

dr inż. Robert Stachniewicz¹⁾

Kontrola sprawności wentylacji przy użyciu termowizji

Ventilation efficiency control using thermovision

DOI: 10.15199/33.2019.01.06

Streszczenie. W artykule zaprezentowano zastosowanie termowizji do kontroli poprawnej pracy wentylacji naturalnej w mieszkaniach. Na podstawie termogramów wykonanych zimą w mieszkaniu oraz pomiaru prędkości ruchu powietrza przed kratkami wentylacyjnymi dokonano analizy działania wentylacji. Do celów analizy opracowano termogramy miejsc napływu powietrza do mieszkania (rozszczelnione okna) i jego odpływu (kratki wentylacyjne). Sporządzono też symulację ciągu odwróconego przez jeden z kanałów wentylacyjnych i termogramy takich przypadków. Przypadek wadliwego działania wentylacji naturalnej spotyka się często w budynkach mieszkalnych. Termowizja jest szybką metodą weryfikacji poprawnego działania wentylacji naturalnej. W przypadku nieprawidłowości umożliwia również wskazanie przyczyn niesprawności.

Słowa kluczowe: wentylacja naturalna; termografia; budynki mieszkalne.

Abstract. The article presents the use of thermovision to control the correct work of natural ventilation in apartments. On the basis of the thermograms made in the winter season in the selected apartment and the measurement of the air movement speed on the ventilation grilles, the ventilation operation was analyzed. For the purposes of the analysis, thermograms were made for the places of air inflow into the flat (unsealed windows) and air outflow (ventilation grates). The simulation of the reverse sequence through one of the ventilation ducts was also performed and thermograms of such cases were attached. This case of malfunctioning of natural ventilation is often found in residential buildings. Thermovision is a quick method to determine the proper functioning of natural ventilation. In cases of irregularities in its work, it also enables identification of the causes of its malfunction.

Keywords: natural ventilation; thermography; residential buildings.

Prawidłowo działająca wentylacja w budynkach mieszkalnych usuwa zanieczyszczenia pyłowe i gazowe, w tym CO₂, wilgoć powstałą w trakcie eksploatacji mieszkań, a także szkodliwe dla zdrowia związki chemiczne emitowane z materiałów meblowych i budowlanych wewnątrz budynku. Ze względu na sposób działania, wentylację możemy podzielić na grawitacyjną, mechaniczną i hybrydową. **Wentylacja grawitacyjna**, zwana także **naturalną**, jest najczęściej stosowana w budynkach wielorodzinnych i jednorodzinnych, a także użyteczności publicznej. Do zalet wentylacji grawitacyjnej należy jej samoczynne, ciągłe działanie, które nie jest zależne od urządzeń mechanicznych. Polega ono na usuwaniu powietrza z pomieszczeń na skutek różnicy ciśnień, zależnej od jego temperatury. Wydajność tego rodzaju wentylacji zależy także od siły wiatru oraz rozmieszczenia i budowy kanałów wentylacyjnych [11]. Wadą tego rozwiązania jest to, że działanie i wydajność wentylacji jest zależna od warunków wewnętrznych i niekontrolowanych

warunków zewnętrznych. Przy małej różnicy temperatur powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynku, ten sposób wentylowania praktycznie ustaje, a w okresie letnim w ogóle nie działa. Wentylacja grawitacyjna nie będzie działać także wtedy, gdy nie zapewnimy dopływu zimniejszego powietrza zewnętrznego do wnętrza wentylowanych pomieszczeń przez przewidziane do tego celu otwory w obudowie budynku, tzw. nawiewniki w oknach, drzwiach czy w ścianach zewnętrznych, których konieczność montażu przewidują odpowiednie akty prawne [7]. W przypadkach gdy wentylacja w mieszkaniu nie działa prawidłowo, zwiększa się wilgotność powietrza, co przyczynia się do kondensacji pary wodnej na powierzchniach przegród, a w konsekwencji sprzyja rozwojowi pleśni [8, 9]. Sytuacja taka ma miejsce w budynkach poddanych termomodernizacji, gdzie stare okna zostały wymienione na nowe – szczelne, a projektant lub audytor nie zalecił wstawienia nawiewników powietrza. Zdarza się, że mieszkańcy zaklejają istniejące nawiewniki, gdyż ich zdaniem dochodzi do nadmiernego wychładzania pomieszczeń i zwiększenia zużycia energii do ogrzewania [10]. Z tego powodu odpo-

wiednie akty prawne [12] nakazują wykonanie okresowych kontroli instalacji wentylacyjnych w budynkach.

