

**HISTORIA
ARCHITEKTURY
I KONSERWACJA
ZABYTKÓW**

**HISTORY OF ARCHITECTURE
AND MONUMENT
CONSERVATION**

MAREK GOSZTYŁA

Prof. dr hab. inż.

Rzeszów University of Technology
Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture
e-mail: gosztyla@prz.edu.pl
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6131-7162>

KRYSTIAN SIKORSKI

Mgr inż.

Rzeszów University of Technology
Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture
e-mail: mr.krystian.sikorski@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4093-0697>

ROTUNDA ŚW. MIKOŁAJA W PRZEMYŚLU — BADANIE STRUKTUR MATERIAŁU BUDOWLI

ROTUNDA OF ST. NICHOLAS IN PRZEMYŚL — STUDY OF THE STRUCTURES OF THE BUILDING MATERIAL

STRESZCZENIE

W artykule, który można potraktować jako kontynuację badań mających na celu określenie lat budowy rotundy pw. św. Mikołaja w Przemyślu, podjęto kolejną próbę wskazania okresu wzniesienia świątyni w oparciu o aktualny stan badań oraz z wykorzystaniem precyzyjnej aparatury badawczej. Badania ukierunkowane zostały na określenie struktur materiału budowlanego na drodze analiz składu chemicznego i krystalicznego pobranych próbek zapraw. Podjęto również próbę określenia miejsca kamieniołomu, z którego pozyskiwano materiał do budowy świątyni, wykorzystując narzędzia do oceny ich składu chemicznego i krystalicznego. Rozpoznanie składu próbek przeprowadzono w oparciu o badania *in situ* oraz laboratoryjne (analizy instrumentalne). Wyniki badań pozwoliły określić skład chemiczny i krystaliczny zapraw, skład chemiczny i krystaliczny kamieni oraz porównać z innymi datowanymi obiektami.

Słowa kluczowe: rotunda, Przemyśl, zaprawa, FTIR-ATR, XRD

ABSTRACT

In the paper, which can be treated as a continuation of research intended to identify the time period when the Rotunda of St. Nicholas in Przemyśl had been built, we made another attempt to define the period of the church's construction based on the current state of the art and with the use of precise research equipment. Our study was aimed at defining the structures of the building's material obtained via chemical and crystalline composition analysis of collected mortar samples. We also attempted to define the site of the quarry from where the material used to build the church had been procured from, using tools to assess their chemical and crystalline compositions. We identified the composition of the samples via *in situ* and laboratory testing (instrumental analyses). The findings allowed us to determine the chemical and crystalline composition of mortars and the chemical and crystalline composition of stone and to compare it with other dated buildings.

Keywords: rotunda, Przemyśl, mortar, FTIR-ATR, XRD

WSTĘP

Zabytki sakralne ziemi przemyskiej, ze względu na historię sięgającą przełomu pierwszego i drugiego tysiąclecia, stanowią przedmiot interdyscyplinarnych badań archeologów, architektów, historyków sztuki oraz budowniczych. Data powstania badanej rotundy pw. św. Mikołaja, zlokalizowanej pod prezbiterium Bazyliki Archikatedralnej pw. św. Jana Chrzciciela i Wniebowzięcia Najświętszej Maryi Panny, do dnia dzisiejszego nie jest jednoznacznie określona. Kontynuując poszukiwania podjęto kolejną próbę określenia okresu wzniesienia świątyni w oparciu o aktualny stan badań, ponadto poprzez wykorzystanie precyzyjnej aparatury badawczej poszerzono obszar badawczy.

1. STAN BADAŃ

Rotunda pw. św. Mikołaja przez wieki była zapomniana przez zarządców bazyliki. *Nie ma bowiem nic ukrytego, co by nie wyszło na jaw, ani nic tajemniczego, co by się nie stało wiadome* (Nowy Testament, Łk 12,2), stąd też na początku lat 60. minionego stulecia ekspedycja archeologiczna Muzeum Okręgowego w Rzeszowie kierowana przez Antoniego Kunysza natrafiła na ślady murów. Zdając sobie sprawę z potencjalnej rangi znaleziska do współpracy zaproszono Józefa T. Frazika — profesora z Politechniki Krakowskiej. Ostatecznie, bazując na przesłankach architektonicznych oraz pozyskanym materiale zabytkowym oszacowano, że możliwy okres powstania rotundy przypadają na czas pomiędzy I połową XII wieku a III ćwiercią XIII wieku (Pianowski, Proksa, 2008a, s. 64) Cenną informację, w kontekście chronologii powstawania obiektu, stanowią wyniki badań kości pozyskanych przez Andrzeja Koperskiego podczas poszukiwań przeprowadzonych na przylegającym do rotundy fragmencie cmentarza. Stwierdza on jednoznacznie, iż w świetle otrzymanych wyników, pochówki nie powinny być datowane na okres przed XII wiekiem (Pianowski, Proksa, 1998, s. 71). Faktem jest, iż charakter znaleziska nie został sprecyzowany aż do przełomu XX i XXI wieku, kiedy w efekcie prac Zbigniewa Pianowskiego i Michała Proksy odkryte zostały dalsze elementy konstrukcji obiektu, co umożliwiło określenie jego formy, konstrukcji i funkcji oraz przyczyniło się do potwierdzenia czasu budowy przyjętego w 1961 roku (Pianowski, Proksa, 2008b). W latach 2017–2018 przeprowadzone zostały badania, które w oparciu o analizę ceramologiczną, a także datowanie radiowęglowe (C14) techniką LSC szczątków ludzkich odnalezionych wewnątrz rotundy, potwierdzają datę budowy na I ćwierć XIII wieku (Marek, 2020, s. 8). Chcąc określić czas wzniesienia obiektu zasadnym zdaje się być uwzględnienie

zarówno aspektu architektonicznego, jak i budowlanego, związanego z materiałem konstrukcyjnym. Przebadanie zabytkowych zapraw stanowiących spoiwo dla wapiennych ciosów miało miejsce w roku 2014, na tej podstawie oszacowano czas ich wykonania na wiek XII (Stempniak-Kusy, 2019).

