

Piotr Pikulski^a

orcid.org/0000-0002-3268-8079

Anna Marek^b

orcid.org/0009-0004-1181-1201

Zagrożone dziedzictwo – cyfrowa rekonstrukcja stanu kaplicy zamkowej Sieniawskich w ukraińskich Brzeżanach z drugiej połowy XIX wieku na podstawie analizy materiałów źródłowych oraz skaningu laserowego zachowanego obiektu

Heritage Under Threat: Digital Reconstruction of the State of the Nineteenth-Century Sieniawski Castle Chapel in Brzeżany, Ukraine, Using Source Material Analysis and a Laser Scan of the Building

Słowa kluczowe: cyfrowa rekonstrukcja zabytków, HBIM, kaplica zamkowa w Brzeżanach, skaningu laserowego, utracone dziedzictwo

Keywords: digital reconstruction of heritage sites, HBIM, Brzeżany castle chapel, laser scanning, lost heritage

Wprowadzenie, główna teza badawcza

Przedmiotem przedstawionych w niniejszej pracy badań była analiza współczesnych metod inwentaryzacji i sposobów przedstawiania danych pomiarowych na przykładzie kaplicy grobowej rodu Sieniawskich w Brzeżanach, leżącej w obwodzie tarnopolskim na Ukrainie, oraz cyfrowa rekonstrukcja fasady obiektu z drugiej połowy XIX wieku. Inwentaryzację obiektu, przy użyciu skaningu laserowego i fotogrametrii, wykonano w grudniu 2021 roku, niecałe dwa miesiące przed rosyjską agresją w Ukrainie. Wyniki prezentowanych badań stanowią obecnie jedyną możliwość zapoznania się z tym obiektem, a stopień dokładności inwentaryzacji i opracowanej rekonstrukcji cyfrowej może w przyszłości pozwolić na ewentualną odbudowę obiektu i podźwignięcie go ze stanu ruiny, w jakim znajdował się jeszcze przed wybuchem wojny.

Introduction, main research hypothesis

The subject of the research presented in this paper was an analysis of contemporary building surveying methods and means of presenting measurement data, using the funerary chapel of the Sieniawski family in Brzeżany (the present-day Berezhany), located in the Ternopil region in Ukraine, and a digital reconstruction of the building's late-nineteenth-century facade. The survey of the building was performed in December 2021 using laser scanning and photogrammetry, just short of two months before the Russian invasion of Ukraine. The results of this research are currently the only way of experiencing the building, and the precision of the survey and the digital reconstruction can, in the future, allow for the reconstruction of the building and getting it out of its ruined state, in which it had been even before the war started.

^a dr inż. arch., Katedra Geometrii Wykreślnej i Technologii Cyfrowych, Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej

^b mgr inż. arch., Katedra Geometrii Wykreślnej i Technologii Cyfrowych, Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej

^a *Ph.D. Eng. Arch., Chair of Descriptive Geometry and Digital Technologies, Faculty of Architecture, Cracow University of Technology*

^b *M.Sc. Eng. Arch., Chair of Descriptive Geometry and Digital Technologies, Faculty of Architecture, Cracow University of Technology*

Cytowanie / Citation: Pikulski P., Marek A. Heritage Under Threat: Digital Reconstruction of the State of the Nineteenth-Century Sieniawski Castle Chapel in Brzeżany, Ukraine, Using Source Material Analysis and a Laser Scan of the Building. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2023, 75:71–85

Otrzymano / Received: 12.03.2023 • Zaakceptowano / Accepted: 8.06.2023

doi: 10.48234/WK75SIENIAWSKI

Praca dopuszczona do druku po recenzjach

Article accepted for publishing after reviews

W pierwszym etapie prac sporządzono pomiary inwentaryzacyjne za pomocą skaningu laserowego 3D, w wyniku których powstały tzw. chmury punktów (ang. *point cloud*) stanowiące bazę do prowadzenia dalszych prac inwentaryzacyjnych. Następnie na ich podstawie sporządzono model HBIM obiektu, służący do wygenerowania dokumentacji architektonicznej 2D. Na bazie opracowanego modelu stanu istniejącego, a także dokumentacji archiwalnej podjęto próbę rekonstrukcji stanu kaplicy z drugiej połowy XIX wieku.

Obecnie skaningu laserowego 3D i sporządzanie na jego podstawie modelu HBIM (Heritage Building Information Modeling), czyli modelu cyfrowego opracowanego z wykorzystaniem danych pozyskanych podczas skanowania, jest coraz powszechniej stosowaną metodą inwentaryzacji budynków zabytkowych [Galieva *et al.* 2019]. W przypadku tego typu obiektów, szczególnie znajdujących się w złym stanie technicznym lub zagrożonych bezpośrednim zawaleniem, do których dostęp jest utrudniony, skaningu laserowego i wykonanie modelu 3D na podstawie chmur punktów może być jedynym sposobem na stworzenie kompletnej dokumentacji konserwatorskiej [Koszewski, Franczuk, Argasiński 2021]. Główna teza badawcza zakłada, że w przypadku obiektów historycznych o szczególnym znaczeniu, do których dostęp jest utrudniony ze względu na sytuację geopolityczną w regionie lub zły stan inwentaryzowanego budynku, inwentaryzacja przy użyciu skaningu laserowego, której celem jest stworzenie kompletnego modelu HBIM, jest najlepszą metodą wykonywania pomiarów i sporządzania dokumentacji konserwatorskich oraz gromadzenia informacji o obiekcie.

Stan badań, rys historyczny obiektu

Jednym z badaczy zajmujących się historią architektury sakralnej dawnej Rzeczypospolitej na Kresach Wschodnich jest Rafał Nestorow. W niniejszej pracy wykorzystano opracowane przez niego materiały naukowe dotyczące zamku w Brzeżanach i zamkowej kaplicy rodu Sieniawskich – *Treści ideowe mauzoleum Sieniawskich w Brzeżanach* wydane w „Biuletynie Historii Sztuki” z 2006 roku oraz *Kościół Zamkowy P.W. św. Trójcy w Brzeżanach* opublikowany w „Materiałach do dziejów sztuki sakralnej na ziemiach wschodnich dawnej Rzeczypospolitej”. Tematykę historii kaplicy zamkowej w Brzeżanach porusza również Roman Aftanazy w opracowaniu zatytułowanym *Dzieje rezydencji na dawnych kresach Rzeczypospolitej* z 1997 roku.

W listopadzie 2018 roku zespół autorski w składzie mgr inż. Roman Paruch i mgr inż. Stanisław Czernek, na zlecenie Narodowego Instytutu Polskiego Dziedzictwa Kulturowego za Granicą „Polonika”¹, opracował „Ekspertyzę konstrukcyjno-budowlaną dotyczącą stanu technicznego kaplicy zamkowej w Brzeżanach”. Ekspertyza ta posłużyła jako materiał wyjściowy do analizy stanu istniejącego kaplicy, w zestawieniu z opracowanym modelem HBIM obiektu.

During the first stage of the study, surveying measurements were done using a 3D laser scanner, which produced a point cloud, providing a basis for further surveying work. Based on this, an HBIM model of the building was constructed and used to generate a 2D documentation. Based on this model of the building's existing state, in combination with archival documentation, a reconstruction of the chapel's state from the late nineteenth century was developed.

At present, 3D laser scanning and using its results to build an HBIM (Heritage Building Information Modeling) model, which is a digital model constructed using scanning data, is an increasingly used method of surveying historical buildings [Galieva *et al.* 2019]. For such sites, especially those in poor condition or at risk of immediate collapse, where access is difficult, laser scanning and constructing a 3D model based on point clouds may be the only way to create complete conservation documentation [Koszewski, Franczuk, Argasiński 2021]. This study's main hypothesis assumed that, in the case of historical sites of special significance, to which access is difficult due to the regional geopolitical situation or the site's poor technical condition, surveying user a laser scan with the objective of constructing a complete HBIM model is the best method for performing measurements, preparing conservation documentation, and collecting information about the site.

State of the art, historical overview of the site

Rafał Nestorow is a researcher who investigates the history of religious architecture of the Commonwealth's Eastern Borderlands. This study utilizes his research on the castle in Brzeżany and the Sieniawski family castle chapel – *Treści ideowe mauzoleum Sieniawskich w Brzeżanach* published in “Biuletyn Historii Sztuki” in 2006, and *Kościół Zamkowy P.W. św. Trójcy w Brzeżanach* published in “Materiały do dziejów sztuki sakralnej na ziemiach wschodnich dawnej Rzeczypospolitej.” The history of the castle chapel in Brzeżany was also covered by Roman Aftanazy in his 1997 study entitled *Dzieje rezydencji na dawnych kresach Rzeczypospolitej*.

In November 2018, a team consisting of M.Sc. Eng. Roman Paruch and M.Sc. Eng. Stanisław Czernik, commissioned by the “Polonika” National Institute of Polish Cultural Heritage Abroad,¹ prepared the “Expert opinion on the structural condition of the castle chapel in Brzeżany.” This expert report served as the starting material for the analysis of the existing condition of the chapel, in combination with the developed HBIM model of the facility.

