

Anna Kulig*

orcid.org/0000-0003-2845-0145

Szymon Filipowski**

orcid.org/0000-0001-6686-4176

Maciej Wójtowicz***

orcid.org/0000-0003-2283-4092

Nowe technologie w badaniach zabytków architektury. Analiza parametryczno-algorytmiczna gotyckiego sklepienia w Szydłowcu

New Technologies in Studying Architectural Monuments: Parametric and Algorithmic Analysis of a Gothic Vault in Szydłowiec

Słowa kluczowe: architektura, średniowiecze, rysunek architektoniczny, geometria, sklepienia gotyckie, pomiary, projektowanie parametryczne

Keywords: architecture, Middle Ages, architectural drawing, geometry, Gothic vaults, measurements, parametric design

Kościół w Szydłowcu i jego niezwykły projekt sklepienia wyrzyty w murze

Murowany z kamienia kościół św. Zygmunta w Szydłowcu w pobliżu Radomia datowany jest na przełom XV i XVI wieku i jest zabytkiem wysokiej klasy. Z uwagi na dużą wartość kulturową, historyczną i artystyczną jako zespołu architektury, malarstwa i rzeźby został poddany badaniom konserwatorskim i pracom restauratorskim. W ich wyniku odsłonięto polichromie i detale architektoniczne związane z fundacją i mecenatem rodu Szydłowieckich jako patronów kościoła¹. Odkryte w latach 1970–1989 malowidła ściennie z XV, XVI, XVII i XVIII wieku, liczne inskrypcje, daty oraz ryty rysunek architektoniczny z XV stulecia podniosły jeszcze bardziej rangę gotyckiej świątyni.

Budynek posiada tradycyjny, często stosowany układ przestrzenny: wysoką nawę z kaplicami bocznymi i węższe, niższe prezbiterium². Mury z piaskowca o nieregularnym wątku, z ciosami w narożach,

The church in Szydłowiec and its unique wall-carved vault design

The masonry stone Church of St. Sigismund in Szydłowiec near Radom is dated to the end of the fifteenth and the start of the sixteenth century and is a high-class monument. Due to its high cultural, historical and artistic value as a complex of architecture, painting and sculpture, it was subjected to conservation studies and restoration work. As a result, polychromes and architectural details associated with the foundation and artistic patronage of the Szydłowiecki family as the church's patrons were uncovered.¹ The wall paintings from the fifteenth, sixteenth, seventeenth and eighteenth century, numerous inscriptions, dates and a carved architectural drawing from the fifteenth century, all uncovered in the years 1970–1989, elevated the rank of the Gothic-style church even more.

The building has a traditional, often-used spatial layout: a tall nave with side chapels and a narrower,

* dr hab. inż. arch., Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej

** mgr inż. arch., Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej

*** mgr inż. arch., Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej

* *D.Sc. Ph.D. Eng. Arch., Faculty of Architecture of the Cracow University of Technology*

** *M.Sc. Eng. Arch., Faculty of Architecture of the Cracow University of Technology*

*** *M.Sc. Eng. Arch., Faculty of Architecture of the Cracow University of Technology*

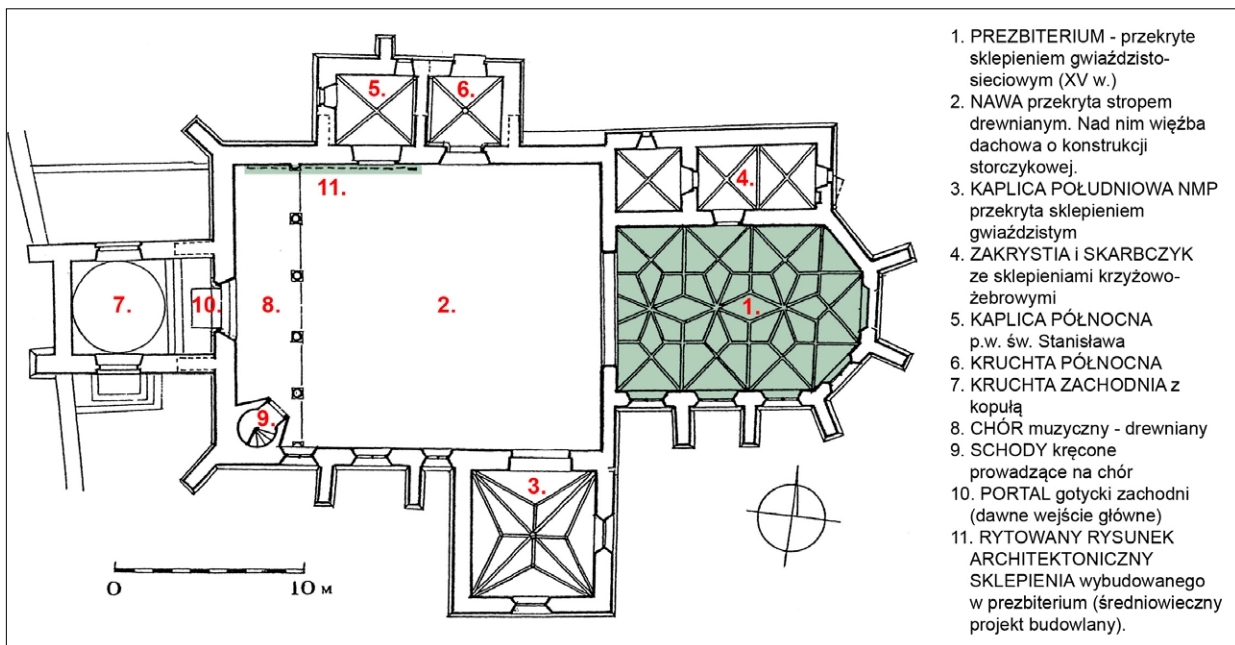
Cytowanie / Citation: Kulig A., Filipowski S., Wójtowicz M. New Technologies in Studying Architectural Monuments: Parametric and Algorithmic Analysis of a Gothic Vault in Szydłowiec. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2020, 64:59–74

Otrzymano / Received: 1.10.2020 • **Zaakceptowano / Accepted:** 12.10.2020

doi: 10.48234/WK64MONUMENTS

Praca dopuszczona do druku po recenzjach

Article accepted for publishing after reviews



Ryc. 1. Kościół parafialny św. Zygmunta w Szydłowcu, rzut wraz z opisem charakterystycznych elementów budowlanych; kolorem zielonym oznaczono sklepienie prezbiterium oraz lokalizację obrazującego go rytu; oprac. autorzy 2020 na podstawie rysunku M. Brykowskiej.

Fig. 1. Parish Church of St. Sigismund in Szydłowiec, floor plan with descriptions of distinctive structural elements; the vault of the presbytery and the location of the engraving that depicts it have been marked in green; original work 2020, based on a drawing by M. Brykowska.

świadczą o średniowiecznej genezie. Od południa do nawy przylega obszerna, wysoka kwadratowa kaplica Najświętszej Maryi Panny, od północy – kwadratowa kaplica św. Stanisława oraz kruchta, natomiast od zachodu znajduje się przedsionek (kruchta). Prezbiterium jest niższe i węższe od nawy, obok dostawiono dwuprzęsłową zakrystię i skarbczyk. Nawę nakrywa drewniany strop (obecny pochodzi z XVIII w.). Przy ścianie zachodniej znajduje się drewniany chór muzyczny wsparty na kolumnach z podniebieniem kasetonowym (ok. 1515–1532), połączony z wewnętrzną, wieloboczną wieżyczką schodową. Prezbiterium, zakrystia i kaplice mają sklepienia żebrowe; najbardziej ozdobne, późnogotyckie sklepienie zachowało się nad prezbiterium. Kruchta od zachodu nakryta jest kopułą wzniesioną w roku 1922 (ryc. 1).

Kościół opięty jest przyporami. Ściany obiegają profilowane, kamienne gzymsy: cokołowy, kapnikowy i koronujący. Szczyty schodkowe są ceglane, ze sterczynami i z blendami od wschodu i zachodu, ozdobione tarczami z herbami fundatorów: Odrowąż, Łabędź, Jastrzębiec i Sulima; prezbiterium i nawa kryte stromymi dachami dwuspadowymi z zachowaną storczykową więźbą dachową z XVI wieku. Okna w większości są ostrołukowe, profilowane, dwudzielne, z wyjątkiem okien w fasadzie i zakrystii od strony wschodniej (prostokątne, podzielone laskowaniem na krzyż). We wnętrzu zachowało się kilka kamiennych portali gotyckich. Kościół wzniesiono w latach 1493–1509 z fundacji Jakuba Szydłowieckiego, podskarbiego wielkiego koronnego i burgrabiego. Ukończył go w roku 1532 Mikołaj Szydłowiecki, kasztelan radomski, brat Krzysztofa Szydłowieckiego, kanclerza koronnego³. W kaplicy

lower presbytery.² The sandstone walls, with irregular joint patterns and stone pieces in corners attest to the church's medieval origins. From the south, the nave is abutted by an extensive, tall, square-shaped Chapel of Holy Mary, while from the north—the square-shaped Chapel of St. Stanislaus and the church porch, while from the north is a vestibule. The presbytery is lower and narrower than the nave, and a two-bay sacristy and treasury were placed nearby. The nave is covered by a wooden deck (the current one is from the eighteenth century). Near the western wall there is a wooden musical choir supported by columns with a coffered underside (ca. 1515–1532), connected to an internal, polygonal stairwell tower. The presbytery, sacristy and chapels have ribbed vaults; the most decorative, late-Gothic vault has survived above the presbytery. The western porch is covered with a dome erected in 1922 (Fig. 1).

The church is flanked by abutments. The walls are encircled by profiled stone parapets: a baseboard parapet, drip parapets and crowning parapets. The church's stepped eaves are made of brick, with pinnacles and blends from the east and west, decorated with escutcheons displaying the coat of arms of founders: the Odrowąż, the Łabędź, the Jastrzębiec and the Sulima; the presbytery and nave are covered with steep pitched roofs with a preserved rafter and tie-beam truss from the sixteenth century. The windows are largely ogival, profiled, with two bays, with the exception of facade and sacristy windows from the east (rectangular, divided into a cross-shape via tracery). In the interior, several stone Gothic portals have survived. The church was erected in the years 1493–1509, and was



Ryc. 2. Zdjęcie rytu odśloniętego na północnej ścianie nawy głównej kościoła św. Zygmunta w Szydłowcu; fot. autorzy.