2. CEL BADAŃ

Przedstawione w artykule wyniki badań należy uznać jako kontynuację dotychczasowych badań będącą uzupełnieniem obecnego stanu wiedzy o technice budowy i wieku rotundy. Zdecydowano się wykorzystać wyniki badań konstrukcji obiektów sakralnych okresu średniowiecza zlokalizowanych w innych rejonach Polski i porównać je z wynikami przemyskimi otrzymanymi na drodze analizy składu chemicznego i krystalicznego pobranych próbek zapraw. Podjęto również próbę określenia miejsca wydobywania kamieni na ciosy, wykorzystując narzędzia do oceny ich składu chemicznego i krystalicznego. Zgodnie z powyższym przewidziano:

- ustalenie składu chemicznego i krystalicznego zapraw,
- ustalenie składu chemicznego i krystalicznego kamieni,
- porównanie z innymi datowanymi obiektami,
- określenie chronologii budowy murów.

3. METODOLOGIA

Rozpoznanie składów poszczególnych próbek przeprowadzono w oparciu o badania *in situ* oraz laboratoryjne (analizy instrumentalne) (Smygin i in., 2018; Klimek, 2015, s. 63–69). Pierwszą z nich była spektroskopia absorpcyjna bazująca na analizie widma absorpcji w podczerwieni. Pomiaru dokonano w konfiguracji osłabionego całkowitego odbicia wewnętrznego przy użyciu spektrometru fourierowskiego Bruker Alpha FT-IR. Pomiar przewidziane dla poszczególnych próbek wykonano w zakresie 4000–400 cm⁻¹ (średniej podczerwieni). Badania uzupełniono pomiarami dyfraktometrem Philips X’Pert (XRD — dyfrakcja rentgenowska) z detektorem X’Celerator Scientific. Urządzenie posiada lampę emitującą linie K α_1 długości $\lambda=1,540598\text{\AA}$ (Szroeder, Doering, 2020; Szroeder, <https://www.fizyka.umk.pl/>, dostępne: 1.09.2020).

4. OBSZAR BADAŃ

Podczas oględzin wykonanych 21 sierpnia 2020 roku przeprowadzono pomiary *in situ*, na podstawie których w dalszej kolejności określono miejsca poboru próbek. Przedstawiony w artykule zakres stanowi

tylko część pozyskanych danych obrazujących istniejący stan zapraw i kamienia będących materiałem konstrukcyjnym ścian zewnętrznych rotundy.

Próbki pobrano przy użyciu narzędzi mechanicznych, następnie wykonano fotografię zarówno próbki, jak i miejsca, z którego została pobrana (Klimek, 2015, s. 63–69). Opisany materiał spakowano w torebki strunowe, aby uniknąć wtórnego ich zanieczyszczenia mogącego zaburzyć odczyt.

Do opisu wyników pomiarów zastosowano trójstopniową skalę oddającą intensywność widm i refleksów: +++ składnik dominujący, ++ składnik współobecny, + składnik sporadycznie występujący. Zabieg ten umożliwił zwięzłe przedstawienie zawartości poszczególnych składników w objętości próby (Smygin i in., 2018).

Badanie stanu zawilgocenia oraz zasolenia nie było co prawda obiektem badań przedstawionych w niniejszej publikacji, lecz wartym podkreślenia jest, z perspektywy bezpieczeństwa zabytku, zaobserwowany stan. W krypcie II oraz komorze SE zmierzony poziom wilgoci w murze wynosił miejscami do ok. 19% (zawilgocenie powyżej 12% określane jest jako mur mokry) (Rokiel, 2006). Dodatkowo obserwowalne jest bardzo mocne zasolenie zarówno cegieł, jak i zaprawy, co objawia się puchem utworzonym z kryształów oraz znacznym pudrowaniem ceramiki w oględzinach *in situ*.

5. WYNIKI BADAŃ I WNIOSKI

Material konstrukcyjny — zaprawa

Próbki zapraw oddanych do badań FTIR-ATR oraz XRD opisano stosownie do miejsca pobrania. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że głównym składnikiem jest kwarc oraz węglan wapnia.

Początkowo, uwzględniając w ocenie *in situ* makrostrukturę próbki oraz jej twardość i stan skupienia, doszukiwano się możliwości datowania zaprawy na podstawie związków organicznych lub ceramiki, które mogły być dodane celem poprawienia parametrów mieszanki. W związku z tym, rozważaną możliwością było zastosowanie technik radiowęglo-

wych C14 lub termoluminescencyjnych. Jednakże wyniki badań FTIR-ATR poparte wynikami XRD wykluczyły w sposób jednoznaczny zasadność tego kierunku prowadzenia badania. Ostatecznie zwrócono uwagę na dotychczasowy poziom rozpoznania składu zabytkowych zapraw obiektów sakralnych okresu średniowiecza na terenach Rzeczypospolitej. Problematyka składu zapraw jest przedmiotem badań od kilkudziesięciu lat. W 1958 roku Hanna Jabłczyńska-Jędrzejewska sformułowała założenie, że zaprawy o dużej zawartości węglanu wapnia winno się datować na przełom XII i XIII wieku (Skoczyła, 2014, s. 173). Z kolei Sławomir Skibiński w publikacji dotyczącej Rotundy i Palatium na Ostrowie Lednickim w sposób syntetyczny, w formie jakościowej, przedstawia przemiany składu zapraw stosowanych w przypadku siedmiu obiektów referencyjnych na przestrzeni kilku stuleci okresu średniowiecza. Warto podkreślić, iż podejście polegające na porównaniu sąsiednich obiektów datowanych na podobny okres zdaje się być uzasadnione, pomimo względnego charakteru danych. Z tego względu założono, że powszechna była transmisja wiedzy i umiejętności dotyczących technologii budowy. Niewątpliwie ważnym pozostaje fakt wykorzystania jako budulca materiałów lokalnie występujących. Pod tym względem w poszczególnych rejonach kraju materiał używany do wznoszenia konstrukcji mógł nieznacznie się różnić. Stosując powyższe uogólnienie przyjęto, iż do połowy XI wieku dominowały zaprawy gipsowe, gipsowo-wapienne i czysto wapienne oraz lepiszcza gliniane. W II połowie XI wieku i w wieku XII zaczęto stosować mieszaninę wapienno-piaszczystą z przewagą wapnia. Natomiast na przełomie wieków XII i XIII zaprawy charakteryzowały się względnym dopracowaniem składu, przez co zmniejszył się udział kalcytu na rzecz kwarcu (Skibiński, Kozier, 1993, s. 22–25; Skoczyła, 2017, s. 433–436). W rejonach Przemysła, we wsiach Kruhel Wielki (obecnie część Przemysła) oraz Krzemieniec i Zielonka, wydobywano wapien, który był zapewne wykorzystywany w celach budowlanych (Nowak, 1963, s. 421–427). Dla przebadanych próbek, na

Numer próbki	Data pobrania	Miejsce pobrania	Rodzaj materiału
P9	21.08.2020	mur rotundy — apsyda	zaprawa
P16	21.08.2020	pierścień wewnętrzny w rotundzie	lepiszcze
P17	21.08.2020	mur rotundy — nawa	zaprawa

Tab. 1. Przykładowe oznaczenie próby zaprawy. Źródło: opracowanie własne autorów.

podstawie stosunku natężenia refleksów minerałów stwierdzono, iż najbardziej prawdopodobnym okresem wbudowania zaprawy jest przełom XII i XIII wieku.