The Brzeżany castle church, also known as the Sieniawski chapel, is widely regarded as one of the most important family mausoleums in the historical Commonwealth, equivalent to the Collegiate Church of Zhovkva. The history of the castle chapel is connected with the most valuable monument of Brzeżany,



Ryc. 1. Mapa przedstawiająca rekonstrukcję układu zamku w Brzeżanach, z zaznaczoną kaplicą, plan sytuacyjny; źródło: materiały udostępnione przez zarządcę obiektu

Fig. 1. Map showing the reconstruction of the layout of the Brzeżany castle, with the chapel marked, site plan; source: materials provided by the site manager

Kościół zamkowy w Brzeżanach, znany również jako kaplica Sieniawskich, jest powszechnie uważany za jedno z najważniejszych mauzoleów rodowych na obszarze historycznej Rzeczypospolitej, równorzędne z kolegiatą żółkiewską. Historia kaplicy zamkowej wiąże się z najcenniejszym zabytkiem Brzeżan, jakim był zamek usytuowany na wschód od miasta. Dokładne ustalenie daty jego powstania nie jest możliwe, wiadomo jednak, że ostateczną formę nadał mu Mikołaj Sieniawski w 1554 roku². Zamek, jak podają źródła historyczne [Aftanazy 1997, s. 83], zbudowano na gruncie wzmocnionym drewnianymi palami na rzucie nieregularnego pięcioboku, z trzema basztami. Od strony południowo-zachodniej dopełnieniem formy pięcioboku był mur kurtynowy z wieloboczną basztą [Kuśnier 2001, s. 195–199], przy której zlokalizowano kaplicę.

Fundacja centralnej kaplicy nastąpiła w 1525 roku. Przypuszczalnie jej fundatorem był zmarły w 1583 roku Jan Sieniawski. Początkowo w jej prezbiterium pochowano Mikołaja i Hieronima Sieniawskich, a w roku 1574 stanął tam nagrobek Anny z Maciejowskich Sieniawskiej i jej syna Jerzego. Od tego momentu przyjmuje się, że kaplica zamkowa w Brzeżanach stała się mauzoleum rodzonym Sieniawskich [Aftanazy 1997, s. 83–86].

Obecny układ przestrzenny kaplicy oparty jest na planie geometrii krzyża greckiego, uzyskany poprzez dobudowę obu bocznych kaplic do części centralnej (ryc. 1). Jako najbardziej prawdopodobną datę rozpoczęcia budowy prawej kaplicy, przylegającej od stro-

the castle located east of the city. The exact date of the castle's construction is impossible to determine, but it is known that its final form was given to it by Mikołaj Sieniawski in 1554.² The castle, according to historical sources [Aftanazy 1997, p. 83], was built on land reinforced with wooden piles on the plan of an irregular pentagon, with three towers. On the southwest side, the pentagonal form was complemented by a curtain wall with a polygonal tower [Kusnier 2001, pp. 195–199], at which a chapel was located.

The foundation of the central chapel took place in 1525. Presumably its founder was Jan Sieniawski, who died in 1583. Initially, Mikołaj and Hieronim Sieniawski were buried in its chancel, and in 1574 the tombstone of Anna Sieniawska, née Maciejowska, and her son Jerzy was placed there. From then on it is assumed that the Brzeżany castle chapel became the Sieniawski family mausoleum [Aftanazy 1997, pp. 83–86].

The current spatial layout of the chapel is based on a Greek cruciform plan, achieved by adding the two side chapels to the central body (Fig. 1). The most likely date for the start of construction of the chapel on the right side, adjacent to the original building on the southeast side, is 1619. Another extension of the castle church took place in the late seventeenth and early eighteenth centuries, when a second chapel was built on the left side of the central body of the building (northwest side). Both chapels, placed almost symmetrically with respect to the original building, were shaped on a plan closely resembling a square and cov-

ny południowo-wschodniej do pierwotnej budowli, przyjmuje się rok 1619. Kolejna rozbudowa kościoła zamkowego nastąpiła na przełomie XVII i XVIII wieku, kiedy po lewej stronie centralnej części budowli wzniesiono drugą kaplicę (strona północno-zachodnia). Obie kaplice, umieszczone prawie symetrycznie względem budowli pierwotnej, ukształtowano na rzucie zbliżonym do kwadratu i przykryto wysoko wznoszącymi się kopułami zakończonymi wąskimi latarniami. Fundatorką lewej kaplicy była Elżbieta z Lubomirskich Sieniawska [Nestorow 1993–2015, s. 99]. Pierwotnym przeznaczeniem lewej kaplicy było miejsce pochówku jej męża, Adama Mikołaja Sieniawskiego, zmarłego w 1726 roku. W 1876 roku kościół zamkowy został poddany gruntownej restauracji przez Stanisława hr. Potockiego, w związku z bardzo złym stanem technicznym [Nestorow 2006, s. 167–192]. W trakcie prac remontowych przeniesiono pomniki znajdujące się w prezbiterium do dotychczas pustej lewej kaplicy [Polak 1997, s. 144–148].

W czasie I wojny światowej zarówno zamek, jak i kaplica zamkowa doznały znacznych uszkodzeń konstrukcyjnych [Nestorow 1993–2015, s. 101]. W 1920 roku wywieziono z Brzeżan do Krakowa cynowe sarkofagi Sieniawskich, ratując je przed pewnym zniszczeniem. Po I wojnie światowej zamek znajdował się w całkowitej ruinie, a stan techniczny kaplicy zamkowej uległ systematycznemu pogorszeniu.

W 2001 roku zespół zamkowo-warowny z kaplicą grobową rodu Sieniawskich uzyskały status rezerwatu historyczno-urbanistycznego objętego państwową ochroną. Od tego momentu aż do inwazji wojsk rosyjskich na Ukrainę 24 lutego 2022 roku obiekt był całkowicie zamknięty dla zwiedzających w związku z bezpośrednim ryzykiem zawalenia wynikającym z bardzo złego stanu technicznego, w jakim się znajdował [Tokarski 2000, s. 49].

Analiza problemu – obecny stan kaplicy

Kaplica zamkowa rodu Sieniawskich w Brzeżanach zlokalizowana jest w południowo-zachodnim narożniku ruin zamku. Głównymi materiałami użytymi do jej budowy były kamień łamany i cegła. Również okładziny fasady oraz północnej kaplicy wykonano z kamienia [Nestorow 1993–2015, s. 108]. Na plan kaplicy składa się jednoprzęsłowa, kwadratowa nawa o wymiarach około 9×9 m, z węższym, wydłużonym prezbiterium zamkniętym trójbocznie. Prezbiterium zwrócone jest na południowy wschód. Po obu stronach kwadratowej części centralnej ulokowane są kopułowe kaplice – północno-zachodnia (lewa) oraz południowo-wschodnia (prawa), obie o wymiarach w rzucie około 6×6 m. Połączone są one z wnętrzem centralnej, kwadratowej nawy poprzez obszerne otwory wejściowe. Każdy zamknięty jest półkolistymi łukami ujętymi w zdobne portale, obecnie bardzo zniszczone, zachowane jedynie we fragmentach. W części centralnej oraz prezbiterium widoczne jedynie pozostałości oryginalnych sklepień

ered with tall domes that ended with narrow lanterns. The founder of the left chapel was Elżbieta Sieniawska, née Lubomirska [Nestorow 1993–2015, p. 99]. The original purpose of the left chapel was the burial place of her husband, Adam Mikołaj Sieniawski, who died in 1726. In 1876, the castle church underwent extensive restoration by Count Stanisław Potocki, due to its very poor technical condition [Nestorow 2006, pp. 167–192]. During the renovation work, the monuments located in the chancel were moved to the previously empty left chapel [Polak 1997, pp. 144–148].

During the First World War, both the castle and the castle chapel suffered significant structural damage [Nestorow 1993–2015, p. 101]. In 1920, the Sieniawski family's tin sarcophagi were transported from Brzeżany to Cracow, saving them from certain destruction. After the First World War, the castle was in complete disrepair, and the technical condition of the castle chapel was steadily deteriorating.

In 2001, the fortification and castle complex with the tomb chapel of the Sieniawski family was granted the status of a historico-urban preserve under state protection. From then until the Russian military invasion of Ukraine on February 24, 2022, the site was completely closed to the public due to the imminent risk of collapse resulting from the very poor technical condition it was in [Tokarski 2000, p. 49].

Analysis of the problem – the current state of the chapel

The castle chapel of the Sieniawski family in Brzeżany is located in the southwestern corner of the castle ruins. The main materials used in its construction were unworked stone and brick. The cladding of the facade and the northern chapel was also made of stone [Nestorow 1993–2015, p. 108]. The plan of the chapel consists of a single-bay, square nave measuring about 9×9 m, with a narrower, elongated chancel with a three-sided end section. The chancel faces southeast. On either side of the square central section there are domed shaped chapels—the northwestern (left) and southeastern (right)—both of which measure approximately 6×6 m in plan. They are connected to the interior of the central, square nave through spacious entrances. Each of these is topped with semicircular arches framed by ornate portals, now badly damaged and only fragmentarily preserved. In the central body and the chancel, only remains of the original vaults are visible – a groin vault, and a barrel vault in the chancel [Nestorow 1993–2015, pp. 86–125].

