

O C H

R O N

A nr 1 Z A

B 2023 Y T

K Ö W

1 (282) LXXVI

Bogumiła J. Rouba*

Analiza klimatu w obiektach zabytkowych – kryteria oceny. Na przykładzie kościoła w Skępem

Climate analysis in historic buildings – evaluation criteria. Based on the example of the church in Skępe

Bogumiła J. Rouba, *Analiza klimatu w obiektach zabytkowych – kryteria oceny. Na przykładzie kościoła w Skępem*, „Ochrona Zabytków” 2023, nr 1, s. 193–228.

Abstrakt

Parametry klimatu otaczającego zabytki mają podstawowe znaczenie dla ich stanu zachowania oraz szybkości przebiegu procesów niszczenia budującej je materii. Kontrola parametrów klimatu nie jest dziś problemem, trudne jest natomiast prawidłowe zinterpretowanie wyników pomiarów i przełożenie ich na wnioski użyteczne w praktyce ochrony zabytków. Celem tej publikacji jest tworzenie rodzaju przewodnika ułatwiającego dokonanie analizy klimatu w obiekcie zabytkowym. Jako narzędzia do analizy klimatu zastosowane zostały wprowadzone już przed kilku laty kryterium oceny jego stabilności oraz nowe narzędzie – kryterium oceny bezpieczeństwa wilgotnościowego obiektu. Taki sposób analizy pozwala nie tylko stwierdzić ewentualne nieprawidłowości, ale także ustalić ich przyczyny. Dopiero zaś ustalenie przyczyn umożliwia świadome dokonywanie korekt klimatu. Ma to istotne znaczenie dla kształtowania warunków klimatycznych w muzeach, ale przede wszystkim dla ogromnego zasobu dóbr kultury, które są i będą poza zasięgiem profesjonalnej opieki muzealnego konserwatora, dla ich gospodarzy, opiekunów, także dla służb konserwatorskich podejmujących decyzje o np. ewentualnym montażu ogrzewania w zabytkowych kościołach. Projekt ogrzewania zawsze powinien być poprzedzony dokładnym rozpoznaniem klimatu wnętrza po to, aby móc wybrać taki typ ogrzewania, który nie będzie destabilizował klimatu, przez to przyspieszając procesy niszczenia.

* Katedra Konserwacji-Restauracji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej – em.
Wydział Sztuk Pięknych
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
ORCID: 0000-0002-1426-7916
e-mail: bogumila.rouba@umk.pl

Słowa kluczowe

klimat, klimat w otoczeniu dzieł sztuki, zabytki, analiza klimatu, ocena klimatu

Abstract

The climatic parameters of the surroundings of monuments are of fundamental importance to their state of preservation and also to the rapidity of the processes that cause deterioration and decay in the building materials from which they are made. Nowadays, controlling climatic parameters is no longer a problem; however, it is difficult to accurately assess the findings and then to formulate them as conclusions that are useful for monument conservation practices. The aim of this article is to compile a 'guide' of sorts to facilitate analysing the impact of climate change on historic buildings. A criterion for evaluating their stability – introduced several years ago – and a new tool – the criterion for evaluating the object's safe relative humidity level – have been used as tools in climate analysis. This method of analysis makes it possible not only to identify possible irregularities, but also to determine their causes. It is only possible to make informed adjustments to the climate once the causes have been identified. This is of vital importance for creating environmental conditions in museums, but above all for the huge stock of cultural assets which are and will be beyond the reach of a professional museum conservator, for their hosts, caretakers, and also for the conservation services that make the decisions about, for example, the possible installation of heating in historic churches. Any heating project should always be preceded by a comprehensive examination of the interior climate in order to be able to choose a type of heating that will not destabilize the environment and thus accelerate the deterioration processes.

Keywords

climate, climate surrounding works of art, monuments, climate analysis, climate assessment

Wprowadzenie

Zagadnienia klimatu w obiektach zabytkowych opisywałam wielokrotnie. Każda z wcześniejszych publikacji, a zwłaszcza ostatnie¹, była próbą przenoszenia zebranych dotychczas obserwacji do praktyki. Doświadczenia wynikające z badań klimatu w wielu obiektach zabytkowych porządkowałam w formie praktycznych wskazań, przydatnych zarówno dla opiekunów obiektów zabytkowych, muzealników, księży, jak i dla np. projektantów systemów grzewczych. Obecna publikacja powstaje, ponieważ wprowadzam jeszcze jedno narzędzie oceny klimatu.

Dziś dzięki dostępności urządzeń pomiarowych nie jest wielkim problemem samo zebranie danych o parametrach klimatu, ale już ich prawidłowe zinterpretowanie i przełożenie na wnioski może być dla wielu osób trudne. Celem tej publikacji jest więc tworzenie rodzaju „przewodnika”

¹ Zagadnienie wpływu klimatu na zabytki opisywałam w wielu publikacjach – między innymi: Bogumiła J. Rouba, *Zagadnienia klimatu a bezpieczeństwo zbiorów*, [w:] *Problemy muzeów związane z zachowaniem i konserwacją zbiorów. VI Międzynarodowa Konferencja Konserwatorska, Szreniawa, 9–10 października 2014*, red. Lidia Staniek, Paulina Kryg, Przemysław Jankowski, Szreniawa 2015, s. 191–208. Także w pracach: eadem, *Badania klimatyczne*, [w:] *Gotyckie malowidła ściennie w kościele św. Jakuba w Toruniu. Problematyka badawczo-konserwatorska*, red. Michał Woźniak, Toruń 2001, s. 131–151; eadem, *Badania klimatyczne a problematyka konserwatorska*, [w:] *Od badań do konserwacji. Materiały z konferencji 23–24 października 1998 r.*, Toruń 2002, s. 193–198; i inne. Zagadnienia klimatu, zawilgoceń oraz ochrony przed ich szkodliwym działaniem omawiam szeroko w książce: eadem, *Pielęgnacja świątyni i innych zabytków. Książka nie tylko dla księży*, Toruń 2014. Także najnowsze prace: eadem, Magdalena Kapka, *Pomiary parametrów klimatu w gotyckim kościele*, [w:] *Kościół Podwyższenia Krzyża Świętego w Przecznie. Wystrój i wyposażenie*, red. Krystyna Sulowska-Tuszyńska, ks. Wacław Dokurno, Przeczno–Toruń 2019, oraz Bogumiła J. Rouba, *Ogrzewanie – problem opiekuna kościoła*, materiał niepublikowany, przekazany Radzie ds. Kultury i Ochrony Dziedzictwa Kulturowego Konferencji Episkopatu Polski do udostępniania zainteresowanym księżom 10 października 2019 roku, dostępny w Internecie <http://www.wuoz.malopolska.pl/wp-content/uploads/2019/09/Ogrzewanie-problem-opiekuna-kościoła-ko-C5%9Bcio%C5%82a.pdf> (dostęp: 22.07.2023); eadem, *Ogrzewanie – problem opiekuna kościoła*, [w:] *Sanktuarium Matki Bożej Pocieszenia w Leżajsku*, red. Aleksander Krzysztof Sitnik OFM, Agata Dworzak, Kalwaria Zebrzydowska 2020, s. 877–902.

ułatwiającego dokonanie analizy klimatu w obiekcie zabytkowym i ustalenie *przyczyn* jego ewentualnych nieprawidłowości po to, by móc świadomie dokonać korekt.

Głównie dzięki pracy muzealników w ostatnich latach wiedza na temat bezpieczeństwa, także klimatycznego, zbiorów została poszerzona, uporządkowana, udostępniona², jednak pozostaje jeszcze ogromny zasób dóbr kultury, które są i będą poza zasięgiem profesjonalnej opieki. Dla ich opiekunów, także dla służb konserwatorskich podejmujących decyzje o np. montażu ogrzewania w zabytkowych kościołach, zasób wiadomości o możliwościach oceny klimatu ma duże znaczenie.

Każdy budynek historyczny ma swój własny naturalny mikroklimat wynikający z usytuowania i warunków w otoczeniu, cech architektury, użytych materiałów budowlanych i wykończeniowych. Czynniki te decydują o tym, w jakim stopniu zmienność parametrów klimatu zewnętrznego w określonych porach roku jest niwelowana i „wygładzana” przez budowlę, a w jakim wpływa na parametry powietrza w jego wnętrzu. Na naturalny mikroklimat ma również wpływ sposób sprawowania nad budynkiem bieżącej opieki, jakość prac remontowych, rodzaje użytych współcześnie materiałów itp. Naturalny mikroklimat jest zmieniany w wyniku określonego sposobu użytkowania, zwłaszcza w wyniku ogrzewania.

Kontrola klimatu jest ważna, ponieważ to właśnie od niego zależą losy samego obiektu i jego wyposażenia, także zdrowie ludzi w nim mieszkających, pracujących, przebywających. Nieprawidłowości klimatu przyspieszają procesy niszczenia, czasem wręcz prowadzą do katastrofy. Przyspieszanie niszczenia zachodzi zarówno w warunkach dominacji zbyt wysokich, jak i zbyt niskich wartości wilgotności względnej powietrza, szczególnie jednak w warunkach niestabilności, czyli częstych zmian parametrów klimatu. Skutkiem nierównowagi i niestabilności klimatu jest prowokowanie tzw. pracy materiałów – zmian objętościowych materiałów higroskopijnych, ale także tworzenie warunków sprzyjających atakowi biologicznemu.

Typowe objawy nierównowagi klimatycznej to zacieki w postaci strug po wodzie kondensacyjnej spływającej po ścianach, widoczne zwłaszcza pod oknami. Na powierzchniach obrazów na podłogach płóciennych widoczne charakterystyczne deformacje reliefowe, girlandowe, obwisnięcia dolnych części obrazów, a na obrazach na płótnie przymocowanym do deski – fałdy zgodne z kierunkiem włókien drewna (fot. 1, 2). Zbielenie i utrata przejrzystości werniksów (tzw. ślepienie), „pudrowanie”³ się malowideł ściennych, podobnie jak aktywne żerowiska kołatków (*Anobium*) – sygnalizują złe przewietrzanie i okresowo występujące bardzo wysokie wartości wilgotności względnej powietrza, z incydentami kondensacji włącznie. Z kolei obecność charakterystycznych „daszkowatych” pęcherzy na powierzchniach obrazów na deskach lub polichromiach rzeźb, spowodowanych skurczem przesuszonego podłoża, jednoznacznie mówi o okresach zbyt niskiej wilgotności powietrza (fot. 3, 4, 5). Przegrzewanie przestrzeni strychowej (np. blaszany dach i stale zamknięte okienka wentylacyjne) wybitnie sprzyja inwazji spuszczeła (*Hylotrupes bajulus*) w belki więźby dachowej.

Kondycja wyposażenia w zabytkowym wnętrzu wiele nam mówi o jego klimacie, bo zawsze jest ona wynikiem oddziaływania klimatu. Częste wahania parametrów klimatu są odpowiedzialne za pęknięcie drewna rzeźb, ołtarzy, mebli, ale również drewnianych konstrukcji, np. dachowych. Inne skutki to: nieodwracalne zniszczenia złączy zabytkowych boazerii i stropów, deformacje intarsji, osłabienie spójności i łuszczenie się warstw polichromii, wymalowań lub polichromii ściennych, plamy i przebarwienia na ścianach, wykwyty soli, ogniska grzybów pleśniowych, charakterystyczny zapach grzyba, czynne żerowiska owadów itp. (fot. 6).

² „Ochrona Zbiorów”, seria wydawnicza Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów; w tym Janusz Czop, *Warunki mikroklimatyczne w muzeach – nowe rekomendacje*, [w:] *ABC profilaktyki konserwatorskiej*, seria: „Ochrona Zbiorów”, z. 3, Kraków 2013, s. 35–43, https://nimos.pl/files/publications/25/Konserwacja_ABC_wydanie%20pierwsze_ochrona%20zbiorow.pdf (dostęp: 22.07.2023); także Anna Charkowska, *Warunki środowiskowe w salach wystawowych i magazynach muzeów*, „Instal” 2020, nr 3, s. 26–31, DOI: 10.36119/15.2020.3.3.

³ Pudrowanie się i osypywanie luźnych cząstek pigmentów malarskich jest najczęściej wynikiem ubytku spoiwa malarskiego, zjedanego przez mikroorganizmy rozwijające się na powierzchni malowideł w warunkach wysokiej wilgotności powietrza.



1 Obraz z przedstawieniem św. Ludwika d'Anjou z klasztoru oo. Franciszkanów w Pakości, XVIII w., wymiary 208 × 73 cm, Anna Maćkowiak, *Portret Świętego Ludwika d'Anjou*, Toruń 2011, praca dyplomowa pod kierunkiem Bogumiły J. Rouby i Ludmiły Tymińskiej-Widmer, UMK, Wydz. Sztuk Pięknych, Biblioteka Katedry Konserwacji-Restauracji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej, nr inw. ZKMiRzP 1416. Obraz olejny na płótnie, nabity na deskę, od lica przybita rama, pierwotnie drewnianymi kołeczkami, wtórnie wzmocniana wieloma gwoździami. Pofałdowania są typowym skutkiem pracy panelu drewnianego, który pęczniejąc w okresach wzrostów wilgotności, silnie rozciągał płócienne podłoże malowidła. W okresach spadków wilgotności drewno zmniejszało swoje wymiary, natomiast płótno tylko w niewielkim stopniu było w stanie się obkurczać. W rezultacie po wielu powtórzeniach tego procesu płótno zostaje trwale rozciągnięte, wybudowując z czasem charakterystyczne fałdy, zawsze biegnące równolegle do włókien drewna. Fot. B. J. Rouba

Painting with a likeness of Saint Louis of Anjou from the Franciscan monastery in Pakość, 18th c., 208 × 73 cm, Anna Maćkowiak, *Portrait of Saint Louis of Anjou*, Toruń 2011, diploma dissertation under the direction of Bogumiła J. Rouba and Ludmiła Tymińska-Widmer, Nicolaus Copernicus University, Department of Fine Arts, Library of the Faculty of Conservation and Restoration of Art and Polychrome Sculpture, inv. no. ZKMiRzP 1416. Oil painting on canvas, nailed on panel, with the frame, originally with wooden dowels, fixed to the front, later reinforced with a large number of nails. The undulations are a typical result of the wood panel, which swelled during periods of rising humidity, stretching the canvas support of the painting. During periods of decreasing humidity, the wood shrank, while the canvas was only able to shrink minimally. As a result, after many repetitions of this process, the canvas became permanently stretched, building up characteristic folds over time, always running parallel to the wood fibres. Photo B. J. Rouba

2 Fragment tego samego obrazu podczas pierwszego etapu prac – demontażu ramy i usuwania wtórnych wzmocnień dziesiątkami gwoździ. Fot. B. J. Rouba

A fragment of the same painting during the first stage of work – dismantling the frame and removing the secondary reinforcements consisting of dozens of nails. Photo B. J. Rouba

Opisane powyżej objawy widoczne w makroskali są następstwem procesów, które w mikroskali toczą się niekiedy całymi latami. W złożonych strukturach materii budującej obiekty zabytkowe i dzieła sztuki mamy do czynienia z następstwami wzajemnego oddziaływania na siebie materiałów o zróżnicowanych właściwościach, przede wszystkim zaś z następstwem faktu, że materiały, zwłaszcza higroskopijne (jak np. drewno), zgodnie z zasadą stałej dążności materii do wyrównywania stanu – stężeń, ciśnień, temperatury itd., nieustannie pochłaniają lub oddają wodę w zależności od własnej budowy i cech oraz warunków panujących w ich otoczeniu, a to prowadzi do zmian objętościowych i ich określonych skutków. Zmiany objętości – nawet niewielkie, ale powtarzające się setki razy – sprawiają, że w pewnym momencie wytrzymałość



materii spada do stanu krytycznego. Mechanizm kumulowania mikrourazów obserwujemy nie tylko jako skutek działania wahań klimatu, ale w zasadzie wszystkich czynników odpowiedzialnych za niszczenie materii. Dodatkowym zagrożeniem są zjawiska synergii, objawiające się np. wzmożonym oddziaływaniem światła, ciepła, zanieczyszczeń powietrza w warunkach nadmiernie podwyższonej wilgotności, ale także – powodującego groźne konsekwencje – okresowego przesuszania. Świadomość, że każda, nawet bardzo drobna zmiana klimatu wywołuje naprężenia, siły i w rezultacie mikrourazy, powinna zobowiązywać nas do przyjęcia strategii minimalizowania, a najlepiej eliminacji niestabilności warunków klimatycznych. W praktyce bowiem, zgadzając się na niestabilność klimatu, zgadzamy się na skrócenie czasu „życia” dzieł sztuki, przedmiotów zabytkowych, skarbów, które przecież mamy chronić.

Rozpoznając klimat w budynku historycznym, staramy się ocenić trzy aspekty – uwarunkowania samej budowli wynikające z użytych materiałów i oddziaływania otoczenia, wpływ sposobu użytkowania oraz wpływ sposobu wentylacji i ogrzewania.

Metodyka badań

Pomiary wykonuje się przy pomocy termohigrometrów (rejestratory wilgotności względnej powietrza i jego temperatury) oraz rejestratora z czujnikiem pirometrycznym do badania temperatury powierzchni materiałów. Stała rejestracja temperatury powierzchni np. ściany w miejscu, gdzie możemy spodziewać się okresowej kondensacji, jest celowa, jednak nie zawsze jest konieczna. Można ten pomiar wykonywać okresowo, co pozwala na posłużenie się tańszym miernikiem ręcznym, ale absorbuje nieco więcej czasu. Czujniki termohigrometryczne zbierające dane automatycznie powinny mieć interwał pomiarowy ustawiony co pięć minut. Jest to czas optymalny, pozwala bowiem na wychwycenie i interpretację ważnych zjawisk, np. obserwacja, co dzieje się z wilgotnością powietrza tuż po zakończeniu ostatniej mszy i zamknięciu kościoła, mówi nam, czy jest on prawidłowo wentylowany, czy nie. Podobnie ważna jest obserwacja głębokości i tempa zmian klimatu w muzeum po wyjściu ostatnich gości i pracowników. Istotne znaczenie ma także możliwość precyzyjnej oceny wpływu zmian parametrów powietrza na zewnątrz na to, co dzieje się we wnętrzu. Stosowany niekiedy dłuższy (np. godzinny) interwał pomiarowy nie daje niestety takich możliwości. Przy krótkim interwale pomiarowym jedynym utrudnieniem jest bardzo duża



3 Rzeźba przedstawiająca św. Rocha, przechowywana od stuleci w niewielkiej, nieogrzewanej kaplicy, została wypożyczona na wystawę. Na fotografii wykonanej w roku 2012 w muzeum, widać jej jeszcze wtedy bardzo dobry stan. Fot. A. Kobyliński

Sculpture depicting St Roch, stored for centuries in a small, unheated chapel, was loaned for the exhibition. A photo taken in 2012 at the museum shows it still in very good condition at the time. Photo A. Kobyliński

4 Rzeźba przedstawiająca św. Rocha – po wystawie nie powróciła od razu do kaplicy, lecz aż do lutego 2014 roku była przechowywana w ciepłym wnętrzu mieszkalnym. Następstwem było przesuszenie i silny skurcz drewna. Fot. A. Kobyliński

Sculpture depicting St Roch – after the exhibition it was not returned immediately to the chapel, but was stored in the warm interior of the apartment until February 2014. The consequence was the over-drying and severe shrinkage of the wood. Photo A. Kobyliński

5 Rzeźba przedstawiająca św. Rocha – w wyniku zmniejszenia objętości drewna zaczyna „brakować” podłoża dla polichromii, która zostaje oderwana i oddzielona od rzeźby. W tym stanie każde najlżejsze dotknięcie może spowodować jej osypanie, a niekiedy nawet bez dotknięcia spada ona pod własnym ciężarem. Fot. A. Kobyliński

Sculpture depicting St. Roch – as a result of the reduction in the volume of the wood, the polychrome loses the support on which it was painted and becomes detached and separates from the sculpture. In this state, the lightest of touches can cause it to flake, and sometimes even without being touched, it starts to flake under its own weight. Photo A. Kobyliński



6

Ściana kościoła pokryta koloniami grzybów pleśniowych. Na ich rozwój wpłynęło kilka czynników – klimat kościoła destabilizowany nieciągłym ogrzewaniem, okresy bardzo wysokiej wilgotności wynikającej między innymi z zamknięcia jedyne go otworu wentylacyjnego w sklepieniu i błędów w sposobie wietrzenia. Podczas remontu zawilgoconego kościoła (1999 r.) skuto tynki wewnętrzne do wysokości 3,5 m, a następnie po około pięciu miesiącach „suszenia” ściany zostały powierzchniowo zaimpregnowane preparatem o nazwie „Izomur” i pokryte tynkiem wapiennym z dodatkiem Izomuru do jego masy. Działanie przeciwwilgociowe tego preparatu polega na hydrofobizacji. W praktyce jest to równoznaczne z wykonaniem izolacji pionowej. Po wyschnięciu tynki zostały wyszpachlowane i pomalowane farbą emulsyjną. Przez kolejne lata zawilgocenie ścian nie było widoczne. Około roku 2012 zaczęły już jednak pojawiać się oznaki wilgoci. Zniszczenia z roku na rok się pogłębiają, sprzyja im bowiem mikrobiologiczna nieodporność farb użytych do malowania wnętrza oraz hydrofobowość tynków, na których dochodzi do kondensacji wody. Fot. K. Malajka, 2018

Church wall covered with colonies of mould. Several factors have contributed to their growth – the climate of the church destabilized due to intermittent heating, periods of very high humidity resulting, among other things, from the closure of the only ventilation hole in the vault and errors in the method of ventilation. During the renovation of the humid church (1999), the interior plaster was removed to a height of 3.5 m and then, after being left to ‘dry’ for about five months, the walls were impregnated with a preparation called ‘Izomur’ and covered with lime plaster with the addition of Izomur. The anti-humidity effect of this preparation is hydrophobization. In practice, this is equivalent of vertical insulation. After drying out, the surface was plastered and painted with emulsion paint. Over the following years, the damp in the walls was not visible. Around 2012, however, signs of moisture began to appear. The damage is getting worse every year, encouraged by the microbiological non-resistance of the paints used to paint the interior and the hydrophobic nature of the plaster, on which water condenses. Photo K. Malajka, 2018

liczba danych i problem ich gromadzenia i przechowywania. Podczas obróbki danych, np. przy tworzeniu zbiorczych wykresów, z części z nich można, a nawet trzeba zrezygnować, ale już przy tworzeniu „zbliżeń” do interpretacji ekstremalnych zjawisk pełne dane są konieczne.

