

## **Jakość powietrza w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych**

**Marek Telejko<sup>1</sup>, Ewa Zender – Świercz<sup>2</sup>, Jerzy Zbigniew Piotrowski<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska, e-mail: mtelejko@tu.kielce.pl*

<sup>2,3</sup>*Katedra Fizyki Budowli i Energii Odnawialnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Energetyki i Geomatyki, Politechnika Świętokrzyska, e-mail: e-mail: ezender@tu.kielce.pl, jzpiotr@tu.kielce.pl*

**Streszczenie:** Obowiązujące aktualnie przepisy prawne regulujące zagadnienia wentylacji naturalnej [1], [2], [3] w wielu obszarach są niejednoznaczne, a niekiedy wręcz sprzeczne. Sytuacja taka prowadzi do stosowania rozwiązań powodujących poważne zaburzenia w działaniu wentylacji grawitacyjnej. W dużej części budynków zaburzenia te są wynikiem dostarczania do pomieszczeń zbyt małej ilości powietrza zewnętrznego. Jak wykazały badania, ze względu na kształtowanie warunków mikroklimatu wnętrz, podstawowe znaczenie ma nie tylko wielkość dostarczanego strumienia powietrza zewnętrznego, ale również rozmieszczenie elementów doprowadzających to powietrze.

**Słowa kluczowe:** jakość powietrza wewnętrznego, mikroklimat, wymiana powietrza, fizyka budowli.

### **1. Wstęp**

Rosnące wciąż koszty utrzymania obiektów oraz promowanie rozwiązań energooszczędnych powodują, iż projektanci oraz użytkownicy obiektów kubaturowych jako cel priorytetowy stawiają sobie zminimalizowanie ilości energii potrzebnej do ogrzania budynku. Powszechnie stosowane rozwiązania, które mają zapewnić osiągnięcie tego celu, powodują najczęściej ograniczenie ilości powietrza zewnętrznego napływającego do pomieszczeń. Jednocześnie projektanci budynków bardzo często pomijają etap jakiegokolwiek projektowania systemu wentylacji grawitacyjnej przyjmując za wystarczające jedynie wielkości minimalne wymagane przez aktualne przepisy. Próbę wyeliminowania takiej sytuacji podjęto w obowiązujących aktach prawnych [1], [2], [3]. Określono w nich między innymi sposób doprowadzenia powietrza zewnętrznego niezbędnego do prawidłowego działania wentylacji grawitacyjnej. Należy zwrócić jednak uwagę, że wymagania zawarte w normach [1] i [2] dotyczą tylko obiektów nowo wznoszonych, na co wskazuje zakres stosowania tych norm. Natomiast egzekwowanie wspomnianych przepisów prawnych w stosunku do obiektów istniejących jest, z różnych względów, utrudnione. Ponadto nawet najlepiej opracowany projekt systemu wentylacji nie uwzględnia skrajnych zachowań użytkowników. Na etapie eksploatacji obiektu mieszkańcy we własnym zakresie podejmują szereg działań mających, ich zdaniem, ograniczyć koszty ogrzewania lokali lub poprawić komfort użytkownika. Skutek tych działań jest zgoła odmienny. Przyczyniają się one z reguły do powstawania zaburzeń w działaniu systemu wentylacji grawitacyjnej, a co za tym idzie pogorszenia warunków mikroklimatu wewnętrznego.

### **2. Przedmiot badań**

Badania prowadzono w grupie budynków mieszkalnych wielorodzinnych, które posiadały ściany zewnętrzne ocieplone styropianem, szczelną stolarkę okienną i drzwiową oraz wyposażone były w system wentylacji grawitacyjnej, oraz urządzenia gazowe do przygotowania c.w.u. oraz centralnego ogrzewania. Badania polegały na rejestracji zmian wartości typowych parametrów mikroklimatu wewnętrznego, tj. temperatury i wilgotności

