

Jerzy Montusiewicz  
Marek Miłoś  
Jacek Kęsik

## **Cyfryzacja 3D obiektów dziedzictwa kulturowego Polonii w USA – dokumentowanie wyglądu i geometrii**

### **3D Digitization of Cultural Heritage Objects of the Polish Diaspora in the USA – Documenting Appearance and Geometry**



Polskie Towarzystwo Informatyczne  
Polish Information Processing Society  
Lublin 2024

Cyfryzacja 3D obiektów dziedzictwa  
kulturowego Polonii w USA –  
dokumentowanie wyglądu i geometrii

3D Digitization of Cultural Heritage Objects  
of the Polish Diaspora in the USA –  
Documenting Appearance and Geometry

Monografie – Polskie Towarzystwo Informatyczne, Oddział Lubelski



**POLSKIE TOWARZYSTWO INFORMATYCZNE**  
**ODDZIAŁ LUBELSKI**

Jerzy Montusiewicz  
Marek Miłoś  
Jacek Kęsik

Cyfryzacja 3D obiektów dziedzictwa  
kulturowego Polonii w USA –  
dokumentowanie wyglądu i geometrii

3D Digitization of Cultural Heritage Objects  
of the Polish Diaspora in the USA –  
Documenting Appearance and Geometry

Polskie Towarzystwo Informatyczne  
Polish Information Processing Society  
Lublin 2024

Recenzenci / Reviewers:

Prof. Agnieszka Bender, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II /  
John Paul II Catholic University of Lublin

Prof. Leszek Gawrysiak, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej /  
Maria Curie-Skłodowska University

Autorzy / Authors:

Jerzy Montusiewicz, Marek Miłosz, Jacek Kęsik – Politechnika Lubelska /  
Lublin University of Technology

Zdjęcie na okładce / Cover photo:

Jacek Kęsik (Model 3D, Tarnov, Nebraska, USA)

Weryfikacja językowa / Linguistics proofreading:

Jerzy Warakowski – Politechnika Lubelska/ Lublin University of Technology

Publikacja naukowa dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki: „Nauka dla Społeczeństwa”, obszar: „Humanistyka-Społeczeństwo-Tożsamość”, nr projektu NdS/545613/2022/2022 pt. „Badania nad narodowym dziedzictwem kulturowym Polonii w USA i utworzenie cyfrowych zbiorów pamięci”.

Kwota dofinansowania 1 562 877,60 zł, całkowita wartość projektu 1 562 877,60 zł.

Scientific publication co-financed from the state budget under the program of the Minister of Education and Science: "Science for Society", area: "Humanities-Society-Identity", project number NdS/545613/2022/2022 entitled "Research on the national cultural heritage of the Polish diaspora in the USA and the creation of digital memory collections".

Amount of funding PLN 1,562,877.60, total value of the project PLN 1,562,877.60.



Ministerstwo  
Edukacji i Nauki

ISBN 978-83-936692-6-4 (wydanie cyfrowe)

Wydawca / Publisher: Polskie Towarzystwo Informatyczne, Oddział Lubelski

---

Publikacja jest dostępna na portalu [polskiedziedzictwo3D.pl](http://polskiedziedzictwo3D.pl)  
The publication is available at the portal [polishheritage3D.eu](http://polishheritage3D.eu)

© 2024 by the authors; CC BY-NC-ND license

## Spis treści

## Table of Contents

Wstęp	
Introduction.....	7
1. Motywacja i projekt	
1. Motivation and project.....	11
1.1. Utrata religijnego kulturowego dziedzictwa ludzkości	
1.1. Loss of humanity's religious cultural heritage.....	11
1.2. Zabytki sakralne Polonii w USA	
1.2. Religious monuments of the Polish diaspora in the USA.....	15
1.3. Interdyscyplinarny projekt cyfryzacji w technologii 3D zabytków Polonii w USA	
1.3. An interdisciplinary project of 3D digitisation technology of Polish monuments in the USA.....	16
2. Metody skanowania 3D dużych i bogatych w szczegóły obiektów	
2. Methods of 3D scanning of large and detailed objects.....	19
2.1. Naziemne skanowanie laserowe	
2.1. Terrestrial laser scanning.....	21
2.2. Fotogrametria	
2.2. Photogrammetry.....	27
2.3. Porównanie technologii TLS i fotogrametrii	
2.3. Comparison of TLS and photogrammetry technologies.....	31
3. Sprzęt do skanowania 3D	
3. Equipment for 3D scanning.....	33
3.1. Skanowanie wnętrz i bryły zewnętrznej	
3.1. Scanning of interiors and exteriors.....	34
3.2. Wykorzystywane skanery TLS	
3.2. TLS scanners used.....	36
3.3. Narzędzia wykorzystywane w foto-grametrii	
3.3. Tools used in photogrammetry.....	42
4. Oprogramowanie do obróbki danych i generowania modeli	
4. Software for data processing and model generation.....	44
4.1. Pozyskanie danych źródłowych	
4.1. Obtaining source data.....	44

4.2. Przetwarzanie danych źródłowych	
4.2. Source data processing .....	45
5. Metodyki skanowania i przetwarzania danych	
5. Data scanning and processing methodologies.....	53
5.1. Metodyka skanowania	
5.1. Scanning Methodologies .....	53
5.2. Ocena dokładności opracowanych bazowych modeli 3D	
5.2. Assessment of the accuracy of the developed base 3D models .....	61
5.3. Klasyfikacja skanowanych kościołów	
5.3. Classification of scanned churches.....	68
6. Studia przypadków skanowania kościołów w USA	
6. Case studies of church scanning in the USA.....	74
6.1. Bazylika św. Jacka w Chicago	
6.1. St Hyacinth's Basilica in Chicago .....	74
6.2. Kościół św. Stanisława Biskupa i Męczennika w Milwaukee (WI)	
6.2. Church of St Stanislaus the Bishop and Martyr in Milwaukee (WI) .....	82
6.3. Kościół św. Wojciecha w Chicago	
6.3. St Adalbert's Church in Chicago .....	91
6.4. Kościół św. Brunona w Chicago	
6.4. St Bruno's Church in Chicago .....	99
6.5. Kościół Najświętszego Serca Pana Jezusa i św. Wacława w Dodge (WI)	
6.5. Church of the Sacred Heart of Jesus and St Wenceslas in Dodge (WI).....	105
6.6. Kościół św. Piotra i Pawła w Independence (WI)	
6.6. Church of St. Peter and Paul in Independence (WI).....	113
6.7. Kościół św. Michała Archanioła w Tarnov (NE)	
6.7. Church of St Michael the Archangel in Tarnov (NE) .....	122
6.8. Kościół Matki Boskiej Anielskiej w Chicago	
6.8. Church of St Mary of the Angels in Chicago .....	130
Podsumowanie i podziękowania	
Summary and Acknowledgements .....	140
Literatura	
References.....	143

## Wstęp

Wzrost możliwości obliczeniowych współczesnych komputerów, rozwój systemów chmurowych, powszechna dostępność Internetu i technologii mobilnych, a także rozwój komputerowych technologii 3D zarówno w warstwie programistycznej, jak i urządzeń, spowodowało, że nastąpiły zasadnicze zmiany w sposobie archiwizacji i udostępniania obiektów dziedzictwa kulturowego. Cyfryzacja współczesnego świata stała się faktem, cyfrowe dokumenty, bilety, recepty, elektroniczny obieg dokumentów, zakupy różnych dóbr poprzez systemy zdalne, cyfrowe płatności i zdalny obrót pieniędzmi i akcjami już nikogo nie dziwi. Większość zaakceptowała te wszystkie rozwiązania i powszechnie z nich korzysta bez względu na wiek, płeć, przynależność do różnych kultur i religii.

W obszarze dziedzictwa kulturowego wprowadzenie nowych technologii nie przebiega w sposób zrównoważony. Gdy się porówna trzy główne obszary digitalizacji obiektów materialnego i niematerialnego dziedzictwa kulturowego: cyfryzację dwuwymiarową (2D), statyczną cyfryzację trójwymiarową (3D) i kinematyczną cyfryzację 3D (technologia typu *motion capture*) to widać bardzo wyraźnie istniejące dysproporcje. Okazuje się, że dość dużo zostało zrobione w obszarze cyfryzacji dokumentów archiwalnych, bibliotecznych oraz audiowizualnych – cyfryzacja typu 2D (w przypadku nagrań audio można mówić o cyfryzacji 1D). Zdefiniowano pewne standardy i formaty przechowywania takich obiektów w wersji cyfrowej [1]. Już w 2012 prasa doniosła, że w polskich archiwach przekroczono liczbę 10 mln. stron w wersji cyfrowej, 600 tys. fotografii, 2,3 tys. nagrań dźwiękowych i 300 filmów [2]. Digitalizacja 2D jest łatwiejsza do wykonania z kilku powodów. Sprzęt jest znacząco tańszy, technologie są prostsze i dość dobrze zautomatyzowane zarówno w zakresie wykonania skanu, jak i jego obróbki, przesz-

## Introduction

The increase in the computational capabilities of modern computers, the development of cloud systems, the widespread availability of the Internet and mobile technologies, as well as the development of 3D computer technologies in both the programming layer and devices, have led to fundamental changes in the way cultural heritage objects are archived and made available. The digitization of the modern world has become a fact, digital documents, tickets, prescriptions, electronic document objects, purchases of various goods through remote systems, digital payments and remote trading of money and shares no longer surprise anyone. Most have accepted all these solutions and use them widely, regardless of age, gender, affiliation to different cultures and religions.

In the area of cultural heritage, new technologies have not been introduced in a systematic way. When we compare the three main areas of digitisation of tangible and intangible cultural heritage objects: two-dimensional (2D) digitisation, static three-dimensional (3D) digitisation and kinematic 3D digitisation (motion capture technology), the existing disproportions are very clear. It turns out that quite a lot has been done in the area of digitisation of archival, library and audiovisual documents – 2D digitisation (in the case of audio recordings we can talk about 1D digitisation). Certain standards and formats for storing such objects in a digital version have been defined [1]. Already in 2012, the press reported that the number in Polish archives had exceeded 10 million pages in digital version, 600 thousand photographs, 2.3 thousand sound recordings and 300 films [2]. 2D digitisation is easier to accomplish for several reasons. The equipment is significantly cheaper, the technologies are simpler and quite well automated both in terms of scanning and its processing, training of people operating the equipment is cheap and easy,



kolenie osób obsługujących sprzęt jest tanie i łatwe, prace wykonywane są w dobrych warunkach – w pomieszczeniach archiwów lub salach bibliotecznych.

Problematyka cyfryzacji 3D obiektów dziedzictwa kulturowego została dostrzeżona przez wiele gremiów, np. przez European Commission Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, która przygotowała dokument o zasadach digitalizacji obiektów dziedzictwa kulturowego [3]. W jego tekście nie ma jednak zbyt dużo szczegółów, które byłyby praktycznymi wskazówkami dla zespołów podejmujących praktyczne działania w warunkach laboratoryjnych lub w terenie. Jest mowa o znajomości poszczególnych technologii, aby je dobrze dobrać do wykonania stosownych prac, o zaplanowaniu sposobu udostępnienia kolekcji 3D docelowym użytkownikom oraz o zapewnieniu szerokiego dostępu publicznego, przechowywania i dystrybucji modeli 3D za pośrednictwem otwartych platform publicznych, jak również poprzez utrzymaniu ich w oparciu o posiadaną infrastrukturę informatyczną [3]. Są również pewne wskazania dotyczące standaryzacji formatów do zapisu i przechowywania obiektów cyfrowych 3D. Z analizy danych przedstawionych w pracy [4] wynika jednak, że do 2014 roku liczba obiektów udostępnionych w wersji 3D stanowiła mniej niż 0,25% wszystkich udostępnionych obiektów cyfrowych.

Dane te spowodowały, że w 2014 roku grupa pracowników Katedry Informatyki Politechniki Lubelskiej postanowiła założyć specjalistyczne laboratoria dotyczące digitalizacji 3D. Pierwsze z nich – laboratorium Akwizycji Ruchu i Ergonomii Interfejsów (LARI EI) prowadziło badania dotyczące kinematycznej cyfryzacji 3D tańców ludowych (technologia *motion capture*) [5], zaś drugie noszące w skrócie nazwę „Lab 3D” specjalizowało się w prowadzeniu różnego typu badań naukowych dotyczących zastosowania komputerowych technologii 3D w obszarze dziedzictwa kulturowego.

the work is performed in good conditions – in archives or library rooms.

The issue of 3D digitisation of cultural heritage objects has been noticed by many bodies, e.g. the European Commission Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, which prepared a document on the principles of digitisation of cultural heritage objects [3]. However, there is a little detail in the text that would provide practical guidance for teams undertaking practical activities in the laboratory or in the field. There is a discussion of individual technologies in order to select them well to perform appropriate work, of planning how to make 3D collections available to target users and ensuring wide public access, storage and distribution of 3D models via open public platforms, as well as maintaining them on the basis of existing IT infrastructure [3]. There are also some indications regarding the standardisation of formats for recording and storing 3D digital objects. However, the analysis of data presented in [4] shows that by 2014 the number of objects available in 3D version was less than 0.25% of all available digital objects.

