

Analiza mikroklimatu pomieszczenia mieszkalnego

Adam Ciupa 

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami, Kraków

Streszczenie: Niniejszy artykuł opisuje sposób zapewnienia odpowiednich warunków w pomieszczeniach mieszkalnych, systemy wentylacji i centralnego ogrzewania w budownictwie z okresu Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej (PRL). Ponadto przedstawiona została charakterystyka mikroklimatu pomieszczenia mieszkalnego na rzeczywistym przykładzie. Na podstawie uzyskanych wyników wysunięto wnioski dotyczące przyszłej modernizacji pomieszczenia. Wyniki badań z łatwością mogą zostać przeniesione na inne pomieszczenia tego typu, znajdujące się na terenie Polski.

Badania wykazały, iż we wskazanym pomieszczeniu należy dokonać wymiany starych i niespełniających swoich funkcji drzwi balkonowych i okna na nowe z nawiewnikami automatycznymi i dokładnymi filtrami oraz grzejnika żeliwnego członowego na płytowy. Dodatkowo rurą instalacji c.o. powinien zostać zaizolowany. Ponadto konieczne będzie wstawienie nawilżacza powietrza. Co więcej, zaleca się inwestycję w oczyszczacz powietrza.

Słowa kluczowe: mikroklimat, badanie, pomieszczenie mieszkalne, mieszkanie, wentylacja, zapylenie, PM10, PM2.5, wilgotność, wilgotność względna, powietrze, jakość powietrza, ciepłownictwo, grzejniki, Polska, Śląsk, Tychy

MICROCLIMATE ANALYSE OF A LIVING QUARTER

Abstract: This article presents the essence of ensuring appropriate conditions in living quarters, ventilation and central heating systems in the civil engineering from the period of the Polish People's Republic (PRL) and the course of research into the microclimate of a living quarter on an actual example. Based on the obtained results, appropriate conclusions concerning the modernization were made. They can be applied to many rooms of this type in Poland.

The research showed that in the indicated room, the outdated window and balcony door should be replaced with new ones with automatic air diffusers with a fine filters and a sectional cast iron radiator with a plate one. Central heating installation pipes should be insulated. In addition, it will be necessary to place an air humidifier. What's more, it is recommended to invest in an air purifier.

Keywords: microclimate, research, living quarter, apartment, ventilation, dust, PM10, PM2.5, humidity, relative humidity, air, air quality, district heating, radiators, Poland, Silesian Voivodeship, Tychy

https://doi.org/10.7494/978-83-68219-19-7_2

1. Wprowadzenie

1.1. Mikroklimat

Aby dobrze zrozumieć problematykę tego artykułu, wyjaśniono poniżej pojęcie mikroklimatu i omówiono jego wpływ na organizm ludzki. Mikroklimat to zbiór parametrów fizycznych i chemicznych, zmiennych w czasie i przestrzeni, wywierających wpływ na każdy żywy organizm (Pełech 2008). Wydajność, samopoczucie i zdrowie człowieka są uzależnione m.in. od następujących parametrów środowiskowych, charakteryzujących jego otoczenie:

- temperatura powietrza,
- wilgotność powietrza,
- prędkość przepływu powietrza,
- charakterystyka klimatu akustycznego,
- temperatura przegród w pomieszczeniu w porównaniu z temperaturą powietrza wtórnego,
- stężenie dwutlenku węgla w powietrzu,
- zapylenie powietrza.

Polska Norma (PN-B-03421:1978) określa pożądane wartości temperatury, wilgotności i maksymalną prędkość przepływu powietrza w zależności od aktywności fizycznej człowieka osobno dla lata oraz zimy. Na ogół przyjęło się, że w pomieszczeniach mieszkalnych temperatura powietrza ma wynosić około 20°C, wilgotność względna od 40% do 60% (zakres optymalny jednocześnie dla ludzi, przegród budowlanych i wyposażenia budynków), a maksymalna prędkość przepływu powietrza wynosi 0,2 m/s. W przypadku doboru nieodpowiedniej temperatury danego pomieszczenia jego użytkownicy mogą odczuwać dyskomfort, który powoduje dodatkowy wysiłek organizmu ludzkiego. Może się to objawiać dreszczami bądź nadmierną potliwością. Nieodpowiedni poziom wilgotności względnej może negatywnie wpłynąć nie tylko na ludzi, ale także na stan ich otoczenia, między innymi na przegrody budowlane i wyposażenie pomieszczeń. Gdy ww. parametr osiąga wartość mniejszą od 40%, przy temperaturze powietrza w pomieszczeniu wynoszącej około 20°C (w przypadku wentylacji bez kontroli wilgoci – głównie zimą), człowiek jest narażony np. na alergie skórne oraz uczucie drapania w gardle, zaś drewniane elementy wyposażenia na uszkodzenia wskutek zbyt dużego skurczenia się materiału. Przy wilgotności względnej wyższej od 60% i temperaturze powietrza w pomieszczeniu wynoszącej około 20°C (w przypadku wentylacji bez kontroli wilgoci – głównie latem) człowiek bardziej odczuwa temperaturę, co może skutkować uczuciem duszności. Drewniane elementy wyposażenia mogą ulec uszko-

dzeniu z powodu zbyt dużego napężnienia. Co więcej, na przegrodach budowlanych może tworzyć się grzyb. Podczas projektowania instalacji wentylacyjnej i klimatyzacyjnej należy zwrócić uwagę na prędkość przepływu powietrza w strefie przebywania ludzi. W pomieszczeniach mieszkalnych nie powinna ona przekraczać około 0,2 m/s. Wartość ta jest zależna od temperatury w pomieszczeniu. Zbyt wysoka prędkość powietrza może powodować odczuwanie przeciągu przez ludzi.

Charakterystyka akustyczna określonych rodzajów pomieszczeń została określona w normie (PN-B-02151-02:1987). Zgodnie z nią dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A, charakteryzujący hałas przenikający do pomieszczenia, łącznie ze wszystkich źródeł, w przypadku:

- pomieszczenia mieszkalnego wynosi 40 dB(A) dla dnia oraz 30 dB(A) dla nocy,
- kuchni i pomieszczenia sanitarnego w mieszkaniach wynosi 45 dB(A) dla dnia oraz 40 dB(A) dla nocy,
- pomieszczenia do pracy umysłowej, wymagającej silnej koncentracji uwagi, wynosi 35 dB(A) dla dnia.

Zbyt wysoki poziom ciśnienia akustycznego może powodować u ludzi między innymi bóle głowy, problemy z koncentracją oraz podwyższone ciśnienie krwi.

Temperatura przegród budowlanych danego pomieszczenia, według warunków komfortu, nie powinna różnić się od temperatury powietrza w tym pomieszczeniu o więcej niż 3°C. Jeżeli temperatura przegród będzie zbyt wysoka, strumień ciepła oddawanego przez ciało człowieka do otoczenia w wyniku promieniowania będzie zbyt niski, co może powodować uczucie nadmiernego ciepła. W przypadku zbyt niskiej temperatury przegród strumień ten wzrośnie, a człowiek będzie odczuwał chłód (Pełech 2008).