There are three crypts under the church—a hexagonal one under the central section and two square ones under the side chapels. Currently, the crypts and the passages between them are buried, and access to each is difficult [Nestorow 1993–2015, p. 103].

Made of stone, the two-story facade was divided into three fields by pilasters in the giant order, and is about 13.5 m high on the central axis. The pilasters,

– sklepienia krzyżowego, a w prezbiterium sklepienia kolebkowego [Nestorow 1993–2015, s. 86–125].

Pod kościołem znajdują się trzy krypty – sześcioboczna pod częścią centralną oraz dwie kwadratowe pod kaplicami bocznymi. Obecnie krypty oraz przejścia pomiędzy nimi są zasypane, a dostęp do każdej z nich jest utrudniony [Nestorow 1993–2015, s. 103].

Wykonana w kamieniu dwukondygnacyjna fasada podzielona została na trzy pola pilastrami w wielkim porządku, wysoka na około 13,5 m w osi centralnej. Pilastry, zwieńczone głowicami korynckimi, dźwigają obszerne belkowanie, w którego fryzie umieszczono ornament akantowy w barwionym na czerwono stiuku z wplecionymi główkami aniołów. Obecnie ornament jest niekompletny, zniszczony, ukruszony na fragmentach, prawdopodobnie przez spadające kawałki gzymsu. Całość wieńczy trójkątny szczyt – w jego tympanonie znajdowała się kiedyś – również wykonana w czerwonym stiuku – płaskorzeźba z Okiem Opatrzności. Nie zachowała się ona do dnia dzisiejszego. W górnej kondygnacji elewacji frontowej umieszczono triadę okien w dekoracyjnych obramieniach. W dolnej kondygnacji, w polach bocznych, nisze arkadowe, w których znajdowały się rzeźby świętych. Całość sylwety kościoła domykają dwie boczne kaplice przekryte kopulastymi dachami zwieńczonymi wysokimi latarniami.

Obecny stan kaplicy zamkowej określić można jako bardzo zły – bez podjęcia natychmiastowych, zakrojonych na szeroką skalę działań o charakterze ratunkowym grozi jej całkowite zniszczenie. Kamienne elementy dekoracyjne zostały w całości lub znacznej części zniszczone, podobnie jak dach nad centralną częścią. Nie zachowała się również stolarka okienna, a same kamienne obramienia okien także uległy znacznemu uszkodzeniu. W elewacji frontowej widoczne są dwa pionowe pęknięcia, ciągnące się przez całą jej wysokość (ryc. 2).

W przypadku kaplicy rodu Sieniawskich w Brzeżanach skaning laserowy był jedyną metodą umożliwiającą wykonanie dokładnej inwentaryzacji obiektu, szczególnie w kontekście potrzeby przygotowania materiałów niezbędnych do ewentualnego sporządzenia projektu restauracji i częściowej rekonstrukcji obiektu. Na tak zły stan kaplicy wpłynął szereg czynników, m.in. obecna sytuacja geopolityczna, ale także wieloletnie zaniedbania, postępujące systematycznie już od wybuchu I wojny światowej.

W październiku i listopadzie 2018 roku przeprowadzono dwie wizje lokalne, połączone z przeglądem stanu technicznego obiektu. W ramach prowadzonych czynności ustalono skalę uszkodzeń konstrukcyjnych obiektu oraz określono zakres niezbędnych prac budowlanych, które należało podjąć w celu zabezpieczenia kaplicy Sieniawskich przed postępującym procesem degradacji. Dokonano również oceny stanu technicznego przylegającego do budynku muru obronnego, wykonanego z kamienia i cegły, oraz fragmentów ścian dawnego zamku zlokalizowanych bezpośrednio przy obiekcie. Dodatkowo, w zakresie podjętych czynności na miejscu, dokonano oceny stanu technicznego

topped by Corinthian capitals, carry an extensive entablature, whose frieze features acanthus ornamentation in stucco that is dyed red, with interwoven angel heads. Currently, the ornament is incomplete, damaged, chipped in fragments, probably by falling pieces of the cornice. The entirety is crowned by a triangular gable—in its tympanum there used to be—also made in red stucco—a bas-relief with the Eye of Providence. It has not survived to the present day. The upper story of the front facade features a triad of windows in decorative frames. In the bottom story, in the side fields, there are arcade niches that housed sculptures of saints. The entire silhouette of the church is capped by two side chapels covered with domed roofs topped with tall lanterns.

The current state of the castle chapel can be described as very poor—without immediate, large-scale rescue efforts, it is in danger of being completely destroyed. The stone decorative elements were either completely or largely destroyed, as was the roof over the central section. The window framing also did not survive, and the stone window frames themselves were also badly damaged. The front facade shows two vertical cracks, stretching across its entire height (Fig. 2).

In the case of the chapel of the Sieniawski family in Brzeżany, laser scanning was the only method that made it possible to make an accurate building survey of the site, especially in the context of the need to prepare the materials necessary for the eventual drafting of a design of the restoration and partial reconstruction of the structure. A number of factors contributed to the poor state of the chapel, including the current geopolitical situation, but also years of neglect, which had been progressing systematically since the First World War.

In October and November 2018, two site visits were conducted in conjunction with an inspection of the structure's technical condition. This included determining the extent of the structural damage to the building and the scope of the necessary construction work that needed to be done to protect the Sieniawski chapel from progressive degradation. An assessment was also made of the technical condition of the stone and brick defensive wall adjacent to the building, as well as fragments of the walls of the former castle abutting the structure. In addition, in terms of the measures taken at the site, the technical condition of the internal wooden scaffolding currently protecting the structure from progressive degradation was assessed (Fig. 2) [Paruch, Czernik 2018, pp. 14–16].

Based to the review of the technical condition of the structure and the collection of materials for laboratory tests, it was possible to determine the main structural damage, directly threatening the site's safety, along with the probable genesis of its origin. Special attention was paid to the catastrophic condition of the existing brick vaults in the barrel arch areas, which are only protected from complete collapse by



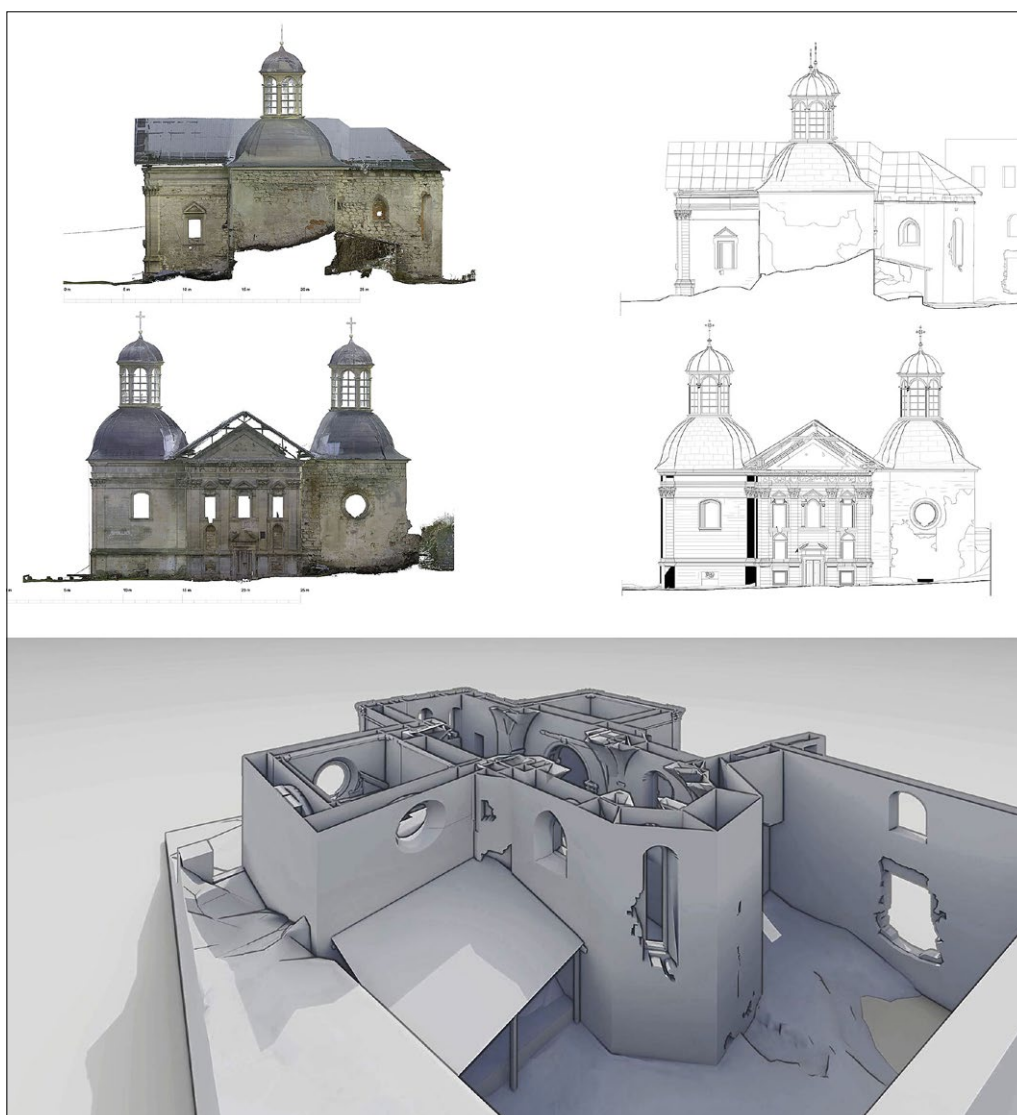
Ryc. 2. Kaplica zamkowa Sieniawskich w Brzeżanach na Ukrainie, stan obecny; z lewej strony wnętrze kaplicy, drewniana konstrukcja podtrzymująca dach, z prawej elewacja zewnętrzna, stan zachowania murów, grudzień 2021; fot. Zespół BIM Monuments

Fig. 2. Sieniawski castle chapel in Brzeżany, Ukraine, present state; left: interior of the chapel, a wooden structure supporting the roof; right: exterior elevation, state of preservation of walls, December 2021; photo by BIM Monuments

wewnętrznych rusztowań drewnianych zabezpieczających obecnie obiekt przed postępującą degradacją (ryc. 2) [Paruch, Czernik 2018, s. 14–16].