Fig. 2. Photograph of the engraving uncovered on the northern wall of the main nave of the Church of St. Sigismund in Szydłowiec; original photo.

Najświętszej Maryi Panny budowanej przez Jakuba Szydłowieckiego, ukończonej po jego śmierci, widnieją herby fundatora – w zworniku sklepienia Odrowąż, na wspornikach żeber Odrowąż, Habdank i Jastrzębiec. W prezbiterium znajduje się nagrobek Mikołaja Szydłowieckiego, fundacji jego brata Krzysztofa, wykonany z czerwonego marmuru w formie płyty z leżącą postacią. Jego autorstwo przypisywane jest warsztatowi Bartolomeo Berrecciego, a nagrobek datowany na rok 1532.

W nawie planowane było prawdopodobnie sklepienie, na co wskazują wzniesione wokół niej skarpy zewnętrzne. Ich rozmieszczenie sugeruje możliwy układ halowy czterofilarowy – tego rodzaju hale są typowe dla grupy późnogotyckich świątyń w ośrodkach małopolskich, wznosiły je warsztaty związane z mecenatem rodu Szydłowieckich (m.in. w Ćmielowie, Żarnowie i Chlewisku Końskim). Charakterystyczną cechą tych warsztatów była technika dekorowania kamiennych portali czy obramień okiennych. Przykładem zachowanej kamieniarki, tzw. łamanej, są fazowane portale kamienne, także z dekoracją ostro ciętą, tzw. kryształową, oraz obramienia okienne o krzyżujących się laskowaniami, pokryte polichromią.

Na północnej ścianie nawy kościoła św. Zygmunta widnieje pełnowymiarowy wykres, czyli naturalnej wielkości plan – projekt sklepienia, mierzący około 13x8,5 m (ryc. 2). Rysunek gotyckiego architekta został odkryty w XX wieku przez Zofię Medvecką, prowa-

found by Jakub Szydłowiecki, grand crown treasurer and burgrave. It was completed in 1532 by Mikołaj Szydłowiecki, castellan of Radom and brother of Krzysztof Szydłowiecki, crown chancellor.³ The Chapel of Holy Mary, built by Jakub Szydłowiecki and completed after his death, features the coats of arms of the founder—at the vault's closer it is the Odrowąż and on the abutments of the ribs the Odrowąż, the Habdank and the Jastrzębiec. The presbytery houses the tombstone of Mikołaj Szydłowiecki, funded by his brother Krzysztof and made from red marble in the form of a slab with a reclining figure. Its authorship is ascribed to the workshop of Bartolomeo Berrecci and dated to 1532.

It is probable that a vault was planned in the nave, as evidenced by internal escarpments erected around it. Their distribution suggests a possible four-column hall layout—such halls were distinctive for a group of late-Gothic churches in Lesser Poland's urban centers and were erected by workshops associated with the patronage of the Szydłowiecki family (e.g. in Ćmielów, Żarnów and Chlewiska Końskie). One distinctive characteristic of these workshops was a technique of decorating stone portals or window surrounds, as well as sharply cut crystalline decoration, as well as window surrounds with intersecting tracery covered by polychromes.

On the northern wall of the nave of the Church of St. Sigismund there is a full-sized diagram or plan—a design of a vault that is around 13 x 8.5 m (Fig. 2). The

dzącą konserwację wnętrza w latach 1970–1992. Nie jest on sygnowany ani datowany. Pochodzi zapewne sprzed roku 1509, gdy ukończono już budowę prezbiterium i nawy. W drugim etapie wznoszenia kościoła (realizowanym w latach 1515–1532) uległ częściowemu uszkodzeniu wskutek wzniesienia balkonu chóru i założenia kamiennej posadzki w kościele, która zasłoniła dolne krawędzie rysunku. Wymiary i kształt rytu zgadzają się ściśle z wymiarami prezbiterium. Wykres został wryty w tynku, rowki mają głębokość około 2 mm i zostały wypełnione granatowym kitem. Rysunek składa się z linii jednakowej grubości – pionowych, poziomych i ukośnych pod kątem 45 stopni. Na pierwszej warstwie tynku, zawierającej ryt sklepienia, zachowały się zacheuski, świadczące o konsekracji świątyni. Kolejna warstwa tynku nosi ślady malowideł Stanisława Samostrzelnika, który pracował dla rodu Szydłowieckich w latach 1511–1525⁴.

Niektóre fragmenty planu są obecnie zasłonięte lub uszkodzone wskutek dziejowych zmian i przeróbek budowlanych wnętrza (otworów, balustrad). Braki linii można jednak łatwo odtworzyć w teoretycznej rekonstrukcji rysunkowej dzięki powtarzalności wzoru i analogii do kompletnego rozrysu przeszła. W gotyckim rysunku zawarto informacje o rozmieszczeniu wszystkich żeber, ich skrzyżowań, miejsc podporu i głębokości osadzenia w murze. Szerokość trzech linii prowadzonych stale równolegle odpowiada szerokości żebra (16 cm). Oprócz rzutu poziomego w dolnej części ściany umieszczono wykres łuku żebrowego oraz jego profil (zaznaczony jako półprzekrój, inaczej: kład miejscowy żebra). Dolna część rysunku urywa się wskutek podniesienia poziomu posadzki kościoła. W wyniku prac inwentaryzacyjnych ryt został starannie utrwalony i zabezpieczony⁵. Opracowano interpretacje faz tworzenia projektu sklepienia w postaci dwuwymiarowego płaskiego planu, opartego na figurze kwadratu o boku równym szerokości prezbiterium⁶.

Gotycki rysunek architektoniczny – charakterystyczne cechy i rola w przekazie tradycji

Ryt w kościele św. Zygmunta w Szydłowcu stanowi przykład gotyckiego rysunku architektonicznego. Odgrywał on zazwyczaj rolę praktyczną, był sposobem pracy, etapem rozplanowania budowy, powstawał często wprost na budowie jako tzw. rysunek tracony. Najczęściej przygotowywano go na tzw. podłodze rysunkowej wygładzonej warstwą gliny lub gipsu, rzadziej na ścianach⁷. Nie pełnił funkcji estetycznych ani artystycznych, stąd jego oszczędna forma, linearny charakter i brak poglądowych przedstawień, iluzji przestrzennych, cieniowania, kolorowania itp. Przedstawiano głównie rzuty, widoki elewacji i detale. Cechą charakterystyczną była precyzja i staranność wykonania. Rysunki stanowiły składnik umowy budowniczych (co poświadczają źródła pisane), dbano o ich zachowanie, uznawano je za wspólny majątek cechowy i materiał do nauki, dziedziczyli je kolejni kierownicy budów.

drawing by a Gothic architect was discovered in the twentieth century by Zofia Medwecka, who supervised the conservation of the interior in the years 1970–1992. It is neither signed nor dated. It is probably from before 1509, as this is when the construction of the presbytery and the nave was already completed. During the second stage of the church's construction (which was performed in the years 1515–1532) it was partially damaged due to erecting the choir balcony and laying the stone floor in the church, which obscured the lower edges of the drawing. The dimensions and shape of the engraving are identical to the daylight dimensions of the presbytery. The diagram was carved in plaster and the engravings have a depth of around 2 mm and were filled with dark blue infill. The drawing is composed of vertical, horizontal and diagonal lines that have a 45 degree slant. The first layer of plaster, which bears the engraving of the vault, displays surviving apostolic crosses, which denote the church's consecration. The following subsequent layer bears traces of paintings by Stanisław Samostrzelnik, who worked for the Szydłowiecki family in the years 1511–1525.⁴

Some fragments of the plan are currently either obscured or damaged due to historical changes to and the remodeling of the interior (openings, balusters). However, the missing lines can be easily recreated via a theoretical graphical reconstruction due to the repetitiveness of the pattern and analogies to the complete drawing of the span. The Gothic drawing contains information about the placement of every rib, their intersections, points of support and anchoring depth. The width of the three lines that are traced continually in parallel corresponds to the width of the rib (16 cm). apart from the floor plan, a diagram of the rib arch and its profile were drawn in the lower part of the wall (marked as a semi-cross-section, i.e. a local side projection of the rib). The lower part of the drawing is missing due to the elevation of the church's floor level. As a result of surveying work, the engraving was carefully preserved and secured.⁵ An interpretation of the phases of the vault's design was prepared in the form of a two-dimensional plan, based on the shape of the square with a side equal in length to the presbytery's width.⁶

Gothic architectural drawing—distinctive characteristics and role in communicating tradition

The engraving in the Church of St. Sigismund in Szydłowiec is an example of a Gothic architectural drawing. It typically played a practical role, it was a means of work, a stage of planning construction and was often made on-site as a left-in-place drawing. Typically, it was prepared on a so-called drawing floor, leveled using a layer of clay or gypsum, with rare cases drawn on walls.⁷ It did not play an artistic or aesthetic role, hence its austere form, linear character and no visual representations, spatial illusions, shading, color, etc. The subjects included primarily floor plans, facade views and details. It was characterized by precision

W strzechach prowadzono nauczanie rysunku, zarówno poprzez przerysowywanie, jak i tworzenie nowych wariantów i wzorników⁸. Były kopiowane i modyfikowane, stanowiły źródło wzorców i inspiracji. Nie znano pojęcia prawa autorskiego, a wręcz wskazane było wzorowanie się na istniejącym, sławnym dziele, posługiwanie się powtórnie jego planami. W czasach gotyku rysunki architektoniczne były użyteczne podczas wznoszenia np. katedr, trwającego niejednokrotnie wiele lat. Należy podkreślić uniwersalne wartości gotyckich rysunków prezentujących osiągnięcia techniczne pokoleń twórców i ich rolę pośredniczącą w przekazywaniu tradycji. Wszechstronne opracowania najstarszych rysunków architektonicznych, w tym także podobnych do zabytku z Szydłowca, ukazały się w języku niemieckim⁹.

Oprócz rytu w kościele św. Zygmunta na terenie Polski zachowały się inne niewielkich rozmiarów robocze rysunki budowlane, sporządzone głównie na cegle. Należy wśród nich wymienić: efektowny rysunek rozety z kościoła Mariackiego w Stargardzie Szczecińskim odkryty na cokole filara międzynawowego, rysunek na cegle odnaleziony w krypcie kaplicy Mariackiej kościoła Najświętszej Maryi Panny w Chojnie oraz rysunek z lizeny elewacyjnej kościoła parafialnego w Chociwlu.