Stężenie dwutlenku węgla w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych nie powinno przekraczać 1000 ppm ($1,8 \text{ g/m}^3$). Powyżej tego poziomu człowiek może odczuwać zmęczenie. Ponadto istnieje zagrożenie utraty przytomności, ponieważ dwutlenek węgla jest gazem duszącym, czyli utrudniającym organizmowi dostęp do tlenu.

Ostatnim elementem jakości mikroklimatu, który wzięto pod uwagę, jest zapylenie powietrza. Zgodnie z obowiązującym w Polsce prawem średnie stężenie pyłu PM10 w skali roku nie powinno przekroczyć $40 \mu\text{g/m}^3$, natomiast w odniesieniu do doby – $50 \mu\text{g/m}^3$. Dopuszczalna liczba przekroczeń średniodobowego stężenia PM10 w skali roku wynosi 35. Dopuszczalne średniodobowe stężenie pyłu PM2.5 wynosi $20 \mu\text{g/m}^3$. Dla tego rodzaju pyłu nie podano stężenia rocznego oraz dopuszczalnej ilości przekroczeń stężenia średniodobowego w skali roku (Główny Inspektorat Ochrony Środowiska). Wdychane przez człowieka pyły mogą negatywnie wpływać na jego układ oddechowy, krwionośny, immunologiczny, a nawet nerwowy. Im pył jest drobniejszy, tym

łatwiej wnika do układu oddechowego człowieka. Co równie istotne, pyły mogą zawierać substancje rakotwórcze, takie jak np. WWA (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne). Wyższe poziomy zapylenia powietrza zewnętrznego notuje się głównie w okresie zimowym ze względu na pracę indywidualnych instalacji spalania paliw stałych przestarzałej technologii w domach jednorodzinnych. Nie posiadają one filtrów wysokiej sprawności (np. elektrofiltrów) oraz zdarza się, że są eksploatowane w niewłaściwy sposób. W przypadku wysokiego zapylenia powietrza zewnętrznego oraz funkcjonującej wentylacji bez filtracji bądź z filtracją o niskiej sprawności obszar objęty tą wentylacją będzie charakteryzował się podwyższonym zapyleniem powietrza, w stosunku do odpowiednich warunków.

1.2. Instalacje w budynkach starego budownictwa

Budynki mieszkalne starego budownictwa, wybudowane w czasach Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej (PRL), cieszą się obecnie dużym popytem. Na podstawie danych opublikowanych przez Główny Urząd Statystyczny (Adamczyk et al. 2013) oszacowano, że nadal spora część społeczeństwa polskiego korzysta z tego typu obiektów. Budynki te wyróżnia na ogół dobra lokalizacja, prostota modernizacji oraz duża przestrzeń dookoła nich. Ich wadą w stosunku do nowego budownictwa jest wyposażenie w instalacje sanitarne starszej technologii. W tekście skupiono się na instalacjach wentylacyjnych oraz centralnego ogrzewania.

Dawniej w budynkach mieszkalnych stosowano przeważnie wentylację grawitacyjną. Jej działanie jest zdeterminowane głównie przez siłę grawitacji oraz różnicę gęstości pomiędzy powietrzem zewnętrznym i wewnętrznym. Gęstość powietrza jest odwrotnie proporcjonalna do jego temperatury. Wraz ze wzrostem temperatury powietrza jego gęstość maleje, natomiast wraz z jej spadkiem – rośnie. Idea przepływu powietrza w pomieszczeniu z wentylacją grawitacyjną polega na tym, że ciepłe powietrze wtórne unosi się ku górze, skąd jest usuwane na zewnątrz budynku przez wywiewniki, przewody wentylacyjne oraz wywietrzaki. Powoduje to powstanie podciśnienia w dolnej części pomieszczenia, czego rezultatem jest zasysanie do wnętrza świeżego powietrza z zewnątrz przez nieszczelności w przegrodach bądź nawiewniki. Taki proces wymiany powietrza utrzymuje się praktycznie przez całą zimę. Wówczas w pomieszczeniach jest cieplej niż na zewnątrz. Inaczej sytuacja wygląda latem, kiedy temperatura wewnątrz często jest niższa od panującej na zewnątrz. W efekcie w dolnej części pomieszczenia panuje nadciśnienie i zimniejsze powietrze jest usuwane przez nieszczelności, a świeże powietrze przedostaje się do wnętrza za pośrednictwem wywietrzaka, przewodów wentylacji grawitacyjnej oraz wywiewników. Proces ten określa się jako odwrócony ciąg (znany również jako ciąg wsteczny). Inną przyczyną tego zjawiska, która może występować zarówno zimą, jak i latem, jest silny wiatr przy zastosowaniu nie-

właściwego typu wywiewników. Wywiewniki umieszczone na dachach budynków powinny, przy prawidłowym działaniu wentylacji grawitacyjnej, usuwać powietrze wtórne. Jednak podczas silnego wiatru świeże powietrze może przedostać się do przewodów wentylacyjnych, a następnie do pomieszczeń. Aby temu zapobiec, zamiast podstawowych wywiewników stałych stosuje się deflektory cylindryczne i typu H, urządzenia samonastawne bądź obrotowe. Ich konstrukcja sprzyja tworzeniu się podciśnienia w przewodach wentylacyjnych podczas silnych wiatrów. Zjawisko ciągu wstecznego jest niekorzystne, ponieważ:

- nieprzefiltrowane powietrze napływa do pomieszczeń,
- powietrze nawiewane przez wywiewniki może zawierać zanieczyszczenia z przewodów wentylacyjnych, a nawet substancje wywiewane przez przewody dymowe bądź spalinowe,
- istnieje możliwość napływu zimnego powietrza do tzw. pomieszczeń brudnych, takich jak łazienka bądź toaleta.

