

Paula Szczepaniak*

Maria Wesołowska*

Problemy ciepno-wilgotnościowe współczesnego obiektu sakralnego

The hygrothermal problems of contemporary sacred buildings

Ewolucja rozwiązań z uwagi na identyfikowane problemy wilgotnościowe

Budynki sakralne są obiektami o szczególnym sposobie użytkowania. Na stosunkowo niewielkiej powierzchni gromadzi się na czas nabożeństw duża liczba wiernych. W wiekach średnich, zwyczajem było, odbywanie jednego nabożeństwa, na którym gromadziła się cała społeczność. Wymuszało to odpowiednie ukształtowanie obiektu, w którym głównym problemem było zapewnienie odpowiedniej ilości powietrza. Jego brak, nie rzadko powodował omdlenia wiernych. Pierwsze, typowe obiekty kultu, były wentylowane w naturalny sposób poprzez otwartą od spodu, drewnianą konstrukcję dachu (IX-XI w.). W związku z koniecznością zapewnienia właściwego zabezpieczenia przeciwpożarowego i akustyki wnętrza, wprowadzono sklepienia ceramiczne. Ten nowy, dodatkowy element stał się również istotną barierą dla zużytego przez wiernych powietrza. Rozwiązaniem była ewolucja gmachów sakralnych w kierunku podwyższenie budowli w celu zwiększenia ich kubatury (strzeliste kościoły okresu gotyku). W okresie baroku, buforem nadmiaru wilgoci z powietrza były stiuki i bogata gipsowa sztukateria. Okres kontrreformacji spowodował ograniczenie dekoracji – dominującymi materiałami były kamień i cegła. Nadmiar wilgoci, w postaci kondensatu na przeszkleniach, był odprowadzany pod oknem na zewnątrz. Ten krótki przegląd rozwiązań wskazuje, że ówcześni budowniczowie intuicyjnie uwzględniali problem okresowej wysokiej wilgotności powietrza wewnętrznego.

The evolution of the solutions to the identified moisture problems

Sacred buildings are used in a very special way. During services a large number of believers gather in a relatively small space. In the Middle Ages it was usually there one service was when the whole congregation would gather. This forced the appropriate shape of the temple in which the main problem was the provision of sufficient amount of air. Its shortage would frequently make the believers faint. The first typical buildings of religious cult were ventilated in a natural way through the wooden construction of the roof open from below (9th-11th century.) Due to the need to provide adequate fire protection and acoustics of the interior a ceramic vault was developed. This new additional element became also a significant barrier for the air used by the believers. The solution was brought by the evolution of the sacred buildings in the direction of raising them in order to increase their interior volume (soaring Gothic churches.) In Baroque, the rich gypsum plaster stuccowork was the buffer for excessive moisture in the air. During the period of Counter Reformation the use of decorations was reduced – stone and brick were the dominant materials. Excessive moisture in the form of condensate on glazing was removed outside below the window. This short review of solutions indicates that the contemporary builders intuitively took into account the problem of momentary high humidity of the interior air.

Problem kondensacji powierzchniowej w nowych obiektach

Nowe rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe stosowane w budownictwie mieszkaniowym, wymuszone wyższymi wymaganiami komfortu cieplnego człowieka, przeniesione wprost do budownictwa sakralnego nie zawsze dają oczekiwany efekt.

Jednym z przykładów może być współczesna świątynia usytuowana na skraju dzielnicy mieszkaniowej Fordon. Oś główna zorientowana w kierunku wschód-zachód. Ściana północna ekranowana wzniesieniem, zalesieniem i zabudowaniami parafialnymi. Bryła z rozwiniętą linią ścian podłużnych, tworzących liczne wnęki wewnątrz kościoła (rys.1). Ściany zewnętrzne kościoła głównego grubości 64 cm wykonano jako jednowarstwowe z cegły ceramicznej zwykłej, pełnej. Tynk wewnętrzny cementowo-wapienny grubości 1,5 cm. Powierzchnia zewnętrzna ścian przygotowana pod tynkowanie. Stropodach dwudzielny, przełazowy, w formie podwieszonych do stalowych dźwigarów płyt żelbetonowych, ocieplany wełną mineralną gr. 20 cm, ułożoną na papie izolacyjnej. Przestrzeń stropodachowa o wysokości 1,2 ÷ 2,7m wentylowana – kanały przewietrzające o wymiarach 25 × 25 usytuowane w ścianach podłużnych. Od spodu stropodach wykończony boazerią drewnianą, zabezpieczoną lakierem chemoutwardzalnym. Okna szklone pojedynczo, witrażowe, w ramach stalowych. Drzwi drewniane pełne.

Kościół główny jest użytkowany okresowo – w niedziele i święta (tab. 2). Nabożeństwa dnia powszedniego odbywają się w kaplicy.