Dzięki przeprowadzonemu przeglądowi stanu technicznego obiektu oraz pobraniu materiałów do badań laboratoryjnych udało się ustalić główne uszkodzenia o charakterze konstrukcyjnym, bezpośrednio zagrażające bezpieczeństwu obiektu, wraz z prawdopodobną genezą ich powstania. Szczególną uwagę zwrócono na katastrofalny stan istniejących sklepień ceglanych w obszarze gurtów, które przed całkowitym zawaleniem zabezpieczają jedynie drewniane rusztowania rozstawione w całym wnętrzu obiektu (ryc. 2). Jako przyczynę tak licznych uszkodzeń sklepień podano deformacje geometryczne ścian. Autorzy zwracają również uwagę na liczne nieprawidłowości konstrukcyjne murów nośnych, takie jak pionowe pęknięcia i rozwarcia przebiegające przez całą szerokość ścian (ryc. 2, 3) czy liczne ubytki i deformacje geometryczne wynikające z wymycia i wykruszenia zapraw murarskich na skutek braku ochrony przed czynnikami klimatycznymi [Paruch, Czernik 2018, s. 12]. Dodatkowo zaznaczono, że ściany fundamentowe w obszarze odgruzowanych krypt oraz sklepienia przykrywające przedmiotowe pomieszczenia wykazały podobne uszkodzenia jak elementy części nadziemnej kaplicy zamkowej. Jako bardzo zły określono też stan muru przylegającego bezpośrednio do ścian kaplicy. Brak należytego zabezpieczenia przed wpływem czynników atmosferycznych doprowadził do

wooden scaffolding placed throughout the interior of the building (Fig. 2). Geometric deformations of the walls were cited as the reason for so much damage to the vaults. The authors also noted numerous structural irregularities in the load-bearing masonry, such as vertical cracks and dilations running across the entire width of the walls (Fig. 2, 3) or numerous cavities and geometry deformations resulting from the washing away and chipping of mortar due to lack of protection from climatic factors [Paruch, Czernik 2018, p. 12]. In addition, it was noted that the foundation walls in the area of the uncovered crypts and the vaults covering the spaces in question showed similar damage to elements of the above-grade part of the castle chapel. The condition of the masonry directly adjacent to the chapel walls was also described as very poor. The lack of proper weatherproofing led to numerous instances of damage in the form of detached wall sections. The technical condition of the external and internal scaffolding protecting the structure of the building was also determined to be poor. The lack of protection against weather conditions, especially moisture, was considered an additional factor that increased the risk of significantly deepening the degradation of the site [Paruch, Czernik 2018, pp. 10–13]. It was also deemed necessary to immediately secure the cracks in the masonry of the front facade, in accordance with the principles of masonry restoration in historical buildings [Stawińska, Stawiński 2005].



Ryc. 3. Inwentaryzacja konserwatorska kaplicy Sieniawskich, wybrane rysunki; od góry, z lewej strony ortofotoelewacje będące uzupełnieniem rysunków technicznych, z prawej rysunki techniczne – elewacje oraz przekrój; od dołu wizualizacja modelu kaplicy, widok przekroju; aut. T. Pałka, A. Marek, J. Zimna, K. Pryt

Fig. 3. Conservation survey of the Sieniawski chapel, selected drawings; from the top, left: orthophotos supplementing technical drawings; right: technical drawings – elevations and cross-section; from the bottom, visualization of the chapel model, cross-section; by T. Pałka, A. Marek, J. Zimna, K. Pryt

licznych uszkodzeń w postaci oderwania fragmentów ściany. Stan techniczny zewnętrznych i wewnętrznych rusztowań zabezpieczających konstrukcję obiektu także określono jako zły. Za dodatkowy czynnik zwiększający ryzyko znacznego pogłębienia degradacji obiektu uznano brak zabezpieczenia przed warunkami atmosferycznymi, w szczególności wilgocią [Paruch, Czernik 2018, s. 10–13]. Niezbędne jest również niezwłoczne zabezpieczenie pęknięć murów elewacji frontowej, zgodnie z zasadami rewaloryzacji murów w obiektach zabytkowych [Stawińska, Stawiński 2005].

Obecny stan dawnej kaplicy Sieniawskich w Brzeżanach określono jako katastrofalny i bezpośrednio zagrożający jej całkowitym zniszczeniem lub postępującą degradacją w przypadku niepodjęcia natychmiastowych działań o charakterze ratunkowym [Borusiewicz 1985, s. 193; Paruch, Czernik 2018, s. 16].

The current state of the former Sieniawski chapel in Brzeżany was described as catastrophic and in immediate danger of total destruction or progressive degradation if immediate rescue measures are not taken [Borusiewicz 1985, p. 193; Paruch, Czernik 2018, p. 16].

Overview of the methods used – chapel survey using laser scanning and photogrammetry

In December 2021, the BIM Monuments³ studio team took measurements of the Sieniawski chapel in Brzeżany using laser scanning and photogrammetry, creating a complete architectural documentation of the building. The survey was commissioned by the “Polonika” National Institute of Polish Cultural Heritage Abroad Polonica.

Opis wykorzystanych metod – inwentaryzacja kaplicy przy użyciu skaningu laserowego i fotogrametrii

W grudniu 2021 roku zespół pracowni BIM Monuments³ wykonał pomiary inwentaryzacyjne kaplicy Sieniawskich w Brzeżanach przy użyciu skaningu laserowego i fotogrametrii, tworząc kompletną dokumentację architektoniczną obiektu. Inwentaryzację wykonano na zlecenie Narodowego Instytutu Polskiego Dziedzictwa Kulturowego za Granicą „Polonika”.

Proces skanowania trwał cztery dni. Skany wykonano skanerem laserowym Leica RTC360 – model ten doskonale sprawdził się w przypadku kaplicy zamkowej, m.in. dzięki automatycznej rejestracji zmiany stanowiska skanera bez interwencji operatora. W związku z utrudnionym poruszaniem się we wnętrzu obiektu, wynikającym z gęsto rozstawionej konstrukcji wsporczej sklepień i stropów (ryc. 2), oraz z dużą ilością martwych pól niezbędna była częstsza niż w przypadku standardowych obiektów relokacja skanera w celu zarejestrowania fragmentów ścian, które z innego miejsca były zasłonięte drewnianą konstrukcją. W niektórych miejscach konstrukcja wsporcza była dodatkowo przymocowana do ścian, co utrudniało odczytanie wątków murów na fragmentach bez tynku. Podczas skanowania zostały także wykonane zdjęcia oraz liczne filmy, stanowiące uzupełnienie dokumentacji.

W związku z brakiem wyposażenia obiektu w instalację elektryczną wszystkie pomiary musiały być wykonywane w ciągu dnia w celu uzyskania kolorowych obrazów końcowych. Dla pomiarów wewnątrz kaplicy, ze względu na drewniane rusztowania, niemożliwe było zastosowanie fotogrametrii. Metodę tę zastosowano jedynie dla zewnątrz obiektu, uzupełniając ją o zdjęcia fotogrametryczne z nalogów dronem. Istotnym czynnikiem sprzyjającym pozyskaniu dokładniejszych wyników pomiarów były zimowe warunki, ze względu na brak roślinności, która w okresie letnim pokrywa mury zewnętrzne, zasłaniając część bryły obiektu. Dostęp do krypt kaplicy, dwóch bocznych i jednej centralnej, które pierwotnie były ze sobą skomunikowane, był niemożliwy w związku z ich niemal całkowitym zasypaniem.

W kolejnym etapie rejestracji w programie Cyclon Register, po zakończeniu skanowania, połączono dane pomiarowe pochodzące ze skaningu laserowego z danymi z fotogrametrii. Zdjęcia fotogrametryczne dotyczące zewnątrz obiektu zostały również połączone ze skanami, a na ich podstawie powstał model *mesh*. Czas przygotowania chmur punktów do dalszych prac w przypadku kaplicy zamkowej Sieniawskich był dłuższy niż dla przeciętnego obiektu ze względu na dużą liczbę rusztowań podtrzymujących ściany i sklepienie⁴ (ryc. 2).