Wentylacja grawitacyjna ze względu na swój charakter uniemożliwia sterowanie temperaturą powietrza nawiewanego. Krotność wymian powietrza nie jest dostosowywana do potrzeb w przypadku nawiewu przez nieszczelności lub nawiewniki nieautomatyczne (wyjątek stanowi ręczne otwieranie okien, drzwi itp. oraz tymczasowe doszczelnianie okien np. tkaninami, co wciąż bywa praktykowane). Nawiewniki higrosterowane, ciśnieniowe oraz dwusystemowe pozwalają na automatyczne sterowanie strumieniem objętościowym powietrza nawiewanego. W okresie PRL popularna była również mechaniczna wentylacja wywiewna. Polega ona na wymuszonym wywiewaniu powietrza z pomieszczeń z wykorzystaniem co najmniej jednego wentylatora. Proces ten powoduje zasysanie do pomieszczeń świeżego powietrza przez nieszczelności lub nawiewniki. W tym przypadku również istnieje możliwość sterowania strumieniem powietrza nawiewanego (przez zastosowanie ww. nawiewników oraz sterowanie pracą wentylatora), lecz nadal nie ma możliwości sterowania temperaturą powietrza nawiewanego. Zarówno wentylacja grawitacyjna, jak i mechaniczna wywiewna nie umożliwia odzyskiwania ciepła z powietrza wywiewanego. Ponadto w obu przypadkach problem stanowią często stan i konstrukcja stolarki okiennej. Dawniej nieszczelności w oknach służyły jako przestrzeń napływu powietrza do pomieszczeń. Obecnie okna są często wymieniane na szczelniejsze w celu zmniejszenia strat ciepła. W takim przypadku brak odpowiednich nawiewników odbija się negatywnie narotności wymian powietrza. Warto zaznaczyć, że powietrze przedostające się do pomieszczenia przez nieszczelności jest niefiltrowane. Obecnie zaleca się instalowanie w starym budownictwie szczelnej stolarki okiennej oraz nawiewników okiennych bądź ściennych z filtrami powietrza (przynajmniej wstępny).

W skład instalacji grzewczych w starym budownictwie wchodziły żeliwne grzejniki członowe (inaczej żeberkowe). Ich sposób oddawania energii do otoczenia opiera się w głównej mierze na konwekcji, a w mniejszym stopniu na promieniowaniu. Charakteryzują się one dużą pojemnością czynnika grzewczego, co jest przyczyną ich wysokiej bezwładności cieplnej. Taki grzejnik powoli się nagrzewa, a po osiągnięciu zadanej temperatury w pomieszczeniu jeszcze długo oddaje ciepło. Utrudnia to utrzymanie stabilnej temperatury z niewielkimi odchyleniami. Ze względu na swoją konstrukcję jest również trudny do czyszczenia z kurzu. W nowych układach grzewczych stosowane są zazwyczaj grzejniki płytowe bądź płaszczyznowe. Grzejniki płytowe charakteryzują się małą bezwładnością cieplną. Ich konstrukcja pozwala na łatwe czyszczenie. Oddają ciepło do otoczenia głównie na zasadzie konwekcji podobnie jak grzejniki żeberkowe. Ogrzewanie płaszczyznowe najczęściej występuje w formie ogrzewania podłogowego. Oddaje ono ciepło do otoczenia praktycznie w całości w wyniku promieniowania (przez co nie powoduje unoszenia się kurzu, jak w przypadku ogrzewania konwekcyjnego). Preferowany przez ludzi rozkład temperatury w pionie na ogół wygląda następująco – im wyżej, tym zimniej, przy czym różnica pomiędzy temperaturą przy stopach a przy głowie nie powinna być większa niż 3°C (Pełech 2008). W związku z tym ogrzewanie podłogowe najbardziej odzwierciedla idealny profil rozkładu temperatury w pomieszczeniu. Grzejniki płytowe i żeberkowe powodują utrzymanie się wysokiej temperatury przy suficie. W przypadku tych grzejników, usytuowanych przy przegrodach zewnętrznych, rozkład temperatury przy posadzce jest korzystniejszy, niż gdyby były umieszczone przy przegrodzie wewnętrznej. W związku z powyższym stosowane grzejniki członowe z okresu PRL nie sprzyjają zapewnieniu komfortu cieplnego w pomieszczeniu, pożądanej czystości powietrza oraz prostych warunków czyszczenia.

2. Cel i zakres badania

Celem niniejszych badań jest określenie wybranych parametrów mikroklimatu pomieszczenia mieszkalnego, opis zaimplementowanej instalacji wentylacyjnej i centralnego ogrzewania oraz wyciągnięcie wniosków. W zakres pracy wchodzi następujące czynności:

- przeprowadzenie wywiadu z użytkownikami badanego pomieszczenia wraz z jego oględzinami;
- rozmowa z kierownikiem GZM nr 6 Spółdzielni Mieszkaniowej „Oskard” oraz analiza dokumentacji technicznej budynku;
- konfiguracja serwerów FTP do zapisu danych z czujnika jakości powietrza „Smog-Tok” (część danych została zapisana na darmowym serwerze, a pozostałe na płatnym, żeby porównać ich funkcjonalność);

- umiejscowienie i konfiguracja czujnika jakości powietrza, określającego następujące parametry:
 - ciśnienie atmosferyczne,
 - stężenie pyłów PM2.5 oraz PM10,
 - temperaturę według termometru suchego,
 - wilgotność względną;
- wykonanie pomiarów czujnikiem jakości powietrza w okresie zimowym oraz letnim;
- pobranie danych dotyczących zapylenia powietrza zewnętrznego z pobliskiej stacji monitorującej jakość powietrza, z okresu przeprowadzenia badań jakości powietrza wewnętrznego;
- zbadanie przegród kamerą termowizyjną (z określeniem temperatury wewnętrznej i zewnętrznej tuż przed badaniem i zaraz po nim) oraz pirometrem;
- sprawdzenie wystąpienia nieszczelności w przegrodach, określenie ich charakteru za pomocą kamery termowizyjnej oraz termoanemometru;
- analiza instalacji wentylacyjnej i centralnego ogrzewania;
- utworzenie wizualizacji 3D badanego pomieszczenia;
- analiza uzyskanych wyników i wyciągnięcie wniosków.

3. Charakterystyka badanego pomieszczenia

Badane pomieszczenie znajduje się w zachodniej części budynku tzw. starego budownictwa, powstałego w okresie Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej. Budynek ten jest usytuowany w Tychach (woj. śląskie) przy ulicy Władysława Reymonta 63.



Rys. 1. Usytuowanie budynku ze wskazaniem badanego pomieszczenia

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem Google Earth

Jak wynika z rysunku 1, w najbliższej okolicy badanego pomieszczenia znajdują się nie tylko budynki wielorodzinne, ale także domy jednorodzinne. Rysunki 2 i 3 przedstawiają orientacyjnie badane pomieszczenie oraz usytuowanie czujnika jakości powietrza „SmogTok”. Grafiki te zostały utworzone z wykorzystaniem programu AutoCAD 2020 oraz wybranych bloków ze strony internetowej Archispace.



Rys. 2. Wizualizacja 3D badanego pomieszczenia – widok na stronę zachodnią



Rys. 3. Wizualizacja 3D badanego pomieszczenia – widok na stronę wschodnią

Czynności wykonywane w tym pomieszczeniu to praca biurowa oraz odpoczynek, w tym spanie. Z wywiadu z jego użytkownikami wynika, że w ciągu doby przebywają tam zazwyczaj maksymalnie dwie osoby.

W mieszkaniu, w skład którego wchodzi badane pomieszczenie, zastosowano wentylację mechaniczną wywiewną, bez nawiewników okiennych. Dlatego zakłada się, że powietrze jest nawiewane przez nieszczelności w oknie i drzwiach balkonowych.