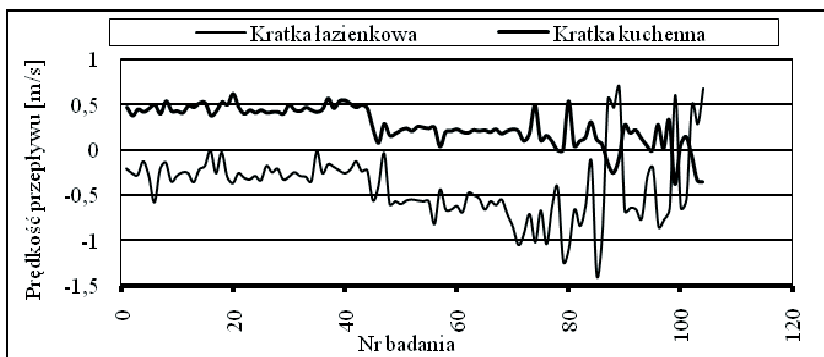
względnej, ale również wartość różnicy ciśnienia po wewnętrznej i zewnętrznej stronie przegrody. Ponadto analizowano prędkość przepływu powietrza wentylacyjnego oraz jego strumień i temperaturę. Jako wskaźnik jakości powietrza przyjęto stężenie CO<sub>2</sub>, gdyż jest ono od lat znanym i uznawanym parametrem opisującym stan powietrza, Liddament [4] i Edwards [5]. Temperaturę, wilgotność względną i stężenie dwutlenku węgla mierzono w każdym pomieszczeniu rozpatrywanych mieszkań. Natomiast prędkość przepływu powietrza wentylacyjnego oraz jego temperaturę analizowano przy wlocie do kratki wywiewnych. Wszystkie analizowane mieszkania sklasyfikowano w trzech grupach w zależności od sposobu realizacji napływu powietrza zewnętrznego:

- I – napływ poprzez nieszczelności w przegrodach zewnętrznych oraz korzystanie z funkcji mikrorozszczelnienia okien,
- II – napływ poprzez nieszczelności w przegrodach zewnętrznych, korzystanie z funkcji mikrorozszczelnienia okien oraz okienne nawiewniki powietrza w wybranych pomieszczeniach,
- III – napływ poprzez nieszczelności w przegrodach zewnętrznych, korzystanie z funkcji mikrorozszczelnienia okien oraz okienne nawiewniki powietrza we wszystkich pomieszczeniach.

Rejestrację zmian mierzonych parametrów prowadzono w cyklach dwutygodniowych z krokiem pomiarowym 30 minut, realizując dwie serie pomiarowe dla każdego mieszkania.