Na podstawie inwentaryzacji i materiałów archiwalnych podjęto próbę rekonstrukcji stanu zachowania obiektu z XIX wieku⁵ (ryc. 4, 5).

The scanning process took four days. The scans were made with a Leica RTC360 laser scanner—a model that worked perfectly for the castle chapel, due to the automatic registration of scanner position changes without operator intervention. Due to the difficulty in moving around inside the building, resulting from the densely spaced support structure of the vaults and ceilings (Fig. 2), and the large number of blind spots, it was necessary to relocate the scanner more often than in the case of standard facilities to record wall sections that were otherwise obscured by the wooden structure. In some places, the support structure was additionally attached to the walls, making it difficult to record the masonry patterns on sections without plaster. Photographs and numerous videos were also made during the scanning process to supplement the documentation.

Due to the site lacking electrical services, all measurements had to be done during the day to obtain colored final images. For measurements inside the chapel, due to wooden scaffolding, it was impossible to use photogrammetry. This method was applied only to the exterior of the structure, supplementing it with photogrammetric images from drone flights. Winter conditions were an important factor in obtaining more accurate measurements, due to the lack of vegetation that covers the exterior walls in summer, obscuring part of the building's body. Access to the chapel's crypts, two on the side and one in the center, which were originally connected to each other, was impossible due to their almost complete burial.

In the next stage of recording in Cyclon Register, after the scanning was completed, the measurement data from laser scanning was combined with photogrammetry data. Photogrammetric images of the site's exterior were also combined with scans, and a mesh model was created based on them. The time to prepare the point clouds for further work in the case of the Sieniawski castle chapel was longer than for a typical building due to the large number of scaffolds supporting the walls and vault⁴ (Fig. 2).

On the basis of the survey and archival materials, an attempt was made to reconstruct the building's state of preservation from the nineteenth century⁵ (Fig. 4, 5).

Description of the methods used – digital reconstruction of the state of the chapel

The survey of the current state of the Brzeżany castle chapel was used to prepare a digital reconstruction of its appearance from the second half of the nineteenth century. The decision to reconstruct the state of preservation from this particular period was made after the inspection of available archival materials. Photographs of the chapel taken before 1916, found in the collections of the Municipal and Communal Public Library of Głubczyce Brzeżany and in the Special Collections of the Academic Library of the PAU and PAN in Cracow, and thus depicting its condition from the second half of the nineteenth century and the early twentieth century, were used as source material for the digital reconstruction.

Opis wykorzystanych metod – cyfrowa rekonstrukcja stanu kaplicy

Inwentaryzacja obecnego stanu kaplicy zamkowej w Brzeżanach posłużyła do podjęcia próby cyfrowej rekonstrukcji jej wyglądu z drugiej połowy XIX wieku. Decyzję o rekonstrukcji stanu zachowania z tego właśnie okresu podjęto po oględzinach dostępnych materiałów archiwalnych. Jako materiał źródłowy wykorzystany przy tworzeniu cyfrowej rekonstrukcji posłużyły zdjęcia kaplicy wykonane przed 1916 rokiem, odnalezione w zbiorach Miejskiej i Gminnej Biblioteki Publicznej Głubczyce Brzeżany oraz w Zbiorach Specjalnych Biblioteki Naukowej PAU i PAN w Krakowie, a więc obrazujące jej stan z drugiej połowy XIX wieku i początku XX stulecia.

Na obecnym etapie badań próbę rekonstrukcji podjęto jedynie wobec zewnętrznej bryły obiektu, w szczególności fasady – opracowanie rekonstrukcji wnętrza wymagać będzie znacznie szerszej kwerendy materiałów archiwalnych i planowane jest jako dalszy etap badań nad obiektem.

W pierwszym etapie prac nad rekonstrukcją posłużono się oprogramowaniem BIM ArchiCAD. Dokonano kategoryzacji rekonstruowanych elementów i wstępnego modelowania. Następnie model poddano dalszej obróbce w oprogramowaniu CAD SketchUp, gdzie wykończono detale, nałożono materiały i przygotowano model do renderingu, który następnie wykonano w programie Lumion.

W ekspertyzie technicznej obiektu z 2018 roku jako jedno ze źródeł wykorzystanych przy jej opracowaniu autorzy podają dokumentację archiwalną udostępnioną przez zarządcę i właściciela obiektu – stronę ukraińską. W związku z obecną trudną sytuacją geopolityczną w regionie dostęp do tych materiałów był niemożliwy, jednak informacje z tej dokumentacji, które zostały zawarte w ekspertyzie, posłużyły jako dodatkowe źródło wiedzy o dawnym wyglądzie kaplicy Sieniawskich w Brzeżanach.

Uzyskane wyniki

Efektorem końcowym prac nad inwentaryzacją było opracowanie kompletnego modelu HBIM obiektu, z którego następnie generowano rysunki architektoniczne 2D oraz 3D (ryc. 3). W przypadku kaplicy Sieniawskich w Brzeżanach inwentaryzacja stanu istniejącego w postaci modelu HBIM okazała się niezastąpionym źródłem informacji o strukturze obiektu. W zestawieniu z odnalezionymi materiałami archiwalnymi⁶ pozwoliła na odtworzenie zniszczonych detali i elementów murów kaplicy.

Podczas prac nad rekonstrukcją dokonano porównania obecnego stanu kaplicy zamkowej widocznego na modelu inwentaryzacji z dostępnym materiałem archiwalnym. Zniwelowano pęknięcia struktury fasady, uzupełniono brakujące gzymsy. Odtworzono ornament akantowy w barwionym na czerwono stiuku



Ryc. 4. Wizualizacje modelu HBIM kaplicy, porównanie modelu cyfrowej rekonstrukcji ze zdjęciami archiwalnym udostępnionym przez Narodowy Instytut Polskiego Dziedzictwa Kulturowego za Granicą „Polonika”, na podstawie których podjęto decyzję o próbie rekonstrukcji stanu zachowania obiektu z tego okresu; autor P. Pikulski

Fig. 4. Visualizations of the HBIM model of the chapel, comparison of the digital reconstruction model with archival photos shared by the “Polonika” National Institute of Polish Cultural Heritage Abroad, on the basis of which it was decided to try to reconstruct the state of preservation of the building from that period; by P. Pikulski

At the current stage of research, the attempt at reconstruction was made only with regard to the external body of the structure, particularly the facade—the development of a reconstruction of the interior will require a much more extensive search of archival materials and is planned as a further stage of research on the site.

The first stage of the reconstruction work used the BIM software ArchiCAD. Categorization of the reconstructed elements and preliminary modeling was carried out. The model was then further processed in SketchUp CAD software, where details were finished, materials were applied and the model was prepared for rendering, which was then done in Lumion.

In the 2018 expert report on the building, one of the sources used was listed as the structure’s archival documentation shared by its manager and owner—the Ukrainian side. Due to the current difficult geopolitical situation in the region, access to these materials was impossible, but the information from this documentation, which was included in the expert report, served as

z wplecionymi główkami aniołów umieszczony we fryzie belkowania, ukazując całość oryginalnego wzoru. Takiej samej rekonstrukcji poddano płaskorzeźbę z Okiem Opatrzności, która oryginalnie była zlokalizowana w tympanonie trójkątnego szczytu. Przywrócono oryginalny wygląd gzymsów i kamiennych obramień okiennych. Trójkątny szczyt fasady również poddano rekonstrukcji, w związku z odtworzeniem oryginalnego zadaszania części centralnej kaplicy. Odtworzono też wygląd oryginalnej stolarki okiennej z fasady frontowej części centralnej oraz dwóch kaplic bocznych. W bocznych niszach arkadowych odtworzono oryginalne rzeźby świętych – św. Sebastiana oraz św. Mikołaja⁷ (ryc. 4, 5).

Podczas opracowywania modelu rekonstrukcji uwzględnione zostały także istotne aspekty związane z teoretycznymi i doktrynalnymi problemami dotyczącymi rekonstrukcji cyfrowych, takich jak te zawarte w Karcie Londyńskiej. W szczególności, zgodnie z zasadami Karty, przyłożono dużą wagę do naukowości i etycznej odpowiedzialności w procesie cyfrowej rekonstrukcji obiektów historycznych. Treść Karty Londyńskiej stanowi ważne odniesienie i zawiera wytyczne, które pozwalają zachować rzetelność i jakość przekazywanych informacji. Włączenie tych koncepcji do badania kaplicy zamkowej w Brzeżanach pozwoliło na realizację rekonstrukcji cyfrowej zgodnie z międzynarodowymi standardami i rekomendacjami, przyczyniając się jednocześnie do rozwoju praktyk związanych z dziedzictwem kulturowym⁸.

Opracowany model rekonstrukcji stanu zachowania kaplicy zamkowej w Brzeżanach jest kompletnym modelem HBIM, a dzięki zawartym w nim informacjom o obiekcie, jego elementach architektonicznych, parametrach i strukturze, może w przyszłości zostać wykorzystany zarówno do dalszych badań, jak i do opracowania ewentualnego projektu jego odbudowy i restauracji [Kulig *et al.* 2015, s. 33–43; Pikulski *Digital Monument* 2020, s. 97–110].

