza w budynkach z taką wentylacją jest niska. Inwestycja w rekuperator jest najprostszym rozwiązaniem zapewniającym komfort w dobrze zaizolowanym obiekcie. Spełnienie wymagań zawartych w warunkach technicznych [2] wiąże się także z zapewnieniem wysokiej szczelności budynku. W wentylacji grawitacyjnej powietrze do budynku nawiewane jest m.in. poprzez nieszczelności, ale jest to także istotne źródło strat energii. Zatem żeby poprawić parametry izolacyjności obiektu, buduje się obecnie znacznie szczelniej, ograniczając tym samym infiltrację powietrza. Konieczne jest montowanie specjalnych nawiewników, które zapewniają napływ świeżego powietrza.

Kolejną wadą wentylacji grawitacyjnej jest to, że przy temperaturze od 12°C w górę nie następuje przepływ powietrza do budynku nawiewnikami z powodu zbyt małej różnicy ciśnienia i wentylacja musi się odbywać poprzez otwieranie okien. Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła umożliwia stały napływ świeżego, przefiltrowanego powietrza, bez względu na warunki pogodowe. Rozwiązanie to umożliwia zapewnienie komfortu i jakości powietrza i skuteczne odprowadzenie zysków ciepła i wilgoci z pomieszczeń.

### Instalacja wentylacji

Wykonanie instalacji wentylacji mechanicznej wymaga wykonania projektu, który musi uwzględniać rozmieszczenie elementów nawiewnych i wywiewnych, a także kanałów, centrali (rekuperatora) oraz lokalizację czerpni i wyrzutni. W mniejszych obiektach wykonuje się instalację wywiewną tylko z pomieszczeń sanitarnych, a w większych usuwa powietrze także z dużych przestrzeni. Świeże powietrze doprowadzane jest do pomieszczeń

„czystych”, takich jak pokoje, a poprzez szczeliny w drzwiach dostaje się do łazienek, kuchni czy garderoby. Ilość powietrza nawiewanego i wywiewanego musi się bilansować.

W projekcie koniecznie należy zawrzeć obliczenia hydrauliczne przewodów, a następnie dobrać odpowiednią centralę wentylacyjną. Składa się ona z wymiennika ciepła, wentylatorów, by-passu, filtrów układów przeciwmroźniowego i sterowania. Rekuperator powinien mieć także zaizolowaną obudowę, łatwy dostęp do modułu z filtrami i energooszczędne silniki wentylatorów na prąd stały EC. Na koniec należy dobrać skrzynki rozprężne, przepustnice oraz tłumiki i inny osprzęt. Nie należy zapominać o miejscu na rewizje, ważne, by dostęp do nich był łatwy ze względu na dalszą eksploatację i czyszczenie instalacji. Kupując rekuperator, warto się od razu upewnić, czy można go serwisować na terenie Polski.

### Wykorzystanie GWC

Zimą w okresie ujemnych temperatur oraz latem w czasie upałów funkcjonowanie rekuperatora jest mniej efektywne niż w okresach przejściowych. Gdy temperatura spada, pojawia się problem ochrony przed zamrażaniem wymiennika, rozwiązywany np. przez użycie by-passu i nagrzewnicy elektrycznej. Wiąże się to z dodatkowym zużyciem prądu elektrycznego zwiększającym koszty eksploatacji instalacji wentylacyjnej.

Jednym z rozwiązań umożliwiających poprawę bilansu energetycznego budynku jest zamontowanie gruntowego wymiennika ciepła (GWC). Stała temperatura gruntu, wynosząca 10°C, występuje ok. 7–10 m pod ziemią [4], inne źródła podają nawet 15 m [5], co trzeba uwzględnić w kosztach budowy instalacji. W praktyce wymienniki montuje się znacznie płycej, bo na głębokości 1,5–2 m. Zimą GWC sprawdza się przede wszystkim jako ochrona przeciwmroźniowa rekuperatora. Latem może służyć także do chłodzenia pomieszczeń, wtedy powietrze dociera bezpośrednio do nich z pominięciem rekuperacji.

### Rekuperator z pompą ciepła

Producenci oferują szereg rozwiązań, które pozwalają uzyskać maksymalne oszczędności w trakcie eksploatacji systemu wentylacji. Przykładem może być rekuperator wyposażony w tzw. aktywny odzysk ciepła, czyli zastosowanie dodatkowo pompy ciepła. Podobne rozwiązania stosuje się także w dużych centralach wentylacyjno-klimatyzacyjnych. Nowością jest jednak zastosowanie tego samego schematu działania w małych, kompaktowych centralach (rekuperatorach). Taka centrala zimą może ogrzewać, a latem chłodzić ze względu na odwracalny obieg pompy ciepła. W jednej obudowie zamontowano rekuperator, pompę ciepła oraz zbiornik c.w.u. Wywiewane z pomieszczeń ciepłe powietrze służy jako dolne źródło energii dla pompy ciepła, która może pracować zarówno na potrzeby

ogrzewania powietrza w nagrzewnicy wodnej, jak i podgrzewania wody na cele użytkowe. Niektórzy producenci oferują podobne rozwiązania z dodatkowym wsparciem przez GWC – określane jako kompletne systemy rekuperacji dla niewielkich obiektów. Systemy tego typu pozwalają uzyskać optymalne parametry powietrza przy zminimalizowanym zużyciu energii.

### Jednostki ściennie i dachowe

W pomieszczeniach takich, jak sklepy, markety, hale czy restauracje, czyli o dużej niedzielonej przegrodami przestrzeni, wartym uwagi rozwiązaniem są specjalne rekuperatory dachowe. Lokuje się je w dachu budynku, nie wymagają one montażu elementów nawiewnych oraz kanałów. Mogą być zatem stosowane w budynkach istniejących i modernizowanych. Jedynym warunkiem jest doprowadzenie instalacji elektrycznej do podłączenia wentylatora.

Zaletą tych urządzeń jest ich łatwa instalacja. Rekuperator dachowy działa na podobnej zasadzie jak wentylator kanałowy. Chłodne powietrze zasysane jest do wnętrza urządzenia, przez które równocześnie przepływa strumień ciepłego powietrza, usuwanego z wewnątrz obiektu. Chłodniejsze powietrze ogrzewa się i jest rozprowadzane po obiekcie w wielu kierunkach. Opadając, ogrzewa się ono jeszcze o kolejne kilka stopni Celsjusza, nim dotrze do poziomej podłogi. Na podobnej zasadzie działają także urządzenia montowane w ścianach budynków. Pozwalają dostarczyć świeże powietrze z zewnątrz przy jednoczesnym ograniczeniu hałasu, co miałyby miejsce po otwarciu okna. Dodatkowo powietrze jest przefiltrowane, a w chłodniejszych okresach wstępnie podgrzewane w wymienniku ciepła. Jednostki ściennie mogą być sterowane za pomocą czujników wilgotności względnej czy poziomu stężenia CO<sub>2</sub>.

Wentylacja mechaniczna i odzysk ciepła stają się w budownictwie mieszkaniowym coraz popularniejsze. Także w obiektach przemysłowych oraz magazynach można wykorzystać zużyte powietrze do ogrzania świeżego. Z czasem, m.in. z powodu wymagań zawartych w przepisach dotyczących efektywności energetycznej, wentylacja mechaniczna i odzysk ciepła staną się standardem.

**Katarzyna Rybka**

**Literatura:** <http://www.goo.gl/PP2Vjf>

## Rekuperacja: energooszczędna wentylacja w nowoczesnym domu

Rekuperacja zapewnia stałą, niezależną od warunków zewnętrznych, wymianę powietrza zużytego o dużej zawartości zanieczyszczeń bytowych, takich jak dwutlenek węgla, wilgoć, kurz, na powietrze świeże, czerpane przez system z zewnątrz. Nawiewane do pomieszczeń powietrze jest dodatkowo filtrowane, co ogranicza ekspozycję na kurz oraz zawarte w nim zanieczyszczenia, w tym organiczne, a także chroni przed pyłem zawieszonym ze smogu. Rekuperacja może również oczyszczać powietrze z wirusów, bakterii oraz dodatkowo jonizować nawiewane powietrze.



Rekuperator AERISnext 350 podwieszony pod sufitem



GWC z rekuperatorem AERISnext – montaż pod sufitem

Rekuperacja odzyskuje także energię, dzięki czemu w sezonie grzewczym wydatki na ogrzewanie są znacznie niższe. W wymienniku ciepła w rekuperatorze dochodzi do przekazania energii między dwoma strumieniami powietrza: nawiewanym i wywiewanym, co powoduje, że energia wytworzona przez system grzewczy na ogrzanie pomieszczeń zostaje powtórnie wykorzystana.

Rekuperacja to obecnie najbardziej efektywny sposób na zdrowy i energooszczędny dom.

Więcej o rekuperacji: <https://www.rekuperatory.pl/rekuperacja-korzysci-i-oszczednosci>

Na system rekuperacji składa się rekuperator oraz instalacja z kanałów wentylacyjnych, którymi rozprowadzane jest powietrze w budynku: rekuperacja = rekuperator + kanały do transportu powietrza.

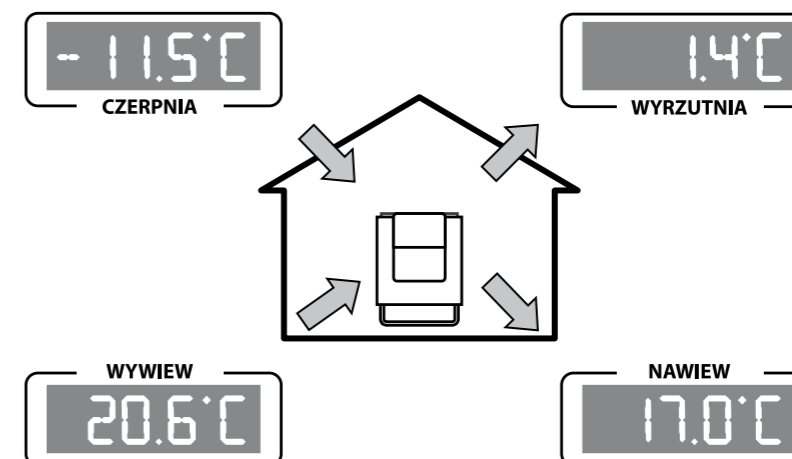
## Jak działa rekuperacja

Ilości powietrza nawiewanego i wywiewanego równoważą się, zapewniając idealny komfort w pomieszczeniach. Właściwie zaprojektowany i wykonany system rekuperacji nie generuje żadnego dźwięku odczuwalnego jako nieprzyjemny, transfer powietrza pomiędzy pomieszczeniami także nie jest wyczuwalny.

Kierunek przepływu powietrza w systemie rekuperacji to: w jedną stronę, z pomieszczeń na zewnątrz (wyrzut zużytego powietrza), w drugą stronę, z zewnątrz do pomiesz-

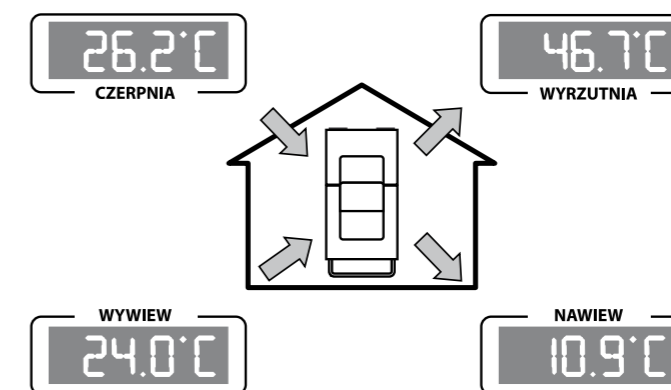
### ZIMA

POMIAR TEMPERATUR SYSTEMU WENTYLACJI MECHANICZNEJ.  
CENTRALA WENTYLACYJNA Z ODZYSKIEM CIEPŁA  
Z WYMIENNIKIEM PRZECIWPŁĄDOWYM



### LATO

POMIAR TEMPERATUR SYSTEMU WENTYLACJI MECHANICZNEJ.  
CENTRALA WENTYLACYJNA Z ODZYSKIEM CIEPŁA  
Z WYMIENNIKIEM PRZECIWPŁĄDOWYM I JEDNOSTKĄ CHŁODZĄCĄ



rzeń (nawiew powietrza świeżego). W wymienniku rekuperatora spotykają się więc dwa strumienie powietrza – wyciąganego z pomieszczeń i nawiewanego do nich. Oba strumienie nie mieszają się ze sobą, a jedynie mijają, oddając sobie energię, co generuje oszczędności.

Za ruch powietrza w rekuperatorze odpowiedzialne są dwa wentylatory umieszczone po obu stronach wymiennika ciepła rekuperatora.

Powietrze zużyte zostaje usunięte z kuchni, łazienek i korytarzy, nawiewane jest zaś do salonu i sypialni. Część pomieszczeń posiada zarówno nawiew, jak i wywiew (np. kuchnia połączona z jadalnią, a także np. suszarnie/pralnie). Część pomieszczeń nie ma ani punktów nawiewnych, ani wywiewnych – anemostatów – są to tzw. pomieszczenia transferowe.

Istotną zaletą systemu wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, czyli rekuperacji, jest możliwość zastosowania filtrów F7 o podwyższonej klasie filtracji. Nawiewane powietrze jest wtedy oczyszczane z 90–95% drobnego pyłu zawieszonego PM10 (głównego składnika smogu), 80–85% zanieczyszczeń PM2,5 oraz 70–75% PM1.

### Odczuwalne korzyści z rekuperacji

Rzeczywistym efektem działania systemu rekuperacji w domu jest to, że przez całą dobę we wszystkich pomieszczeniach znajduje się świeże powietrze o niskiej zawartości dwutlenku węgla i wilgoci, mimo zamkniętych



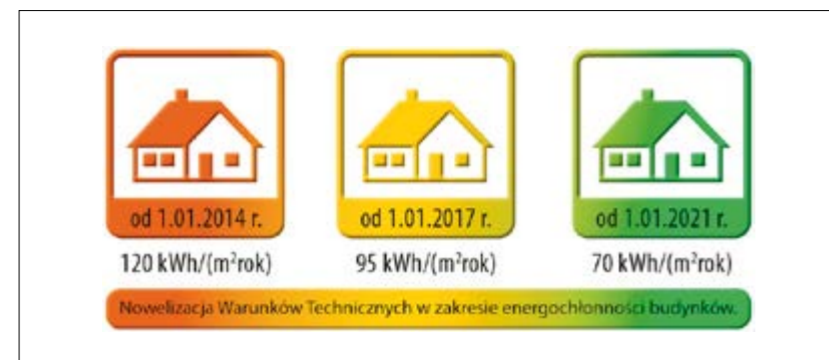
Sterowanie rekuperatorem z poziomu wyświetlacza



Wymiana filtrów w rekuperatorze



Brudny (po lewej) i czysty filtr z rekuperatora



Daty progowe wymagań unijnych dotyczących zapotrzebowania energetycznego budynków

okien, bez względu na porę dnia i roku, a także pomimo obecności ludzi, którzy są największymi producentami dwutlenku węgla oraz wilgoci.

Przebywając w rekuperowanych pomieszczeniach, ten komfort rzeczywiście da się odczuć: jest świeżo i rześko, a niechciane zapachy oraz wilgoć szybko zostają usunięte.

### Technologie budowlane a rekuperacja

Nowoczesne budownictwo to budownictwo przede wszystkim szczelne i ciepłe, skoncentrowane na doborze takich materiałów budowlanych, które ograniczają straty energetyczne budynku do minimum.

Szczelne okna, ciepłe szyby, nowoczesne materiały wznoszeniowe, grube warstwy ocieplenia i doskonale zaizolowane ściany – to wszystko znacznie ogranicza zapotrzebowanie energetyczne budynku, który staje się ciepły i... szczelny. W takim budynku tradycyjna wentylacja grawitacyjna się nie sprawdza, a jej naturalny przepływ ze szczelin w oknach w kierunku kraterki wywiewnych nie działa z uwagi na szczelne okna.

Inwestor ma dwie możliwości: albo pozostawić szczelne okna i zdać się na brak wymiany powietrza, szczególnie w okresie wiosennym i letnim, albo... rozszczelnić ciepłe, energooszczędne okna, by umożliwić dopływ powietrza z zewnątrz, narażając się na straty energii w zimie.

Z tych też powodów rekuperację uznaje się obecnie za najefektywniejszy sposób wentylacji pomieszczeń: skuteczny, całkowicie kontrolowany i generujący oszczędności.

### Rekuperacja a klimatyzacja

Pamiętaj! Klimatyzacja w znakomitej większości przypadków tylko ochładza powietrze w obiegu zamkniętym, nie wymienia go na świeże. Rekuperacja wyrzuca powietrze stare i zużyte, a nawiewa przefiltrowane oraz świeże, zaciągnięte z zewnątrz.

Jeżeli jesteś na etapie projektowania budynku, skonsultuj swój projekt z doradcą ds. rekuperacji. Jeżeli już budujesz, przeczytaj **tutaj**, co warto uwzględnić na swoim etapie budowy.

ROHA GROUP SP. Z O.O.  
54-427 Wrocław, ul. Rudzka 9-11  
tel. 71 352 78 28  
pytania@rekuperatory.pl, www.rekuperatory.pl

**WWW.REKUPERATORY.PL**®

## Konfiguracja centrali wentylacyjnej i źródła ciepła a koszty eksploatacji systemu grzewczo-wentylacyjnego domu jednorodzinnego

W artykule przeanalizowano wpływ przyjętej metody uwzględniania energii do pracy nagrzewnicy w centrali wentylacyjnej na wyniki obliczeń wskaźnika  $EU_{co}$  budynku jednorodzinnego. Przedstawiono skutki ekonomiczne wyboru konfiguracji centrali wentylacyjnej i jej eksploatacji. Zaprezentowano także wpływ zastosowania instalacji fotowoltaicznej na wskaźnik EP oraz koszty eksploatacji systemów grzewczo-wentylacyjnych dla analizowanego budynku.

W artykule opublikowanym w „Rynku Instalacyjnym” 1–2/2016 [6] przedstawiono wyniki analizy zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną nieodnawialną dla przykładowego domu jednorodzinnego dla różnych konfiguracji systemu grzewczo-wentylacyjnego. Zwrócono uwagę na konieczność każdorazowego uważnego zapoznania się z konfiguracją centrali wentylacyjnej przy wykonywaniu obliczeń energetycznych budynków, gdyż pobieżne traktowanie tej instalacji prowadzi do istotnych różnic w uzyskiwanych wynikach.

Obliczenia oparto na wytycznych metody A opisanej w normie PN-EN ISO 13790 [3]. Metoda ta ma zastosowanie w systemach, w których temperatura powietrza nawiewanego nie jest regulowana przez wewnętrzną temperaturę pomieszczeń, zatem elementem decydującym o nakładach energetycznych na uzdatnianie powietrza nie jest chwilowe zapotrzebowanie pomieszczenia na ciepło, lecz nastawa czujnika temperatury umieszczonego w powietrzu nawiewanym. W takiej sytuacji energia dostarczana do centralnego podgrzewania lub schłodzenia powietrza obliczana jest niezależnie, na podstawie przyjętej temperatury powietrza zewnętrznego i zadanej temperatury nawiewu, i nie może być uwzględniana w bilansie zysków i strat pomieszczenia. Pojawia się zatem problem związany z określeniem poziomu analizy, na którym należy uwzględnić energię niezbędną do pracy centralnej chłodnicy czy nagrzewnicy (zarówno wstępnej, jak i wtórnej). Kwestia ta nie jest niestety dokładnie określona w przepisach, co może prowadzić do różnych interpretacji metody obliczeniowej i różnych wyników kalkulacji prowadzonych dla tego samego obiektu.

Analizę przeprowadzono dla obiektu, który został opisany w artykule [6] – domu jednorodzinnego o powierzchni użytkowej 164 m<sup>2</sup>, zlokalizowanego w II strefie klimatycz-

nej okresu zimnego. Budynek charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami w zakresie izolacyjności cieplnej. Strumień powietrza wentylującego wynosi 250 m<sup>3</sup>/h, co zapewnia średnią krotkość wymiany powietrza w całym budynku na poziomie 0,5 h<sup>-1</sup>. Analizowane konfiguracje systemu wentylacji przedstawiono w tabeli 1.

### Wpływ metody obliczeniowej na wartość współczynnika $EU_{co}$

Zastosowanie systemu wentylacji mechanicznej umożliwia realizację odzysku ciepła z powietrza wywiewanego. Ze względu na korzystną zmianę wartości wskaźnika  $EU_{co}$  dla budynku wydaje się to dobrym rozwiązaniem, jednak w rzeczywistości sytuacja nie jest

Nr rozwiązania	Opis
1	Wentylacja naturalna, grawitacyjna
2	Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła ( $\eta_{REK} = 0,85$ ) Elektryczna nagrzewnica wstępna ( $\theta_{WYW,R} = 5^{\circ}C$ ) Elektryczna nagrzewnica wtórna ( $\theta_{NAW} = 16^{\circ}C$ )
3*	Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła ( $\eta_{REK} = 0,85$ ) Elektryczna nagrzewnica wstępna lub by-pass ( $\theta_{WYW,R} = 5^{\circ}C$ ) Elektryczna nagrzewnica wtórna ( $\theta_{NAW} = 20^{\circ}C$ )
4	Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła ( $\eta_{REK} = 0,85$ ) By-pass ( $\theta_{WYW,R} = 5^{\circ}C$ ) Elektryczna nagrzewnica wtórna ( $\theta_{NAW} = 16^{\circ}C$ )
5	Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła ( $\eta_{REK} = 0,85$ ) Elektryczna nagrzewnica wstępna ( $\theta_{WYW,R} = 0^{\circ}C$ ) Elektryczna nagrzewnica wtórna ( $\theta_{NAW} = 16^{\circ}C$ )
6	Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła ( $\eta_{REK} = 0,85$ ) By-pass ( $\theta_{WYW,R} = 0^{\circ}C$ ) Elektryczna nagrzewnica wtórna ( $\theta_{NAW} = 16^{\circ}C$ )

Tabela 1. Analizowane konfiguracje systemu wentylacji

\* W tej konfiguracji zadanych temperatur rozwiązanie z nagrzewnicą wstępną oraz by-passem daje energetycznie te same rezultaty

Oznaczenia:

$\eta_{REK}$  – sprawność temperaturowa wymiennika do odzysku ciepła;  $\theta_{NAW}$  – nastawa temperatury powietrza nawiewanego do pomieszczeń mieszkalnych, za centralą wentylacyjną;  $\theta_{WYW,R}$  – nastawa temperatury wywiewu za rekuperatorem, po stronie powietrza wywiewanego.

Rozwiązanie systemu wentylacyjnego	1	2	3	4	5	6
$Q_{h,nd}$ , kWh/rok	8 900	3 050	2 348	3 206	3 103	3 115
$EU_{co}$ , kWh/(m <sup>2</sup> rok)	54,1	18,6	14,3	19,5	18,9	18,9
$Q_{h,nd}'$ , kWh/rok	0	858	1 835	567	174	138
$EU_{co}'$ , kWh/(m <sup>2</sup> rok)	54,1	23,8	25,4	23,0	19,9	19,8

Tabela 2. Wartość współczynnika  $EU_{co}$  w zależności od konfiguracji centrali i sposobu uwzględnienia efektywności jej pracy

Oznaczenia:

$Q_{h,nd}$  – zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji, bez uwzględnienia energii dostarczanej do nagrzewnic w centrali wentylacyjnej,  $EU_{co} = Q_{h,nd}/A_f$ ;

$Q_{h,nd}'$  – zapotrzebowanie na energię dostarczaną do nagrzewnicy wstępnej i/lub wtórnej w centrali wentylacyjnej,  $EU_{co}' = (Q_{h,nd} + Q_{h,nd}')/A_f$ ;  $A_f$  – ogrzewana powierzchnia budynku.

tak jednoznaczna. Ocenę skutków wprowadzenia takiego systemu wentylacji należy przeprowadzić na podstawie analizy zapotrzebowania na energię końcową oraz pierwotną nieodnawialną, a nie tylko na podstawie wskaźnika  $EU_{co}$ , który nie jest jedynym i najważniejszym wskaźnikiem energochłonności budynku. Przy szczegółowym rozważaniu problemów związanych z obliczaniem współczynnika  $EU_{co}$  dla budynków wyposażonych w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła napotyka się na nieścisłości w podejściu do kwestii energii dostarczanej do centrali wentylacyjnej, co zasygnalizowano we wstępie do artykułu.

Podejście pokazane w artykule [6] umożliwiło uzyskanie wyników oznaczonych w **tabeli 2** jako  $EU_{co}$ . Zakładało ono uwzględnienie w obliczaniu współczynnika  $b_{ve}$  temperatury nawiewu za centralą wentylacyjną, a energię dostarczaną do nagrzewnicy wstępnej i/lub wtórnej centrali wentylacyjnej wliczono dopiero na poziomie energii pomocniczej (końcowej). Podejście takie wydaje się rozsądne ze względu na zasilanie jednej i drugiej nagrzewnicy energią elektryczną. Możliwe jest uwzględnienie energii dostarczanej do nagrzewnic jako energii użytkowej, jednak nie uwzględniając tej części energii w obliczaniu czynnika wykorzystania zysków ciepła. Należy również pamiętać, że ta część energii to w tym przypadku energia elektryczna, a nie energia cieplna dostarczana z głównego źródła ciepła dla budynku, co oczywiście ma znaczenie dla sposobu wyznaczania energii końcowej i przyjmowanych sprawności. Docelowo wartość obliczanego zapotrzebowania na energię końcową oraz samego wskaźnika EP budynku będzie taka sama, ale różne są wskaźniki  $EU_{co}$ , co przedstawiono w **tabeli 2**. Widoczne jest, że wpływ samej konfiguracji centrali na wartość wskaźnika  $EU_{co}$  jest znaczący – pomiędzy najwyższym a najniższym różnica wynosi 32% (względem wartości minimalnej). Wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową, uzyskaną przy uwzględnieniu na tym etapie energii dostarczanej do nagrzewnic, oznaczono jako  $EU_{co}'$ . Zmiana poziomu uwzględnienia energii dostarczanej do nagrzewnicy wstępnej i wtórnej to zmiana wartości  $EU_{co}'$  o 5–77% względem odpowiadającej wartości  $EU_{co}$ .

### Koszt eksploatacji budynku

Do analizy kosztów eksploatacji budynku wybrano kondensacyjny kocioł gazowy, pompę ciepła solanka/woda, pompę ciepła powietrze/woda oraz kocioł opalany biomasą. Sprawności systemów grzewczych oraz zapotrzebowanie na energię elektryczną pomocniczą dla systemów c.o. i c.w.u. określono w oparciu o dane zawarte w rozporządzeniu [1] i przedstawiono w **tabeli 3**. W tabeli tej zestawiono również koszty jednostkowe poszczególnych nośników energii, stanowiące podstawę do obliczenia kosztów ogrzewania.

W **tabeli 4** zestawiono wartości zapotrzebowania na energię pomocniczą niezbędną do pracy systemu wentylacji w różnych konfiguracjach. Na podstawie tych informacji możemy obliczyć, ile będzie kosztowała praca systemu wentylacji mechanicznej – zróżnicowanie wynosi od 372 zł dla rozwiązania nr 6 do 1322 zł dla rozwiązania nr 3. Należy tu jednak pamiętać, że w przyjętej metodzie obliczeń energią pomocniczą jest nie tylko energia związana z pracą wentylatorów, ale także ta, która doprowadzana jest do nagrzewnicy wstępnej i/lub wtórnej. Uwzględniono również energię związaną z systemem zabezpieczenia przed oszranianiem wymiennika do odzysku ciepła. Jak widać, podejście takie pozwala na stosunkowo proste porównanie efektywności energetycznej systemów wentylacji mechanicznej (co nie byłoby możliwe w drugim omawianym podejściu do obliczeń), można jednak stwierdzić, że jednocześnie zaniża ono wartość wskaźnika  $EU_{co}$  budynku. Zastosowana metoda nie pozwala także na kompleksowe porównanie na tym etapie systemu wentylacji naturalnej z pozostałymi rozwiązaniami, gdyż energia konieczna do doprowadzenia do budynku w rozwiązaniu 1 ujęta jest w energii użytkowej, a w pozostałych rozwiązaniach pojawia się dopiero na dalszym etapie obliczeń.

System grzewczy	Sprawność systemu c.o.	Sprawność systemu c.w.u.	Energia pomocnicza*, kWh/rok	Koszty zmienne**, zł/kWh (brutto)	Koszty stałe, zł/m-c (brutto)
Kocioł kondensacyjny	0,98	0,69	710	0,24	13,0
Pompa ciepła solanka/woda	3,92	2,27	710	0,56	10,2
Pompa ciepła powietrze/woda	2,94	1,97	710	0,56	10,2
Kocioł opalany biomasą	0,78	0,57	710	0,19	0,0

**Tabela 3.** Założenia dotyczące sprawności systemów grzewczych oraz kosztów energii

\* bez systemu wentylacji; \*\* bez uwzględniania sprawności systemu.

Nr rozwiązania	Wentylatory	Nagrzewnica wstępna	Nagrzewnica wtórna	Razem
1	–	–	–	–
2	526 kWh/rok (0,24 Wh/m <sup>3</sup> )	858 kWh/rok (0,39 Wh/m <sup>3</sup> )	–	1384 kWh/rok (0,63 Wh/m <sup>3</sup> )
3	526 kWh/rok (0,24 Wh/m <sup>3</sup> )	858 kWh/rok (0,39 Wh/m <sup>3</sup> )	977 kWh/rok (0,44 Wh/m <sup>3</sup> )	2361 kWh/rok (1,07 Wh/m <sup>3</sup> )
4	526 kWh/rok (0,24 Wh/m <sup>3</sup> )	–	567 kWh/rok (0,26 Wh/m <sup>3</sup> )	1096 kWh/rok (0,50 Wh/m <sup>3</sup> )
5	526 kWh/rok (0,24 Wh/m <sup>3</sup> )	174 kWh/rok (0,08 Wh/m <sup>3</sup> )	–	700 kWh/rok (0,32 Wh/m <sup>3</sup> )
6	526 kWh/rok (0,24 Wh/m <sup>3</sup> )	–	138 kWh/rok (0,06 Wh/m <sup>3</sup> )	664 kWh/rok (0,30 Wh/m <sup>3</sup> )

**Tabela 4.** Roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną pomocniczą przez poszczególne systemy wentylacji

Dyskusja dotycząca kosztów pracy systemu wentylacyjnego bez uwzględnienia energochłonności całego budynku i kosztów pracy źródła ciepła nie pozwala na pełną ocenę sytuacji. Dlatego, uwzględniając dane z **tabel 2–4**, obliczono roczne koszty eksploatacji całego systemu grzewczo-wentylacyjnego dla analizowanego domu jednorodzinnego, a wyniki zobrazowano na **rysunku 1**.

Dla analizowanego budynku, w przypadku gdy źródłem ciepła jest kocioł gazowy lub kocioł opalany biomasą, bez względu na to, w jaki sposób skonfigurowany zostanie system wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, osiągnięte zostaną korzyści finansowe w stosunku do systemu opartego na wentylacji naturalnej.

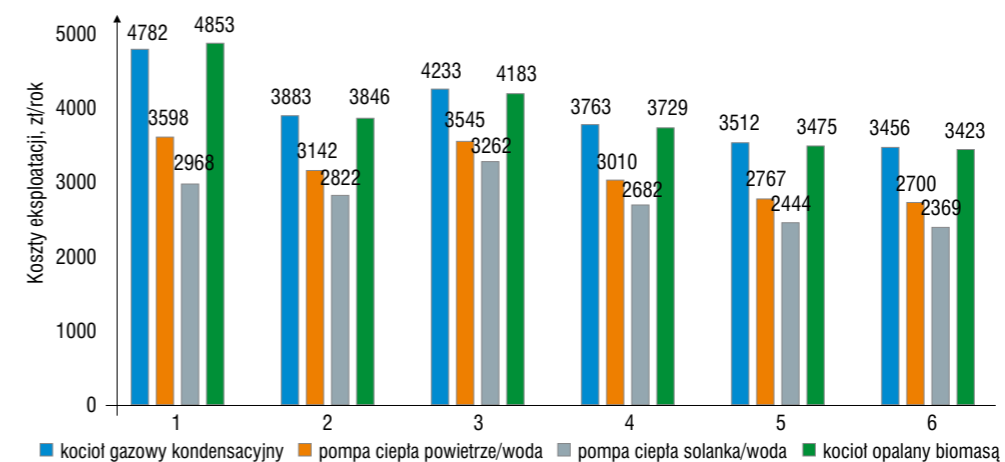
W przypadku kotła gazowego, w stosunku do systemu z wentylacją naturalną (rozwiązanie 1), najkorzystniej skonfigurowany system wentylacji (rozwiązanie 6) obniży koszty eksploatacji o 1326 zł/rok (28%), a najmniej korzystnie skonfigurowany (rozwiązanie 3) obniży koszty o 549 zł/rok (11%). Przełoży się to oczywiście na okres zwrotu inwestycji, który w przypadku rozwiązania 3 znacząco się wydłuży i prawdopodobnie znacznie przekroczy 20 lat.

W przypadku kotła opalanego biomasą, inwestując w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła, dla analizowanego budynku możemy uzyskać oszczędności w zakresie od 670 zł/rok (14%) dla rozwiązania 3 do 1430 zł/rok (29%) dla rozwiązania 6 w odniesieniu do systemu z wentylacją naturalną (rozwiązanie 1).

Gdy planowanym źródłem ciepła dla budynku jest pompa ciepła („gruntowa” lub „powietrzna”), wykonanie systemu wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, który pozwoli na obniżenie kosztów eksploatacji, jest dużo trudniejsze. Rozwiązanie 3 (system z elektryczną nagrzewnicą wtórną utrzymującą na nawiewie 20°C), w porównaniu z systemem wentylacji naturalnej, prawdopodobnie zwiększy koszty eksploatacji budynku o 294 zł/rok dla pompy gruntowej i prawie nie przyniesie zmian w przypadku pompy powietrznej.

