

Anna DOLEGA\*

## **BADANIE JAKOŚCI POWIETRZA W OBIEKCIE SAKRALNYM**

Artykuł przedstawia wyniki badań jakości powietrza wewnętrznego w kościele. W pierwszej części artykułu scharakteryzowano badany obiekt. Następnie przedstawiono aparaturę pomiarową oraz opisano procedurę pomiarową. W sposób graficzny przedstawiono wyniki pomiarów dla wybranych dni z okresu pomiarowego trwającego od marca do czerwca. Na podstawie wyników określono wpływ warunków zewnętrznych oraz uczestników nabożeństw na mikroklimat wnętrza obiektu.

### **1. WSTĘP**

Budowle sakralne są obiektami użyteczności publicznej przeznaczonymi do celów rytualnych i sakralnych. Kościoły są obiektami wielkokubaturowymi, w których w jednym momencie może przebywać do kilkuset osób. Z tego względu należy zapewnić w nich właściwy, komfortowy mikroklimat.

Mikroklimat pomieszczenia można opisać jako zbiór parametrów fizycznych i chemicznych, zmiennych w czasie i przestrzeni. Na główne czynniki mikroklimatu składają się temperatura, wilgotność, prędkość ruchu strumienia powietrza, czystość i świeżość powietrza oraz odpowiednie oświetlenie i poziom dźwięku hałasu.

Jeżeli powietrze w pomieszczeniu odpowiada warunkom komfortu pozwala to na zachowanie odpowiedniego samopoczucia oraz prawidłowe funkcjonowanie organizmu. W przeciwnym wypadku u osób przebywających w obiekcie mogą pojawić się objawy chorobowe charakterystyczne dla Zespołu Chorego Budynku (ang. Sick Building Syndrome-SBS). Najczęściej występującymi objawami są: bóle głowy, zawroty głowy, nudności, przekrwienie błony śluzowej, duszności, problemy z oczami, nietypowe zmęczenie, problemy z pamięcią i koncentracją, uczucie depresji, napięcia, nerwowość oraz wysuszenie skóry.

---

\* Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska, ul. Norwida 4/6, 50-373 Wrocław.

Jakość powietrza wewnątrz pomieszczenia obejmuje wszystkie warunki nietermiczne wewnątrz pomieszczenia np. stężenie zanieczyszczeń. Do jednego z lepszych wskaźników jakości powietrza w pomieszczeniu należy stężenie ditlenku węgla. W pomieszczeniach użyteczności publicznej źródłem emisji tego gazu są ludzie okresowo z nich korzystający.

Jak już wcześniej wspomniano parametrami mikroklimatu pomieszczenia są temperatura oraz wilgotność względna. Należą one do termicznych parametrów powietrza wewnętrznego. Temperatura wpływa głównie na odczucia cieplne człowieka, czyli komfort cieplny. Jej wartości w pomieszczeniu powinny być odpowiednio dobrane w zależności od rodzaju aktywności. Wilgotność względna powietrza wpływa na efektywność procesu odparowania potu z powierzchni skóry. Niewłaściwy poziom wilgotności względnej w powietrzu może być przyczyną problemów z drogami oddechowymi.

W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu powietrza wewnętrznego należy wyeliminować wilgoć w pomieszczeniach. Może ona powodować choroby układu oddechowego oraz negatywnie wpływać na elementy konstrukcyjne budynku. Istotne jest również zminimalizowanie wewnętrznych źródeł emisji zanieczyszczeń. Dlatego też w pomieszczeniach należy zapewnić odpowiednią wymianę powietrza.

Jakość powietrza wewnętrznego uzależniona jest również od jakości powietrza zewnętrznego. Stan powietrza zewnętrznego ma bezpośredni wpływ na powietrze wewnątrz pomieszczeń.

Celem artykułu jest prezentacja wyników z pomiarów temperatury, wilgotności oraz stężenia ditlenku węgla w kościele.

## 2. CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

### 2.1. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Kościół zlokalizowany jest na terenie diecezji świdnickiej. Teren, na którym został wybudowany obiekt charakteryzuje się wysokim poziomem wód gruntowych. Miejscami na ścianach kościoła, zarówno wewnątrz jak i zewnątrz widoczna jest wilgoć.

Architektura obiektu kościoła oparta jest na tradycyjnych zasadach budownictwa. Rzut kościoła założony został na planie krzyża z centralnie zlokalizowaną ażurową wieżą zaprojektowaną w konstrukcji stalowej.

Obiekt składa się z przedsionka, nawy głównej wraz z bocznymi kaplicami, prezbiterium, zakrystii oraz pomieszczeń pomocniczych. Dokładną powierzchnię poszczególnych pomieszczeń przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie pomieszczeń

Lp.	Pomieszczenie	Wykończenie posadzki	Powierzchnia, m <sup>2</sup>
1	Przedśionek	pl. podł. ceramiczne	4,15
2	Węzeł sanitarny	pl. podł. ceramiczne	5,24
3	Komunikacja	wykl. PCW	5,71
4	Zaplecze gospodarcze	wykl. PCW	12,36
5	Salka katechetyczna	wykl. kamienna	28,89
6	Kaplica boczna	wykl. kamienna	45,58
7	Prezbiterium	wykl. kamienna	38,52
8	Zakrystia	wykl. kamienna	45,58
9	Nawa główna + boczne kaplice	wykl. kamienna	541,14
10	Przedśionek	wykl. kamienna	16,2

Ściany zewnętrzne wykonano z warstwy płyt GK, warstwy cegły pełnej kl. 100 oraz do wysokości 30 cm nad poziomem terenu z płytek okładzinowych, klinkierowych.

Nad obiektem zaprojektowano dach wielospadowy o konstrukcji stalowej wiązarów. Warstwa dachowa składa się z blachodachówki, sklejki gr. 2,5 cm, łąty w płatach stalowych, łąty drewnianej i płyty GK gr. 1,25 cm. Zarówno w warstwach ścian jak i w warstwach dachowych nie zastosowano izolacji termicznej.

