

Redukcja "Syndromu Chorego Budynku" w zautomatyzowanych systemach wentylacji

Mariusz R. Rząsa

Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Instytut Informatyki, ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole

Krzysztof Ćwik

PRO-VENT Systemy Wentylacyjne, Dąbrówka Górna, ul. Posiłkowa 4a, 47-300 Krapkowice, woj. opolskie

Sławomir Szymaniec

Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Instytut Informatyki, ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole

Streszczenie: Syndrom chorego budynku jest wynikiem obecności w powietrzu związków chemicznych podrażniających śluzówki, powodujących bóle i zawroty głowy oraz złe samopoczucie. Przyczyną wystąpienia takich związków może być ich emisja wewnątrz budynku, ale niejednokrotnie takie związki dostają się przez kanały wentylacyjne wraz z zasysanym powietrzem. Związane jest to ściśle ze spełnieniem norm komfortu cieplnego. Obecnie wiele systemów wentylacji jest zautomatyzowanych. Część powietrza cyrkuluje wewnątrz budynku, a wymianie ulega tylko tyle powietrza, ile jest konieczne, aby zachować odpowiednie standardy. Rozwiązanie to w połączeniu z rekuperacją ciepła jest znacznie bardziej energooszczędne. W pracy przedstawiono rozwiązanie oparte na zautomatyzowanym systemie wentylacji współpracującym z gruntowym wymiennikiem ciepła. Rozwiązanie to umożliwi utrzymanie niskiej energooszczędności oraz zapewnienie odpowiednich parametrów pobieranego powietrza z zewnątrz. Jednak wymaga stosowania odpowiednich filtrów redukujących ilość związków chemicznych dostających się do budynku wraz z zasysanym powietrzem. Obecnie znane są różne konstrukcje filtrów, zarówno pasywnych jak i aktywnych. W pracy opisano nowatorskie rozwiązanie zastosowania układu gruntowego wymiennika ciepła z biologicznym filtrem zoolitowym. Przedstawiono wyniki badań oraz określono procentowy stopień redukcji. Jak wynika z badań, gruntowe wymienniki ciepła redukują wiele związków chemicznych, jakie dostają się do nich wraz z powietrzem, ale są też emitorem tlenków węgla. Połączenie gruntowego wymiennika ciepła z filtrem zoolitowym powoduje, że te dwa urządzenia uzupełniają się w procesie redukcji zanieczyszczeń powietrza. W konsekwencji otrzymuje się powietrze o znacznie zregulowanym udziale związków chemicznych i odpowiedniej temperaturze.

Słowa kluczowe: filtr zoolitowy, gruntowy wymiennik ciepła, system wentylacji, redukcja SBS, przygotowanie powietrza

1. Wprowadzenie

Warunki panujące w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego lub czasowego przebywania ludzi powinny spełniać określone wymagania. Mimo spełnienia określonych norm sanitarno-epidemiologicznych, na samopoczucie osób prze-

bywających w pomieszczeniu mają wpływ również pewne subiektywnie odczuwalne warunki panujące w pomieszczeniu. Obecnie niejednokrotnie podawana jest temperatura odczuwalna a nie wartość zmierzonej temperatury. Do oceny warunków panujących w pomieszczeniach zamkniętych używa się pojęcia komfortu środowiskowego.

Przez komfort środowiskowy rozumie się uśredniony wpływ warunków otoczenia na samopoczucie człowieka przebywającego w tych warunkach. Na komfort fizjologiczno-psychiczny człowieka mają wpływ takie czynniki jak: aktywność fizyczna, temperatura powietrza, temperatura przegród otaczających człowieka, wilgotność względna powietrza, ruch powietrza, czystość, zapach, poziom hałasu, stan jonizacji, promieniowanie radioaktywne, ilość tlenu oraz estetyka otoczenia.

