

Analiza możliwości stosowania systemu wentylacji zdecentralizowanej w budynkach edukacyjnych

Analysis of the possibilities of using a ventilation system decentralized in educational buildings

ŁUKASZ AMANOWICZ, KATARZYNA RATAJCZAK, EDWARD SZCZECHOWIAK

DOI 10.36119/15.2019.10.3

Na zużycie energii w budynkach użyteczności publicznej, szczególnie w obiektach edukacyjnych, w dużym stopniu wpływa wentylacja. Wynika to z dużego zapotrzebowania na świeże powietrze z uwagi na dużą liczbę użytkowników. Stosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła w tego typu obiektach jest zatem uzasadnione ekonomicznie i ekologicznie. W nowoprojektowanych szkołach, żłobkach, przedszkolach czy salach wykładowych można na etapie projektu przewidzieć miejsce na instalację urządzeń wentylacji mechanicznej centralnej lub zdecentralizowanej. W obiektach już istniejących podczas ich termomodernizacji, znacznie łatwiejsze i tańsze może okazać się zastosowanie systemu wentylacji zdecentralizowanej w postaci niezależnych urządzeń dla każdego z pomieszczeń. W takiej sytuacji dobrym rozwiązaniem są mini-centrale wentylacyjne ściennie ze zintegrowaną czepnio-wyrzutnią montowaną na zewnętrznej ścianie budynku. Jest to rozwiązanie powszechnie stosowane w budynkach edukacyjnych w Austrii czy Niemczech, ale niepraktykowane w Polsce z uwagi na wymagania prawne Warunków Technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (WT) odnośnie do lokalizacji czepni względem wyrzutni. Intencją tych wymagań jest niedopuszczenie do zawracania powietrza wywiewanego z powrotem do pomieszczenia. W konsekwencji jednak wiele istniejących budynków pozbawia się w ten sposób możliwości poprawy jakości powietrza wewnętrznego i dostarczenia odpowiedniej ilości powietrza zewnętrznego. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych mających na celu ocenę mieszania się strumieni powietrza wywiewanego i nawiewanego w zintegrowanych czepnio-wyrzutniach dwóch typów urządzeń wentylacji zdecentralizowanej przeznaczonych do zastosowania głównie w budynkach edukacyjnych (ale nie tylko). Wyniki badań pokazują, że mieszanie się strumieni powietrza w tych urządzeniach nie występuje. Z kolei możliwość filtracji powietrza, odzysku ciepła oraz dostosowania strumienia powietrza wentylacyjnego do aktualnych potrzeb (np. w funkcji obciążenia pomieszczenia ditlenkiem węgla, parą wodną lub w zależności od liczby osób) pozwala na poprawę jego jakości oraz komfortu klimatycznego przy realnie niskich kosztach. Ponadto urządzenia tego typu mogą być łatwo zastosowane w budynkach już istniejących, ponieważ nie wymagają instalacji systemu dystrybucji powietrza, co skłania do przemyśleń odnośnie do aktualności i zasadności istniejących wymagań prawnych.

Słowa kluczowe: wentylacja zdecentralizowana, badania czepnio-wyrzutni, odzysk ciepła, budynki edukacyjne, jakość powietrza

The consumption of energy in public buildings, especially in educational ones, is largely influenced by ventilation. This results from the high demand for fresh air due to the large number of users. The use of mechanical ventilation with heat recovery in this type of buildings is, therefore, economically and ecologically justified. In the newly designed schools, nurseries, kindergartens or lecture buildings, a place for the installation of central or decentralized mechanical ventilation systems can be planned at the design stage. In the already existing buildings it may be much easier and cheaper to use a decentralized ventilation system in the form of independent devices for each room during their thermomodernisation. In such a case a good solution are wall ventilation mini units with an integrated air intake / exhaust device mounted on the external wall of the building. It is a solution widely used in educational buildings in Austria or Germany, but not practiced in Poland due to the legal requirements of the technical conditions which should correspond to buildings and their location (WT) regarding the location of air intakes and exhausts. The intention of these requirements is to prevent the exhaust air from being returned to the room. As a consequence, many existing buildings are deprived of the possibility of improving the quality of the indoor air and the possibility to provide an adequate amount of fresh air. In this article, experimental studies have been carried out to assess the mixing of exhausted and fresh air streams in integrated air intake / exhaust devices of two types of decentralized ventilation units dedicated for use mainly in educational buildings (but not only). The results show that the mixing of air streams in these devices does not

occur. In turn, the possibility of air filtration, heat recovery and adaptation of the ventilation air flow to the current needs (in the function of room load of carbon dioxide, steam or depending on the number of people) allows to improve air quality and climate comfort. In addition, devices of this type can be easily used in existing buildings, because they do not require the installation of an air distribution system, which makes us think about the timeliness and legitimacy of the existing legal requirements.

Keywords: decentralized ventilation, investigations of air intake and exhaust device, heat recovery, education buildings, indoor air quality

Wprowadzenie

Problemy ze złą jakością powietrza występują często w pomieszczeniach, w których przebywa jednocześnie duża liczba osób, np. w budynkach edukacyjnych (szkolach, przedszkolach, żłobkach, salach wykładowych) [12] [19] [20] [21] [27]. Emisja ditlenku węgla jest wtedy duża i konieczne jest jego usuwanie poprzez doprowadzanie do pomieszczenia odpowiedniej ilości powietrza świeżego – zewnętrznego oraz usuwanie powietrza zużytego. Przepisy i rozporządzenia w różnych krajach podają wytyczne, mówiące o tym, ile powietrza zewnętrznego należy dostarczyć do pomieszczeń. Przepisy te odnoszą się zarówno do budynków mieszkalnych, jak i użyteczności publicznej. W budynkach edukacyjnych, w których przebywają dzieci, wymagane są mniejsze wartości strumienia w odniesieniu do dziecka z uwagi na emitowanie mniejszej, niż w przypadku dorosłych, ilości ditlenku węgla. Dawniej wymagania prawne nie obowiązywały inwestora do zastosowania wentylacji mechanicznej i z tego powodu zwykle wybierano wentylację grawitacyjną (inaczej naturalną), pomimo tego, że nie gwarantuje ona zapewnienia odpowiedniej ilości powietrza zewnętrznego niezależnie od warunków pogodowych [33][34]. W istniejących budynkach edukacyjnych w Polsce najczęściej spotykanym systemem wentylacyjnym jest zatem wentylacja naturalna, ponieważ system ten wydawał się być tańszy inwestycyjnie i mniej kłopotliwy na etapie projektu. Obecnie takie rozwiązanie nie pozwala na spełnienie wymagań odnośnie maksymalnej wartości wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP (wymagań związanych z charakterystyką energetyczną budynku), a zatem w nowoprojektowanych obiektach instalowane są zazwyczaj systemy wentylacji mechanicznej – centralnej lub zdecentralizowanej. Przepisy prawa w Danii już od dawna stanowią, że strumień powietrza wentylacyjnego musi być dostarczany przez system wentylacji mechanicznej. Szczegółowo wytyczne dotyczące konieczności zapewnienia wła-

