

dr hab. inż. Marta Kosior-Kazberuk, prof. PB^{1)*}

ORCID: 0000-0001-8171-2242

ks. dr Pantelejmon Karczewski²⁾

ORCID: 0000-0003-0829-1781

dr hab. inż. Janusz Ryszard Krentowski¹⁾

ORCID: 0000-0002-8009-8110

dr inż. Joanna A. Pawłowicz³⁾

ORCID: 0000-0002-1334-5361

mgr inż. Kamil Zimiński¹⁾

ORCID: 0000-0001-9513-9811

Analiza stanu konstrukcji XVI-wiecznych katakumb na podstawie badań nieniszczących

Analysis of the 16th century catacombs structure condition resulting from non-destructive testing

DOI: 10.15199/33.2022.11.10

Streszczenie. Murowaną konstrukcję XVI-wiecznych katakumb odkopano w latach 2012 – 2013. W celu jej zabezpieczenia przed dalszą degradacją niezbędne będzie wykonanie wszechstronnych badań archeologicznych, architektonicznych, konstrukcyjnych i patomorfologicznych. Ocena stadium zniszczenia rozpoczęto od badań nieniszczących, niewymagających uzyskania zgody konserwatora zabytków. W efekcie prac sformułowano wymagania dotyczące sposobu wykonania zabezpieczeń doraźnych i trwałych, zakresu dalszych badań, odbudowy, sposobu i zakresu renowacji oraz możliwości wykorzystania historycznych elementów do projektowanej funkcji.

Słowa kluczowe: zabytek; katakumby; NDT; degradacja; rewitalizacja.

Abstract. The brick structure of the 16th century catacombs was unearthed in 2012 – 2013. In order to protect the historic substance against further degradation it is necessary to perform the comprehensive archaeological, architectural, structural and pathomorphological research. The assessment of the destruction stage began with non-destructive tests, which did not require the consent of the conservator of monuments. As a result of the work, the requirements were formulated regarding the method of temporary and permanent protection, the scope of further research and reconstruction, the method and scope of renovation, and the possibility of historical elements exploitation due to the designed function.

Keywords: monument; catacombs; NDT; degradation; revitalization.

Historyczne obiekty budowlane wymagają szczególnego traktowania podczas bieżącej konserwacji, oceny stanu technicznego, a także jeśli chodzi o formę i zakres planowanej modernizacji. Przed wykonaniem jakichkolwiek ingerencji w strukturę zabytkowej substancji należy opracować indywidualny plan badań oraz program zabezpieczeń każdej konstrukcji, najpierw doraźnych, a następnie trwałych [1 – 4]. Przed rozpoczęciem badań trzeba mieć też wiedzę na temat docelowego przeznaczenia obiektu po rekonstrukcji lub zakresu planowanych prac rewitalizacyjnych.

Supraskie katakumby

Historia katakumb Klasztoru Supraskiego sięga pierwszej połowy XVI w., kiedy to w latach 1532 – 1557, na południe od budynków monasterskich,

¹⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

²⁾ Klasztor Męski Zwiastowania NMP w Supraślu

³⁾ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Geoinżynierii

* Adres do korespondencji: m.kosior@pb.edu.pl

wzniesiono cerkiew Zmartwychwstania Chrystusa, a pod nią wymurowano katakumby z blisko dwustoma niszami grzebalnymi. Stały się one miejscem pochówku mnichów i fundatorów monasteru, w tym elit Rzeczypospolitej Obojga Narodów – przedstawicielei rodów Chodkiewiczów, Czartoryskich, Sanguszków, Sapiehów, Tyszkiewiczów, Wiśniowieckich i innych. W drugiej połowie XIX w. cerkiew rozebrano ze względów bezpieczeństwa, a katakumby przykryto płaszczem ziemnym [5].

Murowaną konstrukcję XVI-wiecznych katakumb, przekrytą murowanym sklepieniem, użytkowano jako obiekt kultu religijnego do lat osiemdziesiątych ubiegłego stulecia. Z upływem kolejnych lat stan techniczny konstrukcji stale się pogarszał. W konsekwencji postępujących procesów destrukcyjnych w strukturach materiałów, przede wszystkim spoin wykonanych z zaprawy wapienno-piaskowej, ale też cegieł tworzących sklepienia, konstrukcja przekrycia uległa całkowitemu zawaleniu (fotografia 1). Katakumby odkopano spod warstwy ziemi i gruzu w la-

tach 2012 – 2013. Została wówczas opracowana szczegółowa dokumentacja inwentaryzująca aktualny stan obiektu.