Jakość powietrza jest jednym z elementów, który wpływa na tzw. syndrom chorego budynku SBS (ang. *Sick Building-Syndrome*) [2]. Jest on wynikiem obecności w powietrzu zwią-

Autor korespondujący:

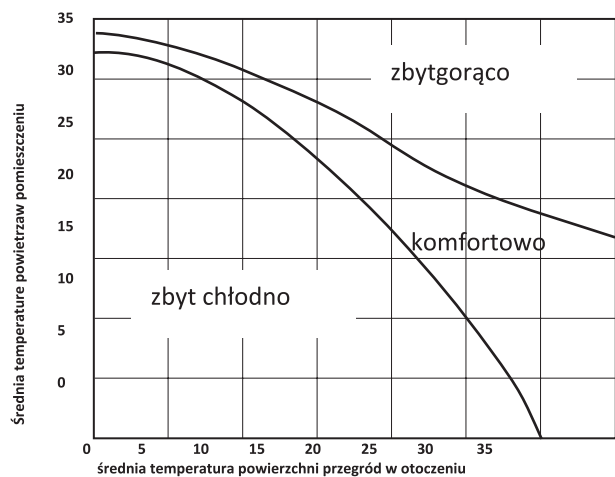
Mariusz Rząsa, m.rzasa@po.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 16.04.2020 r., przyjęty do druku 18.06.2020 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0



Rys. 1. Wykres komfortu cieplnego
Fig. 1. Thermal comfort graph

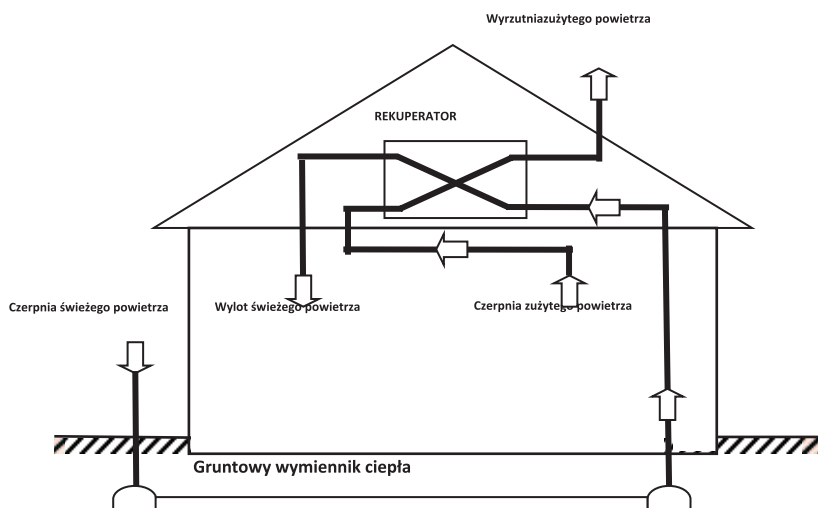
ków chemicznych podrażniających śluzówki, powodujących bóle i zawroty głowy oraz złe samopoczucie. Aby utrzymać dobre samopoczucie człowieka istotne jest nie tylko zapewnienie odpowiedniej jakości powietrza, ale również zachowanie odpowiednich proporcji między wymienionymi czynnikami. Ponieważ ludzie są najbardziej czuli na zmiany temperatury, wilgotność i prędkość ruchu powietrza, stąd w systemach wentylacji wiele uwagi poświęca się komfortowi cieplnemu [1]. Na ten komfort składa się zarówno temperatura powietrza, jak i temperatura otaczających przegród. Relacje te dobrze obrazuje wykres Köeniga (rys. 1).