Tabela 1 Wymagany strumień powietrza wg wytycznych różnych krajów [18]
Table 1 Required air flow according to the guidelines of different countries [18]

Wymagany typ wentylacji	Wymagany strumień powietrza		Kraj	
Naturalna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego	dla osoby dorosłej	20 m ³ /(h-os)	Polska	
	dla dziecka	15 m ³ /(h-os)		
	przy maksymalnym strumieniu powietrza do 3 wymian na godzinę dla budynku szkoły i przedszkola lub 2 wymiany na godzinę dla budynku żłobka			
Mechaniczna	dla osoby dorosłej	20 m ³ /(h-os)	Polska	
	dla dziecka	15 m ³ /(h-os)		
Naturalna lub mechaniczna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego	dla każdej osoby	30 m ³ /(h-os)	Niemcy	
Naturalna lub mechaniczna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego	obecność jedynie ludzie	kategoria A	3,6 m ³ /(h-m ²)	Norma europejska CEN
		kategoria B	2,5 m ³ /(h-m ²)	
		kategoria C	1,4 m ³ /(h-m ²)	
	efekt pomieszczenia	kategoria A	7,2÷10,8 m ³ /(h-m ²)	
		kategoria B	5,0÷7,6 m ³ /(h-m ²)	
		kategoria C	2,9÷4,3 m ³ /(h-m ²)	
Mechaniczna	minimalny strumień przez cały czas	18 m ³ /(h-os)	Anglia i Walia	
	zdolność osiągnięcia strumienia maksymalnego o wartości w każdej chwili minimum	28,8 m ³ /(h-os)		
Naturalna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego	minimalny strumień powietrza zewnętrznego	10,8 m ³ /(h-os)		
	średnia wartość strumienia przez cały czas	18 m ³ /(h-os)		
	zdolność osiągnięcia strumienia maksymalnego o wartości w każdej chwili minimum	28,8 m ³ /(h-os)		
Naturalna lub mechaniczna zapewniająca strumień powietrza zewnętrznego	dla dzieci w wieku do 9 lat	18 m ³ /(h-os) oraz 3,2 m ³ /(h-m ²)	USA	
Mechaniczna	dla dziecka	10,8 m ³ /(h-os)	Dania	

ściwej jakości powietrza w budynkach edukacyjnych opisano w artykule [18].

Zapewnienie właściwej jakości powietrza jest niezwykle istotne, szczególnie w pomieszczeniach, w których przebywają dzieci. Stężenie ditlenku węgla silnie wpływa na zdolność percepcji uczniów, zwłaszcza tych najmłodszych. Badania dotyczące tego problemu zostały omówione w artykule [21]. Dzieci są obecnie obciążone nadmiarem bodźców z otoczenia (Internet, smartfony, duża ilość światła od ekranów, reklamy), a wysokie stężenie CO₂ dodatkowo wywołuje u nich rozproszenie i zniechęcenie. Z powodu nagłośnienia problemu jakości powietrza w wielu polskich miastach podjęto walkę ze smogiem. W przedszkolach i żłobkach, ale również w mieszkaniach, w których przebywają małe dzieci, coraz częściej stosuje się urządzenia filtrujące powietrze z cząstek stałych PM10 i PM2,5. W oczywisty sposób podnosi to jakość powietrza, ale należy pamiętać, że wpływa to jedynie

na obniżenie stężenia cząstek pyłowych, nie eliminując innych problemów: wysokiego stężenia CO₂ i pary wodnej. Te dwa ostatnie czynniki, oprócz wspomnianego wpływu na zdolność koncentracji, mają również wpływ na odczucie komfortu cieplnego – przy wyższym stężeniu CO₂ i pary wodnej zmysł powonienia ulega wyostreniu i różnego rodzaju zapachy stają się nieprzyjemne. Ponadto zmienia się odczuwalność temperatury i odczucie komfortu cieplnego – zimno i ciepło stają się bardziej dotkliwe, co sprawia, że zimą konieczne jest utrzymywanie wyższych, a latem niższych temperatur powietrza wewnętrznego, aby osiągnąć to samo odczucie komfortu, co prowadzi do zwiększonego zużycia energii w budynkach wyposażonych w aktywne systemy utrzymania komfortu (HVAC) [22][24][25][26][30][31]. Czynniki te sprzyjają hermetyzacji bakterii i wirusów, których źródłem w budynkach edukacyjnych są dzieci, w wyniku zbyt małego strumienia powietrza zewnętrznego

dostarczanego przez system wentylacji naturalnej [12][13].

W kontekście powyższych uwag, postrzegając proces edukacji jako swego rodzaju proces technologiczny, można stwierdzić, że zła jakość powietrza (zanieczyszczenie pyłami, duże stężenie CO₂ i pary wodnej) obniża wydajność kształcenia w dwojaki sposób: obniżając percepcję i zdolność uczniów do nauki, jak również zwiększając absencję chorobową, która może być traktowana jako trudna do wycenienia strata dla procesu edukacji.