Do jej opracowania zastosowano tradycyjną technikę pomiarową z wykorzystaniem urządzeń geodezyjnych. Odślonięte powierzchnie frontowe murów ścian i sklepień nad niszami grzebalnymi były przez kilka kolejnych lat narażone na bezpośrednie oddziaływanie czynników środowiskowych, m.in. takich jak temperatura i wilgotność, a przede wszystkim cykliczne zamarzanie i rozmrażanie. Wielokrotne zmiany tych parametrów powodują przyspieszenie procesów destrukcji. Szczególnie agresywny wpływ na zły stan konstrukcji miały procesy chemiczne w spoinach muru, katalizowane przez miękką wodę opadową, a także woda zamarzająca w szczelinach oraz porach zaprawy i cegieł.

Zaprawa stosowana przed kilkuset laty składała się z piasku i wapna oraz dodatków, a jej wytrzymałość na ścislenie była typowa dla konstrukcji realizowanych w tamtym okresie historycznym, ale dużo mniejsza w porównaniu ze



Fot. 1. Fragmenty katakumb: a) widok wnętrza – ok. 1988 r. – zdjęcie archiwalne; b) prace wykopaliskowe – 2012 r.; c) aktualny widok wnętrza – 2022 r.

Photo 1. Fragments of the catacombs: a) the interior view – around 1988 – archival photo; b) excavation works – 2012; c) the current view of the interior – 2022

współczesnymi zaprawami. Bez szczegółowej analizy procesów chemicznych można przyjąć, że po kilkuset latach z zaprawy pozostał tylko piasek o zerowej wytrzymałości na rozciąganie czy ścinanie.

Tymczasowe i trwałe działania zabezpieczające

Po kilku kolejnych latach od odkopania katakumb, w trakcie których postępowała niekontrolowana degradacja obiektu, zdecydowano się na wykonanie tymczasowego przekrycia. Drewniana konstrukcja pokryta papą (fotografia 2) zasłoniła całą powierzchnię murewanej konstrukcji przed dostępem wody opadowej oraz śniegu. W celu zabezpieczenia obiektu przed bardzo intensywną degradacją podjęto niezwłoczne działania zmierzające do uzyskania stosownych decyzji lokalnych służb konserwatora zabytków. Wykonano również nieniszczące badania pozwalające na określenie stanu konstrukcji. Zasadniczą część badań

należy jednak poprzedzić opracowaniem koncepcji docelowego wykorzystania i formy architektonicznej nowego obiektu.

Badania nieniszczące

Aby zabytkową substancję właściwie zabezpieczyć przed dalszą degradacją i zachować ją w stanie istniejącym dla przyszłych pokoleń, niezbędne jest wykonanie wszechstronnych badań: archeologicznych, architektonicznych, konstrukcyjnych i patomorfologicznych [6 – 8]. Ocenę stadium zniszczenia należy rozpocząć od badań nieniszczących NDT, niewymagających uzyskania zgody konserwatora zabytków. W efekcie prac sformułowane zostaną wymagania dotyczące sposobu trwałego zabezpieczenia obiektu przed propagacją stanu destrukcji oraz sposób wykorzystania historycznych elementów do nowo projektowanej funkcji, zakresu odbudowy i renowacji. Fragmenty murów ilustrujące układy cegieł w konstrukcji sklepienia pokazano na fotografii 3.