In 2014 this state of affairs prompted a group of employees of the Department of Computer Science of the Lublin University of Technology to decide to establish specialised laboratories for 3D digitisation. The first of them – the Laboratory of Movement Acquisition and Ergonomics of Interfaces (LARI EI) conducted research on the kinematic 3D digitisation of folk dances (motion capture technology) [5], while the second one, referred to in short as "Lab 3D", specialised in conducting various types of scientific research regarding application of 3D computer technologies in the

Zespół naukowców związany z laboratorium „Lab 3D” prowadził prace dotyczące wykorzystania inżynierii odwrotnej (statyczne skanowanie 3D) do cyfryzacji materialnego dziedzictwa kulturowego małych i dużych obiektów na potrzeby ich wieczystej archiwizacji. Z powodzeniem wykonywał modele 3D obiektów na potrzeby druku 3D, cyfrowej rekonstrukcji 3D uszkodzonych i niekompletnych artefaktów muzealnych, tworzenia interaktywnych kopii modeli 3D na potrzeby osób niewidomych i z dysfunkcją wzroku. Przetwarzano cyfrowe modele 3D, tak aby zapewnić im interaktywność z użytkownikiem i wprowadzić je do świata rzeczywistości wirtualnej (VR) i rozszerzonej (AR), udostępnić poprzez umieszczenie ich na portalach internetowych lub wyświetlać w postaci panoram 2D. Wieloosobowy zespół zdobył swoje doświadczenie podczas ekspedycji badawczych na terenie Polski, Rumunii i, przede wszystkim, w krajach Azji Centralnej (Uzbekistan, Kazachstan, Kirgistan) [6, 7]. Pracownicy realizowali własne programy badawcze, ale również byli wykonawcami projektów międzynarodowych. Przykładowo, projekt finansowany przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej – “3D DIGITAL SILK ROAD” wykonany był wspólnie z naukowcami z czterema uniwersytetów z Uzbekistanu.

W realizowanych działaniach z obszaru cyfryzacji dziedzictwa kulturowego praca osób reprezentujących świat informatyki wymaga wsparcia przez pracowników reprezentujących nauki humanistyczne, takich jak historycy, historycy sztuki, muzealnicy, archeolodzy. Umiejętność tworzenia zespołów interdyscyplinarnych i wspólna praca to kompetencje społeczne, które okazały się nieodzowne, aby działania przyniosły oczekiwane wymierne rezultaty.

Zdobyte wieloletnie doświadczenie pozwoliło na podjęcie się realizacji tematu cyfryzacji 3D polskiego dziedzictwa kulturowego w USA i udostępnienia uzyskanych rezultatów na dedykowanym do tego celu

area of cultural heritage. A team of scientists associated with the "Lab 3D" laboratory carried out work on the use of reverse engineering (static 3D scanning) to digitise the material cultural heritage of small and large objects for the purposes of their perpetual archiving. The team has successfully created 3D models of objects for the purposes of 3D printing, digital 3D reconstruction of damaged and incomplete museum artefacts, and creation of interactive copies of 3D models for the needs of blind and visually impaired people. Digital 3D models were processed to ensure their interactivity with the user and introduced them to the world of virtual reality (VR) and augmented reality (AR), made available by placing them on Internet portals or displayed in the form of 2D panoramas. The multi-person team gained its experience during research expeditions in Poland, Romania and, above all, in the countries of Central Asia (Uzbekistan, Kazakhstan and Kyrgyzstan) [6, 7]. Employees carried out their own research programmes, but also international projects. For example, the project financed by Polish National Agency for Academic Exchange, "3D DIGITAL SILK ROAD", was carried out together with scientists from four universities in Uzbekistan.

In the activities carried out in the field of digitisation of cultural heritage, the work of people representing the world of computer science requires support from employees representing the humanities, such as historians, art historians, museologists and archaeologists. The ability to create interdisciplinary teams and work together are social competences that have proven to be essential for the activities to bring the expected measurable results.

The many years of experience gained allowed us to undertake the topic of 3D digitisation of Polish cultural heritage in the USA and make the results available on dedicated portals: [polskiedziedziectwo3d.pl](http://polskiedziedziectwo3d.pl) and

portalach WWW: [polskiedziedzictwo3d.pl](http://polskiedziedzictwo3d.pl) i [polishheritage3d.eu](http://polishheritage3d.eu). Zorganizowano interdyscyplinarny zespół składający się z naukowców-informatyków z Katedry Informatyki Politechniki Lubelskiej, historyków i historyków sztuki z Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II, a także z osób będącymi przedstawicielami Fundacji ECCC. Podczas trzech ekspedycji naukowych do USA zebrano około 3 TB danych cyfrowych (skany 3D i fotografie), a także wiele materiałów w postaci drukowanej lub ich cyfrowych kopii. Wspólna praca przyniosła wymierne rezultaty: kilkadziesiąt cyfrowych modeli 3D, wystawy fotograficzne pokazywane w Polsce i USA, artykuły i monografie naukowe, powszechne udostępnienie modeli 3D na opracowanych portalach internetowych, a także kontakty ze środowiskami polonijnymi. Działania te i rezultaty zostały wielokrotnie prezentowane przez stacje telewizyjne i radiowe zarówno w kraju, jak i w USA.

Materiał zamieszczony w monografii jest pewnym kompromisem między spojrzeniem na proces cyfryzacji 3D obiektów sakralnych, okiem informatyka (aspekty technologiczne, proceduralne, programistyczne), a także częściowo humanisty (aspekty historyczne dotyczące parafii, kościołów i ich architektury). Spośród wielu kościołów wybrano obiekty, które różniły się zasadniczo od siebie. Są to obiekty w dużych miastach i małych miejscowościach oraz kościoły wiejskie, świątynie tętniące życiem i takie, które otwierane są sporadycznie tylko na jedną mszę niedzielną, a nawet te już desakralizowane.

[polishheritage3d.eu](http://polishheritage3d.eu). An interdisciplinary team was organised consisting of computer scientists from the Department of Computer Science of the Lublin University of Technology, historians and art historians from the John Paul II Catholic University of Lublin, as well as representatives of the ECCC Foundation. During three scientific expeditions to the USA, approximately 3 TB of digital data (3D scans and photographs), as well as many materials in printed form or digital copies were collected. The joint work brought measurable results: several dozen digital 3D models, photographic exhibitions shown in Poland and the USA, scientific articles and monographs, widespread availability of 3D models on established Internet portals, as well as contacts with Polish communities. These activities and results have been repeatedly presented by television and radio stations both in Poland and in the USA.

The material included in the monograph is a compromise between looking at the process of 3D digitisation of sacred objects from the perspective of a computer scientist (technological, procedural and programming aspects) and partly from a humanist viewpoint (historical aspects regarding parishes, churches and their architecture). From among many churches, objects were selected that were fundamentally different from each other. These are structures in large cities and small towns, as well as rural churches, temples teeming with life, those that are opened occasionally only for one Sunday Mass, and even those that have already been desakralised.

## 1. Motywacja i projekt

### 1.1. Utrata religijnego kulturowego dziedzictwa ludzkości

W udokumentowanej historii ludzkości budynki związane z kultem religijnym były bardzo okazałe. Budowane latami (a niektóre setkami lat) były solidne, przynajmniej te, które dotrwały do naszych czasów, i wspaniale zdobione. Porzucone z czasem traciły wyposażenie, blask, a nawet przestały istnieć, zniszczone samoistnie, intencjonalnie lub też rozebrane na materiał budowlany.

Przykładowo, wspaniałe świątynie Egiptu (aczkolwiek nie wszystkie) przetrwały tysiąclecia i doczekały się ponownego odkrycia w wieku XIX naszej ery. Trochę minęło nim je okradziono i objęto ochroną, ale obecnie są badane, chronione, konserwowane i udostępniane szerokiemu ogółowi turystów.

Niektóre świątynie przetrwały tylko wyłącznie dzięki temu, że po zmianach geopolitycznych dalej były użyteczne. Przykładowo, jedna z najwspanialszych budowli starożytnego Rzymu – Panteon – przetrwała tylko dlatego, że uczyniono z niej kościół chrześcijański [8]. Takiego szczęścia nie miały inne budowle starożytnych, w tym Koloseum, rozgrabione, porzucone, niszczone siłami przyrody i rozbierane stopniowo w celu pozyskania materiałów budowlanych. Panteon w obecnym kształcie powstał około roku 125 n.e. jako świątynia ku czci wszystkich boskich patronów Rzymu, ale został w 609 roku подарowany papieżowi Bonifacemu IV stając się kościołem pw. Świętej Marii Panny od Męczenników [8]. Będąc tak używany i chroniony, pomimo późniejszych burzliwych czasów, przetrwał do dnia dzisiejszego. Oczywiście czas, wydarzenia historyczne, moda i religia chrześcijańska odcisnęły na nim swoje piętno.

Podobną historię ma pierwsza chrześcijańska bazylika – kościół Mądrości Bożej

## 1. Motivation and project

### 1.1. Loss of humanity's religious cultural heritage

Throughout recorded human history, religious buildings have been very impressive. Built over years (and some hundreds of years), they were solid, at least those that have survived to this day, and wonderfully decorated. Abandoned over time, they lost their furnishings, splendour, and even ceased to exist, destroyed spontaneously, intentionally, or dismantled for building materials.

For example, the great temples of Egypt (although not all of them) survived for millennia and were rediscovered in the 19th century AD. It took a while for them to be robbed and taken in custody, but now they are being researched, protected, preserved and made available to the general public.

Some temples survived only because they remained useful after geopolitical changes. For example, one of the greatest buildings in ancient Rome – the Pantheon – survived only because it was turned into a Christian church [8]. Other ancient buildings were not so lucky, including the Colosseum, which was looted, abandoned, destroyed by the forces of nature and gradually dismantled in order to obtain building materials. The Pantheon in its current form was built around 125 AD as a temple in honour of all the divine patrons of Rome, but it was donated to Pope Boniface IV in 609 AD, becoming the church of St. Saint Mary of the Martyrs [8]. Being thus used and protected, despite subsequent turbulent times, it has survived to this day. Of course, time, historical events, fashion and the Christian religion have left their mark on it.

The first Christian basilica has a similar history – the Church of the Wisdom of God

w Konstantynopolu, obecnie Hagia Sophia w Stambule [9]. Zbudowana była w IV wieku n.e., niszczonea wielokrotnie trzęsieniami ziemi, pożarami i wojnami, by wreszcie przybrać współczesny kształt w latach 989–991 [9]. Blisko 500 lat później, po zdobyciu Konstantynopola w 1453 roku została przez Turków natychmiast przemieniona na meczet. Rozbudowana o minarety, ze zmienionym wewnętrznym wystrojem przetrwała do dnia dzisiejszego jako meczet. W świeckiej Turcji, dzięki dekretowi prezydenta Mustafy Kemal Atatürk, w latach 1934–2020 świątynia była ogólnie dostępnym muzeum [9]. Podjęto wówczas prace związane z odsłonięciem wspaniałych bizantyjskich mozaik. Po tym krótkim epizodzie, Hagia Sophia znów stała się w 2020 roku islamskim meczetem mało dostępnym dla nie muzułmanów [9].

Innym przykładem burzliwych losów budynków kościelnych jest Katedra Świętych Apostołów Piotra i Pawła w Kamieńcu Podolskim. Zbudowana przez Polaków w XVI wieku, została przebudowana w stylu barokowych w latach 1646–1648 [10]. Po zdobyciu Kamieńca Podolskiego przez Turków Osmańskich w 1672 roku Katedrę przemianowano na meczet i dobudowano minaret. Do miana świątyni katolickiej powróciła po odzyskaniu przez Rzeczpospolitą Kamieńca Podolskiego w 1699 roku. Minaretu nie wyburzono, ze względu na warunki umowy pokojowej [10]. Na szczycie minaretu natomiast umieszczono posąg Matki Boskiej o wysokości 4,5 metra (o czym warunki umowy pokojowej nie wspominały). Niestety, w okresie rządania Kamieńcem Podolskim przez Rosję Sowiecką na początku XX wieku, Katedra, po ograbieniu, pełniła rolę muzeum (z krótkim okresem okupacji niemieckiej w latach 1941–1945, kiedy przywrócono jej pierwotną rolę), by ostatecznie powrócić jako miejsce kultu w 1990 roku już w Ukrainie [10].

Niestety, wiele zabytkowych świątyń zostało intencjonalnie zniszczone. Niechlubnym przykładem może służyć tu Rosja

in Constantinople, currently Hagia Sophia in Istanbul [9]. It was built in the 4th century AD, destroyed many times by earthquakes, fires and wars, and finally took on its modern shape in the years 989–991 [9]. Nearly 500 years later, after the conquest of Constantinople in 1453, it was immediately transformed into a mosque by the Turks. Extended with minarets, with a changed internal decoration, it has survived to this day as a mosque. In secular Turkey, thanks to the decree of President Mustafa Kemal Atatürk, the temple was a publicly accessible museum from 1934 to 2020 [9]. Work was then undertaken to reveal the magnificent Byzantine mosaics. After this short episode, Hagia Sophia again became an Islamic mosque in 2020, hardly accessible to non-Muslims [9].

