ISSN 0137-3676
e-ISSN 2449-9900

70 lat WYDAWNICTWO SIGMA-NOT

CIEPŁOWNICTWO OGRZEWNICTWO WENTYLACJA

50 lat

DISTRICT HEATING, HEATING, VENTILATION

NR 6 CZERWIEC 2019 TOM 50 (STR. 205-240) CENA 29,00 ZŁ (W TYM 5% VAT)

JEDNORURowy SYSTEM WENTYLACJI

www.blauberg.pl

VENTO EXPERT A50-1 S10 W V.2

Wydajność do 50 m³/h

Efektywność odzysku ciepła do 97%





Wi Fi READY

BLAUBERG Ventilatoren

PRASA FACHOWA 70 lat SIGMA-NOT www.sigma-not.pl
CIEPŁOWNICTWO, OGRZEWNICTWO, WENTYLACJA 50/6 (2019) 231÷238
www.cieplowent.pl
50 lat CIEPŁOWNICTWO OGRZEWNICTWO WENTYLACJA
ISSN 0137-3676

Badania jednorurowych systemów wentylacyjnych pod kątem oceny mieszania się strumieni powietrza w czerpni i wyrzutni

Testing of Single-Duct Ventilation Units for the Assessment of Mixing of Air in Inlet And Outlet

DOI: 10.15199/9.2019.6.4

ŁUKASZ AMANOWICZ
KATARZYNA RATAJCZAK
EDWARD SZCZECHOWIAK

Słowa kluczowe: *wentylacja, jednorurowe urządzenia wentylacyjne, badania czerpnio-wyrzutni, jakość powietrza w budynkach*

Streszczenie

Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła w budynkach może być realizowana jako centralna (jedno urządzenie wraz z systemem kanałów rozdzielczych) lub zdecentralizowana (pojedyncze urządzenia instalowane oddzielnie dla każdego z pomieszczeń bez dodatkowych kanałów rozdzielczych). W przypadku systemów zdecentralizowanych ciekawym rozwiązaniem są jednorurowe systemy wentylacyjne rozumiane jako ścienne mini-centrale wentylacyjne z wentylatorem rewersyjnym i ceramicznym wymiennikiem odzyskiwania ciepła. W celu zapewnienia bezpieczeństwa higienicznego, polskie prawo (warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie WT [21]) wymaga stosowania odpowiednich odległości pomiędzy czerpnią a wyrzutnią, aby uniknąć możliwości mieszania się strumieni powietrza wywiewanego i nawiewanego. W przypadku tego typu urządzeń wymagania te nie są spełnione.

Celem artykułu jest ocena możliwości mieszania się strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego w jednorurowych systemach wentylacyjnych.

Przeprowadzono badania doświadczalne polegające na wizualizacji dymem oraz pomiarze stężenia ditlenku węgla w celu określenia skuteczności działania jednorurowych ściennych urządzeń wentylacyjnych i możliwości mieszania się strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego w zintegrowanej czerpnio-wyrzutni ściennej tych urządzeń.

Wyniki wskazują, że ryzyko zawracania powietrza zużytego z powrotem do pomieszczenia jest niewielkie pomimo braku spełnienia przez badane urządzenia wymagań WT odnośnie do lokalizacji czerpni i wyrzutni. Wyniki badań skłaniają do przemyśleń nad zasadnością stosowania wobec tego typu urządzeń wymagań WT, które ograniczają możliwość ich użytkowania, a zatem możliwość poprawy jakości powietrza wewnętrznego, szczególnie w budynkach podlegających modernizacji, gdzie zastosowanie innych skutecznych rozwiązań jest często niemożliwe lub kosztowne.

dr inż. **Łukasz Amanowicz**; Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska
dr inż. **Katarzyna Ratajczak**; Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska
prof. dr hab. inż. **Edward Szczechowiak**; osoba do kontaktu: edward.szczechowiak@put.poznan.pl
Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, Poznań

Keywords: *decentralized ventilation, reversible fans, intake and exhaust test, indoor air quality*

Abstract

Mechanical ventilation with heat recovery can be implemented as central (one device with a distribution channel system) or decentralized (individual devices installed separately for each room without additional distribution channels). In the case of decentralized systems, the reverse wall recuperators are a popular solution abroad. In order to ensure hygienic safety, the Polish law (WT) requires the use of appropriate distances between air intake and exhaust device in order to avoid the possibility of mixing of the exhaust and supply air streams. In the case of wall recuperators, these requirements are not met.

Assessment of the possibility of mixing the supply and exhaust air in reversible wall recuperators.

Experimental investigations were conducted involving smoke visualization and measurement of carbon dioxide concentration in order to determine the effectiveness of wall reverse recuperators and the possibility of mixing air streams in the integrated intake / exhaust device.

The results indicate that the risk of returning back exhaust air to the room in investigated devices is negligible although they do not meet the WT requirements for the location of the intake and exhaust air devices. From that point of view WT requirements limits the possibility of their use, and therefore the possibility of improving indoor air quality, especially in buildings subject to modernization, where the use of other effective solutions is often impossible or expensive.

© 2006-2019 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
All right reserved

1. Wstęp

Stosowanie wentylacji w każdym budynku, w którym przebywają ludzie jest obowiązkowe w świetle norm i rozporządzeń obowiązujących w Polsce. Wentylacja ma zapewnić właściwe warunki higieniczne i właściwą

jakość powietrza. W budynkach mieszkalnych najczęściej stosowana jest wentylacja naturalna. Dopływ powietrza zewnętrznego odbywa się wówczas poprzez zastosowanie nawietrzaków okiennych, a wywiew przez kanały grawitacyjne. Jest to rozwiązanie stosunkowo proste konstrukcyjnie, któremu nie poświęca się zbyt wiele uwagi na etapie projektowania. Niewątpliwą wadą tego rozwiązania jest brak kontroli ilości dopływającego powietrza. Ponadto w okresie zimowym powietrze doprowadzane do pomieszczenia jest zimne, co powoduje dyskomfort i znacząco podnosi koszty ogrzewania. Napływ zimnego powietrza powoduje, że nawietrzaki okienne są często zaklejane przez użytkowników, w związku z czym pogarsza się jakość powietrza wewnątrz pomieszczeń. Problem ten jest szczególnie widoczny w budynkach modernizowanych. Jednocześnie we współczesnych budynkach poprawia się szczelność powietrzą obudowy budynku poprzez izolowanie ścian zewnętrznych, co jeszcze bardziej ogranicza dopływ powietrza zewnętrznego i powoduje syndrom chorego budynku.

Jakość powietrza w budynkach wyposażonych w system wentylacji naturalnej jest niska. Dotyczy to przede wszystkim budynków użyteczności publicznej, w których przebywa jednocześnie duża liczba osób np. szkół, przedszkoli, żłobków, sal konferencyjnych, urzędów czy biur. Na podstawie badań [10], [11], [16], [20] można stwierdzić, że w takich budynkach strumień powietrza zewnętrznego doprowadzany do pomieszczeń (najczęściej przez czasowe otwieranie okien) jest zwykle niewystarczający. W konsekwencji tego stężenie ditlenku węgla znacząco przekracza wymagania normatywne omówione np. w artykule [15].