Drugim istotnym czynnikiem jest zawartość tlenu w powietrzu. W przypadku jego zmniejszenia się powstaje odczucie duszności. W celu zapewnienia odpowiedniej ilości tlenu stosuje się wymianę powietrza z otoczeniem, szczególnie w okresach upałów letnich i mrozów zimowych. Ilość powietrza, jaka powinna zostać wymieniona w pomieszczeniu, jest ujęta w normie PN-EN 16798-1:2019-06 [3]. Intensywna wymiana powietrza niejednokrotnie nie sprzyja utrzymaniu odpowiedniego komfortu cieplnego. Z tego względu jednym z rozwiązań pozwalających na utrzymanie komfortu cieplnego pomieszczenia są gruntowe wymienniki ciepła.

Na rysunku 2 przedstawiono zasadę działania systemu zautomatyzowanej wentylacji we współpracy z gruntowym wymiennikiem ciepła. Tego rodzaju zautomatyzowane systemy regulują przepływem strumienia wyrzucanego powietrza w zależności od mierzonych parametrów powietrza znajdującego się w pomieszczeniu lub liczby przebywających w nim osób albo pory dnia. Bez względu na ilość wyrzucanego powietrza dla utrzymania równowagi w pomieszczeniu konieczne jest dostarczenie podobnej ilości świeżego powietrza. Powietrze świeże pobierane jest z otoczenia przez gruntowy wymiennik ciepła. Jego zadaniem jest wstępne ogrzanie powietrza w okresie zimowym, a w okresie letnim jego schłodzenie. Tego rodzaju rozwiązanie powoduje, że łatwiej jest utrzymać w pomieszczeniu zadaną temperaturę nawet przy bardzo intensywnej wentylacji.

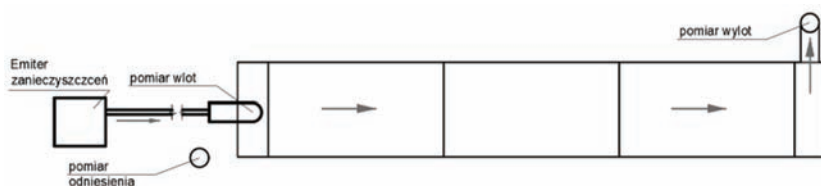
2. Badanie gruntowego wymiennika ciepła

Elementem mającym wpływ na redukcję SBS jest gruntowy wymiennik ciepła wraz z zespołem filtrującym. W gruntowym wymienniku ciepła poza zjawiskami termodynamicznymi zachodzą również procesy biologiczne, które redukują SBS. Do badań zastosowano płytowy gruntowy wymiennik ciepła PRO-VENT o długości 6 m i szerokości 1 m (rys. 3). Wymiennik został zakopany w gruncie poniżej strefy przemarzania na głębokości 1,2 m. Nad wymiennikami zastosowano warstwę izolacji termicznej z płyt styropianowych EPS200 o grubości 15 cm z nadładkiem poza obrysem wymiennika wynoszącym 2 m. Strumień powietrza, jaki przepływał przez wymiennik, był regulowany a jego wartość ustawiono na stałym poziomie 150 m³/h. Na czerpni do wymiennika zainstalowano emiter zanieczyszczeń organicznymi związkami chemicznymi pochodzenia zwierzęcego. Na wejściu i wyjściu wymiennika mierzono temperaturę oraz wilgotność powietrza oraz jego skład chemiczny. Pomiar składu chemicznego został przeprowadzony za pomocą sondy wyposażonej w czujniki selektywne. Mierzono pięć wybranych związków chemicznych: amoniak z NO_x, lotne związki organiczne, gazy spalinalowe, tlenek węgla, gazy palne. Wyniki pomiaru były odniesione do pomiaru przeprowadzonego w powietrzu otoczenia, z dala od emitera zanieczyszczeń i wylotu z wymiennika.