The problem of surface condensation in new buildings

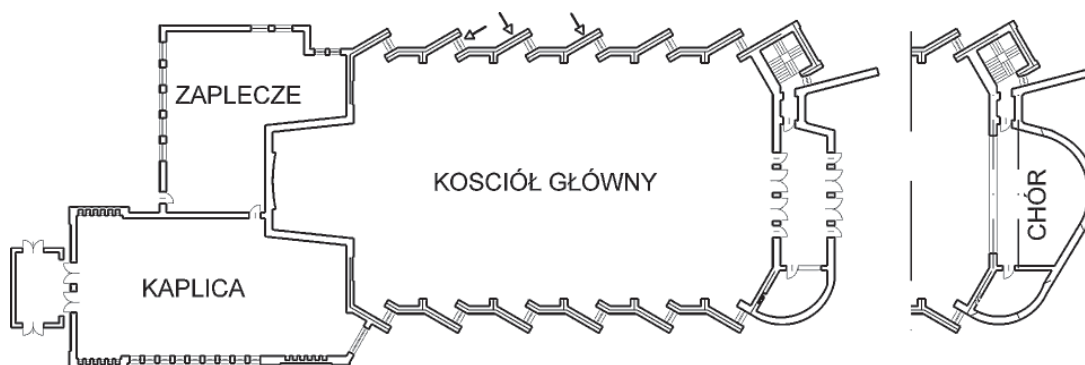
The new construction solutions and materials applied in residential buildings, whose use is required by stricter requirements regarding the thermal comfort of the residents, transplanted directly to sacred buildings does not always bring expected results.

One of the examples can be the modern temple located on the outskirts of Fordon residential district. The geographical orientation of the main axis is west-east. The northern wall overlooks a hill, trees and the parish buildings. The main body of the church with an elaborate line of longitudinal walls creates a number of recesses inside it (fig. 1) The 64 cm thick external walls of the main church are made as single layer walls of made common solid ceramic brick. The internal cement-gypsum plaster is 1.5 cm thick. The external surface of the walls is about to be plastered. The flat roof is dual with openings, in the form of reinforced slabs suspended on steel girders, insulated with 20 cm thick mineral wool on a separation layer. The flat roof space (1.2÷2.7 m) is ventilated – the 25 × 25 ventilation channels are located in the longitudinal walls. The flat roof has wooden paneling from below covered with chemically cured varnish. There are single pane stained-glass windows in steel frames and hardwood doors.

The main church is used periodically – on Sundays and holidays (Table 2.) On weekdays, the services are held in the chapel.

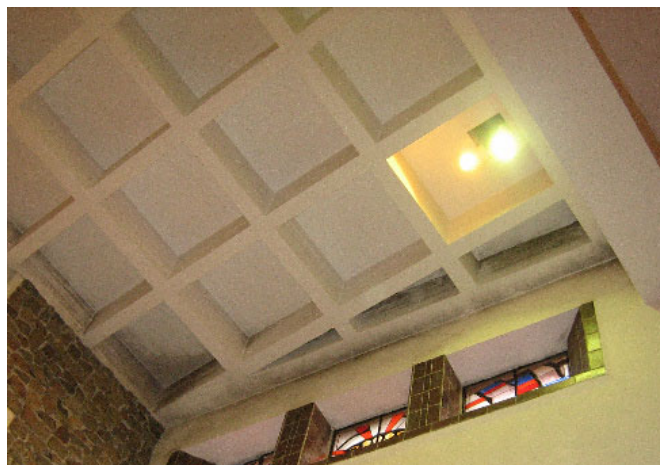
Tab. 1. Porządek Mszy Świętych w Parafii
Schedule of Holy Masses in the Parish

Dzień Day	Godziny Hours
niedziele i święta (kościół główny) Sundays and holidays (main church)	7 ⁰⁰ 8 ³⁰ 10 ⁰⁰ 11 ³⁰ 13 ⁰⁰ 17 ^{00*} 18 ³⁰ 20 ^{00**}
dni powszednie (kaplica) Weekdays (chapel)	7 ⁰⁰ 8 ³⁰ 17 ^{00***} 18 ³⁰



Rys.1. Geometria analizowanego kościoła
Fig. 1. The layout of the analyzed temple

Od 2004 r. we wnętrzu kościoła zaczęły pojawiać się obszarowe ogniska grzybów pleśniowych, występujące głównie od strony północnej, nad otworami okiennymi, w niszy na chórze, klatce schodowej i kasetonach stropowych (rys. 2). Oprócz wyżej opisanych zjawisk, użytkownik poinformował o intensywnej kondensacji powierzchniowej na kamiennej okładzinie ściany ołtarza. Opisane zjawiska kojarzone były z niedostateczną izolacyjnością ścian zewnętrznych.



Mildewed areas started to appear inside the church in 2004, primarily in its northern sections above windows, in the choir niche, in the staircase and on the ceiling panels (fig. 2) Furthermore, the building administrator informed about intense surface condensation on stone cladding of the altar wall. The developments described above were associated with insufficient insulation of external walls.