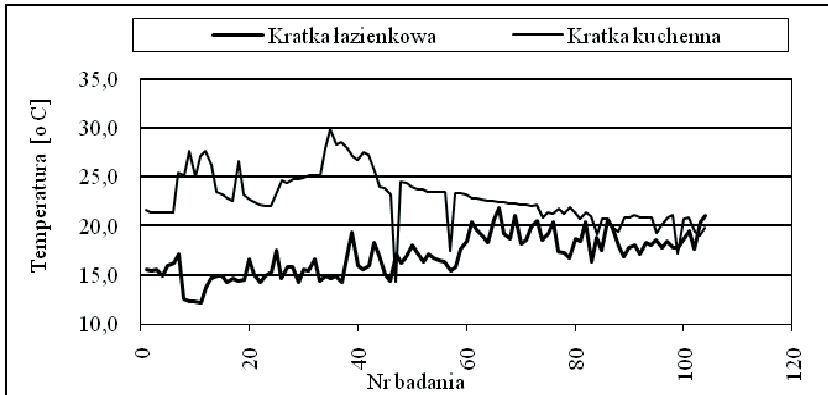
### 3. Wyniki badań

Największe zaburzenia w działaniu wentylacji grawitacyjnej odnotowano w mieszkaniach grupy I. Użytkownicy mieszkań przyznali, iż tylko sporadycznie korzystają z funkcji mikrorozszczelnienia. Przyjęcie nieszczelności w przegrodach oraz mikrorozszczelnienia jako jedynej drogi napływu powietrza zewnętrznego nie zapewnia odpowiedniej ilości powietrza dopływającego do pomieszczeń. We wszystkich mieszkaniach tej grupy jeden z kanałów wentylacyjnych realizował w sposób ciągły funkcję elementu doprowadzającego powietrze zewnętrzne, które niezbędne było dla potrzeb działania wentylacji grawitacyjnej. Przebieg zmienności prędkości przepływu powietrza przez poszczególne kanały wentylacyjne przedstawiono na rys. 1, a temperaturę strumienia powietrza na rys. 2. Duża prędkość powietrza nawiewanego przez kanał wentylacji grawitacyjnej zlokalizowany w pomieszczeniu łazienki w połączeniu z niską temperaturą powietrza zewnętrznego wpływały na komfort cieplny całego mieszkania. Wielkość strumienia powietrza napływającego tą drogą zależna była od ilości działających urządzeń gazowych oraz wykorzystania funkcji mikrorozszczelnienia okien. Jednak w przypadku mieszkań z zainstalowanym kotłem dwufunkcyjnym lub przepływowym podgrzewaczem wody nawet korzystanie z tej funkcji nie zapewniało prawidłowego kierunku przepływu w kanałach wentylacji grawitacyjnej. Ograniczona została jedynie wielkość strumienia powietrza włączanego przez kanał.

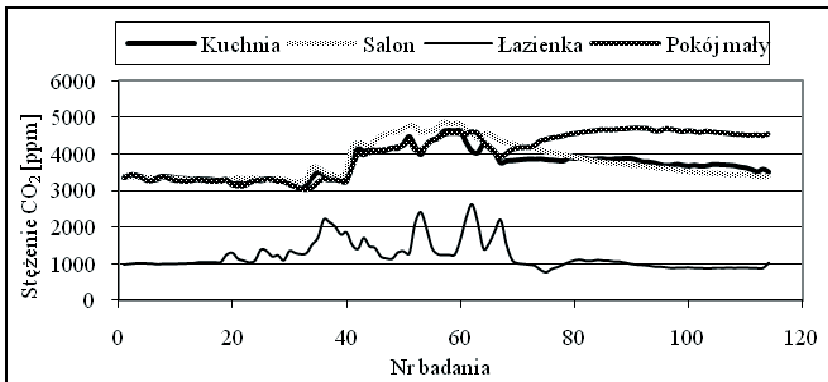


Rys. 1. Strumień powietrza wentylacyjnego przepływający przez poszczególne kanały w mieszkaniu bez nawiewników powietrza (wielkości ujemne oznaczają nawiew).

Zastosowana w mieszkaniach grupy I organizacja napływu powietrza miała również zasadniczy wpływ na jego jakość (IAQ) w poszczególnych pomieszczeniach rozpatrywanych mieszkań. Przyjęte jako wskaźnik IAQ stężenie dwutlenku węgla przyjmowało znaczne wartości w obrębie całego mieszkania (rys. 3) co wskazuje na niedostateczny napływ powietrza zewnętrznego do poszczególnych pomieszczeń. Wysoki poziom CO<sub>2</sub> utrzymywał się przez cały okres analizy, a korzystanie z kuchni gazowych oraz gazowych urządzeń grzewczych powodowało dodatkowy wzrost wartości tego parametru do wartości około 5000 ppm. Wyjątek stanowiły pomieszczenia, gdzie znajdował się kanał, którym włączane było powietrze zewnętrzne. Odnotowany w nich poziom stężenia CO<sub>2</sub> można było uznać za dopuszczalny.



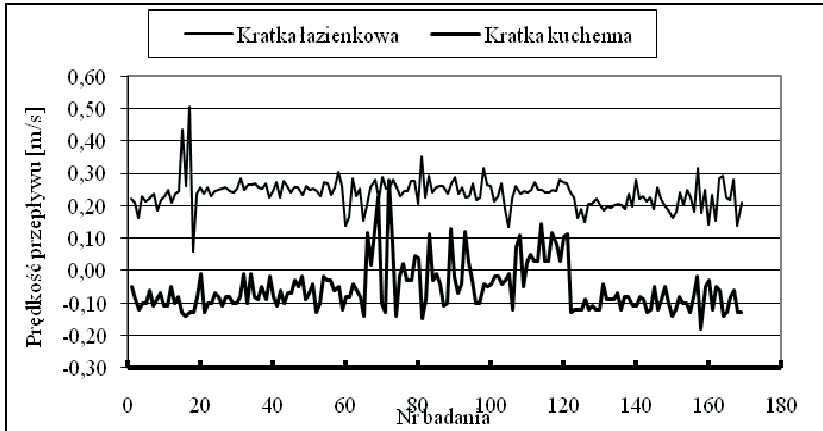
Rys. 2. Temperatura strumienia przepływającego przez kanały w wybranym mieszkaniu bez nawiewników powietrza.