Rozwiązaniem opisanych problemów jest stosowanie wentylacji wymuszonej z odzyskiwaniem ciepła. W tego typu rozwiązaniach strumień powietrza zewnętrznego niezbędny do utrzymania właściwej jakości powietrza jest kontrolowany, co zapewnia realne spełnienie norm i wymagań prawych w tym zakresie. Niewątpliwą zaletą wentylacji mechanicznej jest możliwość stosowania urządzeń do odzyskiwaniu ciepła z powietrza wywiewanego, co przyczynia się do oszczędności energii. Stosowanie odzyskiwania ciepła z powietrza wywiewanego jest konieczne i szczególnie istotne w przypadku budynków o dużym zapotrzebowaniu na świeże powietrze [1], [24], [25]. Jest to jedna z najbardziej efektywnych metod oszczędności energii, która może przynieść znaczący zysk, podobnie, jak stosowanie zaworów termostatycznych czy równoważenie hydrauliczne instalacji grzewczych [13], [14].

Zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiwaniem ciepła oprócz oczywistych korzyści energetycznych i finansowych wpływa również na poprawę komfortu cieplnego, który jest szczególnie istotny z punktu widzenia użytkowników i szczególnie trudny do osiągnięcia w budynkach starych, nieszczelnych i pozbawionych izolacji, jak również w szczelnych i bardzo dobrze zaizolowanych budynkach energooszczędnych i pasywnych [19].

Celowość stosowania wentylacji mechanicznej z odzyskiwaniem ciepła potwierdzają wyniki wielokryterialnych analiz energetycznych budynków, w których uwzględniane są zarówno aspekty energetyczne, finansowe, ale również środowiskowe, jak np. możliwość obniżenia zużycia energii pierwotnej czy zmniejszenia emisji ditlenku CO_2 [6], [7], [8].

Badania przeprowadzane w budynkach, w których zastosowano wentylację mechaniczną [9], [16], [17], [18] pokazują, że jakość powietrza wewnętrznego, zarówno mikrobiologiczna, jak i fizyczna, w takich przypadkach (w zakresie stężenia ditlenku węgla i pyłów) jest dobra.

Izolując przegrody zewnętrzne w budynkach zmniejsza się udział strat ciepła przez przenikanie w całkowitych stratach ciepła, powodując jednocześnie zwiększenie udziału wentylacyjnej straty ciepła. Analizy [1], [22], [23], [1] wykazały, że stosowanie wentylacji z odzyskiwaniem ciepła zamiast wentylacji naturalnej jest koniecznością w obecnych czasach w aspekcie przepisów związanych z charakterystyką energetyczną budynków. Energooszczędność nowoczesnych systemów wentylacji mechanicznej z odzyskiwaniem ciepła można dodatkowo zwiększyć dzięki wykorzystaniu gruntowych powietrznych wymienników ciepła – przeponowych (np. rurowych [3][4][5]) lub bezprzeponowych (żwirowych, płytowych, modułowych [12]). Rozwiązanie to wymaga zastosowania systemu wentylacji centralnej wraz z systemem kanałów nawiewnych i wywiewnych, a zatem nie znajduje zastosowania w przypadku urządzeń wentylacji zdecentralizowanej, rozproszonych w różnych pomieszczeniach z niezależnymi czerpnio-wyrzutniami powietrza.

W artkułach [1], [2] można znaleźć wskazówki do projektowania systemów wentylacji budynków energooszczędnych, które znalazły zastosowanie w jednym z rzeczywistych obiektów Politechniki Poznańskiej. Jednym z nich jest zalecenie decentralizacji systemu. Pozostałe wymagania można podsumować następująco:

– duże znaczenie mają parametry samego budynku, który powinien cechować się wysoką izolacyjnością cieplną przegród budowalnych, w miarę możliwości dużą pojemnością cieplną, ale przede wszystkim wysoką szczelnością powietrzną – czynniki te umożliwiają łatwiejsze uzyskanie komfortu cieplnego, a także wpłyną korzystnie na efektywność energetyczną samego systemu wentylacji,

– zarówno ilość powietrza wentylacyjnego jak i jego zmienność w ciągu doby i roku powinny zależeć od potrzeb użytkowników lub technologii – nie zaleca się stosowania centralnego chłodzenia powietrzem,

– strumień powietrza powinien wynikać z kryterium higienicznego lub ewentualnie technologicznego i powinien być zmienny w funkcji obciążenia pomieszczeń (tzw. DCV – *Demand Control Ventilation*),

– preferowana jest decentralizacja systemu wentylacji przez jego podział na strefy, co ułatwia regulację wydajności i zmniejsza koszty dopasowania się systemu do potrzeb użytkownika,

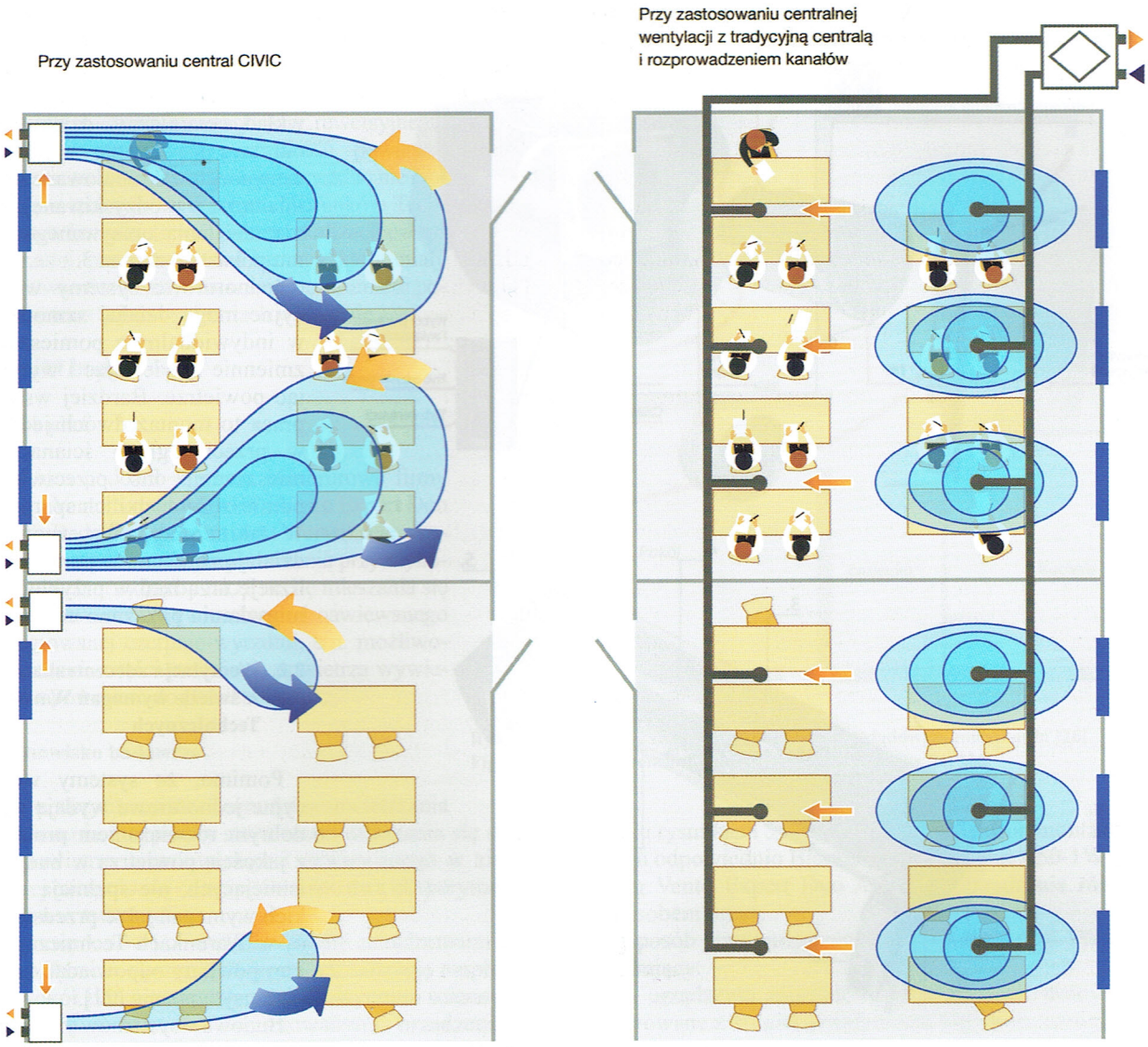
– w miarę możliwości powinno stosować się krótkie przewody rozprowadzające powietrze, co sprzyja niskim oporom przepływu i spełnieniu wymagań WT [21] odnośnie do SFP $<2{,}6$ kW/(m^3/s),