Kontrola wentylacji naturalnej

Analizując obraz rozkładu promieniowania podczerwonego emitowanego przez obiekt [3, 13], uzyskany za pomocą termowizji, można określić poprawność działania urządzenia i możliwość powstania awarii lub zagrożenia. Intensywność tego promieniowania, po uwzględnieniu odbić temperatury, odległości od obserwowanego obiektu i emisyjności jego powierzchni można przeliczyć na rozkład temperatury [4]. Aby stwierdzić anomalie w rozkładzie temperatur, które mogłyby świadczyć o niepoprawnym działaniu urządzenia lub stratach ciepła, należy spełnić odpowiednie warunki opisane szczegółowo w normie [4]. W przypadku analizy, np. wentylacji, korzystny z punktu widzenia warunków pomiarowych jest okres z niższymi temperaturami powietrza zewnętrznego, pozwalający na uzyskanie różnicy temperatur ok. 10°C. Przeważnie są to miesiące od późnej jesieni do wczesnej wiosny, kiedy budynek jest ogrzewany, a na zewnątrz

¹⁾ Politechnika Białostocka; Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska; r.stachniewicz@pb.edu.pl

panuje temperatura zbliżona do 10°C. Za pomocą kamery termowizyjnej o dużej czułości termicznej można wykryć anomalie także przy mniejszej różnicy temperatur. Czułość kamer z detektorem mikrobolometrycznym niechłodzonym umożliwia rozróżnienie temperatury pomiędzy dwoma punktami na poziomie 0,04°C (NETD).

Kontrola instalacji wentylacyjnej z użyciem termowizji polega na uchwyceniu różnic w spodziewanym rozkładzie temperatury na otworach, przez które dopływa świeże i odpływa zużyte powietrze z mieszkania [1, 2]. W przypadku poprawnej pracy instalacji wentylacyjnej (nawiewniki, rozszczelnione okna) możemy spodziewać się obniżenia temperatury na otworach nawiewnych w porównaniu z temperaturą powietrza wewnętrznego lub przyległego obszaru (rama okna), a na kratkach wywiewnych temperatura będzie zbliżona do temperatury powietrza usuwanego z pomieszczeń. Obecnie nie jest możliwe dokładne ustalenie wydajności chwilowej wentylacji naturalnej metodą termowizji, mimo że prace badawcze są prowadzone. Taką możliwość daje natomiast wykorzystanie anemometrów skrzydełkowych lub termooanemometrów (fotografia).



Kontrola prędkości powietrza na kratce wentylacji naturalnej termooanemometrem cyfrowym firmy Ahlborn

Control of air velocity in front of the natural ventilation grille with the Ahlborn digital thermocouple

Dwie normy dotyczące wentylacji zakładają, że ma ona funkcjonować poprawnie przy temperaturze powietrza zewnętrznego 12°C [5] lub przy temperaturze powietrza wewnętrznego o 10°C wyższej niż na zewnątrz [6]. Przy takich założeniach różnica pomiędzy temperaturą zewnętrzną i obliczeniową wewnętrzną w pomieszczeniach mieszkalnych wynosi ok. 10°C, co jest wystarczające do prawidłowej interpretacji obrazu termowizyjnego przy kontroli wentylacji naturalnej.