W dachu zaprojektowano dwanaście przewodów wentylacji grawitacyjnej w postaci wywietrzaków połaciowych cylindrycznych Ø150 mm wykonanych z blachy miedzianej. Dodatkowo zaprojektowano sześć wentylatorów osiowych w ścianach. W dachu obiektu jak i w ścianach nie wykonano zaprojektowanych elementów wentylacyjnych. Wymiana powietrza w obiekcie odbywa się przez drzwi, witraże, nieszczelności w strukturze przegród budowlanych oraz wejście na wieżę o wymiarach 0,5 m x 0,5 m. Na wysokości 15 m znajduje się szczelina o długości 36 m i szerokości 3 cm.

W obiekcie zamontowano promienniki elektryczne ławkowe o mocy znamionowej 150 W/m i długości całkowitej 215 m oraz dwa promienniki ceramiczne o mocy znamionowej 0.65 kW każdy firmy Termo Technika. Całkowita moc cieplna zamontowana w kościele wynosi 34 kW.

## 2.2. APARATURA POMIAROWA, WYBÓR PUNKTÓW POMIAROWYCH

Do pomiarów temperatury i wilgotności użyto pięciu czujników cyfrowych AR235 firmy APAR. Zakres pomiarowy urządzenia: temperatura od -30°C do 80°C, wilgotność od 0% RH do 100% RH. Dokładność pomiaru temperatury w zakresie od 20°C do 30°C wynosi  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , w pozostałym zakresie pomiarowym wynosi  $\pm 0,5\text{--}1,8^\circ\text{C}$ . Dokładność pomiaru wilgotności w zakresie od 20% RH do 80% RH wynosi  $\pm 3\%$  RH, w pozostałym zakresie pomiarowym wynosi  $\pm 3\text{--}5\%$  RH. Rozdzielczość pomiarowa urządzenia wynosi 0,1% RH i 0,1°C.

Pierwszy czujnik umieszczony na wieży kościoła służył do rejestracji parametrów powietrza zewnętrznego. Pozostałe czujniki zostały umieszczone wewnątrz kościoła. Jeden czujnik zawieszony został nad prezbiterium na wysokości 10 m. Kolejne czujniki zostały umieszczone na wysokości 3 m w nawach bocznych oraz nad nawą główną.

Do pomiarów stężenia ditlenku węgla użyto dwóch rejestratorów HD37B17D firmy Delta Ohm. Ditlenek węgla jest mierzony za pomocą czujnika podczerwieni, metodą bezrozproszeniową strumienia podczerwieni (NDIR z podwójną długością fali). Zakres pomiarowy urządzenia wynosi od 0 ppm do 5000 ppm. Dokładność pomiaru wynosi  $\pm 50$  ppm +3% wartości mierzonej. Rozdzielczość pomiarowa urządzenia pomiarowego wynosi 1 ppm.

Pierwszy czujnik umieszczono na posadzce prezbiterium. Drugi umieszczony został na chórze, nad nawą główną na wysokości 3 m.

### 2.3. PROCEDURA POMIAROWA

Pomiar temperatur i wilgotności prowadzony były od 01.03.2014 r. do 13.06.2014 r. Czujniki rejestrowały dane co 30 sekund. Jeden czujnik umieszczony był na wieży kościoła. Dokonywał on pomiarów parametrów powietrza zewnętrznego. Pozostałe czujniki umieszczone były wewnątrz kościoła.

Pomiar stężenia ditlenku węgla prowadzony był od 29.03.2014 r. do 13.06.2014 r. Czujniki rejestrowały dane co 30 sekund.

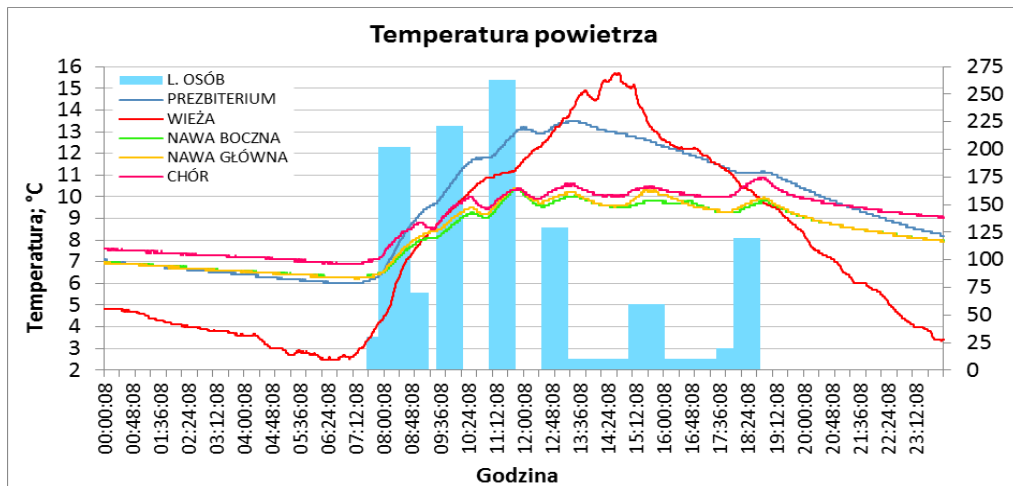
Liczbę osób przebywających w kościele liczone w trakcie trwania poszczególnych nabożeństw.