– wentylacja pomieszczeń takich jak korytarze czy pomieszczenia techniczne może być realizowana powietrzem z pomieszczeń bytowych (np. biur),

– w celu uzyskania niskiego zużycia energii powinno się stosować wentylatory z silnikami elektronicznie komutowanymi EC lub PM,

– system wentylacji powinien być zintegrowany z systemem zarządzania budynkiem (BMS) w celu kontroli i optymalizacji jego pracy w trakcie eksploatacji,

– system wentylacji powinien umożliwiać odzyskiwanie ciepła z powietrza usuwanego.



Rys. 1. Idea wentylacji zdecentralizowanej (po lewej) i centralnej (po prawej) [26]
Fig. 1. Idea of decentralized ventilation solution (left) and central (right) [26]

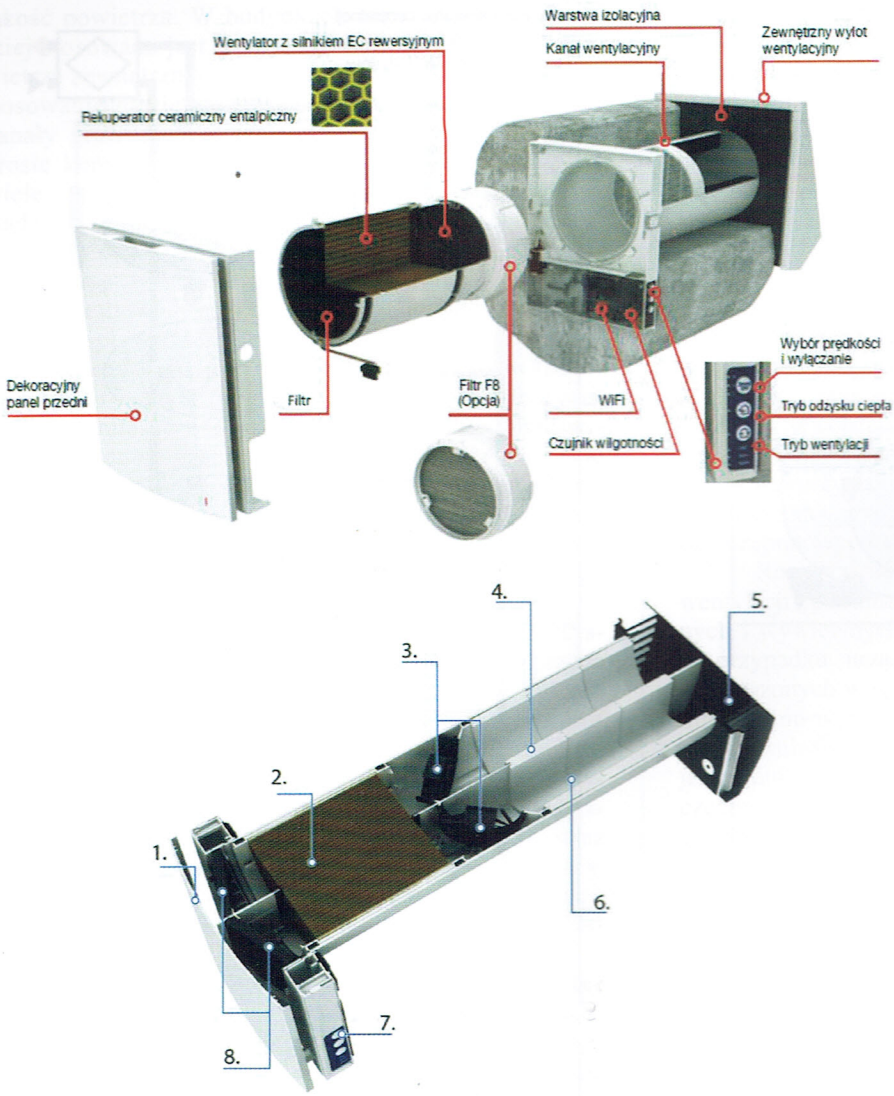
2. Wentylacja zdecentralizowana w świetle wymagań Warunków Technicznych

2.1.Idea rozwiązania wentylacji zdecentralizowanej

Wentylacja mechaniczna centralna, pomimo swoich niewątpliwych zalet w postaci dostarczania do pomieszczeń właściwej ilości powietrza zewnętrznego o właściwej temperaturze i możliwości sterowania, nie jest pozbawiona wad. Prowadzenie kanałów wentylacyjnych wymaga dużej ilości miejsca, a centrale wentylacyjne wentylacji centralnej mają duże wymiary. W budynkach nowych nie ma problemu z zaprojektowaniem i wykonaniem instalacji wentylacji mechanicznej. W budynkach istniejących, które są modernizowane, lub w których wykazano złą jakość powietrza może się okazać, że tradycyjna wentylacja kanałowa nie może być wykonana z uwagi na ograniczenia konstrukcyjno-architektoniczne. Rozwiązaniem tych problemów jest system wentylacji zdecentralizowanej. Porównanie rozdziału powietrza za pomocą wentylacji zdecentralizowanej i centralnej pokazano na rys. 1.

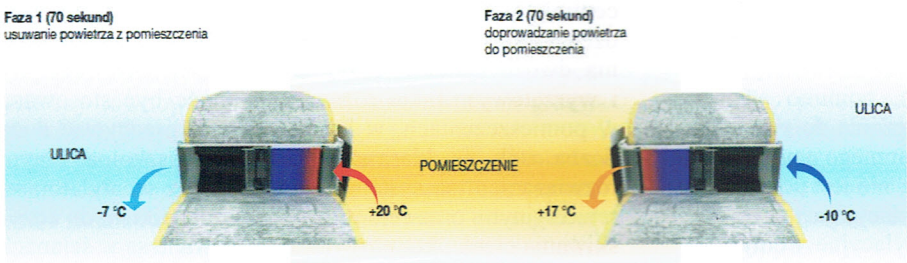
W ostatnich latach pojawiły się rozwiązania, które pozwalają na zastosowanie systemu wentylacji zdecentralizowanej w budynkach istniejących, w których jakość powietrza jest niewystarczająca. Są to systemy z minicentralami wentylacyjnym, które nie wymagają prowadzenia kanałów wentylacyjnych, a jedynie wyprowadzenia dwóch kanałów przez ścianę zewnętrzną (czerpny i wyrzutowy). Takie rozwiązanie może być stosowane w pomieszczeniach, w których będzie przebywać duża liczba osób, np. klasa szkolna czy przedszkolna. Innym rozwiązaniem są systemy jednorurowe z wentylatorami rewersyjnymi oraz ceramicznym wymiennikiem do odzyskiwania ciepła, które również montowane są w ścianach zewnętrznych budynku.