Rys. 3. Stężenie CO<sub>2</sub> w wybranym mieszkaniu bez nawiewników powietrza.

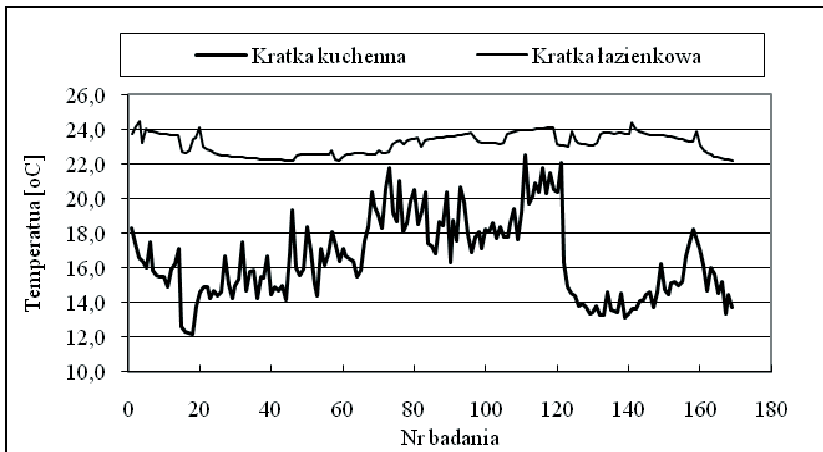
Grupę II stanowiły mieszkania, w których napływ powietrza zewnętrznego, poza nieszczelnościami w przegrodach oraz korzystaniem z funkcji mikrorozszczelnienia, odbywał się dodatkowo poprzez nawiewniki powietrza zainstalowane w ramach okien wybranych pomieszczeń. Do tej grupy mieszkań zakwalifikowano lokale z jednym lub dwoma nawiewnikami powietrza w kuchni lub pokoju dziennym (tylko niewielka liczba lokali posiadała nawiewniki w obydwu pomieszczeniach). Wyniki pomiarów wskazują na dużą poprawę warunków mikroklimatu wewnętrznego. Jednak zastosowanie takiego rozwiązania również, nie zapewniło prawidłowej jakości powietrza wewnętrznego w analizowanych mieszkaniach. Wyraźne zmiany parametrów mikroklimatu dało się zauważyć w pomieszczeniach, gdzie zainstalowane zostały nawiewniki. Stężenie CO<sub>2</sub> nie przekraczało w nich 2000 ÷ 3000 ppm (rys 6), co daje wartości i tak znacznie przekraczające zalecane przez WHO 1000 ppm. Małą wartość stężenia dwutlenku węgla odnotowano również w łazienkach mieszkań z tej grupy. Było to jednak również wynikiem

właczania powietrza zewnętrznego kanałem wentylacyjnym i w chłodne dni powodowało, jak wcześniej, wyziębianie tych pomieszczeń (rys. 5).