## 3. WYNIKI BADAŃ

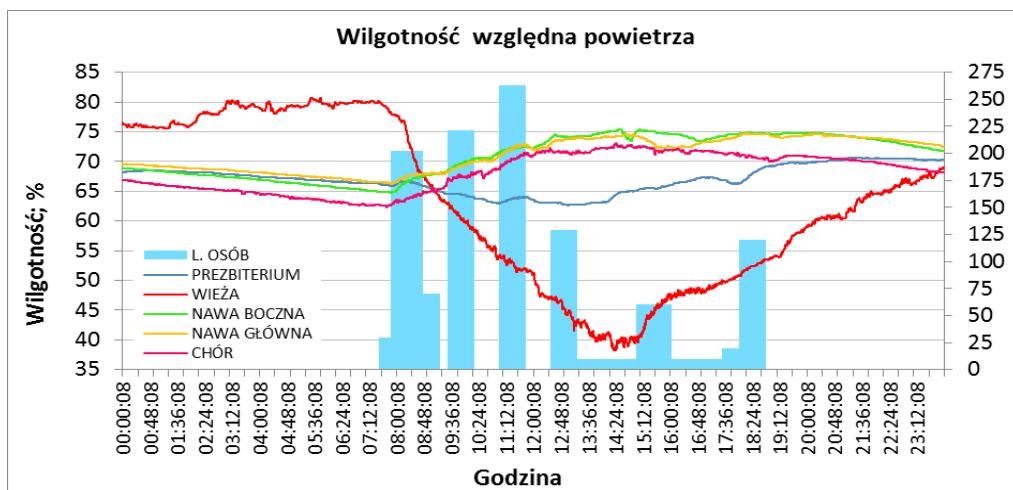
### 3.1. TEMPERATURA I WILGOTNOŚĆ WZGLĘDNA

W dniu 02.03.2014 r. w kościele odbyło się pięć Mszy Świętych oraz nabożeństwo do Miłosierdzia Bożego o godzinie 15.00. Liczbę wiernych uczestniczących w poszczególnych nabożeństwach przedstawia wykres kolumnowy. W trakcie wchodzenia i wychodzenia wiernych z kościoła otwarte były drzwi główne oraz drzwi prowadzące do przedsionka.

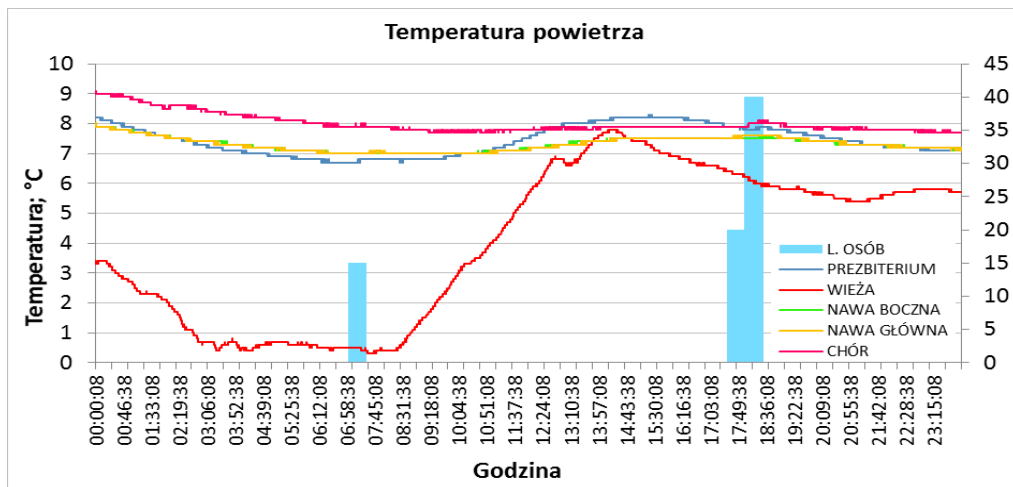
W dniu 03.03.2014 r. w kościele odbyły się dwie Msze Święte oraz nabożeństwo różańcowe o godzinie 17.30. W dni powszednie Msze Święte charakteryzują się mniejszą frekwencją wiernych. W trakcie wchodzenia i wychodzenia wiernych z kościoła otwarte były drzwi główne oraz drzwi prowadzące do przedsionka.



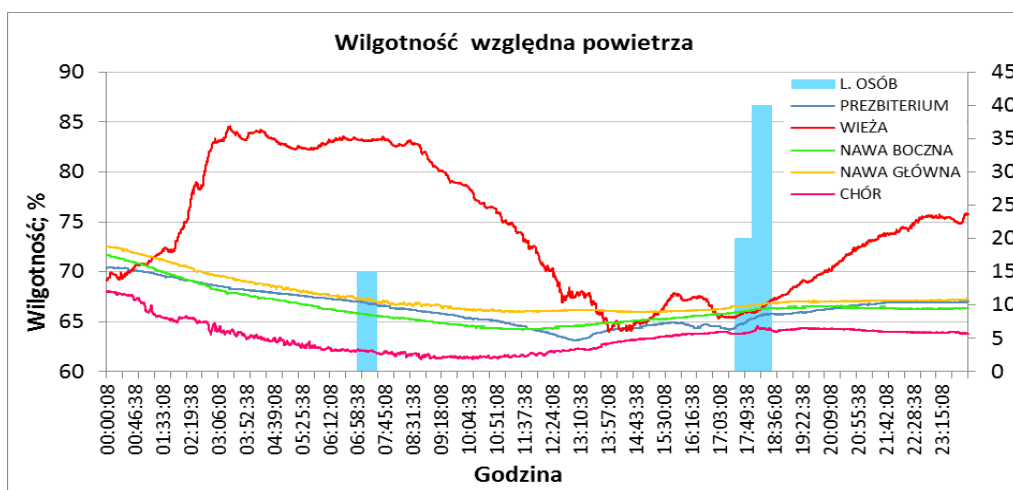
Rys. 1. Wyniki pomiarów temperatury oraz frekwencja wiernych w dniu 02.03.2014 r.



Rys. 2. Wyniki pomiarów wilgotności względnej oraz frekwencja wiernych w dniu 02.03.2014 r.