Wentylacja zdecentralizowana umożliwia doprowadzenie odpowiedniej ilości powietrza zewnętrznego do pomieszczenia. Dzięki innowacyjnym rozwiązaniom wentylacji zdecentralizowanej, takim jak np. systemy jednorurowe z ceramicznymi wymiennikami do odzyskiwania ciepła, świeże powietrze jest dodatkowo wstępnie podgrzane, co znacząco zmniejsza koszty ogrzewania. Wentylatory stosowane w tego typu urządzeniach, z uwagi na mały spręż, pobierają mało prądu, dzięki czemu wentylację zdecentralizowaną można traktować jako rozwiązanie energooszczędne.



Rys. 2. Budowa jednorurowego systemu wentylacyjnego z ceramicznym wymiennikiem do odzyskiwania ciepła oraz jednym wentylatorem rewersyjnym (lewa strona) i z dwoma wentylatorami rewersyjnymi (prawa strona) [26]: *1* – panel wewnętrzny, *2* – wymiennik ciepła, *3* – wentylatory, *4* – separator strumieni powietrza, *5* – okap zewnętrzny, *6* – kanał, *7* – wbudowany panel sterujący, *8* – filtry klasy G3

Fig. 2. Construction of a single-duct reversible ventilation unit with ceramic recuperator with one fan (left) and with two fans (right) [26]



Rys. 3. Zasada działania jednorurowego systemu wentylacyjnego z wentylatorem rewersyjnym i ceramicznym wymiennikiem ciepła [26]

Fig. 3. The principle of operation of the single-duct ventilation unit with reverse fan and the ceramic heat exchanger [26]

Tematem badań opisanych w niniejszym artykule są tego typu urządzenia, których budowę przedstawiono na rys. 2. Zasada ich działania polega na zmianie kierunku przepływu powietrza w wyznaczonych okresach. W pierwszej fazie powietrze wewnętrzne (cieplejsze) usuwane jest z pomieszczenia, wkład ceramiczny nagrzewa się. Po określonym czasie, 70 sekund, następuje zmiana kierunku przepływu powietrza. Powietrze zewnętrzne (zimne) przepływa przez ogrzany wkład ceramiczny, dzięki czemu ogrzewa się (ciepło z powietrza usuwanego zakumulowane w wymienniku jest odzyskiwane). Schemat działania opisywanego systemu pokazano na rys. 3.

Jednorurowe systemy wentylacyjne mogą działać samodzielnie w indywidualnym pomieszczeniu zmiennie nawiewając i wywiewając powietrze. Bardziej wskazana praca to montaż dwóch jednostek w przeciwległych ścianach pomieszczenia lub przeciwległych pomieszczeniach i ich sparowanie. W takim przypadku wentylatory działają zmiennie w parach. Lokalizację urządzeń w przykładowym mieszkaniu pokazano na rys. 4.

2.2. Wentylacja zdecentralizowana w świetle wymagań Warunków Technicznych

Pomimo, że systemy wentylacyjne jednorurowe wydają się być dobrym rozwiązaniem problemów z jakością powietrza w budynkach istniejących, nie spełniają wszystkich wymagań jakie przedstawione są w Warunkach Technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [21].

Budowa systemów jednorurowych sprawia, że czerpnia i wyrzutnia urządzenia znajdują się w tym samym miejscu – tą samą kratką powietrze jest pobierane, a po przełączeniu trybu pracy wentylatora jest usuwane na zewnątrz (np. w badanym urządzeniu Vento Expert A50-1W). Z kolei w przypadku urządzeń z dwoma wentylatorami rewersyjnymi (badane urządzenie Vento Expert-Duo A30-1W) czerpnia i wyrzutnia zlokalizowane są za blisko siebie. Główne wnioski z przeglądu Warunków Technicznych [21] w tym zakresie są następujące:

– wysokość lokalizacji czerpni powinna wynosić co najmniej 2 m,

– czerpnia powinna być tak zlokalizowana, żeby nie występowało mieszanie pobieranego powietrza z powietrzem usuwanym,

– przy lokalizacji czerpni i wyrzutni na ścianie budynku ich odległość między sobą powinna wynosić 1,5 m.

Dodatkowo w Warunkach Technicznych [21] podano, że do pomieszczeń, w których przebywają ludzie należy doprowadzać odpowiedni strumień powietrza zapewniający właściwą jakość powietrza, a w układach wentylacji

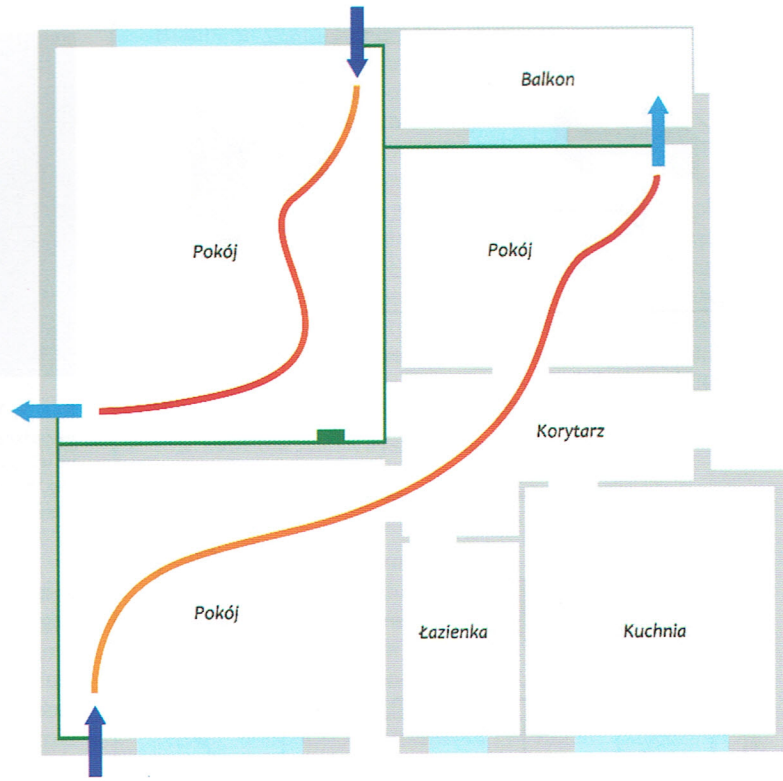
mechanicznej można stosować recyrkulację powietrza, co powoduje mieszanie się strumienia powietrza zewnętrznego doprowadzanego do pomieszczenia i powietrza usuwanego z pomieszczenia.

W związku z tym, że wentylatory rewersyjne są rozwiązaniem poprawiającym jakość powietrza w pomieszczeniach i umożliwiają odzyskiwanie ciepła, ale nie spełniają wytycznych Warunków Technicznych w kontekście wzajemnej lokalizacji czerpni i wyrzutni, przeprowadzono badania, które miały na celu stwierdzenie czy mieszanie się strumieni powietrza w tego typu urządzeniach występuje.