Modernizacja istniejących budynków, w tym edukacyjnych obejmuje zwykle system docieplenia, wymianę okien oraz zastosowanie zaworów z głowicami termostaticznymi, połączone z regulacją hydrauliczną instalacji [15][16]. Nowoczesne, energooszczędne rozwiązania systemów ogrzewania i chłodzenia niskoparametrowego, jak np. sufitowe panele grzewczo-chłodzące [6][8][31], kolektory słoneczne [23] czy pompy ciepła [17] nie są zwykle rozważane jako możliwe do zastosowania podczas modernizacji, ponieważ wymagają znacznych nakładów inwestycyjnych, a także dużej ingerencji w istniejącą instalację oraz konstrukcję budynku. Mało który inwestor zleca również wykonanie zaawansowanych analiz energetyczno-ekonomicznych, wykorzystujących zaawansowane metody oceny inwestycji, jak np. te, przedstawione w artykułach [8][9][10][11][29]. Podobny problem występuje w zakresie instalacji wentylacyjnej. W budynkach istniejących najczęściej niemożliwe jest wykonanie instalacji wentylacji kanałowej z uwagi na brak przestrzeni do poprowadzenia dużych kanałów wentylacyjnych oraz brak miejsca na jedną dużą centralę wentylacyjną. Rozwiązaniem problemu może być system wentylacji hybrydowej [32]. Uzyskanie dodatkowej oszczędności energii, a jednocześnie zapewnienie wymaganej ilości powietrza zewnętrznego w budynkach istniejących mogą również zapewnić systemy wentylacji zdecentralizowanej, które umożliwiają zastosowanie odzysku ciepła. Jednocześnie powietrze dostarczane do pomieszczeń podlega podgrzaniu i filtracji, czego nie da się zapewnić poprzez przewietrzanie. Odpowiedni strumień powietrza zewnętrznego zapewnia rozcieńczenie zanieczyszczeń (CO₂, pary wodnej, bakterii i wirusów). Układy te spełniają również wymagania stawiane systemom wentylacji w budynkach energooszczędnych [1][2]: są pozbawione systemu dystrybucji powietrza (małe opory przepływu, niskie koszty tłoczenia), umożliwiają odzysk ciepła z powietrza usuwanego, a przede wszystkim realizują wentylację

DCV (demand controlled ventilation), tzn. strumień powietrza jest dopasowany do aktualnych potrzeb użytkowników. Decentralizacja i montaż niezależnych urządzeń w każdym z pomieszczeń sprawia, że w przypadku braku ich użytkowania strumień powietrza wentylacyjnego można ograniczyć zmniejszając koszt jego uzdatniania oraz wentylacyjną stratę ciepła, bez wpływu na jakość wentylacji w sąsiednich pomieszczeniach. Jest to duża zaleta i wygoda zarówno dla użytkownika oraz inwestora, który ponosi wówczas niższe koszty obsługi systemu. Zaletą tego typu rozwiązań jest również łatwość ich zastosowania podczas termomodernizacji obiektów istniejących. Pozostałe zalety to brak kanałów rozprowadzających powietrze, kanałów do czerpni i wyrzutni powietrza, a także skomplikowanego i kosztownego systemu regulacji (regulatory VAV), który należałoby zastosować, aby w przypadku wentylacji centralnej realizować ideę DCV. Wadą tego

typu systemów jest np. brak możliwości zastosowania powietrznych gruntowych wymienników ciepła, których działanie opisano np. w artykułach [3][4][5][14], a które w systemach wentylacji centralnej umożliwiają dodatkowy odzysk ciepła lub chłodu z gruntu oraz zapewniają stabilną pracę rekuperatorów podczas mrozów (brak zjawiska szronienia). Porównanie systemu rozdziału powietrza dla sali lekcyjnej w wersji z wentylacją centralną i decentralną pokazano na rysunku 1.

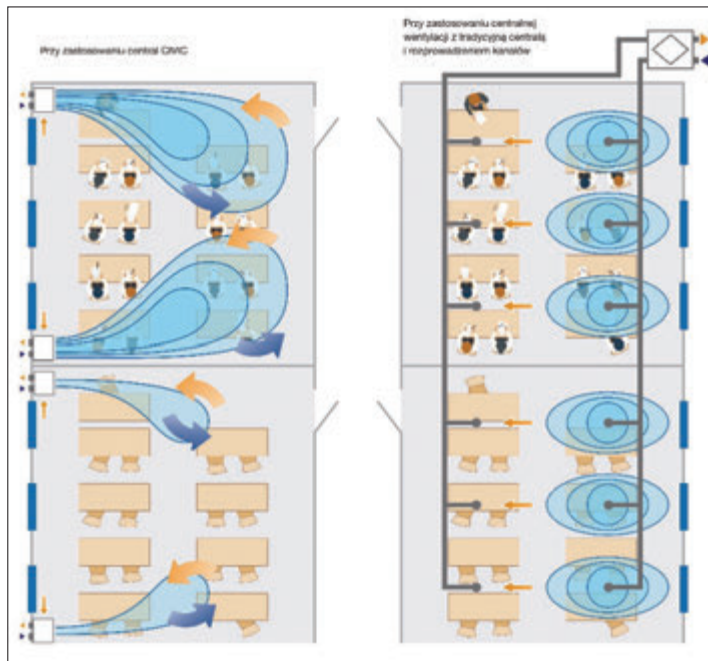
Badania doświadczalne

Cel badań

Badaniom poddano rekuperatory ścienne firmy Blauberg: Freshbox 100 i Civic EC LB300. Celem badań była ocena zintegrowanej czerpni-wyrzutni ściennej badanych urządzeń pod kątem zawracania powietrza usuwanego z powrotem do pomieszczenia.

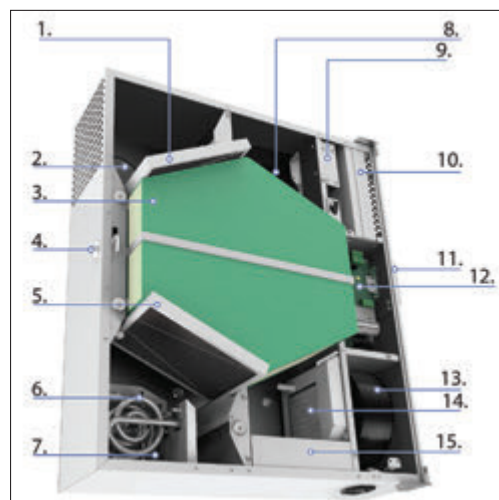
Rys. 1. Idea stosowania mini central wentylacyjnych w wentylacji zdecentralizowanej (lewa) i centrali wentylacyjnej w systemie tradycyjnym (prawa) źródło: [35]

Fig. 1. The idea of using mini ventilation units in decentralized ventilation (left) and central air handling unit in the traditional system (right), source: [35]