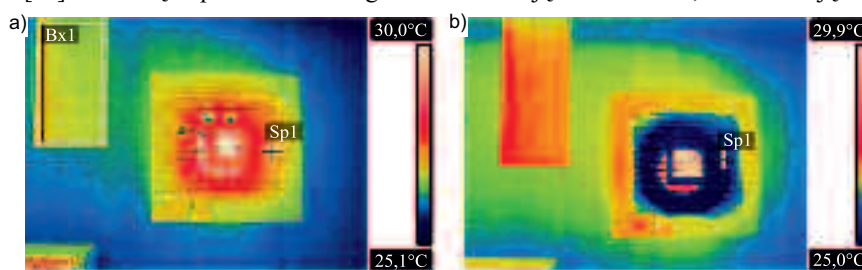
Przykład kontroli sprawności wentylacji naturalnej

Przykładową kontrolę poprawności działania wentylacji naturalnej wykonano w mieszkaniu o powierzchni 52 m², zlokalizowanym na drugiej kondygnacji budynku czterokondygnacyjnego. Badania zostały wykonane w sezonie grzewczym, przy temperaturze zewnętrznej $t_e = -0,5^\circ\text{C}$. Kanały wentylacyjne w mieszkaniu znajdowały się w pokoju z aneksem kuchennym i w łazience. Do kanału w aneksie był podłączony wyciąg kuchenny, a kanał w łazience miał dodatkowo wentylator wyciągowy (fotografia). Podczas pierwszego pomiaru rozszczelniono okna w mieszkaniu – klamki skrzydeł ustawiono w pozycji 45°. Zmierzona temperatura powietrza w łazience (rysunek 1a) wynosiła ok. 27°C i była zbliżona (różnica 0,4°C) do temperatury kratki i łopatek wentylatora. W celu ustalenia temperatury powietrza użyto kawałka papieru widocznego z lewej strony wentylatora na termogramie. Taka metoda ustalania temperatury stosowana jest w literaturze [13]. Ustaloną na podstawie termogramu

średnią temperaturę powierzchni kawałka kartki (obszar Bx1) przyjęto jako temperaturę powietrza wewnątrz łazienki.

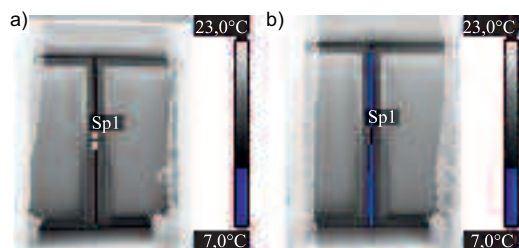
Podobna, do temperatury powietrza wewnętrznego, temperatura na kratkach wentylacyjnych w aneksie kuchennym i w łazience nie świadczy o prawidłowo działającej wentylacji. W przypadku, gdy nie istnieje dopływ świeżego powietrza przez nawiewniki lub rozszczelnione okna, może to świadczyć także o nieprawidłowościach w działaniu – brak ciągu. Aby to sprawdzić, należy dokonać przeglądu miejsc, którymi powietrze zewnętrzne powinno napływać do pomieszczeń. W tym celu wykonano termogramy rozszczelnionych okien. Widoczne było na nich obniżenie temperatury na słupku okna, co może świadczyć o napływie zimniejszego powietrza przez szczelinę pomiędzy skrzydłami a ramą na całej długości krawędzi skrzydeł przy słupku. Aby potwierdzić, że obniżenie temperatury wynika z napływu powietrza zewnętrznego, a nie ze zmniejszonej izolacyjności termicznej ramy okna, porównano termogram okna zamkniętego (rysunek 2a) z termogramem okna rozszczelnionego (rysunek 2b). Różnica temperatur w punkcie Sp1 na termogramach wyniosła ok. 5°C, co potwierdza napływ powietrza z zewnątrz. Aby to zweryfikować, dodatkowo wykonano pomiar prędkości powietrza na kratkach wentylacyjnych w aneksie i łazience (rysunek 1) za pomocą termooanemometru firmy Ahlborn, uzyskując wynik od 0,9 do 1,4 m/s.