3. Wyniki badań

3.1. Cel badań

Badaniom poddano systemy jednorurowe firmy Blauberg: Vento Expert A50-1W i Vento Expert Duo A30-1W. Badania miały na celu weryfikację skuteczności przewietrzania pomieszczenia przy wykorzystaniu tych urządzeń, a także ocenę mieszania się strumieni powietrza wywiewanego i nawiewanego w zintegrowanej czerpnio-wyrzutni, tzn. możliwości zawracania części strumienia powietrza wywiewanego z powrotem do pomieszczenia.



Rys. 4. Jednorurowy system wentylacji w przykładowym mieszkaniu [26]
Fig. 4. Single-duct ventilation system in an exemplary flat [26]

3.2. Stanowisko badawcze

W celu weryfikacji skuteczności przewietrzania pomieszczenia oraz oceny możliwości mieszania się strumieni powietrza wywiewanego i nawiewanego w zintegrowanej czerpnio-wyrzutni wykonano dwa eksperymenty z każdym urządzeniem:

– komorę testową z zamontowanymi urządzeniami napełniano dymem i przeprowadzono wizualizację rozpływu dymu wokół zintegrowanych czerpnio-wyrzutni ściennych,

– komorę testową z zamontowanymi urządzeniami napełniano ditlenkiem węgla, a następnie wykonano pomiary stężenia CO_2 w powietrzu nawiewanym (w czerpni), wywiewanym do otoczenia (tuż za wyrzutnią) oraz wewnątrz komory.

Zastosowanie dymu miało na celu określenie kierunku przepływu powietrza wywiewanego i nawiewanego oraz wizualną ocenę możliwości ich mieszania się podczas typowej pracy urządzenia.

Pomiary stężenia ditlenku węgla w czerpni miały na celu sprawdzenie czy stężenie to nie wzrasta w trakcie pracy urządzenia, co mogłoby świadczyć o podsysaniu powietrza z kanału wyrzutni do kanału czerpni. Dodatkowo wyniki pomiarów porównano z wynikami obliczeń stężenia CO_2 wewnątrz komory testowej wg równania (1) zaniku zanieczyszczeń, sprawdzając czas rozcieńczania zanieczyszczeń. W przypadku, jeśli znacząco odbiegałby on od obliczeniowego, mogłoby to świadczyć o zawracaniu części powietrza usuwanego z powrotem do pomieszczenia. Na potrzeby badań wykonano komorę testową o objętości 1,51 m³.

$$k_\tau = k_e (1 - e^{-n\tau}) + k_0 \cdot e^{-n\tau} \text{ dm}^3/\text{m}^3 \qquad (1)$$

gdzie:
k_τ – stężenie CO_2 po czasie τ,
k_e – stężenie CO_2 w otoczeniu komory testowej, dm³/m³,
k_0 – początkowe stężenie CO_2 w komorze testowej, dm³/m³,
n – krotność wymian powietrza w komorze testowej, 1/h,
τ – czas trwania pomiaru, h.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono sposób montażu urządzeń odpowiednio Blauberg Vento Expert A50-1W i Blauberg Vento Expert Duo A30-1W. Urządzenia różnią się sposobem pracy.

Sposób pracy urządzenia Vento Expert A50-1W był następujący:

– urządzenie zainstalowano w komorze testowej jako sparowane z drugim urządzeniem tego typu, umiejscowionym po przeciwległej stronie komory (rys. 5),

– urządzenia zostały sparowane za pośrednictwem połączenia WiFi,

– praca w przeciw fazie – jedno urządzenie nawiewało świeże powietrze do komory, a drugie (w tym samym czasie) wywiewało powietrze z komory,

– po określonym czasie pracy następowała przerwa i zmiana na pracę w trybie II,

– czas cyklu: 70 sekund,

– w tym czas przerwy: 5 sekund.

Sposób pracy urządzenia Vento Expert Duo A30-1W był następujący:

– tryb I: urządzenie nawiewa świeże powietrze do wnętrza komory zasysając je kanałem A przy jedoczesnym wywiewie powietrza z komory poprzez kanał B zintegrowanej czerpnio-wyrzutni,

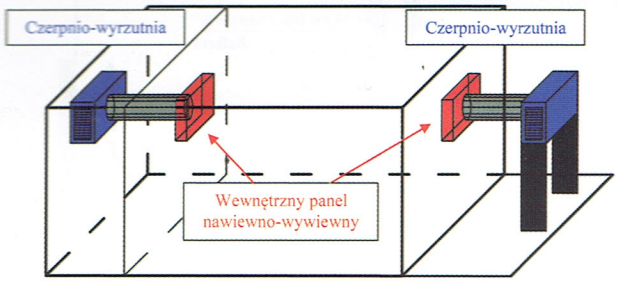
– następnie następowała przerwa między trybem I i trybem II, w czasie której następowała zmiana kierunku pracy wentylatorów,

– tryb II: kanał A stawał się kanałem wyrzutowym, a kanał B kanałem czerpnym powietrza świeżego,

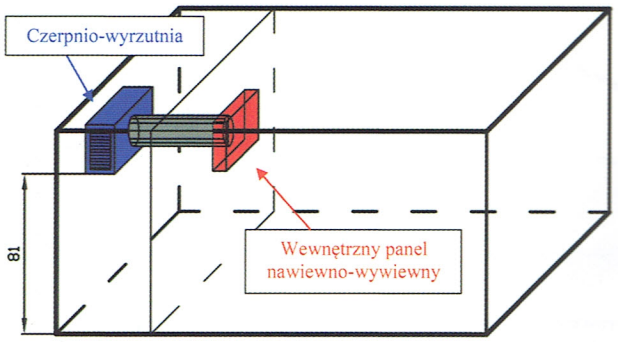
– czas cyklu: 70 sekund,

– w tym czas przerwy: 5 sekund

– strumienie powietrza nawiewnego i wywiewanego są systemowo rozdzielone za pomocą styropianowej przegrody w kanale nawiewno-wywiewnym urządzenia, która zapobiega mieszaniu się strumieni powietrza, a także stanowi izolację cieplną.



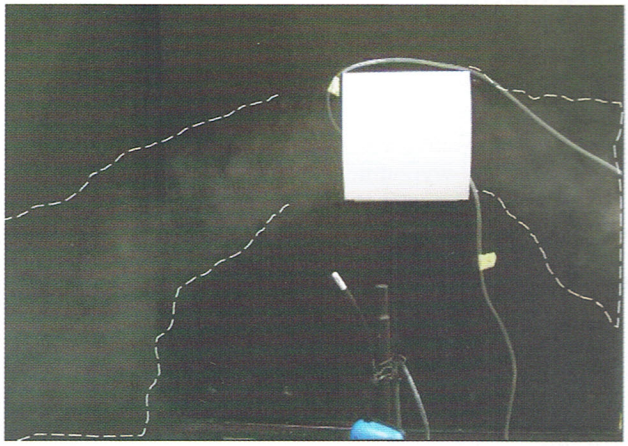
Rys. 5. Lokalizacja urządzeń Vento Expert A50-1W w komorze testowej podczas badań
Fig. 5. Location of Vento Expert A50-1W in the test chamber during investigations