Dla rozwiązania z pompą ciepła solanka/woda pozytywne efekty ekonomiczne uzyskuje się, gdy nastawa temperatury nawiewu dla nagrzewnicy wtórnej ograniczona zostanie do 16°C. W takim przypadku:

- dla centrali z mniej efektywnym energetycznie zabezpieczeniem przeciwzamrozeniowym (w obliczeniach założono  $\theta_{wyw,R} = 5^{\circ}\text{C}$ ) dla układu zabezpieczanego przez nagrzewnicę wstępną (rozwiązanie 2) uzyskujemy oszczędności 146 zł/rok (5%), a dla układu z by-passem (rozwiązanie 4) 286 zł/rok (10%);
- dla centrali z bardziej efektywnym energetycznie zabezpieczeniem przeciwzamrozeniowym (w obliczeniach założono  $\theta_{wyw,R} = 0^{\circ}\text{C}$ ) dla układu zabezpieczanego przez na-



**Rys. 1.** Koszty eksploatacji systemu grzewczego w zł/rok dla przykładowego domu jednorodzinnego zlokalizowanego we Wrocławiu

grzewnicę wstępną (rozwiązanie 5) uzyskuje się oszczędności 524 zł/rok (17%), a dla układu z by-passem (rozwiązanie 6) 599 zł/rok (20%).

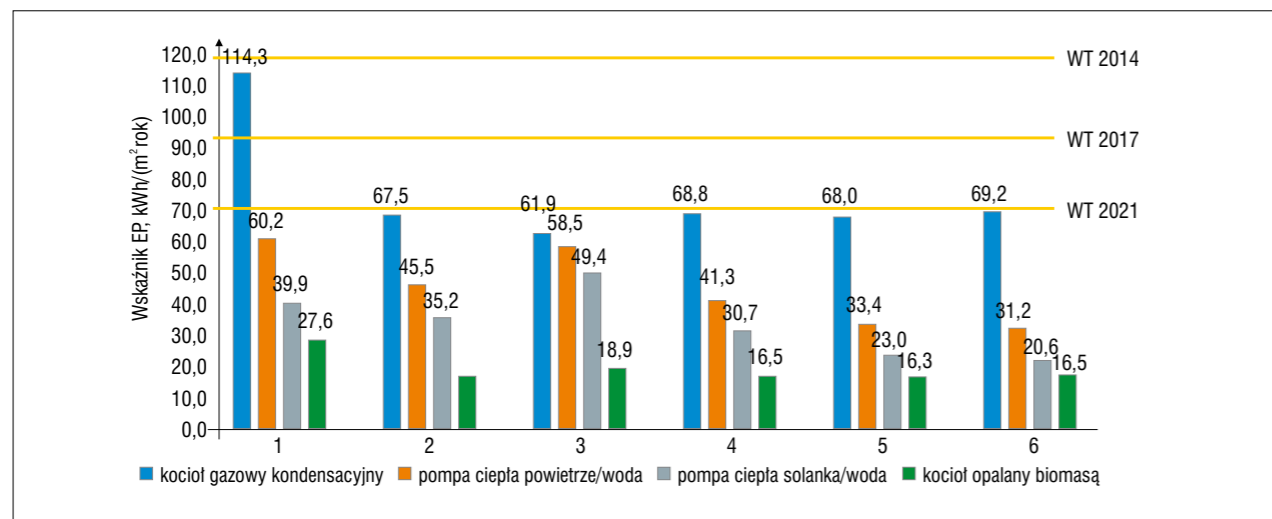
Dla rozwiązania z pompą ciepła powietrze/woda pozytywne efekty ekonomiczne uzyskuje się, gdy nastawa temperatury nawiewu dla nagrzewnicy wtórnej zostanie ograniczona do 16°C. W takim przypadku oszczędności mogą mieścić się w zakresie od 456 zł (13%) dla rozwiązania 3 do 898 zł (25%) dla rozwiązania 6.

Wyniki wszystkich analiz zaprezentowano na **rysunku 1**. Widoczne jest znaczne zróżnicowanie kosztów eksploatacji w zależności od konfiguracji systemu grzewczego i wentylacyjnego. Kwestie opłacalności inwestycji są szczególnie skomplikowane w przypadku pomp ciepła, gdyż wprowadzenie odzysku ciepła umożliwia zakup urządzenia grzewczego mniejszej mocy. Jest to główne uzasadnienie, na poziomie kosztów inwestycyjnych, montażu wentylacji z odzyskiem ciepła. Należy zauważyć jednak, że system wentylacji mechanicznej nie oznacza obniżenia kosztów eksploatacji w takim stopniu, w jakim oddziałuje on na wskaźnik  $EU_{co}$ , czyli o ponad 50%. W zależności od konfiguracji systemu dla analizowanego budynku koszty te spadną o ok. 30–40%, przy pominięciu wpływu c.w.u. w kosztach eksploatacji, w przypadku stosowania central z efektywnym energetycznie systemem odszraniania i rezygnacji z wykorzystania pełnych możliwości nagrzewnicy wtórnej (nastawa temperatury nawiewu 20°C). Jeżeli zastosowany zostanie mniej efektywny system zabezpieczający wymiennik przed zamrażaniem lub gdy nagrzewnica wtórna eksploatowana będzie z nastawą 20°C, wtedy w związku z montażem wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, pomimo znacznego spadku wskaźnika  $EU_{co}$  budynku, koszty mogą się obniżyć o ok. 20% (w przypadku kotła gazowego lub opalanego biomasą) lub prawie nie ulegną zmianie (w przypadku pomp ciepła).



## Wpływ PV na wskaźnik EP oraz koszty eksploatacji

W artykule [6] wyliczono wartości wskaźnika EP dla różnych konfiguracji systemu grzewczo-wentylacyjnego analizowanego budynku. Pomimo wysokiej izolacyjności cieplnej budynek wyposażony w wentylację naturalną i zasilany z kotła gazowego kondensacyjnego nie spełniał kryterium wymaganego przez obecnie obowiązujące przepisy WT 2014 [5], czyli wskaźnik EP mniejszy od 120 kWh/(m<sup>2</sup> rok). Tylko część konfiguracji (wszystkie dla kotła opalanego biomasą, rozwiązanie nr 1, 2, 4, 5, 6 dla pompy ciepła solanka/woda, rozwiązanie nr 4, 5 i 6 dla pompy ciepła powietrze/woda i rozwiązanie nr 5 i 6 dla kondensacyjnego kotła gazowego) spełniała wymagania WT 2017 [5], czyli EP mniejsze od 95 kWh/(m<sup>2</sup> rok). Jedynie układy z kotłem opalonym biomasą zapewniały spełnienie przez obiekt wytycznych WT 2021 [5], czyli EP mniejszego od 70 kWh/(m<sup>2</sup> rok). W związku z tym ważnym kierunkiem rozwoju systemów instalacji budynkowych staje się dołączanie do pakietu standardowo stosowanych w domach jednorodzinnych rozwiązań ogniw fotowoltaicznych (PV), co pozwoli wykonywać je w standardzie budynku blisko zeroenergetycznego. **Rysunek 2** obrazuje wpływ montażu ogniw PV o mocy 3 kWp, czyli o powierzchni około 20 m<sup>2</sup>, na wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną nieodnawialną. Uwzględnienie produkowanej przez ogniwa PV energii elektrycznej w bilansie energetycznym budynku powoduje znaczące zredukowanie wskaźnika EP. Proponowana powierzchnia ogniw PV jedynie w przypadku budynku wyposażonego w wentylację naturalną i zasilanego z kotła gazowego kondensacyjnego nie przynosi korekty wskaźnika poniżej wartości 70 kWh/(m<sup>2</sup> rok). Wynika to z braku podstawy prawnej umożliwiającej zbilansowanie poboru gazu poprzez produkcję energii elektrycznej. W pozostałych przypadkach zapotrzebowanie na energię elektryczną do pracy pomp ciepła lub systemu



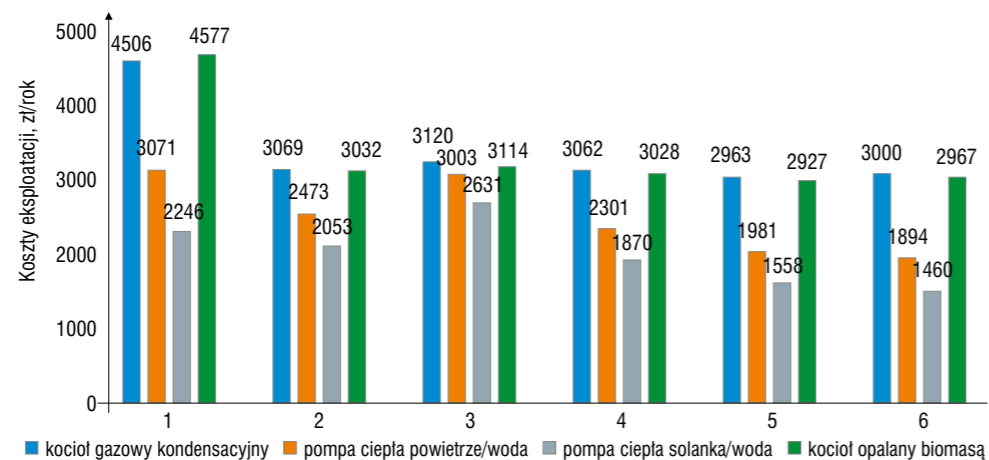
**Rys. 2.** Wartość wskaźnika EP [kWh/(m<sup>2</sup> rok)] dla analizowanego budynku i różnych konfiguracji systemu grzewczo-wentylacyjnego przy uwzględnieniu dostawy energii elektrycznej z ogniw PV o mocy 3 kWp

wentylacji mechanicznej zbilansowane zostaje przez energię wytworzoną w ogniwach PV i efekt jest bardzo korzystny. Oczywiście nadal widoczne są różnice pomiędzy poszczególnymi konfiguracjami systemu grzewczo-wentylacyjnego, jednak wszystkie proponowane rozwiązania spełniają wymagania stawiane domom jednorodzinnych przez WT 2021 [5].

Z punktu widzenia inwestora wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną nieodnawialną ma jednak prawdopodobnie mniejsze znaczenie niż koszty eksploatacji budynku. Od dość długiego czasu oczekiwane jest w naszym kraju wprowadzenie wsparcia umożliwiającego rozwój energetyki prosumenckiej związanej z ogniwami PV. Szczególne znaczenie ma to z punktu widzenia właścicieli domów jednorodzinnych, którzy dzięki produkcji energii elektrycznej w indywidualnych instalacjach mogliby znacząco obniżyć energochłonność swoich budynków (w rozumieniu zmniejszenia zapotrzebowania na energię pierwotną nieodnawialną), ale przede wszystkim obniżyć koszty eksploatacji. Aktualny stan prawny w zakresie rozliczania indywidualnych systemów PV budzi wiele wątpliwości i dyskusji. W analizach przyjęto, że budynek rozliczany będzie zgodnie z obowiązującym od 31 grudnia 2015 r. systemem net-metering, który w Polsce sprowadza się do bilansowania energii elektrycznej pobieranej i produkowanej w cyklach półrocznych.

Z ważnych informacji – należy zauważyć, że prosument w Polsce ma prawo zbilansować energię czynną, a koszty dystrybucji energii elektrycznej pobranej z sieci musi ponieść bez względu na to, czy w późniejszym okresie odda wyprodukowaną przez siebie energię do sieci. W takiej sytuacji najlepszym rozwiązaniem byłoby wykorzystywanie jak największej ilości produkowanej energii bezpośrednio po wytworzeniu, unikając opłat przesyłowych. Ze względu na dużą niekoherentność dostawy energii elektrycznej z systemów PV względem zapotrzebowania na energię elektryczną w domu jednorodzinym należy się jednak liczyć z tym, że udział tzw. bezpośredniego wykorzystania nie będzie wysoki. Na potrzeby analizy przyjęto, że będzie to 25%.

Wszystkie te założenia znacząco upraszczają analizę, czego konsekwencją jest fakt, że dokładność oszacowania kosztów eksploatacji systemu grzewczego zasilanego z układu PV nie jest wysoka. Dodatkowo należy pamiętać, że energia elektryczna w domu jednorodzinym zużywana jest również na inne cele niż ogrzewanie i przygotowanie c.w.u., tzn. oświetlenie, urządzenia RTV i AGD, gotowanie. W przybliżeniu jest to ok. 3000 kWh/rok energii elektrycznej, którą również można próbować ująć w kosztach eksploatacji. Jest to szczególnie istotne w przypadku układów z kotłem opalonym biomasą i z kotłem gazowym, które nie generują na tyle dużego zapotrzebowania na energię elektryczną pomocniczą, żeby rozdysponować całość energii produkowanej w systemie PV o mocy 3 kW. W praktyce można byłoby więc uwzględnić, że co prawda koszty eksploatacji systemu grzewczego są wyższe, ale pozostaje nadmiar darmowej energii elektrycznej (ok. 2000 kWh/rok),



**Rys. 3.** Koszty eksploatacji systemu grzewczego [zł/rok] dla różnych konfiguracji systemu grzewczo-wentylacyjnego przy uwzględnieniu dostawy energii elektrycznej z ogniw PV o mocy 3 kWp

który finalnie obniży koszty utrzymania całego domu jednorodzinnego. Wyniki obliczeń kosztów eksploatacji analizowanych systemów grzewczych, przy uwzględnieniu dostawy energii elektrycznej z ogniw PV, przedstawiono na **rysunku 3**.

### Podsumowanie

Przeprowadzona analiza miała na celu wykazanie, jak wrażliwe na sposób eksploatacji są wskaźniki ekonomiczne i energetyczne. W zależności od tego, w jaki sposób eksploatujemy centralę wentylacyjną i jakie jest źródło ciepła dla budynku, wentylacja mechaniczna może się okazać inwestycją korzystną finansowo lub nie. Nieprzemysłane sterowanie pracą układu może całkowicie zniweczyć założenia dotyczące ekonomiczności inwestycji: przy efektywnie skonfigurowanym systemie grzewczo-wentylacyjnym osiągnięto obniżenie kosztów eksploatacji budynku o 30%, natomiast w najmniej korzystnym przypadku koszty wzrosły o 10%.

**Na co należy zwrócić uwagę, wybierając system wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła dla domu jednorodzinnego?**

1. **Cena dobieranego rekuperatora.** Ze względu na czas zwrotu systemu wentylacji mechanicznej bardzo ważne jest dobieranie stosunkowo tanich rozwiązań. Dostępne na rynku centrale wentylacyjne z odzyskiem ciepła to koszt od ok. 5000 do 10 000 zł. Należy pamiętać o cenie kanałów i innych elementów systemu (kratki wywiewne, nawiewniki, przepustnice, czerpnia, wyrzutnia). Sumaryczny koszt wykonania systemu może się więc wahać od ok. 10 000 do 20 000 zł (dla większych domów). Koszt ten należy zestawić z potencjalnymi oszczędnościami, różnymi dla różnych konfiguracji centrali i co ważne źródła ciepła, oraz z ewentualnym obniżeniem kosztów inwestycyjnych zakupu źródła ciepła (szczególnie istotne w przypadku pomp ciepła).

2. **Zależność sprawności odzysku ciepła od strumienia powietrza wentylującego.** Wysoka sprawność odzysku ciepła z powietrza wywiewanego jest podstawową kwestią wpływającą na koszty eksploatacyjne systemu grzewczo-wentylacyjnego. W katalogu centrali wentylacyjnej powinna być możliwość odczytania sprawności dla projektowanego strumienia powietrza przy jego zrównoważonym przepływie (strumienie powietrza nawiewanego i wywiewanego są sobie równe). W katalogach znaleźć można niekiedy sprawności podane dla różnych strumieni, co wynika z przepisów dotyczących procedury badania wymienników do odzysku ciepła. W niektórych przypadkach może to prowadzić do zawyżenia ich osiągnięć w stosunku do warunków rzeczywistości występujących w budownictwie jednorodzinym.

3. **Zależność mocy wentylatora od tłoczonego strumienia oraz oporów przepływu w instalacji.** Moc wentylatora jest ściśle związana z jego wydajnością i oporami przepływu w całej instalacji – dla analizy zużycia energii elektrycznej bardzo ważny jest prawidłowy odczyt mocy wentylatorów centrali z jej karty doboru.

4. **Sposób rozwiązania zabezpieczenia wymiennika do odzysku ciepła przed zamrożeniem oraz dogrzewu powietrza nawiewanego.** Niestety wraz ze wzrostem sprawności odzysku ciepła w centrali wentylacyjnej wzrasta ryzyko zamrażania wymiennika. Konieczne jest zapoznanie się ze sposobem jego zabezpieczenia, gdyż w wielu przypadkach działanie systemu przeciwzamrożeniowego może generować wysokie koszty eksploatacyjne, co było już poruszane w innych publikacjach [7, 8, 9]. Niższa sprawność odzysku ciepła to z kolei niższa temperatura powietrza nawiewanego i konieczność jego dogrzewania. Ważne jest zoptymalizowanie planowanego rozwiązania, gdyż ma ono znaczący wpływ na kwestie finansowe (koszty eksploatacji), ale również na wysokość wskaźnika EP budynku.

**dr inż. Maria Kostka**

**dr inż. Małgorzata Szlugowska-Zgrzywa**

**Literatura:** <http://www.goo.gl/nkqVrJ>

## Usprawnianie wentylacji – wentylacja naturalna, zdecentralizowana i mechaniczna

Przy planowaniu nowej inwestycji, bez względu na to, czy jest to dom mieszkalny z rynku pierwotnego lub wtórnego, czy też obiekt biurowy lub przemysłowy, czy jesteśmy deweloperem, czy też inwestorem, warto pamiętać, że znaczącym elementem każdego obiektu, wpływającym na komfort jego użytkowników, jest wentylacja. To aspekt, o którym niestety bardzo często się zapomina. A rozwiązań na rynku jest mnóstwo.

### Porównanie dostępnych rozwiązań

#### Wentylacja grawitacyjna

Zazwyczaj, decydując się na zakup inwestycji z rynku wtórnego (w szczególności w przypadku budownictwa mieszkalnego) pozostawieni jesteśmy z istniejącą instalacją wentylacji. Jest to najczęściej wentylacja naturalna, czyli inaczej grawitacyjna. Rozwiązanie to stosowane było przez wiele lat – wszyscy znamy kratki wentylacyjne w łazience i kuchni, ale również nie obce są nam zaparowane szyby czy lustra. Wszystko jest spowodowane tym, iż wentylacja grawitacyjna oraz sprawność jej działania rzadko idą w parze.



Wentylacja grawitacyjna, aby działała skutecznie, wymaga bowiem konkretnych warunków atmosferycznych – odpowiedniej temperatury zewnętrznej i wewnętrznej. Jeśli różnica temperatur nie będzie wystarczająca, nie wytworzy się odpowiedni ciąg kominowy, co z kolei sprawi, że wentylacja grawitacyjna będzie nieskuteczna, a w krytycznych przypadkach może nawet działać „odwrotnie”, niż powinna, to jest zamiast wyciągać powietrze kratkami zacznie nawiewać nieczyste powietrze do pomieszczeń.

#### Wentylacja mechaniczna

Ze względu na powyższe od pewnego czasu przepisy polskiego prawa (Warunki Techniczne oraz Polskie Normy) wymagają, aby we właściwie wszystkich rodzajach obiektów stosować wentylację mechaniczną. Wymuszenie przepływu powietrza poprzez wentylatory niweluje niebezpieczny efekt, podczas którego wentylacja grawitacyjna jest nieskuteczna. Wymiana powietrza w pomieszczeniach odbywa się tak długo, jak długo pracują wentylatory. To natomiast wymusza stosowanie filtrów, nagrzewnic powietrza itp. Dlatego kolejne zmiany w przepisach powodują, iż nie wystarczy już jedynie stosowanie wentylacji mechanicznej – coraz wyższe wymagania mają kwestie energooszczędności. Zmniejsza się ilość powietrza, przy której wymagany jest już odzysk ciepła, co ogranicza nakłady konieczne do zapewnienia odpowiednich parametrów pracy. Urządzenia stają się coraz większe, wymagają więc coraz więcej przestrzeni zarówno na zastosowanie układów rekuperacji, jak i zmieszczenie ich w wentylatorowni.

#### Wentylacja centralna

W myśl przepisów oczywiście nie mamy pozostawionego zbytniego wyboru – wentylacja mechaniczna to konieczność, niezbędne jest zatem uwzględnienie jej już na etapie projektowania czy nawet koncepcji. Tylko wtedy mamy do czynienia z wystarczająco dużą wentylatorownią, mamy również przygotowaną przestrzeń konieczną do prowadzenia kanałów.

Na rynku istnieje szereg producentów wyspecjalizowanych w produkcji central wentylacyjnych. Znaleźć można centrale wentylacyjne wyposażone w różnego rodzaju wentylatory (coraz rzadziej AC, popularne EC czy też rozwiązanie najnowsze – wentylatory PM).

#### Wiarygodność



Ich coraz wyższa sprawność pomaga w uzyskaniu wystarczających parametrów pracy, na przykład ze względu na zastrzoną od 2018 r. dyrektywę Ekoprojekt (ErP 2018). Oprócz tego zmienia się sprawność wymienników ciepła tak, aby przy jak najmniejszym wymiarze ogólnym centrali, uzyskać jak najwyższą sprawność odzysku ciepła, czyli mniejsze koszty konieczne do dogrzania czy dochłodzenia pomieszczeń.

Więcej uwagi przykładą się również do kwestii zintegrowanej automatyki. Coraz więcej producentów proponuje automatykę fabryczną, dedykowaną do swoich central. Urządzenia wysokiej klasy, jak na przykład Komfovent, od wielu lat rozwijają tę część urządzenia. Dzięki temu system sterowania jest zoptymalizowany do pracy z danym urządzeniem, a Inwestor oszczędza czas na montaż urządzenia oraz pieniądze związane z koniecznością uruchomienia automatyki projektowanej „na bieżąco”.

Kolejnym aspektem, który warto mieć na uwadze, są wymiary kanałów wentylacyjnych. Z jednej strony warto na wczesnym etapie rozpocząć współpracę z architektem i projektantem instalacji, aby zostały przygotowane zarówno odpowiedniej wielkości szachty wentylacyjne, jak również zastosowane kanały o odpowiedniej średnicy czy przekroju. Pierwszy aspekt nie wymaga głębszej analizy – brak szachtów właściwie uniemożliwia odpowiednie rozprowadzenie instalacji wentylacji. Druga kwestia, czyli przekrój kanałów, bezpośrednio wpływa na prędkość powietrza, a także, co za tym, idzie zużycie energii elektrycznej oraz – co nawet ważniejsze – niższy hałas instalacji.

Należy mieć też na uwadze, że w przypadku centralnej wentylacji mechanicznej podczas jakiegokolwiek awarii, wentylacja zatrzymana jest w całym budynku.

### Instalacja zdecentralizowana

Jaka wobec tego jest różnica między wentylacją centralną a zdecentralizowaną? W przypadku tej drugiej chodzi po prostu o kilka urządzeń zamiast jednego. Na pierwszy rzut oka rozwiązanie to mnoży problemy, o których mowa powyżej. Jednak po głębszej analizie okazuje się, że zastosowanie kilku czy nawet kilkunastu mniejszych urządzeń pozwala na bardziej elastyczne podejście do konkretnego zagadnienia.

Po pierwsze – kwestia wielkości urządzenia. Zamiast projektowania osobnego pomieszczenia, z którego Inwestor nie będzie miał żadnych zysków, urządzenia schowane są w dogodnym, aktualnie dostępnym miejscu. To sprawia, że nie ma konieczności wygospodarowania w efekcie nieużywanej przestrzeni. Centrale wentylacyjne można zarówno schować w przestrzeni stropu (centrale podwieszane), jak i użyć kilkunastu małych central, które zmieszczą się w szatni, garderobie, kuchni, schowku czy dowolnym miejscu, w którym aktualnie jest nieco więcej przestrzeni. Rozdział kosztów nie jest wówczas tak dotkliwy dla Inwestora, jak w przypadku wentylacji centralnej.



Po drugie – otrzymujemy bardziej precyzyjną kontrolę bieżących warunków komfortu poszczególnych użytkowników obiektu. W tym przypadku każdy użytkownik centrali wentylacyjnej może nastawić własne parametry zarówno ilości powietrza, jak i jego temperatury. To w oczywisty sposób wpływa na wydajność pracy w przypadku obiektów biurowych czy użyteczności publicznej, ale jeszcze większe znaczenie ma, gdy mowa o budownictwie mieszkaniowym. Nie bez znaczenia jest też fakt, że w takim rozwiązaniu za-

stosowanie harmonogramu tygodniowego, który jest standardowym rozwiązaniem dla central wentylacyjnych Komfovent, może być indywidualne dla każdego użytkownika. To z kolei daje możliwość obniżenia kosztów użytkowania wentylacji mechanicznej na obiekcie od kilkunastu do kilkadziesiąt procent.

Po trzecie – wspomniano o ewentualnej awarii. Mowa jest o urządzeniach mechanicznych, wobec tego awarie są nieuniknione. W przypadku wentylacji zdecentralizowanej jakkolwiek awaria powoduje oczywiście dyskomfort, jednak jedynie u poszczególnych użytkowników wentylacji, nie pozbawia natomiast tej instalacji całego budynku. W perspektywie czasu i kosztów użytkowania centrali wentylacyjnej jest to zdecydowanie wartość dodana. Nie trzeba nawet wspominać o oszczędnościach, które zyskują monterzy instalacji wentylacji niejednokrotnie biorący na swoje barki koszty serwisowania urządzeń.

Przykładem takich inwestycji mogą być osiedle Halszki oraz Augustiańska Residence – oba w Krakowie, a także Świętokrzyski Urząd Wojewódzki w Kielcach. Dzięki zastosowaniu kilkunastu central wentylacyjnych (po jednym urządzeniu na mieszkanie lub lokal użytkowy) otrzymano zalety, o których mowa powyżej, a także ograniczono problemy z bieżącą eksploatacją wentylacji – ciągle mechanicznej – w dodatku zdecentralizowanej.

## Podsumowanie

Do każdego obiektu należy podejść indywidualnie. Nieoceniona jest współpraca z architektami oraz projektantami. Z jednej strony zdobywamy pewność, że wentylacja zaprojektowana jest w sposób umożliwiający jej prawidłowe poprowadzenie, z drugiej możliwe jest zaproponowanie rozwiązań optymalizujących koszty użytkowania niezbędnej wentylacji zarówno po stronie Inwestora, jak i użytkownika końcowego.

Warto mieć na uwadze kilka elementów kluczowych:

- automatyka zintegrowana, jak w przypadku central Komfovent, jest zawsze bardziej korzystna niż brak automatyki – szczególnie biorąc pod uwagę ogólne koszty użytkowania i montażu urządzeń,
- warto mieć na uwadze, iż sprawność odzysku ciepła zmniejsza koszty użytkowania urządzenia,
- istotne jest, aby analizować ogólne koszty montażu i użytkowania centrali lub central wentylacyjnych, a nie tylko cenę zakupu urządzenia. Pozorne oszczędności na początkowym etapie zwiększają koszty w późniejszych stadiach,
- warto jest analizować dokładne karty doborowe urządzeń – wartości wybiegające „ponad skalę” powinny od razu wzbudzić naszą czujność. Niestety, w myśl powiedzenia, że „papier przyjmie wszystko”, dobrze wiedzieć, co naprawdę się kupuje.

VENTIA SP. Z O.O.  
02-234 Warszawa, ul. Działkowa 121A  
tel. 22 841 11 65  
info@ventia.pl, www.ventia.pl

**ventia**<sup>®</sup>

## Centrale wentylacyjne Komfovent DOMEKT

komfovent<sup>®</sup>

Zaawansowana technika wentylacji domów i mieszkań w przystępnej cenie



Wydajność od 50 do 1000 m<sup>3</sup>/h



### Wiarygodność



### Szeroka oferta urządzeń



**Domekt R**  
Centrale wentylacyjne z obrotowym wymiennikiem ciepła.  
24 warianty urządzeń



**Domekt CF**  
Centrale wentylacyjne z wymiennikiem przeciwprądowym.  
13 wariantów urządzeń



**Domekt P**  
Centrale wentylacyjne z wymiennikiem krzyżowym.  
16 wariantów urządzeń

### Twoje korzyści



**Projektanci**  
Zgodność z normami.  
Certyfikowana jakość.  
Programy doboru.  
Katalogi techniczne.



**Instalator**  
Łatwy montaż.  
Automatyka Plug&Play.  
Konkurencyjne ceny.  
Dostępne z magazynu.



**Inwestor**  
Energoszczędność.  
Inteligentna automatyka.  
Serwis gwarancyjny i pogwarancyjny.

ventia<sup>®</sup>

Wyłączny przedstawiciel na terenie Polski

info@ventia.pl

(22) 841 11 65

www.ventia.pl

## Integracja systemów wentylacyjnych i grzewczo-chłodzących dla budynków pasywnych jednorodzinnych

W celu optymalizacji procesu projektowania budynków energooszczędnych, pasywnych i zeroenergetycznych warto już w fazie koncepcji przeprowadzić wielopoziomową analizę wyboru rozwiązania oraz niezbędne symulacje. Wskazane jest współdziałanie projektanta instalacji z architektem w celu przygotowania propozycji działania układu oraz przeanalizowania jego możliwości technicznych. Przy wyborze rozwiązań priorytetem są pożądane parametry komfortu klimatycznego środowiska wewnętrznego przy jednoczesnym dążeniu do minimalizacji zużycia energii pierwotnej, a następnie względy ekonomiczne.

Nowo powstające budynki mieszkalne powinny być projektowane w taki sposób, by zaspokoić równocześnie wiele kryteriów, dotyczących m.in. zużycia energii, efektywności energetycznej czy zapewnienia optymalnych warunków komfortu klimatycznego środowiska wewnętrznego. Spełnienie powyższych wymagań można osiągnąć poprzez projektowanie obiektów zgodnie ze standardem budownictwa pasywnego, cechującego się wartością wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową (Eu) do celów ogrzewania i wentylacji wynoszącą nie więcej niż 15 kWh na m<sup>2</sup> rocznie, która jest jednym z czterech głównych kryteriów (tabela 1) wymaganych dla procesu certyfikacji obiektu przez Passive House Institute (PHI) [1, 2, 3].

Każdy budynek pasywny powinien cechować się m.in.:

- wysoką izolacyjnością cieplną przegród zewnętrznych:  $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,
- minimalizacją wpływu liniowych mostków termicznych ( $\leq 0,01 \text{ W}/\text{mK}$ ),
- zaizolowaną stolarką okienną ( $U \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ), o dobrym wskaźniku całkowitej przepuszczalności energii słonecznej ( $g_n \approx 0,5$ ),
- instalacją wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła o sprawności temperaturowej  $\eta_{\text{temp}} \geq 75 \%$ .

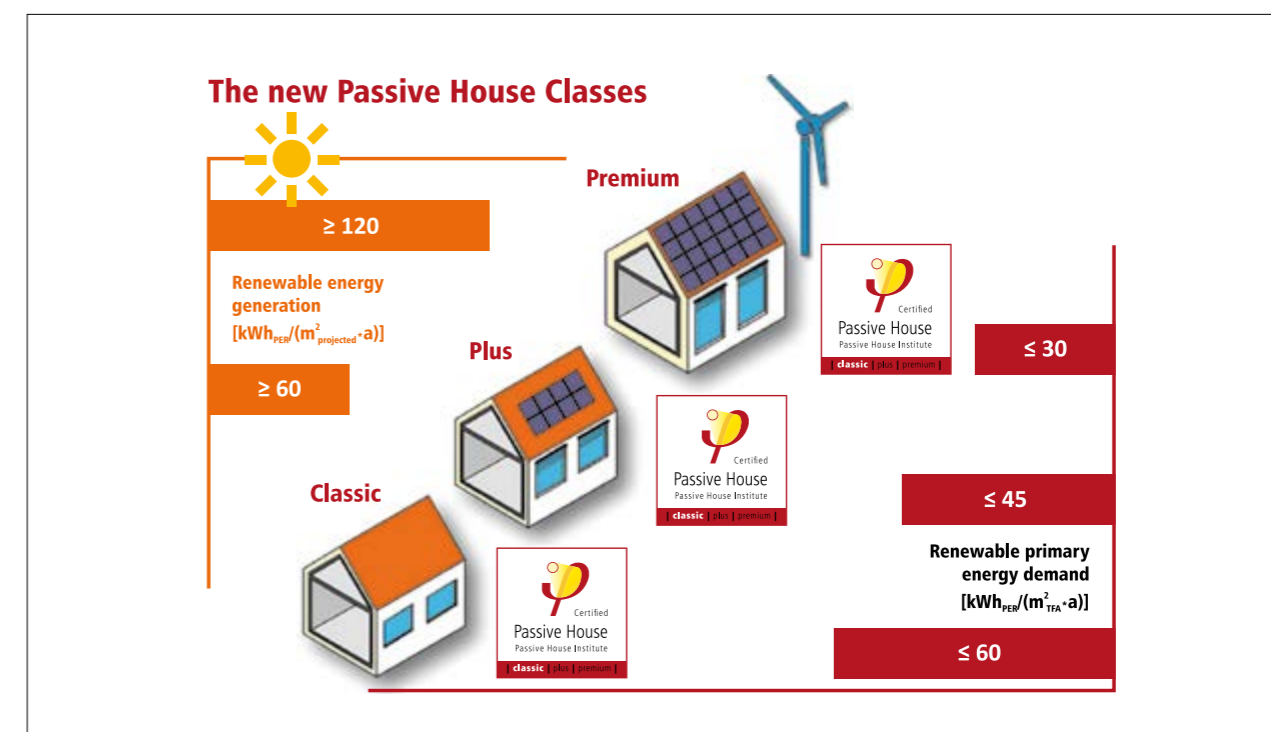
Kryterium	Wartość
Zapotrzebowanie na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$
lub Szczytowe obliczeniowe obciążenie grzewcze	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
Zapotrzebowanie na energię pierwotną (ogrzewanie, wentylacja, ciepła woda użytkowa, energia elektryczna)	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$
Szczelność powietrzna budynku $n_{50}$ (próba na podciśnieniu oraz nadciśnieniu)	$\leq 0,6 \text{ l}/\text{h}$
Częstotliwość występowania nadmiernych temperatur	$\leq 10\%$

**Tabela 1.** Podstawowe kryteria budynku pasywnego

W celu szerszego stosowania rozwiązań wykorzystujących energię odnawialną w 2015 roku Passive House Institute wprowadził klasy energetyczne (rys. 1 i tabela 2). Podstawowym kryterium dla każdej klasy jest wspomniane zapotrzebowanie na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji nieprzekraczające 15 kWh/(m<sup>2</sup>rok), natomiast wielkość wprowadzonej odnawialnej energii pierwotnej wyznacza kolejne kategorie [2, 3].