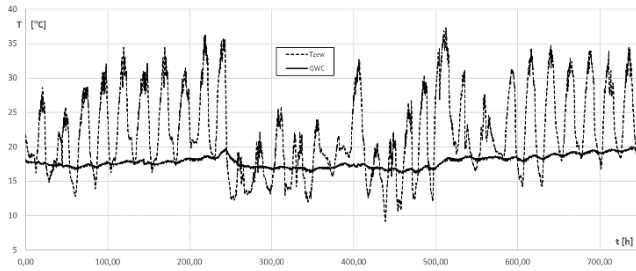
Rys. 2. Zasada działania systemu wentylacji z gruntowym wymiennikiem ciepła

Fig. 2. The principle of operation of a ventilation system with a ground heat exchanger



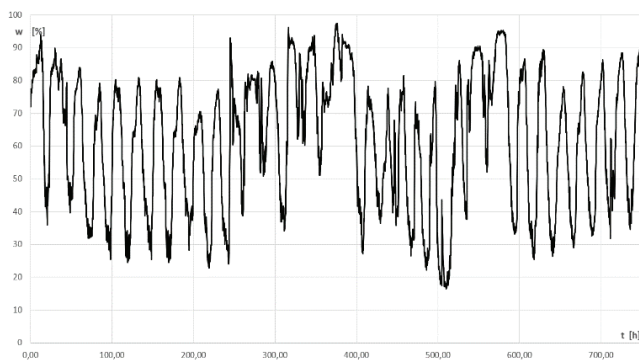
Rys. 3. Stanowisko badawcze z gruntowym wymiennikiem ciepła PRO-VENT

Fig. 3. Test stand with PRO-VENT ground heat exchanger



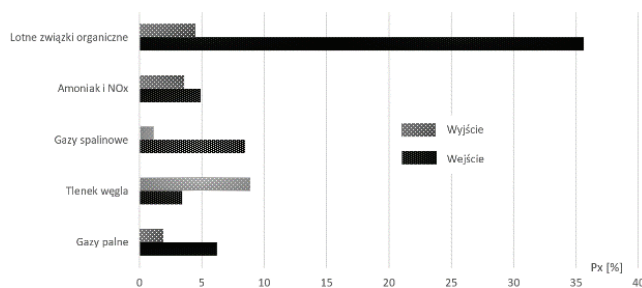
Rys. 4. Temperatura na wejściu i wyjściu wymiennika ciepła

Fig. 4. Temperature at the heat exchanger inlet and outlet



Rys. 5. Wilgotność względna na wyjściu wymiennika ciepła

Fig. 5. Relative humidity at the heat exchanger outlet



Rys. 6. Redukcja związków chemicznych przez gruntowy wymiennik ciepła

Fig. 6. Reduction of chemical compounds by a ground heat exchanger

Głównym zadaniem gruntowego wymiennika ciepła jest stabilizacja temperatury powietrza w cyklu dobowym. Sprzyja to zachowaniu odpowiedniego komfortu cieplnego. Przeprowadzono badania mające na celu określenie skuteczności utrzymania stałej temperatury na wyjściu z wymiennika w okresie letnim, gdy występują duże dobowe wahania temperatury. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki pomiaru temperatury na wejściu i wyjściu z wymiennika. Zmiany temperatury na wejściu odpowiadają dobowym wahaniom w miesiącach letnich. Był to okres intensywnych upałów, a po 250 godzinach pracy rozpoczął się kilkudniowy okres z przelotnymi opadami. Po tym okresie ponownie wróciły

upały, jest to wyraźnie widoczne w zmianach temperatury (rys. 4). Linia ciągłą oznaczono temperaturę powietrza na wyjściu z gruntowego wymiennika ciepła (GWC). Temperatura na wyjściu wymiennika w całym okresie nie przekroczyła 20 °C. Ze względu na utrzymanie komfortu cieplnego w pomieszczeniu w okresie letnim jest to bardzo korzystne, gdyż zapobiega przegrzewaniu pomieszczeń.