Poruszając kwestię stosunku natężenia refleksów zwrócić należy uwagę na znaczną różnicę stężenia kwarcu względem kalcytu. Dla pierwszej z omawianych próbek wynosiła ona 1:0,3315 (Szoeder, Doering, 2020), natomiast druga charakteryzowała się dwukrotnie większym udziałem wapieni. Może być to efekt niedoskonałości mieszanki wynikający z określonej sedimentacji składników. Rozważyć można również stwierdzenie, iż różnice w składzie mogły wynikać z okresowych zmian w dostępności materiału lub zdarzeń losowych, co stanowi informację na temat chronologii budowy murów rotundy.

Analizując wątki wiązań murów rotundy nasuwa się spostrzeżenie, że budowniczcy używali zaprawy wapiennej do łączenia ciosów z nadmiarem, gdyż w spoinach pozostały nawisy zaprawy.

Próbka materiału pobrana ze środkowego pierścienia, zgodnie z przewidywaniami, nie wykazuje obecności kalcytu. Stwierdzono w niej w przeważającej ilości kwarc oraz znaczne ilości mikroklinu.

Materiał konstrukcyjny — kamień

Dla każdej z próbek pierwotnie wyodrębniono miejsce pobrania oraz rodzaj materiału, następnie określono skład chemiczny oraz krystaliczny.

Przeprowadzone badania nie pozwalają jednoznacznie określić miejsca wydobycia kamienia na ciosy murów nawy oraz apsydy rotundy. Możliwym

Numer próbki	Metoda pomiaru	Skład	Zawartość w próbce
P9	FTIR-ATR	Krzemiany	n/o
		Węglan wapnia	n/o
		Glinokrzemiany	n/o
	XRD	Kwarc	+++
		Kalcyt	++
		Skaleń	+
P16	FTIR-ATR	Glinokrzemiany	n/o
		Mikroklin	n/o
		Krzemiany	n/o
	XRD	Kwarc	+++
		Mikroklin	++
		Antygoryt	+
P17	FTIR-ATR	Glinokrzemiany	n/o
		Węglan wapnia	n/o
		Krzemiany	n/o
	XRD	Kwarc	+++
		Kalcyt	++

Tab. 2. Przykładowe zestawienie wyników dla pomiarów zaprawy, n/o - nie oznaczono.
Źródło: opracowanie własne autorów.

Numer próbki	Data pobrania	Miejsce pobrania	Rodzaj materiału
P13	21.08.2020	mur rotundy – apsyda	kamień
P14	21.08.2020	pierścień wewnętrzny w rotundzie	kamień
P18	21.08.2020	mur rotundy – nawa	kamień

Tab. 3. Przykładowe oznaczenie próby kamienia.
Źródło: opracowanie własne autorów.

Numer próbki	Metoda pomiaru	Skład	Zawartość w próbce
P13	FTIR-ATR	Krzemiany	n/o
		Węglan wapnia	n/o
		Glinokrzemiany	n/o
	XRD	Kwarc	++
		Kalcyt	+++
		Skaleń	+
P14	FTIR-ATR	Tlenki żelaza	n/o
		Glinokrzemiany	n/o
		Węglan wapnia	n/o
		Krzemiany	n/o
	XRD	Kalcyt	+++
		Kwarc	++
		Magnetyt	+
P18	FTIR-ATR	Glinokrzemiany	n/o
		Węglan wapnia	n/o
		Krzemiany	n/o
	XRD	Kwarc	++
		Kalcyt	+++

Tab. 4. Przykładowe zestawienie wyników dla pomiarów kamienia, n/o — nie oznaczono.
Źródło: opracowanie własne autorów.

jest jednakże przypuszczenie jednorodności miejsca pobrania elementów części konstrukcji na podstawie porównania intensywności refleksów uzyskanych w dyfrakcji. Kamienie z obydwu murów charakteryzują się niemalże identycznym stosunkiem kalcytu do krzemu (apsyda 1:5,982; nawa 1:6,013) (Szroeder, Doering, 2020) oraz obecnością glinokrzemianów.

Po opisie architektonicznym wnioskuje się, iż ciosy pochodzą z budowli starszej, co oznacza, że mogły być zwiezione z innych obszarów Rusi Halickiej, na której terenach leżał Przemyśl, a której obiekty wykazywały podobieństwo materiałowe (Proksa, 2000). Możliwe, lecz mniej prawdopodobne, przy uwzględnieniu przesłanek architekto-

nicznych, są miejsca sporadycznego występowania martwicy wzdłuż Sanu, w kierunku jego źródeł (Szulc, 1983, s. 233). Główny skład budulca stanowi kalcyt, który jest minerałem powszechnym w wapieniach. W związku z tym, rozpatrywaną lokalizacją były dzisiejsze pogranicza Przemyśla, mianowicie Kruhel Wielki, który słynął z pozyskiwania wapieni, a którego odległość od Placu Katedralnego wynosi zaledwie 5 km, co stanowi niewielki dystans z perspektywy transportu urobku. Jednakże uwzględnione w Mapie Geośrodowiskowej Polski Arkusz Przemyśl (Pajak i in., 2007, s. 11) potencjalne złoża wapieni opisane są raczej jako egzotyki (Nowak, 1963, s. 421–427), porwaki z czasów zlodowaceń (Woroncowa-Marcinowska, <https://www.pgi.gov.pl/>, dostępne: 4.12.2020), tzw. wapienie rafowe (Samsonowicz, 1925, s. 53–54), które różnią się od martwicy wapiennej już na poziomie makroskopowym. W pobranym urobku odnaleziono kwarc, co może świadczyć o naturalnym zanieczyszczeniu lub następstwie zasypania fundamentów.