Another example of the turbulent fate of church buildings is the Cathedral of the Holy Apostles Peter and Paul in Kamieniec Podolski. Built by Poles in the 16th century, it was rebuilt in the Baroque style in 1646–1648 [10]. After the city was captured by the Ottoman Turks in 1672, the Cathedral was renamed a mosque and a minaret was added. It returned to the name of a Catholic temple after Kamieniec Podolski was regained by the Polish-Lithuanian Commonwealth in 1699. The minaret was not demolished due to the terms of the peace agreement [10]. Instead at the top of the minaret there a 4.5-meter-high statue of the Virgin Mary has been added (which was not mentioned in the terms of the peace agreement). Unfortunately, during the period of Kamieniec Podolski's rule by Soviet Russia at the beginning of the 20th century, the Cathedral, after being robbed, served as a museum (with a short period of German occupation in 1941–1945, when its original role was restored), and finally returned as a place of worship in 1990 in Ukraine [10].

Unfortunately, many historic temples were intentionally destroyed. A disgraceful example here is Soviet Russia, which

Sowiecka, która w ramach walki z religiami zamykała cerkwie, kościoły, meczety i zakony. Budynki zamieniano na magazyny, stajnie, domy kultury lub nawet więzienia. W tym największym kraju świata zniszczono w ten sposób dziesiątki tysięcy obiektów dziedzictwa kulturowego. Drastycznym przykładem losu wielu zabytków sakralnych w Rosji Sowieckiej jest Katedrałny sobór Chrystusa Zbawiciela w Moskwie [11]. W wyniku 44 lat jego budowy powstała monumentalna budowla poświęcona na sobór w roku 1882. Sowieci w 1931 roku wysadzili go w powietrze, mając w planach zbudowanie na tym miejscu monumentalnego Pałacu Rad, który zresztą nigdy nie powstał z różnych przyczyn [11]. Na miejscu soboru zbudowano za to olbrzymi odkryty basen pływacki „Moskwa”. Po zmianach geopolitycznych, w latach 1994–2000 sobór odbudowano (a właściwie zbudowano od nowa) jako największą świątynię w Federacji Rosyjskiej [11]. Podobne, aczkolwiek nie tak szczęśliwe, są losy innych zabytków religijnych. Przykładowo, w 2001 roku lider Talibów zarządził eliminację wszystkich nie islamskich elementów w Afganistanie [12]. W konsekwencji, strzelając z dział zniszczono m.in. 50 metrowe rzeźby Buddy i skalny zakon w dolinie rzeki Bamian [12].

Niekiedy zabytkowe budynki religijne stają się ofiarami sukcesu rozwoju parafii. Stają się bowiem zbędne po wybudowaniu nowego, większego i lepszego obiektu kościelnego. Przykładowo, w rejonie rumuńskiego Marmaroszu ukształtował się styl drewnianych obiektów cerkiewnych, który w kolejnych wiekach stał się stylem upowszechnionym na inne regiony zamieszkałe przez Rumunów [13]. Niestety, nietrwałość materiału (drewno) i jego podatność na ogień, a także wiele zwichrowań politycznych w regionie, doprowadziło do utracenia większości z nich. Wg. [14] tylko w Banacie (południowo-zachodnia prowincja współczesnej Rumunii) w 1891 roku w tym regionie było około 200 drewnianych kościołów

closed churches, mosques and monasteries as part of the fight against religions. The buildings were turned into warehouses, stables, community centres or even prisons. In this largest country in the world, tens of thousands of cultural heritage objects were destroyed in this way. A drastic example of the fate of many religious monuments in Soviet Russia is the Cathedral of Christ the Saviour in Moscow [11]. As a result of 44 years of its construction, a monumental building was created, consecrated for the council in 1882. The Soviets blew it up in 1931, planning to build a monumental Palace of Councils on this site, which was never built for various reasons [11]. A huge outdoor swimming pool called "Moscow" was built on the site of the cathedral. After geopolitical changes, in 1994–2000 the cathedral was rebuilt (or rather built anew) as the largest temple in the Russian Federation [11]. The fate of other religious monuments is similar, although not as fortunate. For example, in 2001, the leader of the Taliban ordered the elimination of all non-Islamic elements in Afghanistan [12]. As a consequence, guns destroyed, among others, 50-meter-high Buddha sculptures and a rock monastery in the Bamyan River valley [12].

Sometimes historic religious buildings become victims of the success of parish development. They become redundant after the construction of a new, larger and better church facility. For example, in the Romanian region of Maramureş, a style of wooden church buildings was developed, which in the following centuries became popularised in other regions inhabited by Romanians [13]. Unfortunately, the impermanence of the material (wood) and its susceptibility to fire, as well as many political turmoils in the region, led to the loss of most of them. According to [14], in 1891 in Banat alone (a south-western province of modern Romania), there were about 200 wooden Uniate (Orthodox) churches in that

unickich (cerkwi), w 1929 już tylko 54, a obecnie – 25. W całej Rumunii tylko niewielką część tzw. cerkwi marmaroskich (tylko 8) wpisano na listę UNESCO Światowego Dziedzictwa Kulturowego i objęto ochroną [15]. Niektóre drewniane budynki kościelne niszczejają jako praktycznie porzucone. Dzieje się to w związku z tym, że parafie zbudowały nowe, murowane kościoły, a te stare stały się już niepotrzebne. Przy braku środków na ich ochronę i konserwację po prostu niszczejają. Są więc niejako ofiarami rozbudowy parafii.

Utrata funkcji religijnej nie zawsze musi być związana z wojnami, okupacją, powstaniem czy też antyreligijną państwową polityką. Często przyczyną są zmiany demograficzne, zmniejszenie liczby wiernych czy wreszcie laicyzacja społeczeństwa. W miastach stare dzielnice mieszkalne umiejscowione w centrach tracą swój mieszkalny charakter na rzecz biurowo-handlowego, a ich mieszkańcy przenoszą się do bardziej luksusowych dzielnic budowanych na obrzeżach miast lub wracają do kraju pochodzenia [16]. Na terenach wiejskich zmniejsza się zapotrzebowanie na pracowników rolnych w związku z postępem w budowie i wykorzystaniu maszyn. Zjawiska te powodują utratę ekonomicznych podstaw funkcjonowania kościołów, a nawet innych obiektów zabytkowych (np. teatrów czy muzeów). Utrata podstaw ekonomicznych funkcjonowania parafii różnych religii jest znamieniem współczesnych czasów. Brak środków na utrzymanie bardzo cennych niekiedy zabytków, przy braku wsparcia Państwa na terenie którego się one znajdują, doprowadza do stopniowej ich degradacji i wymusza na formalnych właścicielach drastyczne posunięcia prowadzące do ich desakralizacji i sprzedaży. W takim procesie cenne wyposażenie jest przemieszczane do innych kościołów a niekiedy sprzedawane na aukcjach. Budynek natomiast zmienia swoje przeznaczenie, bądź jest wyburzany by odzyskać działkę. Niekiedy budynek (zwykle

region, in 1929 there were only 54, and currently – 25. In all of Romania, only a small part of the so-called Maramureş churches (only 8) were included in the UNESCO World Cultural Heritage List and protected [15]. Some wooden church buildings are deteriorating as they are practically abandoned. This is due to the fact that parishes have built new brick churches, and the old ones have become unnecessary. If there are no funds for their protection and conservation, they simply deteriorate. They are, in a sense, victims of the expansion of the parish.

The loss of a religious function does not always have to be related to wars, occupation, uprisings or anti-religious state policy. Common reasons are demographic changes, a reduction in the number of believers and finally the secularisation of society. In cities, old residential districts located in the centres lose their residential character in favour of office and commercial character, and their inhabitants move to more luxurious districts built on the outskirts of cities or return to their country of origin [16]. In rural areas, the demand for agricultural workers is decreasing due to progress in the construction and use of machines. These phenomena result in the loss of the economic basis for the functioning of churches and even other historic buildings (e.g. theatres or museums). The loss of the economic basis for the functioning of parishes of various religions is a hallmark of modern times. The lack of funds to maintain sometimes very valuable monuments, in the absence of support from the state in which they are located, leads to their gradual degradation and forces the formal owners to take drastic steps leading to their desacralisation and sale. In such a process, valuable equipment is moved to other churches and sometimes sold at auctions. However, the building changes its purpose or is demolished to regain the plot. Sometimes a building (usually in the case of low-value plots and buildings) is abandoned and decays over time without an owner. Such

dotyczy to mało cennych działek i budynków) jest porzucany i z czasem niszczeje bez właściciela. Procesy takie ostatnio nasiliły się w Europie Zachodniej i na kontynencie Ameryki Północnej, ale też i w innych regionach świata.

## 1.2. Zabytki sakralne Polonii w USA

Kolejne fale emigracji z Polski tworzyły Polonię w USA przez prawie dwa ostatnie wieki zeszłego tysiąclecia. Polacy nie byli jedynymi – społeczeństwo USA powstawało jako połączenie wielu narodowości głównie z Europy, a następnie z Ameryki Środkowej i Południowej i Afryki. Powstawały wspólnoty narodowe. Bardzo często tworzyły one swoje enklawy w miastach i na terenach wiejskich. Każda taka wspólnota składająca się z Polaków (a przed I wojną światową z Kaszubów, Mazurów czy Górali z Galicji) tworzyła parafię i budowała swój kościół. Kościoły (i otaczające je domy parafialne i szkoły katolickie) powstawały za środki parafian, często bardzo ciężko pracujących.

Poza terenami rolnymi (np. stan Wisconsin) Polacy osiedlali się przede wszystkim w dużych miastach przemysłowych krainy Wielkich Jezior Amerykańskich takich jak Chicago, Detroit czy Milwaukee, a także wschodniego wybrzeża USA, w tym w Nowym Yorku, Bostonie i Filadelfii.

Jak się szacuje, w Stanach Zjednoczonych mieszka ponad 10 mln. osób pochodzenia polskiego [17], z czego blisko 1,8 mln w mieście Chicago. W skupiskach Polonijnych powstało ponad 1000 placówek duszpasterskich i kilkaset kościołów [18]. Niepełna lista polskich parafii (tj. kościołów w których msze święte były odprawiane w języku polskim w 2020 roku) w Stanach Zjednoczonych zawiera 260 wpisów [19]. Poza największymi z nich, depopulacja i zmniejszanie liczby parafian dotyczy ich wszystkich.

processes have recently intensified in Western Europe and the North American continent, but also in other regions of the world.

## 1.2. Religious monuments of the Polish diaspora in the USA

Successive waves of emigration from Poland created the Polish community in the USA for most of the last two centuries of the last millennium. Poles were not the only ones – US society was created as a combination of many nationalities, mainly from Europe, and then from Central and South America and Africa. National communities were established. Very often they created their enclaves in cities and rural areas. Each such community consisting of Poles (and before World War I of Kashubians, Masurians and Highlanders from Galicia) created a parish and built its own church. Churches (and the parish houses and Catholic schools surrounding them) were built with the funds of parishioners, who often worked very hard.

Apart from agricultural areas (e.g. Wisconsin), Poles settled primarily in large industrial cities of the American Great Lakes region, such as Chicago, Detroit and Milwaukee, as well as the eastern coast of the USA, including New York, Boston and Philadelphia.

It is estimated that over 10 million people of Polish origin live in the United States [17], including nearly 1.8 million in the city of Chicago. Over 1,000 pastoral institutions and several hundred churches were established in Polish communities [18]. The incomplete list of Polish parishes (i.e. churches where masses were celebrated in Polish in 2020) in the United States contains 260 entries [19]. Apart from the largest of them, depopulation and reducing the number of parishioners affects all of them.



Kościół budowane przez Polonię są bardzo różnorodne – odwzorowują bowiem potrzeby parafii z momentu ich powstania. Można wśród nich znaleźć monumentalne, bogato zdobione olbrzymie kościoły (na 1000–2000 miejsc siedzących o wnętrzach długości 80–100 metrów), a także małe kościółki w wiejskich miejscowościach standardowo wykończone. Te duże stworzyły swój styl, zwany polskimi katedrami [20, 21]. Są one porozrzucane po całym regionie Wielkich Jezior i Środkowego Atlantyku [21]. Najwięcej z nich jest w Chicago (18) i Detroit (11) [21]. Do najbardziej znanych należą: Kościół Trójcy Świętej, Bazylika św. Jacka, Kościół Św. Wojciecha, Kościół Matki Boskiej Anielskiej i Kościół św. Stanisława Kostki (pierwsza polska parafia w Chicago – „kościół matka” polskiej społeczności). Niestety im większy kościół tym większe koszty jego utrzymania, co powoduje że są one szczególnie narażone na utratę. Podobny los spotyka także małe kościoły położone na terenach wiejskich. Były one budowane jak w okolicznych miasteczkach mieszkało 2000 polskich rodzin, a teraz liczba wszystkich mieszkańców nie przewyższa 300. Porządnie zbudowane trwają jeszcze pośród wielkiej równiny i lasów stanów Illinois, Wisconsin, Iowa i Nebraska, ale to tylko kwestia czasu...