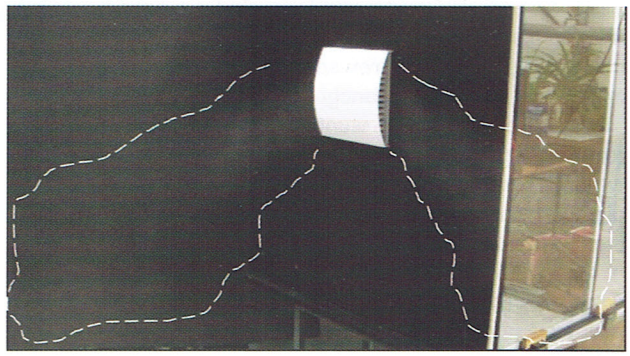
Rys. 6. Lokalizacja urządzenia Vento Expert Duo A30-1W w komorze testowej podczas badań
Fig. 6. Location of Vento Expert Duo A30-1W in the test chamber during investigations

3.3. Wizualizacja dymem

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono wizualizacje przepływu powietrza przy zastosowaniu urządzenia Blauberg Vento Expert A50-1W. Na podstawie wyników stwierdzono, że w trakcie pracy urządzenia nie dochodziło do mieszania się strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego na czerpni i wyrzutni. Jest to spowodowane odpowiednio dużą prędkością wyrzutu powietrza wywiewanego poza obszar czerpnio-wyrzutni. Zasięg wyrzutu jak i stopień dyspersji (rozcieńczenia) gazu wskaźnikowego są wyraźnie większe w przypadku pracy urządzenia na III biegu, kiedy prędkość wypływu powietrza z czerpnio-wyrzutni jest największa.



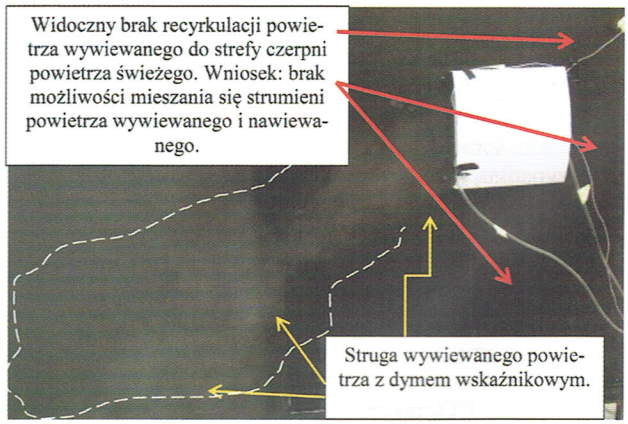
Rys. 7. Wizualizacja rozpływu powietrza wokół czerpnio-wyrzut2isualization of the air flow around the air intake / exhaust in Blauberg Vento Expert A50-1W, Gear I, Exhaust air phase



Rys. 8. Wizualizacja rozpływu powietrza wokół czerpnio-wyrzutni urządzenia Blauberg Vento Expert A50-1W, bieg III, faza wywiewu powietrza
Fig. 8. Visualization of the air flow around the air intake/exhaust in Blauberg Vento Expert A50-1W, Gear III, Exhaust air phase

Mieszanie się strumieni powietrza usuwanego i nawiewanego jest w tym przypadku niemożliwe. Pomiędzy trybem I a trybem II pracy urządzenia (zamiana kierunku przepływu powietrza, czerpnia staje się wyrzutnią lub odwrotnie) następuje przerwa trwająca ok. 5 sekund. W tym czasie następuje dyspersja wyrzuconego dymu w powietrzu otaczającym czerpnio-wyrzutnię. Należy podkreślić, że badania zostały przeprowadzone w najmniej korzystnych dla urządzenia warunkach braku ruchu powietrza w okolicy czerpnio-wyrzutni w laboratorium. W rzeczywistym zastosowaniu czerpnio-wyrzutni w ścianie budynku należy spodziewać się, że dynamiczne oddziaływanie wiatru spowoduje jeszcze lepsze rozcieńczenie wyrzuconych zanieczyszczeń w taki sposób, że po okresie przerwy i przełączeniu w tryb nawiewu powietrza świeżego, powietrze zasysane przez czerpnio-wyrzutnię będzie pozbawione zanieczyszczeń.

Na rysunku 9 przedstawiono wyniki wizualizacji przepływu powietrza z wykorzystaniem dymu przy zastosowaniu urządzenia Blauberg Vento Expert Duo A30-1W. Wyniki pokazują, że do mieszania się strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego na czerpni i wyrzutni nie dochodziło. Sprzyjała temu przerwa pomiędzy trybem I i trybem II pracy urządzenia, która wynosiła ok. 5 sekund. W tym czasie skumulowany wokół czerpnio-wyrzutni dym ulegał rozproszeniu (zanieczyszczenia ulegały rozcieńczeniu). Widoczne sporadycznie smugi wywiewanego dymu, który zawracał w kierunku czerpni w momencie



Rys. 9. Wizualizacja rozpływu powietrza wokół czerpnio-wyrzutni urządzenia Blauberg Vento Expert Duo A30-1W, bieg III
Fig. 9. Visualization of the air flow around the air intake/exhaust in Blauberg Vento Expert Duo A30-1W, Gear III

dotarcia w okolice otworu wlotowego były silnie rozcieńczone. Oznacza to, że chociaż do mieszania może dochodzić w warunkach teoretycznych, to zjawisko to będzie miało niezauważalny wpływ na pogorszenie warunków higienicznych urządzenia w sytuacji rzeczywistej. Należy podkreślić, że sytuacja, w której powietrze jest w bezruchu (najmniej korzystna dla urządzenia, utrzymywana podczas badań) nie występuje podczas typowych sytuacji meteorologicznych. Działanie wiatru będzie sprzyjać jeszcze większemu rozcieńczeniu wywiewanych zanieczyszczeń w trakcie przerwy pomiędzy fazami pracy urządzenia.

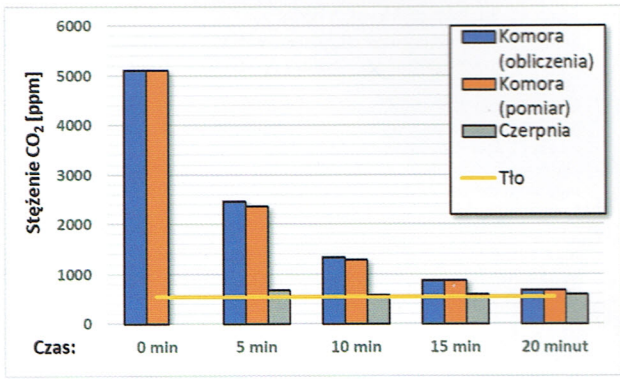
3.4. Pomiar stężenia ditlenku węgla

Na rysunkach 10-13 przedstawiono wyniki pomiarów stężenia ditlenku węgla zmiennego w czasie pracy urządzenia w różnych lokalizacjach: w czerpni, w otoczeniu oraz wewnątrz komory testowej. Wartość stężenia mierzonego w komorze porównywano z wartością obliczoną wg wzoru (1). Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono porównanie zmierzonej i obliczonej wg wzoru (1) wartości stężenia ditlenku węgla w komorze testowej dla urządzenia Blauberg Vento Expert A50-1W pracującego odpowiednio na I i III biegu. Na rysunku 12 i 13 przedstawiono porównanie zmierzonej i obliczonej wg wzoru (1) wartości stężenia ditlenku węgla w komorze testowej dla urządzenia Blauberg Vento Expert Duo A30-1W pracującego odpowiednio na I i III biegu.