Budynek klasy PH Classic to tradycyjny budynek pasywny, znany i praktykowany od lat, dla którego kryterium „zapotrzebowanie na energię pierwotną” zostało zastąpione „zapotrzebowaniem na odnawialną energię pierwotną” i ustalone na nieprzekraczalnym poziomie 60 kWh/(m<sup>2</sup>rok). Klasa PH Plus charakteryzuje obiekt zdolny „wyprodukować” przynajmniej o 15 kWh/(m<sup>2</sup>rok) więcej energii, niż zużywa na cele własne dla bilansowania netto rocznego, natomiast klasa PH Premium cechuje budynki dodatnioenergetyczne, generujące z otoczenia znacznie większą ilość energii niż zapotrzebowanie, jakim się charakteryzują.

Pasywne systemy energetyczne angażują komponenty struktury budynku w procesach pozyskania, magazynowania, rozprowadzenia i zachowania energii, zarówno ciepła, jak



**Rys. 1.** Kryteria oceny dla nowych klas budynków pasywnych [2]

Kryterium	Classic	Plus	Premium
	kWh/(m <sup>2</sup> rok)		
Zapotrzebowanie na odnawialną energię pierwotną (PER)	$\leq 60$	$\leq 45$	$\leq 30$
Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych (w odniesieniu do objętego obszaru)	–	$\geq 60$	$\geq 120$

**Tabela 2.** Kryteria oceny dla nowych klas budynków pasywnych [2]

i chłodu, stąd należy dbać o jej prawidłowy przepływ. Świadome i konsekwentne zachowanie użytkownika pozwala na minimalizację kosztów eksploatacji obiektu pasywnego z zachowaniem wysoce zadowalających parametrów środowiska wewnętrznego w okresie całego roku. Dla budynków o dobrze przemyślanej strukturze i zaizolowanej bryle to sposób użytkowania oraz zakres wyposażenia w instalacje sanitarne i elektryczne determinują rzeczywiste ilości dyssypowanej energii pierwotnej.

Spełnienie szeregu kryteriów możliwe jest przy utworzeniu systemu grzewczego z możliwością chłodzenia oraz jego integracji z instalacją wentylacji mechanicznej z równoczesną optymalizacją zużycia energii pierwotnej. Proponowane rozwiązania dotyczące wewnętrznych instalacji sanitarnych powoli stają się standardem i mają na celu spełnienie wysokich wymagań indywidualnych, stawianych coraz częściej przez użytkowników zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju.

W artykule przedstawiono rozwiązanie zintegrowanego systemu grzewczo-chłodzącego z układem wentylacji mechanicznej, zapewniającego komfort klimatyczny w budynku pasywnym zgodnie z określonym na podstawie wcześniej przeprowadzonej ankiety modelem preferencji inwestora indywidualnego. Dla przyszłego właściciela i jednocześnie użytkownika obiektu priorytetem jest zapewnienie wysokiego komfortu. Kryterium to dominowało nad innymi, m.in. związanymi z kosztami inwestycyjnymi.

### System grzewczy z funkcją chłodzenia

Podstawową rolą systemów komfortu każdego budynku jest zapewnienie w jego obrębie parametrów komfortu cieplnego [5, 6]. Komfort cieplny, zapewniający warunki dobrego samopoczucia, to taki stan otoczenia, w którym równowaga cieplna organizmu ludzkiego zachowana jest przy minimalnym obciążeniu jego układu termoregulacyjnego. Cechy fizjologiczne i psychologiczne pozwalają człowiekowi zaadaptować się do otaczających go warunków. U jednych ludzi następuje to szybciej i w większym zakresie niż u pozostałych.

Odczuwanie komfortu zależy od płci, wieku, kondycji fizycznej czy rodzaju pracy. Stymuluje on wydajność, efektywność i koncentrację, pozwala na osiągnięcie właściwych sobie zdolności intelektualnych i manualnych. Ponieważ poszczególni użytkownicy pomieszczenia zazwyczaj różnią się cechami fizjologicznymi oraz mogą mieć nieco inne wymagania, warunki komfortu cieplnego są zróżnicowane. Zmiana temperatury w budynku może zwiększyć akceptację danej grupy ludzi, jednocześnie zmniejszając ją ze strony innej grupy. Zapewnienie optymalnych warunków wewnętrznych jest głównym celem stosowania większości układów grzewczych i klimatyzacyjnych, co w konsekwencji wywiera wpływ na konstrukcję budynków, dobór materiałów, a tym samym na cały przemysł budowlany. Od wielu lat prowadzi się liczne badania tego zagadnienia.

Optymalne parametry pozwalające zachować komfort cieplny przy ustalonym wydatku energetycznym organizmu i rodzaju odzieży dla poszczególnych pór roku powinny być przyjmowane na podstawie zakresu podanego w tabeli 3.

Na skutek różnic biologicznych nie ma możliwości uzyskania stanu zadowolenia u wszystkich osób przebywających w pomieszczeniu o danym mikroklimacie. Należy jed-

Okres	Parametr	Symbol	Wartość
Zima	Temperatura powietrza	$t_w$	20–22°C
	Wilgotność względna powietrza	$\varphi$	30–50%
	Prędkość przepływającego powietrza	$v_{pow}$	0,2–0,3 m/s
Lato	Temperatura powietrza	$t_w$	24–26°C
	Wilgotność względna powietrza	$\varphi$	45–60%
	Prędkość przepływającego powietrza	$v_{pow}$	0,2–0,3 m/s

Tabela 3. Optymalne parametry środowiska wewnętrznego

nak dążyć do uzyskania optymalnych warunków komfortu cieplnego, to znaczy stanu, w którym możliwie największa liczba osób odczuwać będzie stan komfortu.

Moc grzewcza źródła ciepła budynku mieszkalnego związana jest z jego potrzebami dotyczącymi ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej. Dla obiektów pasywnych jednorodzinnych zapotrzebowanie na ciepło na cele przygotowania c.w.u. jest często wyższe od zapotrzebowania na cele grzewcze. Obliczenia obciążeń grzewczych w Polsce przeprowadza się zgodnie z normą PN-EN 12831 [7]. Należy zwrócić uwagę, że przytoczona norma w obliczeniach cieplnych nie uwzględnia potencjalnie występujących wewnętrznych oraz zewnętrznych zysków ciepła, które są bardzo ważne i istotne w przypadku budownictwa pasywnego.

Jednorodzinne budynki pasywne oraz obecnie wznoszone obiekty o niemal zerowym zużyciu energii cechują się zapotrzebowaniem na moc grzewczą dla warunków obliczeniowych rzędu 20–30 W/m<sup>2</sup> (zgodnie z PN-EN 12831). Ta niewielka ilość energii może zostać dostarczona do obiektu poprzez rozwiązania bazujące m.in. na pompach ciepła czy innych źródłach energii odnawialnej. Niezbędne ciepło dystrybuuje się za pomocą czynnika grzewczego o niskiej temperaturze zasilania, schodzącej często poniżej 30°C. Obniżenie temperatury zasilania o 1°C w przypadku pomp ciepła prowadzi do wzrostu ich efektywności o 2,5%.

Do obliczeń obciążeń chłodniczych budynków mieszkalnych w Polsce najczęściej wykorzystywane są wytyczne niemieckie VDI 2078 [8], rzadziej austriackie ÖNORM H 6040 [9]. Moc źródła chłodu wymiaruje się, wyznaczając sumę obciążeń chłodniczych całego obiektu, nakładając na siebie profile obciążeń poszczególnych pomieszczeń dla określonej krytycznej godziny w roku reprezentatywnym, natomiast zdolność odbioru ciepła

instalacji z pomieszczeń wyznacza się lokalnie. Podobnie jak podczas obliczeń obciążeń grzewczych, zapotrzebowanie na moc chłodniczą jest zależne od wielu zmiennych, m.in. typu przyjętego oszklenia i jego zacienienia, sposobu wentylacji budynku, wielkości wewnętrznych i zewnętrznych zysków ciepła.

Narzędziem pomocnym w fazie projektowania obiektów pasywnych, służącym do ich optymalizacji, a następnie weryfikacji, jest Pakiet Planowania Budynków Pasywnych, z ang. Passive House Planning Package (PHPP) [10]. Narzędzie to umożliwia przeprowadzenie obliczeń obciążenia grzewczego i chłodniczego (**tabela 4**), a także zapotrzebowania na ciepło oraz chłód dla różnych stref klimatycznych. W przejrzysty sposób można dzięki niemu wykonać szereg symulacji energetycznych projektowanego obiektu.

Źródłem ciepła oraz chłodu dla budynku pasywnego może być pompa ciepła solanka/woda z wymiennikiem swobodnego chłodzenia (chłodzenie pasywne) – **rys. 2**. Zaleca się, by podstawową funkcję dystrybucji ciepła pełniło ogrzewanie płaszczynowe o niskim parametrze zasilania  $t_z = 30\text{--}35^\circ\text{C}$ , np. płyta grzewcza czy stropy aktywowane

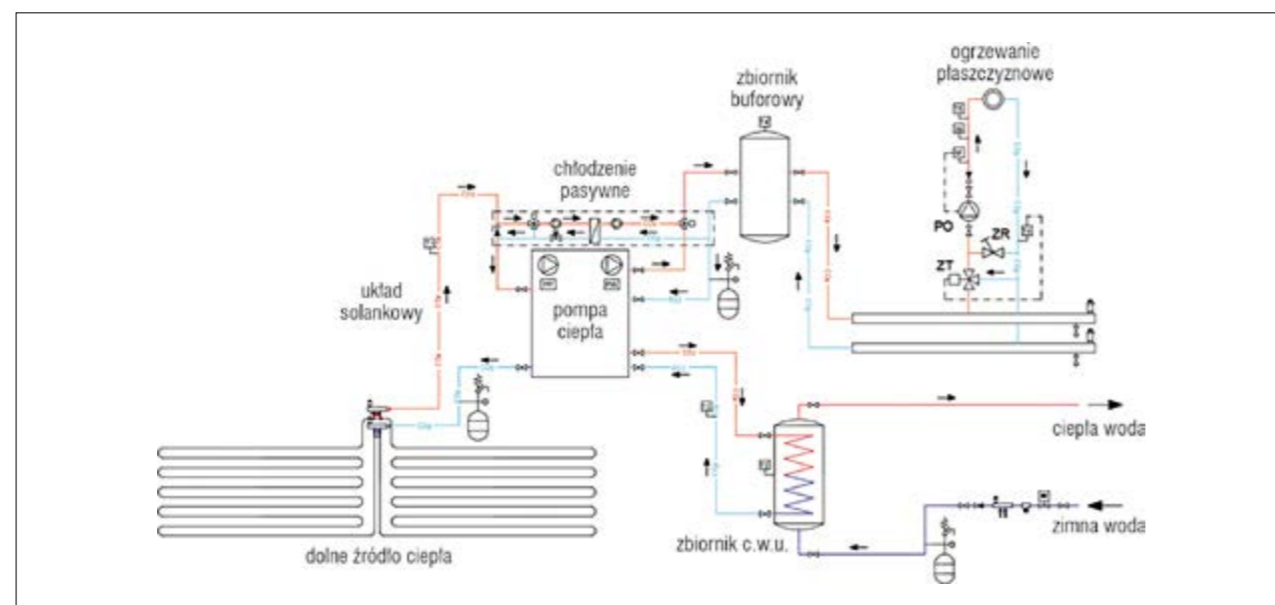
Typ budynku	Specyfika budynku	Moc chłodnicza na cele chłodzenia i wentylacji	
		wzgl. powierzchni chłodzonej <sup>2)</sup>	wzgl. kubatury chłodzonej <sup>1)</sup>
Budynek pasywny mieszkalny jednorodzinny	zoptymalizowany <sup>1)</sup>	$\leq 10 \text{ W/m}^2$	$\leq 4 \text{ W/m}^3$
	standardowy	10-30 $\text{W/m}^2$	4-12 $\text{W/m}^3$
	niezracjonalizowany <sup>2)</sup>	$>30 \text{ W/m}^2$	$>12 \text{ W/m}^3$

\* przyjęto wysokość pomieszczeń mieszkalnych  $H = 2,5 \text{ m}$ ;

<sup>1)</sup> niwelacja wewnętrznych i zewnętrznych zysków ciepła, pasywne elementy architektoniczne i instalacyjne;

<sup>2)</sup> brak pasywnych elementów architektonicznych i instalacyjnych, wentylacja mechaniczna ciągła, bez obniżenia.

**Tabela 4.** Jednostkowe obciążenie chłodnicze



**Rys. 2.** Schemat koncepcyjny układu źródła ciepła/chłodu dla budynku pasywnego

Oprac. własne

termicznie. Ten sam system może być użyty podczas odbioru ciepła z budynku w okresie letnim. Przy dużej powierzchni wymiany ciepła czynnikiem chłodniczym jest woda instalacyjna o wysokim parametrze zasilania, rzędu  $16\text{--}18^\circ\text{C}$ , chłodzona dzięki wykorzystaniu układu pasywnego chłodzenia.

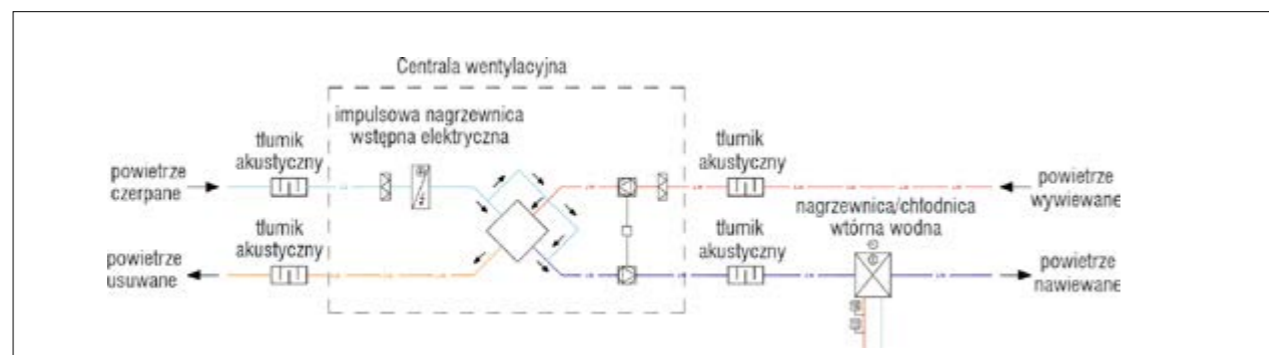
Układ taki polega na odbiorze ciepła z budynku poprzez płaszczyzny chłodzące i oddaniu go dolnemu źródłu ciepła pompy ciepła. Dodatkową korzyścią tego rozwiązania jest zwiększenie temperatury solanki, co podnosi efektywność podgrzewu ciepłej wody użytkowej w okresie letnim. Instalacja pasywnego chłodzenia z wykorzystaniem instalacji ogrzewania płaszczynowego w rozpatrywanym przypadku zdolna jest do odbioru od 15 do  $25 \text{ W/m}^2$  ciepła z budynku, a w przypadku bezpośredniej ekspozycji na słońce do  $40 \text{ W/m}^2$ . Dla obiektów pasywnych z dobrze zaprojektowaną ochroną przeciwsłoneczną oraz przy racjonalnym pod względem energetycznym zachowaniu użytkownika (np. ograniczenie otwierania okien w czasie upalnego dnia, zasłanianie żaluzji w okresie największych zysków słonecznych, zredukowanie wewnętrznych zysków ciepła, nocne chłodzenie i przewietrzanie itd.) system pasywnego chłodzenia będzie wystarczający w celu zapewnienia oczekiwanych parametrów termicznych środowiska wewnętrznego nawet przy bardzo wysokich temperaturach zewnętrznych i silnym nasłonecznieniu.

## Układ wentylacji mechanicznej

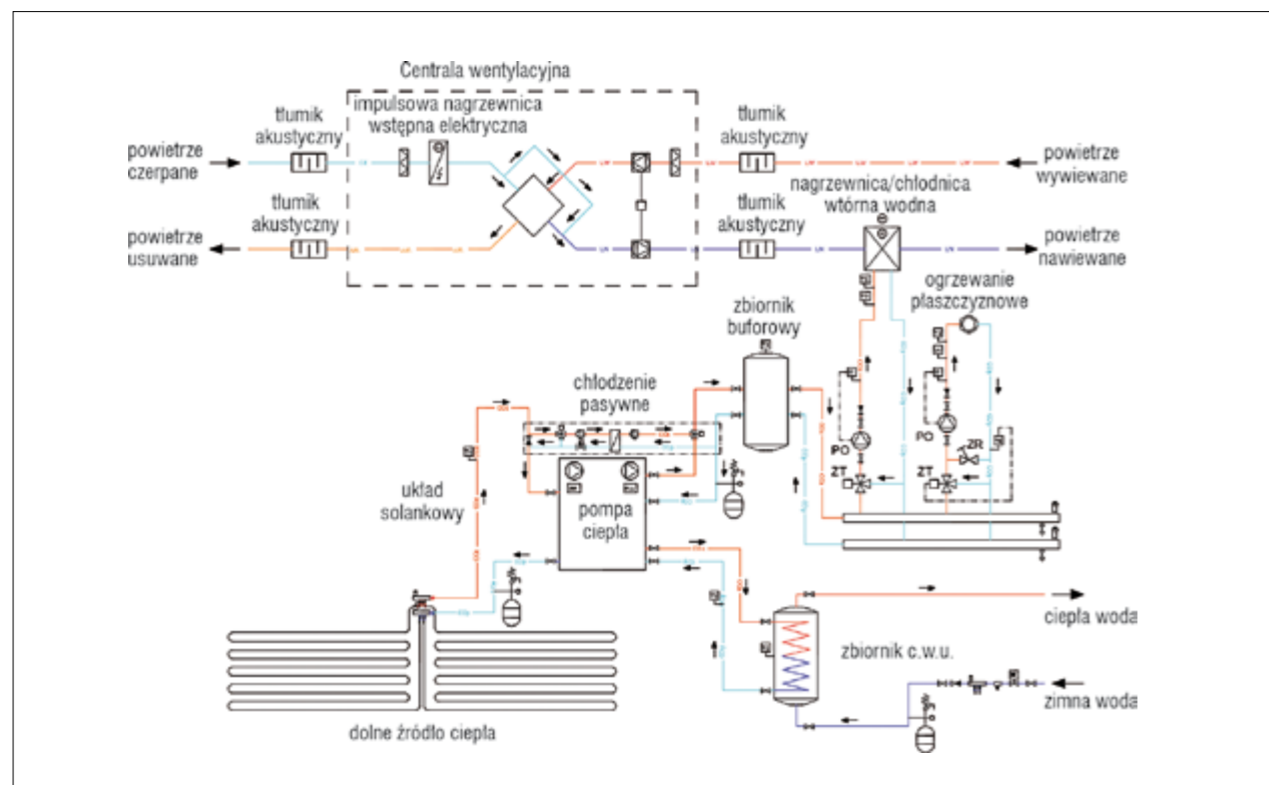
Niezbędnym elementem każdego budynku pasywnego, gwarantującym odpowiednią jakość powietrza wewnętrznego, jest układ wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła, pozwalający na znaczne ograniczenie zapotrzebowania na ciepło w celu podgrzewu powietrza czerpanego, rzędu  $20\text{--}30 \text{ kWh/m}^2$ . Projektowanie kanałowej dystrybucji powietrza powinno zostać przemyślane i skonsultowane z architektem już na etapie koncepcji obiektu, przy przyjmowaniu odpowiedniej lokalizacji otworów nawiewnych oraz wywiewnych. Ilość powietrza wentylacyjnego ustala się w oparciu o bilanse czynników szkodliwych, jak zyski ciepła i wilgoci, ilość emitowanych zanieczyszczeń (np.  $\text{CO}_2$ , biozanieczyszczeń), wymagania higieniczne lub normowe, pamiętając przy tym, żeby zawarte w PN-83/B-03430 [11] strumienie objętości powietrza wentylacyjnego traktować jako minimalne, nie zaś optymalne. PHI zaleca sporządzanie bilansów powietrznych przy przyjmowaniu  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  świeżego powietrza na osobę podczas normalnej pracy instalacji wentylacji mechanicznej, z możliwością obniżenia strumienia do minimalnego poziomu  $0,3 \text{ wym./h}$  podczas nieobecności użytkowników czy w przypadku skrajnie niskich temperatur zewnętrznych w celu zmniejszenia zużycia energii oraz zapobieżenia przesuszeniu powietrza wentylacyjnego [2].



W celu zwiększenia możliwości odbioru ciepła z budynku dodatkowo można wyposażyć układ wentylacji mechanicznej w wymiennik ciepła woda/powietrze zintegrowany z układem źródła ciepła i chłodu (**rys. 3** i **rys. 4**). Wydajność takiego systemu zależy od ilości i jakości schładzanego powietrza nawiewanego do obiektu. W rozpatrywanym przypadku ( $V_{\text{naw}} = 450 \text{ m}^3/\text{h}$ ) maksymalna moc jawnego odbioru zysków ciepła instalacji wentylacji mechanicznej przy granicznej temperaturze powietrza nawiewanego  $T_{\text{naw}} = 16^\circ\text{C}$  wynosi ok. 1,2 kW dla temperatury wewnętrznej  $T_{\text{wew}} = 24^\circ\text{C}$ , co przekłada się na wskaźnik odbioru ciepła wynoszący ok. 5 W/m<sup>2</sup> powierzchni budynku. Wtórny wymiennik ciepła zlokalizowany za rekuperatorem pełni dwojaką funkcję – oprócz prostego układ chłod-



**Rys. 3.** Schemat koncepcyjny układu wentylacji mechanicznej z dodatkowym wymiennikiem dla budynku pasywnego Oprac. własne



**Rys. 4.** Schemat koncepcyjny układu grzewczo-wentylacyjnego z funkcją chłodzenia dla budynku pasywnego Oprac. własne

niczego w okresie letnim zimą umożliwi szybki podgrzew budynku poprzez nawiewanie powietrza o wyższej wartości temperaturowej (np.  $T_{\text{naw}} = 30^\circ\text{C}$ ).

W przypadku zastosowania centrali wentylacyjnej z krzyżowym wymiennikiem ciepła rekomenduje się, by powietrze doprowadzane do rekuperatora cechowało się temperaturą o wartości dodatniej, co chroni wymiennik przed szronieniem. W tym celu proponuje się zastosować impulsową elektryczną nagrzewnicę wstępną. Powietrze zewnętrzne po przejściu przez nagrzewnicę i centralę wentylacyjną kanałem nawiewnym przepływa przez tłumik hałasu oraz dodatkowy wymiennik ciepła (jeśli został zastosowany), a następnie doprowadzane jest siecią kanałów do odpowiednich pomieszczeń poprzez nawiewniki, dysze strumieniowe lub anemostaty nawiewne. Powietrze kolejno rozchodzi się poprzez kratki transferowe lub podcięcia w drzwiach do stref przejściowych, dostając się do pomieszczeń „brudnych”, skąd jest wyciągane poprzez kratki lub anemostaty wywiewne. Zapewniony zostaje w ten sposób kierunek przepływu powietrza od pomieszczeń o mniejszym stopniu zanieczyszczenia powietrza do pomieszczeń o większym. Kanałami wywiewnymi powietrze po przebyciu przez filtr oraz tłumik hałasu oddaje zimną energię powietrza zewnętrznego, a następnie zostaje wyrzucone poprzez wyrzutnię poza obszar budynku.

Podczas projektowania układu wentylacji mechanicznej należy zwracać uwagę na zachowanie niskich prędkości przepływającego powietrza, zgodnie z nieprzekraczalną zasadą maksymalnych liniowych oporów hydraulicznych instalacji wynoszących 1 Pa/mb., które wraz z tłumikiem szumu zapewnią optymalne warunki akustyczne w pomieszczeniach, a odpowiednio dobrane ilości strumienia powietrza świeżego gwarantują w nich wysoką jakość środowiska wewnętrznego.

## Integracja układu wentylacji mechanicznej z systemem grzewczym z funkcją chłodzenia

Poprzez zastosowanie dla systemu wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej nagrzewnicy/chłodnicy wtórnej powietrza, wpiętej do układu źródła ciepła oraz chłodu zgodnie ze schematem (**rys. 4**), uzyskuje się integrację obu systemów, zwiększającą możliwość utrzymania optymalnego komfortu klimatycznego w budynku.

Tak zintegrowany układ wentylacji mechanicznej z systemem grzewczym może realizować m.in. funkcję szybkiego dogrzewu powietrza wewnętrznego poprzez jego bezpośrednie ogrzanie i wymianę w krótkim czasie. Opcja ta umożliwia także zastosowanie nocnego obniżenia temperatury w pomieszczeniach w celu zwiększenia komfortu użytkowników podczas snu lub zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych systemu grzewczego.

Integracja układu wentylacji mechanicznej ze źródłem chłodu zwiększa możliwości utrzymania komfortowych warunków środowiska wewnętrznego nawet podczas wysokich temperatur powietrza zewnętrznego, umożliwia utrzymanie stałego lub zwiększonego strumienia powietrza nawiewanego do budynku w okresie letnim, pełniąc przy tym funkcję prostego układu schładzającego, zapobiegając nadmiernemu przegrzaniu budynku w sposób aktywny. Rozbudowa systemu wentylacji mechanicznej poprzez aplikację układu nawilżania pozwala uzyskać system pełnej klimatyzacji.

Dla konkretnego budynku pasywnego decyzja o integracji systemów wentylacyjnych i grzewczo-chłodzących powinna być poprzedzona analizą energetyczno-ekonomiczną. Nie należy dążyć do łączenia układów, w przypadku gdy nie jest to wsparte oszczędnością w zużyciu energii pierwotnej, poprawą komfortu klimatycznego wewnątrz obiektu czy przesłankami czysto ekonomicznymi.

### Podsumowanie i wnioski

W celu optymalizacji procesu projektowania każdego budynku energooszczędnego, pasywnego czy zeroenergetycznego powinno się przeprowadzić już w fazie koncepcji wielopoziomą analizę wyboru kompromisowego rozwiązania oraz niezbędne symulacje. Analizy budynków uwzględniające wyłącznie preferencje inwestora, wsparte bilansem energetycznym lub niekiedy analizą kosztów inwestycyjnych, mogą się okazać niewystarczające do stworzenia obiektu optymalnego, spełniającego szereg wybranych kryteriów decyzyjnych.

Dobór systemu grzewczo-wentylacyjnego z funkcją chłodzenia powinien być dostosowany indywidualnie do konkretnego budynku. Już w fazie opracowywania koncepcji obiektu projektant instalacji wspólnie z architektem powinien przygotować wstępną propozycję działania układu oraz przeanalizować jego techniczne możliwości. Znając szczegółowe wymagania inwestora dotyczące roli systemu, tworzy się matrycę dopuszczalnych rozwiązań i wybiera najbardziej korzystne, mając na uwadze utrzymanie w pierwszej kolejności pożądanych parametrów komfortu klimatycznego środowiska wewnętrznego przy jednoczesnym dążeniu do minimalizacji zużycia energii pierwotnej, w drugiej kolejności natomiast względy ekonomiczne.

**mgr inż. Bartosz Radomski, mgr inż. Joanna Jaskulska**  
Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska

**Literatura:** <http://www.goo.gl/hddq2B>

## dołącz do programu INSTAL PARTNER

Instaluj nagrzewnice wodne Volcano i kurtyny powietrzne WING i zyskaj więcej!

Wystarczy, że na naszej stronie zarejestrujesz kody, które znajdziesz na urządzeniach. Premię zebraną na koncie możesz w każdej chwili przelać na kartę płatniczą aby wydać środki na dowolny cel.

Dołącz do grona najlepszych instalatorów, którzy zyskują więcej.

### ZBIERAJ KODY I ODZYSKUJ ŚRODKI!

### jak przystąpić DO PROGRAMU?



WEJDŹ NA STRONĘ  
**INSTALPARTNER.VTSGROUP.COM**

## Rekuperacja stropowa SPIDERvent – NIEzwykły system rozdzielaczy

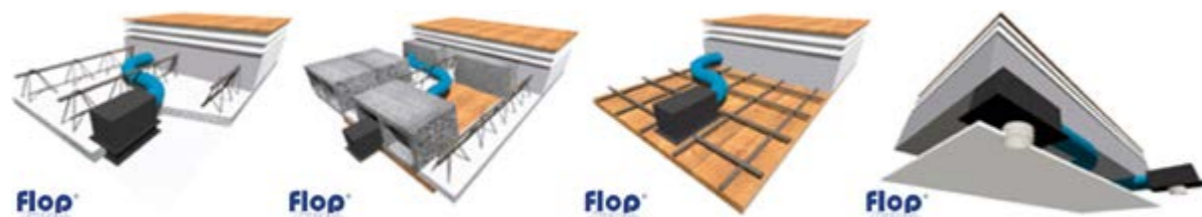
Pytanie zmusza do refleksji przy wyborze systemu rekuperacji dla typowego polskiego domu jednorodzinnego. Różnice interesów pojawiają się przy rzetelnej analizie potrzeb poszczególnych uczestników procesu inwestycyjnego, czyli inwestora indywidualnego (jest też najczęściej kierownikiem budowy), architekta, inspektora nadzoru, instalatora. Każdy z nich ma inny cel.

### Co jest ważne i dla kogo?

1. **Inwestor** chciałby mieć dobrze działającą wentylację z wysokim odzyskiem ciepła, która zapewni mu komfort zamieszkania i zdrowie jego rodziny, za „przyzwoitą” cenę inwestycji. Niebagatelne są późniejsze koszty eksploatacyjne oraz jakość i wygoda korzystania z systemu.
2. **Architekt** chciałby, aby instalacja wentylacyjna zajmowała jak najmniej miejsca oraz w minimalnym zakresie szpecila wnętrze. Jeśli interesuje się ekologią, zwróci może uwagę inwestora na to, aby urządzenia stanowiące system rekuperacji zużywały nie-dużo energii oraz nie hałasowały zbyt mocno.
3. **Inspektor nadzoru** oczekiwałby, aby wykonanie instalacji rekuperacji nie komplikowało mu pracy.
4. **Instalator** chce jak najsprawniej i jak najtaniej wykonać system wentylacji, po oddaniu którego chciałby też mieć jak najmniej kłopotów.

**Niestety wszyscy po trosze mogą się rozczarować**, gdy nie uwzględnią specyfiki konstrukcyjnej danego budynku oraz tzw. efektu synergii kosztów i wartości.

Wśród technologii, które zrewolucjonizowały branżę wentylacyjną w budownictwie mieszkaniowym, jest technologia tzw. rekuperacji stropowej, pozwalająca na prawie całkowite ukrycie elementów systemu w częściach konstrukcyjnych (nośnych) stropów i ścian – **bez potrzeby powiększania ich wymiarów**.



(kliknij na wybrany rodzaj stropu, by dowiedzieć się więcej)

Jedną z najbardziej skalowalnych i uniwersalnych technologii jest system **SPIDERvent®**, który wyróżnia się bardzo szerokim wachlarzem zastosowań oraz pełną dokumentacją parametrów technicznych jego składników, niezbędną do właściwego i odpowiedzialnego projektowania oraz realizacji systemu wentylacji.

**SPIDERvent®** to jeden z niewielu systemów na rynku, dla którego projektant, wykorzystując sprawdzone laboratoryjnie dane wejściowe (starty ciśnienia miejscowe i liniowe), może, idąc krok po kroku, obliczyć wymagany spręż całkowity i parametry akustyczne systemu dla poszczególnych punktów nawiewu i wywiewu.



SPIDERvent w stropie typu Filigran

### Prezentacja istoty technologii SPIDERvent®

**SPIDERvent®** to system wentylacji na żądanie (demand ventilation), z rekuperacją ciepła w układzie indywidualnym (domy jednorodzinne), jak i rozproszonym (budynki wielorodzinne).

Nowatorskie rozwiązanie technologiczne systemu wentylacji z rekuperacją ciepła, zalewanego równoległe z wykonywaniem stropu, bez potrzeby zmiany jego standardowych wymiarów.

System kanałowy oparty jest na giętkich przewodach wentylacyjnych Karboflex Blue D90 mm o małym promieniu gięcia. W połączeniu z kolektorami, rozdzielaczami oraz pozostałymi elementami z odpornego na udar tworzywa sztucznego tworzy system gwarantujący pełną szczelność, doskonałe parametry akustyczne i bardzo niskie opory hydrauliczne < 150 Pa.



SPIDERvent w stropie typu Teriva

### Żadnych skrzynek i kołtunów kanałów widocznych w pomieszczeniach!

Rozprowadzenie powietrza nawiewanego odbywa się przez zalewany w stropie nad partem rozdzielacz **M12/160D SPIDERvent** z wyjściem dolnym 160 mm do rekuperatora,

do którego podłączyć można do 12 przewodów Karboflex za pomocą szybkozłączy typu „klik”. Giętkie kanały wentylacyjne Karboflex D75 lub D90 o podwójnych ściankach można podłączyć **do tej samej skrzynki** równocześnie.

Powietrze zużyte zaciągane jest do prostopadłościenną skrzynki kolektora M8/160G/160D SPIDERvent, zalewanej w stropie nad parterem, zaopatrzonej zarówno w przyłączy „górne” 160 mm (powrót powietrza z piętra), jak i „dolne” 160 mm służące do połączenia z rekuperatorem. Możliwość podłączenia do skrzynki kolektora ośmiu przewodów Karboflex. Nawiew sufitowy do pokoi na parterze poprzez anemostaty TPO 100, do pokoi na piętrze – przez wyporowe **kratki podłogowe** SPIDERvent. Wywiew sufitowy w całym budynku poprzez anemostaty.