### **1.3. Interdyscyplinarny projekt cyfryzacji w technologii 3D zabytków Polonii w USA**

Pomysł projektu powstał jako synergia dwóch czynników:

- 1) Dotychczasowych doświadczeń i osiągnięć zespołu Katedry Informatyki Politechniki Lubelskiej w obszarze cyfryzacji 3D różnych obiektów dziedzictwa kulturowego, w tym i organizacji z sukcesem ekspedycji badawczych w odległe zakątki świata.
- 2) Informacji otrzymanej od dr hab. Jacka Gołębiowskiego, prof. Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła

Churches built by the Polish community are very diverse – they reflect the needs of the parish at the time of their creation. Among them, we can find monumental, richly decorated huge churches (for 1,000–2,000 seats, with interiors 80–100 meters long), as well as small churches in rural towns with standard finishing. The large ones created their own style, called Polish cathedrals [20, 21]. They are scattered throughout the Great Lakes and Mid-Atlantic regions [21]. Most of them are in Chicago (18) and Detroit (11) [21]. The most famous are: Church of the Holy Trinity, Basilica of St. Hyacinth, Church of St. Adalbert, Church of St. Lady of the Angels and Church of St. Stanislaus Kostka (the first Polish parish in Chicago – the "mother church" of the Polish community). Unfortunately, the larger the church, the higher its maintenance costs, which makes them particularly vulnerable to loss. Small churches located in rural areas also suffer a similar fate. They were built when 2,000 Polish families lived in the surrounding towns, and now the total number of inhabitants does not exceed 300. They are well-built and still standing among the great plains and forests of the states of Illinois, Wisconsin, Iowa and Nebraska, but it is only a matter of time...

### **1.3. An interdisciplinary project of 3D digitisation technology of Polish monuments in the USA**

The project idea was created as a synergy of two factors:

- 1) Previous experiences and achievements of the team of the Department of Computer Science of the Lublin University of Technology in the area of 3D digitisation of various cultural heritage objects, including the organisation of successful research expeditions to remote places of the world.
- 2) Information received from Ph.D., D.Sc. Jacek Gołębiowski, professor at the

II (KUL) i dyrektora Ośrodka Badań nad Polonią i Duszpasterstwem Polonijnym KUL o ukończonym projekcie badawczym pt. „Portal Parafie polskie w USA – inwentaryzacja cyfrowa i upowszechnianie wiedzy na temat polskiego dziedzictwa w Stanach Zjednoczonych” zrealizowanym w latach 2017–2021 [18]. Projekt był dofinansowany ze środków Programu Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego Ochrona Dziedzictwa Kulturowego za Granicą.

W ww. projekcie KUL, cyfryzacja dotyczyła robienia cyfrowych zdjęć 2D wyglądu kościołów i skanowaniu 2D dokumentów związanych z ich parafiami. Poza tym, głównym celem było stworzenie portalu internetowego upowszechniającego wiedzę na temat polskiego dziedzictwa w Stanach Zjednoczonych [18].

Idea cyfryzacji dziedzictwa Polonii w USA, ale już w technologii 3D z wysoką dokładnością odwzorowania geometrii powierzchni i jej kolorów, którą to opanował zespół Katedry Informatyki Politechniki Lubelskiej, wydała się tak nowatorska, że postanowiono zaproponować projekt w programie Ministra Edukacji i Nauki: „Nauka dla społeczeństwa”, obszar: „Humanistyka-Społeczeństwo-Tożsamość”. Ta „Tożsamość” była przewodnim motywem propozycji skanowania 3D dziedzictwa kulturowego Polonii w USA (w tym zagrożonego utratą z przyczyn demograficznych) oraz jego popularyzacji. Projekt został złożony, i uzyskano jego finansowanie, pod tytułem: [„Badania nad narodowym dziedzictwem kulturowym Polonii w USA i utworzenie cyfrowych zbiorów pamięci” \(nr NdS/545613/2022/2022\).](#)

Projekt ze swojej natury jest interdyscyplinarny. Do realizacji prac merytorycznych zatem przewidziano w nim dwa zespoły badawcze: historyków sztuki

John Paul II Catholic University of Lublin (KUL) and the director of the Centre for Research on Polish Diaspora and Polish Pastoral Care of the Catholic University of Lublin about the completed research project entitled "Portal of the Polish Parishes in the USA – digital inventory and dissemination of knowledge about Polish heritage in the United States" implemented in 2017–2021 [18]. The project was co-financed by the Programme of the Minister of Culture and National Heritage – Protection of Cultural Heritage Abroad.

In the above KUL project, digitisation involved taking digital 2D photos of the appearance of churches and 2D scanning of documents related to their parishes. In addition, the main goal was to create an Internet portal disseminating knowledge about Polish heritage in the United States [18].

The idea of digitising the heritage of the Polish diaspora in the USA, but already in 3D technology with high accuracy of mapping the surface geometry and its colours, which was mastered by the team of the Department of Computer Science of the Lublin University of Technology, seemed so innovative that it was decided to propose a project in the programme of the Minister of Education and Science: "Science for society", area: "Humanities-Society-Identity". This "Identity" was the leitmotif of the proposal to 3D scan the cultural heritage of the Polish diaspora in the USA (including those at risk of loss for demographic reasons) and its popularisation. The project was submitted and financed under the title: ["Research on the national cultural heritage of the Polish diaspora in the USA and the creation of digital memory collections" \(no. NdS/545613/2022/2022\).](#)

The project is, by its nature, interdisciplinary. Therefore, two research teams were planned to carry out project work: art historians from the John Paul II Catholic University

z Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego i informatyków z Politechniki Lubelskiej.

W związku z tym, że Fundacja ECCC była sponsorem projektu pt. „Portal Parafie polskie w USA – inwentaryzacja cyfrowa i upowszechnianie wiedzy na temat polskiego dziedzictwa w Stanach Zjednoczonych” [18], podjęto decyzję by to ona była koordynatorem projektu.

Propozycja została złożona i przyjęta do finansowania ze zmniejszeniem budżetu. Po dostosowaniu zakresu do nowego budżetu została podpisana umowa na realizację projektu w latach 2022–24.

W ramach projektu przewidziano następujące zadania:

- organizacja i realizacja trzech wypraw naukowych do USA w celu pozyskania danych 3D i kwerend historycznych o minimum 15. kościołach zbudowanych przez Polonię (w tym tych zagrożonych utratą);
- obróbka danych 3D pozyskanych w trakcie wypraw naukowych i budowa modeli 3D obiektów;
- obróbka kwerend historycznych pozyskanych w trakcie wypraw naukowych;
- przygotowanie i organizacja min. trzech wystaw fotograficznych prezentujących i popularyzujące zrealizowane prace;
- opracowanie i utrzymanie portalu internetowego z rezultatami prac (w tym z cyfrowymi zbiorami pamięci oraz danymi historycznymi o obiektach);
- opracowanie i publikację dwóch monografii naukowych (po jednej w obszarach: informatyki i humanistyki).

of Lublin and computer scientists from the Lublin University of Technology.

Due to the fact that the ECCC Foundation was the sponsor of the project entitled "Portal Polish Parishes in the USA – digital inventory and dissemination of knowledge about Polish heritage in the United States" [18], it was decided that the foundation would be the coordinator of the project.

The proposal was submitted and approved for funding with a budget reduction. After adapting the scope to the new budget, a contract was signed for the implementation of the project in 2022–24.

The project includes the following tasks:

- organisation and implementation of three scientific expeditions to the USA in order to obtain 3D data and historical queries about a minimum of 15 churches built by the Polish community (including those at risk of loss);
- processing 3D data obtained during scientific expeditions and building 3D models of objects;
- processing historical queries obtained during scientific expeditions;
- preparation and organisation of, among others. three photographic exhibitions presenting and popularising the completed works;
- development and maintenance of an internet portal with the results of work (including digital memory collections and historical data about objects);
- preparation and publication of two scientific monographs (one each in the areas of computer science and humanities).

## 2. Metody skanowania 3D dużych i bogatych w szczegóły obiektów

Wśród dużych obiektów dziedzictwa materialnego, które są w kręgu zainteresowań historyków sztuki, historyków i archeologów należy wymienić obiekty sakralne (murowane kościoły i zespoły klasztorne, cerkwie i kościoły drewniane, kapliczki, meczety, mauzolea, synagogi), obiekty obronne (zamki, kasztele, twierdze), obiekty użyteczności publicznej (ratusze, medresy, szkoły), zabudowę miejską (rynkі, ulice, pojedyncze kamienice) oraz stanowiska archeologiczne. Skanowanie może oczywiście dotyczyć obiektu jako całości – dąży się wtedy do uzyskania cyfrowego modelu 3D bryły obiektu, ale również jego wnętrza. Przykłady prac skanowania 3D dużych i bogatych w szczegóły obiektów architektonicznych realizowanych przez zespół „Lab3D” przedstawia rysunek 2.1.

Spśród używanych współcześnie metod skanowania 3D dużych obiektów należy zwrócić uwagę na dwie dominujące technologie: naziemne skanowanie laserowe (TLS) oraz naziemną i powietrzną fotogrametrię bliskiego zasięgu. Obie te technologie są w stanie przechwycić informacje zarówno o geometrii powierzchni digitalizowanych obiektów, jak i o ich kolorze i teksturze. Te ostatnie informacje są szczególnie istotne przy tworzeniu cyfrowych modeli 3D znamionujących się foto realizacyjnością, co jest bardzo istotne przy tworzeniu cyfrowych ekspozycji muzealnych czy internetowych. O różnych metodach skanowania traktuje wiele publikacji naukowych [22–25].

## 2. Methods of 3D scanning of large and detailed objects

Large objects of material heritage that are of interest to art historians, historians and archaeologists include sacral buildings (brick churches and monastery complexes, wooden churches (Eastern or Western), chapels, mosques, mausoleums, synagogues), defensive structures (castles, keeps, fortresses), public buildings (town halls, madrasas, schools), urban development (markets, streets, individual tenement houses) and archaeological sites. Scanning can, of course, concern the object as a whole – the aim is to obtain a digital 3D model of the object's body, but also its interior. Examples of 3D scanning of large and detailed architectural objects carried out by the "Lab3D" team are shown in Figure 2.1.

Among the currently used methods of 3D scanning large objects, attention should be paid to two dominant technologies: terrestrial laser scanning (TLS) and terrestrial and aerial short-range photogrammetry. Both of these technologies are able to capture information about the surface geometry of digitised objects, as well as their colour and texture. The latter information is particularly important when creating digital 3D models that are photo-realistic, which is very important when creating digital museums or online exhibitions. Many scientific papers [22–25] discuss various scanning methods.



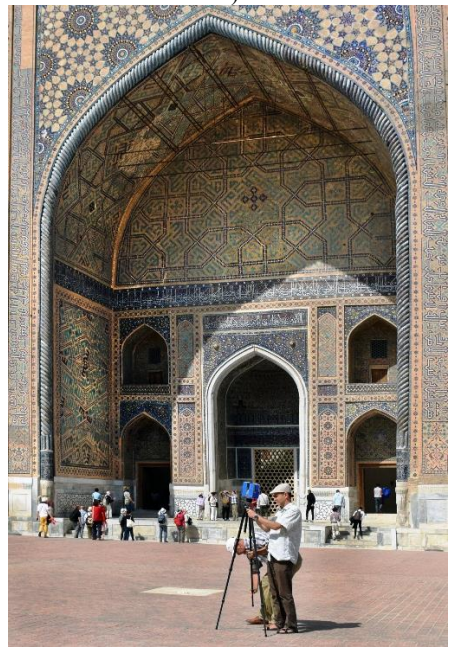
a)



c)



b)



d)

Rysunek 2.1. Skanowanie 3D: a) kościół św. Stanisława Biskupa i Męczennika, Milwaukee, USA, b) Mauzoleum Shahi Zinda, Samarkanda, Uzbekistan, c) cerkiew św. Archaniołów Michała i Gabriela, Târgușor, Rumunia, d) Madresa Ulug Bega, Registan, Samarkanda, Uzbekistan.

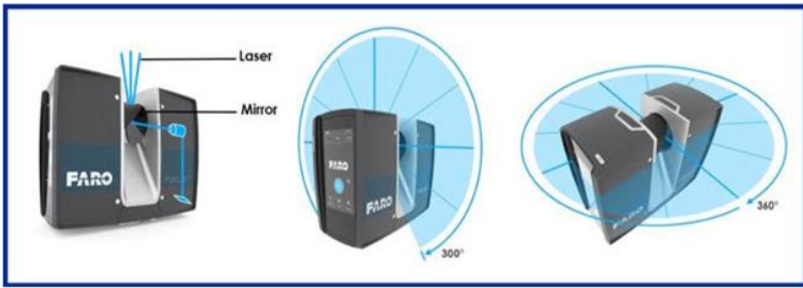
Figure 2.1. 3D scanning: a) church. St Stanislaw the Bishop and Martyr, Milwaukee, USA, b) Shahi Zinda Mausoleum, Samarkand, Uzbekistan, c) Orthodox church of St Archangels Michael and Gabriel, Târgușor, Romania, d) Madrasa of Ulugh Beg, Registan, Samarkand, Uzbekistan.

## 2.1. Nazemne skanowanie laserowe

Skanowanie laserowe polega na emitowaniu z urządzenia promienia lasera (najczęściej w zakresie podczerwieni) i przechwyceniu go po odbiciu od pierwszej napotkanej powierzchni. Skanery służące do digitalizacji obiektów architektonicznych (bryła zewnętrzna i wnętrze) charakteryzują się realizacją pomiaru w zakresie od około 50 cm do kilkuset metrów (70–350 m). Uzyskanie informacji o czasie od wyemitowania do powrotu promienia (ang. *time of flight*) lub przesunięciu fazy promienia (ang. *phase shift*) pozwala na wyliczenie odległości od urządzenia do punktu powierzchni, w który trafił promień wyemitowany. Ich sposób działania opisuje w zasadzie klasyczny dalmierz laserowy. W przypadku skanera 3D urządzenie znajdujące się na statywie obraca się wokół osi pionowej, zaś lustro kierujące promień lasera na obiekt wiruje wokół osi poziomej – rysunek 2.2. Tak więc po włączeniu urządzenia uzyskuje się chmurę punktów odwierciedlającą digitalizowane powierzchnie znajdujące się wokół urządzenia. Konstrukcyjnie, niedostępny jest obszar znajdujący się bezpośrednio pod statywem, na którym umieszczone jest urządzenie. Powierzchnie zasłonięte przez elementy konstrukcyjne lub dekoracyjne, tj. niewidoczne z danej lokalizacji skanera, nie będą także mierzone. Aby można pobrać informacje o nich należy wykonać skanowanie umieszczając urządzenie w nowej lokalizacji. Do pełnego zebrania informacji o obiekcie należy wykonać serię skanów (czasami jest to nawet kilkadziesiąt skanów).