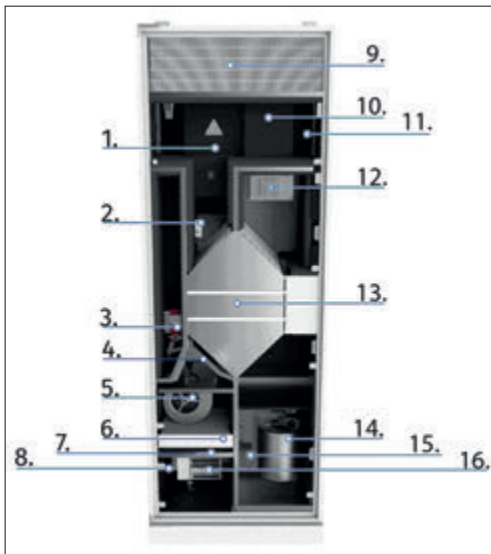
Rys. 2. Budowa urządzenia Blauberg Freshbox 100: 1. – Filtr wywiewny G4, 2. – Kanał czerpny, 3. – Wymiennik ciepła, 4. – Zamek, 5. – Filtr wstępny G4, 6. – Nagrzewnica wstępna, 7. – Przepustnica, 8. – Wentylator nawiewny, 9. – Nagrzewnica wtórna, 10. – Filtr wtórny F7, 11. – Panel kontrolny, 12. – Sterownik, 13. – Wentylator wywiewny, 14. – Przepustnica, 15. – Tacka ociekowa, źródło: [35]

Fig. 2. Construction of the Blauberg Freshbox 100: 1. – G4 exhaust filter, 2. – Intake duct, 3. – Heat exchanger, 4. – Lock, 5. – G4 prefilter, 6. – Pre-heater, 7. – Throttle, 8. – Supply air fan, 9. – Secondary heater, 10. – Secondary filter F7, 11. – Control panel, 12. – Controller, 13. – Exhaust fan, 14. – Throttle, 15. – Drip tray, source: [35]



Stanowisko badawcze

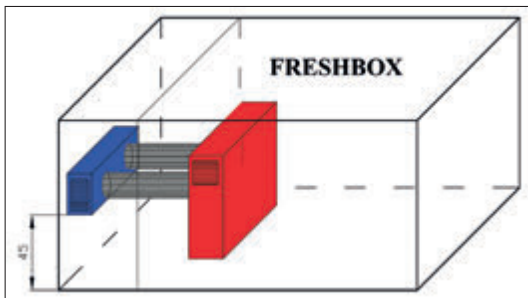
Na rys. 2 i 3 przedstawiono budowę badanych urządzeń. Urządzenie Blauberg Freshbox 100 zamontowano na okres badań w komorze testowej (rys. 4), natomiast urządzenie Blauberg Civic EC LB 300 (z uwagi na duży gabaryt) badano jako wolnostojące w przestrzeni laboratorium (rys. 5).



Rys. 3.

Budowa urządzenia Blauberg Civic EC LBT300: 1. – Jednostka sterująca, 2. – Czujnik wilgotności (CO₂ opcjonalny) 3. – Siłownik bypass, 4. – Bypass, 5. – Wentylator nawiewny, 6. – Filtr 7, 7. – Filtr G4, 8. – Przepustnica, 9. – Filtr włórnny, 10. – Kanał nawiewny 11. – Filtr wywiewu, 12. – Nagrzewnica włórnna, 13. – Wymiennik ciepła, 14. – Wentylator wywiewu, 15. – Przepustnica, 16. – Nagrzewnica wstępna, źródło: [35]

Fig. 3. Construction of the Blauberg Civic EC LBT300: 1. – Control unit, 2. – Humidity sensor (CO₂ optional) 3. – Bypass actuator, 4. – Bypass, 5. – Supply fan, 6. – Filter 7, 7. – G4 filter, 8. – Throttle, 9. – Secondary filter, 10. – Supply channel 11. – Extract filter, 12. – Secondary heater, 13. – Heat exchanger, 14. – Exhaust fan, 15. – Throttle, 16. – Pre-heater, source: [35]



Rys. 4.

Lokalizacja urządzenia Blauberg Freshbox 100 w komorze testowej podczas badań

Fig. 4. Location of the Blauberg Freshbox 100 in the test chamber during testing



Rys. 5.

Widok urządzenia Blauberg Civic EC LB 300 z zaznaczeniem punktów pomiaru stężenia dwutlenku węgla (1-3)

Fig. 5. View of the Blauberg Civic EC LB 300 device with the marking points for measuring the concentration of carbon dioxide (1-3)

Badania doświadczalne mające na celu ocenę zintegrowanej czepnio-wyrzutni ściennej pod kątem mieszania się strumieni powietrza usuwanego i nawiewanego do pomieszczenia przeprowadzono wykorzystując metodologię opisaną

w artykule [7] wykorzystując dym wskaźnikowy do wizualizacji rozprywu powietrza oraz pomiar stężenia dwutlenku węgla w celu wykonania analizy ilościowej. Procedura badawcza dla urządzenia Blauberg Freshbox 100 była następująca:

- komorę testową napełniano dymem, załączano urządzenie i obserwowano otoczenie zintegrowanej czepnio-wyr-

wano pomiarów stężenia CO₂ w powietrzu nawiewanym (w czepni) oraz wywiewanym do otoczenia (tuż za wyrzutnią).

Dzięki możliwości montażu urządzenia Blauberg Freshbox 100 w komorze testowej, dodatkowo możliwa była ocena skuteczności wentylowania komory. Ocenę wykonano wg procedury opisanej w artykule [7]: komorę testową napełniano dymem i podczas pracy urządzenia mierzono jego stężenie z krokiem czasowym co 1 min. Następnie porównywano wyniki pomiarów z obliczeniową wartością stężeń wg równania zaniku zanieczyszczeń (1), które to równanie umożliwia obliczenie stężenia zanieczyszczenia w danym czasie w zależności intensywności przewietrzania (liczba wymian) oraz wartości stężenia początkowego.

$$k_t = k_e \cdot (1 - e^{-n \cdot \tau}) + k_0 \cdot e^{-n \cdot \tau} \quad [\text{dm}^3/\text{m}^3] \quad (1)$$

k_t – stężenie CO₂ po czasie τ , [dm³/m³],

k_e – stężenie CO₂ w otoczeniu komory testowej, [dm³/m³],

k_0 – początkowe stężenie CO₂ w komorze testowej, [dm³/m³],

n – liczba wymian powietrza w komorze testowej w ciągu godziny, [1/h],

τ – czas trwania pomiaru, [h].