Szczególnie interesujący jest rysunek wykonany na cegle (o wymiarach 238x137x88 cm), odkryty w datowanym na pierwszą połowę XV wieku sklepieniu piwnic ratusza szczecińskiego. Przedstawia układ żeber, zwornika i cegieł w wysklepkach. Został wykonany ostrym narzędziem (prawdopodobnie nożem strycharskim) w surowej cegle, która później została wypalona i umieszczona w sklepieniu. Ślad ten odkryto w roku 1966 w czasie prac konserwatorskich. Rysunek roboczy odpowiada zrealizowanemu sklepieniu. Antoni Kąsinowski opisuje i objaśnia kolejne, prawdopodobne fazy powstania tego rysunku¹⁰ – była to graficzna instrukcja o sposobie murowania, kierunku układania cegieł i ich klinowania lub wyjaśnienie projektanta dla strycharza odnoszące się do wyrobu, który miał wykonać. Cegła klinowa faktycznie została zastosowana w sklepieniu.

Cenne rysunki projektowe związane są również z katedrą Najświętszej Maryi Panny w Strasburgu. Do dziś przetrwały dwa oryginalne plany z przełomu XIII i XIV wieku, dotyczące głównie elewacji i wyglądu wieży o monumentalnej wysokości 142 m. Jeden z planów zawiera również informacje o zależnościach przestrzennych pomiędzy poszczególnymi elementami konstrukcyjnymi. Wzniesienie tak monumentalnej budowli to praca wielu pokoleń, pojawiła się zatem konieczność utrwalenia i przekazania projektu kolejnym budowniczym¹¹.

W ostatnich latach zostały odkryte analogiczne rysunki sklepień, jednak w znacznie mniejszej skali, zawierające mniej szczegółowe informacje niż przykłady z Szydłowca czy Strasburga. W roku 2016 w Kowalewie Pomorskim natrafiono na fragment kształtki żeberowej z rysunkiem czteroramiennego sklepienia gwiazdowego. Według Bogusza Wasika jest to szkic, za pomocą którego mistrz tłumaczył pewne zagadnienia inne

and diligent workmanship. The drawings were an element of the builders' contracts (as attested to in written sources), and care was taken to preserve them, as they were considered the shared property of the relevant guild and learning material, passed down to successive construction overseers. Draughtsmanship was taught in domestic conditions, both by redrawing and creating new variations and pattern sets.⁸ They were copied and modified, constituting a source of patterns and inspiration. The concept of copyright was unknown and it was even encouraged to follow the example set by an existing and famous work by reusing its plans. During the Gothic period, architectural drawings were useful during the erection of, among other buildings, cathedrals, a process which often lasted many years in each case. The universal value of Gothic drawings that depict the technical achievements of generations of designers and their role as intermediaries in conveying tradition should be highlighted. Comprehensive drawing documentation of the oldest architectural plans, including many similar to the Szydłowiec monument, have been published in German.⁹

Apart from the engraving in the Church of St. Sigismund, other small-sized working-stage construction drawings have survived in Poland, mostly drawn on brick. These include: the impressive drawing of the rosette from the Church of Holy Mary in Stargard Szczeciński, discovered on the plinth of an inter- nave column, a drawing on brick found in the crypt of the Chapel of Holy Mary of the Church of Holy Mary in Chojno and the drawing of a facade lesene of the parish church in Chociwle.

The drawing made on brick (its dimensions being 238 x 138 x 88 cm) that was discovered on the basement vault of Szczecin's townhouse and dated to the fifteenth century, is particularly interesting. It depicts the layout of the ribs, closer and bricks in the vault's surfaces. It was made using a sharp tool (probably a brickmaker's knife) in raw brick, which was later fired and placed in the vault. This trace was discovered in 1966 during conservation work. The working-stage drawing corresponds to the actual vault as built. Antoni Kąsinowski described and discussed the successive probable phases of the drawing's creation¹⁰—it was a graphical instruction in bricklaying, the direction in which the bricks were to be laid and wedged, or the designer's instruction to the brickmaker concerning the product they were to make. Wedge bricks were indeed used to make the vault.

Valuable design drawings are also associated with the Cathedral of our Lady of Strasbourg. Two original plans from the end of the thirteenth and the start of the fourteenth century have survived there, primarily depicting the facade and the appearance of the church's towers with a monumental height of 142 m. One of the plans also includes information about the spatial dependencies between individual structural elements. Erecting such a monumental structure was the work of several generations, which is why it was necessary

mu rzemieślnikowi¹². W tym samym roku w katedrze oliwskiej odkryto unikatowy szkic wykonany prawdopodobnie przez rzemieślników, którym posłużył za rysunek techniczny przy pracach remontowych. Został wryty na mokro rylcem w pobliżu muru (prawdopodobnie dlatego, że w XVI wieku pergamin, na którym sporządzano rysunki techniczne, był niezwykle drogi) i wypełniony czerwienią żelazową¹³. Jest stosunkowo niewielki (25x35cm) i znajduje się na wysokości okna ściany południowej pierwszego przęsła świątyni, licząc od strony transeptu.

Charakterystyka sklepienia prezbiterium fary w Szydłowcu

Wnętrze prezbiterium przekrywa sklepienie żebrowe o oryginalnym układzie, podzielone na trzy identyczne przęsła prostokątne i wschodnie zamknięcie wieloboczne. Ze względu na modelowanie podniebienia ten rodzaj sklepienia kwalifikowany jest jako żaglasty z lunetami, a ze względu na rodzaj wzoru utworzonego z żebrowalicyzany do wariantów gwiazdzisto-sięciowych (zob. ryc. 3).

Kamienne, profilowane masywne żebra spływają na ściany wzmocnione w tych miejscach zewnętrznymi skarpami. W ścianie południowej regularnie w każdym przęsle, pośrodku skarp rozmieszczono ostrołuczne otwory okienne. Łuki żebrowalicyzany na kilkanaście drobnych pól wypełnionych wysklepkami. W kompozycji dominują kształty centralnie umieszczonych ośmioramiennych dużych gwiazd, których ramiona nie dochodzą jednak bezpośrednio do ścian. Trzy kolejne gwiazdy, utworzone z segmentów łukowych żebrowalicyzany, łączą się w ciąg, tworząc formę łańcucha dzięki nakładającym się wzdłuż osi sklepienia romboidalnym ramionom. W ten sposób granice przęsła znaczone łukami międzyprzęsłowymi są przerwane i powstaje efekt scalenia całego układu. Pola przęsła dzielone żebrowalicyzany tworzą żaglaste łupiny, ale nie są to wycinki sfery, choć upodabniają się do niej. Jedynie wokół zworników tworzą się fragmenty powierzchni kuli. Wnętrze przekryte tym sklepieniem jest kameralne, niewysokie (ok. 9 m), dzięki czemu warunki obserwacji całego układu i detali są bardzo dobre. Można zauważyć regularność układu, wyważone proporcje, starannie opracowane detale, a kontrastowa kolorystyka, tzn. brązowo-ceglaste polichromie żebrowalicyzany i białe pola międzyżebrowe, podnosi walory estetyczne wnętrza.

Układ przestrzenny tej konstrukcji zainteresował badacza Józefa Frazika, który odkrył podobny wzór sklepienia zachowany w wiedeńskim zbiorze średniowiecznych rysunków architektonicznych, sporządzony na pergaminie, w drobnej skali¹⁴. Stało się to jeszcze, zanim odsłonięto autentyczny wielki ryt naścienny w Szydłowcu. Analogiczne sklepienia zrealizowano również w innych świątyniach, np. w południowych Czechach (Horní Dvůr ok. 1511 i sypialnia Władysława na zamku w Pradze 1485–1490), w Niemczech (Stammheim 1487, Zeigelheim 1518, Owingen k. Überlingen 1498) i Austrii (Schluderns ok. 1500).

to preserve the design and hand it down to successive builders.¹¹

Analogous vault drawings have been discovered in recent years, yet on a much smaller scale. They included less detailed information than the specimens from Szydłowiec or Strasbourg. In 2016, a fragment of a rib block with the drawing of a four-armed star vault was discovered in Kowalewo Pomorskie. According to Bogusz Wasik, it is a sketch through which a master probably explained certain matters to a different craftsman.¹² In the same year, a unique sketch, probably made by craftsmen, was discovered in the Oliwa Cathedral. It was probably a technical drawing used in renovation work. It was carved in wet wall wash with a stylus (probably because in the sixteenth century, parchment, which was used to draw technical drawings on, was exceptionally expensive) and filled with crocus metallorum pigment.¹³ It is relatively small, being just 25 x 35 cm in size. It is located at the height of the window of the southern side of the church's first span, counting from the transept.

Overview of the vault of the Szydłowiec parish church presbytery

The interior of the presbytery is covered with a ribbed vault that has an original layout, which is divided into three identical rectangular spans and an eastern polygonal closing element. Due to the model of its underside surface, it is classified as a type of a sail vault with lunettes, and in terms of the pattern formed by its ribs, it is considered a variant of the stellar and net vaults (see Fig. 3).

The massive stone profiled ribs flow down onto the walls which are reinforced at the points of contact with external abutments. In the southern wall, regularly, at every span, ogival windows were placed at the center of the escarpments. The rib arches divide the surface of every span into around a dozen small fields filled with cells. The composition is dominated by the shape of large, centrally located eight-point stars, whose arms do not directly reach the walls. Three consecutive stars crated from the segments of arched ribs form a sequence, a type of chain, due to the rhomboidal arms that overlap along the axis of the vault. Thus, the borders of the spans, marked with inter-span arches, have gaps and an effect of the binding of the entire layout is produced. The bays of the span, divided by ribs, form sail-like shells, but they are not sections of a sphere, although they do look similar. Spherical fragments are located only around the closers. The interior covered by this vault is kameral and not too high (ca. 9 m), which is why the conditions for observing the entire layout and its details are very good. The layout's regularity, balanced proportions and carefully worked details and contrasting colors, i.e. the brick-brown polychromes of the ribs and the white fields of the cells are easily visibly, which enhances the aesthetic value of the interior.



Ryc. 3. Współczesny stan gotyckich sklepień prezbiterium kościoła; fot. autorzy.

Fig. 3. Contemporary condition of the Gothic vaults of the church presbytery; original photo.