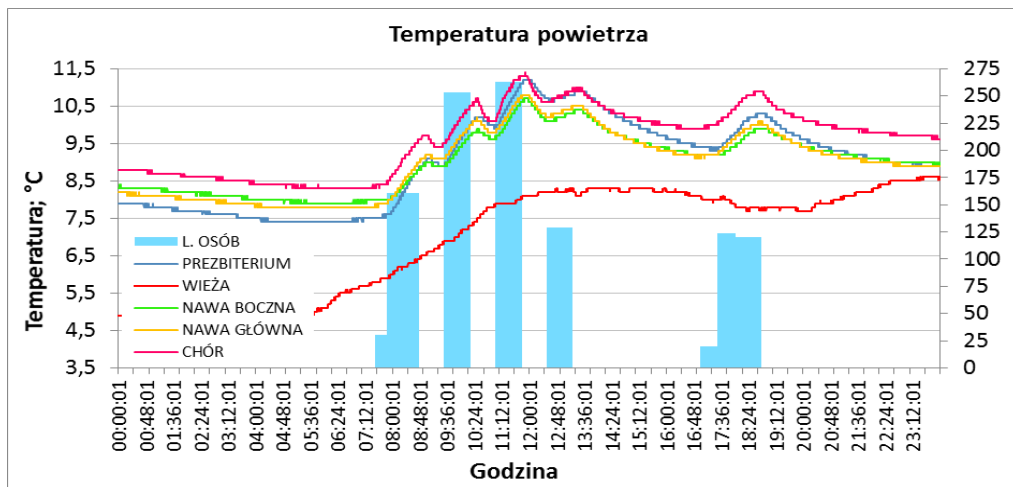


Rys. 3. Wyniki pomiarów temperatury oraz frekwencja wiernych w dniu 03.03.2014 r.

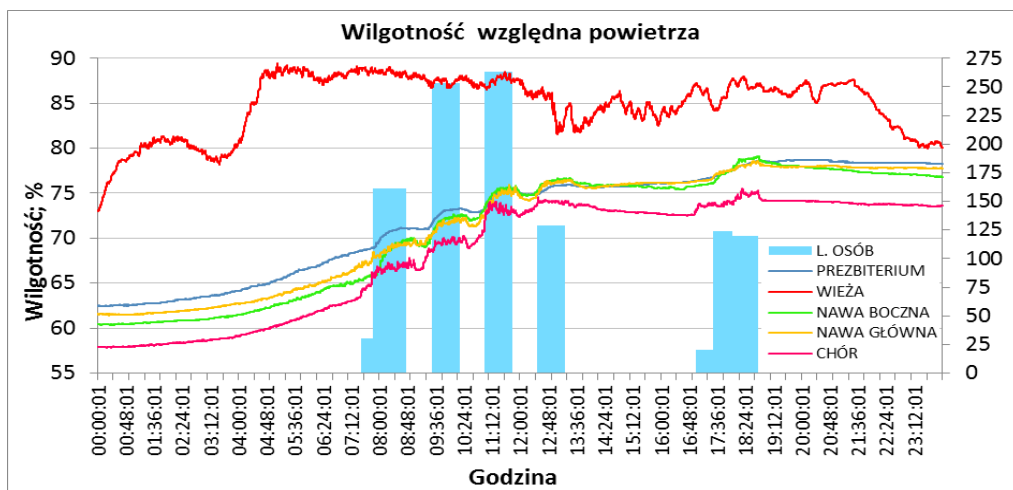


Rys. 4. Wyniki pomiarów wilgotności względnej oraz frekwencja wiernych w dniu 03.03.2014 r.

W dniu 16.03.2014 r. w kościele odbyło się pięć Mszy Świątecznych, nabożeństwo różańcowe o godzinie 17.00 oraz nabożeństwo Gorzkich Żali o godzinie 17.30. W trakcie wchodzenia i wychodzenia wiernych z kościoła otwarte były drzwi główne oraz drzwi prowadzące do przedsionka.

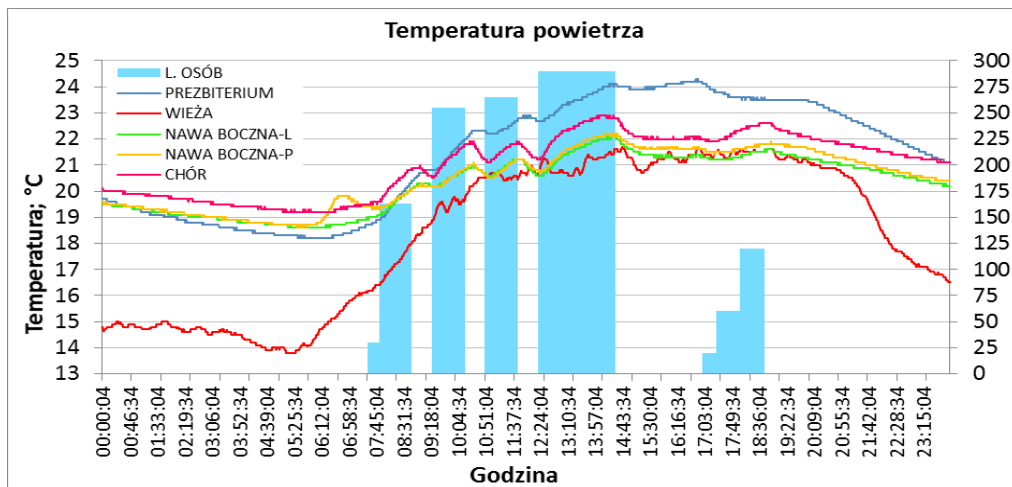


Rys. 5. Wyniki pomiarów temperatury oraz frekwencja wiernych w dniu 16.03.2014 r.