W próbce piaskowca pobranej z pierścienia środkowego, oprócz krzemianów, glinokrzemianów oraz tlenków żelaza wyodrębniono znaczne ilości kalcytu pełniącego rolę spoiwa. Występowanie piaskowców wapnistych na obszarze Arkusza Przemyśl pokrywa się z wynikiem badania i może wskazywać, iż materiały te wydobywane były lokalnie (Pajak i in., 2007).

6. PODSUMOWANIE

Rotunda pw. św. Mikołaja w Przemyślu była w kręgu zainteresowań badaczy od wielu lat. Należy wspomnieć, że badania zapoczątkował

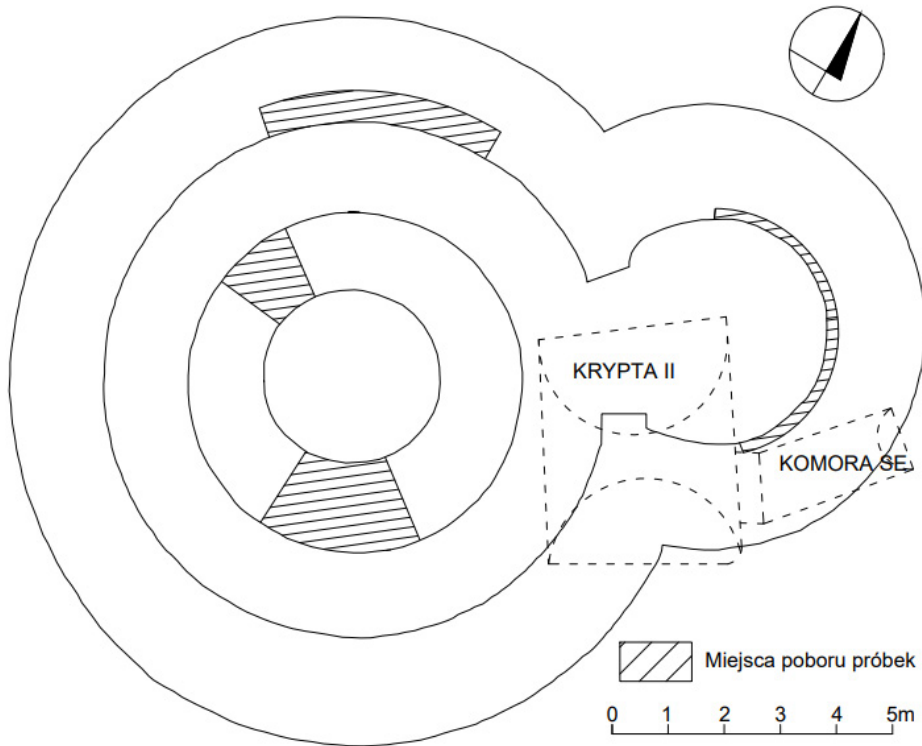
Antoni Kunysz w 1961 roku. Kolejni badacze to m.in. Andrzej Koperski, Adam Kostek, Michał Proksa, Zbigniew Pianowski. Wieloletnie badania trwające od 1961 nie w pełni dały odpowiedź na historię budowy rotundy.

W artykule podjęto kolejną próbę przeanalizowania materiału, z którego budowniczowie wzniesli świątynię romańską. Określenie specyficznych właściwości fizycznych, chemicznych materiałów oraz wykorzystanie cech użytych materiałów, stosowane wątki wiązań, formy budowli, pozwolą bliżej zrozumieć metody konstruowania murów.

Znajomość cech użytych materiałów pozwalała budowniczym tamtego okresu wznosić zaplanowane formy brył. W okresie średniowiecza w Przemyślu robotnicy i kierującymi budowlą nie mieli planów i całą konstrukcję tworzyli we własnych myślach. Prowadząc badania rotundy nasuwa się wniosek, że znano racjonalne praktyki i kierowano się logicznością. Znając funkcję obiektu wiązano ją z formą przestrzenną. Forma architektoniczna uwidoczniała również wartości wnętrza.

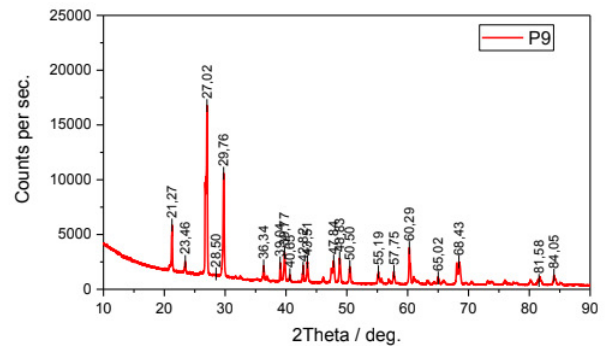
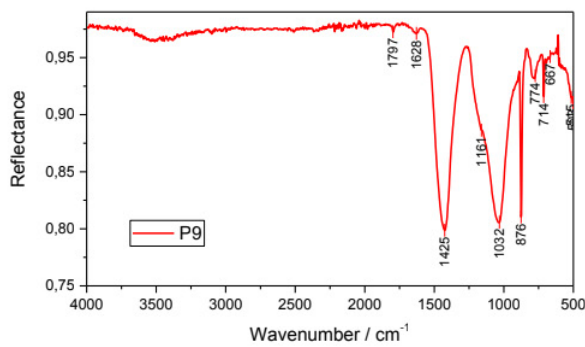
Przeanalizowany poziom technik budowlanych był stosunkowo wysoki. Architektura wyrastała ze znajomości podstaw matematyki. Należało w terenie wytyczać figury geometryczne — okręgi, a następnie z zachowaniem pionu i lica układać kolejne warstwy muru.

We wnętrzach tworzone świat iluzji, przestrzenie, które miały przenosić ludzi biorących udział w liturgii w inną czasoprzestrzeń. Wnętrza miały dawać ludziom wiarę w inny świat, świat innych wartości, w którym ludzkość może spełniać swoje oczekiwania.