Badania rytu

Pomocna w niniejszych badaniach była publikacja sprawozdania z praktyk inwentaryzacyjnych, przeprowadzonych w Instytucie Historii Architektury i Sztuki Politechniki Warszawskiej w roku 1991. Autorka, Maria Brykowska, odwołuje się do odkrycia przez Zofię Medvecką (konserwatora dzieł sztuki) rysunku sklepienia pod tyńkiem:

Na ścianie północnej nawy, w części pozbawionej okien, na narzucie z zaprawy wapiennej, wykonany został rysunek sklepienia w skali 1:1 metodą tzw. tracenia, tj. wgłębionych na 0,2 cm linii (obecnie powleczonych szarą farbą). Wszystkie linie wykreślono za pomocą łaty (lineatu) i cyrkla¹⁵.

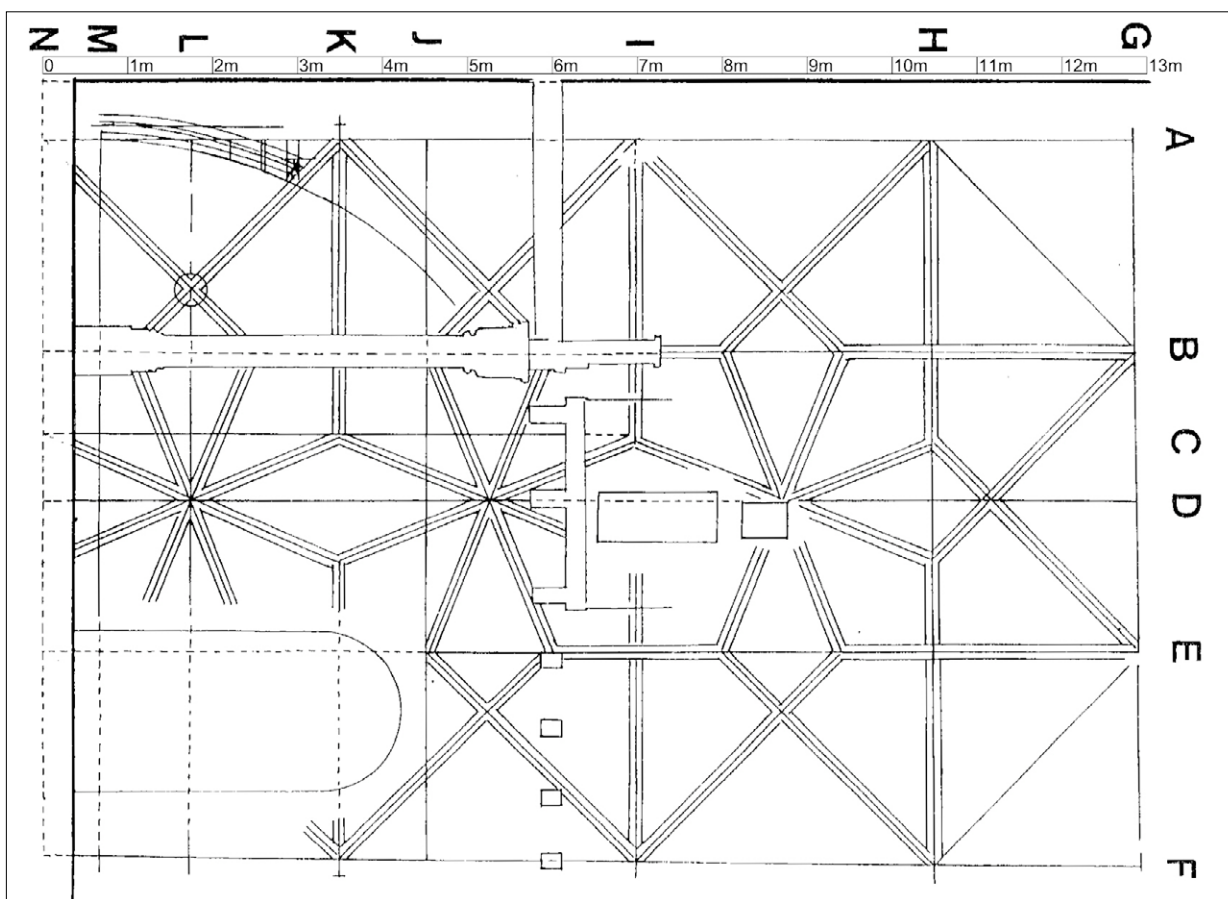
Rysunek odznacza się stosunkowo bogatą treścią i precyzją wykonania. Skonstruowanie sklepienia gwiaździsto-żebrowego należało do trudniejszych zadań technicznych, M. Brykowska przypuszcza więc, że w tym celu przybył na budowę wybitny architekt i wykreślił plan, który oprócz podstawowych informacji o przebiegu żeber zawierał również informacje o detalach, linie odnoszące, kwadratową siatkę oraz informacje o zagłębieniu żeber w ścianach. W wyniku inwentaryzacji autorka przedstawiła rysunek w skali 1:50 (zob. ryc. 4), odzwierciedlający ryt na ścianie, określając jego

The spatial layout of this structure attracted the interest of Józef Frazik, a scholar who found a similar vault pattern preserved in a Viennese collection of architectural drawings, drawn on parchment and to a fine scale.¹⁴ This happened even before the authentic wall drawing was discovered in Szydłowiec. Analogous vaults were also built in other churches, e.g. in the southern Czech Republic (Horní Dvůr ca. 1511 and Vladislaus's bedchamber at the castle in Prague 1485–1490), in Germany (Stammheim 1487, Zeigelheim 1518, Owingen near Überlingen 1409) and Austria (Schluderns ca. 1500).

Study of the engraving

This study was greatly aided by the publication of a building survey practical training report by the Institute of the History of Architecture and Art of the Warsaw University of Technology in 1991. Its author, Maria Brykowska, cited the discovery of the drawing underneath the plaster by Zofia Medvecká (an artwork conservator):

On the wall of the northern nave, partially without windows, on a coat of lime mortar, a drawing of the vault was drawn, to a scale of 1:1, using the so-called tracing method, i.e. engraved lines 0.2 cm deep (currently covered in grey paint). All the lines were drawn using a straight edge (ruler) and compass.¹⁵



Ryc. 4. Inwentaryzacja rytu opracowana w 1991 przez M. Brykowską; na rysunek nałożono szczegółową podziałkę, obrócono go, przeskalowano i zorientowano w kierunku północnym; oprac. autorzy 2020.

Fig. 4. Survey documentation of the engraving prepared in 1991 by M. Brykowska; a precise grid was overlaid on the drawing, which was then rotated, rescaled and oriented northwards; original work 2020.

proporcje jako 1,5 kwadratu o wymiarach 851x1301 cm (1x1,528). Powyższe wyniki zostały w roku 1992, wraz z inwentaryzacjami budowli i otoczenia, opublikowane przez autorkę w języku niemieckim¹⁶. Interpretację rytu z zastosowaniem technik komputerowych wykonała też Anna Kulig, uzyskując wirtualny model sklepienia prezbiterium¹⁷.

Nowe pomiary cyfrowe

W czerwcu 2020 autorzy tego artykułu przeprowadzili nowe pomiary we wnętrzu prezbiterium o wymiarach 8,5x13x9,6 m. Obiekt utrzymany jest w doskonałym stanie technicznym, a w ostatnim czasie wykonano jego renowację i konserwację. Zespołowi inwentaryzacyjnemu zapewniono dostęp do kluczowych miejsc z uwagi na pomiar sklepienia, w tym do fragmentów oddzielonych nastawą ołtarzową. Podczas pomiarów zinwentaryzowano położenie przestrzenne wszystkich żeber, a także ustalono poziomy ich styku z murami. Wykonano również rozmiernienia względem okien i skarp zewnętrznych.

Pomiary zajęły jeden dzień i zostały wykonane z dwóch stanowisk. Zrealizowano je przy użyciu systemu Flexijet, składającego się z laserowego tachimetru

The drawing is marked by its relatively rich content and precision. Constructing a star vault with ribs was one of the more difficult technical tasks, which is why M. Brykowska assumed that an outstanding architect came to the construction site for this purpose and drew the plan, which, apart from basic information concerning the outline of the ribs, also featured information about details, reference lines, a square grid and information about inserting the ribs into the walls. As a result of a building survey, the author presented a drawing drawn to a scale of 1:50 (see Fig. 4), which reflected the engraving on the wall and determined its proportions to be 1.5 of a square, whose dimensions were 851 x 1301 cm (1 x 1.528). These findings were published by the author in German, together with a survey of the building and its surroundings.¹⁶ An interpretation of the engraving using digital techniques was also performed by Anna Kulig, who produced a model of the presbytery's vault.¹⁷

New digital measurements

In June 2020, the authors of this paper performed new measurements in the presbytery's interior, whose dimensions are 8.5 x 13 x 9.6 m. The building is maintained in excellent technical condition, and a renovation

oraz oprogramowania wykorzystującego w sposób bezpośredni współrzędne mierzonych punktów. Programem, z którym m.in. współpracuje Flexijet, jest ArchiCAD, pozwalający – przy użyciu nakładki BIMTool – na bieżące modelowanie z wykorzystaniem mierzonych punktów. Urządzenie cechuje bardzo dobra precyzja jak na wymagania stawiane pomiarom architektonicznym, gdyż maksymalny błąd wynosi 2 mm przy odległości 50 m.

Położenie rzeczywistych punktów charakterystycznych sklepienia zostało odtworzone w trójwymiarowym modelu komputerowym, w którym powiązano dane pochodzące z obu stanowisk pomiarowych. Naniesiono około 600 rozstawionych średnio co 32 cm punktów, które reprezentowały przebieg osi żeber po ich licu zewnętrznym. W programie ArchiCAD wykonywano obrys łamaną przestrzenną, której łączna długość wyniosła 190,5 m. Następnie dane zostały wyeksportowane i przekształcone w programie Rhinoceros, służącym do zaawansowanego modelowania 3D i wyspecjalizowanym w edycji krzywych i powierzchni. Potem zbadano przebieg żeber, który wskazywał na niewielkie odchylenia ich od płaszczyzny (do 2 cm). Prawdopodobnie wynikały one na ogół z błędnego trafienia wiązki laserowej w oś żebra, na co wskazywał falisty przebieg łamanych. Polilinie 3D stanowiły tuż po pomiarach obiekty przestrzenne, składające się średnio z 38 segmentów. Przy użyciu programu Rhinoceros oraz z wykorzystaniem algorytmu utworzonego w dodatku Grasshopper przeprowadzono wygładzenie łamanych poprzez przekształcenie ich na krzywe Beziera drugiego stopnia. Podstawę do wyznaczenia przebiegu wygładzonych krzywych stanowiły punkty interpolowane na bazowych poliniach 3D. Następnie zastosowano narzędzia analizy krzywizny programu Rhinoceros, mierząc i uśredniając promień krzywizny. Na tej podstawie określono promień łuku równy 5,48 m i wpisano go w rozłożoną płaszczyznę. Maksymalne odchylenia żeber od krzywizny łuku okręgu wynosiły 4,5 cm. Zmierzony na rycie promień łuku wyniósł w zaokrągleniu 5,5 m, co potwierdza wysoką precyzję utworzonej krzywizny żeber.