Drugim parametrem wpływającym na komfort cieplny jest wilgotność powietrza. Wraz z pomiarem temperatury na wymienniku mierzono również wilgotność powietrza na wyjściu wymiennika (rys. 5). Przedstawione wyniki odpowiadają tym samym okresom czasowym, co wyniki przedstawione na rysunku 4. W okresie wystąpienia opadów w niewielkim stopniu zwiększa się również wilgotność powietrza na wyjściu z wymiennika, jednak jej wartość świadczy o dobrej stabilizacji wilgotności, jaką zapewnia zastosowanie gruntowego wymiennika ciepła.

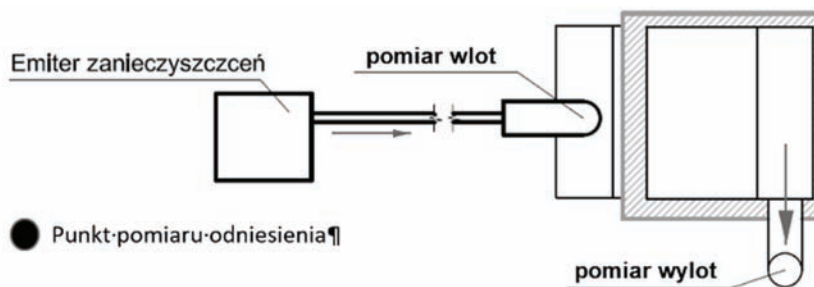
Wykres odwzorowuje dobowe zmiany wilgotności powietrza. Wymienniki tego rodzaju jedynie w niewielkim stopniu oddziałują na wilgotność powietrza.

Z uwagi na komfort środowiskowy i redukcję SBS istotne jest, w jakim stopniu gruntowy wymiennik ciepła redukuje zawartość wybranych związków chemicznych znajdujących się w powietrzu. W celu sprawdzenia tego na czepni wymiennika zamontowano emiter zanieczyszczeń. Zawartość zanieczyszczeń mierzono sondą selektywną własnej konstrukcji, składającą się z czujników firmy Hanwei Electronics Co., Ltd o dokładności 5% wartości wskazanej. Sonda składała się z czujnika MQ-2, który wykrywa gazy palne, takie jak LPG, i-butan, propan, metan, alkohol, wodór i dym. Kolejnym badanym czujnikiem był MQ-7. Jest to czujnik do wykrywania tlenków węgla, które powstają w procesach spalania. Czujnik MQ-5 został zastosowany celem detekcji spalin, wykrywając LPG, gaz ziemny, gaz miejski, opary alkoholu, opary kuchenne i dym papierosowy. Czujnik MQ-135 służy do wykrywania związków amoniaku i azotu, takich jak NH_3 , NO_x , alkoholu, benzenu, dymu oraz CO_2 . Ostatni czujnik MQ-138 służy do wykrywania węglowodorów aromatycznych, takich jak rozpuszczalniki, n-heksany, benzen, NH_3 , alkohol, dym i CO za i przed wymiennikiem. Stężenie zanieczyszczeń określono w sposób procentowy względem pomiaru tych samych zanieczyszczeń dla powietrza pobranego z otoczenia zewnętrznego. Stężenie obliczono na podstawie wzoru:

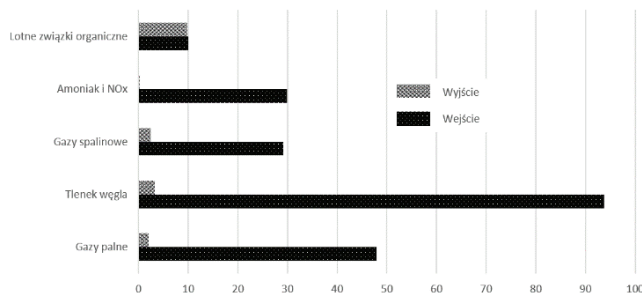
$$P_x = \frac{W_x - W_{x0}}{W_{x0}} 100\% \quad (1)$$

gdzie: W_x – stężenie zanieczyszczeń w punkcie badanym, W_{x0} – stężenie zanieczyszczeń w punkcie odniesienia.