**NAWAŻNIEJSZE SĄ:**

1. Możliwość zapewnienia wentylacji domu piętrowego poprzez system ukryty tylko w stropie nad parterem (na piętrze – wyporowy nawiew podłogowy w pokojach sypialnianych, wywiew z łazienki kratką w ścianie pod sufitem).
2. Możliwość umieszczenia systemu w płycie fundamentowej.
3. Elementy układane są i zalewane masą betonową równocześnie z wykonywaną płytą fundamentową lub stropem, co z jednej strony zdecydowanie skraca czas realizacji całej inwestycji, ale przede wszystkim zagwarantuje trwałą szczelność układu rekuperacji, która jest podstawowym parametrem wymaganym dla uzyskania efektów energetycznych w postaci oczekiwanych oszczędności w ogrzewaniu budynku.
4. NIE MA RYZYKA, ŻE UKŁAD WENTYLACJI SIĘ ROZSZCZELNIŁ, WIĘC NIE BĘDZIE MOŻLIWE POTWIERDZENIE WYMAGANEGO POZIOMU ENERGOOSZCZĘDNOŚCI INWESTYCJI (AUDYT ENERGETYCZNY) I TRZEBA BĘDZIE ZWRÓCIĆ OTRZYMANE DOFINANSOWANIE.



Skrzynka podłogowej wentylacji wyporowej

**Uwaga:** W przypadku tradycyjnych technologii, gdzie blaszane kanały łączone są z innymi elementami, jak kolanka, mufy, złączki, trójniki, skrzynki rozprężne itp., za pomocą skręcania lub na wcisk, z wykorzystaniem dodatkowych uszczelki i taśm klejących, połączenia takie po pewnym czasie mogą się rozszczelnić wskutek zmiennych temperatur latem i zimą, zmiennej wilgotności, wibracji bądź brudnych, metalowych powierzchni oklejanych taśmą.

**Ważne fakty, o których należy pamiętać**

1. Każdy element systemu SPIDERvent (skrzynki, kolektory, kratki itp.) posiada zweryfikowane laboratoryjnie parametry techniczne, w tym przepływy powietrza i parametry akustyczne.

2. W oparciu o zweryfikowane dane można z bardzo dużym prawdopodobieństwem obliczyć charakterystykę energetyczną całego systemu wentylacyjnego, a inwestor wiedzieć może, jakiego się spodziewać zużycia energii w przyszłości przez całą instalację, a nie tylko sam rekuperator.
3. Jaki jest koszt wykonania obniżonego sufitu (materiały + montaż), w którego przestrzeni lokowane są najczęściej kanały wentylacyjne, skrzynki, anemostaty i kratki?
4. Czy ulokowany pod sufitem system jest wystarczająco cichy?
5. Ile kosztuje sam montaż systemu? Przy montażu systemu SPIDERvent w płycie fundamentowej, gdzie rury i kształtki zalewane są betonem lub ukryte w ścianach, koszt montażu jest 30–50% niższy od tradycyjnego.
6. Jakie założono ciśnienie w układzie kanałowym, tzw. spręż? Im wyższy, tym większe zużycie energii przez wentylatory rekuperatora i wyższa hałaśliwość całego systemu.
7. Pamiętać należy, że metalowe skrzynki wykonane z cienkiej blachy słabo tłumią dźwięk i same często generują hałas wskutek wibracji oraz dużo łatwiej, niż te wykonane z tworzywa sztucznego, wychładzają się, powodując skraplanie się pary wodnej na swych zewnętrznych powierzchniach, co w przyszłości może skutkować nasiąkaniem wodą płyt gipsowych sufitu podwieszanego, z drugiej zaś strony, skraplająca się para wodna wewnątrz rur i skrzynek wraz z kurzem stanie się doskonałą pożywką dla bakterii i roztoczy, a wentylacja stać się może źródłem chorób (np. alergii) i brzydkiego zapachu zamiast sprzyjać zdrowiu oraz komfortowi użytkownika.
8. Skondensowana na zewnętrznych powierzchniach metalowych kanałów i rozdzielaczy powietrza, słabo zaizolowanych wełną mineralną, para wodna obniża zdecydowanie ich poziom izolacji termicznej. Mokra wełna mineralna traci wszystkie właściwości izolacyjności termicznej i staje się miejscem rozwoju mikroorganizmów.

**Janusz Kopecki**  
Flop System sp. z o.o.

FLOP SYSTEM SP. Z O.O.  
51-315 Wrocław, ul. Kielczowska 64  
tel. 71 325 14 20, 601 703 585  
office@flopsystem.pl, www.flopsystem.pl



## Centrale wentylacyjne – technologie i wymagania

*Zmiany konstrukcyjne i kierunki rozwoju central wentylacyjnych i klimatyzacyjnych dyktowane są przede wszystkim względami energooszczędności. Te z kolei wymuszane są nie tylko przez oczekiwania inwestorów, ale i wymagania prawne.*

Najwięcej o kierunkach rozwoju central wentylacyjno-klimatyzacyjnych mówi obowiązek spełnienia wymogów ekoprojektu. Wymagania specyficzne dla central zawarte są w rozporządzeniu komisji (UE) nr 1253/2014 z 7 lipca 2014 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla systemów wentylacyjnych. W myśl tej dyrektywy producent musi określić przeznaczenie centrali (budynki mieszkalne czy niemieszkalne), co należy uwzględnić przy doborze urządzenia. Przykładowo w związku z wejściem w życie nowych wymogów firma Komfovent zmieniła nazwy typoszeregów central.

Centrala przeznaczona do budynku mieszkalnego (SWM) musi mieć etykietę energetyczną, a urządzenie do stosowania w budynkach niemieszkalnych (SWNM) musi jednocześnie:

- uzyskać sprawność odzysku ciepła:
- od 2016 r. – min. 67% (min. 63% z czynnikiem pośredniczącym),
- od 2018 r. – min. 73% (min. 68% z czynnikiem pośredniczącym) i
- osiągać odpowiednią wartość współczynnika wewnętrznej jednostkowej mocy wentylatora  $JMW_{int}$  (SFP) dla **układu** części wewnętrznych pełniących funkcję wentylacji (wentylator, filtry powietrza oraz wymiennik ciepła).

Przykładowo Pro-Vent dla nowej centrali podwieszanej MISTRAL SLIM podaje następujące wartości: sprawność odzysku ciepła 81–84%,  $SFP = \sim 684 \text{ W/m}^3/\text{s}$ .

Urządzenia do budynków niemieszkalnych muszą też spełniać wymagania funkcjonalne. Obowiązkowe jest wyposażenie w wentylatory z napędem wielobiegowym lub

Wydajność centrali		Klasyfikacja
Do 250 m <sup>3</sup> /h		systemy wentylacyjne przeznaczone do budynków mieszkalnych (SWM)
250–1000 m <sup>3</sup> /h	<b>deklaracja</b> producenta, że produkt jest przeznaczony wyłącznie do budynków mieszkalnych	
		<b>brak deklaracji</b> producenta, że produkt jest przeznaczony do budynków mieszkalnych
Powyżej 1000 m <sup>3</sup> /h		

**Tabela.** Podział central w zależności od wydajności

układem płynnej regulacji prędkości obrotowej. Układ odzysku ciepła musi mieć obejście (by-pass) umożliwiające regulację poziomu odzysku (np. przepustnica obejściowa dla wymiennika płytowego lub regulator obrotów dla wymiennika obrotowego). Od stycznia 2018 konieczne będzie też wyposażenie filtra w presostat z sygnalizacją (wizualną lub automatyczną) przekroczenia dopuszczalnego spadku ciśnienia. Rozwiązanie to coraz częściej pojawia się w nowych rozwiązaniach (np. w rekuperatorze HRU-MinistAir-W-450 firmy Alnor).

Wymagania te wskazują, na jakie elementy producenci zwrócą szczególną uwagę w rozwijaniu urządzeń – będą to system odzysku ciepła, wentylator i filtry. Wtórnie istotna będzie też zaawansowana automatyka (wbudowana), która wykorzysta możliwości technologiczne urządzeń, a z drugiej strony pozwoli uzyskać oszczędności eksploatacyjne, rekompensujące wyższe nakłady inwestycyjne na rozwiązania, które spełnią wymogi ekoprojektu.

Żeby spełnić rosnące wymogi energo-oszczędności, producenci sięgają też po rozwiązania mniej oczywiste, np. w 2014 r. Salda postawiła na zwiększenie szczelności dużych urządzeń SmartAir SW50+, zapewniając klasę mostków termicznych TB1 (standard na polskim rynku to zwykle TB2). Parametr ten udało się poprawić dzięki szczególnej konstrukcji profilu (specjalne rodzaje uszczelnień).

### Systemy odzysku ciepła

W centralach odzysk ciepła realizuje się na różne sposoby – podstawowe to recyrkulacja (odzysk ciepła wywiewanego w komorze mieszania), rekuperacja (odzysk ciepła jawnego w wymienniku płytowym) i regeneracja (odzysk ciepła jawnego lub jawnego i utajnionego w wymienniku obrotowym). Ekoprojekt wymusi stopniowe znikanie z rynku części rozwiązań, ponieważ nie zapewnią one wymaganej sprawności odzysku ciepła (m.in. centrale z wymiennikiem krzyżowym). Na drugim biegunie jest nieustanne podwyższanie sprawności całej centrali, m.in. poprzez:

- odzysk wilgoci w wymiennikach obrotowych (regeneracyjnych – z wypełnieniem sorpcyjnym) oraz
- stosowanie rozwiązań hybrydowych (z wielostopniową wymianą ciepła), które wyposażone są w dodatkowy układ wymiany ciepła. Najchętniej stosowane są układy z pompami ciepła.

Przykładowo centrala z hybrydowym (wielostopniowym) odzyskiem ciepła Klimor – wyróżniona na Forum Wentylacja 2016 – wyposażona jest obok systemu rekuperacji w sprężarkową pompę ciepła ze sprężarkami DC Inverter (płynnie sterowanymi) na czyn-

nik R410A. Dzięki takiemu rozwiązaniu temperatura powietrza w pomieszczeniach jest cały rok stabilna przy ograniczeniu zużycia energii.

Pompa ciepła wykorzystana jest też w urządzeniu ReCooler HP Fläkt Woods, które stanowi połączenie rewersyjnej pompy ciepła i obrotowego wymiennika ciepła. Rozwiązanie to uwzględnia fakt, że pompy ciepła rzadko działają z pełnym obciążeniem, i jego skuteczność wzmocniono sterowaniem (zastosowanie zaworów rozprężnych, czujników temperatury i ciśnienia oraz programu optymalizującego obciążenie sprężarki poprzez falownik). Warto też wspomnieć – choć są to rozwiązania kosztowne pod względem inwestycyjnym – o układach rewersyjnych, pracujących w trybie chłodniczym latem i w trybie grzania (pompy ciepła) zimą.

## Filtry

Dostrzeżenie skali zjawiska smogu może się przyczynić do zwiększenia wymagań co do klasy filtrów używanych w centralach pracujących na terenach zurbanizowanych. Takiemu podejściu sprzyjać też może nowa klasyfikacja filtrów, wynikająca z zastępowania obecnej normy PN-EN 779:2012 *Przeciwpylowe filtry powietrza do wentylacji* nową normą EN-ISO 16890 *Filtry do wentylacji ogólnej*, opublikowaną pod koniec 2016 r. Z końcem 2018 r. norma PN-EN 779 zostanie całkowicie wycofana.

Zwykle na wlocie powietrza do centrali montuje się filtr wstępny, a na wylocie filtry dokładne. Dziś często stosuje się filtry klasy M5 i F7 – jednak w 2018 roku już ich nie będzie. Zamiast dotychczasowych 5 klas filtrów dokładnych będzie ich 30. Podstawą klasyfikacji stanie się skuteczność usuwania przez filtr cząstek pyłu zawieszonego o konkretnej wielkości ( $PM_1$  od 0,3  $\mu m$  do 1 mm,  $PM_{2,5}$  od 1 do 2,5 mm oraz  $PM_{10}$  od 2,5 do 10 mm).

Filtr można zaklasyfikować do danej grupy ( $ePM_{10}$ ,  $ePM_{2,5}$  lub  $ePM_1$ ), jeśli oczyszcza powietrze z co najmniej 50% cząstek danej wielkości. Przykładowo dzisiejsze filtry F7 trafią do klas od ISO  $ePM_1$  50% do ISO  $ePM_1$  65% – co oznacza, że z podanymi skutecznościami usuwają cząstki stałe o najmniejszej średnicy (0,3–1  $\mu m$ ). Ten sam filtr dla innych wielkości cząstek będzie miał inną skuteczność, np.  $ePM_1 = 59\%$  (klasa ISO  $ePM_1$  55%),  $ePM_{2,5} = 68\%$  (klasa ISO  $ePM_{2,5}$  65%),  $ePM_{10} = 89\%$  (klasa ISO  $ePM_{10}$  85%). Jeden filtr może zatem mieć trzy sygnatury handlowe. Filtry zgrubne (siatkowe i szczelinowe) będą klasyfikowane w grupie  $PM_{10}$  – jako pochłaniające mniej niż 50% cząstek do 10  $\mu m$  (więcej – na s. 22).

## Wentylatory

W coraz większej liczbie typoszeregów central – niezależnie od wielkości – stosuje się silniki EC, tj. elektronicznie komutowane. To przykład sytuacji, w której rozwiązanie

bardziej kosztowne wypiera tańsze ze względu na konieczność spełnienia wymogów prawnych.

Silniki EC jako pozbawione poślizgu (silniki synchroniczne) zużywają o 40–60% mniej energii w odniesieniu do swoich odpowiedników AC, mają też większą sprawność, są mniejsze, lżejsze i ciszej pracują. Elektroniczny układ komutacji pozwala też na spełnienie warunku funkcjonalności wskazanego w ekoprojekcie, umożliwiając sterowanie prędkością obrotową wentylatora przy zachowaniu wysokiej sprawności w optymalnym punkcie pracy. Daje szerokie możliwości płynnego sterowania wentylatorem – sygnałem 0–10 V, sygnałem 0–10 VDC, PWM lub sygnałem cyfrowym poprzez RS-485 modBUS. W praktyce może się to przełożyć nie tylko na zaawansowane sterowanie, ale i ofertę ciekawych rozwiązań. Na przykład centrale rekuperacyjne REQURA marki Harmann mają funkcję *constant flow* – odpowiednia automatyka, w którą wyposażono wentylatory, umożliwia zachowanie stałej skuteczności centrali niezależnie od oporów instalacji (modele 30 i 40).

## Automatyka i sterowanie

Ważnym trendem jest zwiększanie możliwości łatwego i szerokiego sterowania centralą. Centrale wyposażane są w coraz bardziej zaawansowane systemy automatyki i sterowania, a coraz więcej funkcji sterowników dostępnych jest w wykonaniu standardowym.

Poczynając od sterowania przez Wi-Fi i zdalnego, poprzez specjalną aplikację mobilną (coraz popularniejsze wśród mniejszych central, które zwykle dostarczane są jako rozwiązanie plug&play), dochodzimy do włączania (szczególnie dużych) central w system inteligentnego budynku (BMS). W takim przypadku automatyka i sterowanie konfigurowane są na potrzeby konkretnej instalacji. Producenci coraz częściej oferują własne systemy sterowania wraz z elementami automatyki budynkowej, np. czujniki temperatury, wilgotności i ciśnienia, jak i coraz popularniejsze czujniki  $CO_2$ , umożliwiające realizację „wentylacji na żądanie”, a także presostaty, siłowniki do przepustnic, termostaty i zawory etc. Ze względu na duży stopień zaawansowania takiego rozwiązania niektórzy producenci zapewniają także wykonanie okablowania i przeprowadzenie rozruchu, włącznie ze współpracą centrali z innymi urządzeniami (np. klimatyzatorami, tak jak w rozwiązaniach rekuperatorów Mitsubishi Electric).

## Monoblok czy sekcje?

Wyśrubowane parametry urządzenia to jedno, trzeba jeszcze dopasować rozwiązanie do faktycznych możliwości obiektu. Problem ograniczonej przestrzeni montażowej jest na tyle powszechny, że często geometria (możliwość montażu pionowego/poziomego czy łatwej samodzielnej modyfikacji układu króćców – jak np. w centrali Mistral SLIM Pro-Vent)

czy gabaryty urządzenia stają się istotnym kryterium wyboru. Stąd sporym powodzeniem cieszą się np. urządzenia podwieszane o zmniejszonej wysokości (np. 355 mm w jednym z nowszych rozwiązań central Klimor). Przykładem ciekawego rozwiązania zmniejszania gabarytu jest też koncepcja Systemair – dwa wymienniki obrotowe pracujące równolegle w centralach Topvex FR. Zainteresowanie zwartą konstrukcją widać też w najnowszej propozycji Frapol – centrala Zenith o budowie sekcyjnej charakteryzuje się niewielkimi rozmiarami modułów, opisywana jest jako „kompaktowa”.

W przypadku urządzeń o mniejszych wydajnościach (poczynając od tych dla inwestorów indywidualnych) najczęstszym wyborem są gotowe centrale monoblokowe. Producenci zwykle wydzielają w ofercie segment „małych” central, które bez większych modyfikacji spełniają oczekiwania większości klientów.

Urządzenia o większej wydajności najczęściej oferowane są jako modułowe (sekcyjne). Pomaga to dobrać rzeczywiście potrzebne moduły i uporać się z wyzwaniem logistycznym. Centrala sekcyjna – montowana na miejscu, zatem dostarczana „w kawałkach” – bywa jedynym rozwiązaniem, jeśli dostarczenie dużego monobloku w dane miejsce jest po prostu niemożliwe. Konstrukcja modułowa umożliwia wzbogacenie podstawowego wykonania centrali (wentylatory, odzysk ciepła, filtry) o sekcje tłumienia akustycznego, nagrzewnic (elektrycznych, gazowych i wodnych) czy chłodziń (wodnych, glikolowych i z czynnikiem chłodniczym) oraz nawilżania.

W przypadku szczególnie wymagających projektów producenci oferują wykonanie central o konfiguracji dostosowanej do konkretnych wymogów. Projektant może się zwykle posłużyć firmowym programem doboru urządzeń. Warto zwrócić uwagę, czy program pozwala określić zgodność urządzenia z ekoprojektem 2016 (niektóre umożliwiają też ocenę pod kątem ekoprojektu 2018).

### Certyfikaty Euroventu

Wielu producentów podkreśla, jako szczególnie wyróżniające, uzyskanie na swoje urządzenia certyfikatu międzynarodowej organizacji Eurovent. Certyfikat taki potwierdza, że dany typ szeregu central został przebadany w niezależnym, akredytowanym laboratorium i parametry deklarowane w dokumencie firmowym (np. instrukcja użytkownika) odpowiadają wskaźnikom uzyskanym podczas badania.

Certyfikat Euroventu jest więc uznawany za obiektywne potwierdzenie danych zawartych w konkretnym dokumencie. Projektantowi czy inwestorowi pomoże optymalnie dobrać urządzenie, dając gwarancję, że w określonych warunkach rzeczywiście zachowa się ono tak, jak przewiduje dokumentacja. Umożliwia też dokładniejsze oszacowanie kosztów eksploatacyjnych.

Także program doborowy powinien mieć certyfikat Euroventu, który potwierdza, że zawarte w programie parametry są aktualne i zgodne z rzeczywistością.

**Joanna Ryńska**

**Literatura:** <http://www.goo.gl/uF1YFn>

## Ograniczenie zapotrzebowania na energię do wentylacji pomieszczeń handlowych centralnymi strefowymi urządzeniami wentylacyjnymi

*Zastosowanie w wentylacji pomieszczeń handlowo-usługowych wysokosprawnych urządzeń do odzysku ciepła z powietrza wywiewanego oraz zaprojektowanie układu z regulacją jakościowo-ilościową może w dużym stopniu ograniczyć moce maksymalne takich urządzeń jak nagrzewnica lub chłodnica, a także zmniejszyć zapotrzebowanie na energię do uzdatniania i transportu powietrza w cyklu całorocznym. Kolejne oszczędności to ograniczenie czasu działania nagrzewnic strefowych i kosztów serwisowo-remontowych, np. związanych z wymianą filtrów czy łożysk, dzięki zmiennemu strumieniowi powietrza.*

Od kilkadziesiąt lat obserwuje się w branży handlowej tendencje przenoszenia tradycyjnych sklepów usytuowanych w pierzei placów i ulic do wielkopowierzchniowych centrów handlowych, gdzie są one lokowane wzdłuż wewnętrznych pasaży [1]. Najważniejszymi pomieszczeniami w obiektach handlowo-usługowych są sale sprzedaży oraz pomieszczenia usługowe dostępne dla klientów.

Poza zagwarantowaniem klientom właściwej obsługi, istotnym aspektem przyczyniającym się do zwiększenia przychodów w tego typu obiektach jest również zapewnienie odpowiedniego klimatu wewnętrznego [2]. Należy pamiętać, że dla pomieszczeń usytuowanych w tym samym obiekcie, a mających różne przeznaczenie wymagania związane z mikroklimatem mogą się znacznie różnić. W pomieszczeniach, w których przebywa się krócej niż 2,5–3 godziny, zaleca się kształtowanie temperatury powietrza w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego [3]. Ponadto obciążenia cieplno-wilgotnościowe obiektów handlowych charakteryzują się dużą losowością i dynamiką zmian wartości w przedziałach czasowych oraz w odniesieniu do poszczególnych branż. Dlatego mikroklimat w tego typu pomieszczeniach musi być kształtowany w wyniku mechanicznej wymiany odpowiednio uzdatnionego powietrza. System ten powinien się składać z następujących elementów [4, 8]:

- uzdatnianie powietrza (oczyszczenie oraz obróbka cieplno-wilgotnościowa),
- dostarczenie i dystrybucja powietrza w pomieszczeniu,
- prawidłowa organizacja wymiany powietrza w pomieszczeniu,
- odpowiednie usunięcie powietrza wentylującego z pomieszczenia,
- odzyskiwanie energii z powietrza wywiewanego.

Zadaniem wentylacji i klimatyzacji w obiektach handlowo-usługowych jest takie uzdatnienie powietrza, żeby we wszystkich pomieszczeniach o każdej porze ich użytkowania zapewnione zostały parametry komfortu cieplnego, a w przerwach w użytkowaniu parametry minimalne (zima) bądź maksymalne (lato) przewidziane dla danego pomieszczenia [8]. Ponadto procesy uzdatniania i transportu powinny być przeprowadzane przy minimalnych nakładach energetycznych.

Systemem spełniającym powyższe wymagania jest wentylacja realizowana przez centralne systemy o dwustopniowym uzdatnianiu powietrza. Charakteryzują się one dwuetapową obróbką cieplno-wilgotnościową powietrza, tj. w pierwszej kolejności centralnie do parametrów odpowiednich dla wszystkich obsługiwanych stref, następnie indywidualnie do parametrów powietrza odpowiadających chwilowym obciążeniom cieplnym w poszczególnych strefach [5].

W przypadku rozpatrywanego systemu istnieje kilka możliwości ograniczania zapotrzebowania na energię do procesów uzdatniania i transportu powietrza. W kwestii zmniejszania zapotrzebowania dla procesów uzdatniania powietrza możliwe jest zastosowanie [6]:

- częściowej recyrkulacji powietrza wywiewanego,
- odzysku energii z powietrza wywiewanego,
- ograniczenia czasu eksploatacji urządzeń,
- pełnej regulacji bezpośredniej procesów uzdatniania.

Ograniczenie zapotrzebowania na energię do transportu powietrza można realizować poprzez [6]:

zmniejszenie strat ciśnienia na elementach nawiewnych i wywiewnych instalacji, zastosowanie systemu wentylacji ze zmiennymi strumieniami powietrza, zastosowanie regulacji bezpośredniej do sterowania pracą wentylatorów, ograniczenie czasu eksploatacji urządzeń, tj. pracy wentylatorów.

Poniżej przedstawiono wpływ sprawności zainstalowanych urządzeń do odzysku energii z powietrza wywiewanego oraz zastosowania zmiennych strumieni powietrza wentylującego na maksymalne moce czynników energetycznych.

### Efektywność energetyczna systemu

Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie warunków technicznych [7] w urządzeniach wentylacji mechanicznej ogólnej nawiewno-wywiewnej oraz klimatyzacji komfortu o wydajności przekraczającej 500 m<sup>3</sup>/h należy zastosować urządzenia do odzysku ciepła z powietrza wywiewanego o sprawności temperaturowej co najmniej 50%. Sprawność temperaturową  $\eta_t$  można zdefiniować jako [9]:



$$\eta_t = \frac{t_z - t'_z}{t_z - t_p}$$

gdzie:

$t_z$  – chwilowa temperatura powietrza zewnętrznego, °C;

$t_p$  – chwilowa temperatura powietrza wywiewanego, °C;

$t'_z$  – temperatura powietrza zewnętrznego podgrzewanego lub ochładzanego w wymienniku, °C.

Po przekształceniu zależność na temperaturę zewnętrzną za wymiennikiem przyjmuje postać:

$$t'_z = t_z + \eta_t \cdot (t_p - t_z), \text{ °C}$$

Moc nagrzewnicy przy i-tej temperaturze zewnętrznej oblicza się z równania [8]:

$$Q_i^N = V_i \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t_i^N, \text{ kW}$$

gdzie:

$V_i$  – strumień powietrza wentylującego w i-tym przedziale temperatur zewnętrznych, m<sup>3</sup>/s;

$\rho$  – gęstość powietrza uzdatnianego, kg/m<sup>3</sup>;

$c_p$  – ciepło właściwe powietrza, kJ/kgK;

$\Delta t_i^N$  – przyrost temperatury powietrza w nagrzewnicy,

$$\Delta t_i^N = t_n - t'_z, \text{ K}$$

$t_n$  – temperatura powietrza za nagrzewnicą (zależna od chwilowych zysków ciepła jasnego w pomieszczeniu) w i-tym przedziale zewnętrznych temperatur, °C.

Całoroczne zapotrzebowanie na energię  $E_N$  do podgrzania powietrza wentylującego oblicza się z zależności [5]:

$$E_N = \sum_{i=1}^n Q_i^N \cdot \tau_i, \text{ kWh/rok}$$

gdzie:

$\tau_i$  – czas trwania i-tej temperatury zewnętrznej, h/rok.

Chwilową moc chłodniczą do obniżenia temperatury powietrza wentylującego przy chwilowej temperaturze powietrza zewnętrznego oblicza się z zależności [8]:

$$Q_j^{CH} = V_j \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t_j^{CH}, \text{ kW}$$

gdzie:

$V_j$  – chwilowy strumień powietrza wentylującego w j-tym przedziale temperatury zewnętrznej, m<sup>3</sup>/s;

$\Delta t_j^{CH}$  – spadek temperatury powietrza ochładzanego (od temperatury za wymiennikiem do odzysku ciepła do wymaganej chwilowej temperatury nawiewu), °C.

Całoroczne zapotrzebowanie na energię do obniżania temperatury powietrza nawiewanego  $E_{CH}$  można obliczyć z zależności [5]:

$$E_{CH} = \sum_{j=1}^m Q_j^{CH} \cdot \tau_j, \text{ kWh/rok}$$

Chwilową moc elektryczną niezbędną do napędu wentylatora oblicza się z zależności [5]:

$$N_i = \frac{V_i \cdot \Delta p_i}{\eta_{wi} \cdot \eta_{pi} \cdot \eta_{si}} \cdot 10^{-3}, \text{ kW}$$

gdzie:

$\Delta p_i$  – spręż wentylatora, Pa;

$\eta_{wi}$  – sprawność wentylatora;

$\eta_{pi}$  – sprawność przekładni;

$\eta_{si}$  – sprawność silnika.

Zapotrzebowanie na energię do transportu powietrza w i-tych warunkach eksploatacji przyjmuje wtedy postać [5]:

$$E_i = N_i \cdot \tau_i, \text{ kWh}$$

Jeżeli roczny czas pracy układu do transportu powietrza podzielony zostanie na przedziały zależne od chwilowych wartości strumienia tłoczonego powietrza, to całoroczne zapotrzebowanie na energię do zasilania wentylatorów wyniesie [10]:

$$E_E = \sum_{i=1}^n \left( \frac{V_i \cdot \Delta p_i}{\eta_{wi} \cdot \eta_{pi} \cdot \eta_{si}} \cdot \tau_i \right) \cdot 10^{-3}, \text{ kWh}$$

Wydajność wentylatora może być regulowana poprzez zmianę jego prędkości obrotowej za pomocą falownika zamontowanego na silniku wentylatora. Wraz ze zmianą obrotów z  $n_1$  na  $n_2$  zmianie ulega jego wydajność  $V$ , spręż  $\Delta p$  oraz pobór mocy elektrycznej  $N$  zgodnie z poniższymi zależnościami [10]:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{n_2}{n_1}, \text{ m}^3/\text{s}$$

$$p_2 = p_1 \cdot \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2, \text{ Pa}$$

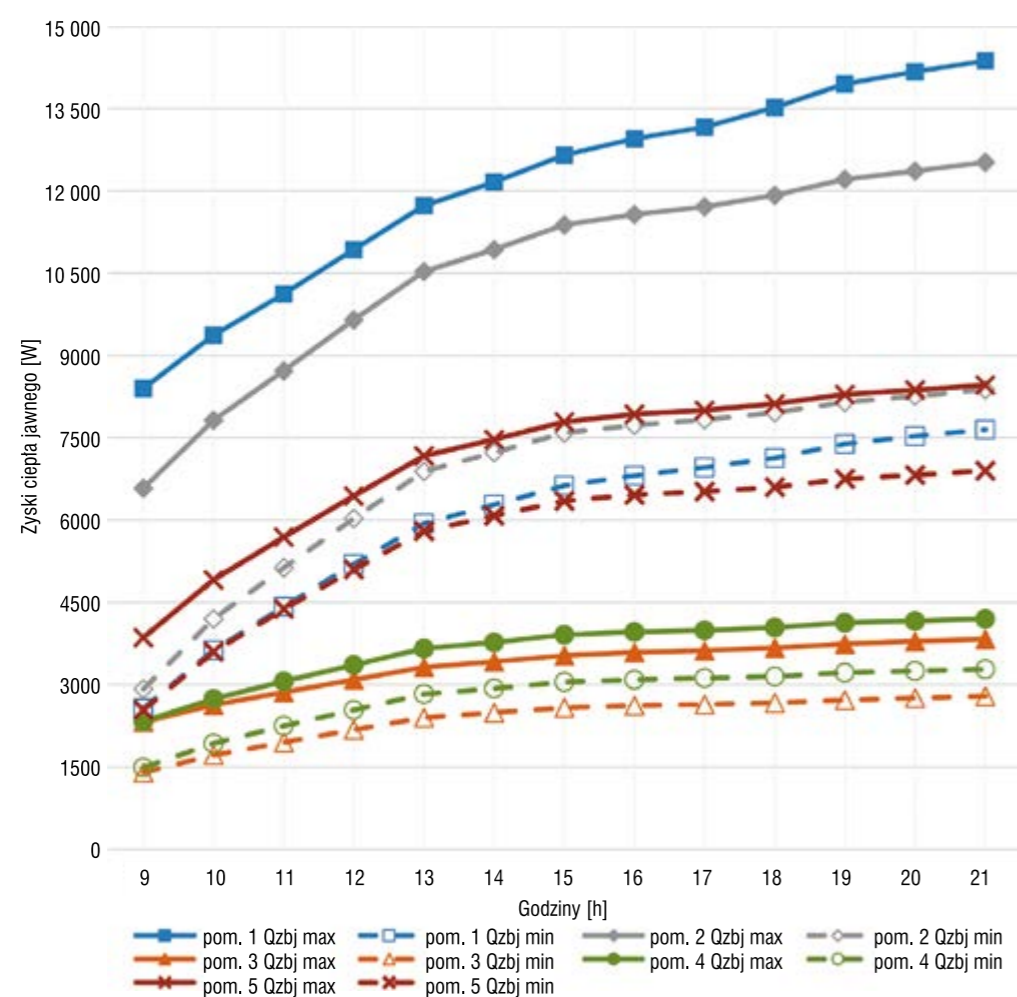
$$N_2 = N_1 \cdot \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^3, \text{ kW}$$

Działanie rozpatrywanych systemów omówiono na podstawie kształtowania komfortu cieplnego w pięciu pomieszczeniach handlowych o różnym przeznaczeniu, zlokalizowanych w galerii handlowej trzeciej generacji, która położona jest w drugiej strefie klimatycznej [11].

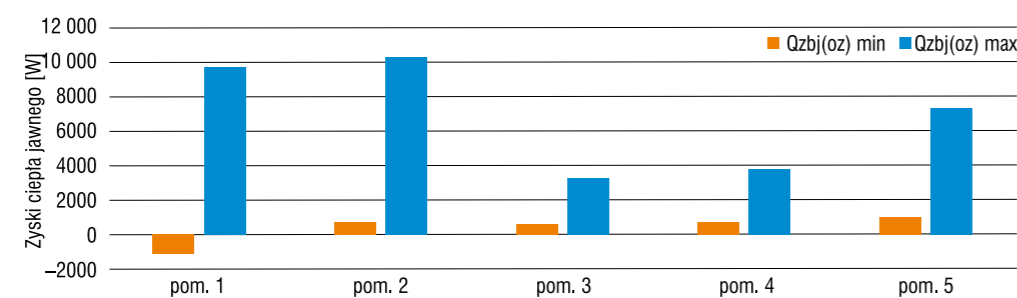
## Charakterystyka obiektu

Analizowane pomieszczenia zlokalizowane są na najwyższej kondygnacji i nie mają zewnętrznych przegród przezroczystych. Pełnią następujące funkcje:

- pomieszczenie 001: sklep odzieżowy o powierzchni ok. 400 m<sup>2</sup>, kubaturze ok. 2210 m<sup>3</sup> i strumieniu powietrza wentylującego 1,32 m<sup>3</sup>/s,



**Rys. 1.** Rozkład maksymalnych i minimalnych bilansów ciepła w poszczególnych pomieszczeniach w godzinach ich użytkowania dla warunków obliczeniowych w lipcu



**Rys. 2.** Maksymalne i minimalne zyski ciepła dla warunków obliczeniowych okresu zimowego

- pomieszczenie 002: księgarnia o powierzchni ok. 234 m<sup>2</sup>, kubaturze ok. 1290 m<sup>3</sup> i strumieniu powietrza wentylującego 1,15 m<sup>3</sup>/s,
- pomieszczenie 003: sklep obuwniczy o powierzchni ok. 60 m<sup>2</sup>, kubaturze ok. 331 m<sup>3</sup> i strumieniu powietrza wentylującego 0,35 m<sup>3</sup>/s,
- pomieszczenie 004: sklep jubilerski o powierzchni ok. 50 m<sup>2</sup>, kubaturze ok. 277 m<sup>3</sup> i strumieniu powietrza wentylującego 1,39 m<sup>3</sup>/s,
- pomieszczenie 005: drogeria o powierzchni ok. 123 m<sup>2</sup>, kubaturze ok. 679 m<sup>3</sup> i strumieniu powietrza wentylującego 0,78 m<sup>3</sup>/s,

Na **rys. 1** przedstawiono chwilowe bilanse ciepła jawnego wydzielanego w czasie użytkowania pomieszczeń dla lipca przy maksymalnych i minimalnych obliczeniowych zyskach ciepła z poszczególnych źródeł, takich jak:

- przegrody nieprzezroczyste, w tym stropodach,
- ludzie,
- oświetlenie,
- wyposażenie w sprzęt elektroniczny.