Rys.2. Ogniska zagrzybenia na kasetonowym stropie prezbiterium i stropie chóru
Fig. 2. Places of mold growth on the ceiling surface in presbytery and choir

Kościół jest wyposażony w instalację centralnego ogrzewania zasilaną z sieci miejskiej. Grzejniki radiatorowe umieszczone są we wnękach w kanałach biegnących wzdłuż ścian zewnętrznych poniżej poziomu posadzki. Ogrzewanie uruchamiane jest w miesiącach zimowych przy ujemnych temperaturach zewnętrznych, okresowo, na 12 godzin przed planowanym użytkowaniem.

W założeniu ten system ogrzewania miał wyrównywać temperaturę w strefie przyściennej do temperatury strefy środkowej. Projektowany nawiew do kanałów miał za zadanie intensyfikować wentylację grawitacyjną, której elementem są umieszczone w ścianach zewnętrznych pod sufitem podwieszonym żetowe kanały wywiewne o wymiarach 25×25 cm. Przy oględzinach stwierdzono, że nawiewy nie zostały wykonane.

Warunki komfortu w obiekcie

Wg §3 rozporządzenia [10] obiekty kultu religijnego zalicza się do obiektów użyteczności publicznej. Przepis ten narzuca szczegółowe wymagania odnoszące się do wyposażenia technicznego tego rodzaju budynków. Nie ma jednak jednoznacznie sprecyzowanych wymagań mikroklimatu dla budynków sakralnych. Zależnie od potrzeb, są one przedstawiane przez zainteresowane instytucje [2]. Z uwagi na to, że wierni przebywają w obiektach w okryciach wierzchnich, zalecane temperatury są

The church is equipped with central heating installation fueled from the municipal network. The radiators are located in the recesses in the channels going along the external walls below the floor level. The system operates in the winter months when the outside temperature is below zero and periodically for 12 hours before scheduled use.

Originally it was assumed that the heating system would equalize the temperature near the walls and the temperature in the middle section. The designed air blow to the channels was supposed to intensify the gravity ventilation whose elements are the 25×25 cm exhaust Z-section air channels installed on the external walls under the suspended ceiling. During inspection it was discovered that the air supply channels were not built.

Indoor comfort conditions

According to §3 of the ordinance [10] the buildings of religious cult are public utility buildings. This regulation imposes detailed requirements regarding the technical equipment installed in this type of buildings. However, there are no specifically defined requirements of indoor conditions for sacred buildings. Depending on needs, they are provided by relevant institutions [2]. Due to the fact that the believers wear outer clothes in the temples, the recommended temperatures are lower than required for standard indoor

Tab.2. Przykładowe wartości głównych parametrów mikroklimatu w obiektach sakralnych [2]
Examples of value of main indoor conditions in sacred buildings [2]