Wyniki badań przedstawiono na rysunku 6. Gruntowe wymienniki ciepła mają bogatą florę bakteryjną, która wykazuje właściwości redukujące zawartość niektórych związków chemicznych. Wymienniki tego rodzaju bardzo silnie redukują lotne związki organiczne, w niewielkim stopniu amoniak. Wykazują również dużą skuteczność w redukcji lekkich



Rys. 7. Stanowisko badawcze z filtrem zoolitowym
Fig. 7. Test stand with a zoolite filter

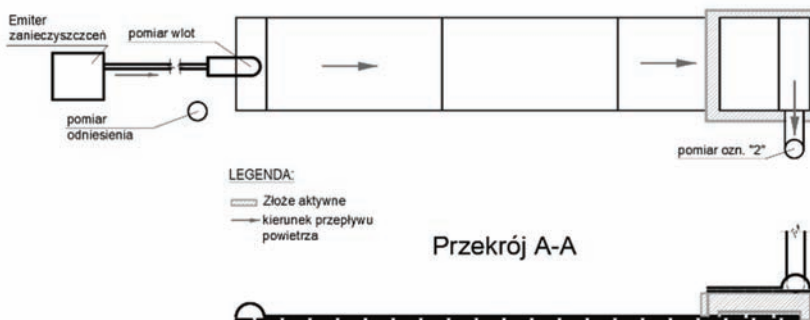


Rys. 8. Redukcja związków chemicznych przez filtr zoolitowy
Fig. 8. Reduction of chemical compounds by a zoolite filter

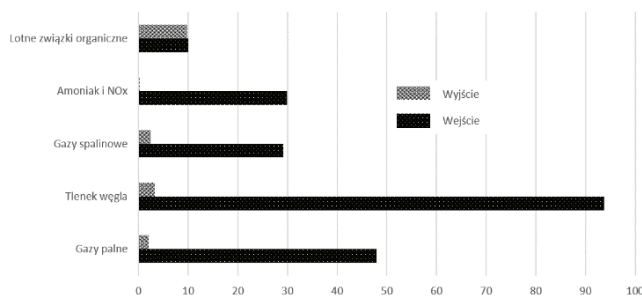
3. Badanie filtru zoolitowego

W celu oszacowania skuteczności działania filtru zoolitowego przeprowadzono badania na stanowisku przedstawionym na rysunku 7. Stanowisko składa się z emitera zanieczyszczeń wraz z komorą mieszania, z której powietrze jest dostarczane do filtra zoolitowego. Na wlocie i wylocie filtra dokonano pomiaru zawartości wybranych związków chemicznych.

Wyniki badań przedstawiono na rysunku 8. Filtr tego rodzaju bardzo silnie redukuje amoniak i związki pochodne. Dobrą redukcję uzyskano dla tlenków węgla oraz gazów z dużą zawartością tlenków węgla, takich jak gazy spalinalowe. Filtr dobrze redukuje również lekkie węglowodory, takie jak metan. Badania wykazały znacznie gorsze efekty dla ciężkich węglowodorów organicznych.



Rys. 9. Stanowisko badawcze gruntowego wymiennika ciepła z filtrem zoolitowym
Fig. 9. Test stand with a ground heat exchanger with a zoolite filter



Rys. 10. Redukcja związków chemicznych przez gruntowy wymiennik ciepła z filtrem zoolitowym
Fig. 10. Reduction of chemical compounds by a ground heat exchanger with a zoolite filter

węglowodorów oraz gazów spalinalowych. Jak przedstawiono na rysunku 6 zawartość tlenków węgla za wymiennikiem jest większa niż na jego wejściu. Jest to spowodowane zachodzącymi procesami bakteryjnymi wewnątrz wymiennika. Można zatem stwierdzić, że wymiennik jest emitorem tlenków węgla.