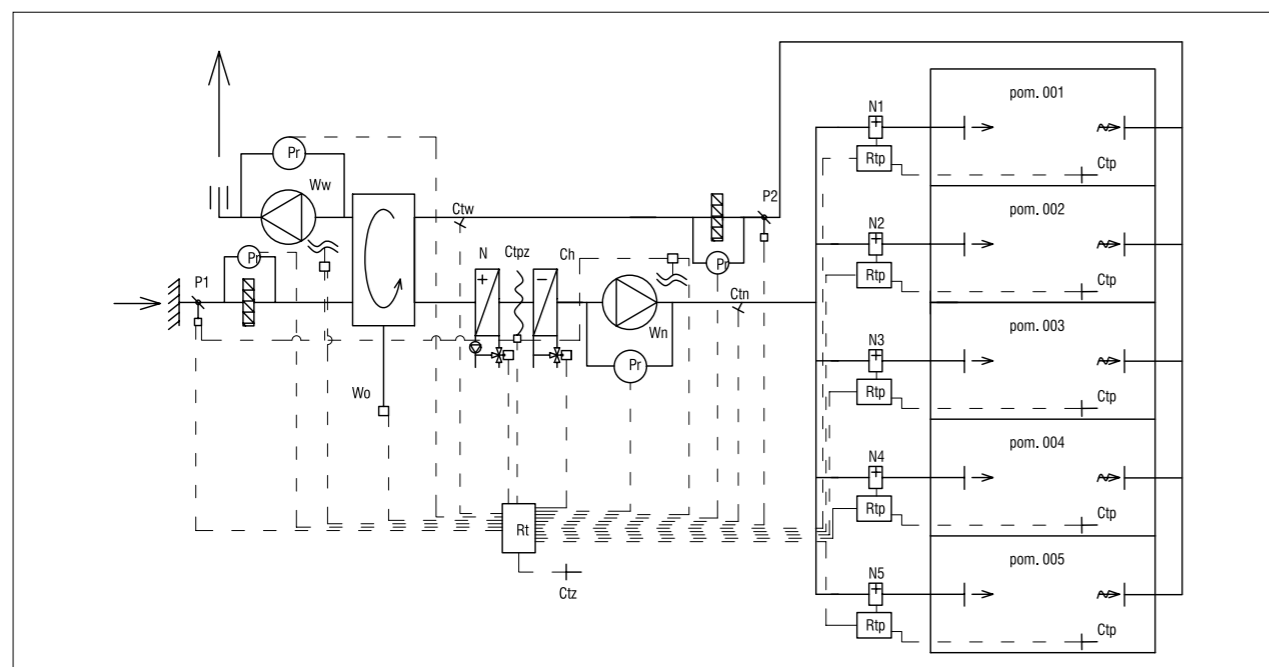
Natomiast na **rys. 2** pokazano zmiany bilansu ciepła w poszczególnych pomieszczeniach użytkowanych w okresie zimowym przy minimalnych i maksymalnych obliczeniowych zyskach ciepła.

Z **rys. 1** wynika, że choć w trakcie użytkowania zyski ciepła w poszczególnych lokalach zmieniają się w podobny sposób, wartości znacznie się różnią. Ponadto należy pamiętać, że w sposób losowy zmieniać się mogą zyski ciepła jawnego od ludzi. Podyktowane jest to porą dnia, roku oraz częstością i atrakcyjnością ofert niżkowych przyciągających klientów. Statyczne straty ciepła w warunkach obliczeniowych są na tyle małe, że w okresie minimalnych zysków w czterech pomieszczeniach utrzymywany jest dodatni bilans ciepła jawnego, co przedstawia **rys. 2**. Przy tak losowo zmieniających się bilansach ciepła jawnego dla każdego pomieszczenia należy indywidualnie kształtować zdolność asymilacyjną powietrza nawiewanego. Można to osiągnąć poprzez regulację jakościową lub ilościowo-jakościową. Regulacja jakościowa charakteryzuje się zmiennymi przyrostami temperatury między powietrzem nawiewanym a wywiewanym przy zachowaniu stałego strumienia powietrza, natomiast w przypadku regulacji ilościowo-jakościowej układ utrzymuje stałą różnicę temperatur, zmniejszając ilość strumienia do minimum – jest to zazwyczaj 60–50% maksymalnego strumienia powietrza nawiewanego do danej strefy i utrzymanie stałego minimalnego strumienia powietrza przy zmiennej różnicy temperatury powietrza wywiewanego i nawiewanego.

## Systemy wentylacyjne

Poniżej omówione zostaną dwa systemy wentylacyjne umożliwiające indywidualne kształtowanie mikroklimatu w każdym pomieszczeniu.

Na **rys. 3** przedstawiono schemat urządzenia wentylacyjnego z otwartym przepływem powietrza, odzyskiem energii z powietrza wywiewanego w wymienniku obrotowym, nagrzewnicami strefowymi i bezpośrednim sterowaniem procesami uzdatniania powietrza. Regulator centralny Rt steruje centralnymi procesami uzdatniania powietrza, takimi jak ogrzewanie w nagrzewnicy centralnej N oraz ochładzanie w chłodnicy przeponowej Ch. Regulatory strefowe Rtp sterują natomiast pracą nagrzewnic strefowych N1, N2, N3, N4, N5. Dzięki ścisłej współpracy regulatorów strefowych Rtp z regulatorem Rt możliwa jest minimalizacja zapotrzebowania na energię do uzdatniania powietrza. W okresie zimowym nagrzewnica N podgrzewa w centrali powietrze do temperatury nawiewu, niezbędnej dla pomieszczenia o najwyższym chwilowym obciążeniu cieplnym. Powietrze do pozostałych stref podgrzewane jest do wymaganej temperatury nawiewu w nagrzewnicach strefowych. W okresie letnim powietrze ochładzane jest centralnie do najniższej wymaganej temperatury nawiewu jednej z obsługiwanych stref, a w pozostałych strefach podgrze-

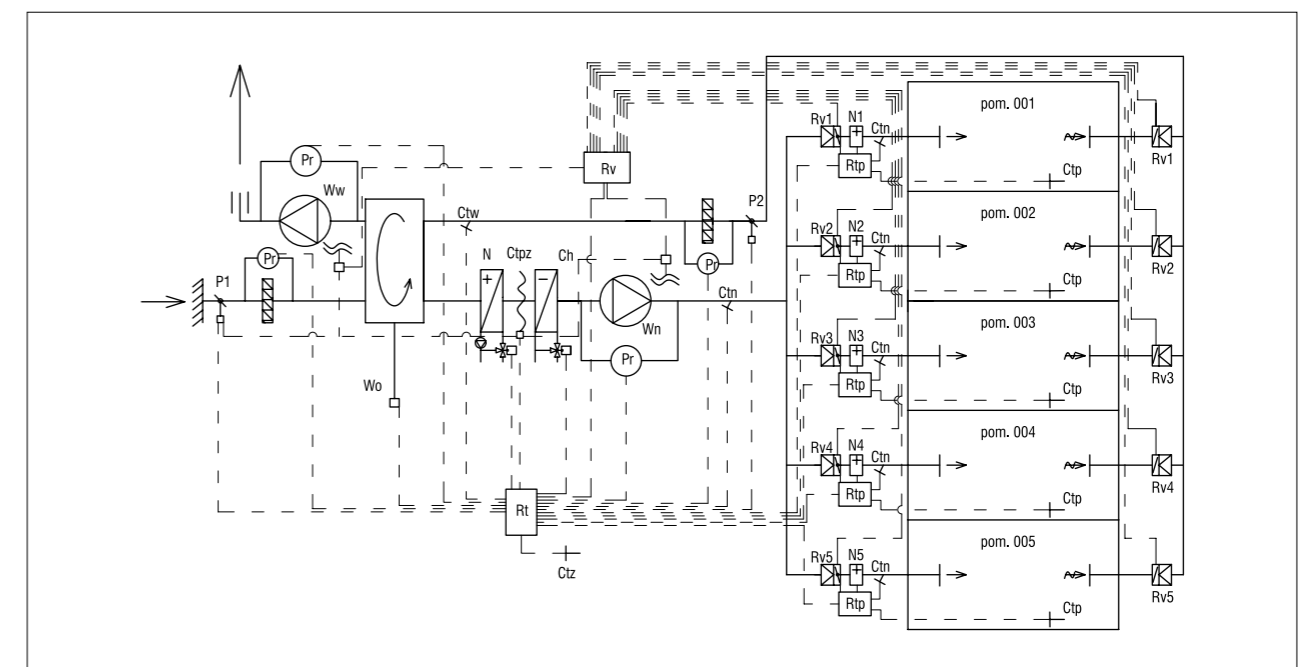


**Rys. 3.** Schemat urządzenia wentylacyjnego ze stałym strumieniem powietrza nawiewanego, odzyskiem energii z powietrza wywiewanego w wymienniku obrotowym, nagrzewnicami strefowymi i regulacją bezpośrednią

**Oznaczenia:** P 1-2 – przepustnica, Wo – wymiennik obrotowy, N – nagrzewnica, Ctpz – kapilara przeciwzamrożeniowa, Ch – chłodnica przeponowa, Wn – wentylator nawiewny, Ctn – czujnik temperatury powietrza nawiewanego, N 1-5 – nagrzewnice strefowe, Ctp – czujnik temperatury powietrza w pomieszczeniu, Rtp – regulator temperatury powietrza w pomieszczeniu, Rt – regulator temperatury, Ctz – czujnik temperatury zewnętrznej, Ctw – czujnik temperatury powietrza wywiewanego, Ww – wentylator wywiewny, Pr – presostat

wane w nagrzewnicach strefowych do odpowiednich temperatur nawiewu. Przy takiej konfiguracji sterowania układem co najmniej jedna nagrzewnica strefowa nie pracuje, co przekłada się na ograniczenie chwilowych mocy grzewczych oraz chłodniczych układu. Zmniejszenie zapotrzebowania na energię można również uzyskać poprzez racjonalne sterowanie jej odzyskiem na wymienniku obrotowym WO. W momencie występowania obliczeniowych temperatur zewnętrznych wymiennik pracuje ze swoją maksymalną sprawnością, natomiast w okresie przejściowym następuje stopniowy spadek jego sprawności [5]. Przykładowy sposób racjonalnego strefowania odzyskiem ciepła przedstawiono na **rys. 5**.

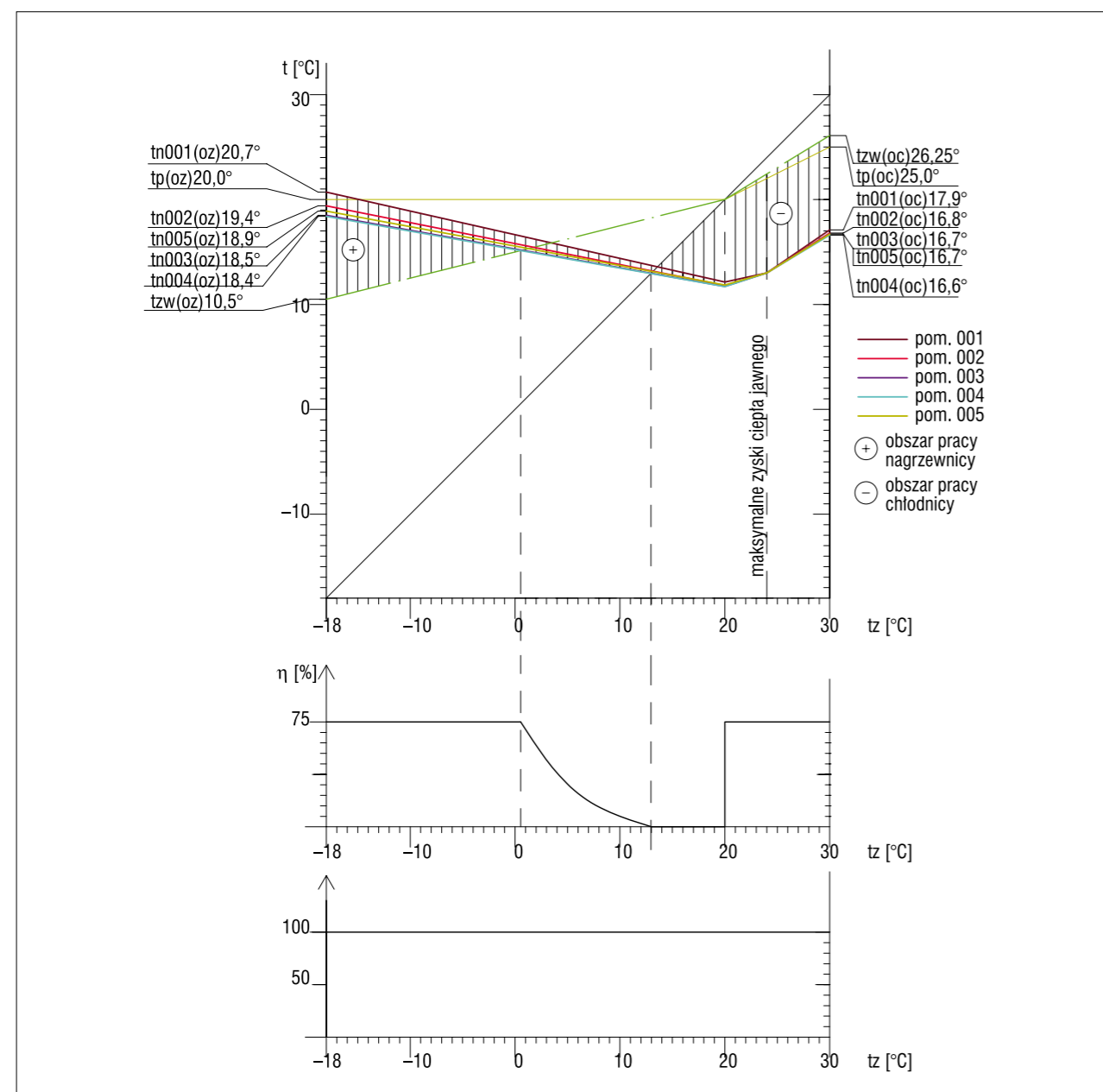
Regulację jakościowo-ilościową powietrza nawiewanego do pomieszczeń przedstawiono na **rys. 4**. Zaproponowano urządzenie wentylacyjne ze zmiennymi strumieniami powietrza wentylującego, odzyskiem energii z powietrza wywiewanego w wymienniku obrotowym ze strefowymi nagrzewnicami oraz regulatorami przepływu z bezpośrednią regulacją procesów uzdatniania i transportu powietrza. Powietrze wentylujące każdą strefę ustawiane jest na regulatorach Rv, sterowanych strefowymi regulatorami Rtp w funkcji różnicy temperatury między powietrzem nawiewanym i w pomieszczeniu, które są mierzone czujnikami temperatury Ctn i Ctp. Kiedy obciążenie cieplne pomieszczeń nie osią-



**Rys. 4.** Schemat urządzenia wentylacyjnego ze zmiennymi strumieniami powietrza wentylującego, odzyskiem energii z powietrza wywiewanego w wymienniku obrotowym, indywidualnymi nagrzewnicami strefowymi i regulatorami przepływu oraz z bezpośrednią regulacją procesów uzdatniania i transportu powietrza

**Oznaczenia:** P 1-2 – przepustnica, Wo – wymiennik obrotowy, N – nagrzewnica, Ctpz – kapilara przeciwzamrożeniowa, Ch – chłodnica przeponowa, Wn – wentylator nawiewny, Ctn – czujnik temperatury powietrza nawiewanego, N 1-5 – nagrzewnice strefowe, Ctp – czujnik temperatury powietrza w pomieszczeniu, Rtp – regulator temperatury powietrza w pomieszczeniu, Rt – regulator temperatury, Ctz – czujnik temperatury zewnętrznej, Ctw – czujnik temperatury powietrza wywiewanego, Ww – wentylator wywiewny, Pr – presostat, Rv 1-2 – regulator zmiennego przepływu, Rv – regulator przepływu

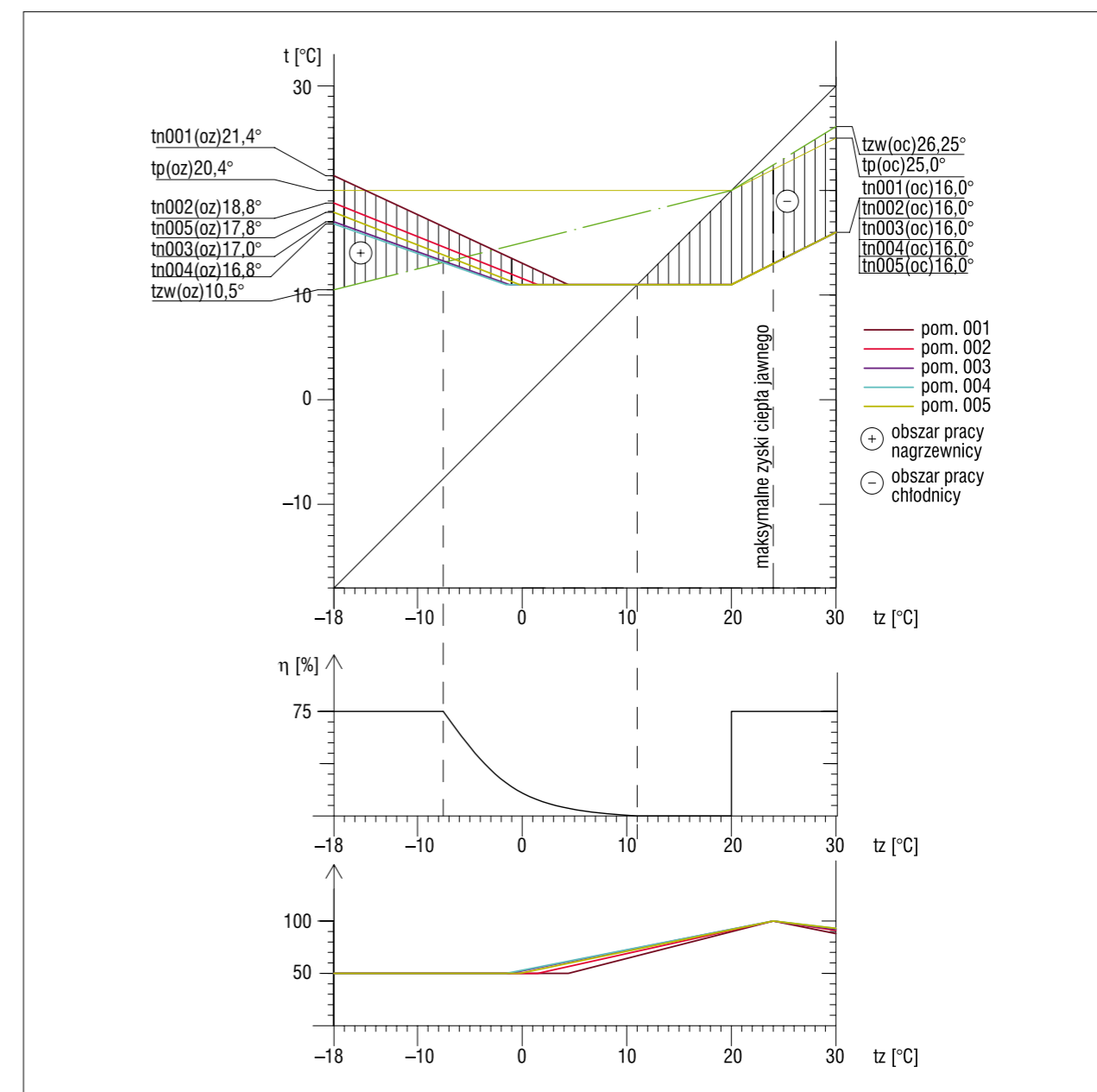
ga najwyższych wartości, utrzymywana jest maksymalna różnica temperatury powietrza nawiewanego w pomieszczeniu poprzez odpowiednie zmniejszanie strumieni powietrza przepływającego przez strefę na regulatorach przepływu  $R_v$ . Parametrami pracy wentylatorów steruje się za pomocą regulatora wydatku  $R_V$ . Regulator przepływu  $R_v$  każdej strefy wysyła sygnał o ustawieniu przepustnic do regulatora  $R_V$ , który steruje prędkością obrotową wentylatorów w taki sposób, aby w co najmniej jednym regulatorze  $R_v$  przepustnice były całkowicie otwarte. W pozostałych regulatorach przepływu  $R_v$  o niższych oporach przepływu przepustnice przysmykają się w celu wyrównania ciśnień. W przypadku uzdatniania ciepłego powietrza następuje podobna jak w schemacie na **rys. 3** korelacja między strefowymi regulatorami temperatury  $R_{tp}$  a centralnym regulatorem  $R_t$  [5].



**Rys. 5.** Wykres t-tz przedstawiający zmiany temperatury powietrza uzdatnianego przy stałym maksymalnym strumieniu powietrza wentylującego

## Całoroczne zapotrzebowanie na energię

W celu oszacowania zapotrzebowania na energię do transportu i uzdatniania powietrza w okresie całorocznym pracę układu przedstawiono na wykresach t-tz (**rys. 5 i 6**). Obrazują one zmiany temperatury powietrza w pomieszczeniu, powietrza nawiewanego oraz temperaturę za centralnymi i strefowymi wymiennikami ciepła w funkcji temperatury zewnętrznej. Ponadto na wykresie przedstawiono optymalną sprawność wymiennika do odzysku w zależności od temperatury zewnętrznej. Na **rys. 5** pokazano wykres t-tz dla urządzenia wentylacyjnego z regulacją jakościową, czyli stałym maksymalnym strumie-



**Rys. 6.** Wykres t-tz przedstawiający zmiany temperatury powietrza uzdatnianego przy zmiennym strumieniu powietrza wentylującego w zakresie 50-100%

niem powietrza wentylującego (rys. 3). Natomiast na rys. 6 przedstawiono wykres t–tz dla układu wentylacyjnego realizującego regulację jakościowo-ilościową (rys. 4).

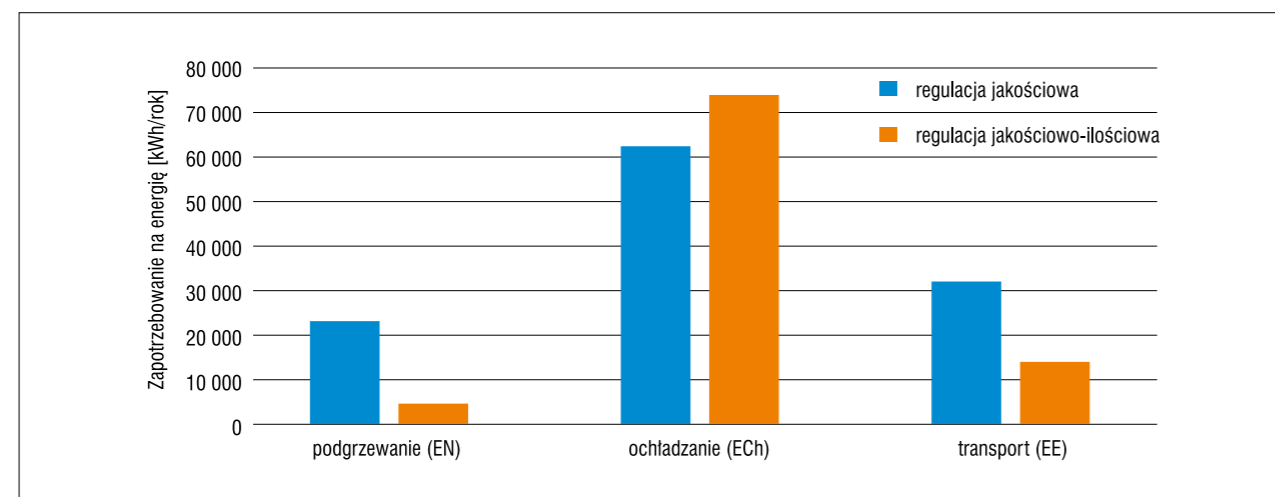
Wykresy te sporządzono, przyjmując:

- maksymalny przyrost temperatury powietrza nawiewanego w pomieszczeniach  $\Delta t_p = 9^\circ\text{C}$ ;
- maksymalną sprawność temperaturową wymiennika do odzysku energii  $\eta_t = 0,75$ .

Z wykresu t–tz przedstawionego na rys. 5 wynika, że w okresie letnim zachodzi konieczność centralnego ochładzania całego strumienia powietrza wentylującego, po czym wymagane jest podgrzanie powietrza w nagrzewnicach strefowych dla czterech z pięciu pomieszczeń.

Dzięki zastosowaniu regulacji jakościowo-ilościowej w znacznie większym zakresie można wykorzystać wymiennik do odzysku ciepła w celu zmniejszenia zapotrzebowania na energię cieplną do uzdatniania strumienia powietrza wentylującego. Jednocześnie w okresie letnim nie zachodzi konieczność ochładzania, a następnie podgrzewania strumieni powietrza w wymiennikach strefowych. Na rys. 6 zamieszczono wykres przedstawiający zmiany strumieni powietrza wentylującego poszczególne pomieszczenia w funkcji temperatury zewnętrznej. W formie wykresu słupkowego przedstawiono zestawienie energii do ogrzewania  $E_{Nr}$ , ochładzania  $E_{Ch}$  oraz transportu powietrza  $E_E$  w cyklu całorocznym, zakładając dwuzmianową pracę urządzeń wentylacyjnych.

Z przedstawionego na rys. 7 zestawienia całorocznego zapotrzebowania na energię do transportu i uzdatniania powietrza wentylującego wynika, że zastosowanie układów ze zmiennym strumieniem pozwala na znaczne ograniczenie ilości energii do podgrzewania i transportu powietrza względem układów ze stałym maksymalnym strumieniem powietrza wentylującego.



Rys. 7. Zapotrzebowanie na energię do uzdatniania i transportu powietrza w cyklu rocznym

## Podsumowanie

Rozpatrywane urządzenia z nagrzewnicami strefowymi, zarówno ze stałym maksymalnym strumieniem powietrza nawiewanego, jak i ze zmiennym strumieniem powietrza wentylującego, są w stanie zapewnić wymagane parametry cieplne w kilku-kilkunastu pomieszczeniach handlowo-usługowych. Jednak zastosowanie wysokosprawnych urządzeń do odzysku ciepła z powietrza wywiewanego oraz zaprojektowanie układu z regulacją jakościowo-ilościową może w dużym stopniu ograniczyć nie tylko moce maksymalne urządzeń takich jak nagrzewnica lub chłodnica, ale również zmniejszyć zapotrzebowanie na energię do uzdatniania i transportu powietrza w cyklu całorocznym. Ponadto w urządzeniach ze zmiennym przepływem powietrza wentylującego ogranicza się czas działania nagrzewnic strefowych, co jest istotne przy zastosowaniu nagrzewnic elektrycznych. Stosowanie zmiennych strumieni powietrza wentylującego pozwala także na zmniejszenie kosztów serwisowo-remontowych związanych z wymianą filtrów, łożysk itp.

inż. Mikołaj Matuszczak

Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska

Literatura: <http://www.goo.gl/qG8USM>

## Określanie średniego strumienia powietrza wentylacyjnego na potrzeby obliczania wskaźnika $EP_{H+W}$

Zmiany do rozporządzenia o warunkach technicznych, które weszły w życie 1 stycznia 2014 r., umożliwiły częściowe wdrożenie wymagań dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Dla nowo projektowanych budynków konieczne jest jednocześnie spełnienie wymagań: cząstkowych – wyrażonych przez maksymalną wartość współczynnika przenikania ciepła ( $U_{C(max)}$ ) dla przegród oraz globalnych dla budynku – określonych przez maksymalną wartość obliczeniową wskaźników cząstkowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną:  $EP_{H+W}$  na potrzeby ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej,  $\Delta EP_C$  na potrzeby chłodzenia i  $\Delta EP_L$  na potrzeby oświetlenia.

Wymagania globalne, obowiązujące od dnia wejścia nowych przepisów [1] w życie do 31 grudnia 2016 r., zawiera **tabela 1**.

Wraz z podaniem nowych wymagań warunki techniczne [1] precyzyjnie wskazują na metodę służącą do obliczania składowych cząstkowych EP. Zgodnie z § 328 jest nią rozporządzenie w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej [2]. Metoda obliczeniowa podana w tym rozporządzeniu oparta jest na standardowym sposobie użytkowania i wykorzystuje uśrednione w czasie wielkości parametrów mających wpływ na charakterystykę energetyczną budynków, np. zużycie ciepłej wody użytkowej, wewnętrzne zyski ciepła czy uśredniony w czasie strumień powietrza wentylacyjnego. Ponieważ taki sposób obliczeń budzi pewne kontrowersje, szczególnie w porównaniu z uprzednio obowiązującą

Rodzaj budynku	Wartości maksymalne, kWh/(m <sup>2</sup> rok)		
	$EP_{H+W}$	$\Delta EP_C$	$\Delta EP_L$ <sup>1)</sup>
Budynek mieszkalny: jednorodzinny wielorodzinny	120 105	$10 \cdot A_{f,C}/A_f$	0
Budynek zamieszkania zbiorowego	95	$25 \cdot A_{f,C}/A_f$	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$
Budynek użyteczności publicznej: opieki zdrowotnej pozostałe	390 65		
Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	110		

$A_{f,C}$  – powierzchnia użytkowa chłodzona budynku, m<sup>2</sup>;  $A_f$  – powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku, m<sup>2</sup>;  $t_0$  – czas działania oświetlenia w ciągu roku, h.

<sup>1)</sup> Wskaźnika nie wyznacza się dla budynków mieszkalnych.

**Tabela 1.** Wymagania globalne dla budynków zgodnie z aktualnymi warunkami technicznymi [1]

metodą obliczania charakterystyki energetycznej, należy zdać sobie sprawę, że obliczeniowa wartość EP nie służy do zobrazowania stanu projektowego budynku, ale pokazuje wartość osiąganą przez budynek dla uśrednionego sposobu użytkowania. Oznacza to, że w czasie obliczeń charakterystyki energetycznej źródłem części parametrów nie jest projekt budynku, ale wartości uśrednione odzwierciedlające stan eksploatacji.

Mając to na uwadze, można stwierdzić, że nowy budynek musi osiągnąć wartości wskaźników EP nie większe od podanych w warunkach technicznych [1] dla obliczeń przeprowadzonych zgodnie z rozporządzeniem w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej [2].

### Obliczenia wg rozporządzenia w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej

Składową obliczeń, mającą istotny wpływ na wynik końcowy wskaźnika  $EP_{H+W}$ , jest całkowita ilość ciepła przeniesionego ze strefy ogrzewanej przez wentylację. Wielkość tę wyznacza się dla każdego obliczeniowego miesiąca zgodnie z załącznikiem nr 1, pkt 5.2.3.2 rozporządzenia [2]:

$$Q_{ve,s,n} = H_{ve,s} \cdot (\theta_{int,s,H} - \theta_{e,n}) \cdot t_M \cdot 10^{-3}, \text{ kWh/mies.}$$

Wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego jest składową współczynnika przeniesienia ciepła przez wentylację ze strefy ogrzewanej  $H_{ve,s}$  opisanego wzorem:

$$H_{ve,s} = 1200 \cdot \sum_k b_{ve,k} \cdot V_{ve,k,n} \text{ W/K}$$

gdzie:

$V_{ve,k,n}$  – uśredniony w skali miesiąca strumień powietrza zewnętrznego  $k$  w strefie ogrzewanej;

$b_{ve,k}$  – czynnik korekty temperatury dla strumienia powietrza zewnętrznego  $k$ .

Stosując metodę obliczeniową wg [2], obie powyższe wartości należy wyznaczać zgodnie z pkt 5.5.1. Metody obliczania współczynnika przeniesienia ciepła przez wentylację prezentowano już szczegółowo na łamach „Rynku Instalacyjnego” (np. [15, 16]), warto też zajrzeć do tekstu źródłowego [2].

Dalszym rozważaniom towarzyszyć będą obliczenia wykonane dla budynku mieszkalnego wielorodzinnego o następujących parametrach:

- powierzchnia ogrzewana strefy obliczeniowej (mieszkania) ( $A_f$ ) – 1450 m<sup>2</sup>,
- kubatura wentylowana strefy obliczeniowej (mieszkania) ( $V$ ) – 3760 m<sup>3</sup>,
- projektowany strumień powietrza wentylacyjnego w strefie ( $q_{vexhreq}$ ) – 2300 m<sup>3</sup>/h,
- wentylatory usytuowane na zewnątrz budynku,
- w instalacji wentylacyjnej zaprojektowano przewody o klasie szczelności B,

- pole powierzchni przewodów instalacji wentylacyjnej  $A_{\text{duct}} = 130 \text{ m}^2$ , w tym pole powierzchni przewodów położonych wewnątrz budynku  $A_{\text{indoorduct}} = 123,5 \text{ m}^2$ ,
- budynek charakteryzuje się średnią klasą osłaniania i ma dwie wyeksponowane fasady ( $e = 0,07$ ;  $f = 15$ ),
- w budynku zaprojektowano system wentylacji mechanicznej wywiewnej o działaniu ciągłym, sterowany lokalnie wg zapotrzebowania.