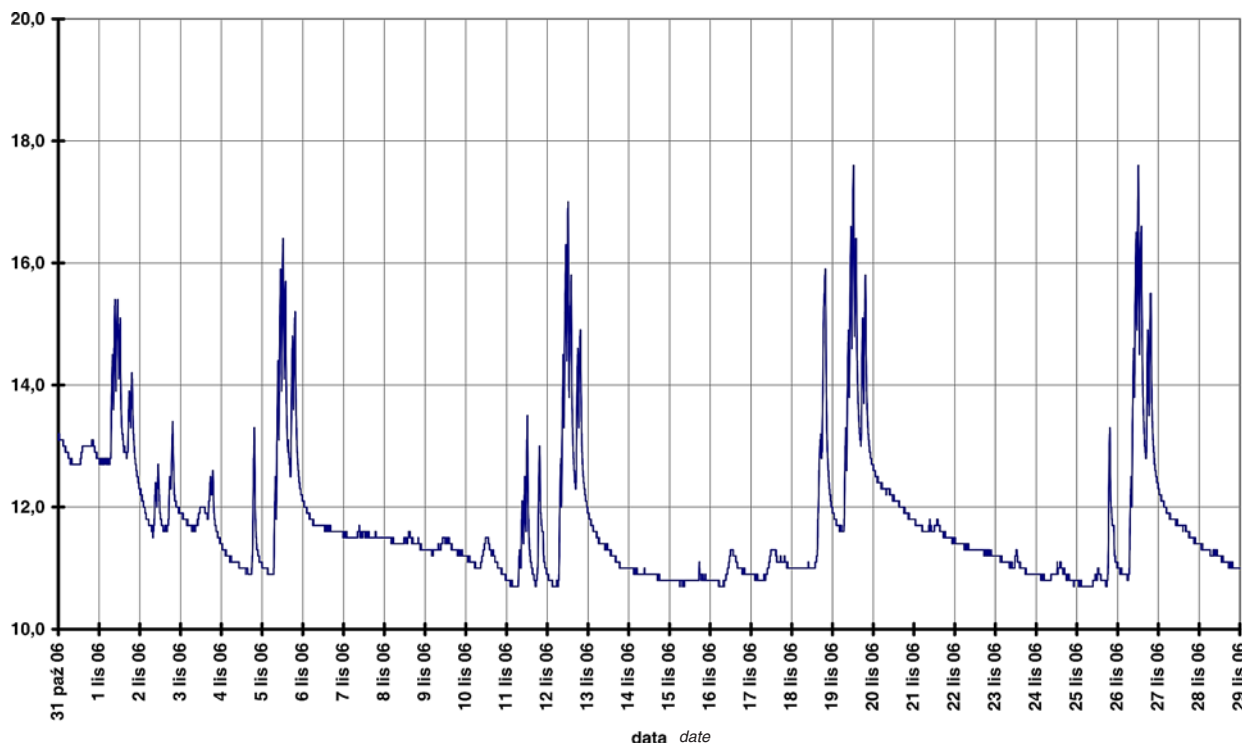
Źródło danych	Source	Obliczeniowa temperatura wewnętrzna <i>Calculation internal temperature</i> [°C]	Dyżurna temperatura wewnętrzna <i>Control-external temperature</i> [°C]	Wilgotność względna powietrza <i>Relative humidity of air</i> [%]	Różne <i>Other</i>
Zalecenia krajowe (Rada Prymasowska Budowy Kościołów Warszawskich)	<i>National recommendations (The Primate's Council for Construction of Warsaw Churches)</i>	12-15	5-8	60-70	– czas nagrzewania kościoła do temperatury obliczeniowej 3h – <i>heating time of the church up to calculation temperature 3h</i>
Norma Polska PN-64/B-02402 (archiwalna) – świątynia – zakrystia	<i>Polish Standard PN-64/B-02402 (invalid)</i> – <i>temple</i> – <i>sacristy</i>	10 18			
Norma Polska PN-82/B-02402 (obowiązująca)	<i>Polish Standard PN-82/B-02402 (valid)</i>	16			
Niemiecka norma DIN 4701	<i>German Standard DIN 4701</i>	15			
Niemieckie założenia dla projektantów Recknagel-Sprenger – ogrzewanie okresowe – ogrzewanie stałe	<i>German recommendations for designers (Recknagel-Sprenger)</i> – <i>periodic heating</i> – <i>permanent heating</i>	12-15 18	6-8	50-60	– czas nagrzewania kościoła do temperatury obliczeniowej 6-8 h – <i>heating time of the church up to calculation temperature 6-8h</i> – maksymalne tempo zmian temperatury powietrza wewnętrznego 1,5 K/h – <i>maximum speed of changes of internal air temperature 1,5K/h</i> – krotność wymiany powietrza 0,5-1 h ⁻¹ – <i>air exchange ratio 0,5-1 h⁻¹</i>
Temperatura odczuwalna (komfortu cieplnego) w okresie zimowym – wierni w wierzchnich zimowych okryciach – celebrans i asysta w szatach liturgicznych	<i>Sensible temperature (of thermal comfort) in winter</i> – <i>believers in winter outer clothes</i> – <i>officiant and assistants in liturgical vestments</i>	5-12 12-16			– zachowanie stałych wartości parametrów temperatury i wilgotności powietrza – <i>maintenance of permanent values of temperature and air humidity</i>
Zalecenia krajowe konserwatorów zabytków – muzealny komfort klimatyczny – ogrzewanie stałe w kościołach	<i>National recommendations of the preservation officers</i> – <i>museum indoor comfort</i> – <i>permanent heating in churches</i>	16-18 6-8		55-65	

niższe od wymaganych w standardowych warunkach komfortu w pomieszczeniach. Ponieważ, często obiekty sakralne i ich wyposażenie są równocześnie zabytkami, warunki środowiska wewnętrznego są podyktowane wymaganiami konserwatorskimi, tzw. muzealny komfort klimatyczny. W opinii wielu fachowców, dla zachowania w dobrym stanie zarówno budynku, jak i wyposażenia, istotna jest stabilność temperatury i wilgotności. Jest ona nawet ważniejsza od odchylenia od zalecanych wartości temperatur [1]. W kościołach zabytkowych, z uwagi na stały nadzór konserwatorski, parametry te są monitorowane. We współczesnych obiektach głównym wyznacznikiem staje się komfort cieplny wiernych, stąd też kontrolowana jest tylko temperatura.