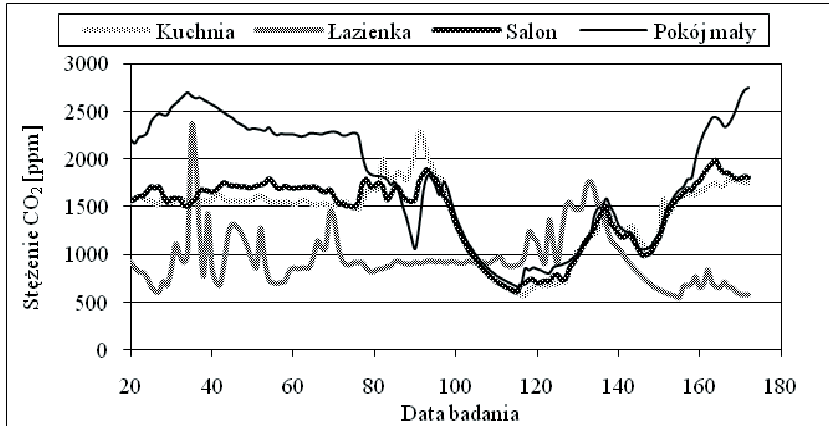


Rys. 4. Strumień powietrza wentylacyjnego przepływający przez poszczególne kanały w mieszkaniu z nawiewnikiem powietrza w ramie okna kuchennego.

W pomieszczeniach gdzie nie zainstalowano nawiewników powietrza wartości parametrów opisujących mikroklimat znacznie odbiegały od uzyskiwanych w pozostałej części mieszkania i osiągały wartości dwu lub nawet trzykrotnie wyższe. Zjawisko to można było zauważyć szczególnie w nocy gdy użytkownicy przymykali lub całkowicie zamykali drzwi wejściowe do poszczególnych pokoi niewyposażonych w okienne nawiewniki powietrza. W takiej sytuacji następował bardzo szybki wzrost wilgotności względnej powietrza oraz stężenia  $\text{CO}_2$ . Po całkowitym otwarciu drzwi do tych pomieszczeń wyrównanie wartości parametrów mikroklimatu następowało dopiero po kilkunastu do kilkudziesięciu minutach.

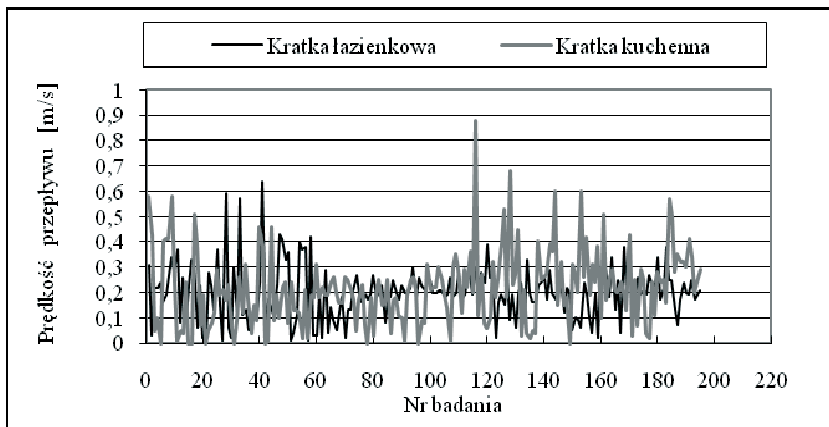


Rys. 5. Temperatura strumienia przepływającego przez kanały w wybranym mieszkaniu z jednym okiennym nawiewnikiem powietrza.

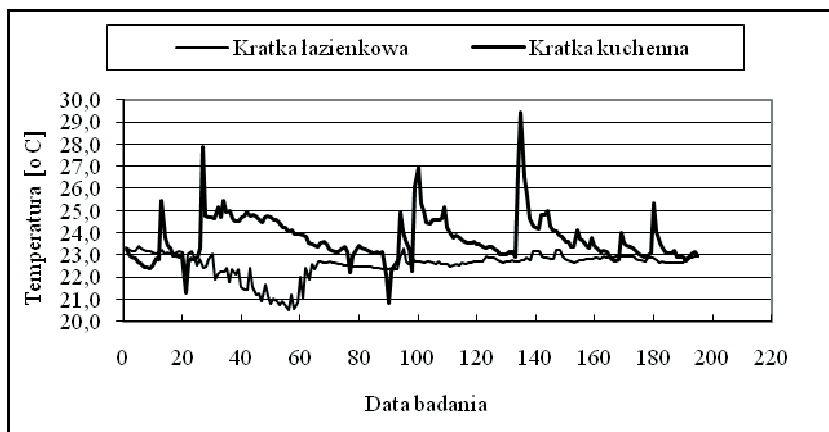


Rys. 6. Stężenie CO<sub>2</sub> w mieszkaniu z jednym nawiewnikiem powietrza w ramie okna kuchennego.