Wybierając miejsca lokalizacji czujników, warto kierować się zasadą, że jedno ze stanowisk powinno być reprezentatywne dla klimatu całego wnętrza (np. na ambonie, na baldachimie konfesjonau), drugi miernik lub kolejne mogą kontrolować warunki np. w otoczeniu najcenniejszych obiektów, w bocznych kaplicach lub niedaleko grzejnika, jeśli chcemy sprawdzić, jak ogrzewanie

zmienia klimat wnętrza itp. Mierniki powinny być tak ulokowane, by nie były dostępne dla przypadkowych osób, które tylko przez niewinne pooglądanie są w stanie zakłócić pomiar. Czujniki powinny być zlokalizowane w takich miejscach, by nie padały na nie bezpośrednio promienie słoneczne, zwłaszcza czujnik zewnętrzny najlepiej zawiesić od strony północnej.

Dane do oceny klimatu

W najprostszej, najbardziej skróconej wersji pomiarów do oceny klimatu konieczny jest:

- zapis całorocznych (lub przynajmniej z wybranych okresów)⁴ parametrów klimatu wewnętrznego, w zależności od wielkości monitorowanego obiektu mierzonych czujnikami umieszczonymi w jednym lub kilku wybranych punktach;
- zapis całorocznych (lub przynajmniej z wybranych okresów) parametrów klimatu zewnętrznego, traktowany jako tło do interpretacji klimatu wnętrza;
- wyniki pomiarów temperatury przegród (pirometr) wraz z analizą prawdopodobieństwa i częstotliwości występowania kondensacji.

Do oceny klimatu konieczne są także kilkakrotnie powtórzone w różnych warunkach pogodowych:

- pomiary prędkości przepływów powietrza, dla ustalenia, czy obiekt jest prawidłowo wentylowany;
- pomiary gradientu pionowego temperatury.

Jeśli charakterystyczne zniszczenia każą sądzić, że nieprawidłowości klimatu są następstwem zawilgocenia, to wtedy konieczne są:

- pomiary wysokości poziomu gruntu w stosunku do wysokości posadzki;
- pomiary wilgotności murów obiektu i wysokości strefy zawilgocenia;
- przynajmniej orientacyjna ocena zasolenia murów obiektu⁵.

Zakres badań klimatu można oczywiście poszerzać np. o analizę wilgotności bezwzględnej powietrza, wpływ ciśnienia i szereg innych parametrów, jednak staranne prześledzenie dobowych amplitud, powiązanie ich ze zjawiskami pogodowymi zachodzącymi na zewnątrz i wydarzeniami we wnętrzu oraz ocena bezpieczeństwa wilgotnościowego pozwalają uzyskać informacje wystarczające zwykle do dokonywania świadomych korekt i stabilizacji klimatu.

Podczas badań klimatu, podobnie jak podczas badań zawilgocenia, bardzo dobrym wsparciem jest wykonanie zdjęć kamerą termowizyjną, pozwalających na szybkie zidentyfikowanie newralgicznych miejsc w budowlu, np. miejsc uciekania ciepła (mostków cieplnych) czy miejsc zawilgoconych.

Opracowanie danych

Wykresy

Zebrane dane dotyczące parametrów powietrza, ewentualnie także dane z pirometru obrabiamy albo w firmowym programie producenta czujników, albo w arkuszach Excela, jeśli istnieje możliwość ich eksportowania do tego programu. W pierwszej kolejności generujemy wykresy. Powinny one

⁴ Jeśli nie ma możliwości przeprowadzenia całorocznych pomiarów, to powinno się je zaplanować tak, żeby dane zebrać z okresów najtrudniejszych – grudzień, styczeń, w kościołach ze szczególnym uwzględnieniem okresu świąt Bożego Narodzenia. Marzec i kwiecień to miesiące, w których istnieje duże prawdopodobieństwo zjawisk kondensacji – w kościołach ważne są pomiary w okresie Wielkanocy. Pomiary w czerwcu, lipcu i sierpniu dają najbardziej obiektywny obraz własnego mikroklimatu budynku. W obiektach ogrzewanych bardzo ważną jest obserwacja początku sezonu grzewczego, a potem okresu dużych mrozów, ze względu na problemy ze zbyt niską wilgotnością względną powietrza.

⁵ Dokładny opis metodyki rozpoznawania zawilgocenia znajduje się w publikacji: Wojciech Eckert et al., *Optymalizacja metod konserwacji. Zagadnienie nierównowagi wilgotnościowej w obiektach zabytkowych*, red. Bogumiła J. Rouba, Warszawa 2022, https://ksiegarnia.nid.pl/wp-content/uploads/2022/12/Optymalizacja-metod-konserwacji_www.pdf (dostęp: 22.07.2023).

obejmować dłuższe okresy badawcze, co pozwala interpretować ogólną charakterystykę klimatu w obiekcie, miesięczne okresy, co z kolei wprowadza pewien porządek do analizy wyników, ale konieczne są także „zbliżenia” – wykresy pokazujące wybrane dni, w których zaistniały ekstrema klimatyczne. Pozwala to w większości przypadków ustalić przyczynę ich występowania. Na wykresach zestawiamy zawsze krzywe klimatu zewnętrznego i wewnętrznego, co z kolei pozwala niemal jednym rzutem oka ocenić wzajemne zależności – ustalić, czy i jak szybko zmiany klimatu na zewnątrz wpływają na klimat wnętrza. Na wykresach można wprowadzać tzw. progi – linie, które wyznaczają przedział wartości optymalnych. Taka praktyka jest powszechna w muzeach, gdzie codzienny monitoring ma dać szybką odpowiedź na pytanie, czy założone parametry klimatu są spełniane, czy nie. Natomiast podczas rozpoznającego badania klimatu w kościołach lub innego typu obiektach zabytkowych dekretowanie progów nie jest wskazane, ponieważ kieruje nasze myślenie nie na ocenę rzeczywistych właściwości klimatycznych obiektu, ale na ustalenie, czy klimat spełnia z góry założone normy, czy od nich odbiega. Jeśli przyjęlibyśmy progi, badając np. klimat budowli fortecznej, to temperatura ok $+12^{\circ}\text{C}$, panująca w jej wnętrzu przez cały rok, byłaby trudna do pogodzenia z normą muzealną, gdy tymczasem dla określonego typu obiektów klimat kazamatów może być wręcz idealny. Zdefiniowanie zalecanych wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza powinno się pojawić jako praktyczne narzędzie wspomagające opiekuna obiektu, ale dopiero po naszych badaniach, po dogłębnym rozpoznaniu własnego mikroklimatu obiektu, także po dokonaniu konserwatorskiej oceny stanu zachowania i samego obiektu, i jego wyposażenia oraz znalezieniu korelacji między klimatem a stanem zachowania. Nim będziemy mogli w sposób uprawniony rekomendować progi bezpiecznego klimatu dla danego obiektu, najpierw musimy go przeanalizować zarówno pod kątem stabilności, jak i bezpieczeństwa wilgotnościowego.

Ocena wg kryterium stabilności klimatu

Z zebranych danych obliczamy dobowe amplitudy temperatury (ΔT) oraz dobowe amplitudy wilgotności względnej powietrza (ΔRH).

Zestawienie dobowych amplitud temperatury i wilgotności względnej powietrza z wyliczeniem procentu dni w ciągu roku o określonych amplitudach pozwala nam ocenić najważniejszy z punktu widzenia ochrony zabytkowej materii parametr, jakim jest stabilność klimatu. Podczas analizy amplitud należy zwrócić uwagę na dynamikę zmian i ją odnotować.

W tym miejscu konieczne jest zastrzeżenie – w niektórych opracowaniach naukowych do oceny klimatu przyjmuje się średnie dobowe temperatury i wartości RH. Ten system analizowania klimatu ułatwia pracę wykonującego pomiary, jest więc wygodny, ale niestety nie ma odpowiedniego przełożenia na możliwości oceny bezpieczeństwa obiektów zabytkowych. Nie uwzględnia on doświadczeń konserwatorskich opisywanych w literaturze już od lat 80.⁶, wskazujących, że to nie średni dobowy klimat, lecz jego skrajne wartości i szybkość ich zmian zachodzących w czasie mają podstawowe znaczenie dla stabilności wymiarowej materii budującej zabytki, a co za tym idzie, dla przebiegu procesów ich destrukcji. System analizy średnich dobowych wartości klimatu spłaszcza informacje, czyniąc je wręcz bezużytecznymi dla oceny wpływu na materię zabytków. Zupełnie inną jakość bezpieczeństwa dzieł sztuki dadzą warunki, gdzie dobowa średnia wynosi 60% RH ustalona ze skrajnych wartości 50% i 70%, a zupełnie inna jest sytuacja, gdy ta sama średnia wynikać będzie ze skrajnych parametrów 58% i 62%. W pierwszym przypadku ΔRH wynosi aż 20%, co kwalifikuje klimat w otoczeniu dzieł sztuki jako „ekstremalnie zły”, niszczący. W drugim przypadku 4% ΔRH oznacza stabilność klimatu odpowiadającą kryterium „klimatu idealnego”. Analogiczny problem dotyczy oceny temperatury, gdzie jedynie obraz dobowych

⁶ Historia badań reakcji obrazów na płótnie na zmienne warunki klimatyczne, a także wyniki badania naprężeń powstających w płótnach rejestrowanych metodą OCT, opisana została w publikacji: Teresa Łękawa-Wysłouch, Bogumiła J. Rouba, *Ocena wpływu zmiennych warunków klimatycznych na płócienne podłoża malarskie*, Toruń 2012, https://apcz.umk.pl/AUNC_ZiK/article/view/AUNC_ZiK.2012.013/3044 (dostęp: 22.07.2023).



7

Zdjęcie fragmentu metalowych drzwi jednego z budynków uniwersyteckich wykonane 1 marca 2011 roku. W lecie poprzedniego roku drzwi były odnawiane – oczyszczone i pomalowane. W dniu 28 lutego w Toruniu (stacja Wrzosy) o godz. 13 temperatura powietrza wynosiła $0,3^{\circ}\text{C}$, a od godz. 14 zaczęła powoli spadać poniżej zera, by najniższą wartość, $-10,7^{\circ}\text{C}$, osiągnąć o godz. 6 rano 1 marca. Natomiast Obserwatorium Meteorologiczne UMK odległe praktycznie o 300 m od drzwi odnotowało lokalnie łagodniejsze warunki – między godz. 4 a 7 rano utrzymywała się najniższa w tym miejscu temperatura, mierzona na wysokości 2 m, odpowiadającej miejscu uszkodzenia: $-8,4^{\circ}\text{C}$. Spadek temperatury nie miał charakteru gwałtownego, mróz nie miał wartości ekstremalnych, a mimo to doszło do powstania naprężeń o sile wystarczającej do oddzielenia warstwy wymalowania od podłoża w ciągu tylko jednej nocy. Wystąpieniu tego zjawiska mogło sprzyjać wiele czynników (np. nieodpowiednia adhezja warstwy wymalowania, złe odtłuszczenie podłoża itp.), ale czynnikiem, który uruchomił mechanizm destrukcji, były niewątpliwie zmiany wymiarowe i naprężenia międzywarstwowe wywołane spadkiem temperatury. Fot. B. J. Rouba

Photo of a section of a metal door of one of the university buildings taken on 1 March 2011. In the summer of the previous year, the door had been renovated – cleaned and painted. On 28 February, the air temperature in Toruń (Wrzosa station) was $0,3^{\circ}\text{C}$ at 1 p.m., and from 2 p.m. it began to slowly drop below zero to reach its lowest level, $-10,7^{\circ}\text{C}$, at 6 a.m. on 1 March. On the other hand, the Meteorological Observatory of the University of Nicolaus Copernicus, no more than 300 m away from the door, recorded milder conditions locally – between 4 and 7 a.m., the lowest temperature at this location, measured at a height of 2 m, corresponding to the damage site, was $-8,4^{\circ}\text{C}$. The drop in temperature was not sharp, the frost was not extreme, and yet the stresses were sufficiently strong to cause the paint layer to separate from the surface in just one night. This could have been triggered by a number of factors (e.g. inadequate adhesion of the paint layer, poor degreasing of the metal, etc.), but the factor that triggered this destruction was undoubtedly the changes in dimensions and the stresses occurring between the layers caused by the drop in temperature. Photo B. J. Rouba

amplitud i czasu, w jakim zachodzą zmiany, pozwala ocenić jej bezpieczeństwo. Przestrzec należy przed ignorowaniem wpływu zmian temperatury, zwłaszcza szybkich, na stan obiektów zabytkowych (fot. 7). Przy systemie długich interwałów rejestracji parametrów powietrza i obliczaniu średniej dobowej temperatury nie można np. dostrzec mechanizmu destabilizacji klimatu przez nadzwyczaj szkodliwe ogrzewanie nadmuchowe – włączane tuż przed mszą gwałtownie podnosi temperaturę, a po jego wyłączeniu zachodzi proces odwrotny, powiązany oczywiście ze zmianami wilgotności powietrza w kościele.

Narzędzie do oceny stabilności klimatu stanowią warunki ustalone na podstawie wcześniejszych badań klimatu wielu kościołów i zawarte w tabeli poniżej:

Tabela 1. Wzorzec oceny wg kryterium stabilności klimatu

Table 1. Template for the assessment pattern by climate stability criteria

Wartości dobowych amplitud temperatury powietrza (ΔT) ⁷	Charakterystyka klimatu	Wartości dobowych amplitud wilg. wzgl. powietrza (ΔRH)
<1°C	klimat idealny	<5% RH
1–2°C	dobry	5–7,5% RH
2–3°C	mniej niż dobry	7,5–10% RH
3–5°C	niebezpieczny	10–15% RH
5–10°C	zły	15–20% RH
>10°C	ekstremalnie zły	>20% RH

Podstawą opracowania tego narzędzia były od wielu lat prowadzone badania klimatu w kościołach różnych typów, także w muzeach, ale przede wszystkim ocena stanu wypełniających je dzieł sztuki, zawsze ściśle zależna od warunków w otoczeniu. Wzorzec warunków idealnych stanowi klimat gotyckich olbrzymich kościołów ceglanych. Badania prowadzone jeszcze w latach 90. w toruńskim kościele św. Jakuba pokazały, że aż 75% dni w roku w tym kościele charakteryzował taki właśnie idealnie stabilny klimat⁸. Nic więc dziwnego, że dzieła sztuki znajdujące się od średniowiecza we wnętrzach takich kościołów są do dziś w zadziwiająco dobrym stanie. Natomiast im więcej dni z wyższymi amplitudami wahań klimatu, tym gorsze warunki i tym szybciej zachodzą procesy niszczenia. Skrajny przykład mogą stanowić losy ołtarzy i obrazów, których warunki przechowywania zostały drastycznie zmienione przez wprowadzenie ogrzewania do gotyckich kościołów (fot. 8 i 9).

Ocena wg kryterium bezpieczeństwa wilgotnościowego

Narzędziem do analizy i oceny bezpieczeństwa wilgotnościowego jest proste obliczenie procentu czasu pomiarowego o określonej wilgotności powietrza i odniesienie procentu czasu o optymalnej wilgotności do pozostałych wielkości. Pozwala to ustalić, czy mamy do czynienia z przewagą wysokich wilgotności, sprzyjających atakowi grzybów i owadów, czy z przypadkiem obiektu o okresowo przesuszonym powietrzu, powodującym kurczenie się materiałów. W tabeli wskazany jest przedział między 55% a 65% RH jako optymalny, ponieważ w tych warunkach niekorzystne przesuszanie lub przewilżanie, podobnie jak zagrożenie mikrobiologiczne, jest najmniejsze, oczywiście pod warunkiem równoczesnej stabilności klimatu. W praktyce jest jednak wiele np. kościołów, w których przez większość roku wilgotność powietrza jest wyższa. Jeśli zawiera się w przedziale 65–75%, a użyte we wnętrzu materiały są mikrobiologicznie odporne (np. technika wapienna, a nie współczesne farby), to warunki takie mogą być bezpieczne. Natomiast wartości powyżej 75%, zwłaszcza utrzymujące się przez długi czas, należy uznać za już niebezpieczne.

⁷ W środowisku inżynierskim przyjęte jest, zgodnie z układem SI, posługiwanie się skalą termometryczną Kelwina [K], jednak powszechność skali Celsjusza, korzystanie z niej przy pomiarze temperatury przemawia za obliczaniem amplitud także w tej skali.

⁸ Badania opisane w publikacji dotyczącej kościoła św. Jakuba, przytoczonej w przypisie 1.