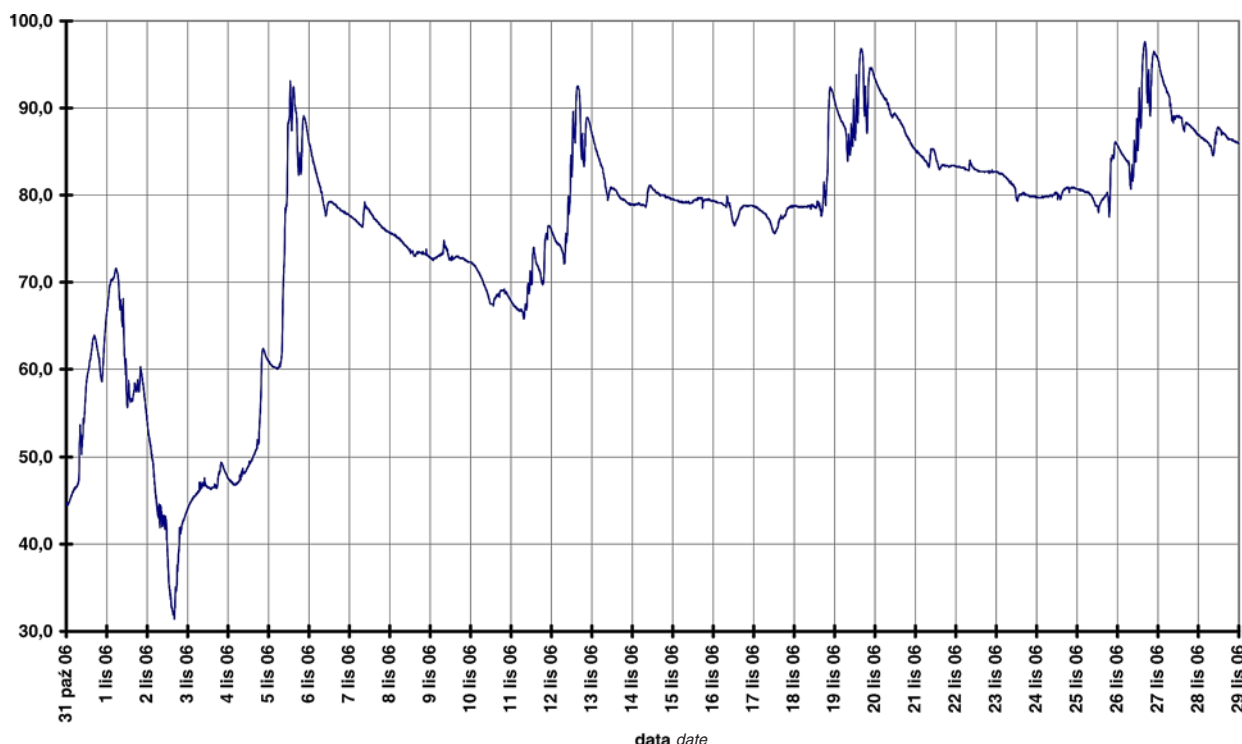
comfort conditions. The indoor conditions in sacred buildings are regulated by the preservation officer's requirements (museum indoor comfort conditions) because the sacred buildings and their furnishings are often at the same time historical monuments and sights. In the opinion of numerous experts the stability of temperature and humidity is of great importance in order to preserve both the buildings and their furnishings in good condition. It is even more important than the deviations from the recommended values of temperature [1]. In churches which are historical monuments and sights, which are under constant supervision of the preservation officer, these parameters are monitored. In contemporary buildings the thermal comfort of the believers has become the main factor and that is why only temperature is monitored.

W kościele przeprowadzono w okresie zimowym monitoring parametrów powietrza wewnętrznego – temperatury i wilgotności względnej. Wyniki przedstawiono na rysunkach.

The parameters of internal air – temperature and relative humidity – were monitored in winter in the church. The results are presented in the following figures.



Rys. 3. Zmiany temperatury powietrza wewnętrznego w wybranym okresie użytkowania
 Fig. 3. Variations of internal air temperature in chosen period of time



Rys. 4. Wykres zmian wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w wybranym okresie użytkowania
 Fig. 4. Variation of internal air relative humidity in chosen period of time

Na wykresie temperatur (rys. 3) i wilgotności względnej (rys. 4) wyraźnie widoczny jest okresowy wzrost tych wartości w cyklu tygodniowym (week-

The graph of temperatures (fig. 3) and relative humidity (fig. 4) evidently demonstrate a temporary increase of their values over the weekends

endowym), w okresie, kiedy kościół główny jest użytkowany. Wzrost tych parametrów jest ściśle powiązany z godzinami odprawiania nabożeństw. Niepokojące jest, że w okresie, gdy kościół główny nie jest użytkowany (od poniedziałku do piątku), wilgotność względna nie zrównuje się do poziomu minimalnego z poprzedniego tygodnia. Oznacza to systematyczny przyrost ilości wilgoci w sezonie zimowym. Ponadto, poziom wilgotności względnej powietrza w obiekcie przekracza standardy komfortu, co sugeruje niesprawną wentylację.