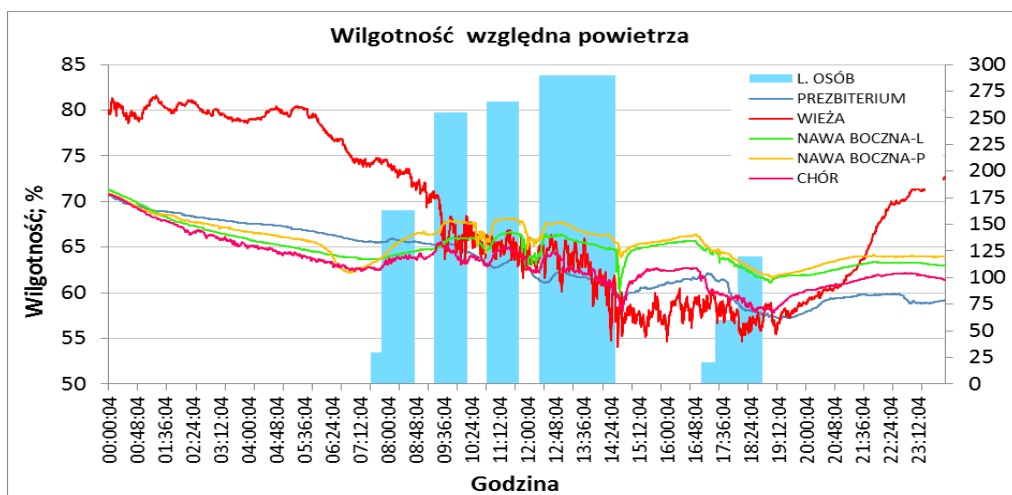


Rys. 6. Wyniki pomiarów wilgotności względnej oraz frekwencja wiernych w dniu 16.03.2014 r.

W dniu 25.05.2014 r. w kościele odbyło się pięć Mszy Świątych, nabożeństwo różańcowe o godzinie 17.00 oraz nabożeństwo ku czci Najświętszej Maryi Panny o godzinie 17.30. Podczas Mszy Świętej o godzinie 12.30 odbyła się uroczystość 40 rocznicy święceń kapłańskich Księdza Proboszcza. Od godziny 7.30 do godziny 19.00 drzwi główne kościoła były otwarte. W trakcie trwania Mszy Świętej o godzinie 12.30 (12.20-14.30) otwarte były również drzwi przedsionka kościoła. Przez całą dobę otwarte było wejście na wieżę kościoła.



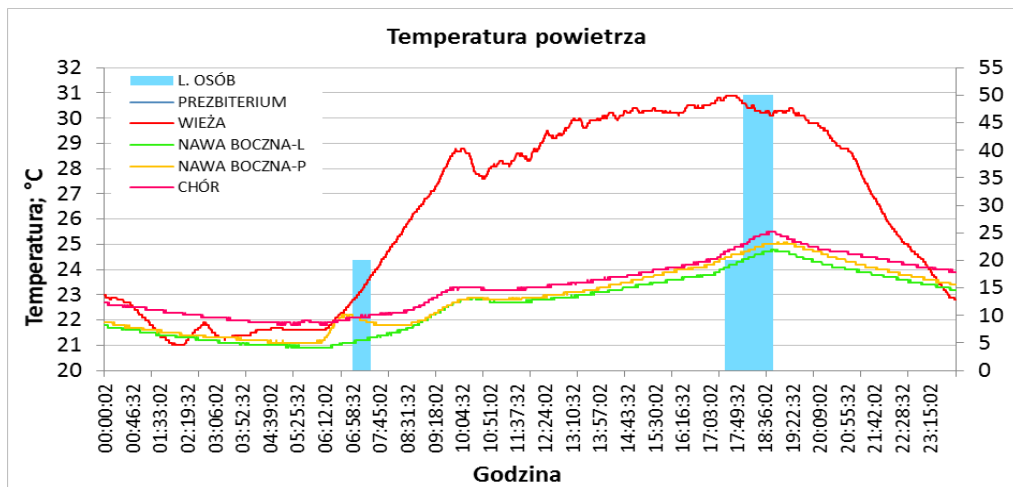
Rys. 7. Wyniki pomiarów temperatury oraz frekwencja wiernych w dniu 25.05.2014 r.



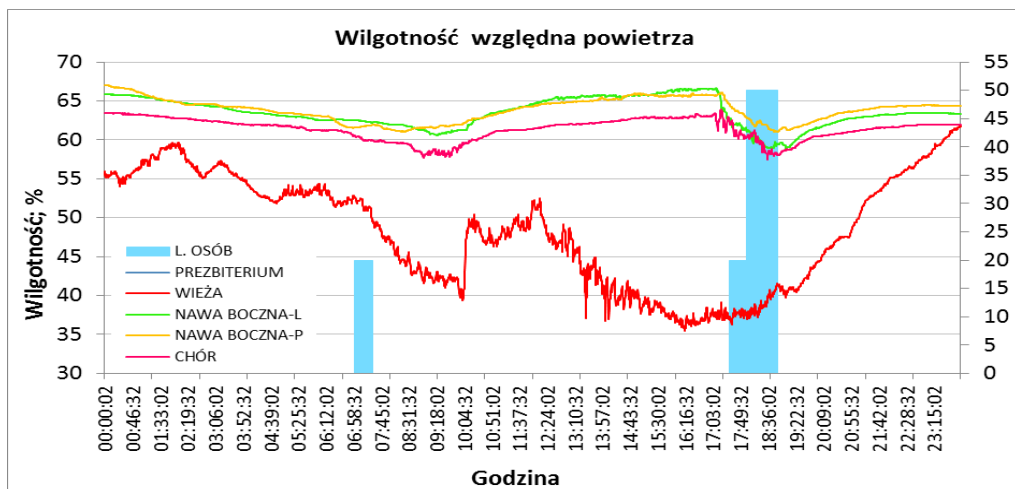
Rys. 8. Wyniki pomiarów wilgotności względnej oraz frekwencja wiernych w dniu 25.05.2014 r.