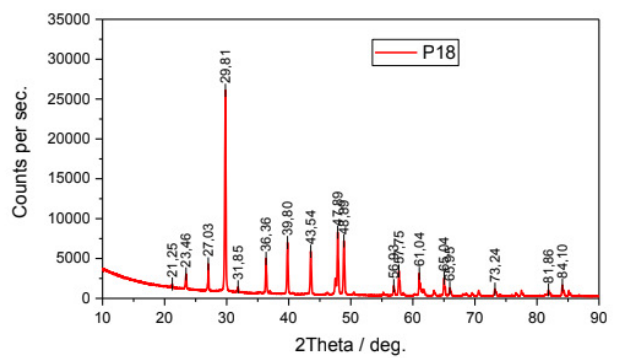
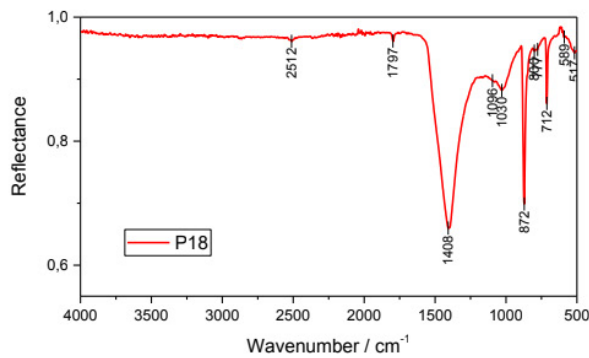
II. 1. Miejsca poboru próbek.
Źródło: opracowanie własne autorów.

III. 1. Sampling sites. Authors' own study.



II. 2. Przykładowe wykresy badań FTIR-ATR i XRD dla zapraw. Źródło: wg (Szoeder, Doering, 2020).

III. 2. Examples of FTIR-ATR and XRD test charts for mortars. Source: acc. (Szoeder, Doering, 2020).



II. 3. Przykładowe wykresy badań FTIR-ATR i XRD dla kamienia. Źródło: wg (Szoeder, Doering, 2020).

III. 3. Examples of FTIR-ATR and XRD test charts for stone. Source: acc. (Szoeder, Doering, 2020).

ROTUNDA OF ST. NICHOLAS IN PRZEMYŚL: STUDY OF THE STRUCTURES OF THE BUILDING MATERIAL

1. INTRODUCTION

The historical religious buildings of the land of Przemyśl, due to a history that reaches back to the turn of the second millennium, are an object of interdisciplinary research by archaeologists, architects, arts historians and builders. The date of construction of the Rotunda of St. Nicholas, located underneath the presbytery of the Archcathedral Basilica of St. John the Baptist and the Assumption of Mary, has so far not been clearly identified. Continuing our research into its identification, we made another attempt at determining the time of its construction based on the current state of the art and, by using high-precision research equipment, we expanded the area under study.

2. STATE OF THE ART

The Rotunda of St. Nicholas had been forgotten by the Basilica's caretakers for ages. *There is nothing concealed that will not be disclosed, or hidden that will not be made known* (The New Testament, Łk 12,2) and so an archaeological expedition by the Regional Museum in Rzeszów directed by Antoni Kunysz found traces of walls at the start of the 1960s. Recognizing the potential rank of their discovery, they invited Józef T. Frazik, a Professor of the Cracow University of Technology, to contribute to the effort. Ultimately, based on architectural evidence and collected historical material, it was assumed that the rotunda could have potentially been built between the first half of the twelfth century and the third quarter of the thirteenth century (Pianowski, Proksa, 2008a, p. 64). The findings of studies of bones found by Andrzej Koperski during a reconnaissance performed in a cemetery fragment near adjoining the cemetery proved to be a valuable piece of information in the context of the chronology of the building's construction. Koperski clearly stated that, in the light of his findings, the burials should not be dated to a period earlier than the twelfth century (Pianowski, Proksa, 1998, p. 71). It is a fact that the nature of the discovery had not been clarified until the turn of the twenty-first century, when research by Zbigniew Pianowski and Michał Proksa uncovered further elements of the building's structure, which allowed the identification of its form, structure and function, and contributed to confirming

the period of construction assumed in 1961 (Pianowski, Proksa, 2008b). In the years 2017–2018, further research was performed based on ceramic analysis and radiocarbon dating (C14) of the human remains found inside the rotunda using the LSC technique, which confirmed the date of construction as the first quarter of the thirteenth century (Marek, 2020, p. 8). To determine the period of the building's construction, it appears justified to account for both the architectural and structural aspect, associated with construction materials. A study of the historical mortars that bind the building's limestone blocks was performed in 2014 and estimated the period of their application to be the twelfth century (Stempniak-Kusy, 2019).

3. OBJECTIVE OF THE STUDY

The research findings presented in this paper are a continuation of previous studies and are intended to supplement the state of the art on the construction techniques employed in the erecting of the rotunda and its age. We decided to use the findings of research on the structure of medieval religious buildings located in other areas of Poland and compare them with the findings made in Przemyśl via an analysis of the chemical and crystalline composition of collected mortar samples. We then attempted to determine the place of procuring stone for the blocks, and used tools to assess their chemical and crystalline composition. Therefore, our study included the following:

- an identification of the chemical and crystalline composition of mortars,
- an identification of the chemical and crystalline composition of stone blocks,
- a comparison with other dated buildings,
- an identification of the construction chronology of the walls.

4. METHODOLOGY

The identification of the compositions of specific samples was performed based on *in situ* and laboratory tests (instrumental analyses) (Szmygin et al., 2018; Klimek, 2015, pp. 63–69). The first procedure was absorption spectroscopy based on an analysis of the absorption spectrum in infrared light. The measurement was performed in a configuration of complete internal reflection using a Bruker Alpha

FT-IR Fourier spectrometer. The measurements of each sample were performed in the 4000–400 cm⁻¹ spectrum (mid-infrared). We supplemented our study with a Philips X’Pert diffractometer (XRD — X-ray diffraction) using an X’Celerator Scientific detector. This device has a lamp that emits K α_1 lines with a length of $\lambda=1.540598\text{\AA}$ (Szroeder, Doering, 2020; Szroeder, <https://www.fizyka.umk.pl/>, accessed: 1.09.2020).

5. OBJECT OF STUDY

During a site survey performed on August 21, 2020, we performed *in situ* measurements that we then used to determine sample collection sites. The scope presented in this paper is only a part of the collected data that displayed the as-encountered state of the mortar and stone blocks that acted as the rotunda’s external walls.