Czasami mieszkańcy, chcąc poprawić działanie wentylacji naturalnej i uniezależnić je od rozszczelnianych okien, które nie mają nawiewników, sami usuwają ka-



Rys. 1. Termogramy kratki wentylacyjnej w łazience: a) rozkład temperatury przy prawidłowym ciągu grawitacyjnym – rozszczelnione okna w mieszkaniu ($Sp1 = 27,2^\circ\text{C}$, $T_i = Bx1 = 26,8^\circ\text{C}$); b) rozkład temperatury przy włączonym wentylatorze w okapie kuchennym – ciąg odwrotny ($Sp1 = 25,0^\circ\text{C}$, $T_i = 26,8^\circ\text{C}$)

Fig. 1. Thermograms of the ventilation grille in the bathroom: a) temperature distribution with correct gravity – unsealed windows in the apartment ($Sp1 = 27,2^\circ\text{C}$, $T_i = Bx1 = 26,8^\circ\text{C}$); b) temperature distribution with the fan turned on in the kitchen hood – reversed sequence ($Sp1 = 25,0^\circ\text{C}$, $T_i = 26,8^\circ\text{C}$)



Rys. 2. Termogramy okna: a) całkowicie zamkniętego ($Sp1 = 13,7^{\circ}\text{C}$, $t_i = 20,0^{\circ}\text{C}$, $t_e = -0,5^{\circ}\text{C}$, $t_{\min} = 11,2^{\circ}\text{C}$); b) rozszczelnionego ($Sp1 = 9,2^{\circ}\text{C}$, $t_i = 20,0^{\circ}\text{C}$, $t_e = -0,5^{\circ}\text{C}$, $t_{\min} = 4,5^{\circ}\text{C}$)
Fig. 2. Thermograms of the window: a) window completely closed ($Sp1 = 13,7^{\circ}\text{C}$, $t_i = 20,0^{\circ}\text{C}$, $t_e = -0,5^{\circ}\text{C}$, $t_{\min} = 11,2^{\circ}\text{C}$); b) unsealed ($Sp1 = 9,2^{\circ}\text{C}$, $t_i = 20,0^{\circ}\text{C}$, $t_e = -0,5^{\circ}\text{C}$, $t_{\min} = 4,5^{\circ}\text{C}$)

walki uszczelek ze skrzydeł (rysunek 3). Widoczne są wówczas na termogramach wychłodzone miejsca na ościeżach lub nadprożu okien (strzałki na rysunku 3).

W budynkach mieszkalnych na skutek wadliwie działającej wentylacji naturalnej często powstaje zjawisko ciągu odwróconego. Dzieje się tak wtedy, gdy w przypadku braku napływu powietrza przez rozszczelnione okna lub nawiewniki wymiana powietrza następuje pomiędzy dwoma lub więcej kanałami wentylacji naturalnej. Wówczas przez jeden z kanałów napływa, a przez drugi odpływa powietrze z mieszkania. W takich sytuacjach na kratce nawiewnej będzie widoczne znaczne obniżenie temperatury poniżej temperatury powietrza w pomieszczeniu. Spadek temperatury zależeć będzie od temperatury zewnętrznej, wiatru, temperatury wewnętrznej oraz długości i rozmieszczenia kanałów wentylacyjnych. Aby zasymulować ciąg odwrótny w analizowanym mieszkaniu, włączono wyciąg kuchenny przy szczelnie zamkniętych oknach i drzwiach balkonowych. Wy-



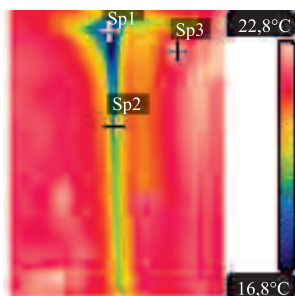
Rys. 3. Termogram okna w pokoju z wyciętymi fragmentami uszczelek w dwóch skrzydłach lewego okna (miejsce napływu powietrza zaznaczono strzałkami)

Fig. 3. Thermogram of the window in the room with cut pieces of seals in two wings of the left window (the place of air inflow is marked with arrows)

muszony wentylatorem wyciągu kuchennego silny odpływ powietrza przez kanał w aneksie kuchennym spowodował napływ powietrza zewnętrznego przez kratkę w łazience. Spowodowało to spadek temperatury o 2°C (rysunek 1b) w porównaniu z warunkami przed włączeniem wyciągu kuchennego.