W dniu 09.06.2014 r. w kościele odbyły się dwie Msze Święte, nabożeństwo różańcowe o godzinie 17.30 oraz po wieczornej Eucharystii nabożeństwo ku czci Najświętszego Serca Jezusowego. W dni powszednie Msze Święte charakteryzują się mniejszą frekwencją wiernych. Od godziny 7.30 do godziny 19.00 drzwi główne kościoła były otwarte. Przez całą dobę otwarte było wejście na wieżę kościoła.





Rys. 9. Wyniki pomiarów temperatury oraz frekwencja wiernych w dniu 09.06.2014 r.



Rys. 10. Wyniki pomiarów wilgotności względnej oraz frekwencja wiernych w dniu 09.06.2014 r.

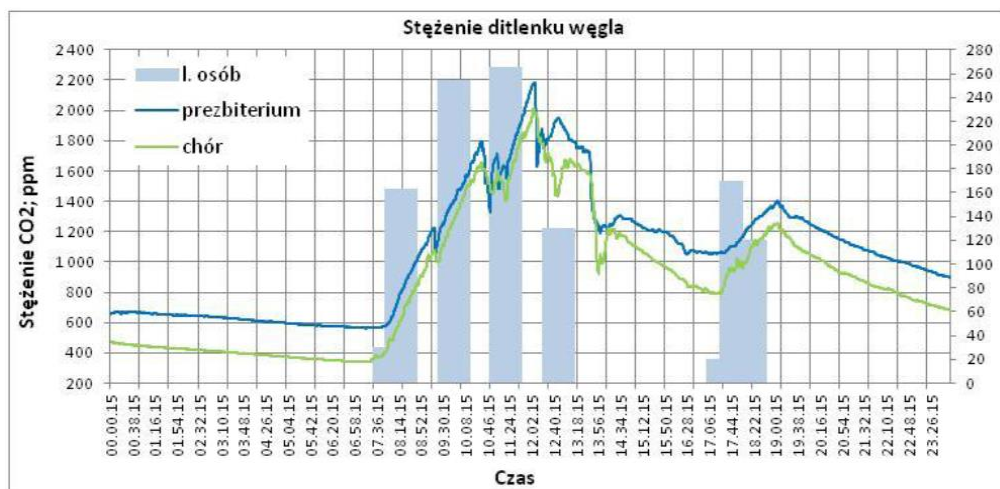
Analizując wyniki przedstawiające zmianę temperatury i wilgotności względnej można zauważyć, że mierzone parametry powietrza przez większą część doby utrzymują się na pewnym poziomie. W miesiącu marcu temperatura w obiekcie utrzymywała się na poziomie 7–10°C, natomiast w maju i czerwcu na poziomie 19–22°C. Wilgotność względna w kościele, w okresie trwania pomiarów, oscylowała w granicach 60–75%.

Na rysunkach 1, 5 i 7 zauważyć można pewną powtarzalność zmian temperatury wewnętrznej. Zmiany badanego parametru następowały po sobie w równych odstępach czasu. W trakcie trwania nabożeństw następował wzrost temperatury. Po opuszczeniu kościoła przez wiernych następował jej spadek. Podobną tendencję wzrostów i spadków poziomu wilgotności bezwzględnej można zaobserwować na rysunkach 2, 6 i 8.

Rysunki 3, 4, 9 i 10 przedstawiają wyniki pomiarów w dzień powszedni. Na wykresach zauważyć można, że badane parametry podczas trwania nabożeństw ulegały niewielkiej zmianie. Przyczyną tego zjawiska była niska frekwencja wiernych w kościele.

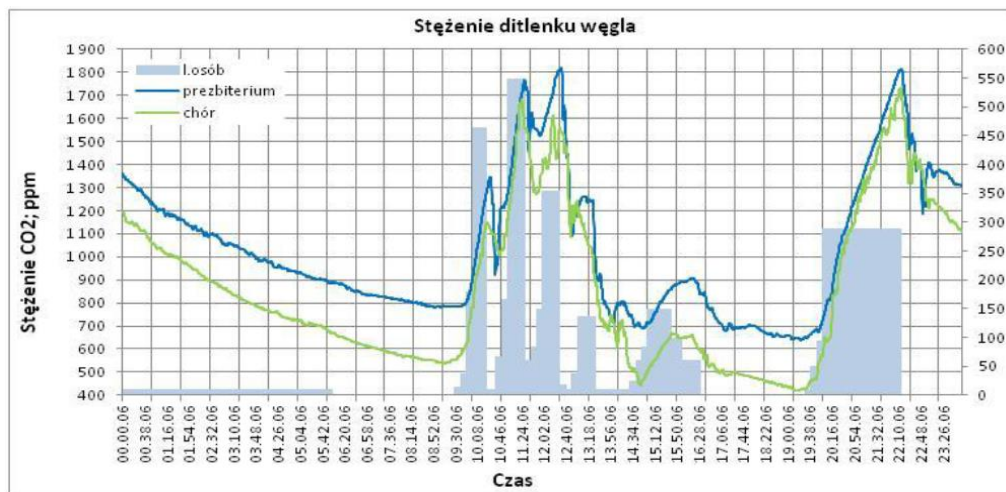
### 3.2. STĘŻENIE DITLENKU WĘGLA

W dniu 13.04.2014 r. w kościele odbyło się pięć Mszy Świątych, nabożeństwo różańcowe o godzinie 17.00 oraz nabożeństwo Gorzkich Żali o godzinie 17.30. Liczbę wiernych uczestniczących w poszczególnych nabożeństwach przedstawia wykres kolumnowy. Od godziny 8.00 do godziny 19.30 drzwi główne kościoła były otwarte.