Dyskusja

Hassan i Fritsch [2019] opisują problemy związane z zachowaniem dziedzictwa kulturowego na przykładzie Sudanu oraz przedstawiają możliwości zastosowania technologii skanowania laserowego i fotogrametrii. Autorzy porównują wyniki obu technologii i wskazują, że połączenie tych wyników pozwala na uzyskanie najlepszej jakości danych 3D. Badacze uważają, że w celu zachowania dziedzictwa kulturowego w Sudanie⁹, konieczne jest zastosowanie nowoczesnych technologii, które pozwolą na digitalizację obiektów i ich prezentację w internecie dla użytkowników z całego świata.

Logothetis, Delinasios i Stylianidis [2015] również zwracają uwagę na to, jak BIM zmienia sposób dokumentowania zabytkowych obiektów oraz zarządzania nimi, a jego rozwój umożliwia stworzenie wirtualnego środowiska budowlanego. Autorzy omawiają popular-

an additional source of insight into the former appearance of the Sieniawski chapel in Brzeżany.

Results

The end result of the survey was the development of a complete HBIM model of the structure, from which 2D and 3D architectural drawings were then generated (Fig. 3). In the case of the Sieniawski chapel in Brzeżany, the survey of the existing state in the form of the HBIM model proved to be an indispensable source of information about the structure of the building. Combined with the archival materials found,⁶ it allowed the restoration of damaged details and elements of the chapel's walls.

During the reconstruction work, a comparison was made between the current state of the castle chapel as seen on the survey model and the available archival material. Cracks in the facade structure were leveled, and missing cornices were restored. The acanthus ornament in red-tinted stucco with interwoven angel heads placed in the frieze of the entablature was restored, showing all of the original design. The same reconstruction was done to the bas-relief with the Eye of Providence, which was originally located in the tympanum of the triangular gable. The original appearance of the cornices and stone window surrounds was restored. The triangular gable of the facade was also reconstructed, in connection with the restoration of the original canopy of the central part of the chapel. The appearance of the original windows from the front facade of the central section and the two side chapels was likewise restored. In the side arcade niches, the original sculptures of saints—St. Sebastian and St. Nicholas⁷—were restored (Fig. 4, 5).

During the development of the reconstruction model, important aspects related to theoretical and doctrinal issues of digital reconstruction, such as those contained in the London Charter, were also taken into account. In particular, in accordance with the principles of the Charter, great importance was attached to academic and ethical responsibility in the process of the digital reconstruction of historical sites. The London Charter is an important reference and provides guidelines to maintain the integrity and quality of the information provided. Incorporating these concepts into the study of the Brzeżany castle chapel allowed the digital reconstruction to be carried out in accordance with international standards and recommendations, while contributing to the development of cultural heritage practices.⁸

The model of the reconstruction of the state of preservation of the Brzeżany castle chapel is a complete HBIM model, and thanks to its featured information about the building, its architectural elements, parameters and structure, it can be used in the future both for further research and for the development of a possible design of its reconstruction and restoration [Kulig *et al.* 2015, pp. 33–43; Pikulski *Digital Monument* 2020, pp. 97–110].



Ryc. 5. Wizualizacje modelu HBIM kaplicy zamkowej w Brzeżanach; autorzy: zespół BIM Monuments
 Fig. 5. Visualizations of the HBIM model of the castle chapel in Brzeżany; by BIM Monuments

ne platformy BIM, a także pięć najważniejszych zastosowań BIM w dziedzinie dziedzictwa kulturowego, w tym metodologię HBIM dla struktur zabytkowych. Wskazują oni na potrzebę dalszych prac nad rozwojem technologii Building Information Modeling, oraz zwiększeniem jej dostępności dla badaczy i małych przedsiębiorstw.

Ramos i Remondino [2015] zaznaczają, że dokumentacja cyfrowa jest jednym z najważniejszych zadań polityki ochrony i zarządzania dziedzictwem kulturowym. Dokumentacja 3D jest według autorów niezbędna do zachowania informacji o zabytkach i obiektach kulturowych, a co za tym idzie ich ochrony. Badacze są zgodni co do tego, że sporządzanie dokumentacji cyfrowych obiektów zabytkowych i pozyskiwanie informacji o tych obiektach przy użyciu nowoczesnych technologii, takich jak skaniny laserowe, szczególnie w przypadku budynków zniszczonych lub trudnodostępnych, jest najlepszą możliwą technologią i powinniśmy dążyć do tego, aby w przyszłości jej zastosowanie w tego typu obiektach było standardem.

W pracy zatytułowanej *Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning* [Remondino 2011] autor przedstawia różne metody i narzędzia stosowane w procesie rejestrowania i modelowania, które wykorzystują zdjęcia i skanery 3D, oraz omawia zastosowanie tych technologii w dziedzinie ochrony zabytków i dziedzictwa kulturowego. Remondino podkreśla precyzję tych technik w rejestrowaniu i modelowaniu obiektów, ich znaczenie dla dokumentacji zabytków i dzieł sztuki, a także możliwości wykorzystania cyfrowych modeli wirtualnych do celów edukacyjnych i turystycznych.

Discussion

Hassan and Fritsch [2019] describe the problems of preserving cultural heritage using Sudan as an example and present the possibilities of applying laser scanning and photogrammetry technologies. They compare the results of the two technologies and point out that combining these results produces the best quality 3D data. They also argue that in order to preserve cultural heritage in Sudan,⁹ it is necessary to use modern technologies that allow sites to be digitized and presented online for users from around the world.

Logothetis, Delinasiou and Stylianidis [2015] also point out how BIM is changing the way historical buildings are documented and managed, and its development enables the creation of a virtual built environment. They discuss popular BIM platforms, as well as the five most important applications of BIM in the heritage field, including the HBIM methodology for historical structures. They point to the need for further work on developing Building Information Modeling technology, and making it more accessible to researchers and small businesses.

Ramos and Remondino [2015] point out that digital documentation is among the most important tasks of cultural heritage preservation and management policies. They claim that 3D documentation is essential for preserving information about monuments and cultural sites, and thus protecting them. These researchers agree that digitally documenting historical buildings and acquiring information about them using modern technologies such as laser scanning, especially in the case of dilapidated or hard-to-reach buildings, is the

Nazarena i Roncella [2019] omawiają metody i techniki modelowania HBIM, które uwzględniają zarówno aspekty geometryczne, jak i historyczne. Autorzy przedstawiają, jak HBIM może być wykorzystane do dokumentacji i analizy budynków historycznych, zapewnienia kompleksowych informacji dotyczących stanu technicznego i planowania prac konserwatorskich. Przytaczają również przykłady zastosowania HBIM w praktyce, takie jak analiza uszkodzeń i strat kulturowych, odtwarzanie wirtualne i symulacje strukturalne. Podkreślają także korzyści wynikające z wykorzystania HBIM w procesie konserwacji, w tym lepszą komunikację między zainteresowanymi stronami, efektywne planowanie działań konserwatorskich i zachowanie kompleksowej wiedzy o budynkach historycznych.

Przedstawione przykłady oraz omówienie zastosowań technologii BIM i skanowania laserowego do ochrony zabytków i dziedzictwa kulturowego wywołują szereg istotnych refleksji. Przede wszystkim integracja wyników skanowania laserowego i fotogrametrii umożliwia uzyskanie wysokiej jakości danych 3D, co pozwala na dokładne rejestrowanie i modelowanie obiektów zabytkowych. Ta synergia technologii przyczynia się do pełniejszego zrozumienia i dokumentacji dziedzictwa kulturowego. Ponadto nowoczesne technologie, takie jak skanowanie laserowe czy modelowanie HBIM, pozwalają na tworzenie cyfrowych modeli wirtualnych, które mogą służyć nie tylko celom dokumentacyjnym, ale też edukacyjnym i turystycznym.

Zastosowanie technologii BIM w dziedzinie dziedzictwa kulturowego przyczynia się do zmiany sposobu dokumentowania i zarządzania zabytkowymi obiektami. Metodologia HBIM dla struktur zabytkowych stanowi istotny krok naprzód, umożliwiając kompleksowe informacje dotyczące stanu technicznego budynków oraz efektywne planowanie prac konserwatorskich. Korzyści płynące z wykorzystania HBIM obejmują lepszą komunikację między zainteresowanymi stronami oraz zachowanie kompleksowej wiedzy o budynkach historycznych.

W kontekście dyskusji na temat wartości i zalet technologii BIM w ochronie zabytków należy zauważyć, że wspomniane technologie umożliwiają precyzyjne inwentaryzowanie, modelowanie i analizę obiektów zabytkowych, zwłaszcza tych zniszczonych lub trudno dostępnych. To niezwykle istotne, biorąc pod uwagę fakt, że wiele zabytkowych budowli jest narażonych na degradację lub zniszczenie. Wykorzystanie zaawansowanych technologii pozwala na stworzenie cyfrowych kopii zabytków oraz dostarcza wiedzę niezbędną do prowadzenia badań i prac konserwatorskich.

Jednakże należy podkreślić, że wdrożenie technologii BIM w dziedzinie ochrony dziedzictwa kulturowego wymaga uwzględnienia zarówno korzyści, jak i potencjalnych wyzwań. Wdrażanie nowoczesnych technologii wymaga odpowiedniego przeszkolenia personelu oraz inwestycji finansowych. Ponadto konieczne jest ustalenie standardów i wytycznych dotyczących

best possible technology, and we should strive to make its use in such buildings a standard in the future.