Podczas nawiewu powietrza zewnętrznego przez kanał wentylacyjny z odwróconym ciągiem często dochodzi do wychłodzenia ścianki kanału. Spotyka się przypadki, gdy powietrze napływające przez kanał wychładza ścianę z kanałem na wyższych kondygnacjach tak mocno, że temperatura na jej wewnętrznej powierzchni spada poniżej temperatury punktu rosy. W efekcie dochodzi do kondensacji powierzchniowej pary wodnej z powietrza w mieszkaniu. Gdy sytuacja ta utrzymuje się przez kilka dni, można zaobserwować ślady pleśni. Kiedy do wychłodzonej ściany, w której biegnie kanał wentylacyjny, dostawione są dodatkowo meble lub inna zabudowa, sytuacja ulega pogorszeniu na skutek słabszego odsychania ściany.

Silne wychłodzenie ściany z kanałem wentylacji naturalnej, w którym występuje ciąg odwrócony, widoczne jest na termogramie na rysunku 4. Termogram



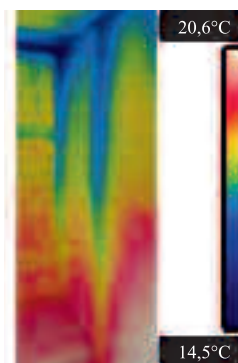
Rys. 4. Termogram pionu wentylacyjnego z odwrótnym ciągiem w mieszkaniu poniżej ($Sp1 = 15,1^{\circ}\text{C}$, $Sp2 = 19,1^{\circ}\text{C}$, $t_i = 23,0^{\circ}\text{C}$, $t_e = -3,2^{\circ}\text{C}$)

Fig. 4. Thermogram of the vent stack with opposite course in the flat below ($Sp1 = 15,1^{\circ}\text{C}$, $Sp2 = 19,1^{\circ}\text{C}$, $t_i = 23,0^{\circ}\text{C}$, $t_e = -3,2^{\circ}\text{C}$)

wykonany został w mieszkaniu na najwyższej kondygnacji. Na skutek włączanego okresowo wyciągu kuchennego lub wentylatora wyciągowego w łazience w mieszkaniu położonym na niższej kondygnacji, doszło do odwrócenia ciągu i obniżenia temperatury powierzchni ściany poniżej punktu rosy oraz kondensacji wilgoci. Po tygodniu od uruchomienia ogrzewania zaobserwowano

rozwój pleśni (obszar w kolorze ciemnoniebieskim na termogramie na rysunku 4).

Wychłodzenie ścian z kanałami wentylacyjnymi, w których występuje ciąg odwrócony, można zaobserwować także na ścianach wewnętrznych klatek schodowych (rysunek 5). Spadek temperatury powierzchni ściany kanału wentylacyjnego w porównaniu z obszarem poza kanałem dochodzi do 3°C w poziomie stropu najwyższej kondygnacji oraz ok. 2°C w poziomie stropu przedostatniej kondygnacji.



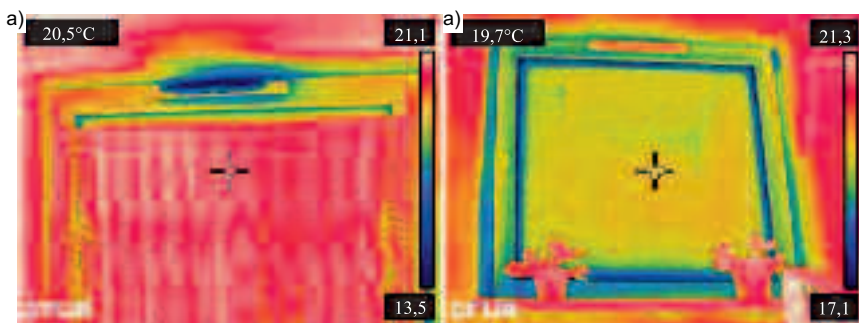
Rys. 5. Termogram ściany wewnętrznej klatki schodowej z kanałami wentylacji naturalnej przy ciągu odwrótnym ($t_i = 18,0^{\circ}\text{C}$, $t_e = -0,9^{\circ}\text{C}$)