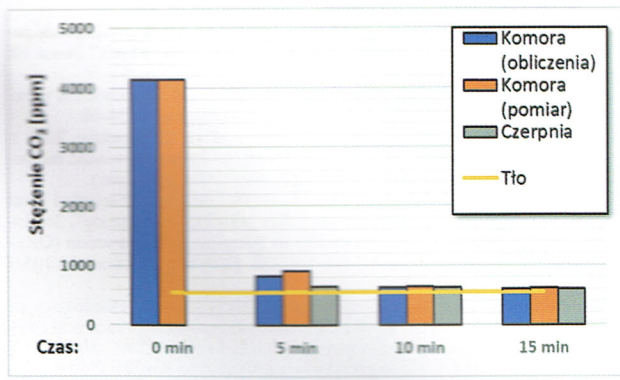
Wyniki pomiarów pokazują, że obliczeniowe (teoretyczne) i zmierzone stężenie CO_2 w komorze testowej są do siebie zbliżone, co potwierdza spostrzeżenia z wizualizacji dymem – strumienie powietrza nawiewanego i wywiewanego nie mieszają się w sposób znaczący, który wpływałby na pogorszenie warunków higienicznych. Urządzenia działające w komorze testowej spowodowały usunięcie zanieczyszczenia w postaci ditlenku węgla w czasie porównywalnym z teoretycznym czasem, jaki jest potrzebny do usunięcia tego zanieczyszczenia z danej objętości przy danej intensywności wymiany powietrza przy założeniu, że powietrze nawiewane do pomieszczenia ma stałą wartość stężenia zanieczyszczenia.

4. Podsumowanie

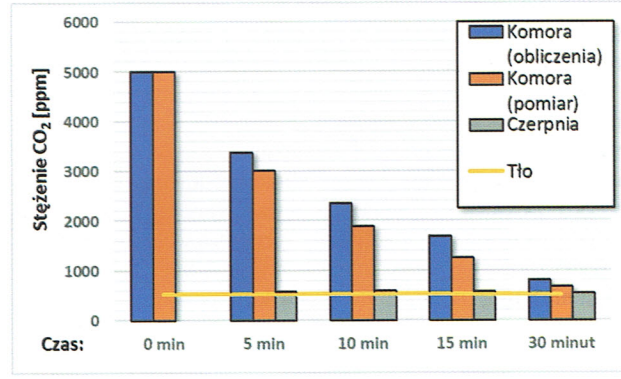
Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, że w zintegrowanej czerpnio-wyrzutni badanych urządzeń nie występuje zawracanie powietrza usuwanego z powrotem do pomieszczenia. Pomiar stężenia ditlenku węgla w komorze testowej wentylowanej za pomocą badanych urządzeń wykazał wysoką skuteczność przewietrzania, porównywalną z teoretyczną, obliczoną wg równania (1) zaniku zanieczyszczeń. Oznacza to, że jednorurowe systemy wentylacji mogą być



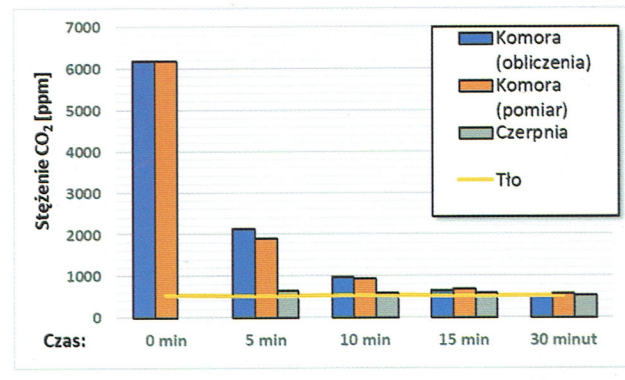
Rys. 10. Porównanie zmierzonej i obliczeniowej (teoretycznej) wartości stężenia ditlenku węgla w komorze testowej, urządzenie Blauberg Vento Expert A50-1W, bieg I
Fig. 10. Comparison of measured and calculated (theoretical) concentration of carbon dioxide in the test chamber, Blauberg Vento Expert A50-1W, gear I



Rys. 11. Porównanie zmierzonej i obliczeniowej (teoretycznej) wartości stężenia ditlenku węgla w komorze testowej, urządzenie Blauberg Vento Expert A50-1W, bieg III
Fig. 11. Comparison of measured and calculated (theoretical) concentration of carbon dioxide in the test chamber, Blauberg Vento Expert A50-1W, gear III



Rys. 12. Porównanie zmierzonej i obliczeniowej (teoretycznej) wartości stężenia ditlenku węgla w komorze testowej, urządzenie Blauberg Vento Expert DUO A30-1W, bieg I
Fig. 12. Comparison of measured and calculated (theoretical) concentration of carbon dioxide in the test chamber, Blauberg Vento Expert DUO A30-1W, gear I



Rys. 13. Porównanie zmierzonej i obliczeniowej (teoretycznej) wartości stężenia ditlenku węgla w komorze testowej, urządzenie Blauberg Vento Expert DUO A30-1W, bieg III
Fig. 13. Comparison of measured and calculated (theoretical) concentration of carbon dioxide in the test chamber, Blauberg Vento Expert DUO A30-1W, gear III

rozwiązaniem, które w znaczący sposób poprawi jakość powietrza wewnętrznego w budynku – zarówno jeśli chodzi o zmniejszenie stężenia pyłów (dzięki zastosowanym filtrom), jak również, jeśli chodzi o zmniejszenie stężenia ditlenku węgla i pary wodnej. Antysmogowe urządzenia filtracyjne pracują na powietrzu obiegowym i są w stanie oczyścić powietrze wewnątrz pomieszczeń z pyłów, ale nie zabezpieczają przed napływem zanieczyszczonego powietrza z zewnątrz, a także nie zapewniają wentylacji. Zdecentralizowany jednorurowy system wentylacyjny z wentylatorem rewersyjnym i ceramicznym wymiennikiem odzysku ciepła jest zatem rozwiązaniem korzystniejszym, tym bardziej, że dodatkowo umożliwia odzyskiwanie ciepła z powietrza usuwanego, co skutkuje oszczędnością energii na podgrzanie powietrza wentylacyjnego, tzn. oszczędnością pieniędzy. Rozwiązania tego typu są powszechnie stosowane np. Niemczech. W Polsce ich zastosowanie ograniczają wymagania prawne przedstawione w WT [21], dotyczące odległości między czerpnią i wyrzutnią ścienną oraz odległością wyrzutni od okien. W wyniku tego w wielu budynkach nie ma możliwości poprawienia jakości powietrza wewnętrznego przy okazji ich termomodernizacji, ponieważ brakuje miejsca dla systemów wentylacji centralnej: centrale wentylacyjne oraz system dystrybucji powietrza (kanały nawiewne, wywiewne, a także odcinki łączące centrale z czerpnią i wyrzutnią). Stosowane w to miejsce filtry powietrza obiegowego nie rozwiązują sygnalizowanego we wprowadzeniu problemu niskiej jakości powietrza i słabej wentylacji w wielu budynkach już istniejących, jak i nowopowstających. Wydaje się być zatem uzasadnione, aby wymagania prawne zostały zaktualizowane i dopuszczały możliwość stosowania jednorurowych systemów wentylacji mechanicznej ze zintegrowanymi czerpnio-wyrzutniami ściennymi w przypadku, kiedy odpowiednie badania i powtarzalność ich produkcji wskazują na znikome ryzyko zawracania powietrza wywiewanego z powrotem do pomieszczenia. Szczególnie w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej, których najbardziej dotyczy problem nieskutecznej wentylacji, a w których zanieczyszczenia pochodzą tylko od użytkowników i są to głównie ditlenek węgla, para wodna oraz ewentualnie okresowo bakterie i wirusy. Nawet gdyby w wyniku wyjątkowych warunków pogody część powietrza usuwanego uległa zawróceniu, stężenie zanieczyszczeń nie zagrażałoby zdrowiu użytkowników w wyniku rozcieńczającego działania wiatru, a stosowanie tego typu urządzeń w każdym przypadku może tylko podnieść jakość powietrza wewnętrznego.