Tak wykonany model przestrzenny zrzutowano w celach porównawczych pionowo, prostokątnie na płaszczyznę poziomą (zob. ryc. 5). Uzyskano w ten sposób płaski rysunek, bardzo zbliżony do konwencji średniowiecznego rytu.

Analiza danych przestrzennych dotyczących geometrii sklepienia

Podczas badań postanowiono zastosować podejście wykorzystywane w przeszłości do analizy powiązań pomiędzy odkrytymi rysunkami architektonicznymi a zrealizowanym obiektem budowlanym. Już w XIX wieku Sulpicjusz Boisseree zastosował do badania rysunków katedry w Kolonii triangulację. W nowszych opracowaniach badacze skupiają się nie tylko na rysunku projektowym, lecz także na widocznym na

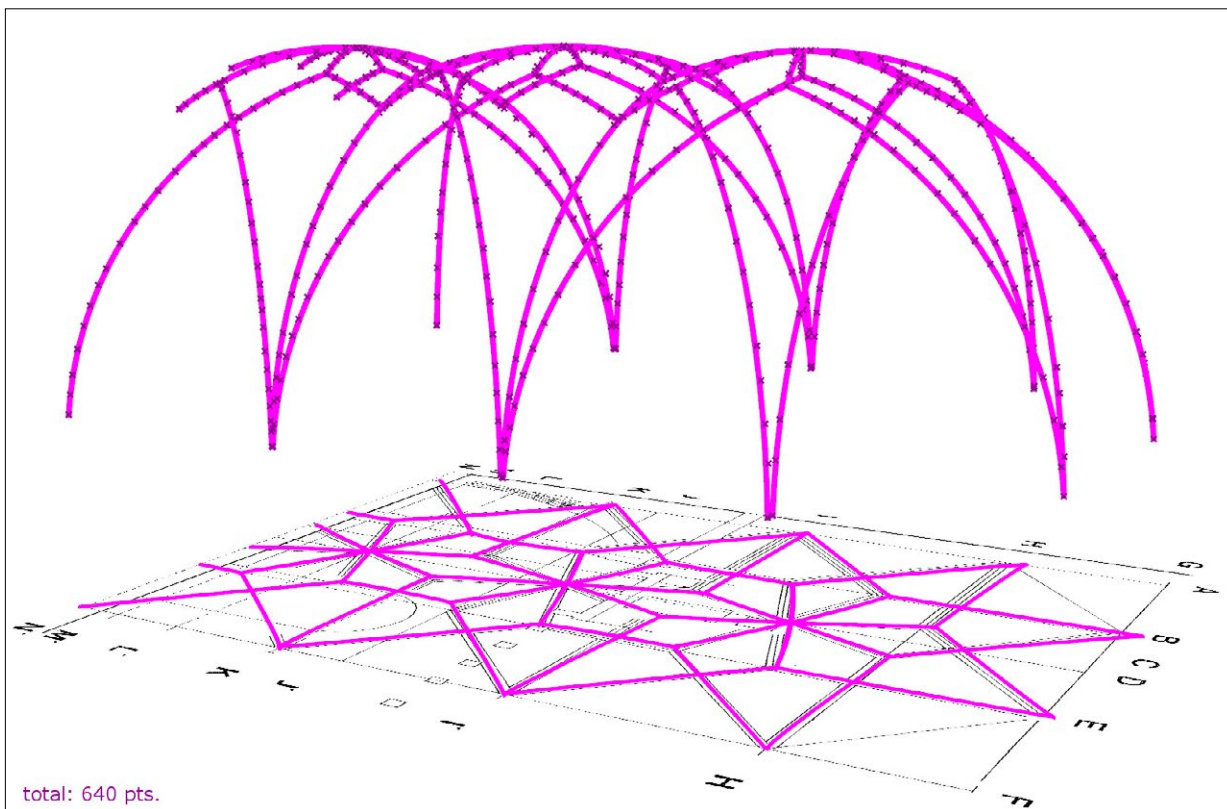
and conservation project has recently been executed. The building survey crew was given access to places crucial to the measurement of the vault, including fragments separated by the reredos. During measurement, the spatial distribution of all ribs was surveyed, and the levels at which they connected with the walls. Measurements relative to windows and internal abutments were also taken.

The measurement was performed in one day, using two stations. They were conducted using the Flexijet system, which comprises a laser tachymeter and bespoke software that directly utilizes the coordinates of points measured. ArchiCAD cooperates with Flexijet and allows—using the BIMTool extension—to directly build models using the points measured. The device is characterized by very high precision relative to the requirements placed before architectural measurements, as the maximum error at a distance of 50 m is just 2 mm. The distribution of actual distinctive points of the vault was recreated using a digital three-dimensional model, in which data from both measurement stations was merged. Around 600 points distributed 32 cm apart on average were entered, representing the course of rib axes along their external face. Using ArchiCAD software, the authors made outlines using a 3D polyline, whose combined length was 190.5 m. Afterwards, the data was exported and converted in Rhinoceros software, which is used for advanced 3D modeling and specializes in editing curves and surfaces. Afterwards, the outline of the ribs was investigated and small deviations from the plane were observed (up to 2 cm). They were probably the result of faults in how the laser beam fell on the rib axis, as demonstrated by the waviness of the polylines. Three-dimensional polylines formed spatial objects after the measurements and numbered 38 segments on average. Using Rhinoceros software and an algorithm created in the Grasshopper extension, we smoothed the polylines by converting them into quadratic Bézier curves. Points interpolated on 3D polylines provided a basis for outlining the course of the smoothed curves. Afterwards, we applied curve analysis tools in Rhinoceros, measuring and averaging the curve radius. On this basis, we found the arch radius of 5.48 m and inscribed it into the developed surface. The maximum deviations of the ribs from the circular arch curve was 4.5 cm. The arch radius as measured on the engraving was, when rounded, 5.5 m, which confirms the precision of the rib curvature.

The 3D model was used to make two-dimensional horizontal and vertical projections (see Fig. 5) to perform a comparison. A two-dimensional drawing was obtained in this manner, which was highly similar in convention to the medieval engraving.

Analysis of spatial data concerning the vault's geometry

During the study, it was decided to use an approach that had been applied to analyze links between uncovered



Ryc. 5. Widok perspektywiczny trójwymiarowego modelu osi żeber, który został zrzutowany na płaszczyznę poziomą, z nałożonym rysunkiem rytu; oprac. autorzy 2020.

Fig. 5 Perspective projection of the three-dimensional rib axis model, which was projected onto a horizontal surface, with an overlay of the drawing of the engraving; original work 2020.

pergaminach lub papierze odciskach, zwanych przedrysunkami, o charakterze geometrycznych konstrukcji pomocniczych. Pracami badawczymi tego rodzaju zajmowała się m.in. Maria Velte¹⁸. Poddała ona analizie rysunki rzutów wież katedr w Wiedniu, Strasburgu, we Fryburgu i w Bazylei. Wykazała zastosowanie triangulatury podobnej do kwadratury stosowanej przez Roritzera. Wśród polskich autorów zajmujących się teorią i praktyką warsztatu średniowiecznego należy wymienić Marię Łodyńską-Kosińską i Józefa Frazika¹⁹.

Do analizy danych uzyskanych podczas współczesnych pomiarów posłużono się celowo uproszczonym widokiem, czyli spłaszczonym do rzutu modelem krzywych łukowych. Nałożono je na skan rysunku inwentaryzacyjnego, wykonanego w roku 1991 przez Marię Brykowską, rozpatrując od tego momentu wyłącznie wymiary poziome sklepienia. Zastosowano liczne algorytmy przygotowane przez autorów w aplikacji Grasshopper, stanowiącej dodatek algorytmiczno-parametryczny do oprogramowania Rhinoceros. Pozwoliło to stworzyć logiczny model służący przetworzeniu danych. Celem było uzyskanie informacji statystycznych i obrazów wskazujących rozbieżności pomiędzy planowanym na rycie widokiem sklepienia a jego zrzutowanym prostokątnie modelem, precyzyjnie współcześnie zinwentaryzowanym.

Zmierzony rzut sklepienia umieszczono na przeskalowanym rysunku rytu, nakładając go bezpośrednio

architectural drawings and completed buildings. In the nineteenth century, Sulpiz Boisserée used triangulation to study the drawings of the cathedral in Cologne. In newer studies, scholars focus not only on the design drawings, but also on the prints visible on parchment, called pre-drawings, which act as geometric ancillary constructions. Studies of this type were engaged in by, among others, Maria Velte.¹⁸ Velte analyzed the tower floor plans of cathedrals in Vienna, Strasbourg, Freiburg and Basel. She demonstrated the application of triangulation, similar to quadrature as applied by Roritzer. Polish authors who explored the theory and practice of medieval engineering include Maria Łodyńska-Kosińska and Józef Frazik.¹⁹

The analysis of data obtained during contemporary measurements was performed using a purposefully simplified view, i.e. a two-dimensional projection of a model of arch curves. They were overlaid on top of a scan of the survey drawing drawn in 1991 by Maria Brykowska, and afterwards only the horizontal dimensions of the vault were analyzed. We employed numerous algorithms prepared by the authors of Grasshopper—which is an algorithmic and parametric extension of Rhinoceros software. This allowed us to create a logical model used to process the data. The goal was to obtain statistical information and images showing the discrepancies between the view of the vault planned on the engraving and

poprzez charakterystyczne punkty nasad przy ścianie południowej. Był to obszar najlepiej dopasowany – miejsce ze znikomymi odstępstwami od ryty (średni błąd wynosił 2,5 cm, a w pozostałych miejscach od 10 do 24 cm). W związku z tym południową ścianę prezbiterium potraktowano jako miejsce bazowe. Następnie utworzono algorytm pozwalający przygotować zestawienia i statystyki (zob. górną część ryc. 6). Dzięki temu można było określić m.in. amplitudę błędu, która mieściła się w przedziale od 0,3 cm do ponad 30 cm. Wartość uśrednioną błędu określono na 15 cm.