Zgodnie z punktem 5.5.1 rozporządzenia [2] współczynnik przenoszenia ciepła przez wentylację wyniesie:

$$H_{\text{ve}} = 1200 \cdot (V_{\text{ex}} + V_{\text{x,ex}})$$

gdzie:

$V_{\text{ex}}$  – średni podstawowy strumień powietrza w strefie ogrzewanej spowodowany pracą wentylacji mechanicznej wywiewnej; dla budynku z przykładu wynosi  $0,464 \text{ m}^3/\text{s}$ ,

$V_{\text{x,ex}}$  – średni dodatkowy strumień powietrza zewnętrznego infiltrującego przez nieszczelności przy pracy wentylatorów spowodowany działaniem wiatru i waporu termicznego w pomieszczeniach, obliczony zgodnie z PN-EN ISO 13789 [3] ze wzoru:

$$V_{\text{x,ex}} = \frac{V \cdot n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left[ \frac{V_{\text{ex}}}{V \cdot n_{50}} \right]^2}$$

Wartość  $n_{50}$  stosowana do obliczeń dla budynku projektowanego wynosi zgodnie z rozporządzeniem [2]  $4 \text{ h}^{-1}$ . Średni dodatkowy strumień powietrza infiltrującego dla strefy (mieszkania) wyniesie  $0,082 \text{ m}^3/\text{s}$ . Przeprowadzając obliczenia zgodnie z podanym w tekście wzorem, należy pamiętać, że wielkość  $V_{\text{ex}}$  powinna być wyrażona w  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Należy także zauważyć, że PN-EN ISO 13789 [3] proponuje alternatywny sposób określania strumienia objętości powietrza wentylacyjnego w stosunku do PN-EN 15242 [6], który zostanie omówiony w dalszej części artykułu. Metoda ta w przypadku wentylacji mechanicznej oparta jest na projektowych wartościach strumienia i do tych wartości odnoszą się oznaczenia we wzorach. Ponieważ rozporządzenie w sprawie metodologii [2] odnosi się do średnich wartości strumienia, wydaje się merytorycznie poprawne, by korzystając ze wzorów podanych w załączniku C normy PN-EN ISO 13789 [3], użyte tam wielkości  $V_1$  i  $V_2$  odnosić do średnich wartości dla nawiewu i wywiewu. Wyjaśnienie to jest istotne, ponieważ metoda obliczeń charakterystyki energetycznej obowiązująca do 3 października 2014 r. opierała się na projektowych wielkościach strumienia powietrza.

Autor często spotyka się z praktyką, stosowaną przez wcale nie małą grupę certyfikatorów, przyjmowania do obliczeń wskaźnika EP dla budynku nowego wartości współczynników  $n_{50}$  zgodnych z zalecanymi przez rozporządzenie [1]. Praktyka taka wymaga

komentarza. Punkt 2.3 załącznika nr 2 rozporządzenia [1] zaleca projektowanie i wykonywanie elementów budynków pod kątem osiągnięcia całkowitej szczelności. Dalej w tym punkcie podawane są zalecane wartości wskaźnika  $n_{50}$  w zależności od rodzaju instalacji wentylacyjnej w budynku. Dodatkowo rozporządzenie zaleca wykonanie próby szczelności po zakończeniu budowy i, w domyśle, doprowadzenie do zalecanej szczelności, o ile wynik próby okaże się gorszy od wartości założonej.

Abstrahując od tego, że zalecenia nie są obowiązujące, trzeba zdecydowanie stwierdzić, że nie istnieją metody projektowania budynku pozwalające uzyskać określony wskaźnik szczelności  $n_{50}$ . Przede wszystkim dlatego, że wartość ta zależy od jakości wykonania prac budowlano-instalacyjnych. Przyjmowanie do obliczeń charakterystyki energetycznej *ad hoc* wartości z rozporządzenia [1] jest pozbawione uzasadnienia, a także niezgodne z obowiązującymi przepisami. Jeśli bowiem uznać, że na etapie projektowym stosowane są rozwiązania, które w połączeniu z rzetelnym wykonaniem prac mają przynieść efekt w postaci określonej wartości wskaźnika  $n_{50}$ , integralną częścią procesu budowy powinno być wykonanie próby szczelności, a w przypadku uzyskania wartości niższej od projektowanej poprawa i doprowadzenie budynku do założonej szczelności. Tylko takie postępowanie mogłoby uzasadnić przyjęcie do obliczeń wskaźnika EP konkretnej wartości  $n_{50}$ . Wszystkie te rozważania nie mają jednak zastosowania w przypadku budynku nowo projektowanego, gdyż zgodnie z rozporządzeniem [2] wartość wskaźnika  $n_{50}$  może być określona wyłącznie w efekcie przeprowadzenia próby szczelności, a tę dla budynku nieistniejącego w rzeczywistości nie sposób przeprowadzić. Dla takich przypadków nakaz przyjęcia wartości  $n_{50} = 4 \text{ h}^{-1}$  jest bezdyskusyjny.

### Obliczenia w oparciu o normy

W zakresie obliczania uśrednionego w czasie strumienia powietrza zewnętrznego  $k$  oraz czynnika korekty temperatury dla tego strumienia rozporządzenie w sprawie metodologii [2] pozwala na alternatywne korzystanie z metody obliczeniowej podanej w PN-EN ISO 13790 [4]. Zgodnie z pkt 9.3.1 tej normy średnia wartość w czasie natężenia przepływu strumienia powietrza  $k$  powinna być obliczona zgodnie ze wzorem:

$$q_{\text{ve,k,nn}} = f_{\text{ve,t,k}} \cdot q_{\text{ve,k}}$$

gdzie:

$f_{\text{ve,t,k}}$  – część czasu działania elementu strumienia powietrza  $k$ , obliczona jako część liczby godzin w ciągu doby (pełny czas:  $f_{\text{ve,t,k}} = 1$ ), określona zgodnie z odpowiednią normą podaną w Załączniku A;

$q_{\text{ve,k}}$  – natężenie strumienia powietrza elementu  $k$ , określone zgodnie z odpowiednią normą podaną w Załączniku A,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

k – reprezentuje każdy z odpowiednich elementów strumienia powietrza, taki jak infiltracja powietrza, naturalna wentylacja, mechaniczna wentylacja i/lub ekstra wentylacja na chłodzenie nocne.

Jako właściwe do obliczania strumienia powietrza załącznik A wskazuje normy PN-EN 15241 [5] i PN-EN 15242 [6]. Norma dotycząca metody obliczania strat energii spowodowanych wentylacją i infiltracją powietrza [5] opisuje wpływ systemów wentylacji na zużycie energii w budynkach, opierając się na określonych wcześniej wielkościach strumienia, dlatego w dalszej części artykułu nie będzie omawiana.

Z kolei w normie [6] zawarto metody obliczeniowe wyznaczania strumieni objętości powietrza w budynkach z uwzględnieniem infiltracji. Norma ta powstała w ramach opracowywanego przez CEN pakietu dokumentów pomocnych w obliczeniach charakterystyki energetycznej budynków. Dokument omawia metody obliczeniowe dla instalacji wentylacji mechanicznej, naturalnej i hybrydowej oraz przypadki szczególne, tj. przepływ powietrza infiltrującego, ilość powietrza na potrzeby spalania oraz w wyniku otwierania okien.

Szczegółowe omówienie sposobów obliczania wszystkich systemów wentylacji wymagałoby odrębnego artykułu, dlatego dalsze rozważania poświęcone będą wentylacji mechanicznej wywiewnej, podobnie jak dla przedstawionej wcześniejszej metody obliczeniowej według rozporządzenia w sprawie metodologii [2]. Wszystkich zainteresowanych poznaniem szczegółowych metody obliczeniowych dla innych systemów oraz przypadków szczególnych odsyła się do tekstu normy [6].

Przepływ powietrza wywiewanego ze strefy w przypadku wentylacji mechanicznej oblicza się ze wzoru:

$$q_{\text{vexh}} = \frac{q_{\text{vexhreq}} \cdot C_{\text{cont}} \cdot C_{\text{indoorleak}} \cdot C_{\text{rec}}}{\varepsilon_v}$$

gdzie:

$q_{\text{vexhreq}}$  – projektowa wartość strumienia powietrza usuwanego z pomieszczeń znajdujących się w obrębie tej samej strefy,

$\varepsilon_v$  – efektywność wentylacji,

$C_{\text{indoorleak}}$  – współczynnik szczelności w przypadku ustawienia centrali wentylacyjnej wewnątrz i na zewnątrz budynku,

$C_{\text{rec}}$  – współczynnik recyrkulacji,

$C_{\text{cont}}$  – współczynnik zależny od miejscowej regulacji przepływu powietrza.

Efektywność wentylacji wyraża stosunek stężenia zanieczyszczeń w powietrzu wywiewanym do ich stężenia w powietrzu w strefie oddychania ludzi, co można zapisać następująco:

$$\varepsilon_v = \frac{c_{\text{ETA}} - c_{\text{SUP}}}{c_{\text{IDA}} - c_{\text{SUP}}}$$

gdzie:

$c_{\text{ETA}}$  – stężenie zanieczyszczenia w powietrzu wywiewanym,

$c_{\text{SUP}}$  – stężenie zanieczyszczenia w powietrzu nawiewanym,

$c_{\text{IDA}}$  – stężenie zanieczyszczenia w strefie przebywania ludzi.

Wskaźnik ten odzwierciedla przede wszystkim skuteczność rozmieszczenia w pomieszczeniu elementów instalacji, nawiewnych i wywiewnych. Może przyjmować wartości większe lub mniejsze od 1, zależnie od występowania tzw. krótkich spięć w systemie wentylacji. Wartość standardowa równa 1 odpowiada idealnemu wymieszaniu powietrza.

Efektywność wentylacji może być oceniana w zależności od układu instalacji lokalnie, dla jednego pomieszczenia, albo centralnie – dla grupy pomieszczeń. Stanowi ona dobry wskaźnik jakości powietrza wewnętrznego.

Istnieją metody określania efektywności oddzielnie dla nawiewu i wywiewu. Dokładne jej określenie jest możliwe przy zastosowaniu złożonych programów symulacyjnych lub, w przypadku istniejących budynków, badań z użyciem gazów znacznikowych. Więcej informacji na ten temat znaleźć można m.in. w [7, 8 i 9].

Na potrzeby obliczeń  $EP_{\text{H+W}}$  ocena efektywności wentylacji wiązać się będzie z całą strefą. W przypadku budynków mieszkalnych wyposażonych w system wentylacji mechanicznej wywiewnej stężenie zanieczyszczeń w powietrzu wywiewanym będzie zawsze równe lub większe niż w strefie przebywania ludzi. Oczywiście przy ocenie poszczególnych mieszkań efektywność wentylacji będzie różna – w zależności od rozmieszczenia elementów nawiewnych i wywiewnych, rodzaju badanego zanieczyszczenia oraz ocenianego pomieszczenia.

Dla dalszych rozważań dotyczących budynków mieszkalnych, gdzie w skład jednej strefy ogrzewanej wchodzi wszystkie mieszkania, przyjęcie wartości  $\varepsilon_v = 1$  należy uznać za poprawne.

Współczynnik recyrkulacji  $C_{\text{rec}}$  stosuje się do instalacji o zmiennym strumieniu powietrza. Uwzględnia on konieczność doprowadzenia większej ilości powietrza zewnętrznego, niż jest to wymagane, i obliczany jest z zależności:

$$C_{\text{rec}} = \frac{1}{1 + \frac{\left( \sum_i q_{\text{v-req}(i)} \right)}{\left( \sum_i q_{\text{v-sup}(i)} \right)}} \cdot \frac{1}{1 - \max_i \left( \frac{q_{\text{v-req}(i)}}{q_{\text{v-sup}(i)}} \right)}$$

gdzie:

$q_{\text{v-req}(i)}$  – wymagany strumień objętości powietrza zewnętrznego w pomieszczeniu i,

$q_{\text{v-sup}(i)}$  – rzeczywisty strumień objętości powietrza nawiewanego do pomieszczenia i.



Ponieważ w instalacji wentylacji mechanicznej wywiewnej nie występuje recyrkulacja, współczynnik  $C_{rec}$  zostanie pominięty w dalszych rozważaniach.

Współczynnik nieszczelności  $C_{indoorleak}$  dla wentylatorów ustawionych na zewnątrz budynku, określa się z zależności:

$$C_{indoorleak} = 1 + R_{indoorduct} \cdot (1 - C_{ductleak})$$

gdzie:

$R_{indoorduct}$  – stosunek pola powierzchni przewodu położonego wewnątrz budynku do całkowitego pola powierzchni przewodów instalacji wentylacyjnej,

$C_{ductleak}$  – współczynnik nieszczelności przewodów, obliczany ze wzoru:

$$C_{ductleak} = 1 + \frac{q_{vductleak} \cdot \epsilon_v}{q_{vexhreq} \cdot C_{cont} \cdot C_{syst}}$$

gdzie:

$C_{syst}$  – współczynnik uwzględniający dokładność projektowania systemu w zależności od opisu elementów składowych (współczynnik bezpieczeństwa), wyrażający fakt, że nie jest możliwe dokładne zapewnienie określonego strumienia powietrza, gdy wartość ta stanowi wymagane minimum. W zależności od decyzji projektanta współczynnik przyjmuje wartości  $\geq 1$ ,

$q_{vductleak}$  – strumień objętości powietrza przepływającego przez nieszczelności przewodów wentylacyjnych, wyrażony w  $m^3/h$ , obliczany z zależności:

$$q_{vductleak} = A_{duct} \cdot K \cdot dP_{duct}^{0,65} \cdot 3600$$

gdzie:

$A_{duct}$  – pole powierzchni przewodów obliczone zgodnie z PN-EN 14239 [10],  $m^2$ ;

$K$  – szczelność powietrzna przewodu odniesiona do 1 Pa, wyznaczona dla przewodów okrągłych zgodnie z PN-EN 12237 [11], a dla przewodów prostokątnych zgodnie z PN-EN 1507 [12],  $m^3/(s \cdot m^2)$ ;

$dP_{duct}$  – różnica ciśnienia między wnętrzem przewodu i otaczającym powietrzem, Pa.

Ponieważ wymagania krajowe odnoszą się do strumieni powietrza wentylacyjnego wyrażonych w  $m^3/h$ , wzór na obliczanie  $q_{vductleak}$

podano dla takiej samej jednostki.

Norma PN-EN 14239 [10] podaje przykłady obliczania pola powierzchni dla przewodów i kształtek instalacji wraz z zestawieniem wartości jednostkowych, wyrażonych w  $m^2/m$ , dla przewodów okrągłych o śred-

Klasa szczelności	K, $m^3/(s \cdot m^2)$
Wartość standardowa = 2,5 × klasa A	0,0000675
Klasa A	0,000027
Klasa B	0,000009
Klasa C lub lepsza	0,000003

**Tabela 2.** Szczelność powietrzna przewodów [11, 12]

nicach nominalnych od 63 do 1250 mm oraz prostokątnych w zakresie od 100×200 do 1200×2000 mm. Szczelność powietrzną przewodów K podano w **tabeli 2**.

Współczynnik  $C_{cont}$  stanowi stosunek rzeczywistego przepływu powietrza w danym czasie do wartości projektowej. Powinien być obliczany na podstawie sprawności układu regulacji i może być odniesiony do całkowitego bilansu energii pomieszczenia. Wartość współczynnika może się zmieniać w zależności od zmieniających się warunków zewnętrznych i wewnętrznych (tj. warunki klimatyczne, sposób użytkowania pomieszczeń itd.)

Najdokładniej wartość współczynnika  $C_{cont}$  może być określona na podstawie symulacji przy zastosowaniu programów komputerowych, np. CONTAM, TRNSYS (TRNFLOW), AIRNET, BREEZE i in. Należy zaznaczyć, że w przypadku niektórych programów końcowym wynikiem symulacji może być już wartość uśrednionego w czasie strumienia powietrza wentylacyjnego. Na marginesie warto dodać, że wartość strumienia dla budynku określona dzięki programowi może uwzględniać również strumień infiltracyjny.

Projektanci stosujący w budynku dane rozwiązanie techniczne, określając wartość współczynnika  $C_{cont}$  mogą skorzystać z danych producenta systemu wentylacji. Jeśli informacje takie są niedostępne, można się posługiwać wartościami podanymi w rozporządzeniu Komisji UE w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla systemów wentylacyjnych [13]. Podane tam dane zestawiono w **tabeli 3**.

Warto w tym miejscu zauważyć, że rozporządzenie w sprawie metodologii [2] określa domyślną wartość współczynnika  $C_{cont}$  dla instalacji wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej ze sterowaniem automatycznym lub ręcznym jako 0,75. W rozporządzeniu tym współczynnik został oznaczony jako  $r_n$ .

Obliczanie naturalnego przepływu powietrza przez powłokę budynku wg normy PN-EN 15242 [6] dla instalacji wentylacji naturalnej i hybrydowej należy wykonywać metodą iteracyjną, której zastosowanie wymaga indywidualnego określania strumienia przepływu powietrza dla każdego elementu powłoki budynku (tj. nieszczelności, naturalne wloty powietrza). Te czasochłonne obliczenia najlepiej wykonywać, korzystając z programu komputerowego.

W przypadku wentylacji mechanicznej obliczenia mogą być dokonywane z zastosowaniem uproszczonej metody bezpośredniej.

Rodzaj sterowania systemu	Współczynnik $C_{cont}$ *)
Ręczne – bez sterowania według zapotrzebowania	1,00
Czasowe – bez sterowania według zapotrzebowania	0,95
Centralne według zapotrzebowania	0,85
Lokalne według zapotrzebowania	0,65

\*) Dla porządku należy zaznaczyć, że w [13] współczynnik  $C_{cont}$  został oznaczony jako CRS

**Tabela 3.** Wymagania dla systemów wentylacyjnych [13]

Przepływ powietrza przez powłokę budynku ( $q_{v-inff}$ ) w wyniku działania wyporu termicznego ( $q_{v-stack}$ ) i wiatru ( $q_{v-wind}$ ) oblicza się z poniższych zależności:

$$q_{v-stack} = 0,0027 \cdot n_{50} \cdot \frac{V}{A} \cdot (h_{stack} \cdot |\Theta_e - \Theta_i|)^{0,667}$$

$$q_{v-wind} = 0,0143 \cdot n_{50} \cdot \frac{V}{A} \cdot (0,75 \cdot v_{site}^2)^{0,667}$$

gdzie:

V – kubatura wentylowana, m<sup>3</sup>;

A – pole powierzchni powłoki budynku, m<sup>2</sup>;

$h_{stack}$  – obliczeniowa wysokość przyjmowana jako 0,7 wysokości strefy;

$\Theta_e$  – temperatura zewnętrzna, °C;

$\Theta_i$  – temperatura wewnętrzna, °C;

$v_{site}$  – lokalna prędkość wiatru, określona w tabeli 4, m/s.

gdzie:

$v_{meteo}$  – prędkość wiatru dla najbliższej stacji meteorologicznej, m/s.

Sumaryczny wpływ wiatru i wyporu termicznego ( $q_{v-sw}$ ) określa się następująco:

$$q_{v-sw} = \max(q_{v-stack}, q_{v-wind}) + \frac{0,7527 \cdot A \cdot q_{v-stack} \cdot q_{v-wind}}{n_{50} \cdot V}$$

Dla instalacji z równymi strumieniami powietrza nawiewanego ( $q_{v-supply}$ ) i wywiewanego ( $q_{v-ext}$ ) do strefy strumień powietrza infiltrującego oblicza się z zależności:

$$q_{v-inf} = \max(0; -q_{v-diff}) + q_{v-sw}$$

gdzie:

$$q_{v-diff} = q_{v-supply} - q_{v-ext} + q_{v-comb}$$

gdzie:  $q_{v-comb}$  – strumień powietrza ze względu na spalanie w paleniskach.

Dla instalacji o nierównych wartościach strumieni powietrza przepływających przez strefę do obliczeń strumienia powietrza infiltrującego stosuje się skorygowaną zależność:

$$q_{v-inf} = \max(0; q_{v-sw} - q_{v-inffred})$$

gdzie:

$q_{v-inffred}$  – zmiana strumienia infiltrującego na skutek powstającego w strefie nadciśnienia lub podciśnienia, obliczana ze wzoru:

$$q_{v-inffred} = \max \left( q_{v-sw} \left[ q_{v-stack} \cdot \frac{|q_{v-diff}|}{2} + \frac{q_{v-wind} \cdot 2 \cdot \frac{|q_{v-diff}|}{3}}{q_{v-stack} + q_{v-wind}} \right] \right)$$

Na potrzeby obliczeń miesięcznych wskaźnika  $H_{ve}$  należy wyznaczyć średni strumień powietrza infiltrującego, z zachowaniem udziałów czasowych poszczególnych stanów (co najmniej stan użytkowania i nieużytkowania strefy oraz pięć prędkości wiatru). Porównanie wielkości podstawowego strumienia powietrza obliczonego wg dwóch różnych metod wskazuje, że strumień w strefie (mieszkania) obliczony zgodnie z rozporządzeniem w sprawie metodologii [2] wynosi 0,464 m<sup>3</sup>/s, a strumień w strefie (mieszkania) obliczony zgodnie z normą PN-EN 15242 [6] 0,415 m<sup>3</sup>/s.

Różnica pomiędzy dwiema metodami obliczeń może okazać się istotna w przypadku konieczności spełnienia przez budynek wymagań w zakresie  $EP_{H+W}$  postawionych w warunkach technicznych [1].

## Podsumowanie

Metoda obliczeniowa przedstawiona w normie PN-EN 15242 [6] może się okazać ciekawą alternatywą dla projektantów budynków. Pozwala na bardziej rzeczywiste przedstawienie uśrednionej pracy instalacji wentylacyjnej. Z tego powodu można ją polecić również do stosowania przez wykonujących obliczenia na potrzeby sporządzenia świadectwa charakterystyki energetycznej budynku. Mniejsze obliczeniowe strumienie powietrza wentylacyjnego oznaczają po prostu mniejsze zużycie energii. Ponieważ zgodnie z art. 13 ustawy o charakterystyce energetycznej budynków [14] w przypadku reklamy towarzyszącej sprzedaży albo najmowi budynku lub części budynku należy podać wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową, mniejszy strumień pozwoli na uzyskanie mniejszego wskaźnika EK. Nikogo nie trzeba przekonywać, że mniejszy wskaźnik, odzwierciedlający mniejsze zużycie energii, będzie wpływał pozytywnie na odbiór reklamy.

**Marcin Gasiński**

Aereco

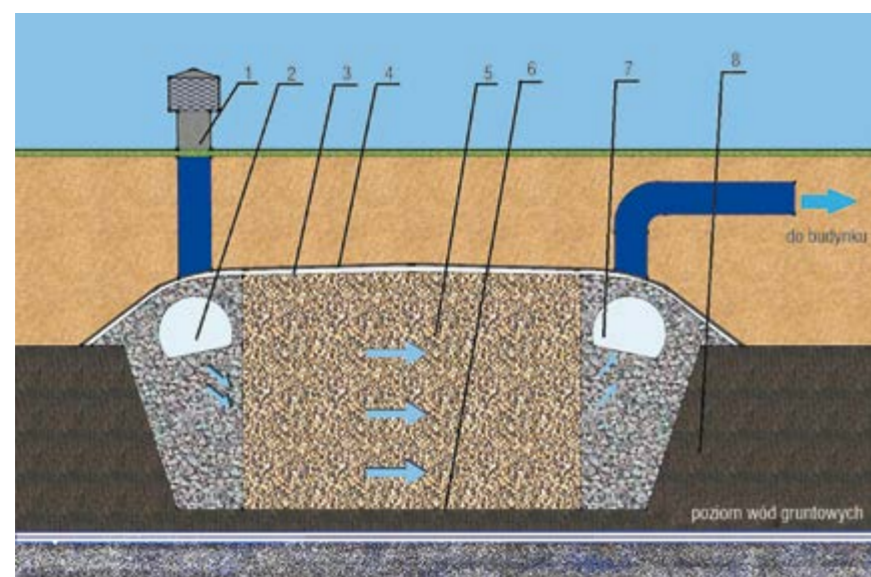
**Literatura:** <http://www.goo.gl/dA3r6C>

## Bezprzeponowe powietrzne gruntowe wymienniki ciepła w układach wentylacji mechanicznej

*Powietrzne bezprzeponowe gruntowe wymienniki ciepła powodują zmianę temperatury i wilgotności oraz poprawiają jakość higieniczną powietrza, a także chronią rekuperator w centrali wentylacyjnej przed zjawiskiem szronienia. Są jednym z elementów wpływających na energooszczędność systemów wentylacyjnych i zaleca się je do stosowania w budynkach niskoenergetycznych.*

Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła zapewnia skuteczną wymianę i świeże powietrze bez względu na porę roku i warunki pogodowe. Jest ona obecnie standardem w galeriach handlowych, biurowcach czy budynkach użyteczności publicznej, a także coraz częściej stosowana jest w budynkach mieszkalnych, zarówno jedno-, jak i wielorodzinnych. Wentylacja mechaniczna umożliwia realizację odzysku ciepła z powietrza usuwanego: świeże powietrze nawiewane do budynku jest wstępnie podgrzewane ciepłem odebranych z powietrza usuwanego, co obniża koszty ogrzewania. Dodatkowe oszczędności energii i pieniędzy, ale również zabezpieczenie przed szronieniem wymiennika odzysku ciepła w centrali wentylacyjnej można uzyskać, stosując powietrzne gruntowe wymienniki ciepła, które wykorzystują ciepło gruntu.

W literaturze znaleźć można wiele artykułów dotyczących powietrznych wymienników ciepła. W znacznej większości dotyczą one wymienników rurowych (np. [18]), są artykułami przeglądowymi (np. [22]), skupiają się na bardzo szczegółowych kwestiach



**Rys. 1.** Konstrukcja powietrznego gruntowego wymiennika ciepła typu żwirowego: 1 – czerpnia, 2 – przewód doprowadzający powietrze, 3 – izolacja termiczna, 4 – izolacja wilgociowa, 5 – złożo żwirowe, 6 – geowłóknina, 7 – przewód zbierający powietrze, 8 – grunt rodzimy

Rys. autorów

związanych z projektowaniem, takich jak np. równomierność rozdziału powietrza, straty ciśnienia w układach wielorurowych czy znaczenie charakterystyk przepływowych dla wydajności energetycznej (np. [2, 3, 4, 5, 6, 7, 9]), dotyczą wpływu parametrów gruntu na wydajność GWC (np. [8]) lub wybranego, konkretnego rozwiązania wymiennika (np. [10, 11, 12, 13]).

Ze względu na budowę powietrzne gruntowe wymienniki ciepła można podzielić na przeponowe (powietrze przepływa np. w rurze z tworzywa sztucznego lub w kanale betonowym ułożonym w gruncie, nie kontaktując się bezpośrednio z gruntem) i bezprzeponowe (powietrze ma bezpośredni kontakt z gruntem). W artykule przedstawiono przegląd wybranych rozwiązań wymienników bezprzeponowych.

### Zasada działania

Powietrzne gruntowe wymienniki ciepła (PGWC) wykorzystują energię zakumulowaną w gruncie oraz zjawisko występowania względnie stałej temperatury gruntu na głębokości ok. 1,0–2,5 m pod powierzchnią terenu w ciągu całego roku. W warunkach klimatycznych Polski temperatura gruntu na głębokości 6–8 m pod powierzchnią terenu wynosi ok 10°C ( $\pm 1,5^\circ\text{C}$ ), a na głębokości 1,0–2,5 m ok. 4–8°C [19]. Dzięki temu powietrze zewnętrzne po przepłynięciu przez PGWC zimą ulega podgrzaniu, a latem ochłodzeniu, zmniejszając zapotrzebowanie na ciepło i chłód dla budynku.

W okresie letnim schłodzone powietrze z PGWC trafiające do centrali wentylacyjnej można kierować przez obejście wymiennika odzysku ciepła, aby ograniczyć możliwość jego niepożądanego podgrzania przy przepływie przez centralę. Dawniej stosowano również tzw. wkład letni zastępujący wymiennik ciepła w centrali wentylacyjnej, jednak było to rozwiązanie niewygodne i wymagające dodatkowego zaangażowania użytkownika. W świetle rozporządzenia UE w sprawie wykonania wymogów ekoprojektu dla systemów wentylacyjnych [21] wszystkie obecnie produkowane centrale wentylacyjne powinny zostać wyposażone w układ obejścia wymiennika ciepła.

Powietrzne gruntowe wymienniki ciepła można podzielić na przeponowe i bezprzeponowe. W przypadku przeponowych PGWC przepływające powietrze oddzielone jest od gruntu ścianką rury lub kanału – przepływa od czerpni do budynku w szczelnych przewodach wykonanych np. z rur tworzywowych o długości ok. 35–50 m, zakopanych na głębokości ok. 1,0–2,5 m [9], pozwalając na uzyskanie od 30 do 70 W ciepła z metra bieżącego przewodu [14].

Z uwagi na zjawisko wykraplania się pary wodnej na zimnej ścianie takiego wymiennika w okresie letnim [6] nadają się one w szczególności do przygotowywania powietrza dla pomieszczeń wilgotnych i z dużymi zyskami wilgoci (np. baseny, siłownie, kuchnie,

obieralnie itp.) – intensywność wykraplania jest niezależna od wilgotności samego gruntu. Koszty wykonania wymiennika przeproponowego są wyższe niż wykonania wymiennika bezprzeponowego żwirowego [17] i zależą od wielu czynników, m.in. od tego, czy konieczne jest wykonywanie dodatkowego wykopu, czy wymiennik jest układany pomiędzy fundamentami budynku [18] oraz od zastosowanego materiału przewodu.

W przypadku bezprzeponowych PGWC przepływające powietrze ma bezpośredni kontakt z gruntem. Wśród tego typu wymienników występują różne konstrukcje, np. wymienniki żwirowe, płytowe, modułowe.

## Konstrukcje wymienników bezprzeponowych

### Żwirowe wymienniki ciepła

Żwirowe wymienniki ciepła składają się ze złoża żwirowego, przewodu dostarczającego powietrze do złoża oraz przewodu odprowadzającego powietrze ze złoża do budynku (rys. 1).

Budowa wymiennika polega na: wykonaniu wykopu o przekroju prostokątnym i odpowiedniej głębokości, wyłożeniu ścian wykopu geowłókniną, częściowym zasypaniu wykopu płukanym żwirem o granulacji ok. 40–60 mm, ułożeniu przewodu rozprowadzającego i zbierającego po przeciwnych stronach złoża, przysypaniu złoża żwirem, przykryciu go warstwą izolacji termicznej i wilgociowej z zapasem ok. 1,5 m z każdej strony i przykryciu wymiennika warstwą humusu. Geowłóknina ma za zadanie oddzielić złożo płukanego żwiru od gruntu rodzimego oraz innych niepożądanych elementów mogących wpłynąć na jakość lub przepływ powietrza. Zastosowanie izolacji termicznej poprawia warunki pracy wymiennika, gdyż jest on mniej podatny na zmiany temperatury otoczenia nad nim. Izolację termiczną i przeciwwilgociową wykonuje się z zapasem ok. 1,5 m i spadkiem na zewnątrz złoża, aby infiltrujące wody opadowe mogły spływać w głąb gruntu poza obrysem wymiennika. W przypadku gdy poziom wód gruntowych znajduje się wysoko, możliwe jest wykonanie nasypu w celu umiejscowienia złoża na mniejszej głębokości, tak aby nie był zagrożony przsiąkaniem wód gruntowych. Jednak nie zawsze taki zabieg jest możliwy do wykonania i nie zawsze rozwiązuje problem wysokiego stanu wód gruntowych, wskazywanego jako podstawowy mankament stosowania bezprzeponowych wymienników w stosunku do wymienników rurowych.

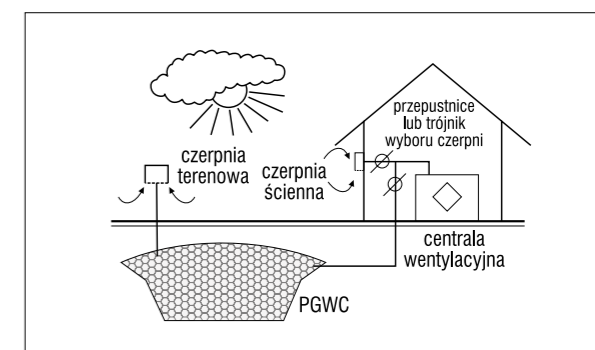
Powietrze zasysane przez czerpnię (rys. 1) trafia do przewodu rozprowadzającego i przepływa przez warstwy wypełnienia wymiennika. Czerpnię należy ulokować w miejscu oddalonym od ulic i parkingów, aby unikać zanieczyszczeń. W lecie powietrze przepływające przez złożo żwirowego GWC ochładza się, a także następuje wykroplenie pary wodnej zawartej w powietrzu w wyniku dużo niższej temperatury gruntu od temperatury

powietrza – zazwyczaj niższej od temperatury punktu rosy w warunkach letnich. Trafiające do budynku powietrze jest ochłodzone do temperatury 14–20°C oraz osuszone. Nawiewanie do pomieszczeń powietrza o niższej temperaturze i wilgotności ogranicza nagrzewanie się pomieszczeń i eliminuje odczucie duszności, co w znacznym stopniu poprawia komfort w budynku. Drugą zaletą wykraplania się pary wodnej w złożu jest jego czyszczenie. Woda spływająca przez złożo wypłukuje z niego zanieczyszczenia napływające wraz z powietrzem, a następnie wsiąka w grunt, dzięki czemu złożo ma właściwości samoczyszczące, które zapewniają wysoką jakość higieniczną powietrza. Opcjonalnie można wykonać w górnej warstwie złoża instalację zraszającą, która będzie dodatkowo je przepłukiwać oraz zwiększać wilgotność powietrza w zimie.