Badane pomieszczenie jest ogrzewane żeliwnym grzejnikiem członowym, zamontowanym pod parapetem, zastawionym narożnym biurkiem. Zainstalowane okno i drzwi balkonowe są dwuszybowe, a ich framugi wykonane z PVC.

4. Metodyka pomiarowa

Przyjęta metodyka badawcza opierała się na wykorzystaniu czujnika jakości powietrza „SmogTok”, który przedstawiono na rysunku 4. Służy on do określenia ciśnienia atmosferycznego, temperatury powietrza według termometru suchego, wilgotności względnej powietrza oraz jego zapylenia PM10 i PM2.5. Składa się w szczególności z dwóch miniaturowych elementów, tj. sensora laserowego oraz termohigrometru (SmogTok). Czujnik ten został usytuowany na biurku narożnym (rys. 2 i 3). To miejsce reprezentatywne, ponieważ najczęściej przebywają w nim ludzie (siedząc na krześle bądź śpiąc na wersalce). Urządzenie dokonywało pomiarów co 9 minut, a wyniki były na bieżąco zapisywane na serwerze FTP. Serie pomiarowe były kumulowane częściowo na darmowym oraz płatnym serwerze FTP w celu porównania ich funkcjonalności.



Rys. 4. Czujnik jakości powietrza „SmogTok”

Pomiary kamerą termowizyjną zostały wykonane z wewnętrznej części pomieszczenia, z wykorzystaniem smartfonu CAT S60, wyposażonego w moduł termowizyjny FLIR Lepton drugiej generacji (Nowakowski). Dokonano ich w dniu 17.02.2021 r. około godziny 18.45, kiedy słońce znajdowało się za horyzontem, a różnica pomiędzy temperaturą wewnętrzną a zewnętrzną wynosiła $20,1^{\circ}\text{C}$ ($t_w = 24^{\circ}\text{C}$, $t_z = 3,9^{\circ}\text{C}$). Temperaturę wnętrza zmierzono za pomocą urządzenia „SmogTok”, zaś w przypadku temperatury

na zewnątrz posłużono się wskazaniem stacji pogodowej firmy Philips, korzystającej z czujnika zewnętrznego AJ260. Celem tej części badania było określenie umiejscowienia mostków cieplnych oraz nieszczelności przegród. Temperatury przegród zweryfikowano pirometrem Benetech GM550 z uwzględnieniem ich współczynników emisyjności (EMS) według dołączonej do urządzenia dokumentacji. Używając termooanemometru SmartSonda testo 405i, sprawdzono, czy występują nieszczelności przy mostkach cieplnych.

5. Wyniki badań

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki oraz analizę badań składających się z wywiadów, oględzin i pomiarów.

5.1. Wywiad z użytkownikami badanego pomieszczenia i kierownikiem GZM nr 6 Tyskiej Spółdzielni Mieszkaniowej „Oskard”

Przed rozpoczęciem pomiarów przeprowadzono wywiad z mieszkańcami korzystającymi z badanego pomieszczenia. Uzyskano informacje, że zimą odczuwają dyskomfort spowodowany przeciągiem. Wówczas głowica termostatyczna grzejnika jest ustawiona na maksymalną temperaturę (26°C), ponieważ mieszkańcom jest na ogół zimno. Ponadto zimą w godzinach wieczornych, nocnych oraz porannych w pomieszczeniu często czuć smog, co utrudnia prawidłowe funkcjonowanie organizmu. Użytkownicy mają przez to problem ze skupieniem się oraz zasypianiem. Wystąpienie smogu stwierdzili na podstawie informacji z internetu oraz własnych odczuć. Podczas mycia okien i drzwi balkonowych rzuca się w oczy pył nagromadzony na framugach zarówno po stronie zewnętrznej, jak i wewnętrznej. Od ponad dziesięciu lat poza codzienną eksploatacją i konserwacją okien tych nie poddawano innym zabiegom.

W wyniku rozmowy z kierownikiem GZM nr 6 Tyskiej Spółdzielni Mieszkaniowej „Oskard” i analizy dokumentacji technicznej odpowiedniego budynku okazało się, że w mieszkaniu, w którego skład wchodzi badane pomieszczenie, została zastosowana wentylacja mechaniczna wywiewna bez nawiewników. Ponadto są w nim zamontowane żeliwne grzejniki członowe.

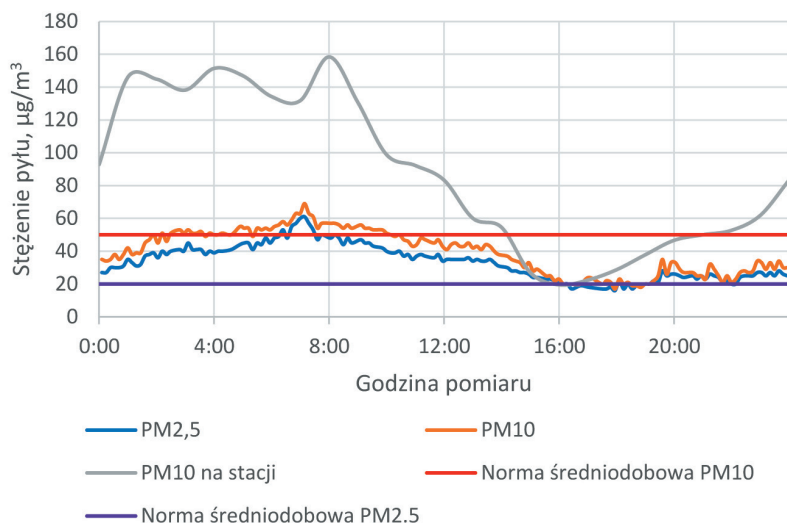
5.2. Zapylenie i wilgotność względna powietrza

Poniżej przedstawiono wyniki pomiarów zapylenia PM₁₀ i PM_{2.5}, temperatury według termometru suchego oraz wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w okresie zimowym i letnim. W celu porównania zapylenia wewnętrznego z zewnętrznym przedstawiono zapylenie powietrza zewnętrznego, jakie panowało podczas okresu pomiarowego na podstawie danych ze strony GIOŚ (Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska). Dotyczą one stacji „Tychy, ul. Tolstoja” (około 2,38 km od badanego