Sposób pracy urządzenia Blauberg Freshbox 100 był następujący:

- urządzenie zainstalowano w komorze testowej (rys. 4),
- urządzenie pracowało w trybie ciągłym – stale nawiewając powietrze do komory testowej oraz usuwając powietrze z komory na zewnątrz (wymiennik przeciwprądowy),
- nawiew oraz wyrzut powietrza następowało w zintegrowanej czepnio-wyrzutni.

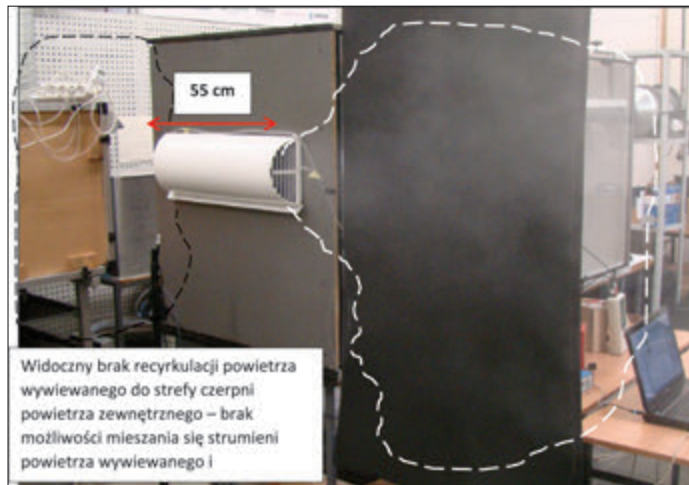
Sposób pracy urządzenia Blauberg Civic EC LB 300 był następujący:

- urządzenie zainstalowano jako wolno-stojące, umieszczając na okres badań przegrodę symulującą ścianę dla zamontowanej czepni i wyrzutni ściennej (rys.5),
- urządzenie pracowało w trybie ciągłym (wymiennik przeciwprądowy) stale nawiewając powietrze do pomieszczenia laboratorium poprzez elementy nawiewne oraz usuwając powietrze z laboratorium przez otwory wywiewne,
- nawiew i wywiew powietrza następował w zintegrowanej czepnio-wyrzutni.

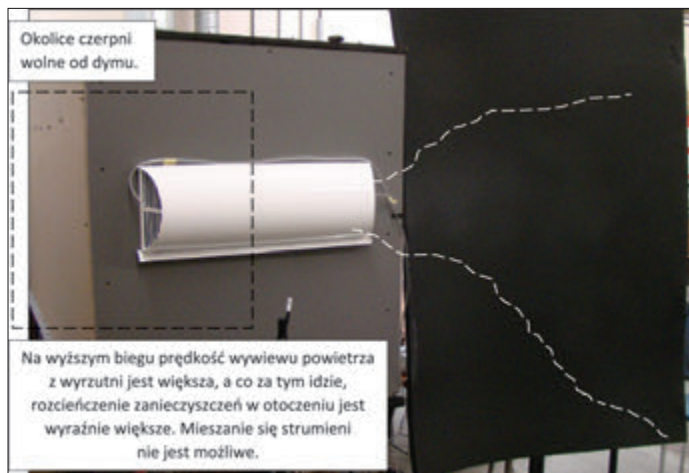
Wyniki

Wizualizacja dymem

Na rys. 6 i 7 przedstawiono wizualizację dymem dla urządzenia Blaubeerg Freshbox 100. Zdjęcia pokazują, że do mieszania się strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego nie dochodziło. Powietrze zużyte jest usuwane przez urządzenie za pomocą wyrzutni ściennej skierowanej w przeciwną stronę do czerpni. Odległość w poziomie pomiędzy otworem czerpni i wyrzutni wynosi 55 cm. Duża prędkość wyrzutu powietrza (nawet na I biegu urządzenia) powodowała wyniesienie dymu wskaźnikowego daleko poza strefę czerpni. W tym czasie następowała również dyspersja zanieczyszczeń w otoczeniu. Podobnie jak w powyżej opisywanym eksperymencie, w przypadku niekorzystnego kierunku silnego wiatru istnieje możliwość zawrócenia części strumienia powietrza usuwanego w okolice czerpni, jednak po drodze zanieczyszczenia uległyby znacznemu rozcieńczeniu, a co za tym idzie, nie obniżałoby to higieny pracy urządzenia.



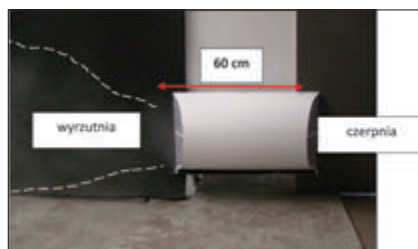
Rys. 6. Wizualizacja przepływu powietrza wokół czerpni-wyrzutni urządzenia Blaubeerg Freshbox 100, bieg I
Fig. 6. Visualization of the air flow around the Blaubeerg Freshbox 100 intake / exhaust device, gear I



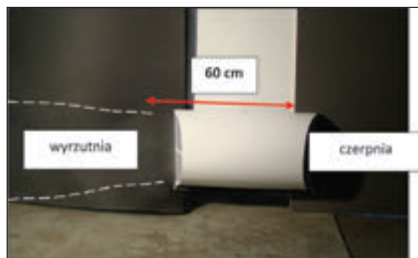
Rys. 7. Wizualizacja przepływu powietrza wokół czerpni-wyrzutni urządzenia Blaubeerg Freshbox 100, bieg III
Fig. 7. Visualization of the air flow around the Blaubeerg Freshbox 100 intake / exhaust device, gear III

dzenia) powodowała wyniesienie dymu wskaźnikowego daleko poza strefę czerpni. W tym czasie następowała również dyspersja zanieczyszczeń w otoczeniu. W przypadku niekorzystnego kierunku silnego wiatru istnieje możliwość zawrócenia części strumienia powietrza usuwanego w okolice czerpni, jednak po drodze zanieczyszczenia uległyby znacznemu rozcieńczeniu, a co za tym idzie, sytuacja ta, która może się zdarzyć sporadycznie, nie obniżałoby higieny pracy urządzenia.