8



9

8

Kościół w Niemczech przed laty zagospodarowany na cele muzealne i kulturalne – ogrzewany. Renesansowy obraz epitafijny z przedstawieniem Chrystusa z Marią i Martą niefortunnie wisi nad rurą grzewczą i w pobliżu samego grzejnika. Przesuszany każdej zimy – znalazł się w stanie awaryjnym. Widoczne na jego powierzchni zaklejenia bibułą japońską to działania konserwatorskie mające na celu zabezpieczenie daszkowatych pęcherzy warstwy malarskiej przed osypaniem. Zabezpieczenia mogą jednak być stosowane tylko doraźnie i krótkookresowo. Pozostawione na długi czas, same stają się przyczyną dalszych zniszczeń. Konserwatorskie, docelowe podklejanie złuszczającej się warstwy malarskiej, w warunkach niestabilnego klimatu także nie daje trwałych wyników. Jeśli więc obraz nie zostanie przeniesiony w prawidłowe warunki klimatyczne, to postępujące procesy doprowadzą wkrótce do jego całkowitego zniszczenia. Fot. B. J. Rouba

A church in Germany which was converted years ago for museum and cultural purposes – heated. A Renaissance epitaph painting depicting Christ with Mary and Martha unfortunately hangs over a heating pipe and near the radiator itself. Dried out every winter – it is now in critical condition. The Japanese tissue paper visible on its surface is a conservation measure to protect the blistering paint layer from flaking. However, these kinds of protection methods can only be applied on an ad hoc and short-term basis. Left for long periods, they themselves become the cause of further damage. The bonding of the flaking paint layer by conservators, under unstable climatic conditions, does not produce lasting results either. Therefore, if the painting is not moved to adequate climatic conditions, the progressive processes will soon lead to its complete destruction. Photo B. J. Rouba

9

Kościół w Niemczech przed laty zagospodarowany na cele muzealne i kulturalne – ogrzewany. Wszystkie obrazy w jego wnętrzu – gotyckie i renesansowe – mają typowe uszkodzenia spowodowane przesuszaniem w okresie grzewczym. Na Epitafulum datowanym na 1555 rok, z przedstawieniem sceny wskrzeszenia młodzieńca z Nain – w refleksie oświetlającym dolną część widać podobrazie złożone z sześciu desek, które na skutek okresowego przesuszania uległy wypaczeniu. Jeśli warunki w kościele się nie poprawią, to kolejnym etapem będzie pogłębianie się deformacji, aż do całkowitego zniszczenia połączeń desek. Fot. B. J. Rouba

A church in Germany which was converted for museum and cultural purposes years ago – heated. All the paintings in its interior – Gothic and Renaissance – have damage typically caused by drying out during the heating season. On the Epitaph dating from 1555, with its depiction of the scene of the *Raising of the Son of the Widow of Nain* – in the reflection illuminating the lower part one can see the support which is made up of six panels, which has become warped due to periodic drying. If the conditions in the church do not improve, the next stage will be worsening of the deformation until the joints of the panels are completely destroyed. Photo B. J. Rouba

Tabela 2. Wzorzec oceny wg kryterium bezpieczeństwa wilgotnościowego

Table 2. Assessment standard according to criteria for safe relative humidity level

Wilgotność względna powietrza we wnętrzu w okresie pomiarowym od do	Procent czasu pomiarowego z ogólnej liczby rekordów
Między najniższą zarejestrowaną wartością a 45%	
Między 45% a 55%	
Optymalna wilgotność względna powietrza we wnętrzu między 55% a 65%	
Między 65% a 75%	
Między 75% a 85%	
Między 85% a 95%	
Powyżej 95% (najwyższa zarejestrowana wartość ...%)	

Analiza klimatu

Po ocenie zjawisk widocznych na wykresach i dokonaniu obliczeń, na ich podstawie można prowadzić dalszą analizę:

- Ocena naturalnego klimatu obiektu (bez ogrzewania, bez dużej liczby wiernych lub zwiedzających) wg kryteriów:
 - stabilność (dobowe amplitudy klimatu wewnętrznego w zwykłe dni w lecie i w zimie);
 - kryterium bezpieczeństwa wilgotnościowego;
 - wpływ klimatu zewnętrznego na wnętrze (jak szybko następują zmiany parametrów powietrza we wnętrzu po zmianie pogody zewnętrznej, jaki jest wpływ nasłonecznienia w godzinach południowych, jaka jest korelacja między amplitudami klimatu wewnętrznego i zewnętrznego);
 - analiza gradientu pionowego temperatury i wilgotności powietrza we wnętrzu, mierzonych w wybranych okresach bez ogrzewania.
- Ocena wpływu dużej liczby osób (wiernych/zwiedzających, uczestników wydarzeń muzealnych) na klimat wg kryteriów:
 - stabilność (dobowe amplitudy w okresach bez ogrzewania – jak w punkcie 1 – i odrębnie z ogrzewaniem, przy dużej liczbie wiernych/gości muzealnych, w niedziele i dni świąteczne, w muzeach należy porównać poniedziałki z pozostałymi dniami);
 - szybkość redukcji zwyczaj wilgotności (czas, w którym klimat badanego obiektu powraca do parametrów bliskich parametrom przed rozpoczęciem pierwszej, np. niedzielnej mszy, imprezy muzealnej itd.).
- Ocena wpływu obecnego systemu ogrzewania na klimat wg kryteriów:
 - stabilność (dobowe amplitudy z ogrzewaniem, bez dużej liczby wiernych/zwiedzających, w zwykłe dni);
 - szybkość (rozłożenie w czasie) wzrastania temperatury po włączeniu ogrzewania i szybkość jej opadania po wyłączeniu;
 - szybkość zmian wilgotności względnej powietrza w związku z działaniem ogrzewania;
 - analiza gradientu pionowego temperatury i wilgotności powietrza we wnętrzu, mierzonych w wybranych okresach podczas sezonu grzewczego.
- Ocena wentylacyjności⁹ badanego obiektu

⁹ Wentylacyjność to nadawana przez dawnych budowniczych **zdolność do skutecznego samowentylowania budynku**. Zawarta w PN-EN 16798-1/2019-06P definicja mówi: „Wentylacja – proces dostarczenia powietrza zewnętrznego do przestrzeni lub budynku za pomocą metod naturalnych lub mechanicznych. System wentylacji może odnosić się do mechanicznych, naturalnych i hybrydowych systemów wentylacyjnych”. Słownik języka polskiego jako dwa pierwsze znaczenia podaje: 1. naturalna lub wymuszona wymiana powietrza w pomieszczeniach, przewietrzanie; 2. system urządzeń do wymiany i odświeżania powietrza.

- pomiary prędkości przepływów powietrza kilkakrotnie powtórzone w różnych warunkach pogodowych (dni bezwietrzne i dni z silnym wiatrem), dla ustalenia, czy obiekt jest prawidłowo wentylowany.

Przykłady wyników

Jako przykłady użyte zostały głównie fragmenty opracowania badawczego wykonanego dla bernardyńskiego kościoła klasztornego w Skępem¹⁰, gdzie ostatnie pomiary prowadzone były od 27 maja do montażu szyby w dn. 25 czerwca i następnie od 27 czerwca do 14 października 2019 roku¹¹. Powodem ich wykonania była konieczność sprawdzenia, czy projektowane zabezpieczenie szybą pancerną niszy ołtarzowej z Cudowną Figurką Matki Bożej Skępskiej nie pogorszy warunków jej ekspozycji¹². Specyficzny cel badań zdecydował o krótszym niż roczny czasie ich trwania, jednak klimat kościoła w Skępem był wielokrotnie badany w latach 1997–2009 i szczegółowo analizowany¹³ (fot. 10, 11, 12, 13, 14).

Charakterystyka kościoła

Kościół ceglany gotycki, przebudowany w stylu barokowym w 1. połowie XVIII wieku. Kościół przesklepiono wówczas kolebką z lunetami. Poszczególne przęsła oddzielone masywnymi gurtami, ściany rozczłonkowane pilastrami. Prezbiterium i nawa główna na planach prostokątów. Od północy do nawy głównej przylega kaplica św. Anny.

Wymiary ok. 60 × 12 m. Kubatura w przybliżeniu ok. 10 800 m³ (bez kaplicy św. Anny).

Do obecnych badań przystąpiono ze świadomością, że kościół w Skępem przynależy do tzw. II typu klimatycznego – kościołów o dużych, jasnych oknach i bardzo wyraźnej zależności od klimatu zewnętrznego¹⁴.

Drugim czynnikiem decydującym o niestabilności klimatu wewnątrz są duże zgromadzenia wiernych¹⁵.

W zasadzie słownikowy termin „wentylacja” umożliwia opisanie zjawisk zachodzących w historycznych budynkach, jednak przez swoją znaczeniową pojemność nie pozwala na precyzyjne i jednoznaczne opisanie istoty zagadnienia. Nie bez znaczenia jest również fakt, że współczesnemu człowiekowi słowo wentylacja kojarzy się niemal wyłącznie z mechanicznymi urządzeniami wentylacyjnymi, co z kolei utrudnia zrozumienie dawnych, bezobsługowych systemów wentylowania budowli, zapewniających jej zdrowie.

¹⁰ Bogumiła J. Rouba, Magdalena Kapka, *Raport -- zagadnienie warunków przechowywania cudownej figurki MB Skępskiej – badania klimatu w otoczeniu*. Pomiary i analizę parametrów klimatu zrealizowano na zlecenie Wojewódzkiego Kujawsko-Pomorskiego Konserwatora Zabytków mgr. Sambora Gawińskiego.

¹¹ Pomiary prowadzono przy pomocy termohigrometrów LB-520 (minirejestrator wilgotności i temperatury) firmy LAB-EL oraz od 10 sierpnia 2019 roku także z użyciem rejestratora LB-525TI tej samej firmy, z czujnikiem pirometrycznym do badania temperatury powierzchni materiałów. Równocześnie prowadzono badania klimatu wewnątrz i na zewnątrz świątyni. Jeden z termohigrometrów zlokalizowany został na ołtarzu głównym w niszy z Cudowną Figurką, drugi na ambonie na wysokości 3,5 m nad posadzką (ok. 15 m poniżej grzbietu sklepienia) mierzył parametry klimatu w nawie kościoła. Trzeci w zacienionym miejscu od strony pfn.-wsch., na tarasie wschodniego skrzydła klasztoru. Pirometr ułożony w niszy mierzył temperaturę wykonanego ze srebra księżycy u stóp Figurki. Pomiar temperatury dokonywany pirometrem służył wyliczeniu, ile stopni, jaka „odległość” dzieli powierzchnie materiałów od punktu rosy, czyli jak dalekie jest zagrożenie kondensacją.

¹² Decyzja o zabezpieczeniu została podjęta wkrótce po próbie kradzieży Figurki.

¹³ Realizując od 1997 roku prace konserwatorskie przy polichromii Walentego Żebrowskiego w Skępem, aż do roku 2009 wraz ze współpracownikami (Barbara Kobusińska-Behal, Ludmiła Tymińska-Widmer) prowadziłam systematyczną kontrolę jego klimatu.

¹⁴ Omówienie podziału na typy klimatyczne jest obecne niemal we wszystkich wymienionych w przypisach powyżej publikacjach.

¹⁵ Parafia liczy obecnie ok. 1700 osób. Msze św. odprawiane są w niedziele i święta o godz. 7.00, 8.30, 10.00, 11.30 i 17.30, w tygodniu o godz. 7.00 i 17.30. W mszach świętych codziennych według szacunków O. Gwardiana i zarazem Proboszcza Parafii uczestniczy 30 do 40 osób. W mszach niedzielnych w kościele uczestniczy ok. 700 osób. W dni świąteczne liczbę wiernych można szacować również na ok. 700 osób, z rozróżnieniem, że w okresie zimowym liczba ta jest mniejsza, w okresie lata – większa. Ze względu jednak na pielgrzymkowy



10 Figurka Matki Bożej Skępskiej w drewnianej niszy ołtarzowej, wybitej pluszową tkaniną. Fot. B. J. Rouba
Photo 10. Figure of Our Lady of Skępe in a wooden altar niche covered with a velvet fabric. Photo B. J. Rouba



11 Na podstawie rzeźby znajduje się data jej powstania – 1496 rok. Fot. B. J. Rouba
The base of the figurine bears the date of its creation – 1496. Photo B. J. Rouba



12 Usytuowanie termohigrometru w niszy u stóp Cudownej Figurki. Fot. M. Kapka
Location of the thermohygrometer in the niche at the foot of the Miraculous Figurine. Photo M. Kapka



13 Usytuowanie pirometru w niszy u stóp Cudownej Figurki, z czujnikiem skierowanym w stronę metalowego księżyca. Fot. M. Kapka
Location of the pyrometer in a niche at the foot of the Miraculous Figurine, with the sensor pointing towards the metal crescent moon. Photo M. Kapka



14 Przygotowania do montażu szyby pancernej zabezpieczającej Figurkę Matki Bożej Skępskiej. Fot. B. J. Rouba
Preparations for the installation of the bulletproof glazing protecting the Miraculous Figurine of Our Lady of Skępe. Photo B. J. Rouba

Wcześniejsze badania klimatu kościoła, ale także charakterystyczne zniszczenia polichromii pokazały problemy z wentylacją. Zwłaszcza dotyczyło to źle przewietrzanej kaplicy św. Anny, której mikroklimat stale wykazywał wilgotność powietrza wyższą o ok. 10% od wilgotności powietrza w nawie. W roku 2003 dokonano korekty systemu przewietrzania kościoła, wprowadzając na strychu kominek wentylacyjny nad dawnym otworem po sznurze sygnaturki, w ostatnim przęśle prezbiterium, tuż przy łuku tęczowym. Równocześnie efektem obserwacji i pomiarów, w tym między innymi pomiarów gradientu pionowego temperatury, było wypracowanie koncepcji poprawy wentylacyjności kościoła, z wytyczeniem ruchu powietrza od zakrystii, przez całą długość kościoła do wieży¹⁶.

W przeszłości prowadzone były również badania mikroklimatu w niszy z Cudowną Figurką (wykres 13, 14). Ich wyniki wskazywały, że nisza ma własny mikroklimat, nieco bardziej stabilny niż reszta kościoła. W praktyce oznaczało to, że podwyższona np. wejściem grupy pielgrzymów wilgotność z pewnym opóźnieniem docierała do niszy, ale potem dłużej się w niej utrzymywała. Nieco szersze omówienie wyników badań klimatu, a także specjalnie dla kościoła w Skępem opracowany indywidualny program wietrzenia znaleźć można w dwóch publikacjach¹⁷. Zarówno jednak wcześniejsze ustalenia dotyczące drogi przepływu powietrza, jak i zasady przewietrzania kościoła były na przestrzeni lat realizowane różnie – w sposób zależny od możliwości aktualnego zakrystiana.

W roku 2008 w kościele zainstalowane zostało ogrzewanie typu ławkowego (panele grzejne pod ławkami i w prezbiterium przy ołtarzu¹⁸).

Wykresy

Poniżej przedstawiono kilka wybranych wykresów ilustrujących zestawienia danych o klimacie.

Legenda:

T_w [°C] – temperatura powietrza wewnątrz

T_z [°C] – temperatura powietrza na zewnątrz

T_s [°C] – temperatura powierzchni metalowego księżycy w dolnej części niszy ołtarzowej

RH_w [%] – wilgotność względna powietrza wewnątrz

RH_z [%] – wilgotność względna powietrza na zewnątrz

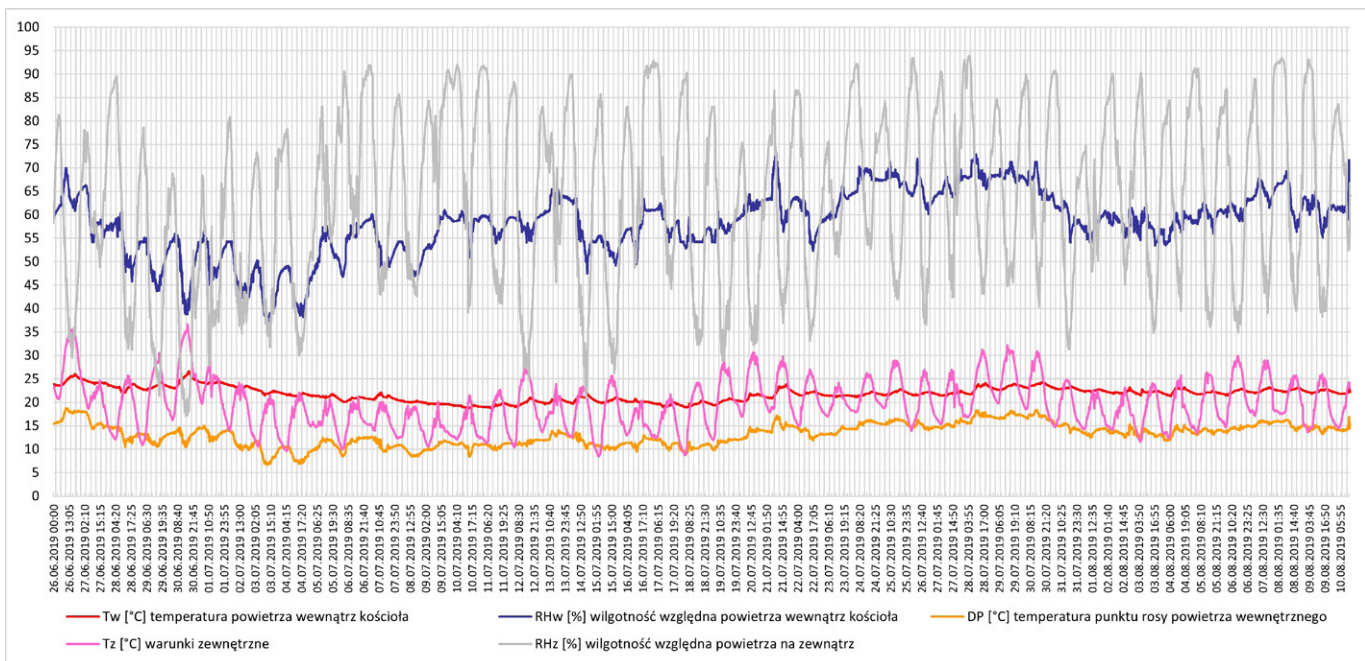
DP [°C] – temperatura punktu rosy powietrza wewnętrznego (temperatura, w której może rozpocząć się proces skraplania pary wodnej).

charakter kościoła często jest on odwiedzany przez duże grupy pątników, natomiast wydarzenia związane z wrześnieowym odpustem, także wędrowką pielgrzymek zatrzymujących się w Skępem w drodze na Jasną Górę, oznaczają każdorazowo wypełnienie kościoła ogromną liczbą wiernych.

¹⁶ Ekspertem zaproszonym wówczas do współpracy i autorem badań gradientu pionowego temperatury powietrza był dr inż. Kazimierz Żarski.

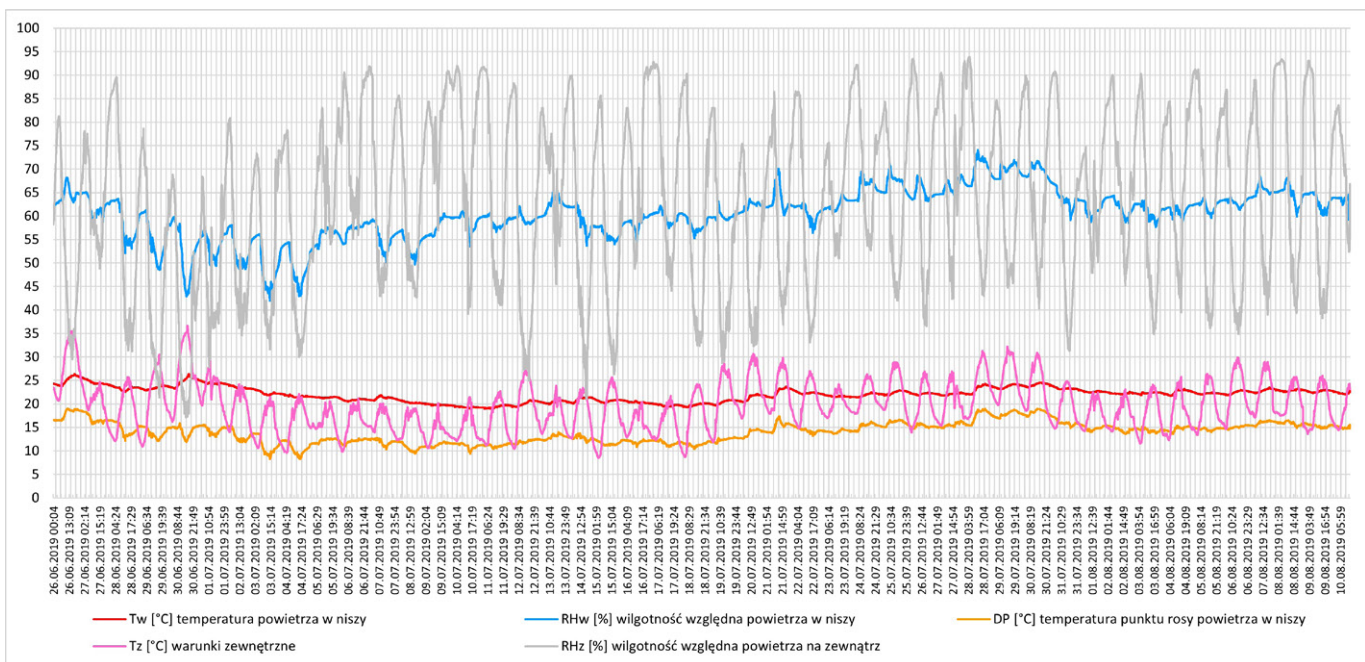
¹⁷ Bogumiła J. Rouba, *Polichromie kościoła klasztorowego w Skępem*, [w:] 260. rocznica koronacji figury Matki Bożej Skępskiej – Pani Mazowska (1755–2015), red. Aleksander Krzysztof Sitnik OFM, Kalwaria Zebrzydowska 2016, s. 169–227. Natomiast indywidualny program wietrzenia osuszającego dla kościoła w Skępem patrz: eadem, *Problematyka konserwatorska Cudownej Figurki Matki Bożej Skępskiej*, [w:] *Tota pulchra. 520. rocznica przywiezienia figury Matki Bożej Brzemiennej – Pani Skępskiej z Poznania do Skępego 1496–2016*, red. Cyprian Janusz Moryc OFM, Kalwaria Zebrzydowska 2017, s. 47–66.