pomieszczenia), na której w okresie badawczym dokonywano pomiarów zapylenia powietrza pyłem PM10. Aby ułatwić interpretację wyników pomiarowych, przedstawiono je w formie wykresów (rys. 5–13), z naniesionymi wartościami granicznymi oraz pożądanymi zakresami wartości danych parametrów. Część informacji znajduje się w komentarzach do rysunków 5–13. Każdy wykres wilgotności względnej przedstawiający jej wartości w czasie zawiera dodatkowo krzywą tego parametru po skorygowaniu temperatury we wnętrzu do 20°C zimą i 26°C latem (wartości zalecane przez PN-B-03421:1978, przy warunkach panujących w badanym pomieszczeniu). Dzięki temu można było wysunąć dodatkowe wnioski. Krzywe wilgotności względnej uzyskano, wykorzystując zależności na wilgotność względną powietrza i ciśnienie nasycenia pary wodnej. Powyższe zmiany temperatury powietrza nie stwarzałyby zagrożenia wykraplania się pary wodnej w pomieszczeniu. Poza tym każdy tego typu wykres zawiera zakres optymalnej wartości wilgotności względnej (dla temperatury w pomieszczeniu równej około 20°C, przy małej aktywności fizycznej jego użytkowników) w postaci zielonych słupków. Każdy słupek oznacza jeden pomiar, co przy okazji pozwala na sprawdzenie funkcjonowania systemu zapisu danych na serwerze FTP. W przypadku braku danego pomiaru interpolowano wartości poszczególnych parametrów jakości powietrza, przypadające na czas, w którym powinno dojść do tego pomiaru. Wartości tych parametrów dla czasu pomiędzy pomiarami również zostały interpolowane.

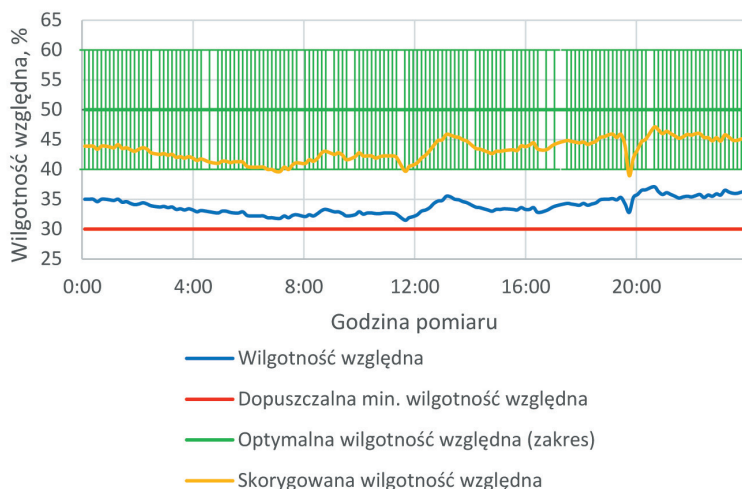
Poniżej przedstawiono wyniki z dwóch reprezentatywnych dni (pod kątem wybranych parametrów jakości powietrza), osobno dla lata oraz zimy. Dni te zostały wybrane na podstawie analizy wszystkich zebranych danych.

Pomiary dla wybranych dwóch dni z okresu zimowego



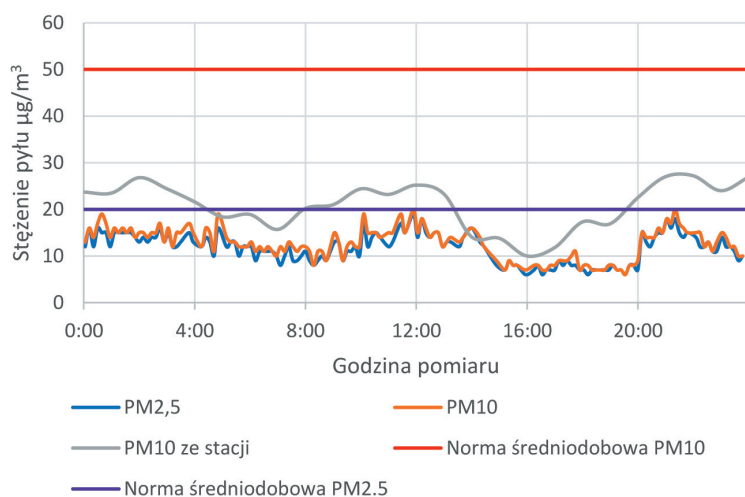
Rys. 5. Wykres zapylenia powietrza wewnętrznego i zewnętrznego w dniu 22.02.2021 r.

Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 5 stwierdzono, że średniodobowe stężenie PM10 powietrza wewnętrznego wynosiło $39,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (79,3% normy), natomiast średniodobowe stężenie PM2.5 powietrza wewnętrznego wynosiło $33,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (166,9% normy). Omawiane dane były kumulowane na darmowym serwerze FTP.



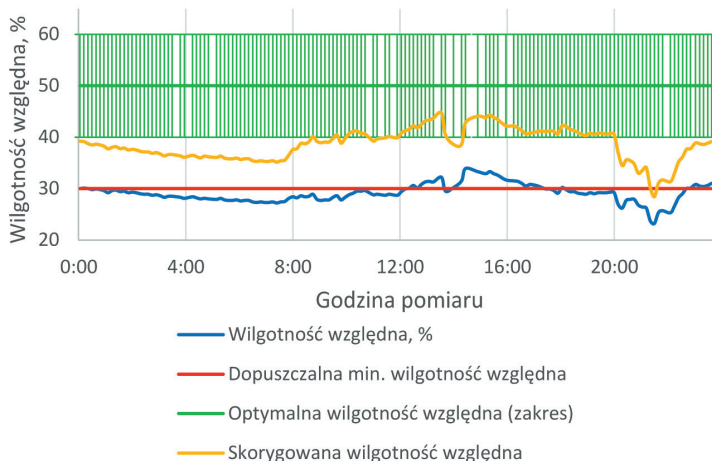
Rys. 6. Wykres wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w dniu 22.02.2021 r.

Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 6 stwierdzono, że średniodobowa wilgotność powietrza wewnętrznego wynosiła 33,9% (43,2% po obliczeniowym skorygowaniu temperatury wewnętrznej do 20°C), natomiast średniodobowa temperatura powietrza w pomieszczeniu wynosiła $24,0^{\circ}\text{C}$. Dane były kumulowane na darmowym serwerze FTP.



Rys. 7. Wykres zapylenia powietrza wewnętrznego i zewnętrznego w dniu 6.02.2021 r.

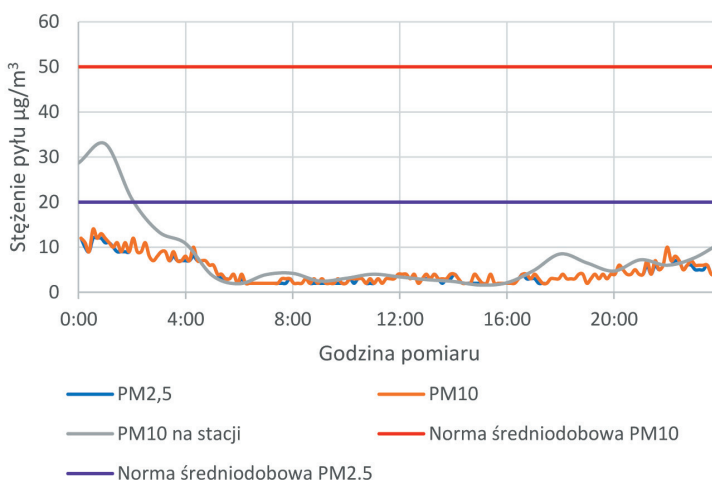
Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 7 stwierdzono, że średniodobowe stężenie PM10 powietrza w pomieszczeniu wynosiło $12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (25,2% normy), natomiast analogiczne stężenie PM2.5 wynosiło $11,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (58,4% normy). Dane z pomiarów były kumulowane na darmowym serwerze FTP.