Na rys. 8 i 9 przedstawiono wizualizacje dla urządzenia Blaubeerg Civic EC



Rys. 8. Wizualizacja przepływu powietrza wokół czerpni-wyrzutni urządzenia Blaubeerg Civic EC LB 300, bieg I
Fig. 8. Visualization of the air flow around the Blaubeerg Civic EC LB 300 intake / exhaust device, gear I



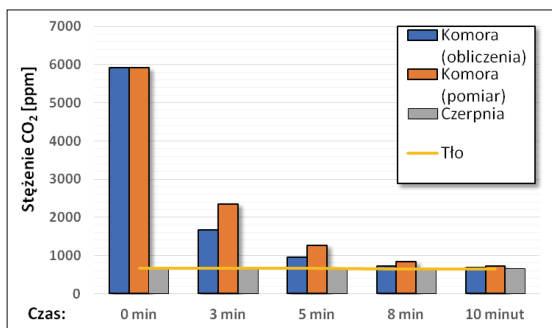
Rys. 9. Wizualizacja przepływu powietrza wokół czerpni-wyrzutni urządzenia Blaubeerg Civic EC LB 300, bieg III
Fig. 9. Visualization of the air flow around the Blaubeerg Civic EC LB 300 intake / exhaust device, gear III

LB 300. Zdjęcia pokazują, że do mieszania się strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego nie dochodziło. Powietrze zużyte jest usuwane przez urządzenie za pomocą wyrzutni ściennej skierowanej w przeciwną stronę do czerpni. Odległość w poziomie pomiędzy otworem czerpni i wyrzutni wynosi 60 cm. Duża prędkość wyrzutu powietrza (nawet na I biegu urządzenia) powodowała wyniesienie dymu wskaźnikowego daleko poza strefę czerpni. W tym czasie następowała również dyspersja zanieczyszczeń w otoczeniu. Podobnie jak w powyżej opisywanym eksperymencie, w przypadku niekorzystnego kierunku silnego wiatru istnieje możliwość zawrócenia części strumienia powietrza usuwanego w okolice czerpni, jednak po drodze zanieczyszczenia uległyby znacznemu rozcieńczeniu, a co za tym idzie, nie obniżałoby to higieny pracy urządzenia.

Pomiar stężenia ditlenku węgla

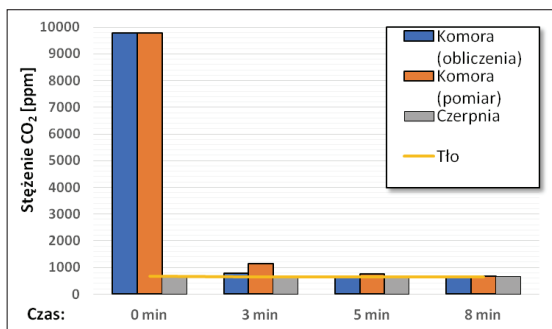
Na rys. 10 i 11 przedstawiono wyniki pomiarów stężenia CO₂ dla urządzenia Blaubeerg Freshbox 100 w trzech lokalizacjach: komórce testowej, czerpni oraz otoczeniu (laboratorium – tło). Na wykresach przedstawiono dodatkowo obliczeniową wartość stężenia CO₂ po danym czasie pracy urządzenia, obliczoną na podstawie wzoru (1). Wyniki pomiarów pokazują, że obliczeniowe (teoretyczne) i zmierzone stężenie CO₂ w komórce testowej są do siebie zbliżone, co potwierdza spójność z wizualizacji dymem – strumienie powietrza nawiewanego i wywiewanego w urządzeniu Blaubeerg Freshbox 100 nie mieszają się. Urządzenie działające w komórce testowej spowodowało usunięcie zanieczyszczenia w postaci ditlenku węgla w czasie porównywalnym z teoretycznym czasem, jaki jest potrzebny do usunięcia tego stężenia zanieczyszczeń z danej objętości przy danej intensywności wymiany powietrza w komórce. Wyniki pomiarów i obliczeń potwierdzają brak możliwości zawracania powietrza wywiewanego w urządzeniu Freshbox 100.

Na rys. 12 i 13 przedstawiono wyniki pomiarów stężenia CO₂ dla urządzenia Blaubeerg Civic EC LB 300 w dwóch lokalizacjach: w kanale czerpnym oraz w kanale wyrzutowym zintegrowanej czerpni-wyrzutni ściennej. Wyniki pokazują, że strumienie powietrza nawiewanego i wywiewanego nie mieszają się. Stężenie ditlenku węgla zmierzone w czerpni utrzymuje się na poziomie stężenia tła w hali laboratoryjnej. Wartość stężenia ditlenku węgla w czerpni rośnie nieco w trakcie w pomiarów, czego przyczyną jest rosnąca wartość stężenia ditlenku węgla w laboratorium.



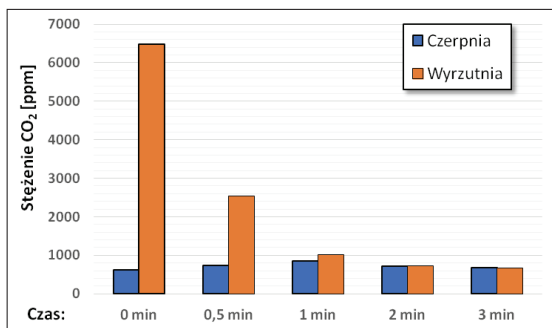
Rys. 10. Porównanie zmierzonej i obliczeniowej (teoretycznej) wartości stężenia dwutlenku węgla w komorze testowej, urządzenie Blaubeerg Freshbox 100, bieg I

Fig. 10. Comparison of the measured and calculated (theoretical) concentration of carbon dioxide in the test chamber, Blaubeerg Freshbox 100, gear I



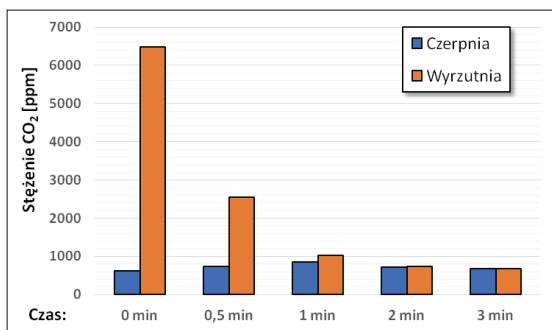
Rys. 11. Porównanie zmierzonej i obliczeniowej (teoretycznej) wartości stężenia dwutlenku węgla w komorze testowej, urządzenie Blaubeerg Freshbox 100, bieg III

Fig. 11. Comparison of the measured and calculated (theoretical) concentration of carbon dioxide in the test chamber, Blaubeerg Freshbox 100, gear III



Rys. 12. Pomiar stężenia dwutlenku węgla w czerpni i wyrzutni urządzenia Blaubeerg Civic EC LB 300 w czasie, bieg I

Fig. 12. Measurement of carbon dioxide concentration in the intake and outlet Blaubeerg Civic EC LB 300 devices, gear I



Rys. 13. Pomiar stężenia dwutlenku węgla w czerpni i wyrzutni urządzenia Blaubeerg Civic EC LB 300 w czasie, bieg III

Fig. 13. Measurement of carbon dioxide concentration in the intake and outlet Blaubeerg Civic EC LB 300 devices, gear III

Dzieje się tak z uwagi na duży strumień powietrza usuwanego przez urządzenie do laboratorium oraz duże wartości stężenia początkowego (5000 – 6500 ppm) w powietrzu, które trafiły wprost do laboratorium.