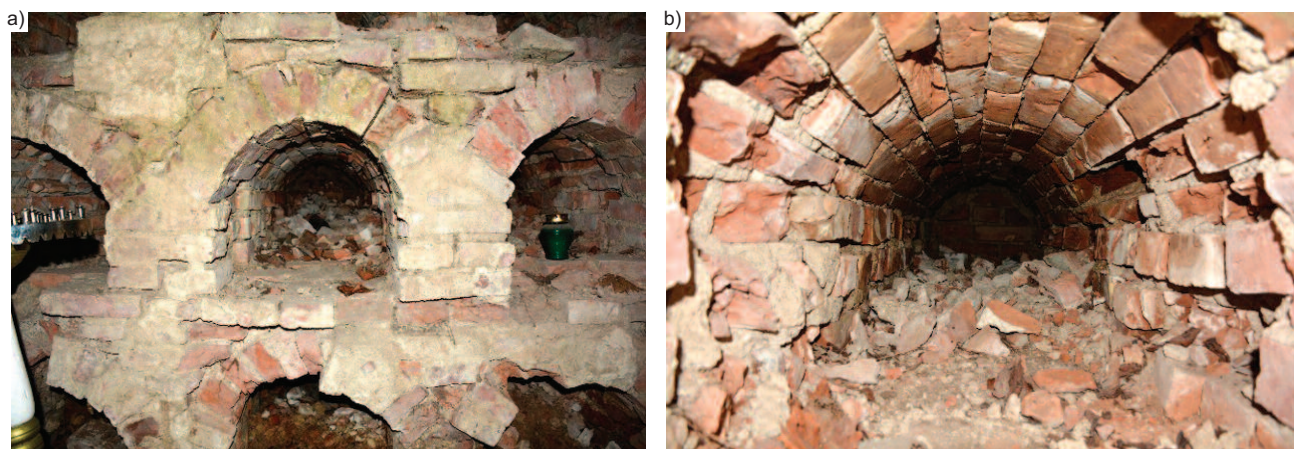
Konsekwencją przeprowadzonych badań wizualnych i inwentaryzacyjnych z wykorzystaniem klasycznych, geodezyjnych metod pomiarowych jest weryfikacja uzyskanych rezultatów za pomocą skaningu laserowego. Skaner może identyfikować i zapisywać szczegółowe dane z odległości do kilkuset metrów [9]. Rezultatem wykonania pomiaru skanem jest chmura punktów, która stanowi geometryczne odzwierciedlenie kształtu istniejącego obiektu w wersji cyfrowej. Dodatkowo uzyskujemy szczegółowe informacje o deformacjach i uszkodzeniach badanego obiektu, których wpływ na stan konstrukcji można zinterpretować na ekranie monitora [10, 11].

Przykładowy efekt badań katakumb supraskich, które stanowią bazę do analizy kształtu i stanu konstrukcji, przedstawiono na fotografii 4. Wyniki badań umożliwią ocenę postępu procesów degradacyjnych w porównaniu ze stanem udokumentowanym w opracowaniu z 2012 r. Parametry wytrzymałościowe materiałów i elementów konstrukcyj-

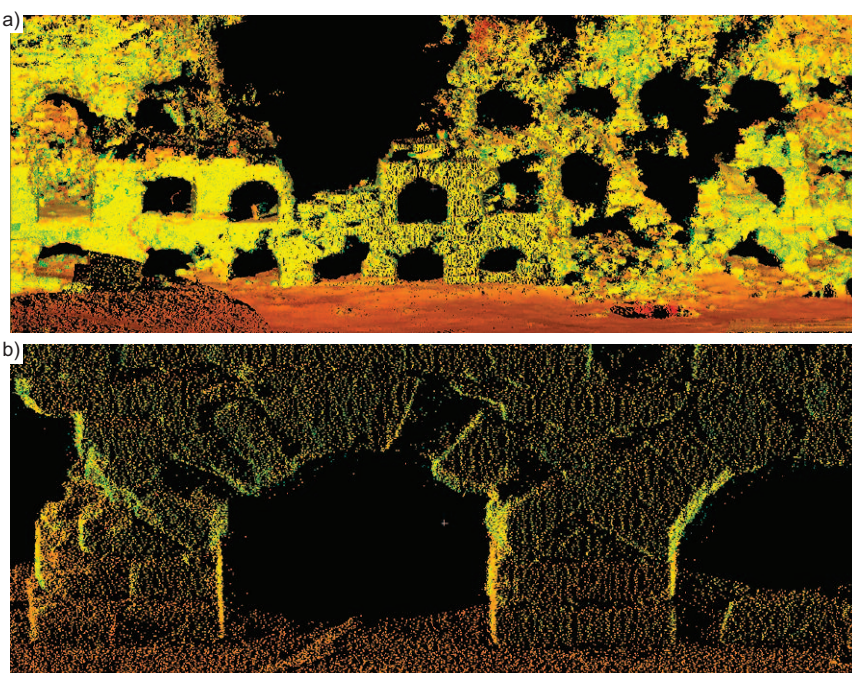


Fot. 2. Tymczasowa konstrukcja przekrywająca katakumby: a) widok dachu (zielony) na tle klasztoru; b) pas dolny kratownicy gwoździowanej

Photo 2. Temporary structure covering the catacombs: a) view of the roof (green) against the background of the Monastery; b) bottom flange of the wooden nail truss



Fot. 3. Aktualna struktura murów katakumb: a) widok kilku nisz grzebalnych; b) układ cegieł w sklepieniu we wnętrzu niszy
 Photo 3. The current structure of the catacomb walls: a) view of several burial niches; b) arrangement of bricks in the niche vault