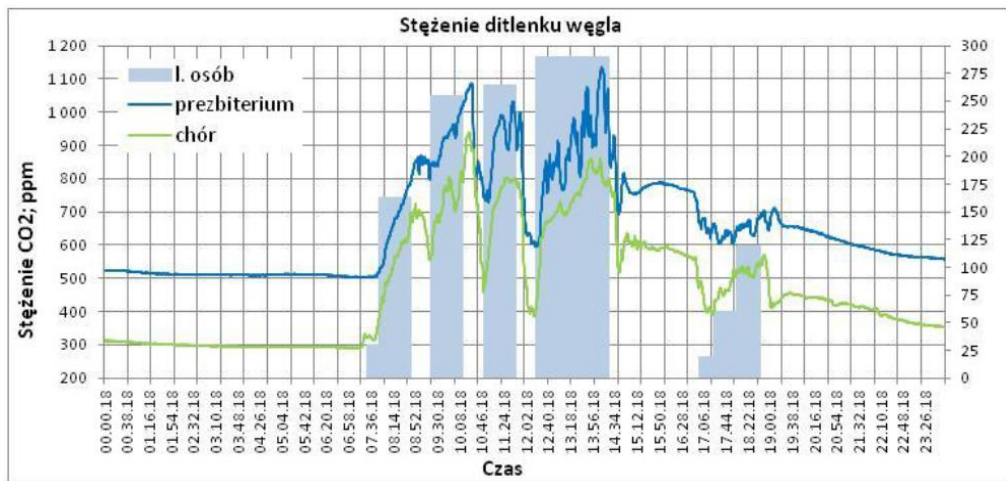
Rys. 11. Wyniki pomiarów stężenia ditlenku węgla oraz frekwencja wiernych w dniu 13.04.2014 r.

W dniu 19.04.2014 r. obchodzona była Wielka Sobota. W tym dniu odbywało się święcenie pokarmów na Wielkanocny stół. Od godziny 10.00 do godziny 16.30. w kościele otworzone były drzwi główne, dwie pary drzwi bocznych oraz drzwi przedsionka kościoła. Od godziny 16.30 drzwi kościoła były zamknięte.



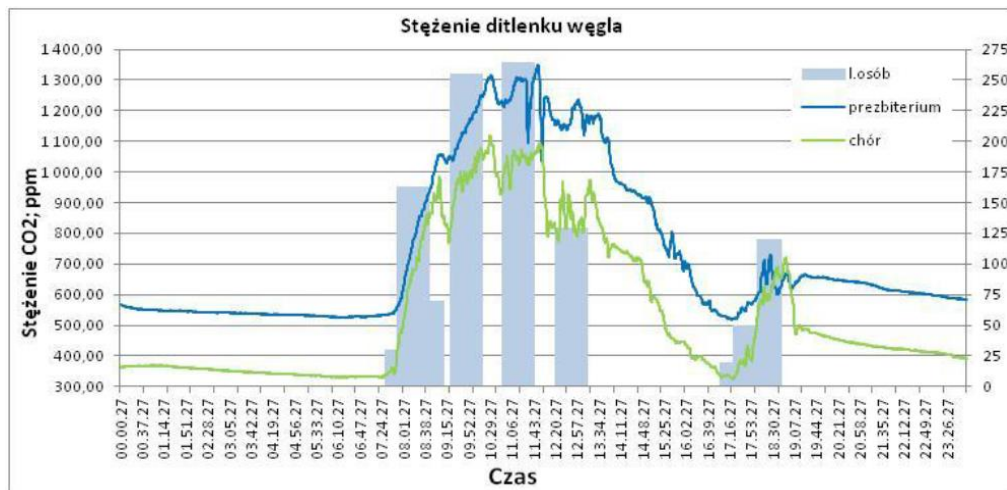
Rys. 12. Wyniki pomiarów stężenia ditlenku węgla oraz frekwencja wiernych w dniu 19.04.2014 r.

W dniu 25.05.2014 r. podczas Mszy Świętej o godzinie 12.30 odbyła się uroczystość 40 rocznicy święceń kapłańskich Księdza Proboszcza. Dokładny opis dnia znajduje się w punkcie 3.1.



Rys. 13. Wyniki pomiarów stężenia ditlenku węgla oraz frekwencja wiernych w dniu 25.05.2014 r.

W dniu 08.06.2014 r. w kościele odbyło się pięć Mszy Świętych, nabożeństwo różańcowe o godzinie 17.00 oraz nabożeństwo ku czci Najświętszego Serca Jezusowego o godzinie 17.30. Od godziny 7.30 do godziny 19.00 drzwi główne kościoła były otwarte. Przez całą dobę otwarte było wejście na wieżę kościoła.



Rys. 14. Wyniki pomiarów stężenia ditlenku węgla oraz frekwencja wiernych w dniu 08.06.2014 r.

Analizując przedstawione wykresy pomiaru stężenia ditlenku węgla można stwierdzić, że przez znaczną część doby utrzymuje się ono na poziomie 300–500 ppm. Na wykresach zauważyć można wyraźną różnicę we wskazaniu wartości stężenia tego gazu pomiędzy czujnikami. Wyższe wartości stężenia ditlenku węgla wskazuje Czujnik nr 1 (prezbiterium).

Na wykresach zauważyć można pewną powtarzalność zmian wartości stężenia ditlenku węgla. W trakcie trwania nabożeństw wartość stężenia ditlenku węgla wzrastała, a po opuszczeniu kościoła przez wiernych malała. Po ostatnim nabożeństwie wartość stężenia ditlenku węgla dążyła do poziomu 300–500 ppm.

## 4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

### 4.1. TEMPERATURA I WILGOTNOŚĆ WZGLĘDNA

Temperatura oraz wilgotność powietrza w dni powszednie, kiedy kościół jest rzadziej użytkowany oraz występuje mniejsza frekwencja wiernych, utrzymywały się na stałym poziomie mimo gwałtownych zmian parametrów powietrza zewnętrznego. Odpowiedzialna za to może być mała bezwładność cieplna budynku. Dynamika wzrostu badanych parametrów uzależniona była od liczby uczestników nabożeństw. Podczas Mszy Świętych o dużej frekwencji wiernych odnotowano większy przyrost temperatury oraz wilgotności.