Podsumowanie i wnioski

Systemy wentylacji zdecentralizowane z mini-centralami wentylacyjnymi zlokalizowanymi na ścianie lub pod sufitem wentylowanego pomieszczenia oraz zintegrowanymi czerpniowo-wyrzutniami ściennymi umożliwiają skuteczną wentylację pomieszczeń zarówno w budynkach nowoprojektowanych, jak i już istniejących. Ich zalety

można docenić szczególnie w przypadku wentylacji pomieszczeń edukacyjnych, zwłaszcza już istniejących, z uwagi na łatwość ich zastosowania podczas termomodernizacji. Stosowane coraz chętniej w szkołach, przedszkolach czy żłobkach filtry antysmogowe zapewniają jedynie filtrację powietrza, jednak nie rozwiązują problemu nadmiernego stężenia dwutlenku węgla, pary wodnej oraz bakterii i wirusów. W przypadku budynków edukacyjnych szczególnie niepożądana jest nadmierna koncentracja CO₂, która jest jedną z przyczyn zniechęcenia uczniów, problemów z koncentracją podczas lekcji, a w konsekwencji osłabienia efektów nauczania. Wyniki badań przedstawione

w artykule [7] oraz w niniejszym wskazują na dużą skuteczność przewietrzania pomieszczeń przy zastosowaniu systemów wentylacji zdecentralizowanej. Jednocześnie w obu artykułach wskazano na ograniczenia w możliwości ich stosowania w warunkach polskich z uwagi na wymagania prawne zapisane w WT [28]. Wymagania odnośnie do lokalizacji czerpni i wyrzutni sprawiają, że poddane badaniom urządzenia nie mogą być stosowane. Wymagania te mają na celu zapewnienie wysokich standardów higienicznych oraz wykluczenie możliwości mieszania się strumieni powietrza zużytego wyrzucanego z pomieszczeń z powietrzem zewnętrznym. Wyniki przeprowadzonych badań pokazują jednak, że w przypadku odpowiedniej konstrukcji zintegrowanych czerpniowo-wyrzutni ściennych, do zawracania powietrza usuwanego z powrotem do pomieszczenia nie dochodzi. W tym kontekście wymagania WT [28] wydają się być nieuzasadnione. Jednocześnie ograniczając możliwość zastosowania urządzeń, które są w stanie zapewnić skuteczną wentylację, podnieść jakość powietrza w pomieszczeniach, a przez to poprawić skuteczność nauki w budynkach edukacyjnych, a jednocześnie umożliwiają odzysk ciepła z powietrza usuwanego, przynosząc wymierne oszczędności finansowe oraz środowiskowe.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania firmie Vents Group Sp. z o.o. z siedzibą w Niepruszewie k. Poznania za udostępnienie urządzeń do przeprowadzenia badań oraz materiałów technicznych.

LITERATURA:

- [1] Amanowicz Łukasz, Edward Szczechowiak: Zasady projektowania systemów wentylacji budynków energooszczędnych. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2017 (48) 2 : 72-78.
- [2] Amanowicz Łukasz, Michał Szymański, Radosław Górzeński: Wentylacja – ważny element w kontekście energooszczędności laboratoriów. Laboratorium 2016 9-10 : 49-55.
- [3] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak: Badania eksperymentalne wpływu zmian sposobu zasilania powietrznego gruntowego wymiennika ciepła typu rurowego na jego charakterystykę przepływową. Część 1 Równomierność rozprzysku”. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2010 (41) 6 : 208-212,220.
- [4] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak: Wpływ właściwości cieplnych gruntu na wydajność powietrznych rurowych gruntowych wymienników ciepła (PRGWC)”. Instal 2015 366 (10) : 59-62.
- [5] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak: Wpływ nierówności rozdziału powietrza na