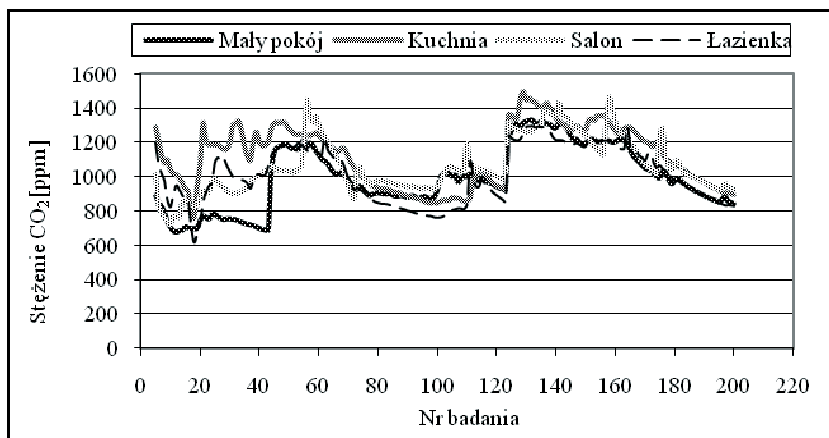
Ostatnią grupę stanowiły mieszkania, w których napływ powietrza zewnętrznego realizowany był poprzez nieszczelności w przegrodach zewnętrznych, mikrorozszczelnienie okien oraz okienne nawiewniki powietrza zamontowane we wszystkich pomieszczeniach. Odnotowane wartości parametrów opisujących IAQ były najbardziej korzystne wśród wszystkich rozpatrywanych grup mieszkań. Stężenie CO<sub>2</sub> tylko nieznacznie przekraczało wartość 1000 ppm. Jednak podczas jednoczesnego działania wszystkich urządzeń gazowych w mieszkaniu (kuchenka i kocioł gazowy lub przepływowy podgrzewacz wody) odnotowano przekroczenia stężenia dwutlenku węgla sięgające 400 – 600 ppm w stosunku do wartości zalecanych. Przekroczenia te były co prawda chwilowe i o wyłączeniu urządzeń wartość stężenia CO<sub>2</sub> szybko obniżała się do wartości około 1000 ppm (rys. 9), ale należy zwrócić na nie szczególną uwagę. W trakcie niekorzystnych warunków zewnętrznych, które rzutują na wymianę powietrza w budynkach z grawitacyjnym systemem wentylacji, mogą one przyjmować wartości jeszcze wyższe, niż wskazane przez autorów, Telejko [6].



Rys. 7. Strumień powietrza wentylacyjnego przepływający przez poszczególne kanały w mieszkaniu z nawiewnikami powietrza w każdym pomieszczeniu.



Rys. 8. Temperatura strumienia przepływającego przez kanały w wybranym mieszkaniu z nawiewnikami powietrza w każdym pomieszczeniu.



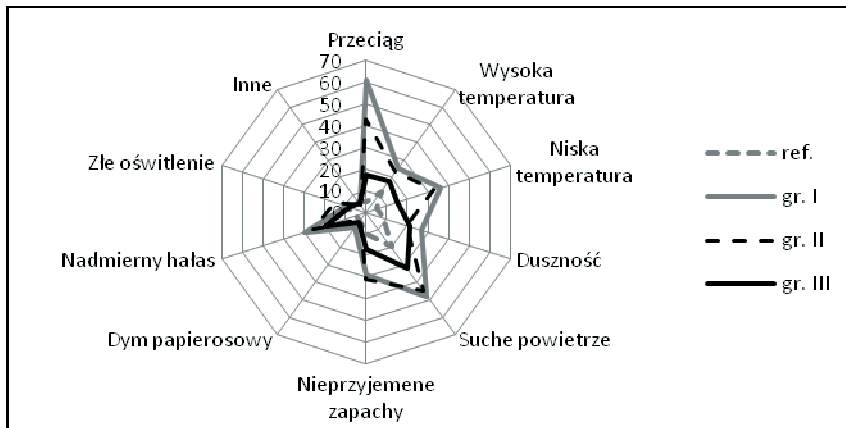
Rys 9. Stężenie CO<sub>2</sub> w mieszkaniu z nawiewnikami powietrza w każdym pomieszczeniu.