Fot. 4. Chmury punktów będące efektem badań skaningowych: a) fragment ściany od strony wschodniej; b) widok niszy w powiększeniu cyfrowym
 Photo 4. Point clouds resulting from scanning tests: a) part of the wall from the east side; b) view of the niche in digital enlargement

nych, np. cegieł, spoin i fragmentów murów, oceniono wstępnie na podstawie badań sklerometrycznych, tzn. przez analityczną weryfikację liczby odbicia. Do badań zastosowano młotek typu L oraz młotek wahadłowy (fotografie 5a, b). Szacunkową ocenę wytrzymałości cegieł tworzących sklepienia w różnych strefach obiektu wykonano metodą porównawczą, analogicznie do metody młotka Poldi. Jako wartości referencyjne wykorzystano wyniki badań uzyskane w ramach oceny zabytkowych obiektów o konstrukcji murowanej opisane w [2, 12]. Wytrzymałość badanych ce-

gieł odpowiada klasom 10 – 15 MPa. Dodatkowo przeprowadzono badania stopnia wilgotności struktury muru na różnej głębokości (fotografia 5c). Badania realizowano w marcu, a więc w okresie opadów deszczu o dużej intensywności i podwyższonym stopniu wilgotności atmosferycznej. Obiekt jest zlokalizowany w bezpośrednim sąsiedztwie koryta rzeki. Zmierzone wartości wilgotności nieznacznie przekraczały 40%, przy temperaturze zewnętrznej na poziomie 7 – 8°C, pomimo cech higroskopijności materiałów ceramicznych i kapilarnego podciągania wody gruntowej.

Wyniki te świadczą o skuteczności zabezpieczeń wykonanych w postaci drewnianego przekrycia katakumb.

Wstępna ocena wizualna wykazała osiadanie fragmentów ścian w rejonie głównego wejścia do katakumb. Wywołało ono uszkodzenia przede wszystkim sklepień w niszach grzebalnych. W tych strefach widoczna była wyraźna deformacja linii spoin w stosunku do sąsiednich fragmentów budowli, co wskazuje na dużo gorsze parametry techniczne podłoża gruntowego w tym rejonie w porównaniu z pozostałym fragmentem budowli. Różnica poziomów sklepień nad niszami zidentyfikowana w wyniku pomiarów niwelacyjnych nie przekracza 120 mm. Wykonanie szczegółowych badań geotechnicznych pozwoli określić parametry podłoża gruntowego i może wskazać na przyczyny zróżnicowanych uszkodzeń sklepień i ścian. Na zmieniający się w czasie stan gruntów mają wpływ wody podziemne i wypłukiwanie drobnych frakcji z gruntu piaszczystego, a także destrukcyjne oddziaływanie korzeni drzew znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu.

Kierunki kompleksowej diagnostyki

Zrealizowane badania pilotażowe pozwoliły na wstępną ocenę stanu degradacji konstrukcji i sformułowanie wytycznych do przeprowadzenia badań kompleksowych nieniszczących oraz niszczących. W celu wiarygodnej i uzasadnionej oceny należy wykonać diagnostykę obejmującą m.in.:



Fot. 5. Badania nieniszczące struktury murów: a) pomiar liczby odbicia młotkiem wahadlowym; b) pomiar liczby odbicia młotkiem typu L; c) pomiar wilgotności w głębi muru

Photo 5. Non-destructive testing of wall structures: a) measuring the number of rebounds with a pendulum hammer; b) measuring the number of rebounds with an L-type hammer; c) measurement of humidity inside the wall

- inwentaryzację rzeczywistych parametrów geometrycznych, tj. pomiary geodezyjne, kompleksowy skaniny laserowy powierzchni ścian i wnętrza nisz;
- inwentaryzację stanu uszkodzeń, rys, pęknięć, ubytków muru, odkształceń muru i innych defektów, np. deformacji elementów sklepień;
- identyfikację kształtu, wymiaru i wieku cegieł w kolejnych strefach katakumb;
- sprawdzenie rodzaju i jakości materiału spoin między elementami muru;
- badania stopnia zawilgocenia murów, spoin oraz podłoża gruntowego,
- wykonanie lokalnych odkrywek w celu identyfikacji poziomu, sposobu oraz stanu posadowienia murów katakumb;
- badania układu warstw gruntowych i zasięgu konstrukcji katakumb pod poziomem otaczającego terenu za pomocą georadaru;
- określenie warunków gruntowo-wodnych podłoża gruntowego w efekcie badań geotechnicznych w strefie posadowienia oraz poniżej strefy posadowienia murów;
- laboratoryjne badania wytrzymałościowe materiałów oraz struktury murów;
- laboratoryjną analizę chemiczną oraz mineralogiczno-petrograficzną zapraw;
- badania mykologiczne w aspekcie stopnia intensywności korozji biologicznej cegieł oraz zaprawy wywołanej działaniem grzybów, roślin, owadów i bakterii.