The paper entitled *Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning* [Remondino 2011] presents various methods and tools used in the recording and modeling process that make use of photos and 3D scanners, and explores the application of these technologies in the field of historical monument and cultural heritage preservation. Remondino emphasizes the precision of these techniques in recording and modeling structures, their importance for documenting monuments and works of art, and the potential of using digital virtual models for educational and tourism purposes.

Nazarena and Roncella [2019] discuss HBIM modeling methods and techniques that consider both geometric and historical aspects. They demonstrate how HBIM can be used to document and analyze historical buildings, provide comprehensive condition information and plan conservation work. They also cite examples of HBIM's application in practice, such as cultural damage and loss analysis, virtual restoration and structural simulation. They also underscore the benefits of using HBIM in the conservation process, including better communication between stakeholders, effective planning of conservation measures and preservation of comprehensive knowledge of historic buildings.

The examples presented and the discussion of the applications of BIM and laser scanning technology to the preservation of historical and cultural heritage sites provoke a number of important reflections. Most importantly, the integration of laser scanning and photogrammetry results makes it possible to obtain high-quality 3D data, which allows accurate recording and modeling of historical sites. This synergy of technologies contributes to a more complete understanding and documentation of cultural heritage. In addition, modern technologies, such as laser scanning and HBIM modeling, make it possible to create digital virtual models that can be used not only for documentation purposes, but also for education and tourism.

The use of BIM technology in the cultural heritage field is helping to change the way historical sites are documented and managed. The HBIM methodology for historical structures represents a significant step forward, enabling the management of comprehensive information on the technical condition of buildings and effective planning of restoration work. The benefits of using HBIM include better communication between stakeholders and preserving comprehensive knowledge of historical buildings.

In the context of a discussion of the value and advantages of BIM technologies in monument conservation, it should be noted that the aforementioned technologies make it possible to accurately survey, model and analyze historical buildings, especially those that are damaged or difficult to access. This is extremely important, given that many historical buildings are at risk of deterioration or destruction. The use of advanced technology makes it possible to create digital copies of

gromadzenia, przechowywania, udostępniania i ochrony cyfrowych danych związanych z dziedzictwem kulturowym.

Podsumowanie

Nie wiadomo, jaki jest obecny stan kaplicy zamkowej w Brzeżanach. Jeszcze przed wybuchem wojny określano go jako katastrofalny i bezpośrednio grożący całkowitym lub częściowym zawaleniem. Autorzy niniejszej pracy liczą, że przeprowadzone badania i opracowane w ich rezultacie modele cyfrowe HBIM pomogą w przyszłości podźwignąć z ruiny ten obiekt będący świadectwem bogatej historii kościołów terenów dawnej Rzeczypospolitej.

Opracowany model HBIM obecnego stanu kaplicy stanowi niezastąpione źródło informacji o jego stanie technicznym. Na jego podstawie możliwe jest opracowanie planu działań o charakterze ratunkowym, mających na celu lepsze zabezpieczenie przed postępującą degradacją. Z kolei model cyfrowej rekonstrukcji stanu zachowania obiektu z drugiej połowy XIX wieku może w późniejszym etapie prac posłużyć do opracowania dokumentacji architektonicznej, na podstawie której możliwe byłoby podjęcie prac restauratorskich, mających na celu przywrócenie i uczynienie zniszczonej tkanki budynku, tak jak to miało miejsce w 2004 roku w przypadku opracowywania planu prac restauratorskich przy kaplicy Zygmuntońskiej na Wawelu [Płuska, Mamoń 2004].

Jak potwierdzają powyższe badania, technologia skaningu laserowego jest najlepszą metodą dokumentacji informacji o obiektach zabytkowych i jednym z niezwykle istotnych elementów wspomagania współczesnej ochrony zabytków. Dzięki precyzyjnej inwentaryzacji i przeniesieniu jej do technologii BIM można tworzyć dokumentację o stopniu dokładności przewyższającym te sporządzone przy zastosowaniu tradycyjnych metod pomiarów [Galieva *et al.* 2019]. Zdaniem Koszewskiego, Franczuka i Argasińskiego [2021] modele cyfrowe architektonicznego dziedzictwa kulturowego mogą stanowić niezbędną bazę danych do ich właściwej ochrony. Zintegrowane środowisko cyfrowe HBIM daje możliwości lepszego, dokładniejszego i wydajniejszego zarządzania informacjami o obiekcie zabytkowym, pozwalając, tak jak w przypadku kaplicy w Brzeżanach, na przyspieszenie procesu opracowywania planu ochrony danego zabytku przed postępującym niszczeniem [Karnicki 2022]. Dzięki opracowanym modelom i przeprowadzonym badaniom istnieje możliwość sporządzenia szczegółowego planu odbudowy i restauracji obecnie zniszczonej kaplicy zamkowej rodu Sieniawskich w Brzeżanach, aby w przyszłości przywrócić jej dawną świetność, z poszanowaniem bogatej tradycji i świadectwa, jakie stanowi dla architektury sakralnej na terenach wschodnich dawnej Rzeczypospolitej. Niniejszy artykuł, omawiający inwentaryzację i cyfrową rekonstrukcję kaplicy zamkowej w Brzeżanach,

monuments and provides the insight necessary for research and conservation work.

However, it should be emphasized that the implementation of BIM technology in the field of cultural heritage preservation requires consideration of both benefits and potential challenges. Implementing modern technology requires adequate staff training and financial investment. In addition, it is necessary to establish standards and guidelines for the collection, storage, sharing and preservation of digital cultural heritage data.

Conclusions

The current state of the Brzeżany castle chapel is unknown. Even before the outbreak of the war, it was described as disastrous and in immediate danger of total or partial collapse. The authors of this paper hope that this research and the HBIM digital models developed as a result will, in the future, help to raise this site, which is a testimony to the rich history of the churches of the territories of the former Commonwealth, from ruin.

The presented HBIM model of the chapel's current state is an indispensable source of information about its technical condition. On its basis, it is possible to develop a plan of rescue measures to better protect it against progressive degradation. In turn, the model of digital reconstruction of the building's state of preservation from the second half of the nineteenth century can, at a later stage of the work, be used to develop architectural documentation on the basis of which restoration could be undertaken to restore and make legible the damaged fabric of the building, as was the case in 2004 with the development of a restoration work plan for the Sigismund Chapel at Wawel Castle [Płuska, Mamoń 2004].

As the above research confirms, laser scanning technology is the best method for documenting information about historical sites and an extremely important element for supporting contemporary historical preservation. By taking a precise survey and transferring it to BIM technology, it is possible to create documentation with a degree of accuracy that exceeds that produced using traditional surveying methods [Galieva *et al.* 2019]. According to Koszewski, Franczuk and Argasiński [2021], digital models of architectural cultural heritage can provide the necessary database for their proper preservation. HBIM's integrated digital environment provides opportunities for better, more accurate and efficient management of information about a historical site, allowing, as in the case of the chapel in Brzeżany, to accelerate the process of developing a plan to protect a given monument from progressive deterioration [Karnicki 2022]. Thanks to the models developed and the research conducted, it is possible to draw up a detailed plan for the reconstruction and restoration of the now-destroyed castle chapel of the Sieniawski family in Brzeżany so as to restore it to its former glory in the future, respecting its rich tradition and testimony to the religious architecture in the eastern territories of the former Commonwealth. This paper, which discusses the survey and digital re-

dowodzi, że wykorzystanie tych zaawansowanych technologii jest przyszłością ochrony dziedzictwa kulturowego, co stanowi potwierdzenie głównej tezy przedstawionej w niniejszym opracowaniu.

construction of the Brzeżany castle chapel, argues that the use of these advanced technologies is the future of cultural heritage preservation, confirming the main hypothesis presented in this study.