## 2.1. Terrestrial laser scanning

Laser scanning involves emitting a laser beam from the device (usually in the infrared range) and capturing it after its reflection off the first surface it encounters. Scanners used to digitise architectural objects (external shape and interior) are characterised by measurements ranging from approximately 50 cm to several hundred meters (70–350 m). Obtaining information about the time from the moment of emission to the return of the ray (time of flight) or phase shift allows the calculation of the distance from the device to the point on the surface where the emitted ray hit. This method of operation is basically described by a classic laser rangefinder. In the case of a 3D scanner, the device located on a tripod rotates around the vertical axis, and the mirror directing the laser beam at the object rotates around the horizontal axis (Figure 2.2). Thus, on turning on the device, we get a point cloud reflecting the digitised surfaces around the device. Structurally, the area directly under the tripod on which the device is placed is inaccessible. Surfaces covered by structural or decorative elements, i.e. invisible from a given scanner location, will also not be measured. To gather information about them, one must perform a scan by placing the device in a new location. To fully collect information about an object, a series of scans must be performed (sometimes even several dozen scans).



Rysunek 2.2. Rotacja pozioma i pionowa skanera laserowego na przykładzie skanera z rodziny FARO [22].

Figure 2.2. Horizontal and vertical rotation of a laser scanner on the example of a FARO family scanner [22].

Realizacja skanowania każdego obiektu oprócz najprostszycy kształtów wiąże się więc z wykonaniem serii skanów tego samego obiektu z różnych pozycji skanera. W trakcie realizacji tej serii obiekt skanowany nie może zmieniać swojego kształtu, inaczej późniejsze dopasowanie poszczególnych skanów było by mocno utrudnione. W przypadku budowli sakralnych nie ma obawy o zmianę kształtu czy położenia większości elementów wystroju jak ołtarze, witraże, malowidła. Jednocześnie istotnym zakłóceniem może być dokonywana zmiana wystroju związana z nadchodzącym wydarzeniem (przygotowania do mszy, adoracji, występ chóru itp.). Konieczne jest takie zaplanowanie czasu skanowania oraz odpowiednie ustalenia z władzami obiektu aby uniknąć takich sytuacji.

Istotnym czynnikiem jest również zmiana oświetlenia – jakkolwiek nie wpływa ona na samo gromadzenie danych o kształcie obiektu (laser podczerwony jest sam źródłem światła i nie wymaga dodatkowego oświetlenia, szczególnie w zakresie widzialnym) to etap zapisu kolorystyki polegający na wykonaniu serii klasycznych zdjęć cyfrowych jest uzależniony od natężenia światła wokół skanera. Zmiany tego oświetlenia będą wpływać na różnice w jasności tych samych powierzchni obiektu na różnych skanach, co może spowodować nieciągłości jasności przy generowaniu całościowego modelu. Aby zminimalizować ten problem skanowanie wnętrza

Scanning any object, apart from the simplest shapes, therefore involves performing a series of scans of the same object from different positions of the scanner. During this series, the scanned object cannot change its shape, otherwise subsequent matching of individual scans would be very difficult. In the case of religious buildings, there is no fear of changing the shape or position of most decorative elements such as altars, stained glass windows, paintings. At the same time, however, a significant disruption may be a change in the decor related to an upcoming event (preparations for mass, adoration, choir performance, etc.). It is necessary to plan the scanning time and make appropriate arrangements with the site authorities to avoid such situations.

The change in lighting is also an important factor – although it does not affect the collection of data about the shape of the object (the infrared laser is itself a light source and does not require additional lighting, especially in the visible range), the stage of colour recording, which involves taking a series of classic digital photos, depends on light intensity around the scanner. Changes in this illumination will result in differences in brightness of the same object surfaces in different scans, which may result in brightness discontinuities when generating the overall base model. To minimise this problem, scanning the interior of the facility is most often performed with all

obiekty odbywa się najczęściej przy włączonym całym dostępnym oświetleniu wewnętrznym, które zapewnia uzyskanie wystarczającego poziomu oświetlenia większości powierzchni obiektu niezależnie od zmieniających się warunków zewnętrznych.

Ekipa realizująca skanowanie ma niewielki wpływ na warunki pogodowe i ich zmiany podczas sesji skanowania. W przypadku bryły zewnętrznej największym problemem może być wystąpienie opadów lub takie ustawienie słońca że oślepi urządzenie podczas pobierania kolorystyki. W przypadku wnętrza typowe ustawienie nawy kościoła wschodnio-zachodnie (prezbiterium w kierunku wsch.) powoduje znaczące różnice w jasności okien i witraży znajdujących się na południowej i północnej ścianie, co pociąga za sobą zmianę wypadkowej jasności i różnice w jasności powierzchni obiektu o różnych porach. Rolą operatorów jest taka modyfikacja kolejności realizowanych skanów aby unikać tego typu problemów jeśli tylko jest to możliwe. Istnieje również możliwość kompensacji części z tych różnic na etapie przetwarzania danych i budowy modeli.

Na rynku znajduje się kilka efektywnych konstrukcji skanerów typu TLS. Patrząc historycznie na dostępne urządzenia należy wymienić skaner firmy Leica, model HDS 3000 z 2006 roku [26, 27] i inne o zasięgu do 300 m. Urządzenie pozwalało uzyskiwać 4 tys. punktów w czasie jednej sekundy (na tamte czasy były to bardzo dobre osiągi) zbierając dane o geometrii powierzchni i jej kolorze. Skaner nie był autonomiczny, musiał być podłączony do laptopa, a baterie zasilające miały rozmiar akumulatora samochodowego (rysunek 2.3).

available internal lighting turned on, which ensures a sufficient level of illumination of most of the facility's surfaces regardless of changing external conditions.

The team carrying out the scanning has little influence on the weather conditions and their changes during the scanning session. In the case of an external structure, the biggest problem may be the occurrence of rainfall or the setting of the sun in such a way that it blinds the device when collecting colours. In the case of the interior, the typical east-west orientation of the church nave (presbytery towards the east) causes significant differences in the brightness of the windows and stained glass windows located on the southern and northern walls, which results in a change in the resultant brightness and differences in the brightness of the object's surface at different times. The operators' role is to modify the order of scans performed in such a way as to avoid this type of problems whenever possible. It is also possible to compensate some of these differences at the stage of data processing and model building.

There are several effective TLS scanner designs on the market. Looking historically at the available devices, we should mention the Leica scanner, the HDS 3000 model from 2006 [26, 27] and others with a range of up to 300 m. The device allowed for obtaining 4,000 points in one second (at that time these were very good results), collecting data on both the surface geometry and its colour. The scanner was not autonomous, it had to be connected to a laptop, and the power batteries were the size of a car battery (Figure 2.3).





Rysunek 2.3. Skaner Leica, model HDS 3000 z 2006 roku [26].

Figure 2.3. Leica scanner, model HDS 3000 from 2006 [26].

Współczesne skanery tego typu są urządzeniami autonomicznymi, co oznacza, że mają własne zasilanie akumulatorowe, program obsługujący znajduje się w pamięci urządzenia, dane zapisywane są na wewnętrzny dysk lub wymienne karty i nie wymagają podłączenia do zewnętrznego komputera. Urządzenia te poprzez dedykowane aplikacje i zainstalowane źródło łączności wifii mogą być sterowane na odległość poprzez smartfony lub tablety. Należy jednak pamiętać, że zastosowanie takiego rozwiązania pobiera dodatkowo energię z akumulatora i skraca znacząco czas pracy urządzenia (nawet o 15%). Przykładowe współczesne rozwiązania to skanery firmy Leica: Leica Rtc360, Leica Scanstation P50, Leica Scanstation P30/P40 przedstawiono na rysunku 2.4.

Modern scanners of this type are autonomous devices, which means that they have their own battery power supply, the operating program is located in the device's memory, data are saved to the internal disk or replaceable cards and do not require connection to an external computer. These devices, through dedicated applications and an installed Wi-Fi connection source, can be controlled remotely via smartphones or tablets. However, it should be remembered that using such a solution additionally consumes energy from the battery and significantly shortens the operating time of the device (by up to 15%). Examples of modern solutions include Leica scanners: Leica Rtc360, Leica Scanstation P50 or Leica Scanstation P30/P40, shown in Figure 2.4.



Rysunek 2.4. Skanery firmy Leica [28]: a) Rtc360, b) Leica Scanstation P50, c) Leica Scanstation P30/P40.

Figure 2.4. Leica scanners [28]: a) Rtc360, b) Leica Scanstation P50, c) Leica Scanstation P30/P40.

Współczesne skanery potrafią zbierać dane z prędkością od 1 do 2 mln. punktów na sekundę na odległość do 130 m, są w pełni autonomiczne, a ich masa z akumulatorami nie przekracza 6 kg. Temperatura otoczenia pracy urządzenia wynosi od -5 do 40° C. Nastawienie parametrów digitalizowania jest zautomatyzowane i umożliwia wybór jednej z trzech możliwości. Parametry digitalizowania są kompromisem między szybkością skanowania, jego rozdzielczością, a dokładnością. Przy wyborze rozdzielczości do 6 mm na 10 m dystansu czas skanowania pełnej strefy z pojedynczego ustawienia urządzenie nie przekracza 3. min. wraz z pozyskaniem obrazów o standardzie HDR [28, 29]. Skanery Leica współpracują z dedykowanymi aplikacjami mobilnymi, które pozwalają na efektywną obróbkę pozyskanych chmur punktów [29].

Na rynku polskim dostępny jest również skaner Artec 3D Ray II, firmy Artec, która do niedawna była znana jako producent urządzeń pracujących w technologii światła strukturalnego, przeznaczonych do digitalizacji obiektów o rozmiarach od kilkunastu centymetrów do 2–3 metrów (w zależności od modelu) [30] (rysunek 2.5). Skaner ten pracuje do odległości 130 m, a jego parametry użytkowe są porównywane z parametrami skanerów firmy Leica.

Modern scanners can collect data at a speed of 1 to 2 million. points per second at a distance of up to 130 m, are fully autonomous, and their weight with batteries does not exceed 6 kg. The ambient temperature of the device is from -5 to 40° C. Setting the digitising parameters is automated and allows to choose one of three options. Digitising parameters are a compromise between scanning speed, resolution and accuracy. When selecting a resolution of up to 6 mm at a distance of 10 m, the scanning time of the entire zone from a single setting does not exceed 3 minutes along with acquiring images with the HDR standard [28, 29]. Leica scanners cooperate with dedicated mobile applications that allow for effective processing of acquired point clouds [29].

The Artec 3D Ray II scanner is also available on the Polish market, manufactured by Artec, which until recently was known as a manufacturer of devices using structured light technology, intended for digitising objects ranging in size from several centimeters to 2–3 meters (depending on the model) [30] (Figure 2.5). This scanner works up to a distance of 130 m, and its operating parameters are compared with those of Leica scanners.



Rysunek 2.5. Skaner firmy Artec, model Artec 3D Ray II [30].

Figure 2.5. Artec scanner, Artec 3D Ray II model [30].

W Polsce najbardziej znane są skanery firmy FARO [31], które są dostępne od 2010 roku. W kolejnych latach pojawiały się nowe urządzenia, np. FARO Focus Plus 350, FARO Fokus S, Faro Premium 150 – modele X330 oraz X350 – rysunek 2.6.

In Poland, the most famous are FARO scanners [31], which have been available since 2010. In the following years, new devices appeared, e.g. FARO Focus Plus 350, FARO Fokus S or Faro Premium 150 – models X330 and X350 (Figure 2.6).



a)



b)

Rysunek 2.6. Skaner FARO Fokus Premium podczas digitalizacji: a) wnętrze kościoła Św. Piotra, Stevens Point, WI, USA, b) kościół Św. Wawrzyńca, Wisconsin Rapids, WI, USA.

Figure 2.6. FARO Focus Premium scanner during digitisation: a) interior of St Peter's church, Stevens Point, WI, USA, b) St Laurence's church, Wisconsin Rapids, WI, USA.

Skanery FARO Fokus X, a także następne modele, bardzo dobrze sprawdzają się zarówno przy skanowaniu zewnętrznych brył obiektów [32], wewnątrz obiektów o bardzo zróżnicowanej strukturze (występowanie dużej ilości większych i mniejszych detali dekoracyjnych) [33] wykonanych z bardzo różnych

The FARO Focus X scanners, as well as subsequent models, are very suitable for scanning both external solid objects [32], the interiors of objects with very different structures (the presence of a large number of larger and smaller decorative details) [33] made of very different materials (with

materiałów (o różnych właściwościach: pochłaniające światło – drewno, o dużym odbiciu – marmury, witraże), jak i dużych pojedynczych artefaktach, np. posągi, rzeźby [34].