Redukcja tlenków węgla jest możliwa przez zastosowanie innego rodzaju filtrów oczyszczających powietrze. Jedną z propozycji może być połączenie filtru zoolitowego z gruntowym wymiennikiem ciepła.

dorów organicznych. Redukcja lotnych związków organicznych jest praktycznie pomijalnie mała.

Porównując te wyniki z wynikami uzyskanymi dla gruntowego wymiennika ciepła, wyraźnie dostrzegalne jest pewne uzupełnianie się tych dwóch układów. Związki, które są słabo redukowane przez jeden układ, są dobrze redukowane drugim układem. Celowe jest zatem zastosowanie gruntowego wymiennika ciepła z filtrem zoolitowym na jego wyjściu.

4. Badanie gruntowego wymiennika ciepła z filtrem zoolitowym

Do oceny skuteczności redukcji SBS w układzie gruntowego wymiennika ciepła z filtrem zoolitowym zbudowano stanowisko składające się z identycznego gruntowego wymiennika ciepła, jaki przedstawiono na rysunku 3. Natomiast na jego wyjściu zamontowano filtr zoolitowy zgodnie z rysunkiem 9. Tego rodzaju rozwiązanie może być stosowane w dotychczas budowanych układach przy zachowaniu dotychczasowej powierzchni montażowej.

Wyniki badań przedstawiono na rysunku 10. Badany układ redukuje wszystkie związki chemiczne zawarte w powietrzu.

W celu zobrazowania skuteczności działania emitora zanieczyszczeń został ustawiony na wydajność około 15 razy większą niż to miało miejsce dla wcześniejszych badań. W ten sposób uzyskano stężenie zanieczyszczeń wielokrotnie przekraczające normy. Pozwoliło to jednak na określenie skuteczności rozwiązania oraz uzyskanie odpowiedzi, czy przy większych stężeniach nie dojdzie do nasycenia.

Otrzymane wyniki potwierdzają redukcję zanieczyszczeń powietrza w szerokim zakresie gazów. Połączenie gruntowego wymiennika ciepła z filtrem zoolitowym powoduje, że te dwa elementy dobrze się uzupełniają pod względem redukcji zanieczyszczeń powietrza.

5. Podsumowanie

Przedstawione wyniki nie odnoszą się do skuteczności działania układów dla długich czasów eksploatacji, więc nie zawierają informacji jak często należy regenerować lub wymieniać filtr zoolitowy. Zastosowana aparatura pomiarowa nie umożliwiała z dostateczną dokładnością określić masową zawartość zanieczyszczeń w powietrzu, więc przedstawiono jedynie procentowe wartości redukcji zanieczyszczeń. Może to być tematem kolejnych badań. Jednak tego rodzaju szacunki stanowią

podstawę do postawienia wniosku o skuteczności działania gruntowego wymiennika ciepła z filtrem zoolitowym. Może on być zastosowany w układach wentylacji, gdzie skutecznie redukuje SBS. W szczególności w inteligentnych układach wentylacji budynku zapewni to możliwość nie tylko sterowania komfortem cieplnym, ale również komfortem środowiskowym. Z uwagi na ciągle rosnące wymagania stawiane systemom wentylacji zaproponowane rozwiązanie może mieć szerokie zastosowanie nie tylko w budownictwie mieszkaniowym, ale również w przemyśle i obiektach, w których przebywają osoby o dużej wrażliwości, np. szpitale.

Bibliografia

1. Skrzyniowska D., *Parametry powietrza wewnątrz pomieszczeń do stałego przebywania ludzi (komfort cieplny a komfort środowiskowy)*, „Środowisko Czasopismo Techniczne”, R. 109, Z. 28, 4-Ś/2012, 15–35, Politechnika Krakowska.
2. Sarafis P., Sotiriadou K., Dallas D., Stavrakakis P., Chalaris M., *Sick-building syndrome*, “Journal of Environmental Protection and Ecology”, Vol. 11, No. 2, 2010, 515–522.
3. Norma PN-EN 16798-1:2019-06, *Charakterystyka energetyczna budynków*.