¹⁸ W latach 2006 i 2007–2008 zrealizowany został program badań celowych we współpracy z firmą Marcin Kozarzewski – Monument Service oraz Instytutem Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN w Krakowie (Roman Kozłowski, Łukasz Bratasz), w ramach projektu IGNIS (umowa z Komisją Europejską/MNISW nr WKP_1/1.4.1/1/2006/93/93/648/2007/U) – *Opracowanie kryteriów konserwatorskich dla modelu sterowania ogrzewaniem w kościele oo. Bernardynów p.w. Zwiastowania NMP w Skępem oraz weryfikacja działania wzorcowego ogrzewania ławek dla komfortu wiernych i ogrzewania dla zapobiegania negatywnym zjawiskom kondensacji oraz optymalizacja kryteriów konserwatorskich dla modeli sterowania modułami ogrzewania*. W roku 2008 zespół R. Kozłowski i Ł. Bratasz opracowali wyniki rocznego monitoringu po zainstalowaniu ogrzewania, dokonując oceny jego wpływu na klimat kościoła. Obecnie niestety ogrzewanie praktycznie nie jest użytkowane. Nie prowadzi się także kontroli klimatu, dlatego nie można ocenić jego aktualnego wpływu na stan kościoła.



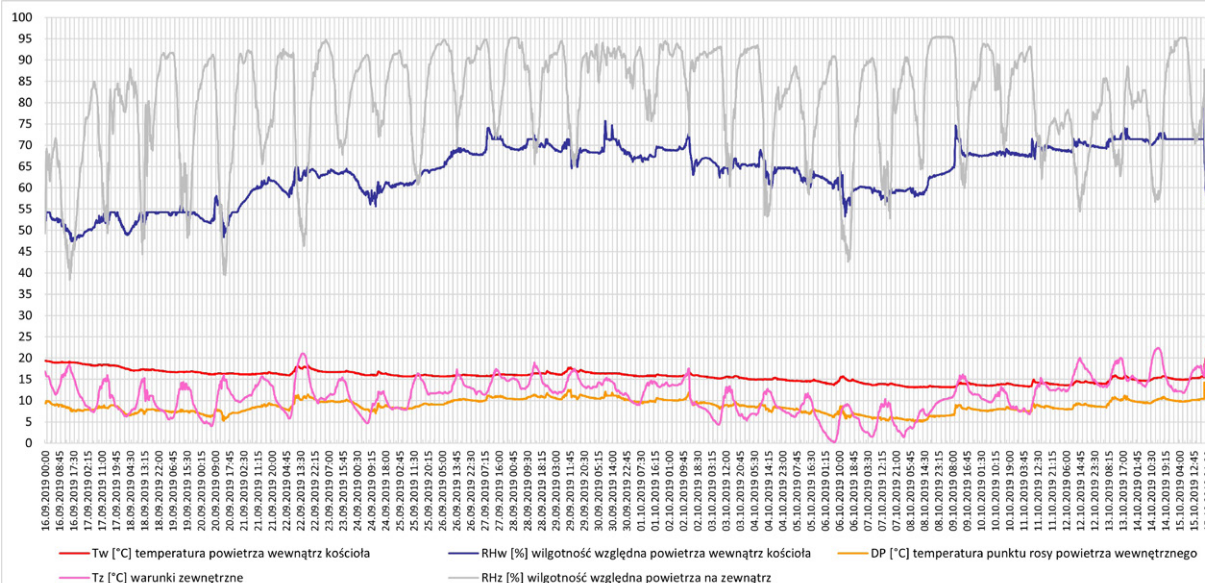
Wykres 1. Zestawienie danych o klimacie wewnątrz kościoła na tle klimatu zewnętrznego w okresie pomiarowym od 26 czerwca do 10 sierpnia 2019 roku. Na wykresie, zwłaszcza w pierwszej jego części, bardzo dobrze widoczna jest zależność od klimatu zewnętrznego – każdy spadek wilgotności powietrza w godzinach południowych wywołuje również spadek wilgotności we wnętrzu, niezależnie od dnia tygodnia i obecności wiernych. Ekstremalny przebieg zmian widać np. na wykresie w niedzielę 30 czerwca, kiedy najpewniej na skutek szerokiego otwarcia drzwi do kościoła wdzierają się bardzo gorące i suche powietrze zewnętrzne. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 1. Data on the climate inside the church compared to the external climate for the measurement period from 26 June to 10 August 2019. In the graph, especially in the first part, the influence of the external climate is clearly visible – any decrease in humidity during the noonday hours also triggers a decrease in humidity inside the building, regardless of the day of the week and the presence of worshippers. Extreme changes can be seen, for example, in the graph on Sunday 30 June, when the very hot and dry air from outside was probably entering the church as a result of wide-open doors. Graph compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



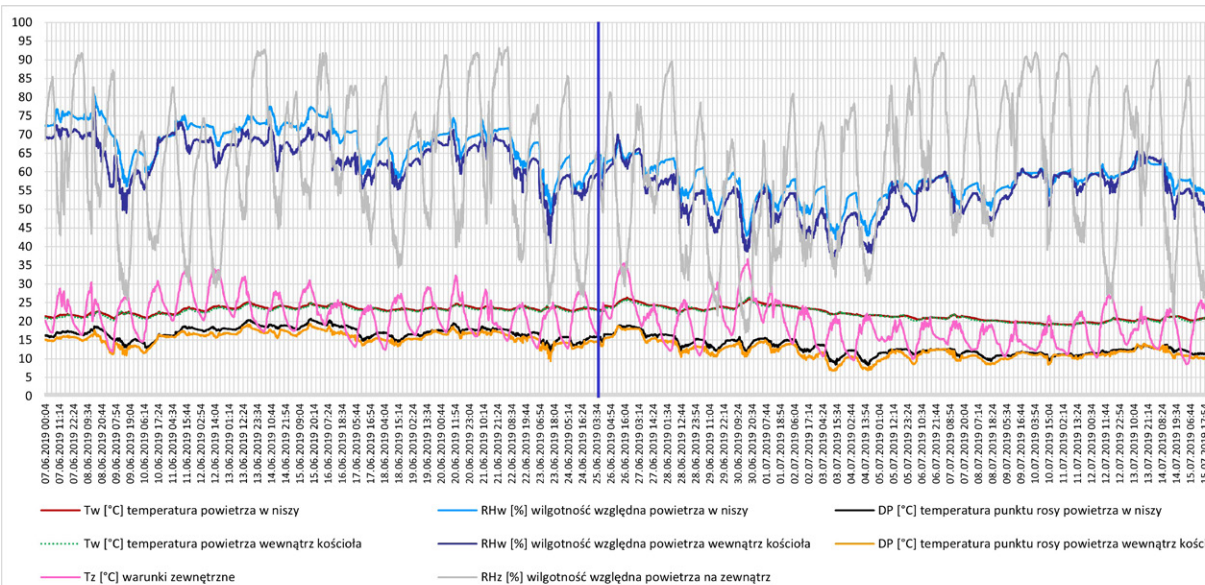
Wykres 2. Zestawienie danych o klimacie w niszy ołtarzowej na tle klimatu zewnętrznego w tym samym okresie pomiarowym od 26 czerwca do 10 sierpnia 2019 roku. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 2. Data on the climate in the altar niche compared to the external climate for the same measurement period from 26 June to 10 August 2019. Graph compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



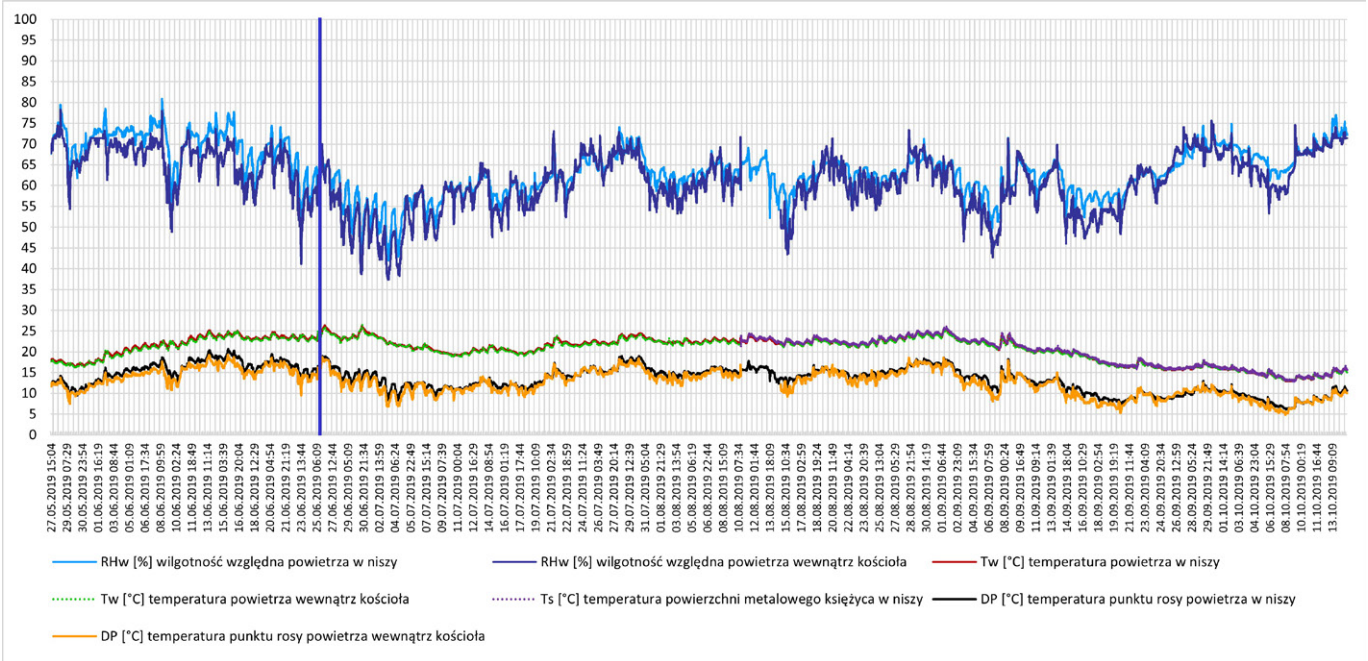
Wykres 3. Zestawienie danych o klimacie wewnątrz kościoła na tle klimatu zewnętrznego w okresie pomiarowym od 16 września do 15 października 2019 roku. Na wykresie widoczne jest zjawisko równomiernego, powolnego oddawania do wnętrza ciepła zakumulowanego przez mury w ciągu upalnego lata – np. przymrozek w nocny z 5 na 6 października nie spowodował zauważalnego spadku temperatury powietrza we wnętrzu. W niedzielę 6 października, mimo dużego zgromadzenia wiernych, doszło do spadku wilgotności powietrza wewnątrz – w odpowiedzi na znaczny spadek wilgotności powietrza na zewnątrz, a także wzrost temperatury powietrza wewnątrz, spowodowany przez ludzi i nasłonecznienie – tego dnia pełne słońce świeciło od godz. 7 rano do 18. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 3. Data on the climate inside the church compared to the external climate for the measurement period from 16 September to 15 October 2019. The graph shows the steady, slow release into the interior of the building of the heat accumulated by the walls during the hot summer – for example, a bout of frost on the night of 5 to 6 October did not cause a noticeable drop in the interior air temperature. On Sunday 6 October, despite a large gathering of worshippers, there was a decrease in the humidity of the inside air – in response to the significant decrease in the humidity of the outside air, as well as an increase in the temperature of the inside air, caused by people and sunshine – on that day the sun shone from 7 a.m. to 6 p.m. Graph compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



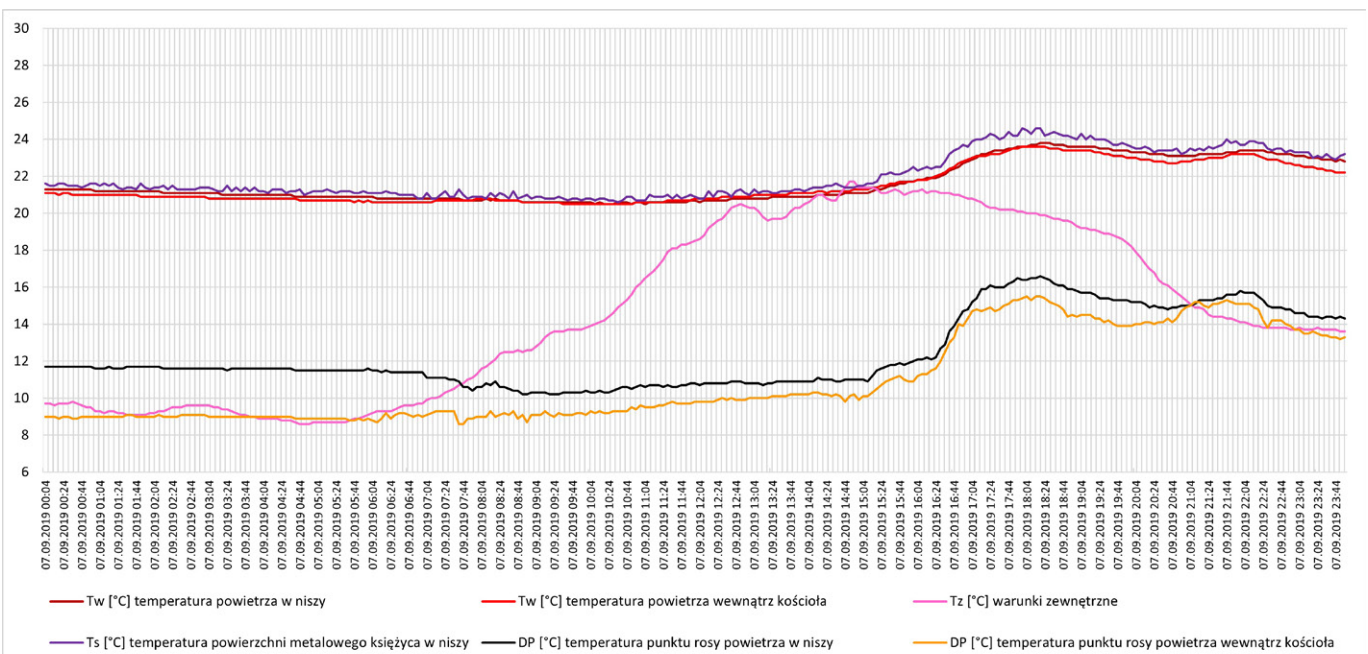
Wykres 4. Zestawienie danych o klimacie we wnętrzu kościoła oraz w niszy ołtarzowej na tle klimatu zewnętrznego w okresie pomiarowym od 7 czerwca do 15 lipca 2019 roku. Niebieską linią rozdzielono okres przed montażem szyby w niszy i okres po montażu. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 4. Data on climate in the interior of the church and in the altar niche compared to the external climate for the measurement period from 7 June to 15 July 2019. The blue vertical line separates the period before the installation of the glazing in the niche and the period after its installation. Graph Compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



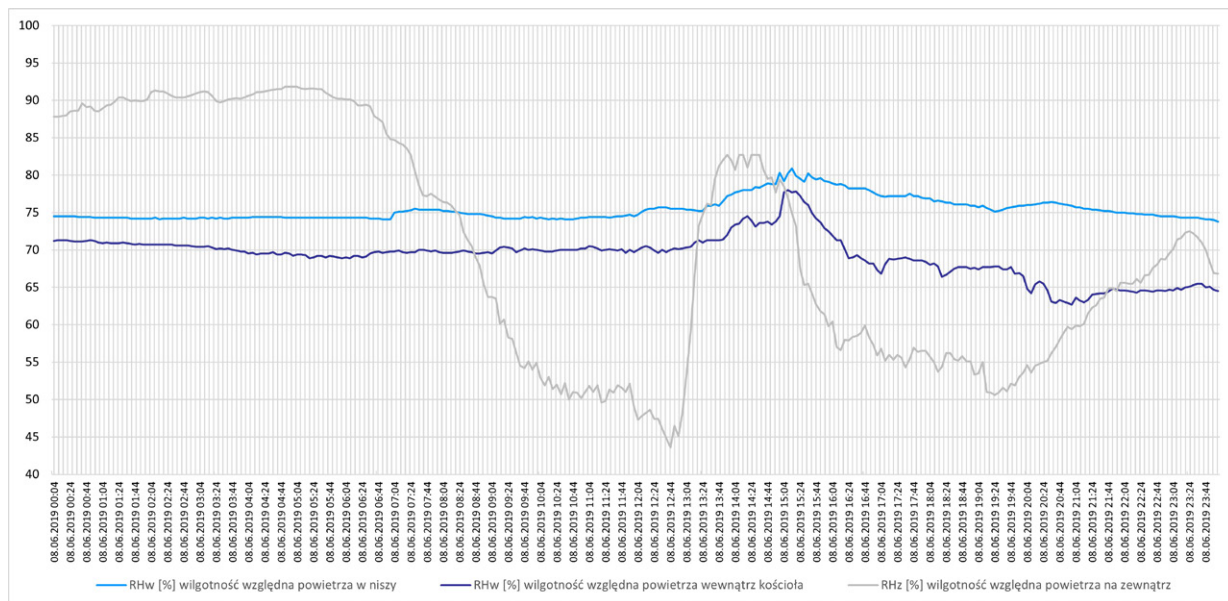
Wykres 5. Zestawienie danych o wilgotności i temperaturze w niszy i wewnątrz kościoła w całym okresie pomiarowym. Niebieską linią oddzielono okres pomiarowy przed założeniem szyby od okresu po jej założeniu. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 5. Data on the humidity and temperature in the niche and inside the church throughout the period. The blue vertical line separates the period before the installation of the glazing from the period after its installation. Graph compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



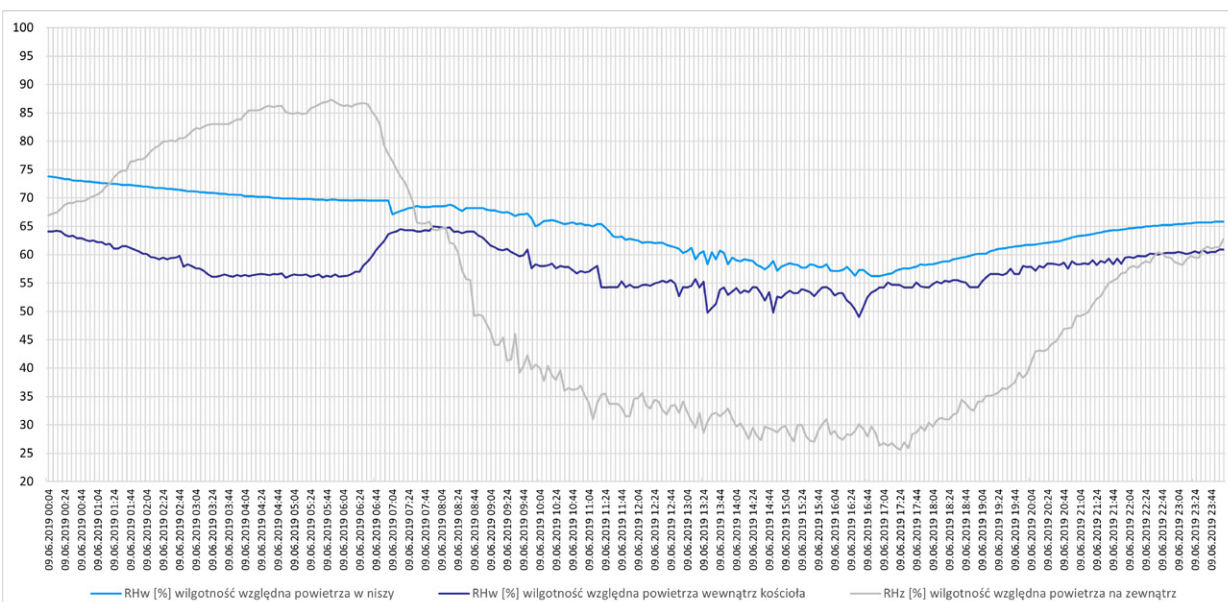
Wykres 6. Zestawienie danych o temperaturze w niszy, wewnątrz i na zewnątrz kościoła w dniu 7 września 2019 roku (sobota), w którym dobową amplitudę temperatury wewnątrz kościoła oraz w niszy odpowiadała parametrom klimatu niebezpiecznego ($\Delta T \geq 3$). Czarna krzywa jest zapisem temperatury wykonanego ze srebra księżycy u stóp Marii. Na wykresie widać brak zagrożenia kondensacją. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 6. Data on the temperature in the niche, inside and outside the church on 7 September 2019 (Saturday), when the amplitude of the diurnal cycle of temperature inside the church and in the niche corresponded to hazardous climate parameters ($\Delta T \geq 3$). The black line records the temperature of the silver crescent moon at Mary's feet. The graph shows that there is no danger of condensation. Graph compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