W wybranych kanałach zetowych wykonano pomiar prędkości przepływu powietrza wentylacyjnego (lokalizacja pomiaru zaznaczono na rys. 1). Pomiarzy przeprowadzono dla warunków użytkowania, tj. przy zamkniętych drzwiach i ciągle uchylonych pojedynczych skrzydłach okiennych w Prezbiterium i na chórze, przy temperaturze zewnętrznej ok. +12°C. W żadnym z badanych kanałów nie stwierdzono ruchu powietrza. W kanałach przewietrzających stropodach, prędkości wahały się od 0,2 do 0,8 m/s. Dodatkowo sprawdzono przepływ powietrza przy otwartych głównych drzwiach kościoła. Również w tym przypadku nie stwierdzono ruchu powietrza. Wykonane badania potwierdziły, że przyczyną wzrostu wilgotności powietrza jest niesprawa wentylacja.

Analiza jakości cieplnej ściany zewnętrznej

W celu określenia przyczyn rozwoju grzybów pleśniowych, przeprowadzono analizę jakości cieplnej ściany zewnętrznej. Izolacyjność ścian zewnętrznych $U = 0,982 \text{ W/m}^2\text{K}$ [5], odpowiada wymaganiom obowiązującym w trakcie projektowania i realizacji obiektu [6]. Temperatura na powierzchni wewnętrznej w obliczeniowych warunkach wynosi $\theta_{si} = 4,6^\circ\text{C}$. Czynn timeraturowy obliczony wg PN-EN ISO 13788 [7] wynosi $f_{Rsi} = 0,753$.

Rozwinięta powierzchnia ścian zewnętrznych generuje szereg mostków geometrycznych, powodujących zmiany temperatury na powierzchni wewnętrznej (rys. 5). W najniekorzystniejszym punkcie, temperatura obniża się do $\theta_{si} = +0,2^\circ\text{C}$, natomiast $f_{Rsi} = 0,607$. Jakość cieplną obudowy analizowano dla trzech przypadków użytkowania:

- w czasie nabożeństw
- w dni powszednie (kościół nie użytkowany)
- przy zapewnieniu granicznych warunków obliczeniowych.

Obliczenia przeprowadzono dla miesiąca listopada $\theta_e = +1,5^\circ\text{C}$ [3], przy wykorzystaniu procedury z normy PN-EN ISO 13788 [7]. Wielkością ocenianą jest czynnik temperaturowy f_{Rsi} dla przegrody, porównywany z wartością minimalną $f_{Rsi,min}$:

– when the main church is used. The increase of the parameters is closely related with the hours of services. It is disturbing that when the main church is not used (Monday through Friday) the relative humidity does not reach the minimum level from previous week. This means that in winter time moisture gradually grows. Furthermore, the level of relative humidity of air in the building exceeds the standards of comfort, which suggests inefficient ventilation.

The ventilation air flow rate was measured in the selected Z-section channels (location of the measurement is marked in fig. 1) The measurements were conducted for the conditions of use, i.e. with the doors closed and single windows in the Presbytery and choir ajar, at the external temperature of about +12°C. No air flow was detected in any of the tested channels. The rates varied from 0.2 to 0.8 m/s in the channels ventilating the flat roof. Additionally, the air flow was also checked with the front door to the church open. Also in this case no air flow was observed. The conducted tests confirmed that the reason of the moisture increase in the air is inefficient ventilation.

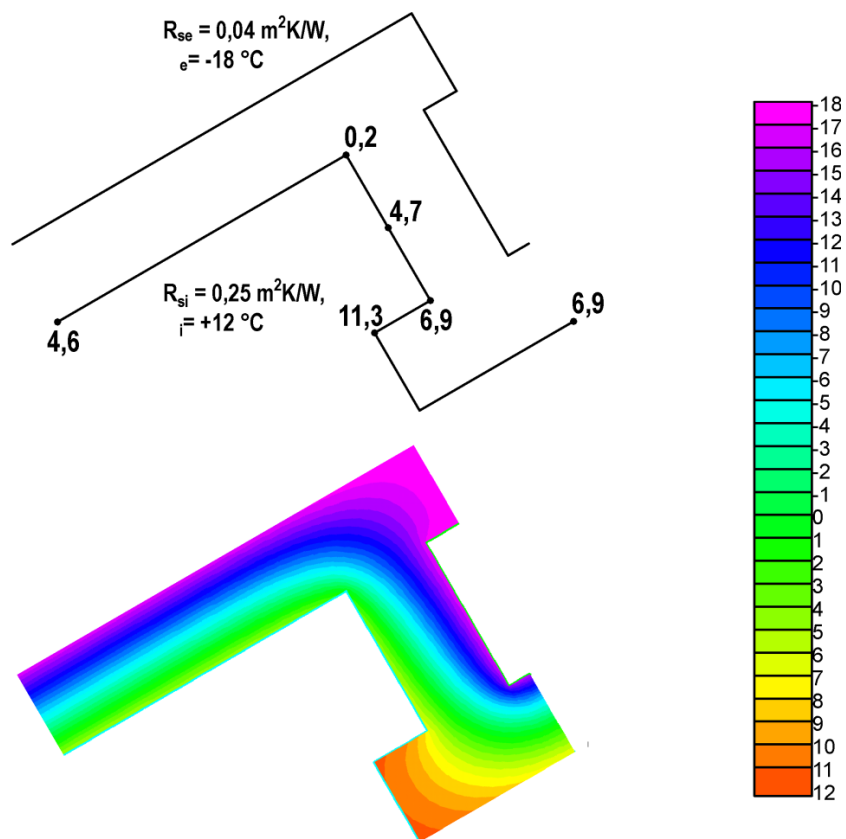
The analysis of thermal quality of the external wall