Zmiany temperatury oraz wilgotności względnej podczas nabożeństw charakteryzowały się dużą powtarzalnością. W równych odstępach czasu pojawiały się wzrosty i spadki badanych parametrów. W momencie wejścia wiernych następował wzrost temperatury i wilgotności. Kompletne opuszczenie kościoła przez wiernych wiązało się zawsze ze spadkiem tych parametrów.

Wzrost temperatury powietrza wewnętrznego podczas nabożeństw wskazywałoby to na spadki wilgotności względnej. Jednak na przedstawionych wykresach wartość wilgotności względnej rosła, wraz ze wzrostem temperatury. Przyczyną tego zjawiska były zyski wilgoci pochodzące od przebywających w kościele wiernych.

Przy wyższych parametrach temperatury w powietrzu zewnętrznym w obiekcie widoczny był pionowy gradient temperatury. Zjawisko to można zauważyć, porównując rysunki 1 i 3.

#### 4.2. STĘŻENIE DITLENKU WĘGLA

Analizując wyniki pomiarów stężenia ditlenku węgla można zauważyć, że zmiany jego wartości następują podczas pobytu wiernych w kościele. W okresie gdy kościół jest nie użytkowany jego stężenie utrzymuje się na stałym poziomie 300–500 ppm. Jest to wartość charakterystyczna dla powietrza zewnętrznego.

Na wykresach zauważyć można wyraźną różnicę we wskazaniu wartości stężenia tego gazu pomiędzy czujnikami. Na skutek różnicy gęstości ditlenku węgla oraz powietrza wyższe wartości rejestrowane były przez Czujnik nr 1 (prezbiterium) ustawiony na posadzce obiektu. W wyniku aktywności wiernych w trakcie trwania nabożeństw różnica ta malała. W trakcie nabożeństwa o podwyższonej frekwencji wiernych dochodziło nawet do wyrównania stężenia ditlenku węgla w powietrzu.

Na wykresach widoczna jest powtarzalność zmian wartości stężenia ditlenku węgla. W trakcie trwania nabożeństw wartość stężenia ditlenku węgla wzrastała, a po opuszczeniu kościoła przez wiernych malała. Po ostatnim nabożeństwie wartość stężenia ditlenku węgla dążyła do poziomu 300–500 ppm. Na skutek złej wymiany powietrza, w okresie przebywania osób w kościele stężenie ditlenku węgla przekraczało wymagania minimum higienicznego wyznaczonego według Pettenkofera na poziomie 1000 ppm.

Rysunki 13 i 14 przedstawiają zmiany stężenia ditlenku węgla w dni, podczas których wejście na wieżę było otwarte. Podczas trwania nabożeństw otwarte były również drzwi kościoła. Spowodowało to powstanie przeciągu co przyczyniło się do zmniejszenia intensywności wzrostu stężenia ditlenku węgla w obiekcie.

Podsumowując niewykonanie zaprojektowanych otworów wentylacyjnych wpłynęło na pogorszenie krotności wymian powietrza w obiekcie. Skutkiem tego było przekroczenie dopuszczalnych stężeń ditlenku węgla w kościele.

## 5. WNIOSKI

Zmienność temperatury, wilgotności względnej oraz stężenia ditlenku węgla w badanym obiekcie w znacznym stopniu uzależniona jest od aktywności ludzkiej. Przyczyną jest niewystarczająca wymiana powietrza. Niewykonanie zaprojektowanych elementów wentylacji w bardzo dużym stopniu wpłynęło na ograniczenie wymiany powietrza w obiekcie.

W trakcie nabożeństw charakteryzujących się większą liczbą uczestników stężenie ditlenku węgla notorycznie przekraczało wartość 1000 ppm. W wyniku otwarcia drzwi na wieżę oraz prowadzących do przedsionka kościoła krotność wymian powietrza wzrosła. Przyczyniło się to do mniejszego przyrostu stężenia ditlenku węgla w powietrzu wewnętrznym podczas obecności wiernych.

*Praca współfinansowana w ramach badań statutowych S40-012.*

## LITERATURA

- [1] MALICKI M., *Wentylacja i klimatyzacja*, WNT, Warszawa 1977.
- [2] PEŁECH A., *Wentylacja i klimatyzacja – podstawy*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [3] PN-78/B-03421 *Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*.
- [4] WOLSKI L., KAMIŃSKI A., *Niekonwencjonalne sposoby ogrzewania kościołów wykorzystujące ciepło od ludzi*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 2008, No. 11.
- [5] WOLSKI L., KAMIŃSKI A., *Wentylacja w obiektach sakralnych. Część 1*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 2006, No. 7–8.
- [6] WOLSKI L., KAMIŃSKI A., *Wentylacja w obiektach sakralnych. Część 2*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 2008, No. 6.
- [7] ZABIEGAŁA B., *Jakość powietrza wewnętrznego – analityka i monitoring*, Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2010.
- [8] DOUGAN D.S., DAMIANO L., *CO<sub>2</sub>-Based Demand Control Ventilation. Do Risks Outweigh Potential Rewards?*, ASHRAE Journal, 2004.
- [9] WALUSIAK L., *Opis techniczny do projektu budowlanego. Część – architektura z planem zagospodarowania przestrzennego*, Wałbrzych 1995.
- [10] <http://freemeteo.pl/pogoda/walbrzych/historia/codzienna-historia>

## AIR QUALITY STUDIES IN A SACRED OBJECT

Variability of temperature, relative humidity, and the concentration of carbon dioxide in the tested church depends largely on human activity. Responsible for this may be a small thermal inertia of the building and not enough on-air exchange. In the absence of designed vents influenced on worsen air change in the object. The result was exceeded permissible concentration of carbon dioxide in the church.