Fig. 5. Thermogram of the internal staircase wall with natural vent stack with opposite course ($t_i = 18,0^{\circ}\text{C}$, $t_e = -0,9^{\circ}\text{C}$)

Kamerą termowizyjną można kontrolować działanie wentylacji na klatce schodowej (rysunek 6). Strzałki na termogramie pokazują miejsca napływu powietrza zewnętrznego (rysunek 6a) lub odpływu nagranego powietrza na zewnątrz (rysunek 6b). Analiza działania wentylacji klatki schodowej jest podobna jak w mieszkaniu.

Podsumowanie

Metoda termowizyjna kontroli działania wentylacji naturalnej jest bardzo szybka i sprawna. Pozwala zweryfikować działanie systemu wentylacji i umożliwia określenie przyczyny jej braku (brak ciągu, ciąg odwrótny) oraz sprawdzić poprawność napływu powietrza do pomieszczeń wentylowanych naturalnie. Przy kontrolach termowizyjnych należy pamiętać o zachowaniu odpowiednich warunków, w których inspekcja może być wykonana i by osoba ją wykonująca posiadała niezbędną wie-



Rys. 6. Termogramy okien na klatce schodowej: a) okno na półpiętrze parteru; b) okno na najwyższej kondygnacji

Fig. 6. Thermograms of windows in the staircase: a) window on the mezzanine of ground floor; b) window on the top floor

dzę dotyczącą termowizji i warunków pomiaru w celu wyciągnięcia właściwych wniosków.

Literatura

- [1] Chludzińska Marta, Anna Bogdan. 2010. „Ocena przepływu powietrza z nawiewnika wentylacji indywidualnej za pomocą termowizji”. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* (2): 31 – 34.
- [2] Niedostatkiewicz Maciej, Romana Antczak-Jarząbska. 2016. „Badanie termowizyjne ciągu wen-

- tylacyjnego w budynku mieszkalnym z poddaszem nieużytkowym”. *Dachy* (1): 8 – 12.
- [3] Nowak Henryk. 2012. *Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [4] PN-EN 13187:2001. Właściwości cieplne budynków – Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – Metoda podzerwieni.
- [5] PN-83/B-03430/Az3:2000. Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.
- [6] PN-89/B-10425. Przewody dymowe, spalino-

[7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami.

[8] Sarosiek Wiesław, Beata Sadowska. 2006. „Wilgoć na wewnętrznych powierzchniach przegród zewnętrznych a mikroklimat mieszkań”. *Materiały Budowlane* 407 (7): 25 – 27.

[9] Stachniewicz Robert. 2018. „Use of thermography for determining places in danger of the mold growth in residential buildings”. *Ekonomia i Środowisko* (3): 142 – 156.

[10] Targowski Leszek. 2006. „Wentylacja grawitacyjna w obiektach budowlanych”. *Materiały Budowlane* 407 (7): 2 – 7.

[11] Trusewicz Tomasz. 2006. „Prawne i praktyczne aspekty budowy kanałów wentylacyjnych”. *Materiały Budowlane* 407 (7): 8 – 10.

[12] Ustawa z 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane. Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414 z późniejszymi zmianami.

[13] Wróbel Alina. 2010. *Termografia w pomiarach inwentaryzacyjnych obiektów budowlanych*. Rozprawy i monografie AGH, zeszyt 209.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBiIS/3/16 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

Przyjęto do druku: 28.12.2018 r.



AHLBORN

Referencyjne urządzenia pomiarowe

Rejestratory danych

Certyfikowane łańcuchy pomiarowe

Pomiary mikroklimatu

Pomiary środowiskowe

Monitoring okresowy i ciągły

alitech

Alitech Sp. z o.o.

ul. Stobrowska 30, 54-211 Wrocław

tel. +48 71 352 19 92

www.alitech.com.pl

biuro@alitech.com.pl