The samples were collected using mechanical tools, and were later photographed along with the site of their collection (Klimek, 2015, pp. 63–69) After annotation, the material was placed in string bags so as to avoid any later contamination that could disrupt readings.

To describe measurement results, we used a three-point scale that reflected the intensity of spectra and reflections: +++ dominant component, ++ co-present component, + sporadically found component. This procedure allowed us to concisely present the content of each element in the sample (Szmygin et al., 2018).

Moisture level and salt content tests were not the object of this study, but it is worth highlighting the building’s condition from the standpoint of preserving it as a monument. In crypt II and the SE chamber, local moisture readings ranged between ca. 19% (a moisture content greater than 12% denotes a damp wall) (Rokiel, 2006). In addition, significant salt-peter rot presence was observed, both in the bricks and mortar, which materialized as a veil of crystals and considerable powdering of ceramic surfaces observed on site.

6. FINDINGS AND CONCLUSIONS

Structural material — mortar

Samples collected for FTIR-ATR and XRD testing were annotated with information as to their respective collection sites. The findings of our tests confirmed that the main components of the samples were quartz and calcium carbonate

Initially, accounting for sample macrostructure, hardness and state of aggregation in the *in situ* assessment, we found potential to date the samples based on the presence of organic compounds or ceramics, which could have been added to improve mix parameters. Therefore, we explored the possibility of using C14 radiocarbon or thermoluminescence dating techniques. However, FTIR-ATR findings backed by XRD test results clearly excluded this direction of research. Ultimately, we focused our attention on the previous level of identification of the composition of mortars used in historical religious buildings from the Middle Ages and the territory of the Republic of Poland. The subject matter of mortar composition has been a subject of study for several decades. In 1958, Hanna Jabłczyńska-Jędrzejewska formulated an assumption that mortars with high calcium carbonate content should be dated to the turn of the thirteenth century (Skoczylas, 2014, p. 173). Sławomir Skibiński, in his publication on the Rotunda and Palatium at Ostrów Lednicki, synthetically, in qualitative form, presented the evolution of mortar content in the case of seven reference buildings built over the course of several centuries during the medieval period. It should be noted that the approach based on comparing neighboring buildings dated to a similar period appears to be justified despite the relative character of data. This is why we assumed that the transfer of knowledge of construction technology and associated skills was a general phenomenon. The fact that locally sourced materials were used in construction remains undeniably significant. From this standpoint, the material used to erect structural elements could have differed slightly in each area of the country. Using the generalization presented above, we assumed that, up to the middle of the eleventh century, gypsum, gypsum-and-lime

Sample number	Collection date	Collection site	Material type
P9	21.08.2020	Rotunda wall — apse	Mortar
P16	21.08.2020	Internal ring near the rotunda	Binder
P17	21.08.2020	Rotunda wall — nave	Mortar

Tab. 1. Sample marking of the mortar tests. Source: Authors’ own study.

and pure lime mortars were predominant, along with clay binders. In the second half of the eleventh century, while a sandy lime mix, with a predominance of lime, entered use in the twelfth century. At the turn of the thirteenth century, mortars began to show a relative improvement of their composition, which led to a reduction in calcite content in favor of quartz (Skibiński, Koziej, 1993, p. 22–25; Skoczylas, 2017, p. 433–436). Lime was quarried around Przemyśl, in the villages of Kruhel Wielki (currently a part of Przemyśl), Krzemieniec and Zielonka, and later probably used in construction (Nowak, 1963, pp. 427–427). For the samples we tested, depending on the relation between mineral reflection intensity, we found that the mortar was most probably applied around the turn of the thirteenth century.

Concerning reflection intensity, it should be noted that a considerable difference in quartz and

calcite concentrations was found. For the first sample, this difference was 1:0.3315, (Szoeder, Doering, 2020) while the second was characterized by a share of limes that was twice as high. This could be an effect of the mix's imperfections due to a specific component sedimentation. It can also be argued that the differences in composition could have been caused by periodic changes in material accessibility or other contingencies, which informs us of the chronology of the rotunda walls' construction.

When analyzing the stone block patterns in the rotunda's walls, we observed that builders used an excess of lime mortar to bind the blocks, as some mortar had been left extruding from the joints.

The material sample collected from the central ring, as expected, did not show a presence of calcite. It was found to be mostly composed of quartz and considerable amounts of microcline.

Sample number	Measurement method	Composition	Content in the sample
P9	FTIR-ATR	Silicates	n/o
		Calcium carbonate	n/o
		Aluminosilicates	n/o
	XRD	Quartz	+++
		Calcite	++
		Feldspar	+
P16	FTIR-ATR	Aluminosilicates	n/o
		Microcline	n/o
		Silicates	n/o
	XRD	Quartz	+++
		Microcline	++
		Antigorite	+
P17	FTIR-ATR	Aluminosilicates	n/o
		Calcium carbonate	n/o
		Silicates	n/o
	XRD	Quartz	+++
		Calcite	++

Tab. 2. Sample summary of results for mortars, n/o — not marked.
Source: Authors' own study.

Structural material — stone

For each of the sample, we originally defined its collection site and type of material and then determined their chemical and crystalline composition.

Our tests could not clearly identify the site where the stone for the blocks used in the nave and apse of the rotunda had been quarried. However, it was possible to

assume a uniformity of the location where the elements used to erect the structure had been procured from based on a comparison of reflection intensities obtained via diffraction. Stone samples from both walls were characterized by an almost identical ratio of calcite to silica (apse 1:5.982; nave 1:6.013) (Szroeder, Doering, 2020) and the presence of aluminosilicates.

Sample number	Collection date	Collection site	Material type
P13	21.08.2020	Rotunda wall – apse	Stone
P14	21.08.2020	External ring in the rotunda	Stone
P18	21.08.2020	Rotunda wall – nave	stone

Tab. 3. Sample marking of the stone tests. Source: Authors' own study.