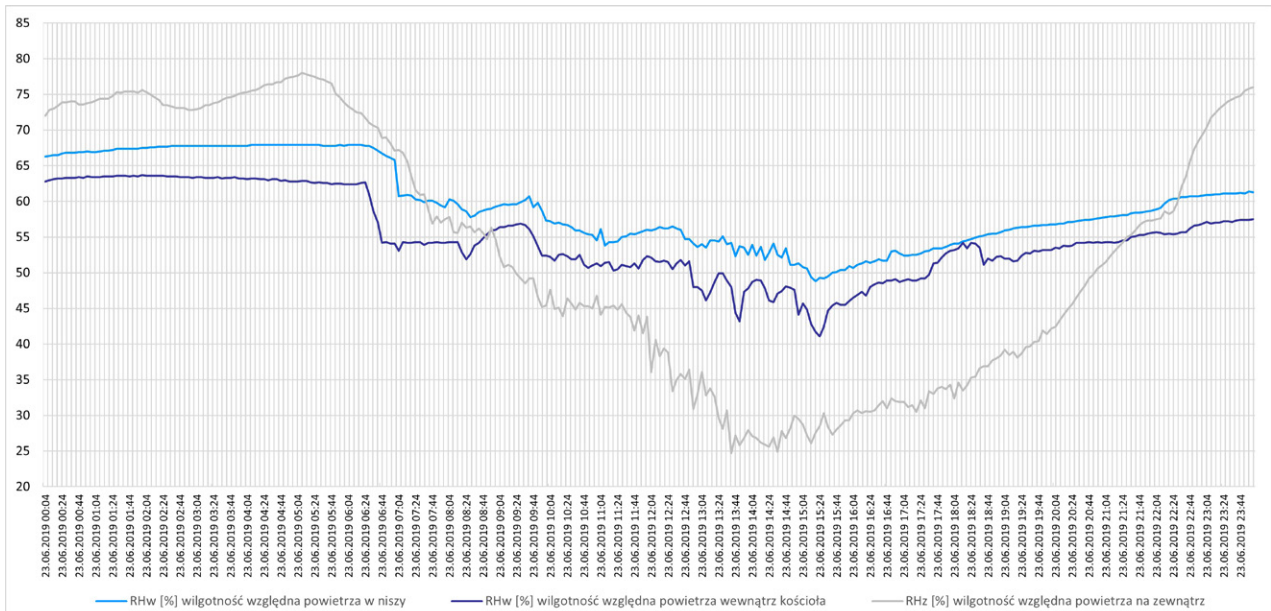
Wykres 7. Zestawienie danych o wilgotności w niszy i wewnątrz kościoła na tle wilgotności powietrza zewnętrznego w dniu 8 czerwca 2019 roku (sobota), w którym dobowa amplituda wilgotności we wnętrzu kościoła odpowiadała parametrom klimatu złego ($15 \leq \Delta RH < 20$). O godz. 15 ślub lub inna uroczystość, a równocześnie gwałtowny wzrost wilgotności na zewnątrz podniósł znacząco wilgotność powietrza i w kościele, i w niszy. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 7. Data on the humidity in the niche and inside the church compared with the humidity of the air outside on 8 June 2019 (Saturday), when the amplitude of the diurnal cycle of humidity inside the church corresponded to poor climate parameters ($15 \leq \Delta RH < 20$). At 3 p.m., a wedding or other celebration and, at the same time, a sharp increase in humidity outside significantly raised the humidity both in the church and in the niche. Graph compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



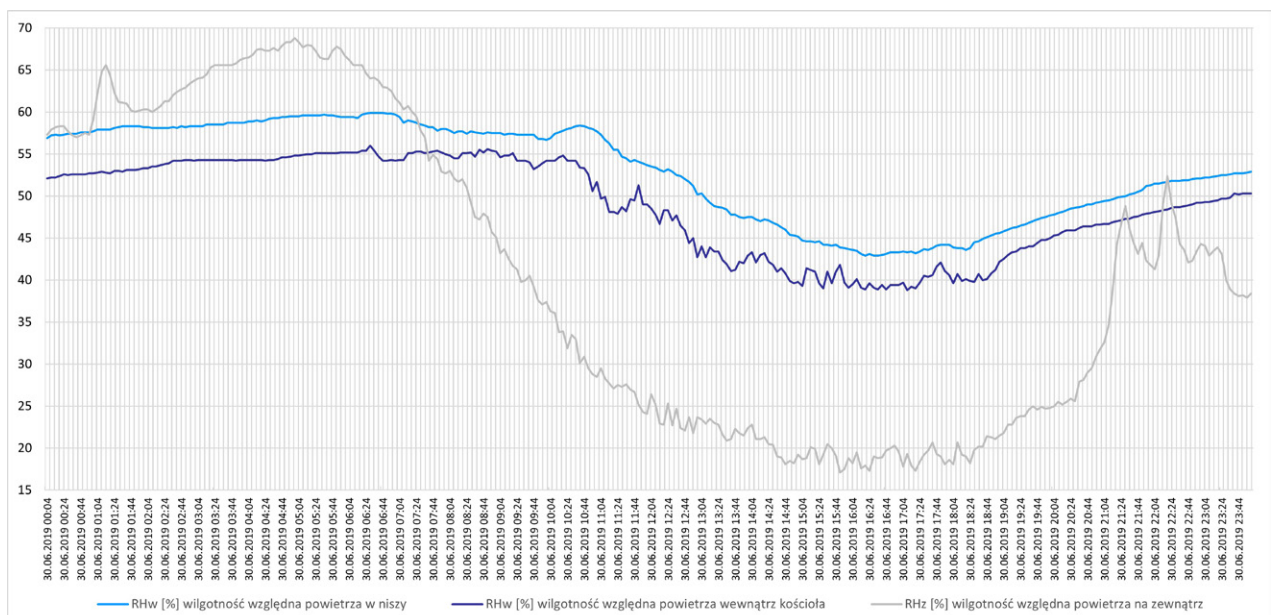
Wykres 8. Zestawienie danych o wilgotności w niszy i wewnątrz kościoła na tle wilgotności powietrza zewnętrznego w dniu 9 czerwca 2019 roku (niedziela), w którym dobowo amplituda wilgotności we wnętrzu kościoła oraz niszy ołtarzowej odpowiadała parametrom klimatu złego ($15 \leq \Delta RH < 20$). Spowodowane to zostało bardzo dużym spadkiem wilgotności powietrza na zewnątrz i intensywną wymianą z wnętrzem podczas kolejnych niedzielnych mszy. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 8. Data on the humidity in the niche and inside the church compared to the humidity of the outside air on 9 June 2019 (Sunday), in which the amplitude of the diurnal cycle of humidity in the interior of the church and the altar niche corresponded to poor climate parameters ($15 \leq \Delta RH < 20$). This was caused by a very large drop in the humidity outside and an intensive exchange with the interior air during the following Sunday masses. Graph compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



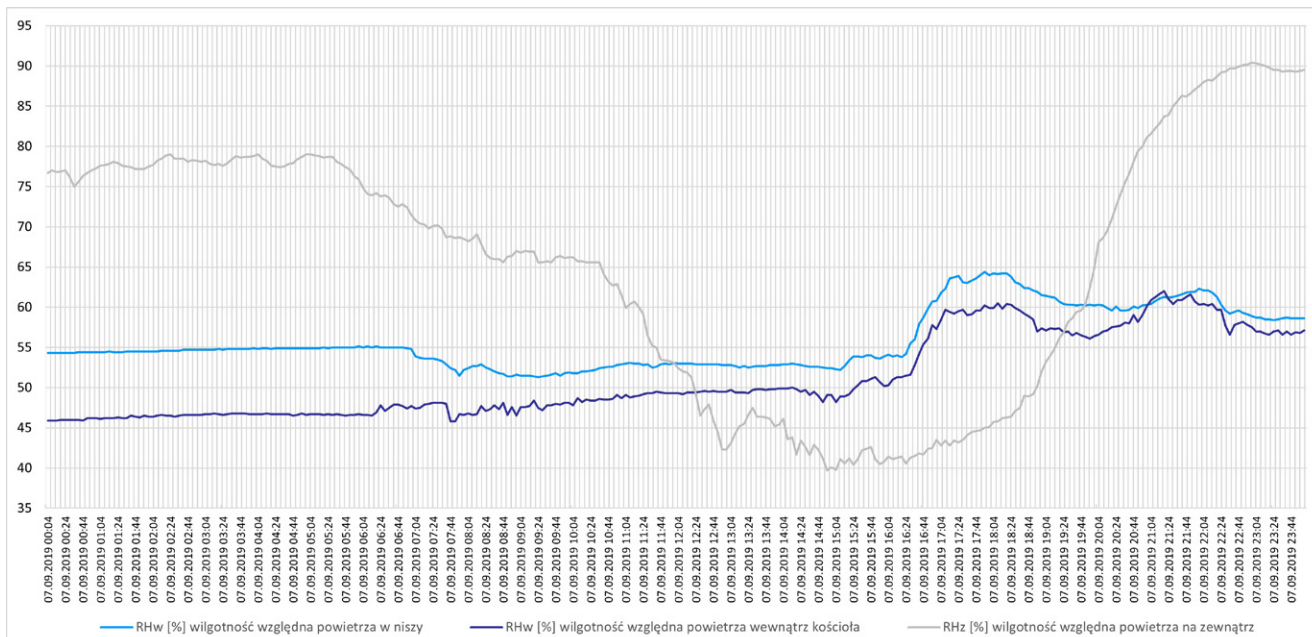
Wykres 9. Zestawienie danych o wilgotności w niszy i wewnątrz kościoła na tle wilgotności powietrza zewnętrznego w dniu 23 czerwca 2019 roku (niedziela), w którym dobowa amplituda wilgotności w niszy ołtarzowej odpowiadała parametrom klimatu złęgo ($15 \leq \Delta RH < 20$), a we wnętrzu kościoła ekstremalnie zła ($\Delta RH > 20$). Tego dnia wiatr o prędkości 13–17 km/h niemal co godzinę zmieniał kierunek, co niewątpliwie sprzyjało wymianie powietrza w kościele podczas niedzielnych mszy. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 9. Data on the humidity in the niche and inside the church compared to the humidity of the outside air on 23 June 2019 (Sunday), in which the amplitude of the diurnal cycle of humidity in the altar niche corresponded to poor climate parameters ($15 \leq \Delta RH < 20$) and in the interior of the church extremely bad ($\Delta RH > 20$). On that day, the wind with a speed of 13–17 km/h changed direction almost every hour, which undoubtedly favoured the exchange of air in the church during Sunday mass. Graph compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



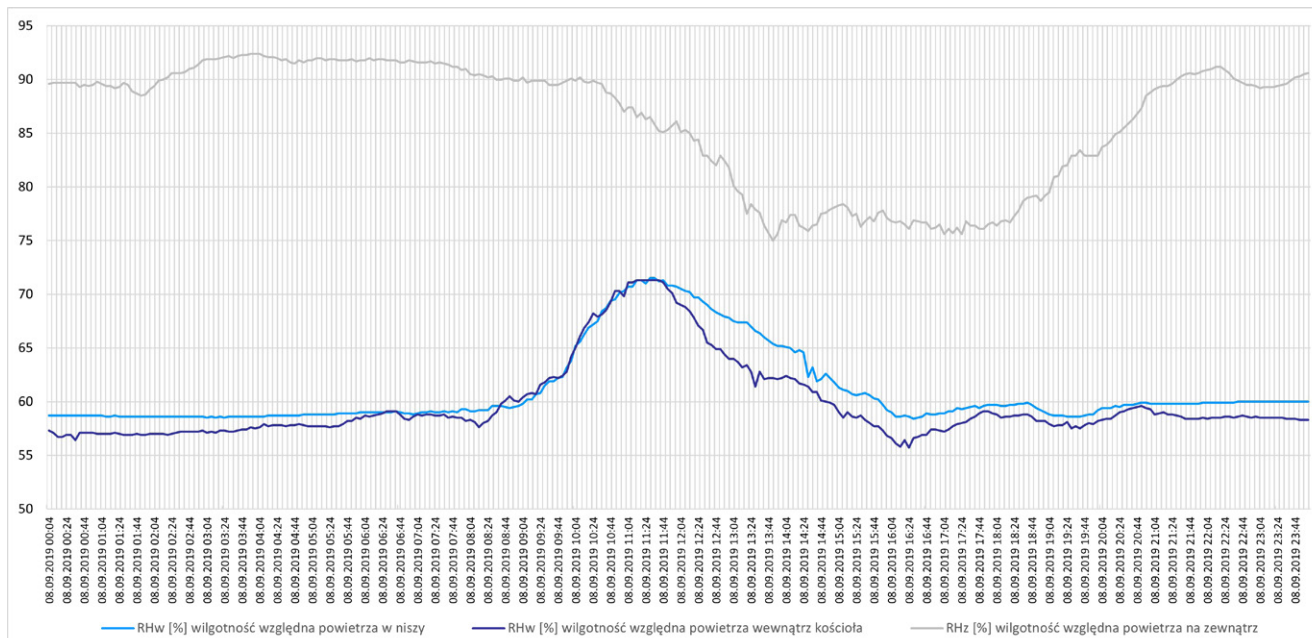
Wykres 10. Zestawienie danych o wilgotności w niszy i wewnątrz kościoła na tle wilgotności zewnętrznej w dniu 30 czerwca 2019 roku (niedziela), w którym dobowa amplituda wilgotności we wnętrzu kościoła oraz niszy ołtarzowej odpowiadała parametrom klimatu złęgo ($15 \leq \Delta RH < 20$). Sytuacja analogiczna jak w dniach 9 i 23 czerwca. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 10. Data on the humidity in the niche and inside the church compared to the external humidity on 30 June 2019 (Sunday), in which the amplitude of the diurnal cycle of humidity in the interior of the church and the altar niche corresponded to poor climate parameters ($15 \leq \Delta RH < 20$). A situation similar to that of 9 and 23 June. Graph compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



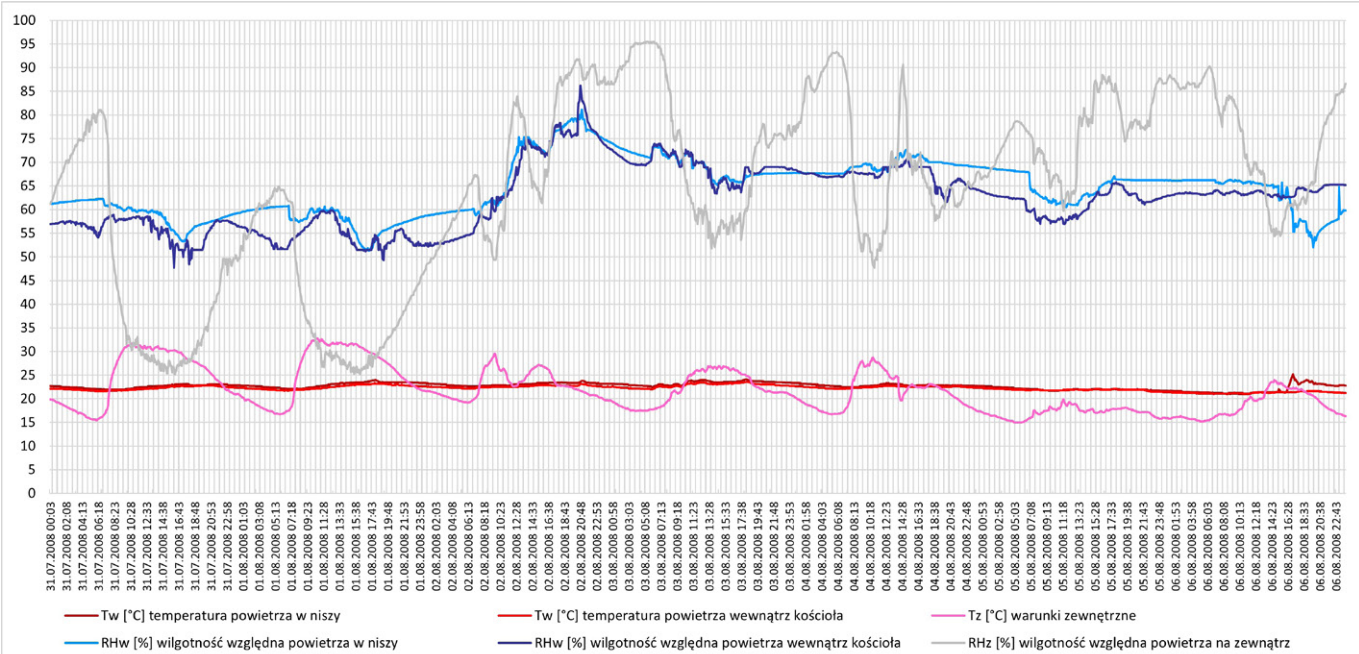
Wykres 11. Zestawienie danych o wilgotności w niszy i wewnątrz kościoła na tle wilgotności powietrza zewnętrznego w dniu 7 września 2019 roku (sobota), w którym dobowa amplituda wilgotności we wnętrzu kościoła odpowiadała parametrom klimatu złego ($15 \leq \Delta RH < 20$). Wzrost wilgotności w późnych godzinach popołudniowych powiązany jest z początkiem uroczystości odpustowych i bardzo dużą liczbą pielgrzymów. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 11. Data on the humidity in the niche and inside the church compared to the humidity of the outside air on 7 September 2019 (Saturday), when amplitude of the diurnal cycle of humidity inside the church corresponded to poor climate parameters ($15 \leq \Delta RH < 20$). The increase in humidity in the late afternoon is linked to the start of the masses celebrating the granting of indulgences and the very high number of pilgrims. Graph compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