5. Wnioski

Badania jednorurowych ściennych systemów wentylacji mechanicznej pod kątem oceny mieszania się strumieni powietrza wywiewanego i nawiewanego wykazały, że mimo niespełnienia niektórych wymagań WT [21] w zakresie wzajemnej lokalizacji czerpni i wyrzutni powietrza, strumienie powietrza nawiewanego i wywiewanego w tych urządzeniach nie mieszają się. Dzięki temu możliwe powinno być stosowanie tego typu rozwiązań w budynkach, szczególnie poddawanych termomodernizacji, w których nie ma możliwości zaprojektowania tradycyjnej wentylacji centralnej. Pozwoli to na zapewnienie właściwej jakości powietrza w budynkach, w których przebywają ludzie.

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. 2017. „Zasady projektowania systemów wentylacji budynków energooszczędnych". *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* (48) 2: 72-78.

[2] Amanowicz Łukasz, Michał Szymański, Radosław Górzeński. 2016. „Wentylacja – ważny element w kontekście energooszczędności laboratoriów". *Laboratorium* 9-10: 49-55.

[3] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak. 2010. „Badania eksperymentalne wpływu zmian sposobu zasilania powietrznego gruntowego wymiennika ciepła typu rurowego na jego charakterystykę przepływową. Część 1 Równomierność rozpływu". *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 6: 208-212,220.

[4] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak. 2015. „Wpływ właściwości cieplnych gruntu na wydajność powietrznych rurowych gruntowych wymienników ciepła (PRGWC)". *Instal* 366 (10): 59-62.

[5] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak. 2017. „Wpływ nierówności rozdziału powietrza na wydajność cieplną wielorurowych gruntowych wymienników ciepła". *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 48 12: 413-417. DOI: 10.15199/9.2017.12.3.

[6] Basińska Małgorzata. 2017. "The use of multi-criteria optimization to choose solutions for energy efficient buildings". *Bulletin of the Polish Academy of Sciences technical sciences* 65(6): 815-826. DOI: http://dx.doi.org/10.1515/bpasts-2017-0084

[7] Basińska Małgorzata, Halina Koczyk, Edward Szczechowiak. 2015. "Sensitivity analysis in determining the optimum energy for residential buildings in Polish conditions". *Energy and Buildings* 107: 307-318. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.029

[8] Basińska Małgorzata, Halina Koczyk, Andrzej Kosmowski. 2015. "Assessment of Thermo Modernization Using the Global Cost Method". *Energy Procedia* 78: 2040-2045. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.204.

[9] Basińska Małgorzata, Michał Michałkiewicz. 2011. „Mikrobiologiczna jakość powietrza w budynku pasywnym w czasie jego eksploatacji". *Instal* 10: 36-38.

[10] Basińska Małgorzata, Michał Michałkiewicz. 2016. „Zmienność mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza oraz stężenia pyłu wewnątrz i na zewnątrz wybranej poznańskiej". *Inżynieria ekologiczna* 50: 17-25.

[11] Basińska Małgorzata, Michał Michałkiewicz, Radosław Górzeński. 2016. „Stan systemu wentylacyjnego w budynku edukacyjnym i jego wpływ na jakość powietrza – analiza przypadku". *Rynek Instalacyjny* 9: 74-84.

[12] Chmielewski Krzysztof, Łukasz Amanowicz. 20,17. „Bezprzeponowe powietrzne gruntowe wymienniki ciepła w układach wentylacji mechanicznej". *Rynek Instalacyjny* 5: 76-80.

[13] Cholewa Tomasz, Siuta-Olcha A., Balaras C.A. 2017. "Actual energy savings from the use of thermostatic radiator valves in residential buildings–Long term field evaluation". *Energy and Buildings* 151: 487-493.

[14] Cholewa Tomasz, Balen I., Siuta-Olcha A. 2018. "On the influence of local and zonal hydraulic balancing of heating system on energy savings in existing buildings–Long term experimental research". *Energy and Buildings* 179: 156-164.

[15] Ludwiczak Anna, Katarzyna Ratajczak. 2018. „Wentylacja placówek dydaktyczno-edukacyjnych. Przegląd wybranych polskich i zagranicznych wymagań dotyczących strumienia powietrza i stężenia CO_2". *Rynek Instalacyjny* 3: 24-29.

[16] Ludwiczak Anna, Aleksandra Płóciennik, Katarzyna Ratajczak, Magdalena Filipiak. 2018. „Jakość powietrza w żłobku – monitoring, ocena i rozwiązania problemów" *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 9 (49): 374-380.

[17] Michałkiewicz Michał, Małgorzata Basińska. 2013. „Ocena jakości powietrza wewnętrznego w budynku pasywnym". *Rynek Instalacyjny* 1-2: 19-24.

[18] Michałkiewicz Michał, Małgorzata Basińska, Maja Chybicka. 2018. „Ocena wieloletniej zmienności fizycznej i mikrobiologicznej jakości powietrza w budynku pasywnym". *Instal* 10: 26-30.

[19] Radomski Bartosz, Karol Bandurski, Tomasz M. Mróz. 2017. „Rola parametrów komfortu klimatycznego w budynkach pasywnych". *Instal* 10: 27-33.

[20] Ratajczak, Katarzyna, Szymon Łochyński. 2017. „Jakość powietrza w budynku użytkowanym jako żłobek". *Rynek Instalacyjny* 10: 54-60.

[21] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU nr 75/2002, poz. 690, z późn. zm.).

[22] Sinacka Joanna, Katarzyna Ratajczak. 2018. "Analysis of selected input data impact on energy demand in office building – case study". 3rd International Workshop on Flexibility in Sustainable Construction (ORSDCE 2018), MATEC Web Conf. Vol. 222. DOI: https://doi.org/10.1051/matecconf/201822201015

[23] Sinacka Joanna, Edward Szczechowiak 2017. „Analiza eksploatacyjna budynku pasywnego w aspekcie komfortu klimatycznego i zużycia energii". *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* (48) 12: 497-504.

[24] Szymański Michał, Łukasz Amanowicz, Katarzyna Ratajczak, Radosław Górzeński. 2015. „Instalacje HVAC laboratoriów chemicznych – wyposażenie techniczne. Wentylacja ogólna.". *Rynek Instalacyjny* 11: 59-66.

[25] Szymański Michał, Łukasz Amanowicz, Katarzyna Ratajczak, Radosław Górzeński. 2015. „Instalacje HVAC laboratoriów chemicznych – wyposażenie techniczne. Wentylacja technologiczna". *Rynek Instalacyjny* 12: 56-60.

[26] Katalog urządzeń oraz materiały szkoleniowe firmy Blauberg (rok 2019).