Pozostałe parametry opisujące mikroklimat mieściły się w granicach przyjętych norm. Bez względu na działanie urządzeń gazowych udało się natomiast wyeliminować wsteczne ciągi w kanałach wentylacyjnych (rys. 7). Jedynie w trakcie bardzo chłodnych dni nieliczni użytkownicy mieszkań zgłaszali problem zbyt dużej infiltracji chłodnego powietrza zewnętrznego przez nawiewniki. Były to jednak jednostkowe przypadki.

Mając na uwadze tak dużą skalę problemów z działaniem wentylacji grawitacyjnej autorzy podjęli próbę przeanalizowania indywidualnych odczuć użytkowników badanych lokali w oparciu o krótkie badania ankietowe. Ankieta zawierała pytania dotyczące oceny czynników fizycznych wpływających na środowisko wewnętrzne, na które ankietowani mogli odpowiedzieć twierdząco lub przecząco. Uzyskane wyniki umieszczono na rysunku 10, gdzie przedstawiono procentowo ilość osób potwierdzających występowanie danego czynnika. W każdej grupie mieszkań kwestionariusz wypełniło 30 osób. Mimo, iż udzielone odpowiedzi zależne były od indywidualnych upodobań, to w wielu obszarach pokryły się one z badaniami pomiarowymi. Dotyczy to parametrów łatwych do „określenia” przez użytkowników np. temperatury i odczucia przeciągu. W niektórych przypadkach ankietowani mieli jednak problem z udzieleniem odpowiedzi (wilgotność powietrza).

Niewątpliwie istotną kwestią i trudną do określenia, w analizie wyników badań opartych na kwestionariuszach, jest ustalenie poziomów referencyjnych. Tylko dla niektórych parametrów (temperatura, odczucie przeciągu) poziomy te zostały ustalone

normowo PN-EN ISO 7730[7] i można je wyznaczyć obliczeniowo (PMV, PPD, DR). Ze względu na brak takich informacji autorzy przyjęli oznaczone na rysunkach 1÷4 poziomy referencyjne wg Anderson [8] i [9].



Rys.10. Niekorzystna ocena cech fizycznych opisujących mikroklimat wg odczucia respondentów, udział %.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w artykule zaburzenia działania systemu wentylacji naturalnej w mieszkaniach z grupy I i II są wynikiem ograniczonego napływu powietrza zewnętrznego do mieszkań. Ograniczenie to jest niejako skutkiem ubocznym dążenia inwestorów oraz użytkowników mieszkań do możliwie maksymalnego zmniejszenia kosztów ogrzewania budynków. Poddając budynek termomodernizacji inwestorzy zapominają o zagadnieniach wymiany powietrza. Niepokojącym wydaje się natomiast fakt, iż projektanci nagminnie pomijają etap obliczeń systemu wentylacji grawitacyjnej. Ograniczają oni swoje działania jedynie do „zaprojektowania” układu kanałów wywiewnych przyjmując wymagane przepisami przekroje minimalne jako wystarczające.

Duża popularność, również w budynkach wielorodzinnych, systemu indywidualnego przygotowania ciepłej wody oraz centralnego ogrzewania jest przyczyną dodatkowych zaburzeń w działaniu wentylacji naturalnej i powinna być powodem, dla którego projektowanie wentylacji grawitacyjnej będzie standardem.