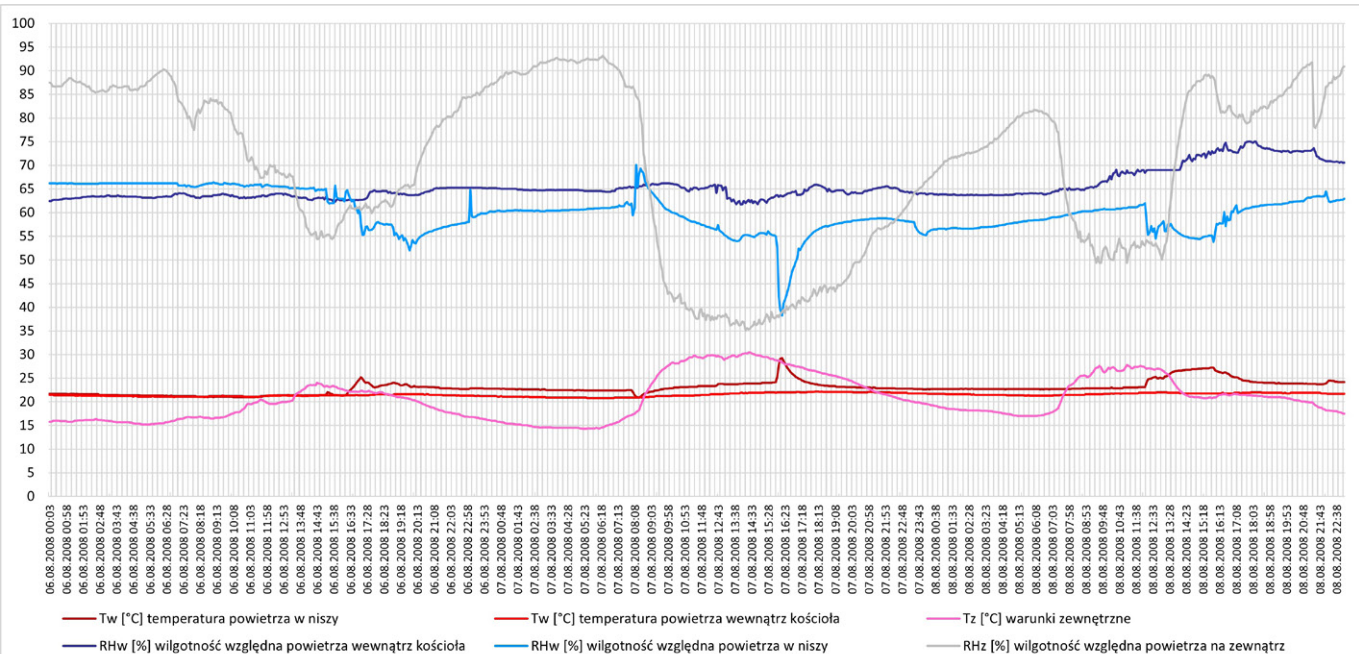
Wykres 12. Zestawienie danych o wilgotności w niszy i wewnątrz kościoła na tle wilgotności powietrza zewnętrznego w dniu 8 września 2019 roku (niedziela), w którym dobowa amplituda wilgotności we wnętrzu kościoła odpowiadała parametrom klimatu złego ($15 \leq \Delta RH < 20$). Wzrost wilgotności spowodowany był dużą liczbą wiernych biorących udział w uroczystościach odpustowych. Opr. wykresu M. Kapka, A. Kaźmierczak

Graph 12. Data on the humidity in the niche and inside the church compared to the humidity of the outside air on 8 September 2019 (Sunday), when the amplitude of the diurnal cycle of humidity inside the church corresponded to poor climate parameters ($15 \leq \Delta RH < 20$). The increase in humidity was due to the large number of worshippers attending the masses celebrating the granting of indulgences. Graph compiled by M. Kapka, A. Kaźmierczak



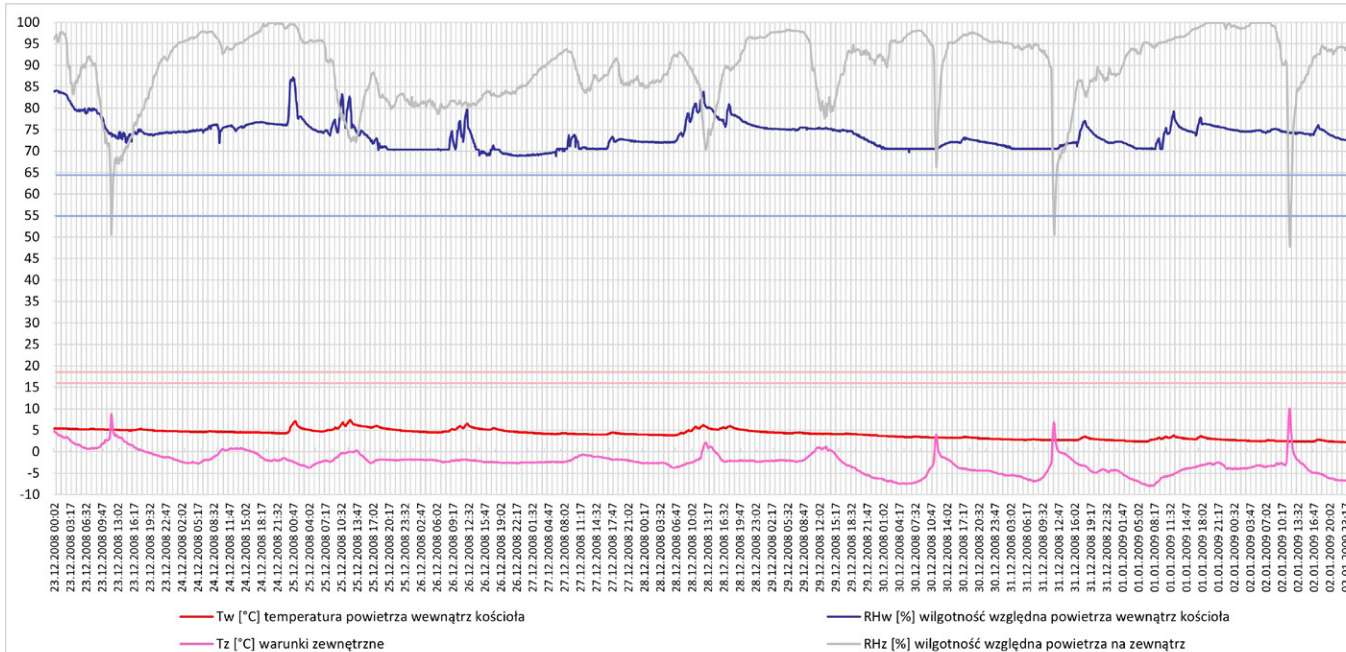
Wykres 13. Materiał z badań wcześniejszych – zestawienie danych o temperaturze i wilgotności w niszy i wewnątrz kościoła na tle klimatu zewnętrznego w okresie od 31 lipca do 6 sierpnia 2008 roku. Opr. wykresu L. Tymińska-Widmer, A. Kaźmierczak

Graph 13. Earlier research material – data on the comparison of temperature and humidity in the niche and inside the church compared to the external climate from 31 July to 6 August 2008. Graph compiled by L. Tymińska-Widmer, A. Kaźmierczak



Wykres 14. Materiał z badań wcześniejszych – zestawienie danych o temperaturze i wilgotności w niszy i wewnątrz kościoła na tle klimatu zewnętrznego w okresie od 2 do 4 sierpnia 2008 roku, sobota, niedziela, poniedziałek. Opr. wykresu L. Tymińska-Widmer, A. Kaźmierczak

Graph 14. Earlier research material – data on the temperature and humidity in the niche and inside the church compared to the external climate from 2 to 4 August 2008, Saturday, Sunday, Monday. Graph compiled by L. Tymińska-Widmer, A. Kaźmierczak



Wykres 15. Materiał z badań wcześniejszych – zestawienie danych o temperaturze i wilgotności powietrza na zewnątrz i wewnątrz kościoła w okresie od 23 grudnia 2008 do 2 stycznia 2009 roku. Duży, gwałtowny, wynoszący ponad 10% wzrost wilgotności, także wzrost temperatury, widać podczas Pasterki. Duże wahania i wzrosty wilgotności powietrza odpowiadają każdej mszy w pierwszy i drugi dzień świąt Bożego Narodzenia, w niedzielę 28 grudnia, także wieczornej mszy kończącej stary rok i wszystkim mszom 1 stycznia. Opr. wykresu L. Tymińska-Widmer, A. Kaźmierczak

Graph 15: Earlier research material – data on the temperature and humidity outside and inside the church from 23 December 2008 to 2 January 2009. A large, sharp increase of more than 10% in humidity, also an increase in temperature, is seen during the Midnight Mass. Large fluctuations and increases in humidity correspond to every Mass on the first and second days of Christmas, Sunday 28 December, also the evening Mass to end the old year and all Masses on 1 January. Graph compiled by L. Tymińska-Widmer, A. Kaźmierczak

Stabilność klimatu

Przykład wybranych fragmentów zestawienia amplitud parametrów powietrza z kościoła w Skępem.

Legenda:

Klimat idealny	↑	Wzrost wilgotności względnej
Dobry	↓	Spadek wilgotności względnej
Mniej niż dobry	↑↓	Wzrost i spadek wilgotności względnej
Niebezpieczny	↓↑	Spadek i wzrost wilgotności względnej
Powiększonymi cyframi		Ekstremalnie zły

Tabela 3. Wybrane fragmenty zestawienia dobowych amplitud parametrów powietrza w nawie kościoła w Skępem, w niszy ołtarzowej i na zewnątrz. Pogrubieniem oznaczono doby, w których amplituda wilgotności w niszy była wyższa niż w nawie kościoła

Table 3. Selected excerpts from the data on the amplitudes of the diurnal cycle of air parameters in the nave of the church in Skępe, in the altar niche and outside. Bolded numbers mark the days on which the amplitude of humidity in the niche was higher than in the nave of the church

Data (godz. 12.00)	ΔT_w dobowy [°C] wewnątrz w nawie	ΔRH_w dobowy [%] wewnątrz w nawie	ΔT_w dobowy [°C] wewnątrz w niszy	ΔRH_w dobowy [%] wewnątrz w niszy	ΔT_z dobowy [°C] na zewnątrz	ΔRH_z dobowy [%] na zewnątrz
31 maja 2019	1,6	5,5	1,2	4,8	16,9	42,9
1 czerwca 2019, sobota	1,6	1,9	1,4	2,1	12,6	46,2
2 czerwca 2019, niedziela	3,0	11,7	2,5	8,8	12,5	56,6
3 czerwca 2019	1,3	3,3	1,2	2,0	14,2	43,0

4 czerwca 2019	1,9	3,5	1,9	2,2	15,7	38,5
5 czerwca 2019	1,5	6,4	1,5	4,6	13,6	49,9
6 czerwca 2019	1,4	5,7	1,7	3,7	12,2	46,3
7 czerwca 2019	1,2	3,8	1,1	4,5	11,8	45,0
8 czerwca 2019, sobota	1,8	15,3 ↑	1,6	7,1	14,1	48,2
9 czerwca 2019, niedziela	2,5	16,0 ↓	1,9	17,6 ↓	15,5	61,7
10 czerwca 2019	2,0	14,2	1,8	9,5	16,3	31,7
11 czerwca 2019	1,9	8,5	2,0	5,6	14,2	52,8
12 czerwca 2019	1,6	8,2	1,5	5,8	13,6	45,2
13 czerwca 2019	2,0	4,6	2,0	4,6	12,8	45,1
14 czerwca 2019	1,7	13,4	1,2	7,7	10,9	47,9
15 czerwca 2019, sobota	2,0	7,2	1,7	6,4	13,5	35,4
16 czerwca 2019, niedziela	1,6	11,0	1,3	10,0	10,0	38,1
17 czerwca 2019	0,9	9,5	1,1	11,5	11,2	42,4
18 czerwca 2019	1,0	7,8	0,8	10,8	14,9	51,1
19 czerwca 2019	1,0	8,1	1,0	4,7	12,9	38,0
20 czerwca 2019	1,8	11,8	1,7	10,8	15,1	51,4
21 czerwca 2019	0,6	7,6	0,7	6,4	12,5	46,9
22 czerwca 2019, sobota	1,5	14,0	1,2	11,3	10,2	57,4
23 czerwca 2019, niedziela	2,1	22,6 ↓	1,6	19,1 ↓	12,3	53,3
24 czerwca 2019	1,4	6,9	1,1	9,7	17,2	59,0
25 czerwca 2019	1,2	7,2	0,9	6,1	16,5	40,1
25 czerwca MONTAŻ SZYBY						
27 czerwca 2019	1,4	12,1	1,6	7,2	10,8	35,5
28 czerwca 2019	1,9	14,8	1,4	11,5	13,6	58,4
29 czerwca 2019, sobota	1,8	11,3	1,3	12,7	19,6	57,1
30 czerwca 2019, niedziela	3,6	17,2 ↓	3,1	17,0 ↓	20,5	51,7
1 lipca 2019	0,9	11,5	1,2	7,5	10,8	40,6
2 lipca 2019	1,1	12,0	1,2	9,6	11,2	46,2
3 lipca 2019	1,4	12,9	1,3	14,1	10,9	42,2
4 lipca 2019	0,7	10,8	0,7	11,4	12,5	48,3
5 lipca 2019	0,8	11,8	0,4	7,0	7,6	33,1
6 lipca 2019, sobota	1,1	11,9	0,9	4,5	11,3	35,5
7 lipca 2019, niedziela	1,6	13,0	1,2	9,1	6,6	48,9
8 lipca 2019	0,8	7,4	1,0	7,4	7,0	42,9
9 lipca 2019	0,5	9,7	0,4	5,4	9,6	33,9
10 lipca 2019	0,7	9,9	0,7	7,4	9,4	52,7
11 lipca 2019	1,2	6,2	0,8	4,1	11,5	50,7
12 lipca 2019	2,0	6,5	1,5	3,8	16,9	63,2
13 lipca 2019, sobota	1,3	6,2	1,1	5,5	10,2	37,4
14 lipca 2019, niedziela	2,2	16,3 ↓	1,5	9,2	12,1	69,0
15 lipca 2019	1,3	6,3	0,9	3,9	17,1	59,4
16 lipca 2019	0,9	13,9	0,7	5,9	7,5	42,9
17 lipca 2019	0,9	8,2	0,7	4,7	9,3	48,7
18 lipca 2019	1,5	6,6	0,9	5,2	15,5	57,9
19 lipca 2019	1,5	6,5	1,2	4,1	16,6	54,2
20 lipca 2019, sobota	1,7	5,7	1,7	3,2	13,8	43,1
21 lipca 2019, niedziela	2,9	16,7 ↑↓	2,4	10,0	11,9	49,6

22 lipca 2019	1,0	11,4	1,1	6,3	12,1	53,5
23 lipca 2019	0,5	7,8	0,6	4,1	7,2	31,8
24 lipca 2019	1,1	6,2	1,1	6,2	8,4	39,5
25 lipca 2019	1,3	5,4	1,0	6,3	11,1	42,2
26 lipca 2019	0,8	11,9	0,9	5,4	13,0	56,9
27 lipca 2019, sobota	1,1	6,1	0,6	4,3	11,6	48,4
28 lipca 2019, niedziela	2,4	7,5	2,3	7,7	14,5	50,8
29 lipca 2019	1,4	4,5	1,0	4,0	12,4	39,8
30 lipca 2019	1,3	8,2	1,0	3,9	13,5	49,6
31 lipca 2019	0,7	10,5	1,1	8,7	10,1	59,5
1 sierpnia 2019	0,5	7,2	0,8	5,0	8,3	34,9
2 sierpnia 2019	1,4	6,4	0,6	5,8	8,9	44,9
3 sierpnia 2019, sobota	1,3	8,2	0,7	5,6	12,5	55,4
4 sierpnia 2019, niedziela	2,0	7,3	1,5	3,3	13,5	46,2
5 sierpnia 2019	0,8	6,8	0,7	4,2	13,0	55,1
6 sierpnia 2019	1,3	4,9	1,1	2,7	15,3	51,9
7 sierpnia 2019	1,2	6,2	1,2	4,7	11,9	53,2
8 sierpnia 2019	1,0	12,9	0,7	8,3	10,7	54,0
9 sierpnia 2019	1,1	9,8	0,8	5,2	12,3	54,7
10 sierpnia 2019, sobota	1,2	12,6	1,3	5,3	11,6	31,2
11 sierpnia 2019
12 sierpnia 2019	.	.	0,9	3,7	13,6	46,9
13 sierpnia 2019	.	.	0,8	16,1 ↓	9,4	54,2
14 sierpnia 2019	.	.	1,0	8,6	10,9	41,3
15 sierpnia 2019, święto Wniebowzięcia NMP	1,8	12,8	1,4	11,6	15,5	62,5
16 sierpnia 2019	0,7	14,1	0,8	5,5	11,2	41,6
17 sierpnia 2019, sobota	1,3	7,3	1,2	4,4	13,8	52,4
18 sierpnia 2019, niedziela	2,0	8,0	1,8	4,8	12,3	39,3
19 sierpnia 2019	0,3	7,4	0,6	4,7	7,9	40,9
20 sierpnia 2019	0,8	11,2	0,5	3,2	12,9	58,4
21 sierpnia 2019	0,6	6,9	0,5	2,3	9,4	39,9
22 sierpnia 2019	0,7	7,7	0,6	7,9	13,5	53,8
23 sierpnia 2019	1,1	9,1	1,0	2,7	15,0	55,3
24 sierpnia 2019, sobota	1,9	6,3	1,6	3,7	15,4	58,8
25 sierpnia 2019, niedziela	2,0	7,7	1,7	4,2	15,1	49,6
26 sierpnia 2019	1,3	4,3	1,3	2,8	14,5	41,1
27 sierpnia 2019	1,3	5,0	1,2	3,2	14,3	43,2
28 sierpnia 2019	1,3	12,8	1,2	6,1	12,5	41,2
29 sierpnia 2019	1,6	8,1	1,5	4,9	13,2	49,6
30 sierpnia 2019	1,1	5,5	0,9	5,4	10,5	49,6
31 sierpnia 2019, sobota	1,1	7,3	1,0	4,3	12,8	38,2
1 września 2019, niedziela	2,1	9,0	1,9	3,8	14,7	35,9
2 września 2019	1,6	8,7	2,0	6,2	8,2	33,2
3 września 2019	0,6	12,3	0,6	12,9	9,7	57,1
4 września 2019	0,8	6,8	0,8	3,5	10,4	33,6
5 września 2019	0,9	10,0	1,0	6,6	13,8	43,5
6 września 2019	1,0	11,0	1,1	10,5	10,9	47,5
7 września 2019, sobota, ODPUST	3,1	16,2 ↑	3,3	13,1	13,1	50,7

8 września 2019, niedziela	2,4	15,6 ↑	2,1	13,1	4,0	17,4
9 września 2019	0,8	10,7	1,3	7,5	9,7	29,7
10 września 2019	0,9	8,5	1,0	2,1	5,2	34,6
11 września 2019	0,8	7,5	0,7	8,3	12,7	52,3
12 września 2019	0,6	4,5	0,6	2,3	9,5	38,1
13 września 2019	1,1	10,4	1,0	4,1	11,1	37,2
14 września 2019, sobota	0,7	13,4	0,8	11,7	11,0	50,5
15 września 2019, niedziela	1,6	9,6	1,3	7,6	12,6	51,1
16 września 2019	0,8	6,9	0,9	6,9	8,7	33,3
17 września 2019	0,9	5,1	0,8	2,4	8,8	35,6
18 września 2019	0,7	5,4	0,9	4,1	9,0	46,6
19 września 2019	0,4	2,9	0,4	2,5	8,8	43,5
20 września 2019	0,4	9,6	0,4	6,2	12,1	51,8
21 września 2019, sobota	0,6	7,1	0,3	3,6	6,4	26,7
22 września 2019, niedziela	2,3	7,3	2,0	3,9	15,3	46,3
23 września 2019	0,6	2,7	0,9	1,8	7,6	27,0
24 września 2019	1,0	6,3	0,6	4,6	7,5	19,5
25 września 2019	0,4	4,0	0,4	1,4	8,6	31,4
26 września 2019	0,4	5,2	0,3	2,0	5,6	25,3
27 września 2019	0,4	6,4	0,5	5,1	6,0	23,6
28 września 2019, sobota	1,1	3,6	0,9	5,6	6,6	29,8
29 września 2019, niedziela	1,7	6,8	1,4	5,9	5,9	29,2
30 września 2019	0,6	7,9	0,6	4,1	4,2	9,3
1 października 2019	0,5	3,5	0,4	1,5	5,7	18,9
2 października 2019	1,2	9,7	0,9	6,3	9,7	21,6
3 października 2019	0,6	4,6	0,5	3,4	9,0	32,9
4 października 2019	0,5	8,9	0,5	5,2	7,5	40,2
5 października 2019, sobota	0,6	4,9	0,7	1,3	8,7	30,2
6 października 2019, niedziela	2,0	10,6	1,7	5,5	9,0	48,2
7 października 2019	0,7	3,5	0,7	2,1	8,9	37,7
8 października 2019	0,4	5,2	0,8	1,5	8,5	31,1
9 października 2019	1,2	11,4	1,2	5,3	6,3	35,4
10 października 2019	0,6	1,9	0,5	1,6	5,2	25,0
11 października 2019	1,6	4,6	1,1	4,1	8,6	31,1
12 października 2019, sobota	1,0	3,2	0,8	3,7	7,9	24,0
13 października 2019, niedziela	2,0	4,9	1,9	7,2	6,9	25,9
14 października 2019	1,2	2,9	1,2	3,9	9,8	36,4