Podjęcie algorytmiczno-parametryczne z zastosowaniem programu Grasshopper umożliwia użytkownikom przekształcanie danych za pomocą tworzonego przez nich wizualnego schematu. Poszczególne przekształcenia łączy się przewodami, wprowadzając dane po lewej stronie każdej funkcji, a wyniki uzyskując po prawej. Masowe informacje o położeniu punktów węzłowych zostały wprowadzone jako parametry i uporządkowane (zob. lewą, górną część ryc. 6). Uzyskano hierarchię danych, która odzwierciedliła konstrukcję sklepienia tak, aby w poszczególnych podzbiorach pogrupowane były węzły zeber w zależności od ich położenia. Wobec tego węzły położone najniżej, na obwodzie sklepienia, znalazły się w oddzielnym podzbiore, podobnie jak dwa pośrednie zbiory węzłów i zbiór węzłów centralnych (zworników).

W dolnej, lewej części algorytmu wprowadzono również masowo uporządkowane informacje, ale o zmierzonym przebiegu osi zeber, które następnie zostały sprowadzone do poziomych (w płaszczyźnie rzutu) odcinków rozpiętych pomiędzy punktami węzłowymi i podzielone na segmenty. W prawej, dolnej części algorytmu segmentom nadano grubość zeber i pokolorowano je tak, aby obrazowały odchylenie od zakładanych w rycie położań (ryc. 7). Powyżej znajduje się część algorytmu generująca kolorową legendę. Kolory oznaczają odległość przesunięcia dla każdego miejsca zeber od błękitu, czyli braku przesunięcia, do czerwieni, określającej największe przesunięcie wynoszące 33,5 cm.

W prawej, górnej części schematu znajduje się algorytm przeliczający długości wektorów na kolory i wyświetlający efekty (zob. ryc. 6–8). Przedstawiono tam również algorytmy obliczające i listy z wynikami statystyk. Powyższe działanie umożliwiło przeprowadzenie zaawansowanych analiz z uwzględnieniem znaczenia konstrukcyjnego i estetycznego miejsc sklepienia.

Bezpośrednia analiza danych oraz ocena wygenerowanych obrazów pozwoliła stwierdzić zwichrowanie rzeczywistych wymiarów równoległoboku w stosunku do jego projektowanego kształtu o średnio 15 cm w osi wschód–zachód. Równocześnie stwierdzono stosunkowo niewielkie odchylenia punktów centralnych sklepienia (ok. 10 cm) oraz znaczne odstępstwa w położeniu punktów pośrednich, bardziej oddalonych od środka układu (do 33 cm, przy średnim błędzie ok. 20 cm).

the orthogonally projected model based on contemporary high-precision measurements.

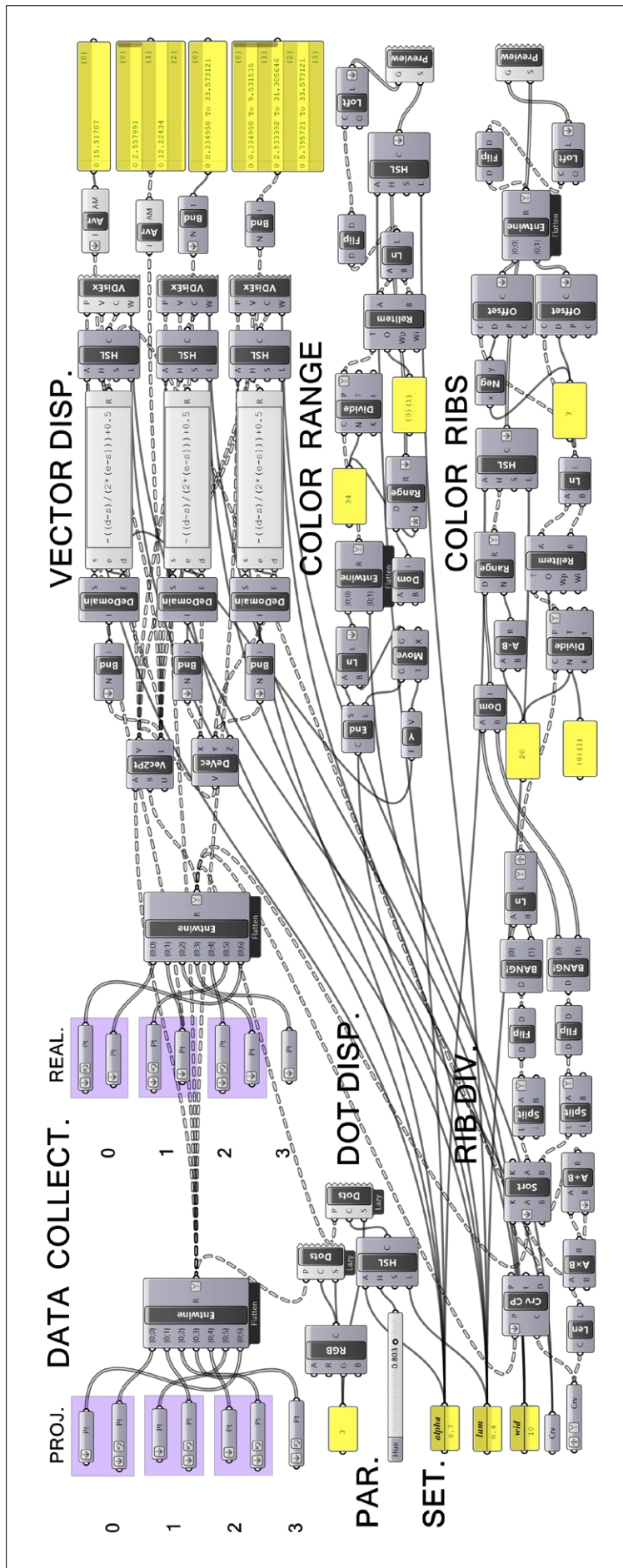
The plan of the vault as measured was placed on a rescaled drawing of the engraving, directly overlaid based on distinctive points of the caps near the southern wall. This was the area that displayed the highest degree of correspondence—a place with minuscule differences in relation to the engraving (an average deviation of 2.5 cm, while in other places it ranged between 10 and 24 cm). Because of this, the southern wall of the presbytery was used as a base point. This was used to determine, among other things, the deviation amplitude, which ranged from 0.3 cm to over 30 cm. The average deviation was found to be 15 cm.

The algorithmic and parametric approach with the application of Grasshopper software allows users to transform data using a visual scheme that they create. Individual transformations are connected to the left of every function and the outputs are obtained on the right. Mass information about node position location were introduced as parameters and sorted (see the upper left part of Fig. 6). A data hierarchy was obtained that reflected the structure of the vault so that every subset featured the nodes of ribs depending on their location. Thus, the lowest placed nodes, along the outline of the vault, were placed in a separate subset, similarly to two intermediate subsets of nodes and the central node (closer) set.

In the lower left part of the algorithm we also introduced structured mass information about the outline of rib axes as measured, which were then flattened (onto the plan plane) into sections suspended between nodal points and divided into segments. In the right lower part of the algorithm we assigned the thickness of the rib and colored it so that it would show the deviation from the placement assumed in the engraving (Fig. 7). Above is a part of the algorithm that generated the colored legend. The colors denote the distance of the deviation for every rib location from blue, which indicates no deviation, to red, which indicates the highest deviation of 33.5 cm.

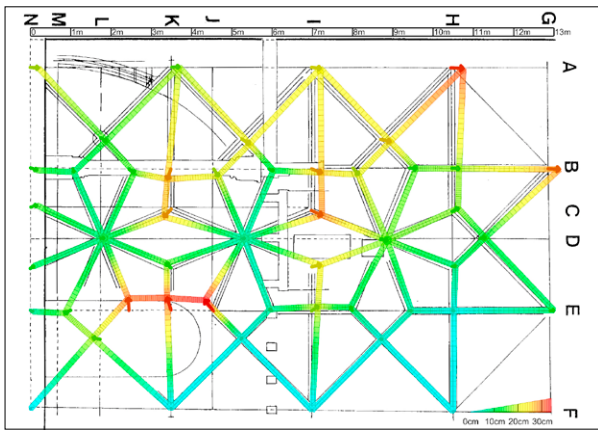
In the right upper part of the scheme is the algorithm that calculates the length of vectors into colors and displays effects (see Fig. 6–8). It also presents calculating algorithms and lists with statistical results. This procedure allowed us to perform advanced analyses while accounting for the structural and aesthetic significance of places in the vault.

Direct data analysis and assessment of the images generated allowed us to report dislocation relative to the actual dimensions of the parallelogram relative to its shape as designed by 15 cm on average along the east-west axis. At the same time, we found relatively small deviations of the vault's central points (ca. 10 cm) and significant deviations in the placement of intermediate points, which were more distant from the center of the layout (up to 33 cm, with an average deviation of around 20 cm).



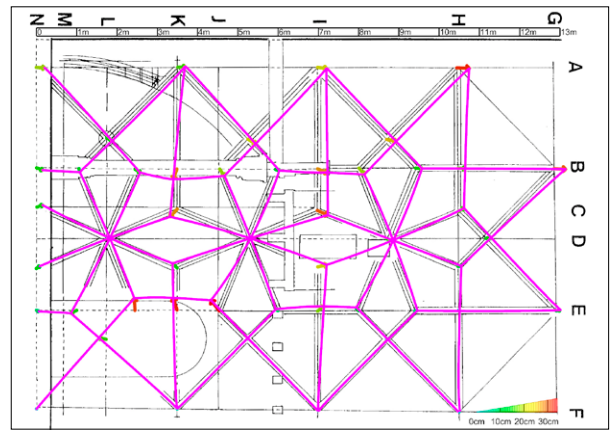
Ryc. 6. Widok algorytmu w programie Grasshopper, przygotowany tak, aby uporządkować, zinterpretować i zobrazować dane w formie parametrów; oprac. autorzy 2020.

Fig. 6. View of the algorithm in Grasshopper software, prepared so as to sort, interpret and visualize data entered in the form of parameters; original work 2020.