SBS reduction in automated ventilation systems

Abstract: Sick building syndrome SBS is the result of the presence of chemical compounds in the air, irritating the mucous membrane, causing headaches, dizziness and malaise. The reason for the occurrence of such compounds may be their emission inside the building, but often these types of compounds get through ventilation channels along with the sucked air, which is closely related to meeting thermal comfort standards. At present, many ventilation systems are automated, in which part of the air circulates inside the building, and only as much air is exchanged as is necessary to maintain appropriate standards. This solution allows maintaining low energy efficiency and ensuring adequate parameters of the air taken in from the outside. However, it requires the use of appropriate filters to reduce the amount of chemicals entering the building along with the sucked air. Currently, various types of both passive and active filter solutions are known. The paper presents a solution based on an automated ventilation system in cooperation with a ground heat exchanger. Such solutions require the use of appropriate filters to reduce the amount of chemicals entering the building along with the sucked air. Currently, various types of both passive and active filter solutions are known. This paper describes an innovative solution to use the system ground heat exchanger with a zoolite biological filter. The results of the research were presented, and the percentage reduction rate was determined. Studies show that ground heat exchangers reduce the presence of chemical compounds in the air, but they are also an emitter of carbon oxides. The combination of a ground heat exchanger with a zoolite filter causes these two devices to complement each other in reducing air pollution. As a consequence, in this way air is obtained with a significantly regulated proportion of chemical compounds and appropriate temperature.

Keywords: zoolite filter, ground heat exchangers, ventilation system

dr hab. inż. Mariusz R. Rząsa, prof. PO

m.rzasa@po.edu.pl

ORCID: 0000-0002-3461-2131

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Opolskiej, o specjalności Automatyka i Metrologia Elektryczna. Po studiach pracował w Katedrze Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej, gdzie uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Stopień doktora habilitowanego uzyskał na Politechnice Częstochowskiej na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Informatyki. Obecnie pracuje na stanowisku profesora uczelnianego Politechniki Opolskiej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki. Zajmuje się komputerowymi metodami pomiarowymi i diagnostyką komputerową. Współpracuje z wieloma zakładami przemysłowymi i jest autorem szeregu prac naukowych.



mgr inż. Krzysztof Ćwik

pro@pro-vent.pl

ORCID: 0000-0001-6542-286X

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej. Od 2000 r. prowadzi firmę PRO-VENT. Firma należy do czołowych krajowych producentów rekupektorów ciepła oraz płytowych gruntowych wymienników ciepła. Od wielu lat projektuje i opracowuje innowacyjne rozwiązania w tym zakresie. Jest autorem i właścicielem kilku patentów rozwiązań służących energooszczędnej wentylacji, filtracji powietrza, gruntowych magazynów i wymienników energii. Jest współtwórcą rynku rekuperacji w Polsce.



prof. dr hab. inż. Sławomir Szymaniec

s.szymaniec@po.edu.pl

ORCID: 0000-0002-7642-1456

Studia na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej ukończył w 1972 r. Doktorat obronił w 1985 r. na Politechnice Śląskiej. Habilitację uzyskał w 2008 r. na Politechnice Opolskiej. W 2015 r. uzyskał tytuł profesora, a w 2017 r. został profesorem zwyczajnym w Politechnice Opolskiej. Jest autorem lub współautorem 269 publikacji, 6 patentów, 42 prac naukowo-badawczych dla przemysłu, 40 ekspertyz i doradztw technicznych oraz ponad 1500 prac technicznych dla przemysłu. Jako rzeczoznawca SEP brał udział w opiniowaniu wielu awarii maszyn elektrycznych. Specjalizuje się w utrzymaniu ruchu i diagnostyce maszyn wirujących, w tym maszyn elektrycznych, informatyce technicznej, zajmuje się również konstrukcją aparatury diagnostycznej i czujników.