Rys. 8. Wykres wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w dniu 6.02.2021 r.

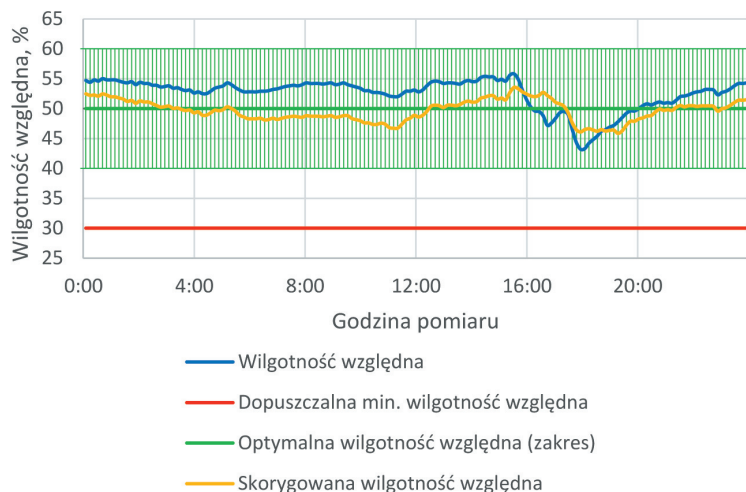
Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 8 stwierdzono, że średniodobowa wilgotność powietrza w pokoju wynosiła 29,0% (38,5% po obliczeniowym skorygowaniu temperatury wewnętrznej do 20°C), natomiast średniodobowa temperatura powietrza wewnętrznego wynosiła $24,6^{\circ}\text{C}$. Dane z pomiarów były kumulowane na darmowym serwerze FTP.

Pomiary dla wybranych dwóch dni z okresu letniego



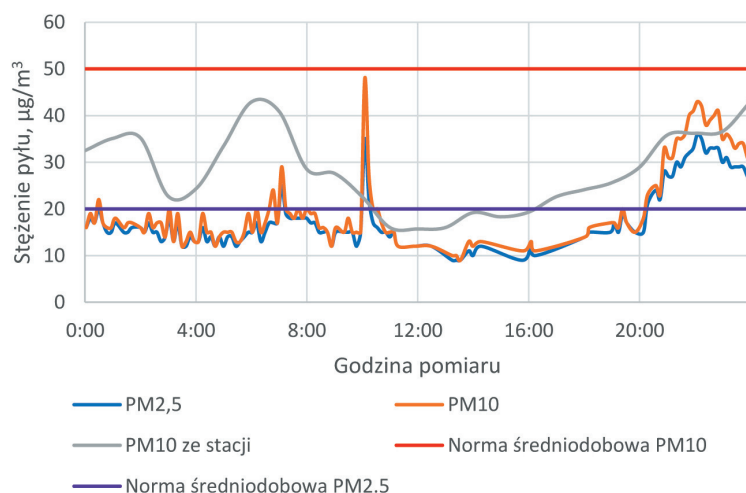
Rys. 9. Wykres zapylenia powietrza wewnętrznego i zewnętrznego w dniu 8.08.2021 r.

Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 9 stwierdzono, iż średniodobowe stężenie PM10 powietrza wewnętrznego wynosiło $4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (9,3% normy), natomiast średniodobowe stężenie PM2.5 powietrza wewnętrznego $4,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (22,2% normy). Dane z pomiarów były kumulowane na płatnym serwerze FTP.



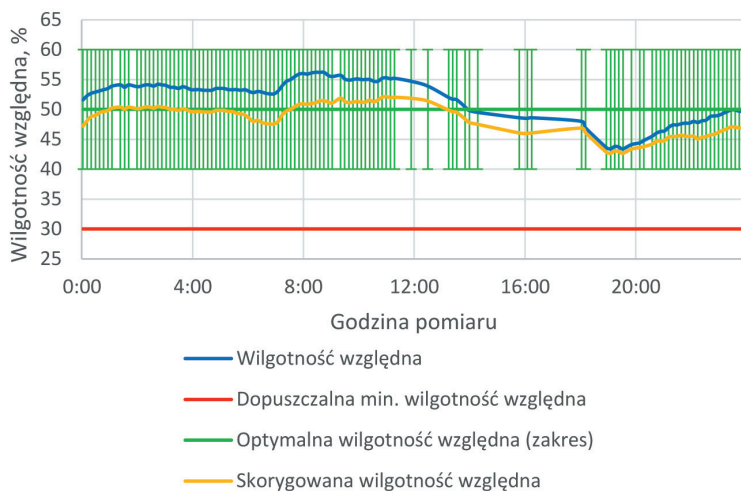
Rys. 10. Wykres wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w dniu 8.08.2021 r.

Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 10 stwierdzono, że średniodobowa wilgotność powietrza wewnętrznego wynosiła 52,5% (49,7% po obliczeniowym skorygowaniu temperatury wewnętrznej do 26°C), natomiast średniodobowa temperatura powietrza wewnętrznego $25,1^{\circ}\text{C}$. Dane z pomiarów były kumulowane na płatnym serwerze FTP.



Rys. 11. Wykres zapylenia powietrza wewnętrznego i zewnętrznego w dniu 23.07.2021 r.

Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 11 stwierdzono, że średniodobowe stężenie PM10 powietrza wewnętrznego wynosiło $24,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (49,8% normy), natomiast średniodobowe stężenie PM2.5 powietrza wewnętrznego – $18,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (90,3% normy). Dane z pomiarów były kumulowane na darmowym serwerze FTP.



Rys. 12. Wykres wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w dniu 23.07.2021 r.

Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 12 stwierdzono, że średniodobowa wilgotność powietrza wewnętrznego wynosiła 51,8% (48,5% po obliczeniowym skorygowaniu temperatury wewnętrznej do 26°C), natomiast średniodobowa temperatura powietrza wewnętrznego wynosiła $24,9^{\circ}\text{C}$. Dane z pomiarów były kumulowane na darmowym serwerze FTP.