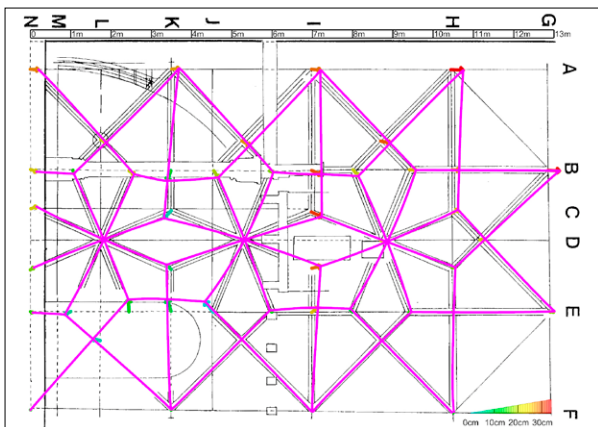
Ryc. 7. Mapa przesunięcia wszystkich żeber prezbiterium względem zakładanej w rycie geometrii; w algorytmie nadano segmentom grubość żebra i zróżnicowano je kolorystycznie tak, aby obrazowały odchylenie od zakładanych w rycie położzeń; pomiar odbył się w poziomej płaszczyźnie rzutu; kolory oznaczają odległość przesunięcia dla każdego miejsca żeber od błękitu, czyli braku przesunięcia, do czerwieni, określającej największe przesunięcie wynoszące 33,5 cm; oprac. autorzy 2020.

Fig. 7. Map of the dislocation of all of the presbytery's ribs relative to the geometry assumed in the engraving; using the algorithm, we gave the segments the thickness of the rib and differentiated them using colors so that they can visualize the deviation from the positions assumed in the engraving; the measurement was performed on the horizontal plane; colors indicate the deviation distance for every rib location from blue, which indicates no deviation, to red, which indicates the greatest deviation, which was 33.5 cm; original work 2020.



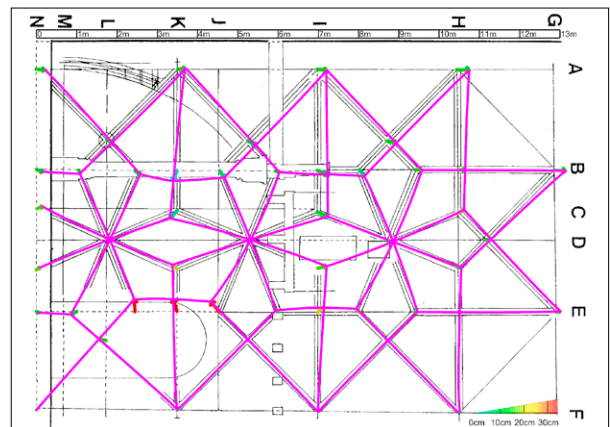
Ryc. 8. Współczesne zobrazowanie odstępstw w położeniu zinventoryzowanych punktów węzłowych od zakładanej w rycie geometrii; wektory przesunięcia punktów na płaszczyźnie rzutu zostały oznaczone kolorem obrazującym odległość (zgodnie z legendą w prawym dolnym rogu) od błękitu, czyli braku przesunięcia, do czerwieni, określającej największe przesunięcie wynoszące 33,5 cm; oprac. autorzy 2020.

Fig. 8. Contemporary visualization of deviations in the position of nodal points as surveyed from the geometry assumed in the engraving; point dislocation vectors were marked on the floor plan plane using a color that visualizes distance (as seen in the legend in the lower right corner) from blue, which indicates no deviation, to red, which indicates the greatest deviation, which was 33.5 cm; original work 2020.



Ryc. 9. Współczesne zobrazowanie odstępstw w położeniu zinventoryzowanych punktów węzłowych od zakładanej w rycie geometrii; poprzez zróżnicowanie kolorystyczne (od błękitu, czyli braku przesunięcia, do czerwieni, określającej największe przesunięcie) wskazano odchylenia geometrii w kierunku wschód-zachód; oprac. autorzy 2020.

Fig. 9. Contemporary visualization of deviations in the position of nodal points as surveyed from the geometry assumed in the engraving; visualization based on color difference (from blue, which indicates no deviation, to red, which indicates the greatest deviation) presenting an indication of geometry deviation along the east-west direction; original work 2020.



Ryc. 10. Współczesne zobrazowanie odstępstw w położeniu zinventoryzowanych punktów węzłowych od zakładanej w rycie geometrii; poprzez zróżnicowanie kolorystyczne (od błękitu, czyli braku przesunięcia, do czerwieni, określającej największe przesunięcie) wskazano odchylenia geometrii w kierunku północ-południe; oprac. autorzy 2020.

Fig. 10. Contemporary visualization of deviations in the position of nodal points as surveyed from the geometry assumed in the engraving; visualization based on color difference (from blue, which indicates no deviation, to red, which indicates the greatest deviation) presenting an indication of geometry deviation along the north-south direction; original work 2020.

Nowoczesne narzędzia inwentaryzacyjne charakteryzują się wysoką precyzją pomiarów, a także w połączeniu z podejściem algorytmiczno-parametrycznym umożliwiają skrupulatną analizę geometrii zabytkowych obiektów oraz czytelne zobrazowanie danych. Tęgo rodzaju wykorzystanie nowoczesnych technologii daje interesujące efekty, umożliwiające stawianie bardziej precyzyjnych hipotez badawczych oraz głębsze poznanie dawnych technik budowlanych, rzemiosła i sztuki²⁰. Jednocześnie opracowania utworzone na podstawie pozyskanych współcześnie danych mają wysoką wartość dokumentacyjną i mogą stanowić fundamenty dalszych analiz. Nie bez znaczenia jest też możliwość oceny precyzji historycznych materiałów projektowych, będących podstawą realizacji zabytkowych obiektów. Pozyskane i przeanalizowane dane mogą stanowić potwierdzenie kunsztu dawnych mistrzów. W tym kontekście sztylbowiecki kościół stanowi unikat w skali europejskiej i wart jest szerszego wyróżnienia na tle innych późnogotyckich obiektów zabytkowych. W tym zakresie można się odwołać do znakomitego przykładu ostatnich działań podjętych przez środowisko konserwatorów w Wiślicy na rzecz jej popularyzacji i przywrócenia właściwego znaczenia ze względu na wartości historyczne²¹.

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono ścisły związek rysunku projektowego i zrealizowanej budowy. Szczegółowa analiza danych pozwoliła stwierdzić, że sklepienie realizowano z dużą precyzją w obrębie punktów węzłowych. Zauważono jednak znaczne odchyłki w obszarach bardziej oddalonych od centrum układu sklepienia. Idealna zgodność geometryczna została potwierdzona w zakresie ulokowania nasad oporów żeber.

Modern building surveying tools are characterized by high measurement precision and in combination with an algorithmic and parametric approach, allow for thorough analysis of the geometry of historical buildings and the legible visualization of data. This application of modern technologies produces interesting effects, which allow the formulation of precise research hypotheses and a more in-depth understanding of historical construction techniques, craftsmanship and art.²⁰ At the same time, documentation prepared on the basis of contemporary data has high documentary value and can serve as a basis for further analyses. The ability to assess the precision of historical design materials, which served as a basis for building historical buildings, is also not without significance. The data that was obtained and analyzed in the study can serve as a confirmation of the mastery of historical masters. In this context, the church in Szydłowiec is a unique building on the European scale and deserves recognition in comparison to other late-Gothic historical buildings. Here we can reference the excellent example of the latest measures of the conservation community in Wiślica towards popularizing it and restoring its proper significance as based on historical value.²¹

Based on the research performed, we confirmed the close relationship between the design drawing and the structure as built. Detailed data analysis allowed us to state that the vault was built with a high degree of precision in terms of nodal points. We also observed significant deviations in areas more distant from the center of the vault's layout. Perfect geometric similarity was confirmed in terms of the placement of rib support caps.

Bibliografia / References

Opracowania / Secondary sources

- Architektura gotycka w Polsce*, red. Marian Arsyński, Teresa Mroczo, *Katalog zabytków*, red. Andrzej Włodarek, Warszawa 1995.
- Bork Robert, *Plan B and the Geometry of Façade Design at Strasbourg Cathedral, 1250–1350*, „Journal of the Society of Architectural Historians”, University of California Press 2005, vol. 64, nr 4.
- Broniewski Tadeusz, *Pomiary i zdjęcia architektoniczne*, Katowice 1949.
- Brykowska Maria, *Architektura kościoła św. Zygmunta w Szydłowcu w świetle najnowszych badań*, [w:] *Z dziejów parafii sztylbowieckiej*, red. Jacek Wijaczka, Szydłowiec 1998.
- Brykowska Maria, *Metody pomiarów i badań zabytków architektury*, Warszawa 2003.
- Brykowska Maria, *Quadratur des spatgotischen Gewolbes im Chorraum der Pfarrkirche zu Szydłowiec/Polen*, „Architectura, Zeitschrift für Geschichte der Baukunst” 1992.
- Brykowska Maria, Kunkel Robert, *Sprawozdanie z praktyk inwentaryzacyjnych Instytutu Historii Architektury i Sztuki w 1991 r.*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki” 1992, t. 37, z. 3.
- Frazik Józef Tomasz, *Analiza materiału, techniki i stratygrafii murów jako metoda badawcza dzieł architektury zabytkowej*, „Biuletyn Historii Sztuki” 1969, t. 31, nr 1.
- Frazik Józef Tomasz, *Małopolskie paralele późnogotyckich sklepień w wiedeńskim zbiorze średniowiecznych rysunków architektonicznych*, „Teki Komisji Urbanistyki i Architektury” 1978, t. 12.
- Frazik Józef Tomasz, *Technika średniowiecznych rysunków architektonicznych*, „Teki Komisji Urbanistyki i Architektury” 1995, t. 37.
- Frazik Józef Tomasz, *Ze studiów nad warsztatem architekta i budowniczych w średniowieczu*, Kraków 1990.