The thermal quality of the external wall was analyzed in order to determine the reasons of mold growth. The insulation rate of the external walls – $U = 0.982 \text{ W/m}^2\text{K}$ [5] – complies with the requirements which applied when the building was designed and constructed [6] The temperature on its internal surface under the calculation conditions is $\theta_{si} = 4.6^\circ\text{C}$. The temperature factor calculated acc. to PN-EN ISO 13788 [7] is $f_{Rsi} = 0.753$.

The elaborate surface of external walls generates a number of heat leakage bridges which cause changes of the temperature on the internal surface (fig. 5) In the most unfavorable place the temperature decreases to $\theta_{si} = +0.2^\circ\text{C}$, whereas $f_{Rsi} = 0.607$. The thermal quality of the building was analyzed for three cases of use:

- during services
- on weekdays (church not used)
- for critical calculation conditions.

The calculations were conducted for November $\theta_e = +1.5^\circ\text{C}$ [3] in compliance with the procedures from PN-EN ISO 13788 [7.] The value to be measured is the temperature rate f_{Rsi} for the building envelope partition, compared with the minimum value $f_{Rsi,min}$:



Rys. 5. Rozkład temperatur w węźle ściany zewnętrznej
Fig. 5. Distribution of temperatures in the external wall

$$f_{R_{si,min}} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (1)$$

gdzie: $\theta_{si,min}$ = minimalna dopuszczalna temperatura powierzchni, θ_i = temperatura powietrza wewnętrznego, θ_e = temperatura powietrza zewnętrznego dla analizowanego miesiąca.

where: $\theta_{si,min}$ = minimum acceptable temperature of the surface, θ_i = temperature of internal air, θ_e = temperature of external air for the analyzed month.

Table 2 shows the results of the calculations.

Wyniki obliczeń przedstawiono Tablicy 2.

Tab. 2. Analiza ryzyka rozwoju pleśni
Tab. 2. Analysis of risk of mold growth

Warunki użytkowania Conditions of use	Parametry powietrza wewnętrznego Parameters of internal air		$\theta_{si,min}$ [°C]	$f_{R_{si,min}}$ [-]
	Temperatura [°C] Temperature [°C]	Wilgotność względna [%] Relative humidity [%]		
Nabożeństwa Services	+17,5	95	20,3	1,175
Dzień powszedni Weekday	+10,8	75	9,9	0,903
Graniczne warunki obliczeniowe Critical calculation conditions	+12	60	7,7	0,590

Przy stwierdzonych warunkach użytkowania, w czasie nabożeństw występuje stan nasycenia pary wodnej, który skutkuje intensywną kondensacją na wszystkich powierzchniach wnętrza. W okresie

During the services in the given conditions of use the water vapor saturation occurs, which results in intense condensation on all interior surfaces. On weekdays, when the church is not used, the

przerw w użytkowaniu (dzień powszedni) następuje obniżenie wilgotności i temperatury poniżej stanu nasycenia, jednak nadal powyżej poziomu warunkującego ryzyko rozwoju pleśni. Naturalną konsekwencją zastanej sytuacji jest możliwość rozwoju grzybów pleśniowych w obiekcie. W przypadku analizowanej przegrody, rozwojem pleśni zagrożone są wszystkie wewnętrzne powierzchnie ścian. Utrzymanie granicznych warunków obliczeniowych, pozwoli uniknąć zagrożenia pleśnią.

Podsumowanie i wnioski

Analizowany kościół, stanowiący obiekt użyteczności publicznej, przeznaczony na czasowy pobyt ludzi, powinien charakteryzować się następującymi parametrami powietrza wewnętrznego:

- wilgotność względna: 40-60% [8],
- temperatura: +12°C [10].

Przeprowadzone pomiary parametrów powietrza wewnętrznego wykazują, że temperatura jest utrzymywana na właściwym poziomie, natomiast wilgotność osiąga bardzo wysokie wartości. Średnia wartość w całym okresie pomiarów wynosiła 75%, w czasie użytkowania wzrastała do 95%. Nagromadzenie wilgoci jest spowodowane okresowym użytkowaniem obiektu. Istniejący w kościele system przewietrzania nie daje możliwości usunięcia nadmiaru pary wodnej gromadzonej podczas nabożeństw niedzielnych. W związku z tym, występuje bardzo silne obciążenie wilgocią przegród, co skutkuje rozwojem grzybów pleśniowych oraz intensywnym skraplaniem się pary wodnej na powierzchniach hydrofobowych (kamienna ściana ołtarza). W przypadku tak dużego obciążenia wilgocią, izolacyjność termiczna przegród ma znaczenie drugorzędne.