Obliczenia szczegółowe – przykład obliczeń dla Skępego

Tabela 4. Analiza danych o dobowych amplitudach parametrów klimatu we wnętrzu kościoła w Skępem w całym okresie pomiarowym (dane ze 135 dni)

Table 4. Analysis of data on the amplitudes of the diurnal cycle of climate parameters inside the church in Skępe over the entire measurement period (data for 135 days)

ΔT_w			ΔRH_w		
$\Delta T [^{\circ}C]$	liczba dni o określonej wartości ΔT	obliczenia	$\Delta RH [%]$	liczba dni o określonej wartości ΔRH	interpretacja
<1	48	35,5% pomiarów – wahania temperatury w granicach warunków idealnych	<5	23	17% pomiarów – wahania wilgotności w granicach warunków idealnych

1-2	67	49,6% pomiarów – wahania temperatury w granicach warunków dobrych	5-7,5	41	30,4% pomiarów – wahania wilgotności w granicach warunków dobrych
2-3	17	12,6% pomiarów – wahania temperatury mniej niż dobre	7,5-10	28	20,8% pomiarów – wahania wilgotności mniej niż dobre
3-5	3	2,2% pomiarów – wahania temperatury niebezpieczne	10-15	34	25,2% pomiarów – wahania wilgotności niebezpieczne
5-10	0	brak złych i ekstremalnie złych dobowych amplitud temperatury	15-20	8	5,9% pomiarów – dobowe amplitudy wilgotności w granicach warunków złych
>10	0		>20	1	0,7% pomiarów – ekstremalnie złe dobowe amplitudy wilgotności

Tabela 5. Analiza danych o dobowych amplitudach temperatury w niszy ołtarzowej w całym okresie pomiarowym (dane ze 138 dni) z podziałem na okres przed założeniem szyby, po jej założeniu oraz łącznie

Table 5. Analysis of data on the amplitudes of the diurnal cycle of the temperature in the altar niche over the entire measurement period (data for 138 days), divided into the period before glazing was installed, after its installation and in total

$\Delta T [^{\circ}C]$	ΔT_w					
	liczba dni o wartości ΔT w 29 dniach pomiaru bez szyby	obliczenia	liczba dni o wartości ΔT w 109 dniach pomiaru z szybą	obliczenia	liczba dni o wartości ΔT w 138 dniach pomiaru	obliczenia
<1	6	20,7% pomiarów – wahania temperatury w granicach warunków idealnych	54	49,5% pomiarów – wahania temperatury w granicach warunków idealnych	60	43,5% pomiarów – wahania temperatury w granicach warunków idealnych
1-2	20	69% pomiarów – wahania temperatury w granicach warunków dobrych	49	45% pomiarów – wahania temperatury w granicach warunków dobrych	69	50% pomiarów – wahania temperatury w granicach warunków dobrych
2-3	3	10,3% pomiarów – wahania temperatury mniej niż dobre	5	4,6% pomiarów – wahania temperatury mniej niż dobre	8	5,8% pomiarów – wahania temperatury mniej niż dobre
3-5	0	brak niebezpiecznych dobowych amplitud temperatury	1	0,9% pomiarów – wahania temperatury niebezpieczne	1	0,7% pomiarów – wahania temperatury niebezpieczne
5-10	0	brak złych i ekstremalnie złych dobowych amplitud temperatury	0	brak złych i ekstremalnie złych dobowych amplitud temperatury	0	brak złych i ekstremalnie złych dobowych amplitud temperatury
>10						

Tabela 6. Analiza danych o dobowych amplitudach wilgotności w niszy ołtarzowej kościoła w Skępcem w całym okresie pomiarowym (dane ze 138 dni) z podziałem na okres przed założeniem szyby, po jej założeniu oraz łącznie

Table 6. Analysis of data on the amplitudes of the diurnal cycle of humidity in the altar niche of the church in Skępcem during the whole of the measurement period (data for 138 days), divided into the period before the glazing was installed, after its installation and in total

$\Delta RH [\%]$	ΔRH_w					
	liczba dni o wartości ΔRH w 29 dniach pomiaru bez szyby	obliczenia	liczba dni o wartości ΔRH w 109 dniach pomiaru z szybą	obliczenia	liczba dni o wartości ΔRH w 138 dniach pomiaru	obliczenia

<5	9	31% pomiarów – wahania wilgotności w granicach warunków idealnych	52	47,7% pomiarów – wahania wilgotności w granicach warunków idealnych	61	44,2% pomiarów – wahania wilgotności w granicach warunków idealnych
5–7,5	8	27,6% pomiarów – wahania wilgotności w granicach warunków dobrych	33	30,3% pomiarów – wahania wilgotności w granicach warunków dobrych	41	29,7% pomiarów – wahania wilgotności w granicach warunków dobrych
7,5–10	4	13,8% pomiarów – wahania wilgotności mniej niż dobre	11	10,1% pomiarów – wahania wilgotności mniej niż dobre	15	10,9% pomiarów – wahania wilgotności mniej niż dobre
10–15	6	20,7% pomiarów – wahania wilgotności niebezpieczne	11	10,1% pomiarów – wahania wilgotności niebezpieczne	17	12,3% pomiarów – wahania wilgotności niebezpieczne
15–20	2	6,9% pomiarów – dobowe amplitudy wilgotności w granicach warunków złych	2	1,8% pomiarów – dobowe amplitudy wilgotności w granicach warunków złych	4	2,9% pomiarów – dobowe amplitudy wilgotności w granicach warunków złych
>20	0	brak ekstremalnie złych dobowych amplitud wilgotności	0	brak ekstremalnie złych dobowych amplitud wilgotności	0	brak ekstremalnie złych dobowych amplitud wilgotności

Tabela 7. Dni, w których dobowa amplituda temperatury wewnątrz kościoła w Skępem charakteryzowała klimat niebezpieczny ($\Delta T \geq 3$). Pogrubiono dane w wierszach, w których dobowe amplitudy wilgotności były złe ($15 \leq \Delta RH < 20$)

Table 7. Days on which the amplitude of the diurnal cycle of temperature inside the church in Skępe corresponded to hazardous climate parameters ($\Delta T \geq 3$). Bolded data can be found in the rows where the amplitudes of the diurnal cycle of humidity indicate that the climate is poor ($15 \leq \Delta RH < 20$)

Data (godz. 12.00)	ΔT_w dobowa [°C] wewnątrz kościoła	ΔRH_w dobowa [%] wewnątrz kościoła	ΔT_z dobowa [°C] na zewnątrz	ΔRH_z dobowa [%] na zewnątrz
2 czerwca 2019, niedziela	3,0	11,7	12,5	56,6
30 czerwca 2019, niedziela	3,6	17,2	20,5	51,7
7 września 2019, sobota, ODPUST	3,1	16,2	13,1	50,7

Tabela 8. Dni, w których dobowa amplituda temperatury w niszy ołtarzowej kościoła w Skępem odpowiadała parametrom klimatu niebezpiecznego ($\Delta T \geq 3$). Pogrubiono dane w wierszu, w którym dobowa amplituda wilgotności była złą ($15 \leq \Delta RH < 20$)

Table 8. Days on which the amplitude of the diurnal cycle of temperature in the altar niche of the church in Skępe corresponded to hazardous climate parameters ($\Delta T \geq 3$). Bolded data can be found in the row where the amplitude of the diurnal cycle of humidity was bad ($15 \leq \Delta RH < 20$)

Data (godz. 12.00)	ΔT_w dobowa [°C] wewnątrz w niszy	ΔRH_w dobowa [%] wewnątrz w niszy	ΔT_z dobowa [°C] na zewnątrz	ΔRH_z dobowa [%] na zewnątrz
30 czerwca 2019, niedziela	3,1	17,0	20,5	51,7
7 września 2019, sobota, ODPUST	3,3	13,1	13,1	50,7

Tabela 9. Dni, w których dobowa amplituda wilgotności we wnętrzu kościoła w Skępem była zła ($15 \leq \Delta RH < 20$) i ekstremalnie zła ($\Delta RH > 20$). Pogrubiono dane w wierszu, w którym dobowa amplituda wilgotności była ekstremalnie zła

Table 9. Days on which the amplitude of the diurnal cycle of humidity inside the church in Skępe corresponded to poor ($15 \leq \Delta RH < 20$) and extremely poor ($\Delta RH > 20$) climate parameters. Data in the row in which the amplitude of the diurnal cycle of humidity corresponded to extremely poor climate parameters is bolded

Data (godz. 12.00)	ΔT_w dobowa [°C] wewnątrz kościoła	ΔRH_w dobowa [%] wewnątrz kościoła	ΔT_z dobowa [°C] na zewnątrz	ΔRH_z dobowa [%] na zewnątrz
29 maja 2019, środa	0,6	16,9	.	.
8 czerwca 2019, sobota	1,8	15,3	14,1	48,2
9 czerwca 2019, niedziela	2,5	16,0	15,5	61,7
23 czerwca 2019, niedziela	2,1	22,6	12,3	53,3
30 czerwca 2019, niedziela	3,6	17,2	20,5	51,7
14 lipca 2019, niedziela	2,2	16,3	12,1	69,0
21 lipca 2019, niedziela	2,9	16,7	11,9	49,6
7 września 2019, sobota, ODPUST	3,1	16,2	13,1	50,7
8 września 2019, niedziela	2,4	15,6	4,0	17,4

Tabela 10. Dni, w których dobowa amplituda wilgotności w niszy ołtarzowej kościoła w Skępem była zła ($15 \leq \Delta RH < 20$)

Table 10. Days on which the amplitude of the diurnal cycle of humidity in the altar niche of the church in Skępe corresponded to poor climate parameters bad ($15 \leq \Delta RH < 20$)

Data (godz. 12.00)	ΔT_w dobowa [°C] wewnątrz w niszy	ΔRH_w dobowa [%] wewnątrz w niszy	ΔT_z dobowa [°C] na zewnątrz	ΔRH_z dobowa [%] na zewnątrz
9 czerwca 2019, niedziela	1,9	17,6	15,5	61,7
23 czerwca 2019, niedziela	1,6	19,1	12,3	53,3
30 czerwca 2019, niedziela	3,1	17,0	20,5	51,7
13 sierpnia 2019, wtorek (nabożeństwo fatimskie)	0,8	16,1	9,4	54,2

Kryterium bezpieczeństwa wilgotnościowego

Można je zilustrować przykładem obliczeń wykonanych dla kościoła w Skępem (nawa) w końcu maja i w czerwcu 2019 roku. Przy temperaturze powietrza w kościele przeciętnie ok. 20°C (najniższa odnotowana 16,2°C, a najwyższa odnotowana 25,1°C) wilgotności kształtowały się następująco:

Tabela 11. Bezpieczeństwo wilgotnościowe w okresie wiosennym 2019 roku

Table 11. Safe humidity levels in spring 2019

Wilgotność względna powietrza we wnętrzu kościoła (nawa) w Skępem w okresie pomiarowym od 27 maja do 25 czerwca 2019 roku	Procent czasu pomiarowego z ogólnej liczby 8296 rekordów
Między najniższą zarejestrowaną wartością 41,1% a 45%	0,13
Między 45% a 55%	4,31
Optymalna wilg. wzgl. powietrza we wnętrzu między 55% a 65%	29,11
Między 65% a 75%	66,12
Między 75% a 85% (najwyższa zarejestrowana wartość 78,3%)	0,33
Między 85% a 95%	0,00
Powyżej 95%	0,00

W chłodniejszym okresie od 16 września do 15 października przy temperaturze powietrza w kościele przeciętnie ok. 17–18°C (najniższa odnotowana 13,1°C, a najwyższa odnotowana 19,4°C) wilgotności kształtowały się następująco:

Tabela 12. Bezpieczeństwo wilgotnościowe w okresie jesiennym 2019 roku

Table 12. Safe humidity levels in autumn 2019

Wilgotność względna powietrza we wnętrzu kościoła (nawa) w Skępem w okresie pomiarowym od 16 września do 15 października 2019 roku	Procent czasu pomiarowego z ogólnej liczby 8569 rekordów
Między najniższą zarejestrowaną wartością 47,7% a 45%	-
Między 45% a 55%	16,08
Optymalna wilgotność względna powietrza we wnętrzu między 55% a 65%	36,36
Między 65% a 75%	47,52
Między 75% a 85%	0,03
Między 85% a 95%	-
Powyżej 95% (najwyższa zarejestrowana wartość 75,7%)	-

W całym okresie badawczym od 27 maja do 15 października:

Tabela 13. Bezpieczeństwo wilgotnościowe w całym okresie badawczym

Table 13. Safe humidity levels throughout the research period

Wilgotność względna powietrza we wnętrzu kościoła (nawa) w Skępem w okresie pomiarowym od 27 maja do 15 października 2019 roku	Procent czasu pomiarowego z ogólnej liczby 47519 rekordów
Między najniższą zarejestrowaną wartością 37,4% a 45%	1,3
Między 45 a 55%	14,7
Optymalna wilgotność względna powietrza we wnętrzu między 55% a 65%	44,6
Między 65% a 75%	39,3
Między 75% a 85%	0,1
Między 85% a 95%	-
Powyżej 95% (najwyższa zarejestrowana wartość 78,3%)	-

Przykład omówienia wyników i wniosków

Omówienie wyników

Analizując wyniki pomiarów i dokonanych na ich podstawie obliczeń, jako punkt odniesienia i zarazem wzorzec przyjęto klimat stwierdzany podczas badań prowadzonych w olbrzymich gotyckich kościołach. Dobowe wahania klimatu przez większość dni w roku nie przekraczają w nich 1°C i 5% RH.

1. W kościele w Skępem w całym okresie prowadzenia badań wzorzec idealnej stabilności temperatury dotyczył tylko 35,5% dni pomiarowych, a 49,6% dni pomiarowych to wahania między 1°C a 2°C. Wahania między 2 a 3°C dotyczą 12,6% dni. W okresie badawczym¹⁹ zaledwie trzykrotnie dobowe amplitudy temperatury były wyższe niż 3°C (2,2% dni pomiarowych). Nie zdarzyły się większe wahania temperatury (tab. 4)²⁰.

¹⁹ W zasadzie cały okres badawczy stanowiło upalne lato, jedynie ostatnie dni września i kilka dni października były chłodniejsze.

²⁰ Dla porównania w małym gotyckim kościele w Przecznie w całym długim (356 dni) okresie prowadzenia badań wzorzec idealnej stabilności temperatury dotyczył 56,7% dni pomiarowych, a 34,5% dni pomiarowych to wahania między 1°C a 2°C. Zaledwie trzykrotnie dobowe amplitudy temperatury były wyższe niż 3°C (0,8% dni pomiarowych).

2. W niszy ołtarzowej temperatura jest bardziej stabilna – 20,7% przed założeniem szyby, 49,5% po założeniu szyby, w całym zaś okresie badawczym 43,5% pomiarów odpowiada wzorcowi idealnemu. Wahania między 1°C a 2°C dotyczą 69% dób przed założeniem szyby, 45% po jej założeniu, a w całym okresie pomiarowym jest to 50% dni. Wahania między 2°C a 3°C dotyczą 10,3% dób bez szyby, 4,6% po jej założeniu, ogółem 5,8% dni. W okresie badawczym zaledwie jeden raz dobową amplitudę temperatury była wyższa niż 3°C (0,7% dni pomiarowych). Nie zdarzyły się większe wahania temperatury (tab. 5).
3. Dobowe amplitudy wilgotności powietrza w kościele zaledwie w 23 ze 135 dni pomiarowych były niższe od 5%, co stanowi 17,0% czasu badań. Dodając do tego 30,4% czasu z wahaniami w granicach warunków dobrych (między 5% a 7,5%), możemy przyjąć, że przez niemal połowę czasu klimat kościoła pozostaje stabilny (47,4%). 20,8% czasu pomiarowego to warunki już mniej niż dobre, kiedy wahania wilgotności względnej powietrza dochodzą do 10% w ciągu doby, łącznie zaś aż 31,8% czasu stanowią dni o bardzo dużych, niebezpiecznych wahaniami wilgotności.
4. Dobowe amplitudy wilgotności względnej powietrza w niszy odpowiadały wzorcowi idealnemu w 31% dni bez szyby, w 47,7% po jej założeniu, łącznie w 44,2% dni. Wahania do 7,5% RH dotyczyły odpowiednio 27,6% dni przed założeniem szyby, a 30,3% po jej założeniu, ogólnie 29,7% wszystkich dni pomiarowych. Dla przedziału niebezpiecznych amplitud wilgotności między 10% a 15% wartości te wynosiły odpowiednio 20,7%, 10,1%, a ogólnie 12,3%. Złe wartości amplitud (15–20%) dotyczyły 6,9% dni bez szyby i tylko 1,8% dni po jej założeniu (ogółem 2,9% pomiarów). Ekstremalne wahania w niszy nie wystąpiły (tab. 6).
5. Zestawienie wyników obliczeń amplitud pokazuje, że szyba nieco łagodzi ekstremalne zjawiska klimatyczne, wygładzając nieznacznie klimat, co jest zjawiskiem pozytywnym. Jest jednak faktem, że w niszy wilgotność zarówno przed założeniem szyby, jak i po jej założeniu jest wyższa niż w nawie kościoła (tab. 3; wykres 5).
6. W okresie pomiarowym podczas 9 dni odnotowane zostały bardzo duże i ekstremalne wzrosty lub spadki wilgotności względnej powietrza w kościele (tab. 3, 9). Z tych dni aż 6 to niedziele, jedna sobota, kiedy odbywają się śluby lub inne uroczystości, sobota odpustowa oraz środa 29 maja. Z liczby 9 dni żadna z amplitud wilgotności nie była wyższa niż na zewnątrz kościoła. Oznacza to, że czynniki powodujące wahania wilgotności są wynikiem warunków wewnętrznych, jednak kościół ma jeszcze pewien zapas zdolności buforowania tych zmian wilgotności.
7. Z analizy zależności pomiędzy zmianami temperatury i wilgotności względnej powietrza na zewnątrz i wewnątrz kościoła wynikają wnioski potwierdzające ustalenia z poprzednich lat – w kościele w Skępem klimat zewnętrzny ma bardzo istotny wpływ na klimat wnętrza. Na wszystkich wykresach widoczne są wyraźne wzrosty temperatury i spadki wilgotności w godzinach południowych w słoneczne dni. Wobec wyjątkowo upalnego i bezdeszczowego lata trudniej na przedstawionych wykresach dostrzec szybkość wzrostów wilgotności we wnętrzu w dni deszczowe, jednak zjawisko to – znane z wcześniejszych badań – ma miejsce i dlatego powinno być także brane pod uwagę.

Temperatura jest w miarę stabilna – latem to niemal idealna średnia między dobowymi amplitudami temperatury zewnętrznej. W okresie września i października wyższa od średniej zewnętrznej, niekiedy nawet wyższa od temperatury wewnętrznej w południe, co oznacza, że kościół zakumulował duże ilości ciepła, które jest powolnie wypromieniowywane przez mury (wykres 3). Duże zgromadzenia wiernych podnoszą temperaturę w nieznacznym stopniu (tab. 3).

Analizując bezpieczeństwo wilgotnościowe, można zauważyć, że wilgotność względna powietrza w kościele w miesiącach letnich i wczesnojesiennych zawiera się w większości w przedziale 55–75%. W końcu maja i w czerwcu dominowały wartości między 65 a 75% RH – 66,12%, a optymalna wilgotność panowała w 29,11% czasu pomiarowego (tab. 11). Po upalnym lecie od połowy września do połowy października prawie czterokrotnie (w stosunku do maja, czerwca) wzrósł czas niskich wilgotności, optymalna wilgotność trwała przez 36,36%, a podwyższone wartości między 65% a 75% RH utrzymywały się przez 47,52% czasu pomiarowego (tab. 12). W całym okresie pomiarowym optymalna wilgotność trwała przez 44,6%, a nieco

podwyższona – przez 39,3% czasu badawczego (tab. 13). W całym okresie badawczym tylko kilka razy wystąpiły wartości wyższe niż 75%, a najwyższa odnotowana wartość wyniosła 78,3%. Natomiast w okresach zimowych wilgotności powietrza są wyższe, zawierają się w większości między 70% a 75%, a zgromadzenia wiernych podnoszą wilgotność nawet powyżej 85% (wykres 15 z zimy 2008 roku).