## 2.2. Fotogrametria

Fotogrametria [35] lub technika: struktura z ruchu (*Structure from Motion* (SfM)) [36] to technologie akwizycji informacji o obiektach trójwymiarowych (ich kształcie i teksturach/kolorze) poprzez proces rejestracji, pomiaru i interpretacji obrazów fotograficznych 2D. W obu przypadkach (przez wielu badaczy nazwy te są traktowane jako synonimy i stosowane zamiennie), zbiór zdjęć 2D służy do budowania cyfrowych siatkowych modeli 3D. Technologia SfM należy do tzw. technologii niskokosztowych, ponieważ zbiór zdjęć może obecnie zostać wykonany przy pomocy dość tanich kamer fotograficznych lub nawet aparatów wmontowanych do smartfonów. Termin nisko kosztowy może sugerować, że uzyskane modele 3D będą nienajlepszej jakości, co nie do końca jest prawdą. Jakość modeli zależy przede wszystkim od liczby wykonanych zdjęć, ich jakości, kompletności zbioru zdjęć i zastosowanego oprogramowania. W artykule [37] pokazano, że jakość uzyskanych cyfrowych modeli 3D, tych samych artefaktów muzealnych z obszaru Jedwabnego Szlaku wygenerowanych przez dwie zupełnie różne technologie: SfM i skanowanie w technologii światła strukturalnego, jest właściwa. Kształt i tekstura w modelach 3D zostały dobrze odwzorowane w porównaniu do obiektów oryginalnych – rysunek 2.7.

different properties: light-absorbing, e.g. wood, light-reflecting, e.g. marble or stained glass), as well as large individual artefacts, e.g. statues, sculptures [34].

## 2.2. Photogrammetry

Photogrammetry [35] or Structure from Motion (SfM) [36] are technologies for acquiring information about three-dimensional objects (their shape and textures/colour) through the process of registration, measurement and interpretation of 2D photographic images. In both cases (by many researchers these names are treated as synonyms and used interchangeably), the set of 2D photos is used to build digital 3D mesh models. SfM technology belongs to the so-called low-cost technologies, because a collection of photos can currently be taken using quite cheap cameras or even cameras built into smartphones. The term low-cost may suggest that the resulting 3D models will be of poor quality, which is not entirely true. The quality of the models depends primarily on the number of photos taken, their quality, the completeness of the photo set and the software used. Article [37] shows that the quality of the obtained digital 3D models of the same museum artefacts from the Silk Road area, generated by two completely different technologies: SfM and structured light scanning, is appropriate. Both the shape and texture in the 3D models were well reproduced compared to the original objects – Figure 2.7.



Rysunek 2.7. Dzbaneek: a) zdjęcie obiektu, b) cyfrowy model 3D – SfM, c) model 3D po dodatkowej obróbce, d) siatka modelu pierwotnego, e) siatka po redukcji.

Figure 2.7. Jug: a) photo of the object, b) digital 3D model – SfM, c) 3D model after additional processing, d) mesh of the original model, e) mesh after reduction.

Fotogrametrię ze względu na zasięg skanowania można podzielić na:

- fotogrametrię dalekiego zasięgu,
- fotogrametrię bliskiego zasięgu.

Fotogrametria dalekiego zasięgu jest wykonywana ze statków powietrznych – seria zdjęć kamerą skierowaną na powierzchnię ziemi: zdjęcia lotnicze np. Wielkie Równiny w USA [38], obszary Jordanii [39] lub satelitarne. Fotogrametria bliskiego zasięgu wykonywana jest przez operatora znajdującego się na ziemi przy wykorzystaniu „przeciętnej kamery” lub też małych do średniej wielkości dronów z aparatem fotograficznym. Można więc fotografować stanowiska archeologiczne [40], zabudowę miejską, bryły obiektów ich wnętrza lub pojedyncze obiekty – pomniki, rzeźby, np. unikalny wczesnochrześcijański rzeźbiony kamień (Szkocja) [41]. Granica bliskiej fotogrametrii to zakres do 1000 stóp.

Fotogrametria bliskiego zasięgu – NPG (ang. *Near PhotoGrammetry*) jest obecnie coraz bardziej popularna ze względu na powszechną dostępność kamer i smartfonów, a także na istnienie wielu programów do gromadzenia i przetwarzania serii zdjęć, w tym również wersje dostępne na licencjach darmowych. Badania porównawcze użycia czterech programów bezpłatnych: COLMAP, OpenMVG, Theia oraz VisualSFM, do tworzenia modeli 3D opisano w pracy [36].

Photogrammetry, depending on the scanning range, can be divided into:

- long-range photogrammetry,
- short-range (near) photogrammetry.

Long-range photogrammetry is performed from aircraft – a series of photos with a camera directed at the earth's surface: aerial photos, e.g. of the Great Plains in the USA [38], areas of Jordan [39] or satellite photos. Short-range photogrammetry is performed by an operator on the ground using an ‘average camera’ or utilising a small to medium size UAV with camera. Therefore, we can photograph archaeological sites [40], urban buildings, the shapes of objects inside them or single objects – monuments, sculptures, e.g. a unique early Christian carved stone (Scotland) [41]. The range of up to 1,000 feet is considered to be the limit of near photogrammetry.

Near Photogrammetry (NPG) is currently becoming more and more popular due to the widespread availability of cameras and smartphones, as well as the existence of many programs for collecting and processing series of photos, including versions available under free licenses. Comparative studies of the use of four free programs: COLMAP, OpenMVG, Theia and VisualSFM, to create 3D models were described in [36].

Fotogrametria nie pozwala na określenie rzeczywistych rozmiarów obiektów, ponieważ nie jest możliwe obliczenie rzeczywistych odległości między punktami charakterystycznymi na podstawie samych obrazów. Konieczne jest więc umieszczenie w obszarze fotografowanym podziałek lub przyklejenie na obiekcie znaczników o znanych odległościach. Wykorzystywane w fotogrametrii obiektywy optyczne cechują się, jak każde tego typu urządzenie wprowadzeniem pewnych zniekształceń do uzyskiwanego obrazu. Zniekształcenia te, o ile nie zostaną skompensowane mają istotny negatywny wpływ zarówno na sam proces rekonstrukcji kształtu (odnalezienie właściwych odpowiedników na obrazach), jak i na dokładność/rozdzielczość odwzorowania. Stopień zniekształcenia popularnych modeli obiektywów stałogniskowych jest dobrze opisany a odpowiednie parametry kompensacji wyznaczone. W przypadku obiektów zmiennoogniskowych kompensacja ta jest mniej dokładna i silnie zależy od ustawienia bieżącej ogniskowej. Niezależnie od tego parametry kompensacyjne są najczęściej dostępne dla danego modelu obiektywu a nie dla konkretnego egzemplarza. Nieznana jest również zmiana zniekształceń wywołana różnicami w temperaturze, ciśnieniu i wilgotności powietrza. Z tego powodu dokładność modeli architektonicznych uzyskiwanych metodami fotogrametrycznymi jest niższa od wytworzonych z wykorzystaniem skanowania TLS.

Na rynku fotogrametrii są dostępne dedykowane, metryczne, skalibrowane kamery cyfrowe pozwalające na uzyskanie znacznie większej pewności i powtarzalności pomiarów [42], konieczność zakupu takiego sprzętu powoduje jednak, że Fotogrametria przestaje być technologią niskokosztową.

Generowanie cyfrowych modeli 3D realizowana jest w kilku etapach. Zastosowane programy odtwarzają następujące informacje: wzajemne położenie kamer, parametry kamer (o ile nie są znane), współrzędne punktów charakterystycznych i ich

Photogrammetry does not allow determining the actual sizes of objects, because it is not possible to calculate the actual distances between landmarks based on images alone. It is therefore necessary to place scales in the photographed area or stick markers with known distances on the object. Optical lenses used in photogrammetry, like any device of this type, introduce some distortions into the obtained image. These distortions, unless compensated, have a significant negative impact on both the shape reconstruction process (finding appropriate equivalents in images) and the accuracy/resolution of mapping. The degree of distortion of popular models of fixed focal length lenses is well described and the appropriate compensation parameters are determined. For zoom subjectslens, this compensation is less accurate and strongly depends on the current focal length setting. Regardless of this, compensation parameters are most often available for a given lens model and not for a specific item. The change in distortion caused by differences in temperature, pressure and air humidity is also unknown. For this reason, the accuracy of architectural models obtained using photogrammetric methods is lower than those generated using TLS scanning.

Dedicated, metric, calibrated digital cameras are available on the photogrammetry market, allowing for much greater certainty and repeatability of measurements [42], but the need to purchase such equipment means that photogrammetry is no longer a low-cost technology.

Generating digital 3D models is carried out in several stages. The programs used reproduce the following information: mutual position of cameras, camera parameters (unless known), coordinates of characteristic points and their equivalents in individual

odpowiedników na poszczególnych obrazach, współrzędne 3D punktów charakterystycznych (względem położenia innych punktów, w nieznaną skalę).

W praktyce NPG prowadzi do wykonania serii zdjęć obiektu w taki sposób aby następujące po sobie zdjęcia „zachodziły na siebie”. Dane literaturowe podają, że pokrycie zdjęć powinno sięgać nawet do 80%, długość ogniskowej powinna być w miarę niezmienna, a jasność poszczególnych zdjęć taka sama. Zdjęcia obiektu należy wykonywać z różnych pozycji, aby zarejestrować możliwe wszystkie strony i detale obiektu. W praktyce jest to trudne do wykonania szczególnie gdy fotografujemy duże obiekty architektoniczne zarówno z zewnątrz, jak i wewnątrz. Gdy prace trwają krótko, to zawsze część zdjęć będzie wykonywana pod słońce (poza sytuacją, gdy dzień jest pochmurny). Ważne jest również „ciasne” kadrowanie zdjęć, aby tło obiektu będące szumem ograniczyć do minimum. W praktyce różne zewnętrzne otoczenie obiektów powoduje trudności związanych z kadrowaniem obiektu i zachowanie tej samej wartości ogniskowej. Dla małych obiektów, np. posągów wystarczy wykonać od 60 do 300 zdjęć, w przypadkach obiektu architektonicznego ich liczba wynosi nawet 1000–1500. Z drugiej strony wykonanie pojedynczego zdjęcia trwa sekundy co pozwala na szybką i w miarę łatwą kompensację sytuacji pojawienia się obiektów niepożądanych.

Współcześnie stworzono rozwiązania programistyczne, w których fotogrametria jest uzupełnieniem modeli cyfrowych uzyskanych ze skanowania 3D. Mapowanie serii zdjęć na modele siatkowe uzyskane ze skanowania pozwalają na uzyskanie modeli bardziej fotorealistycznych, ponieważ tekstury pobrane przy digitalizacji są gorszej jakości. Doświadczenie autorów monografii zdobyte podczas wielu wypraw naukowych do Uzbekistanu, podczas skanowania wnętrza meczetu Juma (Chiwa) [43], czy Golden Mosque of the Tillya-Kori

images, 3D coordinates of characteristic points (relative to the location of other points, on an unknown scale).

In practice, NPG involves taking a series of photos of an object in such a way that the subsequent photos "overlap". Literature data indicate that photo coverage should reach up to 80%, the focal length should be relatively constant and the brightness of individual photos should be the same. Photos of the object should be taken from different positions to capture all possible sides and details of the object. In practice, this is difficult to do, especially when photographing large architectural objects both from the outside and inside. When work lasts for a short time, some photos will always be taken against the sun (except when the day is cloudy). It is also important to crop the photos "tightly" to keep the background noise of the object to a minimum. In practice, different external surroundings of objects cause difficulties in framing the object and maintaining the same focal length. For small objects, e.g. statues, it is enough to take from 60 to 300 photos, in the case of an architectural object, the number is even 1,000–1,500. On the other hand, taking a single photo takes seconds, which allows for quick and relatively easy compensation for introduction of unwanted objects.

At present, software solutions have been created in which photogrammetry complements digital models obtained from 3D scanning. Mapping a series of photos onto mesh models obtained from scanning allows for obtaining more photorealistic models, because the textures taken during digitisation are of lower quality. The experience of the authors of the monograph gained during many scientific expeditions to Uzbekistan, while scanning the interior of the Juma Mosque (Khiwa) [43], or the Golden Mosque of the Tillya-Kori Madrasa

Madrasah (Registan, Samarkand) [44] i budowli z epoki Timuridianów [32] potwierdzają ten stan wiedzy.

Na podstawie zdobytych doświadczeń, odchodząc od wskazań literaturowych, autorzy opracowali swoją własną metodykę pozyskania zdjęć źródłowych dla metody fotogrametrii. Metodyka polega na realizacji serii zdjęć pojedynczego obiektu przy zastosowaniu różnych aparatów cyfrowych, różnych ogniskowych, różnych wymiennych obiektywów, a zdjęcia wykonywane są przez różne osoby. Ponadto autorzy, tworząc dokumentacje fotograficzne dużego obiektu architektonicznego, wykonują zdjęcia, które można przydzielić do jednej z następujących kategorii:

- General Plan Photos (GPP) – fotografie przedstawiające 0,4–0,8 powierzchni całego obiektu, co umożliwi łatwe złożenie zdjęć w metodzie fotogrametrii (ogniskowa od 15 do 30 mm).
- Medium Plan Photos (MPP) – fotografie zawierające fragment obiektu. Zdjęcia te są pozycjonowane na podstawie już istniejącego zgrubnego modelu cyfrowego 3D zbudowanego ze zdjęć GPP (ogniskowa od 30 do 50 mm).
- Detailed Photos (DP) – fotografie zawierające pojedyncze detale, co pozwala na uzyskanie tekstur bardzo dobrej jakości (ogniskowa od 70 do 200 mm).