- wydajność cieplną wielorurowych gruntu-
wych wymienników ciepła". Ciepłownictwo
Ogrzewnictwo Wentylacja 2017 (48) 12 :
413-417. DOI: 10.15199/9.2017.12.3.
- [6] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak:
Badania wydajności cieplnej aluminiowego,
sufitowego panelu grzewczo-chłodzącego.
Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja
2016 (47) 10: 413-417.
- [7] Amanowicz Łukasz, Ratajczak Katarzyna,
Szczechowiak Edward: Badania jednoru-
rowych systemów wentylacyjnych pod kątem
oceny mieszania się strumieni powietrza
w czerpni i wyrzutni". Ciepłownictwo
Ogrzewnictwo Wentylacja 2019 (50) 6 :
231-238.
- [8] Bandurski Karol, Koczyk Halina: IEA EBC
Annex 66 – Definition and Simulation of
Occupant Behavior in Buildings" – aktualne
metody modelowania zachowania użytkow-
ników budynku". Ciepłownictwo Ogrzewnic-
two Wentylacja 2015 (46) 2 : 63-68.
- [9] Basińska Małgorzata: The use of multi-criteria
optimization to choose solutions for energy
efficient buildings". Bulletin of the Polish
Academy of Sciences technical sciences 2017
65(6) : 815-826. DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/bpasts-2017-0084>
- [10] Basińska Małgorzata, Koczyk Halina, Szcz-
echowiak Edward: Sensitivity analysis in
determining the optimum energy for residen-
tial buildings in Polish conditions. Energy and
Buildings 2015 107 : 307-318. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.029>
- [11] Basińska Małgorzata, Koczyk Halina, Kos-
mowski Andrzej: Assessment of Thermo Mod-
ernization Using the Global Cost Method".
Energy Procedia 2015 78 : 2040-2045. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.204>.
- [12] Basińska Małgorzata, Michalkiewicz Michał:
Zmienność mikrobiologicznego zanieczysz-
czenia powietrza oraz stężenia pyłu
wewnątrz i na zewnątrz wybranej poznań-
skiej". Inżynieria ekologiczna 2016 50 :
17-25.
- [13] Basińska Małgorzata, Michalkiewicz Michał,
Górzeński Radosław: Stan systemu wentyla-
cyjnego w budynku edukacyjnym i jego
wpływ na jakość powietrza – analiza przy-
padku". Rynek Instalacyjny 2016 9 : 74-84.
- [14] Chmielewski Krzysztof, Amanowicz Łukasz:
Bezprzeponowe powietrzne gruntowe
wymenniki ciepła w układach wentylacji
mechanicznej. Rynek Instalacyjny 2017 5 :
76-80.
- [15] Cholewa T., Siuta-Olcha A., Balaras C.A.:
Actual energy savings from the use of thermo-
static radiator valves in residential buildings–
Long term field evaluation. Energy and Build-
ings 2017 151 : 487-493.
- [16] Cholewa T., Balen I., Siuta-Olcha A.: On the
influence of local and zonal hydraulic balanc-
ing of heating system on energy savings in
existing buildings–Long term experimental
research. Energy and Buildings 2018 179 :
156-164.
- [17] Dudkiewicz Edyta, Fidorów-Kaprawy Natali-
za. The energy analysis of a hybrid hot tap
water preparation system based on renew-
able and waste sources. Energy 2017 (127) :
198-208.
- [18] Ludwiczak Anna, Katarzyna Ratajczak. Wen-
tylacja placówek dydaktyczno-edukacyjnych.
Przegląd wybranych polskich i zagranicz-
nych wymagań dotyczących strumienia
powietrza i stężenia CO2. Rynek Instalacyjny
2018 : 24-29.
- [19] Laska Marta, Dudkiewicz Edyta. Research of
CO2 concentration in naturally ventilated lec-
ture room". International Conference on
Advances in Energy Systems and Environ-
mental Engineering (ASEE17), Wrocław,
Poland, July 2-5, 2017 / B. Kaźmierczak
[i in.] (Eds.). [Les Ulis] : EDP Sciences, 2017.
art. 00099, s. 1-8. (E3S Web of Conferences,
ISSN 2267-1242; vol. 22), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172200099>
- [20] Laska Marta, Dudkiewicz Edyta. Thermal
comfort study in naturally ventilated lecture
room based on questionnaire survey. Pro-
ceedings of 10th Windsor Conference:
Rethinking Comfort: Cumberland Lodge,
Windsor, UK, 12th-15th April 2018 / ed. by
Luisa Brotas [i in.]. Windsor: NCEUB: 634-
648.
- [21] Ludwiczak Anna, Płóciennik Aleksandra,
Ratajczak Katarzyna, Filipiak Magdalena.
Jakość powietrza w żłobku – monitoring,
ocena i rozwiązania problemów. Ciepłownic-
two Ogrzewnictwo Wentylacja 2918 (49) :
374-380.
- [22] Małek Maria Teresa, Koczyk Halina: Rozwią-
zania stosowane w budownictwie energoos-
zczędnym a komfort cieplny. Materiały Budow-
lane 216 27 : 83-86.
- [23] Małek Maria Teresa. Symulacja pracy płas-
kiego kolektora słonecznego w instalacji cie-
plej wody użytkowej w warunkach polskich
za pomocą programu TRNSYS. Ciepłownic-
two Ogrzewnictwo Wentylacja 2019 (50) 4:
142-148.
- [24] Mróz Tomasz, Szkarlat Kamil. Wpływ strate-
gii sterowania na komfort klimatyczny
w budynku pasywnym. Instal 2013 5 : 18-27.
- [25] Radomski B., Jaskulska J.: Integracja syste-
mów wentylacyjnych i grzewczo-chłodzą-
cych dla budynków pasywnych jednorodzin-
nych. Rynek Instalacyjny 2016 11 : 51-56.
- [26] Radomski Bartosz, Karol Bandurski, Tomasz
M. Mróz: Rola parametrów komfortu klima-
tycznego w budynkach pasywnych. Instal
2017 10 : 27-33.
- [27] Ratajczak Katarzyna, Łochoński Szymon:
Jakość powietrza w budynku użytkowanym
jako żłobek. Rynek Instalacyjny 2017 10 :
54-60.
- [28] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury
z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warun-
ków technicznych, jakim powinny odpowia-
dać budynki i ich usytuowanie (DzU nr
75/2002, poz. 690, z późn. zm.).
- [29] Sinacka Joanna, Ratajczak Katarzyna: Anal-
ysis of selected input data impact on energy
demand in office building – case study.. 3rd
International Workshop on Flexibility in Sus-
tainable Construction (ORSDC 2018),
MATEC Web Conf. Vol. 222. DOI: <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201822201015>
- [30] Sinacka Joanna, Szczechowiak Edward:
Analiza eksploatacyjna budynku pasywnego
w aspekcie komfortu klimatycznego i zużycia
energii. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wen-
tylacja 2017 (48) 12 : 497-504.
- [31] Sinacka Joanna, Szczechowiak Edward:
Modelowanie przepływu ciepła w budynku
ze stropami i sufitami grzewczo-chłodzący-
mi. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja
2018, (49) 7 : 271-278.
- [32] Sowa Jerzy: Wentylacja hybrydowa – ener-
gooszczędny sposób poprawy jakości powie-
trza w budynkach szkolnych. Instal 2007, 12
: 25-32.
- [33] Szymański Michał, Amanowicz Łukasz,
Ratajczak Katarzyna, Górzeński Radosław:
Instalacje HVAC laboratoriów chemicznych –
wyposażenie techniczne. Wentylacja ogólna.
Rynek Instalacyjny 2515, 11 : 59-66.
- [34] Szymański Michał, Amanowicz Łukasz, Rataj-
czak Katarzyna, Górzeński Radosław: Instal-
acje HVAC laboratoriów chemicznych – wy-
posażenie techniczne. Wentylacja technologicz-
na. Rynek Instalacyjny 2015, 12 : 56-60.
- [35] Katalog urządzeń oraz materiały szkolenio-
we firmy Blauberg, 2019.

Rozszerzone wydanie poradnika „Pompy ciepła”

autor: dr inż. Marian Rubik
Wydanie III rozszerzone. Warszawa 2006 r. Cena 40 zł + VAT

Zamówienia przyjmuje:

Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”
02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14, tel./fax: (22) 843-77-71
e-mail: redakcja@informacjainstal.com.pl, wydawnictwo@informacjainstal.com.pl