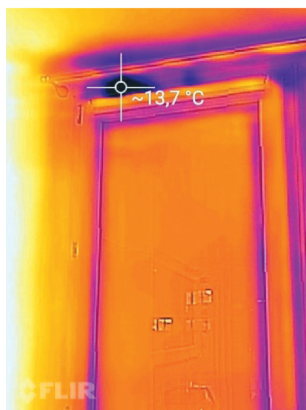
Na podstawie zgromadzonych danych nasuwa się wniosek, że w okresie zimowym dochodzi do nadmiernego zapylenia powietrza wewnętrznego. Dane pomiarowe z czujnika „SmogTok” wskazują na to, że dużą część pyłu PM10 w powietrzu wtórnym stanowi pył PM2.5. Bazując na korelacji pomiędzy stężeniem PM10 w powietrzu zewnętrznym a PM10 i PM2.5 powietrza wtórnego oraz rozkładom stężeń tych pyłów w czasie, szacuje się, że pył zawarty w powietrzu zewnętrznym można w większości zakwalifikować do pyłu PM2.5. Ponadto w okresie zimowym występuje niska wilgotność względna powietrza wewnętrznego (patrz rys. 6 i 8). Samo obniżenie temperatury wewnętrznej do zalecanej, wynoszącej 20°C , spowodowałoby wzrost wilgotności względnej do tego stopnia, że jej średniodobowy poziom zawierałby się w optymalnym przedziale wartości. Wilgotność względna w okresie letnim zarówno bez korekty, jak i z korektą temperatury powietrza wewnętrznego, zawierała się w optymalnym przedziale wartości. Z przeprowadzonych badań wynikają wnioski nie tylko dotyczące jakości powietrza, ale również funkcjonalności serwera FTP. Wykresy przedstawione na rysunkach 6 i 8 wskazują na

występowanie problemów z zapisem danych na wybranym darmowym serwerze FTP, w przeciwieństwie do wersji płatnej (patrz rys. 10).

5.3. Rozkład temperatury przegród wraz z określeniem charakteru ich nieszczelności

W tej części zaprezentowano rozkład temperatury wewnętrznych powierzchni przegród budowlanych, sprawdzony z użyciem kamery termowizyjnej oraz pirometru. Ponadto wykazano prędkości przepływu powietrza przez nieszczelności i jego temperatury zmierzone termooanemometrem.

Temperatury większości przegród badanego pomieszczenia spełniały wymagania komfortu cieplnego. Problem stanowiły zewnętrzne przegrody przezroczyste i niektóre części zewnętrznych przegród nieprzezroczystych w okresie zimowym. Ich temperatura nie znajdowała się w akceptowalnym zakresie, wymienionym we wprowadzeniu. W warunkach opisanych w rozdziale 4, dotyczących pomiarów termowizyjnych, temperatura szyb wynosiła około 17°C, natomiast pozostałe zimniejsze obszary przedstawiono na rysunkach 13, 15, 17 i 18.



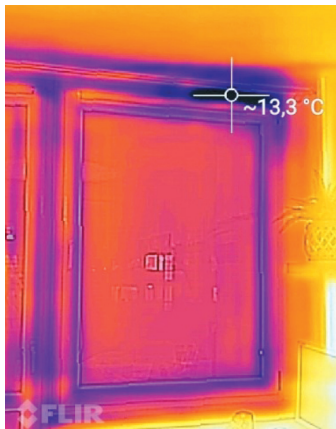
Rys. 13. Pomiar górnej części drzwi balkonowych kamerą termowizyjną

Nieszczelność przedstawioną na rysunku 13 zweryfikowano termooanemometrem i stwierdzono, że w zaznaczonym miejscu prędkość przepływu powietrza wynosiła 2,32 m/s, a temperatura powietrza nawiewanego 15,4°C.



Rys. 14. Górna część ościeżnicy drzwi balkonowych z częściowo wyciętą uszczelką

Miejsce wyciętej uszczelki z powyższej grafiki (rys. 14) to środek szerokości drzwi balkonowych. Pole o obniżonej temperaturze przy tej nieszczelności jest widoczne na rysunku 13, na prawo od zaznaczonej na nim nieszczelności.



Rys. 15. Pomiar okna kamerą termowizyjną

Nieszczelność przedstawioną na rysunku 15 zweryfikowano termoanemometrem i na tej podstawie stwierdzono, że w zaznaczonym miejscu prędkość przepływu powietrza wynosiła 1,80 m/s, a temperatura powietrza nawiewanego 15,4°C.

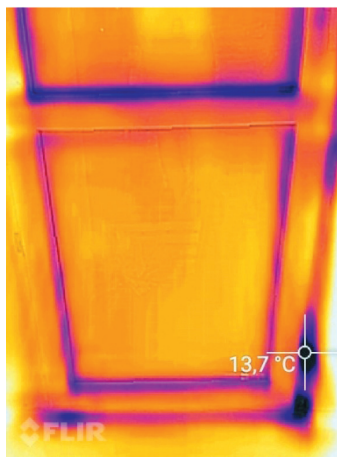


Rys. 16. Górna część ościeżnicy okna z częściowo wyciętą uszczelką

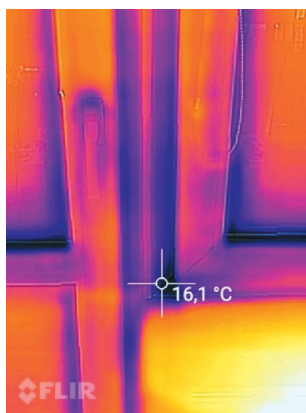
Miejsce wyciętej uszczelki (rys. 16) to środek szerokości okna. Pole o obniżonej temperaturze przy tej nieszczelności jest widoczne na rysunku 15 na lewo od wskazanej na nim nieszczelności.

Nieszczelność przedstawioną na rysunku 17 zweryfikowano termoanemometrem i stwierdzono, że w zaznaczonym miejscu prędkość przepływu powietrza wynosiła 0,50 m/s, a temperatura powietrza nawiewanego 15,4°C.

Nieszczelność przedstawioną na rysunku 18 zweryfikowano termoanemometrem i stwierdzono, że w zaznaczonym miejscu prędkość przepływu powietrza wynosiła 0,29 m/s, a temperatura powietrza nawiewanego 15,4°C.



Rys. 17. Pomiar dolnej części drzwi balkonowych kamerą termowizyjną



Rys. 18. Pomiar dolnego lewego rogu części okna kamerą termowizyjną

Na podstawie powyższych informacji stwierdzono, że zainstalowane przegrody przezroczyste są nieszczelne do tego stopnia, że użytkownicy tego pomieszczenia odczuwają przeciąg. Nieszczelności występują nie tylko w górnej części pomieszczenia, ale także w dolnej. W związku z tym zimą dochodzi do sytuacji, w której na nogi użytkowników jest nawiewane zimne powietrze (np. o temperaturze około 15°C). Ponadto w górnej części drzwi balkonowych oraz okna znajdują się uszczelki z wyciętymi fragmentami. Najprawdopodobniej jeden z poprzednich właścicieli mieszkania zrobił to, aby zwiększyć krotność wymian powietrza w pomieszczeniu. Minusem tego rozwiązania jest to, że taki prowizoryczny nawiewnik nie ma filtra, przez co do wnętrza pomieszczenia trafia duży procent zanieczyszczeń z powietrza zewnętrznego. Warto zaznaczyć, że większość pyłów zarówno w powietrzu wewnętrznym, jak i zewnętrznym stanowiły

pyły PM2.5. Następną wadą tego rozwiązania jest brak możliwości sterowania strumieniem powietrza nawiewanego bez zmiany pracy wentylatora.