W okresie zimowym przy temperaturach zewnętrznych –18°C żwirowy PGWC podnosi temperaturę powietrza do ok. 0–5°C [14] oraz zwiększa jego wilgotność, co redukuje mankament wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, która przy dużych strumieniach powietrza wentylacyjnego przesusza powietrze w okresie zimowym. Oprócz korzyści wynikających ze zmian temperatury i wilgotności powietrza, żwirowe PGWC poprawiają higieniczną jakość powietrza.

Złożo żwirowe ma właściwość akumulacji energii cieplnej, co niweluje wahania temperatury powietrza nawiewanego, która utrzymuje się na względnie stałym poziomie podczas danej pory roku. W okresach przejściowych, tj. wiosną i jesienią, wentylowanie budynku powietrzem przepływającym przez wymiennik jest mniej korzystne energetycznie niż powietrzem zewnętrznym bez dodatkowej obróbki, ponieważ powietrze jest wówczas niepotrzebnie ochładzane w gruncie. Żeby tego uniknąć, należy zamontować przed centralą wentylacyjną przepustnicę (rys. 2) lub tzw. trójnik wyboru czerpni, które w okresie przejściowym sprawia, że świeże powietrze pobierane będzie z czerpni naściennej.

Specjalną konstrukcją żwirowego wymiennika ciepła jest bezprzeponowy gruntowy wymiennik ciepła i masy (BGWCiM) według patentu Politechniki Wrocławskiej. Zakłada on wykorzystanie ciepła znajdującego się w gruncie na głębokości 45 m, gdzie występuje temperatura ok. 10°C [11]. Wymiennik ten [10] składa się z podobnych elementów jak opisano powyżej. Badania przeprowadzone po 18 latach eksploatacji [11] wykazały, że w BGWCiM możliwe jest w ciągu lata osuszenie i ochłodzenie powietrza o 10–12 K, a w okresie zimowym nawilżenie i podgrzanie o 18 K, co umożliwia pozyskanie do 100%



**Rys. 2.** Układ czerpni ściennej, terenowej i przepustnic stosowany w celu możliwości wyboru powietrza korzystniejszego pod względem temperatury (szczególnie w okresie przejściowym) Rys. autorów

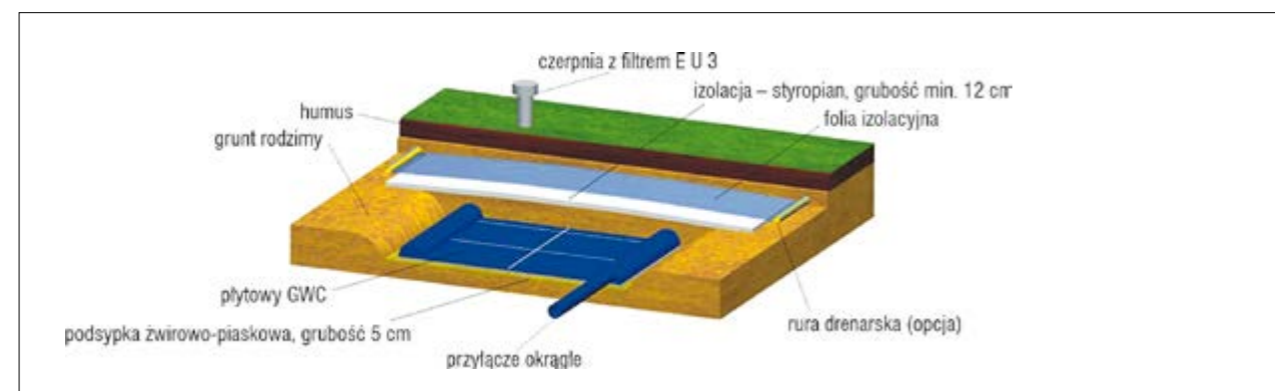
zapotrzebowania na chłód latem i do 50% zapotrzebowania na ciepło zimą. Zauważono również zmienną efektywność pracy w pewnych okresach – spowodowaną akumulacyjną własnością złoża żwirowego, powodującą powolną zmianę jego temperatury.

W celu określenia temperatury powietrza, jaką można otrzymać w danej porze roku, podzielono rok na kwartały, rozpoczynając od grudnia, i z wykorzystaniem wyników badań opracowano wykresy wartości temperatury powietrza za wymiennikiem w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego dla każdego z nich. Po 14 latach eksploatacji przeprowadzono badania jakości powietrza wypływającego z GWC, na podstawie których stwierdzono, że powietrze po przepłynięciu przez wymiennik zawiera o wiele mniej komórek drobnoustrojów niż powietrze przed GWC. Całkowita liczba bakterii na wlocie wynosiła 10 615, a grzybów 3485, natomiast po przepływie przez wymiennik liczba bakterii zmalała do 680, a grzybów do 1231. Przeprowadzono również badania dotyczące zawartości radonu w powietrzu: przyjęto jego stężenie w powietrzu zewnętrznym rzędu 14,8 Bq/m<sup>3</sup>, a w badanym powietrzu za wymiennikiem uzyskano taki sam wynik, co oznacza, że nie nastąpił wzrost stężenia. Podsumowując wyniki badania, ogólna liczba bakterii zmniejszyła się o 93%, grzybów o 65%, nie wystąpił wzrost stężenia radonu [12].

### Płytowe gruntowe wymienniki ciepła

Kolejnym przykładem bezprzeponowego wymiennika ciepła są wymienniki płytowe, np. Provent-Geo (**rys. 3, fot. 1**). Ich konstrukcja znacznie różni się od wymienników żwirowych. Przepływ powietrza następuje w modularnych płytach wykonanych z PE lub PP o takiej budowie, która zapewnia bezpośredni kontakt powietrza z gruntem pod płytami.

Wymiennik jest instalowany na warstwie ok. 5 cm podsypki żwirowo-piaskowej, na której ułożone są moduły płytowe połączone z przewodami rozprowadzającym i zbierającym powietrze, prowadzonymi ze spadkiem w kierunku wymiennika w celu odprowadzenia skroplin do gruntu. Następnie wykonuje się minimum 12 cm izolację termiczną z płyt styropianowych z zachowaniem marginesów na zewnątrz obrysu wymiennika,



**Rys. 3.** Konstrukcja płytowego wymiennika ciepła Provent-Geo [23]

a bezpośrednio na płytach styropianowych układa folię jako izolację przeciwwilgociową i przysypuje gruntem rodzimym do żądanej wysokości. Poprzez zastosowanie odpowiedniej izolacji termicznej oraz niewielkiej grubości płyt i warstwy żwirowej wymiennik ten można wykonać na głębokości już 0,7 m. Ułatwia to rozwiązanie problemu wysokiego poziomu wód gruntowych, których obecność może uniemożliwiać przepływ powietrza przez wymiennik. Konstrukcja urządzenia zapewnia regularny przepływ powietrza przez całą powierzchnię wymiennika, a prawidłowo dobrana izolacja termiczna umożliwia osiągnięcie temperatury 13–17°C na wyjściu z GWC przy temperaturach zewnętrznych 25–32°C, co, jak podano w [12], może zapewnić 100% zapotrzebowania na chłód w okresie letnim przy bardzo niskich kosztach eksploatacyjnych.



**Fot. 1.** Widok powietrznego gruntowego wymiennika ciepła Pro-Vent [23]

Straty ciśnienia w wymienniku płytowym zależą od wartości strumienia przepływającego powietrza i w opisywanym GWC wynoszą od 45 Pa przy strumieniu objętości powietrza 400 m<sup>3</sup>/h do 80 Pa przy strumieniu 2000 m<sup>3</sup>/h.

Atutem tego typu wymiennika jest możliwość ciągłej pracy bez potrzeby wykonywania przerw w celu regeneracji złoża. W okresie letnim, kiedy temperatura powietrza zewnętrznego w nocy jest niższa, do regeneracji wystarczy zwykle nieprzerwana praca wymiennika w okresie nocnym. Z higienicznego punktu widzenia ciągła praca wymiennika ogranicza możliwość rozwoju drobnoustrojów osadzających się w złożu. Badania wykonane przez Wojewódzką Stację Epidemiologiczną w Opolu [23] potwierdziły skuteczność oczyszczania powietrza przez wymiennik płytowy i pokazały, że ogólna liczba bakterii zmniejszyła się z 350 CFU/m<sup>3</sup> na wlocie do wymiennika do 50 CFU/m<sup>3</sup> na wylocie.

### Modułowe gruntowe wymienniki ciepła

Kolejną konstrukcją powietrznego gruntowego bezprzeponowego wymiennika ciepła jest wymiennik modułowy typu Geostrong (**fot. 2**). Składa się z modułów o wymiarach 210×120 cm wykonanych z PE lub PP. W odróżnieniu od wcześniej omawianego wymiennika, moduły nie składają się z równoległych płyt, ale z 8 przewodów o przekroju półokrągłym o średnicy wewnętrznej 11,5 cm. Ciekawym elementem modułów są przetłoczenia wykonane na każdym kanale. Pierwszy ich rodzaj to przetłoczenia spiralne wypukłe do wewnętrznej strony przewodu, które powodują zawirowanie powietrza wokół

osi przewodu, poprawiając kontakt powietrza stykającego się z gruntem. Drugim rodzajem są wytłoczenia (karby) znajdujące się w górnej części przewodu, których zadaniem jest zaburzenie przepływu i intensyfikacja wymiany ciepła [23]. Na każdym przewodzie w module znajduje się 9 wytłoczeń spiralnych i 6 karbów rozłożonych na całej jego długości.



Fot. 2. Widok powietrznego gruntowego wymiennika ciepła Geostrong [23]

Ważną cechą wymiennika Geostrong jest jego wytrzymałość na nacisk. Jest ona różna w zależności od sposobu wypełnienia przestrzeni nad wymiennikiem oraz rodzaju gruntu i możliwości przeniesienia obciążeń przez grunt. Jeśli wymiennik zostanie zasypany warstwą piasku 25 cm, jego wytrzymałość będzie wynosić ok. 25 t/m<sup>2</sup>. Wypełnienie wymiennika do górnej części przewodów betonem zwiększy wytrzymałość do ok. 337 t/m<sup>2</sup>, a zalanie betonem na wysokość 2 cm powyżej jego górnej krawędzi i zastosowanie siatki zbrojeniowej zwiększa wytrzymałość do 430 t/m<sup>2</sup>. Zalanie betonem, oprócz przenoszenia obciążeń, sprzyja akumulacji ciepła. Wzmocniony wymiennik można zainstalować nawet w przypadku ograniczonej przestrzeni do montażu – pod parkingami, chodnikami czy podjazdami. Istnieje również możliwość umiejscowienia go w obrysie fundamentów (pod budynkiem) bez obawy o jego zniszczenie, jednak należy zwrócić szczególną uwagę na możliwość cieplnej interakcji wymiennika z budynkiem, a co za tym idzie, konieczność wykonania skutecznej izolacji termicznej pomiędzy wylewką betonową nad wymiennikiem a posadzką oraz izolacji fundamentów po stronie wewnętrznej.

Wymiennik tego typu jest w stanie podgrzać powietrze wentylacyjne zimą do temperatury powyżej 1°C, natomiast latem schłodzić je do temperatury nie wyższej niż 17°C [23]. Ponieważ wymiennik jest bezprzeponowy, występuje w nim nawilżanie powietrza zimą i osuszanie latem.

### Podsumowanie

Powietrzne bezprzeponowe gruntowe wymienniki ciepła powodują zmianę temperatury i wilgotności oraz poprawiają jakość higieniczną powietrza, a także chronią rekuperator w centrali wentylacyjnej przed zjawiskiem szronienia. Są jednym z elementów wpływających na energooszczędność systemów wentylacyjnych i zaleca się je do stosowania w budynkach niskoenergetycznych [1].

Wyniki badań pokazują, że COP gruntowych przeponowych wymienników ciepła osiąga wartość większą niż 20 (COP > 20), podczas gdy dla gruntowych pomp ciepła COP ≈ 4

[15]. W dostępnej literaturze nie znaleziono wyników badań COP wymienników bezprzeponowych, jednak z uwagi na podobny zakres oporów przepływu można się spodziewać osiągnięcia podobnych wartości. Wynika to z niskiego poboru energii potrzebnej do pracy PGWC. Koszt eksploatacji systemów z PGWC to jedynie cena energii, którą pobiera wentylator, aby pokonać dodatkowe opory przepływu przez gruntowy wymiennik ciepła, co przy wykorzystaniu energooszczędnych wentylatorów z silnikami elektronicznie komutowanymi (EC) [23] stanowi niewielką kwotę. Różne konstrukcje gruntowych wymienników ciepła umożliwiają ich montaż pod parkingami, chodnikami i budynkami, co umożliwia zastosowanie nawet w przypadku ograniczonej powierzchni terenu.

Bezprzeponowe gruntowe wymienniki ciepła cechują się większą powierzchnią wymiany ciepła niż rurowe i mogą nawilżać powietrze w okresie zimy, co pozytywnie wpływa na zdrowie użytkowników oraz stan elementów drewnianych w pomieszczeniach. O popularności tych urządzeń świadczy duża liczba artykułów na temat ich eksploatacji oraz ofert producentów i wykonawców, prezentujących na swoich stronach internetowych wiele zrealizowanych zleceń, zarówno w budynkach jednorodzinnych, jak i obiektach użyteczności publicznej i innych.

Artykuł oprac. na podst. referatu wygłoszonego podczas  
II Ogólnopolskiej Studenckiej Konferencji Budowlanej BUDMIKA 2015,  
Poznań, 22–24 kwietnia 2015

**inż. Krzysztof Chmielewski**

Koło Naukowe Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej

**dr inż. Łukasz Amanowicz**

Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska

**Literatura:** <http://www.goo.gl/JRWAZ6>

## Wentylatory – wymagania i oczekiwania dotyczące efektywności

Współczesnym wentylatorom przeznaczenia ogólnego stawia się wymagania prawne dotyczące efektywności energetycznej. Ważne jest, by zużywały jak najmniej energii, i temu celowi podporządkowane są zarówno wymogi unijne (dyrektywa ErP i rozporządzenia wykonawcze), jak i krajowe (warunki techniczne dla budynków).

Wymagania wobec wentylatorów, które mogą być wprowadzane na rynek Unii Europejskiej, określa dyrektywa 2009/125/WE [1]. Szczegółowe wymagania sformułowane są w rozporządzeniach (**tabela 1**). Unijne rozporządzenia stawiają konkretne zalecenia zarówno w stosunku do silników wentylatorów, jak i samych urządzeń. Należy zwrócić uwagę, że:

- wymagania unijne co do zasady będą zaostrzane. Najbliższa zmiana kryteriów czeka „systemy wentylacyjne” – od 2018 roku. Komisja Europejska przewiduje także wyższe wymagania dla silników. Ponieważ nie ma konkretnych propozycji nowelizacji odpowiedniego rozporządzenia, mało prawdopodobne, by zmiany weszły w życie w 2018;
- to, co branża wentylacyjna nazywa „wentylatorem”, w ujęciu prawa unijnego może być zarówno „wentylatorem”, jak i „systemem wentylacyjnym”.

	Silniki	Wentylatory	Systemy wentylacyjne
Podstawa prawna	Rozporządzenie Komisji (WE) nr 640/2009 z 22 lipca 2009 r. [2]	Rozporządzenie Komisji (UE) nr 327/2011 z 30 marca 2011 r. [3]	Rozporządzenie Komisji (UE) 1253/2014 z 7 lipca 2014 r. [4]
Ogólny opis obowiązujących wymagań	Od 2017 r. silniki o mocach od 0,75 do 375 kW muszą być klasy IE3 lub IE2 z bezstopniowym regulatorem prędkości (np. falownikiem)	Od 2015 r. wentylatory muszą mieć określoną sprawność minimalną	Od 2016 r. systemy wentylacyjne muszą mieć określoną sprawność minimalną i silnik o napędzie wielobiegowym
Ogólny opis przyszłych wymagań	Brak harmonogramu. Przykładowe założenia: wymagania objęłyby silniki o mocy od 0,2 kW do 1 MW, także te przeznaczone do użytku w strefach zagrożonych wybuchem. Nie będzie można stosować silników IE2 z regulacją prędkości	Brak założeń	Od 2018 r. zaostrzenie wymagań co do sprawności minimalnej

**Tabela 1.** Wymagania dla silników i wentylatorów

### Najważniejsze silniki?

Wentylator jako całe urządzenie musi spełniać określone kryteria, jednak ich podstawą jest stosowanie odpowiednich silników. Rozporządzenie 640/2011/WE [2], obowiązujące od 2011 roku, stopniowo rozszerza katalog urządzeń, które muszą mieć odpowiednią klasę sprawności IE. Klasy IE (International Efficiency) zdefiniowane zostały w normie IEC

60034-30-1 [5]. Minimalne sprawności w danej klasie zależą od częstotliwości napięcia zasilania, liczby biegunów i mocy silnika, natomiast nie zależą od technologii wykonania.

Kolejna ewolucja wymagań nastąpiła wraz z początkiem 2017. Silniki o mocach od 0,75 do 375 kW muszą mieć klasę sprawności energetycznej IE3 (Premium Efficiency) albo – jeśli są wyposażone w bezstopniowy regulator prędkości (np. falownik) – IE2 (High Efficiency).

Warto podkreślić, że choć nie jest jeszcze znany harmonogram dalszych obostrzeń, po przeglądzie prawa dokonanym w 2014 roku Komisja Europejska zamierza objąć wymaganiami rozporządzenia wykluczone z niego dotychczas silniki przeznaczone do eksploatacji wyłącznie w przestrzeniach zagrożonych wybuchem zgodnie z definicją z dyrektywy 94/9/WE [6] oraz silniki hamujące. Nastąpi też dalsze poszerzanie grup urządzeń, do których stosuje się ostrzejsze wymagania – małe silniki o mocy 120–750 W miałyby mieć klasę co najmniej IE2, a duże silniki o mocy 375–1000 kW i napięciu znamionowym do 1000 V klasę IE3 (nie byłoby już możliwe stosowanie urządzeń klasy IE2 z regulatorem). Można ostrożnie szacować, że od podania szczegółów zmian do ich wprowadzenia mija co najmniej 1,5 roku, więc w zakładanym przez KE 2018 roku raczej nie należy oczekiwać nowych regulacji. Warto jednak mieć na uwadze szczególnie wymóg dotyczący rozwiązań w wykonaniu przeciwwybuchowym.

### Wentylator czy system wentylacyjny

W świetle przepisów nie jest to wcale oczywiste. Śledząc definicje wentylatorów i systemów wentylacyjnych z dyrektywy i rozporządzeń, można sformułować wskazówkę praktyczną.

Wentylatory, które mają obudowę (*housing*) wokół wirnika wentylatora – wliczają się do niej również takie elementy, jak kierownice powietrza oraz króćce wlotowe i wylotowe oraz dyfuzor, natomiast wszystkie elementy demontowane na czas pomiarów już się do tej obudowy nie wliczają (np. siatka ochronna) – podlegają rozporządzeniu 327/2011 (dla wentylatorów). Wentylatory o dodatkowej obudowie (*casing*) – w praktyce przede wszystkim wentylatory dachowe i *box units* – podlegają rozporządzeniu 1253/2014 [4] (dla systemów wentylacyjnych).

### Wymagania dla wentylatorów

Dyrektywa definiuje wentylator jako urządzenie składające się z dyszy, wirnika i silnika, jak również wszelkich elementów sterujących. Pasują tu typowe wentylatory promieniowe lub osiowe, które muszą spełniać warunek sprawności minimalnej. Sprawność wentylatora ( $\eta_{sw}$ ) jest funkcją mocy wentylatora i wynosi

- $6,2\% \cdot \ln(P) + 35\%$  dla  $P \leq 30$  kW;

Typ wentylatora	Kategoria pomiarowa (A-D)	Kategoria sprawności	Przedział mocy (P) w kW	Docelowa sprawność energetyczna	Współczynnik sprawności (N)
Osioły	A, C	statyczna	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{target} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	40
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{target} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	całkowita	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{target} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{target} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
Promieniowy o łopatkach wygiętych do przodu oraz promieniowy o łopatkach promienistych	A, C	statyczna	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{target} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	44
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{target} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	całkowita	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{target} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	49
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{target} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
Promieniowy o łopatkach wygiętych do tyłu bez obudowy	A, C	statyczna	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{target} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	62
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{target} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Promieniowy o łopatkach wygiętych do tyłu w obudowie	A, C	statyczna	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{target} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	61
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{target} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
	B, D	całkowita	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{target} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	64
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{target} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
O przepływie mieszanym	A, C	statyczna	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{target} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	50
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{target} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
	B, D	całkowita	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{target} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	62
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{target} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Poprzeczny	B, D	całkowita	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{target} = 1,14 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	21
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{target} = N$	

Tabela 2. Wymagane sprawności minimalne [4]

- 56,1% dla  $P > 30$  kW.

Jak pokazuje **tabela 2**, wymagana sprawność minimalna różni się w zależności od typu wirnika i sposobu montowania (wentylatory promieniowe czy osiowe, łopatki zakrzywione do przodu czy do tyłu etc.). Widać m.in., że wysoką sprawność muszą mieć urządzenia z łopatkami zakrzywionymi do tyłu.

Z wymagań rozporządzenia wyłączone są wentylatory do zastosowań specjalnych:

- oddymiające jednobiegowe przeznaczone wyłącznie do tego celu (uwaga: Jeśli tego typu wentylator pracuje jako dwufunkcyjny, tj. do wentylacji bytowej i krótkiego oddymiania w warunkach pożarowych, musi spełnić wymagania ekoprojektu obniżone o 5%);
- przeciwwybuchowe i chemoodporne;
- wysokotemperaturowe do przetłaczania powietrza o temperaturze powyżej 100°C;
- obsługiwane w temperaturze otoczenia powyżej 65°C.

Wymagane wartości obowiązują od 1 stycznia 2015 i nie jest na razie planowane zaostrożenie przepisów. Urządzenia, które nie spełniają określonych w rozporządzeniu wymagań, nie mogą już być wprowadzane na rynek na terenie UE. Jak podkreślają producenci, wentylatory z silnikami elektronicznie komutowanymi (EC) spełniają wymagania ekoprojektu.

### W kanale lub na dachu: systemy

W odniesieniu do wentylatorów dachowych i kanałowych obowiązują wymagania dla urządzeń wentylacyjnych – sprawność minimalna i wyposażenie urządzenia przynajmniej w kilkustopniowy regulator wydajności (trzy biegi + wyłączenie lub regulator płynny – może być zewnętrzny).

Wymagania dla systemów różnią się w zależności od tego, do jakich celów są one przeznaczone (**tabela 3**). System przeznaczony do budynku mieszkalnego musi mieć etykietę energetyczną (wentylatory jako systemy pozbawione odzysku ciepła będą miały wyraźnie niższą klasę efektywności energetycznej niż np. centrale). System wentylacyjny do stosowania w budynkach niemieszkalnych musi osiągać odpowiednią wartość

Wydajność systemu		Klasyfikacja
do 250 m³/h		systemy wentylacyjne przeznaczone do budynków mieszkalnych (SWM)
250–1000 m³/h	deklaracja producenta, że produkt jest przeznaczony wyłącznie do budynków mieszkalnych	
	brak deklaracji producenta, że produkt jest przeznaczony do budynków mieszkalnych	
powyżej 1000 m³/h		

Tabela 3. Podział systemów wentylacyjnych pod względem wydajności



współczynnika wewnętrznej jednostkowej mocy wentylatora  $JMW_{int}$  (SFP) dla **układu** części wewnętrznych pełniących funkcję wentylacji. Wentylatory te muszą być wyposażone w napęd wielobiegowy (co najmniej 3+0) lub układ płynnej regulacji prędkości obrotowej (np. falownik).

Wymogi rozporządzenia nie dotyczą m.in.:

- urządzeń o poborze mocy mniejszym niż 30 W (na strumień powietrza);
- urządzeń pracujących w temperaturze strumienia powietrza lub otoczenia silnika  $< -40^{\circ}\text{C}$ ;
- urządzeń, dla których napięcie zasilania przekracza 1000 V AC lub 1500 V DC;
- wentylatorów pracujących w warunkach toksycznych, wysokiej korozyjności lub narażenia na substancje ściernie;
- wentylatorów do okapów kuchennych;
- urządzeń oddymiających, przeciwwybuchowych i chemoodpornych.

Rodzaj i zastosowanie wentylatora	Maksymalna moc właściwa wentylatora [ $\text{kW}/(\text{m}^3 \text{s})$ ]
Wentylator nawiewny:	
a) instalacja klimatyzacji lub wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła	1,60
b) instalacja wentylacji nawiewno-wywiewnej bez odzysku ciepła oraz wentylacji nawiewnej	1,25
Wentylator wywiewny:	
a) instalacja klimatyzacji lub wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła	1,00
b) instalacja wentylacji nawiewno-wywiewnej bez odzysku ciepła oraz wentylacji nawiewnej	1,00
c) instalacja wywiewna	0,80

**Tabela 4.** Wymagania dla wentylatorów wg § 154.10 rozporządzenia WT [7]

### Polskie wymagania

Krajowe wymagania dotyczące wentylatorów zostały ustanowione w 2013 r. w nowelizacji (DzU 2013, poz. 926) rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [7]. Ustawodawca zastosował inne podejście, uzależniając moc właściwą wentylatora od funkcji (nawiewny/wywiewny) i rodzaju instalacji oraz zastosowanych w niej elementów:

- wentylacja mechaniczna wywiewna, nawiewno-wywiewna i hybrydowa powinna mieć wentylatory o regulowanej wydajności (§ 148.5), przy czym nie jest określone, w jaki sposób należy tę regulację realizować;

- moc właściwa wentylatorów w instalacjach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych nie może przekraczać podanych wartości maksymalnych (§ 154.10 – **tabela 4**), przy czym wartości te zależą od rodzaju instalacji, w której wentylator jest stosowany, a także mogą być zwiększone o  $0,3 \text{ kW}/(\text{m}^3 \text{s})$  w przypadku występowania w instalacji elementów takich, jak: dodatkowy stopień filtracji powietrza, filtry do usuwania gazowych zanieczyszczeń powietrza czy urządzenie do odzysku ciepła o sprawności temperaturowej większej niż 90%, oraz o  $0,6 \text{ kW}/(\text{m}^3 \text{s})$  w przypadku zastosowania dodatkowego stopnia filtracji powietrza z filtrami klasy H10 i wyższej (nie ma jeszcze odniesienia do nowej klasyfikacji filtrów).

**Joanna Ryńska**

dziennikarka branży HVACR

**Literatura:** <http://www.goo.gl/uBnKP4>

## Konsekwencje wprowadzenia nowej klasyfikacji filtrów dla wentylacji wg normy EN-ISO 16890

Nowa norma EN-ISO 16890 wprowadza m.in. 30 klas filtrów w miejsce obecnych 5 i zmienia zasady ich doboru w systemach wentylacji mechanicznej. Nie ma niestety prostej metody przeliczania dotychczasowych klas na nowe. Z tego powodu przed producentami urządzeń wentylacyjno-klimatyzacyjnych stoi m.in. zadanie sformułowania całkowicie nowych wymagań w zakresie ochrony powierzchni wymienników ciepła przed ich zanieczyszczeniem w trakcie eksploatacji. W artykule zawarto propozycję prostego wskaźnika kompleksowej oceny filtra, uwzględniającego nie tylko skuteczność usuwania zanieczyszczeń, ale także koszty eksploatacyjne, w formie zrozumiałej dla każdego odbiorcy.

Narastające problemy ze złą jakością powietrza zewnętrznego, szczególnie w aglomeracjach miejskich, czego alarmujące dowody mamy tej zimy, zmuszają do refleksji i należytego docenienia zagadnienia filtracji powietrza w systemach wentylacji i klimatyzacji. Filtracja powietrza generuje dodatkowe zużycie energii oraz koszty eksploatacyjne i z tego punktu widzenia może być uznana za zjawisko niekorzystne, szczególnie jeżeli rosną wymagania w zakresie zwiększania skuteczności filtracji. W związku z powyższym wszelkie decyzje i wymagania w tej dziedzinie powinny być wyważone, w szczególności jeśli dotyczy to takich dokumentów jak normy i rozporządzenia oraz wymagania i zalecenia branżowe. Wejście w życie nowej normy [18] powinno być impulsem do rewizji spojrzenia na zagadnienie filtracji. Niniejszy artykuł należy potraktować jako głos w dyskusji, która w możliwie krótkim okresie powinna doprowadzić do ujednoczenia i jasnego sformułowania zasad projektowania i eksploatacji filtrów w nowej rzeczywistości po wycofaniu normy PN-EN 779.

### Porównanie klas filtrów wg normy PN-EN 779 z nowymi klasami wg normy EN-ISO 16890

Podstawowe pytanie, jakie przychodzi na myśl po przeanalizowaniu obydwu norm, których końcowym rezultatem są klasy filtrów zestawione w tabelach 1 i 2, brzmi: **czy można w jakikolwiek, najlepiej prosty sposób przeliczyć klasę ePM<sub>x</sub> na klasę M lub F?** Według autora jednoznaczna odpowiedź na to pytanie brzmi NIE, co wynika bezpośrednio z analizy przedstawionej w artykule [18]. Niewątpliwie komplikuje to w sposób zasadniczy proces harmonizacji przepisów, zaleceń i innych dokumentów, gdyż uniemożliwia prostą zamianę oznaczeń, a wymaga w każdym przypadku pogłębionej

Grupa	Klasa	Średni stopień odpylenia „A <sub>m</sub> ” dla pyłu syntetycznego [%]	Średnia skuteczność filtracji „E <sub>m</sub> ” dla cząstek 0,4 μm [%]	Minimalna skuteczność filtracji dla cząstek 0,4 μm [%]
Pośrednie (wstępne)	M5	–	40 ≤ E <sub>m</sub> ≤ 60	–
	M6	–	60 ≤ E <sub>m</sub> ≤ 80	–
Dokładne	F7	–	80 ≤ E <sub>m</sub> ≤ 90	35
	F8	–	90 ≤ E <sub>m</sub> ≤ 95	55
	F9	–	95 ≤ E <sub>m</sub>	70

Tabela 1. Klasyfikacja filtrów przeznaczonych do wentylacji ogólnej wg normy PN-EN 779 [5]

Kategoria filtra	Minimalne wymagania			Klasa filtra
	ePM <sub>1,min</sub>	ePM <sub>2,5,min</sub>	ePM <sub>10</sub>	
ISO Zgrubny (ISO Coarse)	–	–	< 50%	
ISO ePM <sub>10</sub>			> 50%	ePM <sub>10</sub> 50%
				ePM <sub>10</sub> 55%
				ePM <sub>10</sub> 60%
				ePM <sub>10</sub> 65%
				ePM <sub>10</sub> 70%
				ePM <sub>10</sub> 75%
				ePM <sub>10</sub> 80%
				ePM <sub>10</sub> 85%
				ePM <sub>10</sub> 90%
				ePM <sub>10</sub> 95%
ISO ePM <sub>2,5</sub>			> 50%	ePM <sub>2,5</sub> 50%
				ePM <sub>2,5</sub> 55%
				ePM <sub>2,5</sub> 60%
				ePM <sub>2,5</sub> 65%
				ePM <sub>2,5</sub> 70%
				ePM <sub>2,5</sub> 75%
				ePM <sub>2,5</sub> 80%
				ePM <sub>2,5</sub> 85%
				ePM <sub>2,5</sub> 90%
				ePM <sub>2,5</sub> 95%
ISO ePM <sub>1</sub>			> 50%	ePM <sub>1</sub> 50%
				ePM <sub>1</sub> 55%
				ePM <sub>1</sub> 60%
				ePM <sub>1</sub> 65%
				ePM <sub>1</sub> 70%
				ePM <sub>1</sub> 75%
				ePM <sub>1</sub> 80%
				ePM <sub>1</sub> 85%
				ePM <sub>1</sub> 90%
				ePM <sub>1</sub> 95%

Tabela 2. Klasyfikacja filtrów zgodnie z normą EN-ISO 16890 [6]

analizy przy formułowaniu wymagań. Trudne zadanie czeka również producentów urządzeń wentylacyjno-klimatyzacyjnych, którzy będą musieli sformułować całkowicie nowe wymagania w zakresie ochrony powierzchni wymienników ciepła przed ich zanieczyszczeniem w trakcie eksploatacji.

### Ocena skutków wprowadzenia nowej klasyfikacji filtrów dla wentylacji ogólnej w zakresie harmonizacji przepisów i norm

Zgodnie z dokumentem CEN [22] aktualny harmonogram wprowadzenia normy EN-ISO 16890 i zastąpienia nią normy PN-EN 779 jest następujący:

- 18.08.2016 – data zatwierdzenia tekstu normy przez CEN,
- 18.11.2016 – data ogłoszenia tekstu normy przez CEN,
- 18.02.2017 – data publikacji normy przez CEN,
- **18.02.2018 – data wycofania normy PN-EN 779.**

Pozostało więc bardzo niewiele czasu, by nie tylko branża wentylacyjna przystosowała się do nowej rzeczywistości w dziedzinie filtracji, ale, co równie ważne, duża liczba dokumentów w postaci norm i rozporządzeń została przereklamowana lub napisana od nowa. Poniżej przedstawiono kilka głównych dokumentów związanych z wentylacją i klimatyzacją, w których filtry i ich klasyfikacja odgrywają ważną rolę, a które będą musiały zostać w najbliższym czasie zaktualizowane.

#### Nowa klasyfikacja filtrów i jakość powietrza wewnętrznego (IAQ)

Podniesienie jakości powietrza wewnętrznego (IAQ) poprzez wzrost wskaźnika skuteczności filtracji to niewątpliwie główny cel stosowania filtrów w systemach wentylacji mechanicznej. Ponieważ jednak wzrost klasy filtra i tym samym jakości filtracji prowadzi do wzrostu zarówno kosztów inwestycyjnych, jak i eksploatacyjnych, w praktyce muszą istnieć w tej dziedzinie wyraźne i jasne zalecenia oraz wymagania, które powinny być spełniane przez systemy wentylacji pracujące w określonych warunkach oraz lokalizacjach.