Sample number	Measurement method	Composition	Content in the sample
P13	FTIR - ATR	Silicates	n/o
		Calcium carbonate	n/o
		Aluminosilicates	n/o
	XRD	Quartz	++
		Calcite	+++
		Feldspar	+
P14	FTIR - ATR	Iron oxides	n/o
		Aluminosilicates	n/o
		Calcium carbonate	n/o
		Silicates	n/o
	XRD	Calcite	+++
		Quartz	++
		Magnetite	+
P18	FTIR - ATR	Aluminosilicates	n/o
		Calcium carbonate	n/o
		Silicates	n/o
	XRD	Quartz	++
		Calcite	+++

Tab. 4. Sample summary of results for stone, n/o — not marked. Authors' own study.

Judging from the documentation of the rotunda's architecture, it can be concluded that the blocks had been sourced from an older structure, which means they could have been transported from other areas of Red Ruthenia, which Przemyśl used to be a part of, and whose buildings were found to display similarities in material (Proksa, 2000). One possible, yet — when architectural determinants are accounted for — less probable place of origin, are areas where travertine can be found along the San River, towards its source (Szulc, 1983, p. 233). The primary component of the material is calcite, which is a mineral commonly found in limestone. Therefore, a potential location could have been the modern-day areas around limits of Przemyśl, namely Kruhel Wielki, which was famous for quarrying limestone, and which is located only 5 km away from Cathedral Square, which is a very short distance from the perspective of transporting the yield. However, potential limestone deposits shown on the Geo-environmental Map of Poland in the Przemyśl Sheet (Pająk et al., 2007, p. 11) are often documented as exotics, (Nowak, 1963, pp. 421–427) xenoliths from glacial periods (Woroncowa-Marcinowska, <https://www.pgi.gov.pl/>, accessed: 4.12.2020), so-called reef limestone, (Samsonowicz, 1925, pp. 53–54) which differs from travertine even at the macroscopic level. Quartz was found in the collected yield, which can be sign of them becoming contaminated naturally or as a consequence of backfilling the foundations.

In the limestone sample collected from the central ring, apart from silicates, aluminosilicates and iron oxides, we also found considerable amounts of calcite which acted as a binder. The presence of calcaceous limestone as documented in the Przemyśl Sheet corresponds to our research findings and can indicate that these materials were procured locally (Pająk et al., 2007).

7. CONCLUSION

The Rotunda of St. Nicholas in Przemyśl has been attracting attention from scholars for many years. It should be noted that it was first studied by Antoni Kunysz in 1961. Successive scholars included, among others, Andrzej Koperski, Adam Kostek, Michał Proksa and Zbigniew Pianowski. Ongoing research that had lasted since 1961 did not fully uncover the history of the rotunda's construction.

In this paper, we made another attempt to study the material from which the Romanesque church had been built. The identification of specific physical and chemical properties of materials and the application of the characteristics of materials used, the joint

patterns, the building's form, allowed us to better understand wall construction methods.

Insight into material characteristics allowed the builders of the period to erect the massing forms that they intended. During the Middle Ages, workers and construction site overseers in Przemyśl did not have plans and designed entire structures in their minds. The study of the rotunda brought us to the conclusion that rational practices had been known and logic had been followed. The builders knew the function of the building and tied it to a spatial form. The architectural form also highlighted the values of the interior. The level of construction techniques that we analyzed was found to be relatively high. The architecture arose from a familiarity with the basics of mathematics. Geometric figures — circles — had to be delineated on-site, and later, successive wall layers had to be laid plumb.

A world of illusions was created in interiors, as the spaces were to transport those who participated in liturgy to a different spacetime. The interiors were to give people faith in a different world, a world of other values, in which humanity could meet its expectations.

REFERENCES

- Fenczak, A.S. (2003), '»Ecclesia Premisliensis maior«, czyli o architekturze i niektórych elementach wewnętrznego wyposażenia kościoła św. Mikołaja w Przemyślu w świetle źródeł pisanych z XIV i XV wieku' [in:] *Kresy Południowo-Wschodnie*, Vol. 1, pp. 9–18.
- Gosztyła, M., Proksa, M. (1997), *Kościół św. Mikołaja w Przemyślu na tle rotund prostych w Polsce*, Przemyśl, Parafia Św. Jana Chrzciciela przy Bazylice Archikatedralnej.
- Janeczek, A. (2002), 'Ile razy Przemyśl lokowano? Z zagadnień formowania gminy miejskiej na Rusi Halickiej w XIII–XIV wieku, [in:] *Inter Orientem et Occidentem. Studia z dziejów Europy Środkowowschodniej ofiarowane Profesorowi Janowi Tyszkiewiczowi w czterdziestolecie pracy naukowej*, Warszawa, pp. 103–115.
- Klimek, B. 'Metody badań zapraw historycznych — problematyka konserwatorska', *Budownictwo i Architektura*, 2015 14(2), pp. 63–69.
- Koperski, A. (ed.) (2004), *Dzieje Przemyśla*, T. 1 *Osadnictwo pradziejowe i wczesnośredniowieczne, cz. 2 Analiza źródeł i synteza*, Przemyśl: Towarzystwo Przyjaciół Nauk w Przemyślu.
- Kubica, E. 'Stan badań archeologicznych nad zabytkami wczesnośredniowiecznej architektury monumentalnej Małopolski, Rusi Halickiej i Wołynia', *Materiały Archeologiczne*, Vol. 29, 1996, pp. 63–110.
- Kubica-Kabacińska, E. (2001), 'Stan i potrzeby badań archeologicznych nad najstarszymi zabytkami architektury sakralnej w Małopolsce' [in:] *Dzieje Podkarpacia*, Vol. 5 *Początki chrześcijaństwa w Małopolsce*, pp. 215–222.