5.4. Instalacja centralnego ogrzewania

Z przeprowadzonych oględzin wynika, że orurowanie systemu centralnego ogrzewania, przechodzące przez badane pomieszczenie, jest nieizolowane, a zamontowany grzejnik członowy mocno osłonięty. Zimą przy nastawie głowicy termostaticznej na maksymalną temperaturę, czyli 26°C, czujnik „SmogTok” znajdujący się na biurku (patrz rozdz. 3) wskazywał 24°C. Warto zaznaczyć, że głowica nie jest wyposażona w rurkę kapilarną. Na rysunkach 19 i 20 przedstawiono fragment grzejnika, jego głowicę termostaticzną i najbliższe otoczenie.



Rys. 19. Widok I na głowicę termostaticzną grzejnika członowego i jej okolice



Rys. 20. Widok II na głowicę termostaticzną grzejnika członowego i jej okolice

W takim wariancie instalacji c.o. inwestycja w samą rurkę kapilarną, umożliwiającą odczyt temperatury przez głowicę termostatyczną w innym miejscu, najprawdopodobniej pogorszyłaby komfort cieplny osoby pracującej przy biurku i zwiększyła koszty eksploatacyjne. Montaż kratki na biurku byłby ryzykowny. Obecnie niemal cała jego powierzchnia jest zajęta przedmiotami. W przypadku redukcji elementów znajdujących się na biurku i zamontowaniu ww. kratki istnieje wysokie ryzyko jej zastawienia w przyszłości.

6. Podsumowanie i wnioski

W 2021 roku przeprowadzono badanie mikroklimatu pomieszczenia mieszkalnego, znajdującego się w budynku starego budownictwa z okresu PRL. Celem analizy było określenie zapylenia, wilgotności względnej i temperatury powietrza wewnętrznego, zapylenia powietrza zewnętrznego, charakterystyki zaimplementowanej instalacji wentylacyjnej oraz centralnego ogrzewania, rozkładu temperatur przegród pomieszczenia i charakteru ich szczelności. Aby uzyskać jak największą ilość informacji z różnych źródeł, przeprowadzono oględziny pomieszczenia, wywiad z jego użytkownikami, spotkanie z kierownikiem GZM nr 6 Spółdzielni Mieszkaniowej „Oskard” oraz analizę dokumentacji technicznej budynku.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że mieszkanie, w którym znajduje się badane pomieszczenie, jest objęte wentylacją mechaniczną wywiewną. Co ważne, w badanym pomieszczeniu nie zamontowano profesjonalnych nawiewników. Źródłem ogrzewania jest w nim żeliwny grzejnik członowy z nieizolowanym orurowaniem. Znajdujące się w nim okno i drzwi balkonowe są w znaczącym stopniu nieszczelne. Analiza wskazuje na to, że wymagana jest jego modernizacja.

Z wywiadu z użytkownikami pomieszczenia wynika, że w okresie zimowym odczuwają duży dyskomfort, objawiający się przeciągami, odczuciem chłodu oraz niską jakością powietrza, szczególnie pod względem jego czystości. Problemy te wpływają negatywnie na zdolność koncentracji i utrudniają zasypianie. Zamontowane dwuszybowe przegrody przezroczyste PVC mają ponad dziesięć lat, więc znajdujący się w nich gaz izolacyjny (prawdopodobnie argon) w większości się ulotnił i został zastąpiony powietrzem, które charakteryzuje się większym współczynnikiem przewodzenia ciepła. Z powodu ich znacznej szczelności użytkownicy tego pomieszczenia odczuwają przeciąg. Zaleca się wymianę okna i drzwi balkonowych na szczelne, z nawiewnikami automatycznymi, z filtrami dokładnymi oraz wstawienie oczyszczacza powietrza. Szczelniejsze okno i drzwi balkonowe prawdopodobnie wyeliminują potrzebę intensywnego ogrzewania pomieszczenia, jak to ma obecnie miejsce.

Z uwagi na występującą niską wilgotność względną powietrza w pomieszczeniu zimą (patrz rys. 6 i 8) zaleca się w tym okresie stosowanie nawilżacza powietrza oraz utrzymanie temperatury na poziomie od 20°C do 22°C.

Okazało się również, że grzejnik jest bardzo zabudowany, a głowica termostatu bez rurki kapilarnej częściowo zasłonięta metalową nogą biurka. W rezultacie temperatura powietrza w pomieszczeniu jest na ogół niższa aż o 2°C od temperatury powietrza przy głowicy termostatu. Po całościowej analizie zamocowanego grzejnika i jego otoczenia zaleca się jego wymianę na grzejnik płytowy. Ponadto konieczne jest zapewnienie większej przestrzeni przy grzejniku, np. przez wymianę biurka narożnego na mniejsze i umiejscowienie go z uwzględnieniem odpowiedniego dystansu. Orurowanie instalacji c.o. w pomieszczeniu powinno zostać zaizolowane, co przyniesie największe korzyści w przypadku izolacji rur całej instalacji w budynku.

Ostatni wniosek jest taki, że przeprowadzając takie badanie, warto zainwestować w płatny serwer FTP. Jego cena jest znikoma w skali roku, a funkcjonalność zapewni odpowiedni zapis danych.

Literatura

- Adamczyk I.K., Andrusiuk, A. Dec, E. Knyszewska, M. Przybylska, B. Różańska, M. Sobczyk, *Zamieszkane Budynki. Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2011*, Główny Urząd Statystyczny, https://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/L_zamieszk_budynki_nsp_2011.pdf [dostęp: 21.02.2022].
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, *Poziomy dopuszczalne zanieczyszczeń w powietrzu ze względu na ochronę zdrowia ludzi i ochronę roślin, terminy ich osiągnięcia oraz okresy, dla których uśrednia się wyniki pomiarów*, https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/content/annual_assessment_air_acceptable_level [dostęp: 21.02.2022].
- Nowakowski M., *CAT S60, pancernik z termowizją: test i recenzja*, <https://mobility-news.pl/cat-s60-pancernik-z-termowizja-test-i-recenzja/> [dostęp: 8.06.2023].
- Pełech A., 2008, *Wentylacja i klimatyzacja – podstawy*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- PN-B-03421:1978, *Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- PN-B-02151-02:1987, *Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach – Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- SmogTok, *Opis czujnika SmogTok*, <https://smogtok.com/description> [dostęp: 8.06.2023].