Taki schemat fotografowania wnętrza kościoła św. Wojciecha w Chicago zastosowano w trakcie akwizycji danych i wykorzystano w post-processingu [34]. Przykładowo, dla tego obiektu wykonano blisko 1600 zdjęć w różnych kategoriach – tabela 2.1.

(Registan, Samarkand) [44] and buildings from the Timuridian era [32] confirm this state of knowledge.

Based on the experience gained, and departing from literature recommendations, the authors developed their own methodology for obtaining source photos for the photogrammetry method. The methodology involves taking a series of photos of a single object using different digital cameras, different focal lengths, various interchangeable lenses, and the photos are taken by different people. Moreover, when creating photographic documentation of a large architectural object, the authors take photos that can be assigned to one of the following categories:

- General Plan Photos (GPP) – photographs showing 0.4-0.8 of the surface of the entire object, which allows easy composition of photos using the photogrammetry method (focal length from 15 to 30 mm).
- Medium Plan Photos (MPP) – photos containing a fragment of an object. These photos are positioned on the basis of an already existing rough 3D digital model built from GPP photos (focal length from 30 to 50 mm).
- Detailed Photos (DP) – photographs containing individual details, which allows obtaining very good quality textures (focal length from 70 to 200 mm).

This scheme of photographing the interior of the church of St. Adalbert in Chicago was used during data acquisition and post-processing [34]. For example, nearly 1,600 photos were taken for this object in various categories (Table 2.1).

Tabela 2.1. Liczba fotografii różnych typów wnętrza kościoła św. Wojciecha w Chicago [34].

Table 2.1. Number of photographs of various types of interior of the church of St Adalbert in Chicago [34].

Lp. / No.	Kategoria / Category	Liczba zdjęć / Number of photos
1	GPP	33
2	MPP	127
3	DP	1420



### 2.3. Porównanie technologii TLS i fotogrametrii

Porównanie dwóch najczęściej stosowanych technologii do skanowania 3D obiektów dziedzictwa kulturowego przedstawiono w tabeli 2.2.

### 2.3. Comparison of TLS and photogrammetry technologies

A comparison of the two most commonly used technologies for 3D scanning of cultural heritage objects is presented in Table 2.2.

Tabela 2.2. Porównanie technologii TLS i NPG do digitalizacji dużych obiektów.

Table 2.2. Comparison of TLS and NPG technologies for digitisation of large objects.

Właściwość / Property	TLS	NPG
Produkty akwizycji danych Data acquisition products	<ul style="list-style-type: none"> <li>chmura punktów (współrzędne x, y, z) / point cloud (x, y, z coordinates)</li> <li>kolor i tekstura obiektów / colour and texture of objects</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>seria zdjęć obiektu z różnych kierunków (wzajemne pokrycie sięga nawet 80%) / a series of photos of the object from different directions (mutual coverage reaches up to 80%)</li> </ul>
Liczba skanów / zdjęć Number of scans / photos	kilkadziesiąt / several dozen	od kilkudziesięciu do kilkuset, a nawet 1–2 tysiące / from several dozen to several hundred, or even 1–2 thousand
Koszt aparatury Cost of the equipment	bardzo wysoki, powyżej 50 tys. USD / very high, over \$50 thousand	niski, poniżej 2–3 tys. USD / low, below \$2–3 thousand
Obsługa urządzeń Operation of devices	specjalistyczna / specialised	powszechna / common
Czas digitalizacji Digitisation time	5–6 godz. / 5–6 hours	2–3 godz. / 2–3 hours
Koszt oprogramowania Cost of software	wysoki, oprogramowanie dedykowane do sprzętu / high software dedicated to high-end hardware	<ul style="list-style-type: none"> <li>wysoki – profesjonalne oprogramowanie / high professional software</li> <li>bezpłatne – wiele programów / free – many programs</li> </ul>
Uzyskane obiekty cyfrowe Obtained digital objects	<ul style="list-style-type: none"> <li>model punktowy 3D (chmura punktów pokolorowanych) / 3D point model (coloured point cloud)</li> <li>model siatkowy 3D / 3D mesh model</li> <li>model 3D teksturowany / 3D textured model</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>model siatkowy 3D / 3D mesh model</li> <li>model 3D teksturowany / 3D textured model</li> </ul>
Dodatkowe oprogramowanie do post-processingu Additional post-processing software	bezpłatne / free	bezpłatne / free

### 3. Sprzęt do skanowania 3D

Jak wskazano wcześniej, skanowaniu są poddane obiekty architektoniczne (budynki) o wielkości w granicach 70x100x70 m. Wnętrza tych obiektów cechuje znaczne skomplikowanie kształtów, występowanie: kolumnad, balkonów, rzeźb, ołtarzy, wnęk, płaskorzeźb i innych elementów wystroju wnętrza. Bryła zewnętrzna jest z reguły mniej skomplikowana jednak dostęp do wszystkich powierzchni może być ograniczony przez blisko sąsiadujące budynki i często drzewa rosnące w styk do ścian.

Celem projektu jest przede wszystkim możliwie wierne i dokładne zarchiwizowanie trójwymiarowego kształtu wnętrza z zachowaniem oryginalnej kolorystyki. Skanowanie zewnętrznej bryły kościoła realizowane jest opcjonalnie w miarę dostępności i realnej szansy na odtworzenie spójnego kształtu.

Dodatkowym utrudnieniem przy skanowaniu bryły zewnętrznej jest niedostępność z poziomu ziemi widoku na obiekt „od góry”, co uniemożliwia zebranie informacji o kształcie i położeniu istotnych obszarów bryły kościoła (dachy, elementy wież, kopuły, balkony itp.). Stosowane powszechnie w takim przypadku wykorzystanie dronów latających (UAV), z uwagi na między krajowe regulacje i ograniczenia, nie może być brane pod uwagę.

W związku z powyższym pozyskiwanie skanów bryły zewnętrznej obiektów ograniczono do przypadków gdy uzyskanie wystarczająco kompletnego skanu jest prawdopodobne przy wykorzystaniu jedynie dostępnych wokół pozycji naziemnych.

W skanowaniu wykorzystywane był sprzęt różnego typu – rysunek 3.1.

### 3. Equipment for 3D scanning

As indicated earlier, the scanning covers architectural objects (buildings) with a size of 70x100x70 m. The interiors of these objects are characterised by significant complexity of shapes, the presence of: colonnades, balconies, sculptures, altars, niches, bas-reliefs and other interior design elements. The external shape is usually less complicated, but access to all surfaces may be limited by closely adjacent buildings and often trees growing adjacent to the walls.

The aim of the project is primarily to archive the three-dimensional shape of the interior as faithfully and accurately as possible while maintaining the original colours. Scanning of the external body of the church is optionally carried out depending on availability and a real chance to recreate a coherent shape.

An additional difficulty when scanning the external structure is the inaccessibility of a view of the object "from above" from the ground, which makes it impossible to collect information about the shape and location of important areas of the church structure (roofs, elements of towers, domes, balconies, etc.). The commonly used flying drones (UAV) in such a case cannot be taken into account due to international regulations and restrictions.

Due to the above, obtaining scans of the external body of objects was limited to cases where performing a sufficiently complete scan is likely only from the surrounding ground positions.

Various types of equipment were used in scanning (Figure 3.1).



a)



b)



c)



d)

Rysunek 3.1. Sprzęt wykorzystywany w trakcie wypraw. a) Skaner Faro Focus Premium, b) Nikon D5300, c) kamera cyfrowa, d) kamera dookólna.

Figure 3.1. Equipment used during expeditions. a) Faro Focus Premium scanner, b) Nikon D5300, c) digital camera, d) omnidirectional camera.

### 3.1. Skanowanie wnętrz i bryły zewnętrznej

Wnętrza obiektów sakralnych – kościołów katolickich, mimo swojej różnorodności, cechuje występowanie wspólnych obszarów takich jak nawa główna, prezbiterium, ołtarz główny, chór itp. Każdy z nich jest z reguły bogato zdobiony. Co istotne, zdecydowana większość tych zdobień jest usadowiona tak aby była widoczna dla obserwatora stojącego na poziomie podłogi. Ułatwia to realizację skanowania – jest możliwe zeskanowanie zdecydowanej większości powierzchni a ewentualne braki są niewielkie i występują najczęściej w miejscach, które nie są widoczne dla zwiedzającego rzeczywisty obiekt – rysunek 3.2.

### 3.1. Scanning of interiors and exteriors

The interiors of religious buildings – Catholic churches, despite their diversity, are characterised by the presence of common areas such as the main nave, presbytery, main altar, choir, etc. Each of them is usually richly decorated. Importantly, the vast majority of these decorations are placed so that they are visible to an observer standing at floor level. This makes scanning easier – it is possible to scan the vast majority of surfaces and any gaps are small and most often occur in places that are not visible to the visitor of the actual object (Figure 3.2).



a)



b)



c)



d)

Rysunek 3.2. Widoki zeskanowanych chmur punktów wewnątrz kościołów a) Kościół Matki Boskiej Anielskiej, Chicago, b) Kościół Najświętszego Serca w Dodge, Wisconsin, c) Kościół Św. Piotra i Pawła w Independence, Wisconsin, d) Kościół Św. Michała w Tarnov, Nebraska.

Figure 3.2. Views of scanned point clouds of church interiors a) Church of St Mary of the Angels, Chicago, b) Church of the Sacred Heart in Dodge, Wisconsin, c) Church of St Peter and Paul in Independence, Wisconsin, d) Church of St Michael in Tarnov, Nebraska.

Jak wskazano uprzednio w przypadku wewnątrz istotne jest zarówno wysoka dokładność odwzorowania kształtów obiektów, jak i zachowanie naturalnej kolorystyki. Z drugiej strony należy się liczyć z ograniczonym czasem w jakim można przeprowadzić skanowanie oraz z ograniczonym dostępem – w pewnych przypadkach urządzenie skanujące nie będzie mogło być umiejscowione bliżej niż kilka a nawet kilkanaście metrów od powierzchni skanowanej (np. kopuły i sklepienie).

Takie wymogi eliminują możliwość wykorzystania skanerów wykorzystujących światło strukturalne których zasięg skanowania nie przekracza z reguły 2. metrów. Technologie potencjalnie mogące spełnić wymagania to naziemne skanowanie laserowe TLS oraz tzw. bliska fotogrametria NPG lub SfM. Obie technologie posiadają zalety i wady w kontekście wykorzystania ich w tym projekcie.

W przypadku skanowania zewnętrznej bryły obiektu sakralnego w grę wchodziły ograniczenia wskazane wcześniej w tym rozdziale. Jako cel postawiono sobie

As previously indicated, in the case of interiors, both the high accuracy of reproducing the shapes of objects and maintaining natural colours are important. On the other hand, one should take into account the limited time in which scanning can be carried out as well as limited access – in some cases the scanning device cannot be located closer than a few or even a dozen meters from the scanned surface (e.g. domes and vaults).

Such requirements eliminate the possibility of using scanners working with structured light, the scanning range of which usually does not exceed 2 meters. Technologies that could potentially meet the requirements include TLS terrestrial laser scanning and the so-called close-up NPG or SfM photogrammetry. Both technologies have advantages and disadvantages in the context of their use in this project.

In the case of scanning the external body of a religious building, the limitations indicated earlier in this chapter came into play. The goal was to obtain (where possible) the

uzyskanie (tam gdzie to możliwe) jak najbardziej kompletnej bryły budynku, gdzie ewentualne braki i zniekształcenia nie będą szczególnie widoczne z poziomu obserwatora znajdującego się na poziomie ziemi.

Wymogi te można było uzyskać stosując tą samą gamę urządzeń (skaner TLS plus aparaty cyfrowe), wykorzystując w tym przypadku fotogrametrię do uzupełnienia ukształtowania powierzchni (w szczególności obszaru dachu), w miejscach niedostępnych dla skanowania TLS z poziomu ziemi.

### 3.2. Wykorzystywane skanery TLS

W przypadku TLS pomiar realizowany jest przez stacjonarne urządzenie pracujące na zasadzie dalmierza laserowego, zdolne do wykonywania serii pomiarów odległości w sferze wokół swojej pozycji. Gęstość pomiarów jest bardzo duża – przekraczająca jeden miliard punktów pomiarowych w sferze wokół skanera, a zasięg w zależności od urządzenia waha się od kilkudziesięciu metrów do nawet 350 metrów.

Dobierając odpowiednio kolejne pozycje skanera wewnątrz skanowanego budynku można uzyskać próbkowanie powierzchni elementów wnętrza o rozłożeniu punktów znacznie poniżej centymetra, co pozwala na późniejszą szczegółową rekonstrukcję siatkową nawet złożonych obiektów. [34].

Wadą tego rozwiązania jest koloryzacja próbkowanych punktów na podstawie zdjęć wykonywanych przez skaner, które przy dalszych odległościach od powierzchni nie zapewniają wystarczająco szczegółowej koloryzacji tej powierzchni. W rezultacie uzyskujemy szczegółowe kształty obiektu skanowanego z kolorystyką, która w pewnych obszarach może być nieco rozmyta.