Zgromadzenia wiernych, podnosząc wilgotność w znacznym stopniu w kościele, powodują także jej podwyższenie w niszy (wykres 7, z soboty 8 czerwca, o godz. 15 – ślub lub inna uroczystość; wykresy 13 i 14 z 2008 roku). W bardzo gorących i suchych miesiącach: czerwcu, lipcu, sierpniu i wrześniu 2019 roku w kościele zdarzyły się w godzinach południowych spadki wilgotności powietrza nawet poniżej 40%. Pociągało to za sobą znaczne spadki wilgotności także w niszy (29 maja, 9 czerwca, 23 czerwca, 30 czerwca, 14 lipca). Na przykład w niedzielę 9 czerwca (wykres 8) pierwsza msza poranna podwyższyła wilgotność w kościele o prawie 10%, ale potem aż do godziny 16 następował jej znaczący spadek, co było spowodowane dużym spadkiem wilgotności powietrza na zewnątrz (9 czerwca o godz. 15.35, T_w 22°C, RH_w 52,7%; T_z 26,1°C, RH_z 27%). W tym dniu nawet niedzielne zgromadzenie wiernych nie było w stanie wyrównać niżki wilgotności powietrza spowodowanej napływem suchego powietrza zewnętrznego. Podobne zjawisko wystąpiło 23 czerwca, kiedy o godzinie 14.30 wilgotność powietrza zewnętrznego spadła do 24,9%, a o godz. 15.35 wynosiła 27,3% (wykres 9), a także 30 czerwca, kiedy przez cały dzień utrzymywała się bardzo niska wilgotność powietrza na zewnątrz, a np. o godz. 15.45 wynosiła ona tylko 17,1% (wykres 10).

8. Nisza ołtarzowa ma własny mikroklimat, minimalnie różny od klimatu nawy kościoła. Warunkowane to jest wieloma czynnikami, m.in. bliskością materiałów higroskopijnych (tkanina aksamitnego obicia, masa drewna budującego ołtarz, specyfika klimatu prezbiterium kościoła itd.). Wilgotność powietrza i temperatura w niszy są zazwyczaj nieco wyższe niż w nawie kościoła (wykres 5). Charakterystykę zmian temperatury w kościele wpływających na temperaturę powietrza w niszy obrazuje wykres 6. Widać na nim, że w nocy w niszy jest nieco cieplej niż w kościele. Podnoszenie temperatury powietrza w nawie podczas np. niedzielnych mszy powoduje opóźniony wzrost temperatury powietrza w niszy, a potem, kiedy w nawie temperatura już opada, w niszy pozostaje nadal podwyższona aż do następnego poranka. Wzrosty lub spadki wilgotności względnej powietrza w kościele skutkują takimi samymi zmianami w niszy, niekiedy je nawet przewyższającymi, ale również zachodzącymi z niewielkim opóźnieniem. W okresie przed zamontowaniem szyby (29 dni pomiarowych) zwiększone amplitudy wahań wilgotności względnej powietrza w niszy, przewyższające amplitudy w kościele, odnotowano aż 8 razy (zaznaczone pogrubieniem w tabeli 3), natomiast po zamontowaniu szyby do dużych wahań wilgotności w niszy doszło również 8 razy, ale w znacznie dłuższym (109 dni pomiarowych) odcinku czasu.
9. Badania pirometrem sprawdzające potencjalne zagrożenie kondensacją pary wodnej w niszy wykazały, że w okresie pomiarowym takie zagrożenie nie zaistniało. Krzywa pirometrycznego pomiaru temperatury srebrnego księżycy pod stopami Matki Bożej pokrywa się niemal z krzywą temperatury powietrza (wykres 6), natomiast krzywa DP na wykresach 1, 2, 3 znajduje się w dużej, bezpiecznej odległości od temperatury powietrza i materiałów. Jednak ze względu na to, że w okresie zimy niebezpieczeństwo kondensacji jest bardzo prawdopodobne, pomiary pirometryczne powinny być kontynuowane, zwłaszcza w czasie świąt Bożego Narodzenia.

Podsumowanie badań i wnioski

Dokonane pomiary i analiza wyników potwierdziły przynależność kościoła do tzw. II typu klimatycznego ze wszystkimi tego konsekwencjami – z ogromnym wpływem klimatu zewnętrznego, ale także zgromadzeń wiernych na parametry klimatu wewnątrz kościoła. Największe wahania klimatu mają miejsce w soboty, niedziele, święta. We wnętrzu kościoła podczas samych mszy, a zwłaszcza po ich zakończeniu, najczęściej dochodzi do wzrostów wilgotności względnej powietrza, a następnie jej powolnego opadania. Natomiast w okresach suszy i upałów na skutek szerokiego otwierania

drzwi występują bardzo silne spadki wilgotności. Ten sam problem dotyczy niszy, z tą różnicą, że w jej obrębie mamy do czynienia z opóźnieniem czasowym – wolniej dochodzi do wzrostu lub spadku wilgotności i znacznie wolniej dochodzi do jej wyrównywania. Ta zależność, wychwycona już podczas badań prowadzonych przed laty, potwierdziła się podczas obecnych badań.

Zastrzegając, że do pełnej oceny warunków przechowywania Cudownej Figurki po zamontowaniu zabezpieczenia niezbędna jest jeszcze obserwacja klimatu za szybą w okresie zimowym, można stwierdzić, iż dotychczasowe wyniki pomiarów pozwalają już z ostrożnością sformułować wnioski, że wprowadzenie szyby chroniącej Figurkę nie powoduje pogorszenia warunków jej przechowywania. Mniejsza – w stosunku do dłuższego czasu pomiarów – liczba zarejestrowanych incydentów ekstremalnej wilgotności powietrza w niszy pozwala nawet wyrazić przypuszczenie, że szyba pełnić może w pewnym zakresie funkcję ochrony przed wzrostami wilgotności powietrza, poprawiając tym samym warunki przechowywania Figurki²¹. Pomiarów wskazują jednak zarazem, że warunki klimatyczne w kościele w Skępem daleko obiegają od optymalnych. Dążąc zatem do poprawy warunków przechowywania Figurki Matki Bożej Skępskiej, należy się skupić na poprawie stabilności klimatu w całym kościele. Można to osiągnąć przez:

- stałe dbanie o sprawność naturalnej wentylacji wnętrza (z zakrystii przez wieżę i otwory wentylacyjne w kościele, także dbanie o wentylację kaplicy św. Anny), aby możliwie szybko odbierana była wilgoć *podczas i po zakończeniu mszy świętych*;
- monitorowanie klimatu i świadome reagowanie korygujące jego parametry, np. przy wilgotnym (powyżej 75%) lub suchym (poniżej 45%) powietrzu na zewnątrz – spowalnianie wymiany powietrza z wnętrzem – w praktyce oznacza to ograniczenie swobodnego otwierania wielkich drzwi np. podczas suchych upałów;
- odtworzenie historycznych rolet ograniczających przegrzewanie wnętrza przez słońce w godzinach południowych oraz odtworzenie drzewostanu.

Zakończenie

Zarówno prowadzone od lat badania, jak i praktyka konserwatorska nie pozostawiają najmniejszej wątpliwości, że reakcje materii budującej dzieła sztuki i obiekty zabytkowe mają charakter indywidualny, zależny od budowy, że powstające w ich następstwie naprężenia prowadzą do destrukcji tej materii, że odpowiedź materii na każdą, nawet niewielką zmianę parametrów klimatu jest natychmiastowa!

W podsumowaniu jednej z niedawnych publikacji²² napisałam:

Oceniając klimat i jego wpływ na chronione przez nas obiekty, musimy mieć świadomość, że nie istnieje możliwość »schowania się« za jakiegokolwiek – mniej lub bardziej surowe normy.

Zmiany powodowane wahaniami klimatu rozgrywają się w pierwszym rzędzie w skali mikro i dlatego nawet bardzo zaawansowane procesy destrukcji mogą umykać naszej uwadze, wiele lat tocząc się niedostrzegalnie²³. Wahania klimatu działają jak przysłowiowy cichy

²¹ Podczas ustaleń dotyczących zabezpieczenia szybą zdecydowano o zachowaniu minimalnego przepływu powietrza między wnętrzem niszy a przestrzenią kościoła. Zamknięcie hermetyczne niszy i stabilizacja klimatu jej wnętrza żelom pozwoliłaby zapewnić i zwiększyć bezpieczeństwo Figurki, ale rozwiązanie to wymagałoby stałego monitorowania klimatu, okresowego kondycjonowania żelów itd. O ile w warunkach muzealnych takie zadania nie stanowią problemu dla pracowni konserwatorskiej, o tyle w warunkach klasztoru – są praktycznie niewykonalne. Nawet przeszkolenie i specjalne przygotowanie któregoś z zakonników nie jest dobrym rozwiązaniem wobec wynikającej z reguły zakonnej ich rotacji.

²² B. J. Rouba, *Zagadnienia klimatu a bezpieczeństwo zbiorów...*

²³ W kontekście tych faktów posługiwano się przez niektórych badaczy pojęciem tzw. klimatu historycznego (monitorowanego minimum przez 12 miesięcy) i teorią aklimatyzacji obiektów, która określa dany obiekt jako zaaklimatyzowany do danych warunków, jeśli w przeciągu minimum roku nie stwierdzono nowych uszkodzeń, nie wydaje się słuszne. Figurka Matki Bożej Skępskiej od 527 lat znajduje się w tym samym miejscu, a od przebudowy kościoła w 1. połowie XVIII wieku w tym samym klimacie jego wnętrza, w tej samej niszy ołtarzowej. Mimo to nie można mówić o aklimatyzacji, gdy coroczne sprawdzenia dokonywane

zabójca. Na przykład zachodzące pod wpływem naprężeń procesy degradacji łańcuchów celulozowych bardzo długo mogą pozostawać utajone. Gdybyśmy byli w stanie co pewien czas kontrolować w obrazach wytrzymałość płótna na zerwanie, spadek gęstości drewna, procesy zachodzące we wnętrzach rzeźb – moglibyśmy realnie oceniać, czy warunki przechowywania są dla nich bezpieczne, czy nie. Ponieważ jednak nie mamy narzędzi umożliwiających bezinwazyjne wykonywanie tego rodzaju testów, ocena prawdziwego wpływu klimatu na poszczególne zabytki ciągle jeszcze musi pozostawać oparta na doświadczeniach płynących z obserwacji analogii, zniszczeń, do których już doszło, na wnioskowaniu pośrednim.

To wszakże, co wiemy na pewno, to fakt istnienia prostej zależności – im bardziej niestabilny klimat w otoczeniu zabytku, tym szybciej zachodzą wywoływane przezeń procesy niszczenia. Z tego stwierdzenia wypływa kolejna prosta zależność – im bardziej zależy nam na spowolnieniu procesów niszczenia zabytku czy zbioru zabytków, tym większą wagę powinniśmy przykładać do dbania o stabilność klimatu i jego optymalne parametry.

Strategię walki o stabilność warunków klimatycznych trzeba w każdym obiekcie wypracować indywidualnie, rozpoczynając od dogłębnego przeanalizowania wyników pomiarów parametrów klimatu, precyzyjnego ustalenia przyczyn niestabilności i podjęcia działań zaradczych.

Oczywiście nie zawsze jesteśmy w stanie całkowicie wyeliminować niestabilność klimatu. Nikt nie wyrzuci wiernych z kościoła ani zwiedzających z muzeum. Jednak w wielu przypadkach rejestracja godzin wydarzeń muzealnych czy kościelnych w powiązaniu z szacowaniem liczby ich uczestników, a następnie ocena, jak wpływają one na klimat wnętrza, daje podstawę do podejmowania racjonalnych decyzji. Zmniejszanie grup gości muzealnych wpuszczanych do newralgicznych pomieszczeń czy zwiększenie liczby mszy, aby unikać ścisłu i zwyżek wilgotności w kościele – daje bardzo dobre rezultaty.

Muzeom borykającym się ze zbyt niską wilgotnością powietrza w zimie pozostaje zdecydowane obniżanie temperatury we wnętrzach i ewentualnie dodatkowo używanie nawilżaczy. Już dziś w wielu muzeach wyposażeni w termiczne peleryny pracownicy dobrze znoszą niższą temperaturę powietrza, muzeum oszczędza energię, muzealia nie ulegają drastycznemu przesuszaniu. Ma to ogromne znaczenie, zwłaszcza w muzeach rezydencjonalnych. Drewniane boazerie, zabytkowe meble, instrumenty muzyczne, ale także obrazy, rzeźby nie wytrzymują warunków, które my dziś uważamy za komfortowe. Nawet jeśli temperaturę w pomieszczeniach utrzymujemy na poziomie nie wyższym niż 19–20°C, to najdalej po 20–30 latach stan zabytków drewnianych jest bardzo wyraźnie pogorszony, złącza rozluźnione, sklejenia desek popękane, niekiedy zdeformowane intarsje itd. Takie doświadczenia ma każdy właściciel zabytkowych mebli we własnym domu. Niezależnie czy są one użytkowane, czy tylko po prostu stoją – podlegają działaniu klimatu, innego dzisiaj we wnętrzach mieszkalnych niż kiedy meble powstawały w chłodnych warsztatach rzemieślniczych, a potem trafiały do chłodnych wnętrz.

Nieocenioną rolę w stabilizacji klimatu wewnątrz odgrywają drzewa lub świadomie projektowane parawany z pnączy w otoczeniu muzeum czy kościoła. Chronią one nie tylko przed przegrzewaniem w upalne dni, ale także w pewnej mierze przed niekontrolowaną wymianą powietrza w dniach z silnymi wiatrami. W obiektach o dużych oknach przegrzewanie wewnątrz można znacząco zredukować odpowiednio dobranymi roletami, żaluzjami, zasłonami. Także współczesna technika (filtry IR, specjalne szkło) daje nam duże możliwości, warte wykorzystywania.

Bardzo istotne znaczenie dla klimatu ma prawidłowa wentylacja, i to nie ta wymuszana współczesnymi urządzeniami. Bezcenne, bo całkowicie bezobsługowe i działające bezbłędnie, są historyczne rozwiązania – wentylacja kościołów przez krypty, domów przez piwnice, otwieranie na lato okienek strychowych, zabezpieczających przed akumulacją ciepła na poddaszach itd.

Rejestracja parametrów klimatu jest dziś zadaniem bardzo prostym, dostępnym i tanim. W wielu przypadkach bywa jednak tak, że ocena klimatu kończy się wyłącznie pobieżnym stwierdzeniem, że jest źle lub jest dobrze, i odłożeniem wyników do szuflady. Stają się one wtedy tylko

w latach 1997–2009 za każdym razem ujawniały powstawanie niewielkich, ale jednak wyraźnie się unoszących łuseczek polichromii.

balastem, w dodatku absorbującym czyjś czas. Natomiast dogłębnie przeanalizowane, przemyślane i zastosowane w praktyce, pozwalają na rzeczywiste poprawianie warunków, a przez to na zwiększanie skuteczności ochrony naszego dziedzictwa.

Prof. dr hab. Bogumiła Jadwiga Rouba

Od ukończenia studiów związana z Zakładem (obecnie Katedrą) Konserwacji-Restauracji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej na Wydziale Sztuk Pięknych UMK w Toruniu. W latach 2009 do 2018 pracowała także w Instytucie Turystyki i Rozwoju Gospodarczego UŁ. Naukowiec, badacz, praktyk konserwator-restaurator w zakresie malarstwa sztalugowego, ściennego i rzeźby polichromowanej. Od lat prowadzi badania dotyczące procesów niszczenia zabytków, zwłaszcza zagadnień związanych z wpływem warunków zewnętrznych na przebieg procesów destrukcji, wpływem klimatu, ogrzewania, zawilgocenia. Prowadzi poszukiwania metod i sposobów spowalniania procesów niszczenia zabytków o skutecznej ich ochrony. Autorka 168 publikacji. Wieloletni rzeczoznawca ZPAP, także MKiDN. Jest przewodniczącą Rady Ochrony Zabytków przy MKiDN, członkiem wielu gremiów naukowych i redakcyjnych.

Prof. Dr Hab. Bogumiła Jadwiga Rouba

has been associated with the Department (now Chair) of Conservation of Paintings and Polychrome Sculptures at the Faculty of Fine Arts of the Nicolaus Copernicus University in Toruń since her graduation. From 2009 to 2018, she also worked at the Institute of Tourism and Economic Development at the University of Łódź. Scholar, researcher, practising conservator-restorer in the field of easel painting, wall painting and polychrome sculpture. For years, she has been conducting research into the processes of the deterioration of monuments, especially issues related to the influence of external conditions on the course of destructive processes, the impact of climate, heating, humidity. She conducts searches for methods and ways to slow down the destruction processes of monuments and to protect them effectively. Author of 168 publications. For many years she has been an expert of ZPAP, also of the Ministry of Culture and National Heritage. She is chair of the Council for the Protection of Monuments at the Ministry of Culture and National Heritage and a member of many academic and editorial bodies.

Bibliografia

Charkowska Anna, *Warunki środowiskowe w salach wystawowych i magazynach muzeów*, „Instal” 2020, nr 3, s. 26–31, DOI: 10.36119/15.2020.3.3.

Eckert Wojciech, Filipowicz Paweł, Młynarczyk Grzegorz, Pedrycz Włodzimierz, Rouba Bogumiła J., *Optymalizacja metod konserwacji. Zagadnienie nierównowagi wilgotnościowej w obiektach zabytkowych*, red. Bogumiła J. Rouba, Warszawa 2022, https://ksiegarnia.nid.pl/wp-content/uploads/2022/12/Optymalizacja-metod-konserwacji_www.pdf (dostęp: 22.07.2023).

Łękawa-Wysłouch Teresa, Rouba Bogumiła J., *Ocena wpływu zmiennych warunków klimatycznych na płócienną podłóża malarskie*, Toruń 2012, https://apcz.umk.pl/AUNC_ZiK/article/view/AUNC_ZiK.2012.013/3044 (dostęp: 22.07.2023).

Rouba Bogumiła J., *Badania klimatyczne*, [w:] *Gotyckie malowidła ścienne w kościele św. Jakuba w Toruniu. Problematyka badawczo-konserwatorska*, red. Michał Woźniak, Toruń 2001, s. 131–151.

Rouba Bogumiła J., *Badania klimatyczne a problematyka konserwatorska*, [w:] *Od badań do konserwacji. Materiały z konferencji 23–24 października 1998 r.*, Toruń 2002, s. 193–198.

Rouba Bogumiła J., *Ogrzewanie – problem opiekuna kościoła*, [w:] *Sanktuarium Matki Bożej Pocieszenia w Leżajsku*, red. Aleksander Krzysztof Sitnik OFM, Agata Dworzak, Kalwaria Zebrzydowska 2020, s. 877–902.

Rouba Bogumiła J., *Pielęgnacja świątyni i innych zabytków. Książka nie tylko dla księży*, Toruń 2014.

Rouba Bogumiła J., *Polichromie kościoła klasztorowego w Skępem*, [w:] *260. rocznica koronacji figury Matki Bożej Skępskiej – Pani Mazowska (1755–2015)*, red. Aleksander Krzysztof Sitnik OFM, Kalwaria Zebrzydowska 2016, s. 169–227.

Rouba Bogumiła J., *Problematyka konserwatorska Cudownej Figurki Matki Bożej Skępskiej*, [w:] *Tota pulchra. 520. rocznica przywiezienia figury Matki Bożej Brzemiennej – Pani Skępskiej z Poznania do Skępego 1496–2016*, red. Cyprian Janusz Moryc OFM, Kalwaria Zebrzydowska 2017, s. 47–66.

Rouba Bogumiła J., *Zagadnienia klimatu a bezpieczeństwo zbiorów*, [w:] *Problemy muzeów związane z zachowaniem i konserwacją zbiorów. VI Międzynarodowa Konferencja Konserwatorska, Szreniawa, 9–10 października 2014*, red. Lidia Staniek, Paulina Kryg, Przemysław Jankowski, Szreniawa 2015, s. 191–208.

Rouba Bogumiła J., Kapka Magdalena, *Pomiary parametrów klimatu w gotyckim kościele*, [w:] *Kościół Podwyższenia Krzyża Świętego w Przecznie. Wystrój i wyposażenie*, red. Krystyna Sulkowska-Tuszyńska, ks. Wacław Dokurno, Przeczno–Toruń 2019.