Bibliografia / References

Opracowania / Secondary sources

- Aftanazy Roman, *Dzieje rezydencji na dawnych kresach Rzeczypospolitej*, t. 7: *Województwo ruskie, Ziemia Halicka i Lwowska*, Wrocław 1997.
- Beniamino Volta, Thomas E. Levy, Geoffrey E. Braswell, *The virtual Chichén Itzá project: modelling an ancient Maya city in Google SketchUp*, „Antiquity” 2009, t. 83, nr 321 s. 1–4.
- Borusiewicz Władysław, *Konserwacja zabytków budownictwa murowanego*, Warszawa 1985.
- Galieva Anna, Galiev Denis, Alekhin Vladimir, Chirkova Maria, Boswell Laurence, *Application of BIM technology for surveying heritage buildings*, MATEC Web of Conferences 2019, t. 279.
- Hassan Amin Talha, Fritsch Dieter, *Integration of Laser Scanning and Photogrammetry in 3D/4D Cultural Heritage Preservation – A Review*, „International Journal of Applied Science and Technology” 2019, t. 9, nr 4, s. 1–15.
- Karnicki Rafał, *Wykorzystanie oznaczeń badań architektonicznych w uszczegóławianiu modeli przestrzennych i sposoby prezentacji wyników*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2022, nr 69, s. 89–97.
- Koszewski Krzysztof, Franczuk Jakub, Argasiński Karol, *Wirtualne modele dziedzictwa architektonicznego a działalność konserwatorska*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2021, nr 68, s. 17–25.
- Kulig Anna, Nassery Farid, Filipowski Szymon, Zieliński Rafał, *Wykorzystanie technologii BIM w nowoczesnej inwentaryzacji i analizie zabytków architektury*, „Wiadomości Konserwatorskie” 2015, nr 42, s. 33–43.
- Kuśnierz Kazimierz, *Sieniawa : historia rozwoju przestrzennego*, Kraków 2001.
- Logothetis S., Delinasiou A., Stylianidis E., *Building Information Modelling for Cultural Heritage: A review*, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, t. II-5/W3, 2015 25th International CIPA Symposium 2015, 31 August – 4 September 2015, Taipei, Taiwan.
- Nazarena Bruno, Roncella Ricardo, *HBIM for conservation: A new proposal for information modeling*, „Remote Sensing” 2019, nr 11 (15), s. 17–51.
- Nestorow Rafał, *Kościół Zamkowy P.W. św. Trójcy w Brzeżanach, Materiały do dziejów sztuki sakralnej na ziemiach wschodnich dawnej Rzeczypospolitej*, cz. 1: *Kościół i klasztor rzymskokatolickie dawnego województwa ruskiego*, t. 15, red. Jan K. Ostrowski, Kraków 1993–2015.
- Nestorow Rafał, *Treści ideowe mauzoleum Sieniawskich w Brzeżanach*, „Biuletyn Historii Sztuki” 2006, R. 68, nr 2, s. 167–195.
- Pikulski Piotr, *Digital Monument Reconstruction in Architectural Studies: Synthesis of Research on the Previously Unknown Form of the Palace in Łobzów (Cracow) from the Period of the Rule of John III Sobieski*, „Mesto a Dejiny”, 2020, t. 9, nr 2, s. 97–110.
- Pikulski Piotr, *Synteza badań nad stanem zachowania pałacu w Łobzowie na przestrzeni wieków – komputerowe rekonstrukcje brył obiektu od fortalicium Kazimierza Wielkiego do barokowej rezydencji Wazów*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2020, nr 63, s. 86–95.
- Płuska Ireneusz, Mamoń Agata, *Konserwacja kaplicy Zyguntowskiej przy katedrze wawelskiej*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2004, nr 15, s. 2–25.
- Polak Tadeusz, *Zamki na Kresach*, Warszawa 1997.
- Ramos M. Magda, Remondino Fabio, *Data Fusion in Cultural Heritage – A Review*, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, t. XL-5/W7, 2015 25th International CIPA Symposium 2015, 31 August – 4 September 2015, Taipei, Taiwan.
- Remondino Fabio, *Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning*, „Remote Sensing” 2011, nr 3 (6), s. 1104–1138.
- Stawińska Natalia, Stawiński Bohdan, *Rewaloryzacja murów w obiektach zabytkowych*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2005, nr 19 s. 18–22.
- Szpyt Maksymilian, Pikulski Piotr, *Obscure fate of the Palace in Łobzow during the reign of Jan III Sobieski. Attempt at computer reconstruction based on the analysis of the palace history since 1655 till the mid-19th century*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2016, nr 48, s. 119–124.
- Tokarski Jacek, *Ilustrowany przewodnik po zabytkach kultury na Ukrainie*, t. I, Warszawa 2000.

Dokumentacje / Documentation

Paruch Roman, Czernik Stanisław, „Ekspertyza konstrukcyjno-budowlana dotycząca stanu technicznego kaplicy zamkowej w Brzeżanach, Miejscowość Brzeżany, Obwód tarnopolski Ukraina”, Inwestor: Narodowy Instytut Polskiego Dziedzictwa Kulturowego „Polonika”, listopad 2018.

- ¹ Narodowy Instytut Polskiego Dziedzictwa Kulturowego za Granicą „Polonika” jest wyspecjalizowaną państwową instytucją kultury, której organizatorem jest Minister Kultury i Dziedzictwa Narodowego. Instytut prowadzi projekty o charakterze konserwatorskim, naukowo-badawczym, edukacyjnym i popularyzatorskim, <https://polonika.pl/programy/programy-strategiczne/ochrona/brzezany-kaplica-sieniawskich> (dostęp: 11 VI 2023).
- ² Zachowany tekst z tablicy erekcyjnej: „Zamek z kamienia sumptem swym i wydatkami własnymi na chwałę Boga Wszchemogącego i dla obrony wiernych chrześcijan wystawił Roku Pańskiego 1554” [Aftanazy 1997, s. 83–86].
- ³ Skład zespołu: Tomasz Pałka, Anna Marek, Joanna Zimna, Krzysztof Pryt.
- ⁴ Z każdej powstałej chmury należało „ręcznie wycinać” fragmenty drewnianej konstrukcji dla usprawnienia procesu modelowania. Programy użyte do obróbki pozyskanych danych to Pointcab i Agisoft Megashape. Oczyszczone i obrobione chmury punktów zostały następnie zaimportowane do oprogramowania ArchiCAD, gdzie wykonano model HBIM, stanowiący podstawę do wygenerowania inwentaryzacyjnej dokumentacji 2D.
- ⁵ Rekonstrukcja dotyczyła tych obszarów kaplicy zamkowej, do których dostępne były materiały archiwalne.
- ⁶ Wykorzystano zdjęcia archiwalne kaplicy Sieniawskich wykonane przed 1916 r. odnalezione w zbiorach Miejskiej i Gminnej Biblioteki Publicznej Głubczyce Brzezany oraz Zbiorach Specjalnych Biblioteki Naukowej PAU i PAN w Krakowie – materiały udostępnione przez Narodowy Instytut Polskiego Dziedzictwa Kulturowego za Granicą „Polonika”.
- ⁷ Całość modelu opracowano w oprogramowaniu ArchiCAD, tworząc kompletny model HBIM obiektu. Następnie poddano go obróbce w programie SketchUp, a przykładowe wizualizacje stworzono dzięki nakładce renderującej V-Ray. SketchUp jest programem typu Computer Aided Design, który pozwala przejść od ogólnego zarysu bryły budynku do dokładnego modelu zawierającego detale architektoniczne. Programu tego używano już do tworzenia cyfrowych rekonstrukcji zabytków. Jednym z przykładów jest cyfrowa rekonstrukcja dawnego pałacu w podkrakowskim Łobzowie na przestrzeni wieków, zob. Szpyt, Pikulski 2016; Pikulski *Digital Monument* 2020, s. 97–110; Pikulski *Synteza badań* 2020, s. 86–95.
- ⁸ *London Charter for the Computer-based Visualization of Cultural Heritage*, <https://www.london-charter.org/> (dostęp: 5 V 2023).
- ⁹ Autorzy podają tutaj przykład skaningu laserowego ruin Naqa i Musawwarat es-Sufra, jednych z najważniejszych historycznych miejsc Królestwa Meroe (270 p.n.e. – 350 n.e.), zlokalizowanych ok. 150 km na północny wschód od Chartumu. Model ten został wygenerowany w ramach projektu African Cultural Heritage Sites przez Projekt Zamani (Uniwersytet w Kapsztadzie) i Landscapes Documentation Project. Do skanowania witryny z dokładnością do 1 cm użyto skanerów laserowych o wysokiej rozdzielczości.

Streszczenie

Kaplica zamkowa rodu Sieniawskich w Brzeżanach, stanowiąca dziedzictwo dawnej Rzeczypospolitej na Ukrainie, wymaga pilnej interwencji ze względu na jej zły stan techniczny. Z powodu sytuacji geopolitycznej w regionie obecnie niemożliwe jest podjęcie działań ratunkowych w celu przywrócenia kaplicy do dawnej świetności.

Przedstawione badania skupiły się na dwóch głównych aspektach. Po pierwsze, opracowano model HBIM uwzględniający aktualny stan techniczny kaplicy. Po drugie, przeprowadzono cyfrową rekonstrukcję kaplicy z drugiej połowy XIX wieku. Opracowany model stanowił podstawę do tworzenia dokumentacji architektonicznej, możliwej do wykorzystania w przyszłych pracach restauracyjnych.

Wykorzystanie technologii skanowania laserowego i modelowania HBIM okazało się skutecznym narzędziem do dokumentacji i ochrony zabytkowych obiektów. Metody te umożliwiają inwentaryzację i tworzenie modeli cyfrowych, przewyższających pod względem precyzji tradycyjne metody pomiarowe.

Abstract

The castle chapel of the Sieniawski family in Brzezany, a legacy of the former Commonwealth in Ukraine, needs urgent intervention due to its poor technical condition. Due to the geopolitical situation in the region, it is currently impossible to undertake rescue efforts to restore the chapel to its former glory.

The research presented focused on two main aspects. First, an HBIM model was developed that takes into account the current technical state of the chapel. Second, a digital reconstruction of the chapel from the second half of the nineteenth century was carried out. The model formed the basis for drafting architectural documentation, which can in the future be used for restoration work.

The use of laser scanning technology and HBIM modeling has proven to be an effective tool for the documentation and preservation of historical buildings. These methods make it possible to survey buildings and create digital models, surpassing traditional measurement methods in terms of precision.