Jak wykazały wynik badań w mieszkaniach z grupy III, nawet w lokalach, w których okienne nawiewniki powietrza zainstalowano w każdym pomieszczeniu mogą wystąpić zaburzenia w działaniu wentylacji grawitacyjnej. Spowodowane jest to złym zbilansowaniem strumieni powietrza napływającego oraz usuwanego. Należy jednak zaznaczyć, że w przypadku mieszkań wyposażonych w kuchenki gazowe oraz gazowe urządzenia grzewcze grawitacyjny układ wentylacji szczególnie podatny jest na nieprawidłowości działania. Dla takich lokali niezbędne wydaje się projektowanie układów hybrydowych. Autorzy nie mieli jednak możliwości przeprowadzenia badań w takim obiekcie.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy otrzymanych wyników sformułować można następujące wnioski:

- liczba zainstalowanych nawiewników powietrza zewnętrznego oraz ich rozmieszczanie powinny być ustalone wg ściśle określonych zasad, które muszą mieć zastosowanie również w odniesieniu do budynków istniejących. Zainstalowanie nawiewników w wybranych pomieszczeniach nie gwarantuje doprowadzenia odpowiedniej ilości powietrza zewnętrznego potrzebnej do prawidłowego działania systemu wentylacji naturalnej oraz nie zapewni odpowiedniej jakości powietrza we wszystkich pomieszczeniach danego mieszkania;

- zastosowanie indywidualnych gazowych urządzeń grzewczych dla celów c.o. oraz c.w.u. ma istotny wpływ na funkcjonowanie systemu wentylacji grawitacyjnej. Zbyt mały strumień powietrza dostarczany do spalania paliw w tych urządzeniach uzupełniony zostaje powietrzem wentylacyjnym. Sytuacji takiej towarzyszy najczęściej zjawisko wstecznych ciągów w kanałach wentylacyjnych;
- doprowadzenie odpowiedniej ilości powietrza do urządzeń gazowych poprzez nawiewniki okienne lub zlokalizowane w przegrodach zewnętrznych jest trudne do zrealizowania;
- konieczne wydaje się wprowadzenie jednoznacznych zapisów prawnych, które regulować będą powyższe zagadnienia zarówno w odniesieniu do budynków nowo wznoszonych jak i poddawanych zabiegom modernizacyjnym.

## Literatura

- 1 PN-83/B-03430:Az03 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania. Zmiana Az3
- 2 PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania
- 3 Dz. U. Nr 207 poz. 2016 z roku 2003, Ustawa z dn. 7 lipca 1994 Prawo Budowlane, z późniejszymi zmianami
- 4 Liddament, M. W., A Guide to Energy Efficient Ventilation, AIVC, 1996
- 5 Edwards R., Handbook Of Domestic Ventulation, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005
- 6 Telejko M., Microclimate in a flat with additional air intakes, Structure and Environment nr 1/2010, s. 46 – 52
- 7 PN-EN ISO 7730:2002 Środowisko termiczne umiarkowane – Wytyczne wskaźników PMV I PPD oraz określenie warunków komfortu termicznego
- 8 Andersson K., Epidemiological Approach to Indoor Air Problems, Indoor Air Volume 8, Issue S4, pages 32–39, December 1998
- 9 Andersson K., Management of the sick building – investigation strategies, Proceedings of the International Symposium on New Epidemics in Occupational Health, Helsinki 1994, pages 117-120

## Indoor air quality in multifamily buildings

Marek Telejko<sup>1</sup>, Ewa Zender – Świercz<sup>2</sup>, Jerzy Zbigniew Piotrowski<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Department of Building Engineering Technologies and Organization, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology, e-mail: mtelejko@tu.kielce.pl*

<sup>2,3</sup>*Department of Structure Physics and Renewable Energy, Faculty of Environmental Engineering, Geomatics and Power Engineering, Kielce University of Technology, e-mail: ezender@tu.kielce.pl, e-mail: jzpiotr@tu.kielce.pl*

**Abstract:** The applicable legislation connected with the natural ventilation are ambiguous and sometimes contradictory. This leads to serious problems with natural ventilation. In most cases malfunction of the natural ventilation is due to the insufficient stream of air from the outside. The research showed that the microclimate is influenced not only by the incoming air stream, but also by the layout of the air supply.

**Keywords:** indoor air quality, microclimate, air exchange, building physics.

Badania naukowe zostały wykonane w ramach realizacji Projektu „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju” współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.