Obserwowane zagrzybienia nie są efektem zastosowanych układów materiałowych w przegrodach. Izolacyjność termiczna istniejących ścian przy utrzymaniu właściwych parametrów powietrza wewnętrznego jest dostateczna do uniknięcia ryzyka rozwoju pleśni.

Dla aktualnego sposobu użytkowania kościoła głównego istniejące rozwiązanie wentylacji grawitacyjnej jest niewystarczające, co skutkuje powstawaniem zagrzybień w obszarach o zmniejszonym ruchu powietrza (narożniki, nisze, kasetony). W związku z tym, celowym wydaje się zastosowanie sterowanej wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej. Zaproponowano doprowadzenie powietrza zewnętrznego przez czerpnie wkomponowane w bryłę budynku z wykorzystaniem istniejących kanałów grzewczych oraz usuwanie zużytego powietrza przez wentylatory dachowe.

humidity and temperature decreases below saturation, however, still above the level at which the mold growth occurs. The natural consequence of that situation is the possibility of development of mold in the building. In the case of the building envelope partition which was analyzed, all interior surfaces of the walls are exposed to the development of mold. The maintenance of the critical calculation conditions should prevent the mold growth.

Summary and conclusions

The analyzed church, being a public utility building, which was designed to be used periodically by people should demonstrate the following interior air parameters:

- relative humidity: 40-60% [8],
- temperature: +12°C [10].

The measurements of the interior air parameters indicate that the temperature is maintained at the right level, whereas humidity reaches very high values. The mean value over the whole period of the measurements was 75%, which increased to 95% when the church was used. The development of moisture is caused by the periodic use of the building. The existing ventilation system in the church does not provide a possibility to remove the excess of water vapor accumulated during Sunday services. Consequently, the building envelope partitions are highly loaded with moisture, which results in the mold growth and intense condensation of water vapor on the hydrophobic surfaces (stone altar wall.) In the case of such great moisture loads the thermal insulation of the building envelope partitions is of secondary importance.

The molded places are not the result of the application of specific materials in the building envelope partitions. The thermal insulation of the existing walls is sufficient to prevent the risk of mold growth provided the right parameters of the interior air are maintained.

The existing gravity ventilation system is inefficient for the current use of the main church and it results in the development of mold in places where the air movement is reduced (corners, niches, panels.) Consequently, it seems reasonable to apply a controlled mechanical balanced ventilation system. It was suggested that the external air be supplied through intake vents incorporated into the building with the use of existing heating channels and the used air be removed through the rooftop fans.

Literatura • References

- [1] Cichowicz R., Urbaniak A., *Mikroklimat wewnątrz sakralnych*, Przegląd techniczny, Nr 26/2008, s. 17-18.
- [2] *Fizyka obiektów sakralnych*, praca zbiorowa pod red. L. Wolskiego, Sekcja Fizyki Budowli, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Łódź 2006.
- [3] Gawin D., Heim D., Kossecka E., Kośny J., Więckowska A., *Typowy rok meteorologiczny do symulacji procesów wymiany ciepła i masy w budynkach. Komputerowa fizyka budowli*, t.2. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź 2002.
- [4] PN-82/B-02020 *Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.*
- [5] PN-EN ISO 6946:2004 *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.*
- [6] PN-EN ISO 10211:2008 *Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepłe i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.*
- [7] PN-EN ISO 13788:2003 *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.*
- [8] PN-78/B-03421 *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi.*
- [9] PN-82/B-02403 *Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne.*
- [10] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2002 r. nr 75, poz. 690 z póź. zm.).*

* Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Polska
University of Technology and Life Science in Bydgoszcz, Poland

Streszczenie

Budynki sakralne są obiektami o szczególnym sposobie użytkowania. Na stosunkowo niewielkiej powierzchni gromadzi się podczas nabożeństw duża liczba wiernych. Z tego powodu powstają bardzo specyficzne wewnętrzne warunki klimatyczne. Okresowo w tego rodzaju obiektach występuje silne obciążenie wilgocią przegród, co między innymi powoduje powstanie ryzyka rozwoju pleśni. Każda epoka ma swoje rozwiązanie na usuwanie nadmiaru wilgoci. Niniejsza praca przedstawia analizę tego problemu na przykładzie współczesnego obiektu sakralnego.

Abstract

Sacred buildings are used in a special way. During the services a large number of believers gather in a relatively small space. This is the reason of formation of very specific indoor climatic conditions. The envelope of this type of building is periodically loaded with high humidity which among other things causes the risk of mold growth. Every epoch has they own solution to remove excessive moisture. This paper presents the analysis of this problem with the use of a contemporary temple as an example.