- Malinowski, A. 'Średniowieczne materiały kostne z cementaryzyska w Jarosławiu i podziemiach katedry w Przemyśle', *Rocznik Przemyski*, Vol. 12, 1968, pp. 37–50.
- Marek, E.A. (2020), Sprawozdanie z badań wykopaliskowych (nadzoru) w Przemyśle, gm. loco, stan. 22, dz. ew. nr 1207 (AZP 108-84/88), Rzeszów: Arkadia, p. 8.
- Nowak, W. 'Wstępne wyniki badań warstw egzotyków inoceramowych serii skolskiej z niektórych stanowisk Karpat przemyskich i birczańskich', *Geological Quarterly*, Vol. 7, no. 3/1963, pp. 421–427.
- Pająk, R. et al. (2007), Objąsniienia do mapy georodowiskowej Polski 1:50000, Arkusz Przemyśl (1027), Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, p. 11.
- Pianowski, Z. (2001), 'Rotunda św. Mikołaja w Przemyśle w świetle badań archeologiczno-architektonicznych [in:] *Dzieje Podkarpacia*, Vol. 5 *Początki chrześcijaństwa w Małopolsce*, pp. 223–274.
- Pianowski, Z., Proksa, M. (1998), *Rotunda św. Mikołaja w Przemyśle: po badaniach archeologiczno-architektonicznych w latach 1996–1998*, Przemyśl: Archiwum Państwowe w Przemyśle, p. 71.
- Pianowski, Z., Proksa, M. (2000), 'Przemyśl — podziemia katedry. Badania archeologiczno-architektoniczne rotundy św. Mikołaja' [in:] Buko, A., Świechowski, Z. (eds.) *Osadnictwo i architektura ziem polskich w dobie Zjazdu Gnieźnieńskiego*, Warszawa, pp. 235–238.
- Pianowski, Z., Proksa, M. (2008), *Najstarsze budowle Przemyśla. Badania archeologiczno-architektoniczne do roku 2006*, Rzeszów: Fundacja Rzeszowskiego Ośrodka Archeologicznego, p. 64.
- Pianowski, Z., Proksa, M. (2010), 'Rotunda św. Mikołaja pod prezbiterium katedry przemyskiej. Badania archeologiczno-architektoniczne w latach 1961 i 1996–2001', [in:] Sosnowska, E. (ed.) *Przemyśl wczesnośredniowieczny*, pp. 329–347.
- The Bible, New International Version, Luke 12:2, BibleGateway.com, <https://www.biblegateway.com/versions/>, (accessed: 24.07.2021).
- Proksa, M. (2000), *Rotundy Kościoła św. Mikołaja w Przemyśle: katalog wystawy 15 IX 2000–6 X 2000*, Przemyśl: Archiwum Państwowe w Przemyśle, Stowarzyszenie Archiwistów Polskich Oddział w Przemyśle.
- Rokiel, M. (2006), *Hydroizolacje w budownictwie*, Warszawa: Medium.
- Samsonowicz, J. (1925), 'Szkic geologiczny okolic Rachowa nad Wisłą oraz transgresje albu i cenomanu w bruzdzie północnoeuropejskiej [in:] *Sprawozdania Polskiego Instytutu Geologicznego*, Vol. 3, iss. 1–2, pp. 53–54.
- Skibiński, S., Koziej, P. 'O potrzebie rewaloryzacji wczesnośredniowiecznej rotundy i palatium na Ostrowie Lednickim', *Ochrona Zabytków* 46/1 (180), 1993, pp. 22–25.
- Skoczylas, J. 'Gipsowe zaprawy murarskie w początkach Państwa Polskiego', *Slavia Antiqua*, no. 55, 2014, p. 173.
- Skoczylas, J. 'Wczesnopiastowskie problemy z wykorzystaniem surowców skalnych', *Przegląd Geologiczny*, Vol. 65, no. 7/2017, pp. 433–436.
- Stempniak, S. (2012), *Dokumentacja i sprawozdanie z nadzoru archeologicznego przy katedrze pw. św. Jana Chrzciciela w Przemyśle (odcinek I południowo-wschodni), stan. 22 (AZP 108-84/88), dz. geod. 1207/207*, Przemyśl.
- Stempniak, S. (2013), *Dokumentacja i sprawozdanie z nadzoru archeologicznego przy katedrze pw. św. Jana Chrzciciela w Przemyśle (odcinek północno-zachodni i zachodni oraz południowo-wschodni), stan. 22 (AZP 108-84/88), dz. geod. 1207/207*, Przemyśl.
- Stempniak-Kusy, S. (2019), Dokumentacja i opracowanie materiałów z nadzoru archeologicznego przeprowadzonego przy Bazylice Archikatedralnej pw. św. Jana Chrzciciela i Wniebowzięcia NMP w Przemyśle na stan. 22 (AZP 108-84/88) na działce o nr ewid. 1207 obr, 207 Przemyśl, sample inventory.
- Szmygin, B. et al. (2018), *Badania techniczne historycznych ruin*, Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej.
- Szroeder, P., Doering, M. (2020), *Dokumentacja badań próbek polichromii i tynku metodami SEM-EDX, spektroskopii absorpcyjnej w podczerwieni oraz dyfrakcji rentgenowskiej*, Toruń: ITW.
- Szroeder, P., <https://www.fizyka.umk.pl/>, accessed: 1.09.2020.
- Szulc, J. 'Geneza i klasyfikacja wapiennych osadów martwicowych', *Przegląd Geologiczny*, Vol. 31, no. 4(1983), p. 233.
- Świechowski, Z. (2001), *Architektura romańska w Polsce*, Warszawa: DiG.
- Świechowski, Z. (2003), 'Najdawniejsza architektura murowana w Polsce — jak dawna?', [in:] Woźniak, Z., Garncarski, J. (eds.) *Polonia Minor Medii Aevi. Studia ofiarowane Panu Profesorowi Andrzejowi Żakiemu w osiemdziesiątą rocznicę urodzin*, Kraków–Krosno: Polska Akademia Umiejętności, pp. 133–163.
- Świechowski, Z. (2004), 'Wczesna architektura murowana na ziemiach polskich — jak dawna?', [in:] Janiak, T., Stryniak, D. (eds.) *Początki architektury monumentalnej w Polsce*, Muzeum Początków Państwa Polskiego: Gniezno, pp. 7–22.
- Woroncowa-Marcinowska, T., <https://www.pgi.gov.pl/>, accessed: 4.12.2020.
- Wyrwa, A.M. 'Architektura murowana w Polsce XII–XIII wieku. Stan i perspektywy badań. Szkic do problemu', *Fontes Archaeologici Posnanienses*, Vol. 51, 2015, pp. 35–47.
- Zoll-Adamikowa, H. (1996), 'Wczesnośredniowieczny obrządek pogrzebowy a zróżnicowanie etniczne na pograniczu polsko-ruskim', [in:] Czopek, S. (ed.) *Początki sąsiedztwa. Pogranicze etniczne polsko-rusko-słowackie w średniowieczu*, p. 81–90.
- Żaki, A. 'Przemyśl w czasach Bolesława Chrobrego i Mieszka II', *Rocznik Przemyski*, Vol.41, iss. 2(2005), pp. 145–156.