Najbardziej jednoznaczne zalecenia w tym względzie sformułowane zostały w normie PN-EN 13779 [10], gdzie w prosty sposób każdej ze zdefiniowanych kategorii jakości powietrza wewnętrznego (IDA-1 do IDA-4) przyporządkowano odpowiednie klasy filtra-

Kategoria powietrza zewnętrznego	Kategoria powietrza wewnętrznego			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	M5
ODA 2	F7 + F9	F6 + F8	M5 + F7	M5 + M6
ODA 3	F7 + GF + F9	F7 + GF + F9	M5 + F7	M5 + M6

**Tabela 3.** Wymagania dotyczące klas filtrów wg normy [10]

cji wg PN-EN 779 w zależności od kategorii jakości powietrza zewnętrznego (ODA-1 do ODA-3). Wymagania te zestawiono w **tabeli 3**.

Nieunikniona konieczność zmiany ww. normy w tym zakresie po wprowadzeniu nowej klasyfikacji będzie możliwa w dwóch kierunkach:

- a) bezpośredniego zastąpienia klas filtrów podanych w **tabeli 3** nowymi klasami zgodnie z normą [6], co niewątpliwie będzie bardzo trudne, jeżeli w ogóle możliwe, lub
- b) zdefiniowania podziałów powietrza zewnętrznego i wewnętrznego na kategorie poprzez określenie progowych i dopuszczalnych poziomów stężenia  $PM_x$ , dzięki czemu dobór filtra lub filtrów o odpowiedniej klasie  $ePM_x\#%$  (gdzie „#” oznacza liczbę klasyfikującą filtr w procentach) będzie możliwy wprost z równania 1:

$$ePM_x\# \% = \frac{C_{PM_x} - C_{D,PM_x}}{C_{PM_x}} \times 100 \quad (1)$$

gdzie:

$C_{PM_x}$  – poziom zanieczyszczeń pyłem zawieszonym  $PM_x$  w powietrzu zewnętrznym,  $\mu g/m^3$ ;  
 $C_{D,PM_x}$  – dopuszczalny poziom zanieczyszczeń pyłem zawieszonym  $PM_x$  w powietrzu wewnętrznym (za filtrem),  $\mu g/m^3$ .

#### Inne dokumenty i normy wymagające korekty po wejściu w życie nowej klasyfikacji filtrów

Wprowadzenie całkiem nowej klasyfikacji filtrów to problem nie tylko dla producentów i projektantów, ale także dla ustawodawców, komitetów normalizacyjnych oraz autorów podręczników, zaleceń i innych opracowań dotyczących wentylacji, w których przytaczane są klasy filtrów wg normy PN-EN 779. Poniżej omówiono kilka najważniejszych z nich.

#### Rozporządzenie o warunkach technicznych [14]

Zmianie musi ulec § 154 pkt 1, którego brzmienie w obecnej wersji jest następujące:

*Urządzenia wentylacji mechanicznej i klimatyzacji powinny być zabezpieczone przed zanieczyszczeniami znajdującymi się w powietrzu zewnętrznym, a w szczególnych przypadkach w powietrzu obiegowym (recyrkulacyjnym), za pomocą filtrów:*

- 1) nagrzewnice, chłodnice i urządzenia do odzyskiwania ciepła – co najmniej klasy G4,
  - 2) nawilzacze – co najmniej klasy F6,
- określonych w Polskiej Normie dotyczącej klasyfikacji filtrów powietrza (PN-EN 776).

#### Norma PN-EN 13779 [10]

W normie tej, oprócz konieczności zastąpienia cytowanej w poprzednim artykule [18] tabeli 9, zmianie musi ulec zapis, że przy zastosowaniu klasy F7 lub wyższej należy zająć o kompensację spadku ciśnienia na filtrach.

**Norma PN-EN 1886 [12]**

Norma ta, dotycząca badania i klasyfikacji central wentylacyjno-klimatyzacyjnych w aspekcie ich własności mechanicznych, zawiera rozdział dotyczący badań szczelności zamocowań filtrów w obudowie centrali. Wartości przecieków powietrza są w nim uzależnione od klasy filtrów według normy PN-EN 779 (**tabela 4**) – po wejściu nowej normy zapisy te muszą ulec zmianie.

**Norma PN-EN 13053 [13]**

Norma ta dotyczy kompleksowej oceny i zaleceń w zakresie wyposażenia central wentylacyjno-klimatyzacyjnych. W rozdziale poświęconym filtrom oprócz akapitów zacytowanych poniżej koniecznej zmiany będzie wymagać **tabela 5** w zakresie dopuszczalnych wartości spadków ciśnień na filtrach. W tym względzie sensownym zdaniem autora rozwiązaniem będzie ustanowienie dopuszczalnych wartości tego znaczącego parametru eksploatacyjnego odrębnie dla każdej kategorii klasyfikacji:  $ePM_{10}$ ,  $ePM_{2,5}$  i  $ePM_1$ .

Ponadto w normie tej muszą ulec zmianie dotychczas istniejące zapisy w postaci:

*Zadaniem filtrów powietrza w instalacjach wentylacji i klimatyzacji jest nie tylko ochrona wentylowanych pomieszczeń przed zbyt wysokim zanieczyszczeniem, lecz również ochrona samej instalacji. Jest to zapewnione w wyniku stosowania dokładnych filtrów klasy M5 do F9, zgodnie z PN-EN 779.*

*Filtr pierwszego stopnia należy montować po stronie wlotowej, jak najbliżej otworu wlotowego powietrza zewnętrznego, aby zapewnić maksymalną czystość urządzeń do uzdatniania powietrza. Dopuszczalny jest dodatkowy zgrubny filtr klasy G1 do G4. W celu zapewnienia czystości sieci przewodów filtr drugiego stopnia umieszcza się po stronie wylotowej na początku przewodu nawiewnego.*

*Jeśli w instalacji nawiewnej stosuje się jednostopniowy system filtracji, to należy montować co najmniej filtr klasy F7.*

Klasa filtra (wg PN-EN 779)	G1–G4	M5	M6	F7	F8	F9
Maksymalny współczynnik przecieku k przy różnicy ciśnień 400 Pa	6,0%	6,0%	4,0%	2,0%	1,0%	0,5%

**Tabela 4.** Wartości dopuszczalnych przecieków powietrza pomiędzy ramą filtra i obudową centrali według normy [12]

Dopuszczalny końcowy spadek ciśnienia na filtrze	
Klasa filtra	Końcowy spadek ciśnienia
G1–G4	150 Pa
M5, M6, F7	200 Pa
F8, F9	300 Pa

**Tabela 5.** Wartości dopuszczalnych spadków ciśnienia na filtrach w centrali według normy [13]

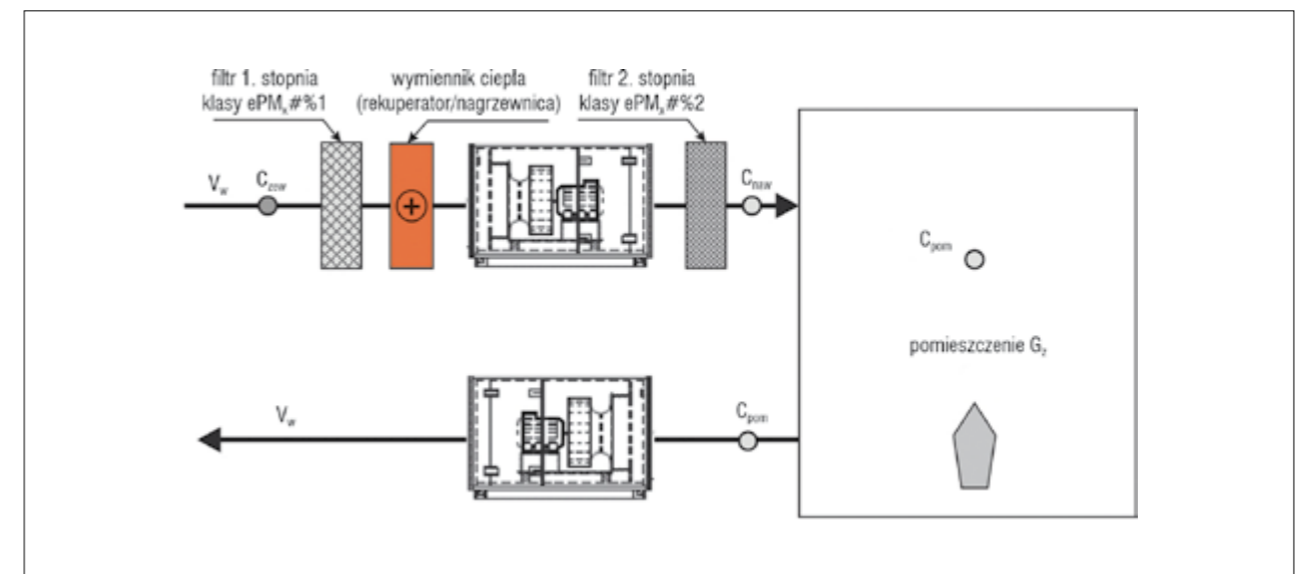
**Wpływ nowej klasyfikacji norm na proces projektowania instalacji wentylacyjno-klimatyzacyjnych**

Kolejnym problemem wymagającym rozwiązania (głównie przez producentów urządzeń wentylacyjnych), jest określenie klas filtrów, które mogą być traktowane jako **filtr wstępny**. W instalacjach wentylacji mechanicznej filtr ten spełnia podwójną funkcję:

- a) filtra chroniącego wymienniki ciepła przed zabrudzeniem, oraz
- b) filtra usuwającego z powietrza wentylacyjnego (zewnętrznego) frakcję zanieczyszczeń o dużych średnicach, dzięki czemu filtr drugiego stopnia może być dobrany tak, żeby powietrze w pomieszczeniu spełniało wymagania odpowiednich norm.

Logicznym wnioskiem z powyższych stwierdzeń byłoby zdaniem autora klasyfikowanie **filtra wstępnego** w kategorii  $ePM_{10}$ , a filtra 2. stopnia (zwanego często **filtrem końcowym**) w kategorii  $ePM_{2,5}$  (w szczególnych przypadkach byłaby to kategoria  $ePM_1$ ). Gdyby dodatkowo norma EN-ISO 16890 [6] zezwalała na definiowanie dla każdego filtra nie jednej klasy w wybranej kategorii, ale np. trzech klas w kategoriach  $ePM_{10}$ ,  $ePM_{2,5}$  oraz  $ePM_1$ , które de facto są określane w trakcie testów klasyfikacyjnych, byłoby możliwe wyznaczanie przewidywanego poziomu jakości powietrza w pomieszczeniu (w zakresie  $PM_x$ ) w zależności od liczby i klas skuteczności poszczególnych stopni filtracji. Na **rys. 1** i **2** oraz w tekście poniżej zamieszczono przykłady dla najbardziej typowych schematów instalacji wentylacyjnych stosowanych w praktyce.

Posługując się oznaczeniami jak na **rys. 1**, wynikowy poziom (stężenie)  $PM_x$  w pomieszczeniu o objętości  $V_{pom}$ , w którym wydziela się stała ilość zanieczyszczeń o strumieniu  $G$ , mógłby być w takim przypadku wyliczany ze wzoru 2:



**Rys. 1.** Schemat ideowy instalacji wentylacyjno-klimatyzacyjnej nawiewno-wywiewnej z dwoma stopniami filtracji w centrali

$$C_{pom} = C_{naw} + \frac{G}{n \cdot V_{pom}} = C_{zew} \cdot \frac{1 - ePM_{x1} - wPM_{x2} + ePM_{x1} \cdot ePM_{x2}}{1 - ePM_{xf}} + \frac{G}{n \cdot V_{pom}} \quad (2)$$

gdzie:

$C_{zew}$  – poziom zanieczyszczeń pyłem zawieszonym  $PM_x$  w powietrzu zewnętrznym,  $\mu g/m^3$ ;

$C_{pom}$  – dopuszczalny poziom zanieczyszczeń pyłem zawieszonym  $PM_x$  w powietrzu wewnętrznym (w pomieszczeniu),  $\mu g/m^3$ ;

$G$  – intensywność zanieczyszczeń typu  $PM_x$  wydzielających się w pomieszczeniu,  $\mu g/h$  (do momentu opracowania konkretnych wyników badań w tym zakresie można przyjąć, że strumień pyłów generowanych wewnątrz pomieszczeń przyjmuje wartość zero);

$n$  – krotność wymian powietrza wentylacyjnego w pomieszczeniu, 1/h;

$V_{pom}$  – objętość pomieszczenia,  $m^3$ ;

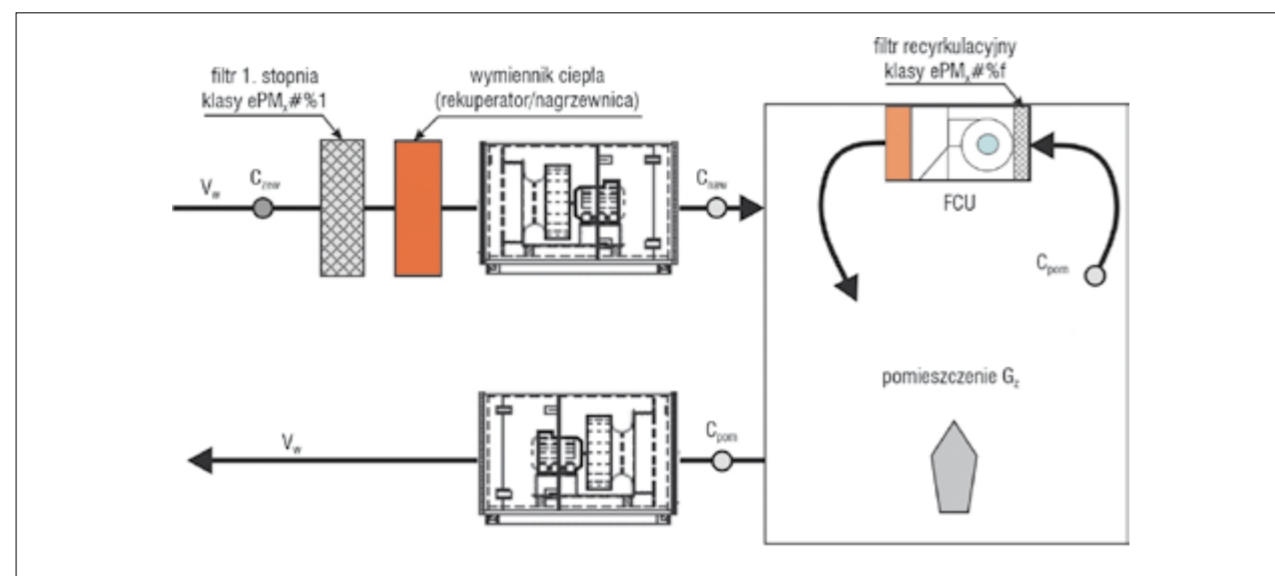
$ePM_{x1}$  – uławkowa skuteczność filtracji filtra wstępnego:  $ePM_{x1} = ePM_{x\#}\%/100$ ;

$ePM_{x2}$  – uławkowa skuteczność filtracji filtra końcowego:  $ePM_{x2} = ePM_{x\#}\%/100$ .

Wykorzystanie tej prostej zależności mogłoby (powinno!) mieć w przyszłości duże znaczenie praktyczne przy doborze filtra końcowego (2. stopnia) w zależności od lokalizacji instalacji, po zdefiniowaniu w odpowiednich przepisach, normach lub wytycznych:

- a) dopuszczalnych stężeń  $PM_x$  w pomieszczeniach w zależności od klasy IAQ;
- b) minimalnej lub zalecanej klasy  $ePM_{x\#}\%1$  filtra wstępnego (głównie z uwagi na ochronę jakości pracy wymienników ciepła).

Nieco inną formę przyjmowałoby równanie bilansu zanieczyszczeń w stanach ustalonych dla przypadku przedstawionego na **rysunku 2**, w którym najczęściej filtr znajdujący



**Rys. 2.** Schemat ideowy instalacji wentylacyjno-klimatyzacyjnej nawiewno-wywiewnej z jednym stopniem filtracji w centrali oraz drugim w urządzeniu wtórnie uzdatniającym powietrze w pomieszczeniu

się w urządzeniu do wtórnego uzdatniania powietrza jest narzucony przez producenta. Wtedy celem obliczeń i doboru byłaby **klasa filtra wstępnego** (w uzasadnionych przypadkach funkcję taką mogłaby spełniać kaskada dwóch filtrów zainstalowanych w jednej sekcji filtracji):

$$C_{pom} = \frac{G + C_{zew} \cdot V_w \cdot (1 - ePM_{x1})}{V_w - (1 - ePM_{xf}) \cdot V_f} \quad (3)$$

gdzie:

$V_w$  – strumień objętościowy powietrza wentylacyjnego (zewnętrznego),  $m^3/h$ ;

$V_f$  – strumień objętościowy powietrza recykulującego przez urządzenie do wtórnego uzdatniania powietrza (FCU),  $m^3/h$ ;

$ePM_{xf}$  – skuteczność filtracji filtra w FCU:  $ePM_{xf} = ePM_{x\#}\%/100$ .

### Ocena filtrów w kontekście nakładów energii elektrycznej związanych z filtracją powietrza wentylacyjnego

Zapewnienie wysokiego poziomu jakości powietrza wewnętrznego (IAQ), podobnie jak uzyskanie wysokiej klasy komfortu cieplnego (IEQ), wiąże się często ze znacznymi nakładami energii, co stoi w opozycji do coraz wyższych wymagań w zakresie ciągłego obniżania zużycia energii końcowej przez budynki. Z tego powodu klasyfikowanie filtrów tylko w oparciu o wskaźnik skuteczności filtracji wydaje się niewystarczające. Z uwagi na powyższe stowarzyszenie Eurovent opracowało sposób klasyfikacji energetycznej filtrów [27] w oparciu o wyniki badań filtrów według dotychczas obowiązującej normy PN-EN 779. Wykorzystuje się w nim wyniki pomiarów oporów przepływu znormalizowanego modułu filtracyjnego przy nominalnym strumieniu powietrza jako funkcji obciążenia filtra kolejnymi dawkami pyłu testowego, które aproksymuje się wielomianem 4. stopnia:

$$\Delta p = a \cdot m^4 + b \cdot m^3 + c \cdot m^2 + d \cdot m + \Delta p_i \quad (4)$$

gdzie:

$\Delta p_i$  – opory przepływu przez filtr czysty.

Po wyznaczeniu na podstawie wyników pomiarów współczynników ( $a$ ,  $b$ ,  $c$  i  $d$ ) powyższego wielomianu wyliczana jest hipotetyczna średnia wartość oporów przepływu w trakcie eksploatacji filtra, zgodnie z równaniem 5:

$$\begin{aligned} \overline{\Delta p} &= \frac{1}{M_x} \cdot \int_0^{M_x} \Delta p(m) \cdot dm = \\ &= \frac{1}{5} \cdot a \cdot M_x^4 + \frac{1}{4} \cdot b \cdot M_x^3 + \frac{1}{3} \cdot c \cdot M_x^2 + \frac{1}{2} \cdot d \cdot M_x + \Delta p_i \quad (5) \end{aligned}$$

gdzie:

$M_x$  – autorytatywnie ustalona **graniczna** wartość obciążenia pyłem filtra po okresie eksploatacji (dla filtrów wstępnych klasy M przyjęto:  $M_x = 250$  g, a dla filtrów dokładnych klasy F:  $M_x = 100$  g).

Na podstawie powyższej wartości ze wzoru 6 wylicza się przewidywany roczny nakład energii elektrycznej na pokonanie oporów przepływu powietrza przez filtr dla ujednoczonych założeń: czas pracy wentylatora  $\tau = 6000$  h, średnia sprawność bloku wentylatorowego  $\eta = 0,50$ .

$$W = \frac{q_v \cdot \Delta p \cdot \tau}{\eta \cdot 1000} \text{ [kWh]} \quad (6)$$

W oparciu o tak wyliczone wartości nakładów energii elektrycznej filtry zostały podzielone na **klasy energetyczne** od A+ do E. Z uwagi jednak na to, że **klasa skuteczności** filtra jest nierozdzielnie związana z oporami przepływu, przedziały wartości wskaźnika W klasyfikujące filtr pod względem energetycznym zostały wyznaczone odrębnie dla każdej z klas, tak jak to zestawiono w **tabeli 6**.

Pełne charakterystyki produktów certyfikowanych przez Eurovent są dostępne na stronie [www.eurovent-certification.com](http://www.eurovent-certification.com) [27]. Przykład takiej charakterystyki dla grupy produktów jednego z producentów filtrów przedstawia **tabela 7**.

Analizując informacje zawarte w **tabelach 6 i 7**, można zauważyć, że tak naprawdę w powyżej opisanej procedurze zdefiniowanych zostało w sumie aż 30 klas (6 klas energetycznych odrębnie dla każdej z 5 klas skuteczności filtra). Ponadto takie samo oznaczenie klasy energetycznej przy różnych klasach skuteczności filtracji może się różnić w zdecydowany sposób wartością wskaźnika zużycia energii W (**tabela 7**: wartości wyróżnione kolorem czerwonym), która dodatkowo najczęściej różni się od zużycia energii w warunkach rzeczywistej eksploatacji. Można też zaobserwować pewne „anomalie”, przykładowo filtr niższej klasy skuteczności, np. F7, może być prawie dwukrotnie bardziej energochłonny niż filtr klasy wyższej, np. F9 (**tabela 7**: wartości wyróżnione kolorem niebieskim). I chociaż trudno potraktować powyższe stwierdzenia jak zarzut do istniejącego sposobu oceny porównawczej filtrów, to niewątpliwie po wprowadzeniu za nową normą [6] aż 30 klas skuteczności filtrów zagadnienie oceny filtra pod kątem kosztów eksploatacyjnych będzie wymagało zupełnie odmiennego podejścia.

**Próba zdefiniowania kompleksowego wskaźnika oceny filtra z uwzględnieniem klasyfikacji wg nowej normy**

Obserwując na przestrzeni ostatnich lat oferty producentów filtrów w Polsce, można zauważyć ogromną różnorodność ich rozwiązań. Pomimo istnienia tylko 5 klas skuteczności

filtrów, trudno się odnaleźć w szerokiej ofercie zarówno projektantom, jak i inwestorom, o końcowym użytkowniku systemu wentylacji nie wspominając. Jeżeli przyjmiemy, że po wejściu w życie nowej normy sytuacja może się jeszcze bardziej skomplikować, adekwatnie do 30 nowych klas filtrów, wręcz niezbędne wydaje się sformułowanie przez branżystów czytelnego, w miarę zrozumiałego dla odbiorcy wskaźnika kompleksowej oceny filtra, uwzględniającego nie tylko jego własności użytkowe (skuteczność usuwania zanieczyszczeń), ale także względy ekonomiczne (koszty eksploatacyjne). Wnioski wynikające z wartości takiego wskaźnika mogłyby być każdorazowo porównywane z bieżącym poziomem cen rynkowych tego produktu.

Doceniając coraz większą wagę zagadnienia, autor pragnie przedstawić swoją propozycję zdefiniowania kompleksowego, **bezwymiarowego** wskaźnika oceny filtra **TFE**

Klasa energetyczna	M5	M6	F7	F8	F9
	W – roczny nakład energii elektrycznej w kWh				
A+	0–450	0–550	0–800	0–1000	0–1250
A	> 450–600	> 550–650	> 800–950	> 1000–1200	> 1250–1450
B	> 600–700	> 650–800	> 950–1200	> 1200–1500	> 1450–1900
C	> 700–950	> 800–1100	> 1200–1700	> 1500–2000	> 1900–2600
D	> 950–1200	> 1100–1400	> 1700–2200	> 2000–3000	> 2600–4000
E	> 1200	> 1400	> 2200	> 3000	> 4000

**Tabela 6.** Klasy energetyczne filtrów wg Eurovent [27]

Klasa skuteczności filtracji	Początkowy opór przepływu (czysty filtr, $V_N$ )	Minimalna skuteczność filtracji	Początkowa skuteczność filtracji	Roczny wskaźnik zużycia energii	Klasa energetyczna filtra
	$\Delta p_{ini}$ Pa	$E_{min}$ %	$E_{ini}$ %	W kWh/rok	
Zgodnie z PN-EN 779:2012	Zgodnie z PN-EN 779:2012	Zgodnie z PN-EN 779:2012	Zgodnie z PN-EN 779:2012	Wg „Eurovent 4/21-2014”	
F9	130	82	82	1600	B
F9	150	78	85	2280	C
F9	145	82	82	2280	C
F8	160	76	80	2100	D
F8	215	78	85	2700	D
F7	90	40	47	1225	C
F7	95	40	47	1340	C
F7	120	40	47	1765	D
F7	135	40	47	2010	D
F8	108	61	64	1343	B

**Tabela 7.** Przykład pełnej charakterystyki filtrów wybranego producenta dostępnej na stronie [www.eurovent-certification.com](http://www.eurovent-certification.com) [27]

(Total Filter Efficiency), w którym znalazłyby się wszystkie znaczące parametry jego pracy (wyznaczane w oparciu o pomiary w warunkach nominalnych, które przewiduje norma):

- wskaźnik skuteczności filtracji:  $ePM_x\#\%$  (wyrażony w %);
- chłonność pyłowa filtra:  $M_{tot}$  (wyrażona w g masa pyłu testowego zatrzymanego przez filtr do osiągnięcia granicznej wartości oporów przepływu);
- początkowe opory przepływu powietrza przez filtr:  $\Delta p_{ini}$ , Pa;
- graniczne opory przepływu powietrza przez filtr:  $\Delta p_{lim}$ , Pa.

Taki wskaźnik nie miałby jednoznacznej formy wielkości fizycznej, lecz był wielkością bezwymiarową, której rosnąca wartość oddawałaby sens poszukiwań filtrów w kierunkach:

- jak największej wartości wskaźnika skuteczności filtracji  $ePM_x\#\%$ ,
- jak największej ilości pyłu testowego zatrzymanego przez filtr do momentu przekroczenia dopuszczalnego (granicznego, końcowego) oporu przepływu dla filtra ustanowionego dla każdej kategorii  $ePM_x$  co ma oczywisty związek z częstotliwością wymiany wkładów filtracyjnych w rzeczywistych warunkach eksploatacji, a więc jest ważnym składnikiem kosztów eksploatacyjnych instalacji wentylacyjnej<sup>1</sup>,
- jak najmniejszej wartości początkowej oporów przepływu powietrza  $\Delta p_{ini}$ , gdyż przyjęto, że końcowe opory przepływu są stałe, różne dla każdej z trzech kategorii  $ePM_x$ .

W związku z powyższym ten swoisty „wskaźnik dobroci filtra” (TFE) mógłby przybrać formę równania 7:

$$TFE = ePM_x\#\% \cdot \frac{a_x \cdot \frac{M_{tot}}{M_{ref,X}}}{\frac{1}{b_x} \cdot \left( \frac{\Delta p_{ini}}{\Delta p_{lim,X}} \right)^n} \quad (7)$$

gdzie:

- $ePM_x\#\%$  – wskaźnik skuteczności filtracji (klasa filtra) dla frakcji  $PM_x$ , %;
- $a_x$  – bezwymiarowy współczynnik uwzględniający wagę kosztów zakupu połączonych z częstotliwością wymiany filtra w ciągu roku, wyznaczony w sposób statystyczny w oparciu o wyniki badań porównawczych sporządzonych odrębnie dla każdej z trzech frakcji  $PM_x$ ;
- $b_x$  – bezwymiarowy współczynnik uwzględniający wagę kosztów nakładu energii związanych z filtracją, wyznaczony w sposób statystyczny w oparciu o wyniki badań porównawczych sporządzonych odrębnie dla każdej z trzech frakcji  $PM_x$ ;

<sup>1</sup> Pomimo że pył testowy używany w trakcie badań modułu filtracyjnego różni się od rzeczywistego składu frakcji pyłu zawieszonego  $PM_x$ , z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że zdolność zatrzymania pyłu w rzeczywistych warunkach eksploatacji pozostaje w proporcji do wartości uzyskanej w trakcie badań.

$M_{ref,X}$  – referencyjna, maksymalna wartość chłonności pyłowej filtra, określona autorytatywnie w oparciu o wyniki badań porównawczych odrębnie dla każdej z trzech frakcji  $PM_x$ , g;

$\Delta p_{lim,X}$  – referencyjna, maksymalna dopuszczalna wartość spadku ciśnienia na filtrze, ustalona autorytatywnie, odrębnie dla każdej z trzech frakcji  $PM_x$ , Pa;

$n$  – wykładnik charakterystyki przepływowej filtra (zależności oporów przepływu od prędkości powietrza przepływającego przez moduł filtracyjny), wyznaczony na podstawie badań klasyfikacyjnych.

#### UWAGI:

- Wartość klasy filtracji  $ePM_x\#\%$  we wzorze 7 należy podać w procentach. Nie oznacza to jednak, że wynik będący wartością bezwymiarowego wskaźnika TFE należy interpretować w skali procentowej. Uczyniono tak, aby uniknąć wyniku w postaci ułamków.
- Powyższa propozycja wymaga pogłębionej analizy, która może być przeprowadzona po uzyskaniu dostępu do wyników badań i testów różnych filtrów w oparciu o nową normę EN-ISO 16890.
- Zaprezentowany powyżej sposób oceny komplikuje fakt, że zgodnie z aktualnymi zapisami normy EN-ISO 16890 wykonanie badań w zakresie opisanym w trzeciej części tej normy [8] (badania pyłem testowym L2 wg normy ISO 15957 [29]) nie są obowiązkowe. Zdaniem autora jest to błąd, który powinien być poprawiony przy publikacji ostatecznej wersji normy<sup>2</sup>.

#### Podsumowanie i wnioski

Głównym celem artykułu nie było opracowanie szczegółowej propozycji zmian w dokumentach dotyczących zagadnienia filtracji, a jedynie zapoznanie Czytelnika ze znaczącymi skutkami, jakie przyniesie wprowadzenie w życie nowej klasyfikacji skuteczności filtrów przeznaczonych dla systemów wentylacji budynków.

Europejskie i krajowe komitety normalizacyjne oraz instytucje rządowe i pozarządowe powinny dołożyć dużych starań, popartych pogłębionymi analizami techniczno-ekonomicznymi, aby konieczne zmiany wprowadzane w dokumentach związanych z jakością powietrza wentylacyjnego oraz skutecznością filtracji, w szczególności tych wymienionych w artykule, dawały całej branży wentylacyjnej jasny przekaz, w którym zostanie uszanowany zarówno interes użytkowników, inwestorów, jak i producentów.

<sup>2</sup> Artykuł napisano w oparciu o referat wygłoszony przez autora na konferencji „Eurovent Summit” w Krakowie we wrześniu 2016, a powstały na podstawie analizy tekstu normy przed jego końcową publikacją, która będzie miała miejsce na początku roku 2017.

W celu uniknięcia stosowania w tych dokumentach wielkowymiarowych tabel uwzględniających liczbę klas filtrów, proponuje się wykorzystanie zalet nowej klasyfikacji do doboru filtrów indywidualnie dla każdego projektu w oparciu o zdefiniowane w ww. dokumentach dopuszczalne poziomy  $PM_x$  w powietrzu wewnętrznym oraz lokalne dane dotyczące uśrednionych dobowo maksymalnych stężeń  $PM_x$  w powietrzu zewnętrznym w sposób, jaki zaproponowano w rozdziałach dotyczących oceny skutków wprowadzenia nowej klasyfikacji filtrów oraz jej wpływu na proces projektowania instalacji.

Zaproponowany w artykule wskaźnik TFE kompleksowej oceny filtrów przeznaczonych dla systemów wentylacji wydaje się odzwierciedlać wszystkie podstawowe cechy użytkowe filtrów. Mimo swojej niedoskonałości ma on jednak podstawową cechę: jest prosty, logiczny i zrozumiały oraz może służyć do oceny porównawczej filtrów na rynku. Jego wprowadzeniem powinni być zainteresowani przede wszystkim uznani producenci, zrzeszeni np. w organizacji Eurovent, którzy są zainteresowani konkurencyjnością na rynku opartym na rzeczywistej jakości produktu. To oni zdaniem autora powinni sfinansować badania nad uszczegółowieniem tego wskaźnika, łącznie z możliwymi modyfikacjami, gdyż mają bezpośredni dostęp do wyników badań i testów swoich produktów.

**dr inż. Kazimierz Wojtas**

Instytut Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza, Politechnika Krakowska

**Literatura:** <http://www.goo.gl/EitBJp>

**FLOP SYSTEM SP. Z O.O.**

51-315 Wrocław, ul. Kiełczowska 64  
tel. 71 325 14 20, 601 703 585  
office@flopsystem.pl, www.flopsystem.pl



**ROHA GROUP SP. Z O.O.**

54-427 Wrocław, ul. Rudzka 9-11  
tel. 71 352 78 28  
pytania@rekuperatory.pl, www.rekuperatory.pl

**WWW.REKUPERATORY.PL**

**ROSENBERG KLIMA POLSKA SP. Z O.O.**

05-830 Nadarzyn, ul. Plantowa 5  
tel. 22 720 67 73 lub 74  
biuro@rosenberg.pl, www.rosenberg.pl



**UNIWERSAL SP. Z O.O.**

40-219 Katowice, ul. Zakopiańska 1a  
tel. 32 203 71 47, 32 203 87 40  
office@uniwersal.com.pl, www.uniwersal.com.pl



**VENTIA SP. Z O.O.**

02-234 Warszawa, ul. Działkowa 121A  
tel. 22 841 11 65  
info@ventia.pl, www.ventia.pl



**VTS SP. Z O.O.**

80-309 Gdańsk, Al. Grunwaldzka 472 A  
tel.: 48 58 628 13 54  
vtsgroup@vtsgroup.com, www.vtsgroup.pl



**ZEHNDER SP. Z O.O.**

52-214 Wrocław, ul. Kurpiów 14a  
tel. 71 367 64 24, 71 790 27 47  
info@zehnder.pl, www.zehnder.pl



*Tu może znaleźć się Twój wpis w Katalogu firm*