Wymienione rodzaje badań nie wyczerpują możliwości diagnostycznych i ich zakres będzie uzupełniany wraz z postępem prac badawczych.

Wnioski

Efektom przeprowadzonych badań było stwierdzenie, że aktualny stan konstrukcji obiektu nie zagraża bezpieczeństwu osób realizujących badania oraz prace zabezpieczające. Konstrukcja murów katakumb jest jednak w bardzo złym stanie i wymaga podjęcia niezwłocznych działań zabezpieczających historyczną substancję przed dalszą gwałtowną degradacją.

Na podstawie przeprowadzonych prac wskazaliśmy praktyczny aspekt wyników badań nieniszczących w ocenie wstępnej wad i stanu konstrukcji. Do sformułowania jednoznacznej oceny niezbędne jest wykonanie wielu badań niszczących, których zakres należy określić we współpracy z konserwatorem zabytków. Rolą użytkownika jest określenie planowanej funkcji obiektu.

Uzyskane rezultaty badań i analiz umożliwią podjęcie decyzji dotyczącej finalnej formy obiektu, metody jego rekonstrukcji lub rozbudowy, a także sposobu udostępnienia zabytkowej substancji zwiedzającym.

Fot. 1 i 2 – archiwum Klasztoru; fot. 3–5 – J. Krentowski

Literatura

- [1] Antonowicz R, Klimek A. Stan zachowania więźby sterczykowej nad budynkiem kościoła po przeszło trzystu latach eksploatacji. *Materiały Budowlane* 2019. DOI: 10.15199/33.2019.06.02.
- [2] Matkowski Z. 2021. Badanie wilgotności i zasolenia murów oraz sklepień ceramicznych w historycznym obiekcie militarnym. *Materiały Budowlane*. 2021. DOI: 10.15199/33.2021.03.03.
- [3] Gawlicki M, Kosior-Kazberuk M. Restoration of historic concrete structures, W: Proceedings of the International Conference on Concrete Solutions, Padwa, 22-25.06.2009, ed. M. Grantham, C. Majorama, V. Salomoni; org. Concrete Solutions, Queen's University,

University of Padova, London: Taylor & Francis Group. 2009, 153 – 156.

[4] Nocoń M. Remont zawilgoconych, zasolonych oraz porażonych biologicznie budynków. *Materiały Budowlane* 2022; 3: 12 – 13.

[5] Karczewski PH. Zarys historii Parafii Prawosławnej Zwiastowania NMP i św. Jana Teologa w Supraślu, w: *Elpis*, Tom 21, Białystok, 2019, 99 – 108.

[6] Żółtowski M, Rutkowska G, Dąbkowski N, Jeleniewicz K, Kula D, Szlachetka O. Diagnostyka uszkodzeń elementów murowych na podstawie miar liczbowych procesu drganiowego. *Materiały Budowlane* 2022. DOI: 10.15199/33.2022.05.04.

[7] Gil-Mastalerczyk J. The Regained Beauty of the Pilgrimage Monastery in Imbramowice, on the 900th Anniversary of the Norbertine Order: Religious Heritage Challenges and Threats, *Journal of Heritage Conservation*. 2021, t. 67, 101 – 114.

[8] Hoła J, Schabowicz K. State-of-the-art non-destructive methods for diagnostic testing of building structures – anticipated development trends. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2010; [https://doi.org/10.1016/S1644-9665\(12\)60133-2](https://doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60133-2).

[9] Jurczak MA. Zastosowanie skaningu laserowego do inwentaryzacji obiektów zabytkowych. *Materiały Budowlane*. 2022. DOI: 10.15199/33.2022.05.06.

[10] Bartonek D, Buday M. Problems of creation and usage of 3D model of structures and theirs possible solution. *Symmetry*. 2020, <https://doi.org/10.3390/sym12010181>.

[11] Markowski H. Zastosowanie skanowania laserowego 3D w inwentaryzacji budynków zabytkowych. *Builder*. 2020. DOI: 10.5604/01.3001.0014.1378.

[12] Pawłowicz JA, Krentowski JR, Gavardashvili G. Skaniny laserowy 3D XVII-wiecznego alkierza. *Materiały Budowlane*. 2022. DOI: 10.15199/33.2022.08.11.

Źródło finansowania: *Badania zrealizowano w ramach prac nr WZ/WB-IIL/2/2020 oraz WZ/WB-IIL/4/2020, (Politechnika Białostocka) i sfinansowano z subwencji badawczej przekazanej przez Ministerstwo Edukacji i Nauki.*

Przyjęto do druku: 27.09.2022 r.