- Gruszecki Andrzej, *Projekt a ostateczny kształt detalu architektonicznego w XVI–XVII wieku*, [w:] *Podług nieba i zwyczaju polskiego. Studia z historii architektury, sztuki i kultury ofiarowane Adamowi Miłobędzkiemu*, Warszawa 1984.
- Kadłuczka Andrzej, *Przeszłość dla przyszłości: tysiąclecie Wiślica i jej materialne i niematerialne dziedzictwo. Pomnik historii jako forma opieki RP*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2019, nr 60, s. 10–16.
- Kadłuczka Andrzej, *Zastosowanie technik komputerowych w badaniach i ochronie zabytków architektury i urbanistyki*, [w:] *Komputerowa baza danych dla potrzeb ochrony dziedzictwa kulturowego. Materiały konferencyjne*, red. Maciej Pawlicki, Kraków 2002–2003.
- Kąsinowski Antoni, *Podstawowe zasady murarstwa gotyckiego na Pomorzu Zachodnim*, „Studia i Materiały z Historii Kultury Materialnej” 1970, t. 43: *Studia z dziejów rzemiosła i przemysłu*.
- Kieszkowski Jerzy, *Kanclerz Krzysztof Szydłowiecki. Z dziejów kultury i sztuki zygmunto-wskich czasów*, Poznań 1912, s. XVIII, 538, 757.
- Kulig Anna, *O gotyckim rysunku architektonicznym – na podstawie odkrytych źródeł w Szydłowcu: wizualizacja zabytku na bazie średniowiecznych planów*, [w:] *III Forum Architecturae Poloniae Medievalis*, red. Klaudia Stala, Kraków 2013.
- Łodyńska-Kosińska Maria, *Geometria architektów gotyckich*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki” 1964, t. 9, z. 2.
- Milobędzki Adam, *Późnogotyckie typy sakralne w architekturze ziem polskich*, [w:] *Późny gotyk. Studia nad sztuką przełomu średniowiecza i czasów nowych*, red. Jan Białostocki, Warszawa 1965.
- Muller Werner, *Grundladen Gotischer Bautechnik*, Munchen 1990.
- Nussbaum Norbert, *Das gotische Gewölbe: eine Geschichte seine Form und Konstruktion*, Darmstadt 1999.
- Puget Wanda, *Przyczynek do działalności Stanisława Samostrzelnika. Malarstwo ścienne w budowłach fundacji Szydłowieckich*, [w:] *Renesans. Sztuka i ideologia*, red. nauk. Tadeusz Stefan Jaroszewski, Warszawa 1976.
- Rewski Zbigniew, *Majstersztyki krakowskiego cechu murarzy i kamieniarzy XVI–XIX wieku*, Wrocław 1954.
- Velte Maria, *Die Anwendung der Quadratur und Triangulatur bei Grund- und Aufrissgestaltung der gotische Kirchen*, Bazylea 1951.
- Wasik Bogusz, *Kształtka z rysunkiem sklepienia z zamku w Kowalewie Pomorskim*, „Ochrona Zabytków” 2016, nr 2.
- Włodarek Andrzej, *Szydłowiec, kościół parafialny św. Zygmunta*, [w:] *Architektura gotycka w Polsce*, red. Marian Arszyński, Teresa Mroczo, Warszawa 1995.

Źródła elektroniczne / Electronic sources

- Borowski Robert, *Odkryto wyjątkowy „rysunek techniczny” z XVI w. na ścianie katedry Oliwskiej*, <https://www.trojmiasto.pl/wiadomosci/Odkryto-wyjatkowy-rysunek-techniczny-z-XVI-w-na-ścianie-katedry-Oliwskiej-n98332.html>.

- ¹ A. Włodarek, *Szydłowiec, kościół parafialny św. Zygmunta*, [w:] *Architektura gotycka w Polsce*, red. M. Arszyński, T. Mroczo, Warszawa 1995.
- ² A. Miłobędzki, *Późnogotyckie typy sakralne w architekturze ziem polskich*, [w:] *Późny gotyk. Studia nad sztuką przełomu średniowiecza i czasów nowych*, red. J. Białostocki Warszawa 1965, s. 107–111.
- ³ J. Kieszkowski, *Kanclerz Krzysztof Szydłowiecki. Z dziejów kultury i sztuki zygmunto-wskich czasów*, Poznań 1912, s. XVIII, 538, 757.
- ⁴ W. Puget, *Przyczynek do działalności Stanisława Samostrzelnika. Malarstwo ścienne w budowłach fundacji Szydłowieckich*, [w:] *Renesans. Sztuka i ideologia*, red. T.S. Jaroszewski, Warszawa 1976.
- ⁵ Inwentaryzację rytu w skali 1:50 opracowali studenci Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem M. Brykowskiej.
- ⁶ M. Brykowska, R. Kunkel, *Sprawozdanie z praktyk inwentaryzacyjnych Instytutu Historii Architektury i Sztuki w 1991 r.*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki” 1992, t. 37, nr 3, s. 297–308. Rysunek sklepienia wraz z interpretacją wykreślenia siatki geometrycznej podaje Maria Brykowska [w:] *Metody pomiarów i badań zabytków architektury*, Warszawa 2003, s. 10–11, oraz w artykule *Architektura kościoła św. Zygmunta w Szydłowcu w świetle najnowszych badań*, [w:] *Z dziejów parafii szydłowieckiej*, red. J. Wijaczka, Szydłowiec 1998, s. 145–164.
- ⁷ J.T. Frazik, *Technika średniowiecznych rysunków architektonicznych*, „Teka Komisji Architektury i Urbanistyki” 1995, t. 37, s. 195–203; idem, *Ze studiów nad warszatem architekta i budowniczych w średniowieczu*, Kraków 1990.
- ⁸ M. Łodyńska-Kosińska, *Geometria architektów gotyckich*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki” 1964, t. 9, z. 2, s. 89–114.
- ⁹ W. Müller, *Grundladen gotischer Bautechnik*, München 1990, s. 32, 73, 84, 155; N. Nussbaum, *Das gotische Gewölbe: eine Geschichte seine Form und Konstruktion*, Darmstadt 1999.
- ¹⁰ A. Kąsinowski, *Podstawowe zasady murarstwa gotyckiego na Pomorzu Zachodnim*, „Studia i Materiały z Historii Kultury Materialnej” 1970, t. 43: *Studia z dziejów rzemiosła i przemysłu*, s. 48.
- ¹¹ R. Bork, *Plan B and the Geometry of Façade Design at Strasbourg Cathedral, 1250–1350*, „Journal of the Society of Architectural Historians”, University of California Press 2005, vol. 64, no 4, s. 442–473.
- ¹² B. Wasik, *Kształtka z rysunkiem sklepienia z zamku w Kowalewie Pomorskim*, „Ochrona Zabytków” 2016, nr 2, s. 21–30.
- ¹³ B. Borowski, *Odkryto wyjątkowy „rysunek techniczny” z XVI w. na ścianie katedry Oliwskiej*, <https://www.trojmiasto.pl/wiadomosci/Odkryto-wyjatkowy-rysunek-techniczny-z-XVI-w-na-ścianie-katedry-Oliwskiej-n98332.html> (dostęp: 26 X 2020).
- ¹⁴ J.T. Frazik, *Małopolskie paralele późnogotyckich sklepień w wie-deńskim zbiorze średniowiecznych rysunków architektonicznych*,

„Teki Komisji Urbanistyki i Architektury” 1978, t. 12, s. 227–237 (autor przytacza rysunek sklepienia o podobnym układzie jak w Szydłowcu, ale w zmniejszonej skali i na pergaminie, pochodzący z 1468, zachowany w zbiorach Akademii der Bildenden Künste w Wiedniu pod numerem inwentarzowym 17069).

¹⁵ M. Brykowska, R. Kunkel, op. cit., s. 297–308.

¹⁶ M. Brykowska, *Quadratur des spatgotischen Gewölbes im Chorraum der Pfarrkirche zu Szydłowicz/Polen*, „Architectura, Zeitschrift für Geschichte der Baukunst” 1992, s. 101–107.

¹⁷ A. Kulig, *O gotyckim rysunku architektonicznym – na podstawie odkrytych źródeł w Szydłowcu: wizualizacja zabytku na bazie średniowiecznych planów*, [w:] *III Forum Architecturae Poloniae Medievalis*, red. K. Stala, Kraków 2013, s. 157–167.

¹⁸ M. Velte, *Die Anwendung der Quadratur und Triangulatur bei Grund- und Aufrissgestaltung der gotische Kirchen*, Bazylea 1951, s. 10.

¹⁹ M. Łodyńska-Kosińska, *Geometria architektów gotyckich*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki” 1964, t. 9, z. 2, s. 89–114.

²⁰ A. Kadłuczka, *Zastosowanie technik komputerowych w badaniach i ochronie zabytków architektury i urbanistyki*, [w:] *Komputerowa baza danych dla potrzeb ochrony dziedzictwa kulturowego. Materiały konferencyjne*, red. M. Pawlicki, Kraków 2002–2003.

²¹ Idem, *Przeszłość dla przyszłości: tysiąclecie Wiślica i jej materialne i niematerialne dziedzictwo. Pomnik historii jako forma opieki RP*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2019, nr 60, s. 10–16.

Streszczenie

Przedmiotem opracowania jest gotyckie sklepienie w prezbiterium kościoła w Szydłowcu. Powiązany z nim jest oryginalny dużych rozmiarów ryt, zachowany na ścianie nawy głównej, pełniący podczas realizacji świątyni funkcję swoistego „projektu wykonawczego”. To unikat w skali europejskiej i jedyny taki zespół śladów dawnego rzemiosła budowlanego. Ryt, odkryty po pięciu wiekach, wzbudził duże zainteresowanie badaczy wskazujących nieliczne przypadki podobnych rysunków, zachowanych jednak fragmentarycznie na posadzkach, tarasach, ścianach czy sklepieniach. Na przestrzeni lat powstały hipotezy rekonstrukcyjne dotyczące faz rysunkowych i realizacyjnych tego dzieła w Szydłowcu. Autorów artykułu zainteresowały zależności między projektem a zrealizowanym kształtem sklepienia, czyli zagadnienie, w jakim stopniu odwzorowano w naturalnej skali koncepcje zapisane na płaskim rysunku. Dokonano analizy porównawczej przebiegu żeber ze stanem istniejącym w murowanych segmentach kamiennych łuków żebrowych. Podczas prac zastosowano nowoczesny sprzęt pomiarowy i zaawansowane oprogramowanie. Celem badań było określenie i sklasyfikowanie wzajemnych podobieństw i różnic.

Abstract

This paper discusses Gothic vault located in the presbytery of a church in Szydłowicz. It is linked with an original, large engraving that has survived in the wall of the church's main nave, and acted as a sort of “construction-phase design” during the church's construction. It is a unique specimen on the European scale and the only complex of traces of historical construction craftsmanship of its kind. The engraving, uncovered after five centuries, inspired considerable interest in scholars who pointed to rare cases of similar drawings that have been only fragmentarily preserved on floors, terraces, walls or vaults. Over the years, reconstructive hypotheses were formulated concerning the drawing and construction phases of the Szydłowicz vault. The authors became interested in the dependencies between the design and the geometry of the vault as built, i.e. the degree to which the conceptual proposals recorded on the drawing were expressed on a natural scale. The authors performed a comparative analysis of the outline of the ribs, comparing them with the existing state of the ribbed stone arch segments. Modern measurement equipment and advanced software was used. The goal of the study was to determine and classify similarities and differences between the elements.