Skanerem TLS wykorzystywanym przy digitalizacji obiektów w USA był FARO Focus Premium. Jego parametry przedstawiono w tabeli 3.1.

most complete shape of the building, where any gaps and distortions would not be particularly visible for the observer located at ground level.

These requirements could be achieved using the same range of equipment (TLS scanner plus digital cameras), in this case using photogrammetry to complement the surface contours (in particular the roof area), in places inaccessible to TLS scanning from ground level.

### 3.2. TLS scanners used

In the case of TLS, the measurement is carried out by a stationary device operating on the principle of a laser rangefinder, capable of performing a series of distance measurements in a sphere around its position. The density of measurements is very high – exceeding one billion measurement points in the sphere around the scanner, and the range, depending on the device, from several dozen to even 350 meters.

By appropriately selecting subsequent scanner positions inside the scanned building, it is possible to sample the surface of interior elements with a point distribution well below a centimeter, which allows for subsequent very detailed mesh reconstruction of even complex objects [34].

The disadvantage of this solution is the colouring of sampled points based on photos taken by the scanner, which at further distances from the scanned surface do not provide sufficiently detailed colouring of this surface. As a result, we obtain detailed shapes of the scanned object with colours that may be slightly blurred in some areas.

The TLS scanner used to digitise objects in the USA was FARO Focus Premium. Its parameters are presented in Table 3.1.

Tabela 3.1. Podstawowe parametry skanera FARO Focus Premium [31].

Table 3.1. Basic parameters of the FARO Focus Premium scanner [31].

Parametry / Parameters	Faro Focus Premium
Zasięg / Range	sferyczny zasięg o promieniu 350, 150, 70m (w zależności od wersji urządzenia), pomiar zarówno wewnątrz jak na zewnątrz budynków, możliwość skanowania w trudnych warunkach oświetleniowych, zapyleniu itp. / spherical range with a radius of 350, 150, 70 m (depending on the device version), measurement both inside and outside buildings; ability to scan in difficult lighting conditions, dusty conditions, etc.
Systematyczny błąd pomiaru odległości (dokładność) / Systematic distance measurement error (accuracy)	±1 mm
Szum pomiaru / Measurement noise	od 0,1 do 1,2 mm w odległości 20 m (w zależności od rodzaju powierzchni) / from 0.1 to 1.2 mm at a distance of 20 m (depending on the type of surface)
Skok kątowy pomiaru / Angular pitch of measurement	0,009° / 0.009°
Prędkość pomiaru / Measurement speed	do 2 milionów punktów na sekundę / up to 2 million points per second
Moduł foto / Photo module	funkcja HDR, do 266 megapikseli w kolorze / HDR function, up to 266 megapixels in colour
Mobilność / Mobility	waga 4,2 kg / weight 4.2 kg
Wymiary / Dimensions	230 x 183 x 103 mm
Temperatura otoczenia pracy / Operating ambient temperature	-5 ... 40 °C / 20 ... 100 °F
Zapis danych / Data storage	wbudowany dysk SSD, karta SD, SDHC™, SDXC™ / Built-in SSD, SD card, SDHC™, SDXC™
Czas pracy na jednym akumulatorze / Operating time on one battery	do 4,5 godziny / up to 4.5 hours
Pozycjonowanie skanera / Scanner positioning	GPS i GLONASS, elektroniczny kompas i poziomica / GPS and GLONASS, electronic compass and spirit level
Szczelność / Tightness	IP54 (norma przemysłowa) / IP54 (industrial standard)

Skanery Faro Focus Premium występują w 3 wariantach różniących się zasięgiem pomiaru: do 70, 150 i 350 m. W trakcie wypraw wykorzystywane były warianty skanera o zasięgu 150 i 70 m. Zasięgi te były w pełni odpowiednio do realizacji skanowania wewnątrz jak również nie powodowały większych ograniczeń podczas skanowania brył kościołów. Jakkolwiek zasięg 70 m skanera wykorzystywanego podczas ostatniej wyprawy wymuszał realizację skanowania zewnątrz z nieco bliższej odległości.

Wykorzystywany skaner cechuje się systematycznym błędem pomiaru  $\pm 1$  mm, co oznacza że położenie względem skanera chmury punktów zmierzonych podczas pojedynczego skanowania może odbiegać od rzeczywistego o maksymalnie 2 mm. Szum

Faro Focus Premium scanners are available in 3 variants with different measurement ranges: up to 70, 150 and 350 m. During the expeditions, variants of the scanner with a range of 150 and 70 m were used. These ranges were completely appropriate for scanning interiors and did not cause larger limitations when scanning church bodies. However, the 70 m range of the scanner used during the last expedition forced scanning the exterior from a slightly closer distance.

The scanner used is characterised by a systematic measurement error of  $\pm 1$  mm, which means that the position of the point cloud measured during a single scan relative to the scanner may differ from the ac-

pomiaru określa możliwe różnice między pomiarem poszczególnych punktów w trakcie jednego skanu – znajdujących się w tej samej odległości od skanera. Duży rozrzut (od 0,1 do 1,2 mm) wynika z różnic między właściwościami powierzchni od której odbija się laser. Szum dla powierzchni jasnych ustawionych prostopadle do skanera będzie minimalny podczas gdy szum generowany przez powierzchnie ciemne lub nawet czarne nachylone pod ostrym kątem do skanera będzie bliski maksimum. Powierzchnie zbyt ciemne i zbyt ostro nachylone nie zostaną zarejestrowane w ogóle. Podane w tabeli 3.1 zakresy dokładności i szumu są granicznymi wartościami gwarantowanymi dla każdego skanera TLS tego typu. Dokładności rzeczywiste używanych urządzeń znajdowały się poniżej tych wartości, co zostało potwierdzone odpowiednimi certyfikatami kalibracji skanera – tabela 3.2.

tual one by a maximum of 2 mm. Measurement noise determines possible differences between the measurement of individual points during one scan – located at the same distance from the scanner. The large scatter (from 0.1 to 1.2 mm) results from differences in the properties of the surface from which the laser is reflected. Noise for bright surfaces perpendicular to the scanner will be minimal, while noise generated by dark or even black surfaces tilted at a sharp angle to the scanner will be close to maximum. Surfaces that are too dark or too sharply inclined will not be recorded at all. The accuracy and noise ranges given in Table 3.1 are the guaranteed limits for each TLS scanner of this type. The actual accuracies of the devices used were below these values, which was confirmed by appropriate scanner calibration certificates, are presented in Table 3.2.

Tabela 3.2. Rezultaty kalibracji skanera FARO Premium (data kalibracji: 18 maj 2022).

Table 3.2. FARO Premium scanner calibration results (calibration date: May 18, 2022).

Lp. No.	Parametr / Parameter	Wartość (mm) Value (mm)
1	Systematyczny błąd pomiaru odległości na 10 m Systematic distance measurement error at 10 m	-0.31
2	Systematyczny błąd pomiaru odległości na 25 m Systematic distance measurement error at 25 m	0.36
3	Szum pomiaru dla powierzchni odbijającej – 90% (biała) w odległości 10 m Measurement noise for reflective surface – 90% (white) at a distance of 10 m	0.0
4	Szum pomiaru dla powierzchni odbijającej – 90% (biała) w odległości 25 m Measurement noise for reflective surface – 90% (white) at a distance of 25 m	0.1
5	Szum pomiaru dla powierzchni odbijającej – 10% (szara) w odległości 10 m Measurement noise for reflective surface – 10% (gray) at a distance of 10 m	0.1
6	Szum pomiaru dla powierzchni odbijającej – 10% (szara) w odległości 25 m Measurement noise for reflective surface – 10% (gray) at a distance of 25 m	0.2
7	Szum pomiaru dla powierzchni odbijającej – 2% (czarna) w odległości 10 m Measurement noise for reflective surface – 2% (black) at a distance of 10 m	0.3
8	Szum pomiaru dla powierzchni odbijającej – 2% (czarna) w odległości 25 m Measurement noise for reflective surface – 2% (black) at a distance of 25 m	0.6

Uwaga: błąd urządzenia do kalibracji wynosił 0,2 mm.

Note: The error of the calibration device was 0.2 mm.

Skok kątowy pomiaru określa minimalną zmianę kąta obrotu lustra i skanera. Realizacja pomiaru po każdym pojedynczym skoku umożliwia zebranie maksymalnie 40 960 punktów na obrót i ponad 1,6 miliarda punktów na cały skan sferyczny.

The measurement angular pitch determines the minimum change in the rotation angle of the mirror and scanner. Measuring after each single jump allows to collect a maximum of 40,960 points per revolution and over 1.6 billion points for the entire

Tak wielka ilość gromadzonych podczas pojedynczego skanu danych wpływa znacząco na czas skanowania. Skaner Faro Focus Premium jest w stanie realizować pomiary z maksymalną prędkością 2 mln punktów na sekundę, jednak rzeczywisty czas skanowania jest zależny od ustawień skanera omówionych dalej.

Skanery FARO Fokus posiadają moduł fotograficzny, który po digitalizacji wykonuje serię zdjęć (kilkadziesiąt) wraz z zapisem ich współrzędnych. W dalszej obróbce możliwe jest wygenerowanie na ich podstawie zdjęcia sferycznego o rozdzielczości 266 megapikseli. Program obsługujący skaner wykonuje dekompozycje poszczególnych zdjęć dzięki czemu może pobierać informacje o kolorze poszczególnych pikseli i przyporządkowuje je poszczególnym punktom modelu 3D. Proces ich mapowania na uzyskane powierzchnie 3D przebiega automatycznie. Należy pamiętać, że do uzyskania pełnego obrazu wokół osi pionowej wystarczy aby skaner obrócił się o 180°, ponieważ wirujące lustro wokół osi poziomej i tak zbiera dane znajdujące się po obu stronach urządzenia. Przy skanowaniu obiektów typu wieże, kapliczki, pojedyncze figury można zdefiniować indywidualnie kąt obrotu urządzenia wokół osi pionowej, np. 70° czy 120°. Takie działanie pozwala na skrócenie czasu digitalizacji, jednak może utrudnić późniejsze dopasowywanie poszczególnych skanów.

Kompaktowe wymiary i waga urządzenia ułatwiają jego transport i przenoszenie w trakcie realizacji skanowania. Stosunkowo niska waga skanera umożliwia wykorzystywanie lekkich statywów, co oprócz łatwiejszego przenoszenia ma również zaletę w postaci mniejszego ryzyka uszkodzenia delikatnych elementów dekoracyjnych podczas umieszczania skanera w pobliżu bogato zdobionych elementów wystroju kościoła – rysunek 3.3.

spherical scan. Such a large amount of data collected during a single scan significantly affects the scanning time. The Faro Focus Premium scanner is capable of measuring at a maximum speed of 2 million points per second, but the actual scanning time depends on the scanner settings discussed below.

FARO Focus scanners have a photographic module which, after digitisation, takes a series of photos (several dozen) along with recording their coordinates. In further processing, it is possible to generate a spherical photo with a resolution of 266 megapixels. The scanner program decomposes individual photos so that it can collect information about the colour of individual pixels and assigns them to individual points of the 3D model. The process of mapping them to the obtained 3D surfaces is automatic. It should be remembered that to obtain a full image around the vertical axis, it is enough for the scanner to rotate 180°, because the mirror rotating around the horizontal axis collects data located on both sides of the device anyway. When scanning objects such as towers, shrines, or single figures, we can individually define the angle of rotation of the device around the vertical axis, e.g. 70° or 120°. This allows to shorten the digitisation time, but may make subsequent matching of individual scans more difficult.

The compact dimensions and weight of the device make it easy to transport and move during scanning. The relatively low weight of the scanner allows the use of light stands, which, in addition to being easier to carry, also has the advantage of reducing the risk of damaging delicate decorative elements when placing the scanner near richly decorated church interior elements (Figure 3.3).





Rysunek 3.3. Ekstremalne umiejscowienie skanera w trakcie skanowania budynku kościoła św. Wojciecha w Chicago.

Figure 3.3. Extreme positioning of the scanner while scanning the building of the church of St Adalbert in Chicago.

Temperaturowy zakres pracy skanera umożliwia pracę w standardowych warunkach pogodowych niezależnie od pory roku. Jedynym ograniczeniem są ekstremalnie wysokie temperatury – skaner musi być chroniony przed zbytnim nagrzewaniem np. przez bardzo silne nasłonecznienie. Doświadczenia autorów wynikające ze skanowania w różnych porach roku i strefach geograficznych pokazały, że należało przerwać pracę z powodu zbyt wysokiej albo zbyt niskiej temperatury jaką uzyskiwało urządzenie. To jest dodatkowy aspekt, który należy przewidzieć podczas planowania działań i być do tego przygotowanym. Sytuacje takie mają miejsce jedynie podczas skanowania obiektów z zewnątrz. Podczas pracy na zewnątrz klasa szczelności IP54 chroni skaner przed wystąpieniem niekorzystnych warunków atmosferycznych jak zapylenie czy nagły deszcz.

The temperature range of the scanner allows operation in standard weather conditions regardless of the season. The only limitation is extremely high temperatures – the scanner must be protected against excessive heating, e.g. by very strong sunlight. The authors' experience resulting from scanning in different seasons and geographical zones showed that work had to be stopped because the temperature reached by the device was too high or too low. This is an additional aspect that should be anticipated when planning activities and one should be prepared for it. Such situations only occur when scanning objects from outside. When working outdoors, the IP54 tightness class protects the scanner against unfavourable weather conditions such as dust or sudden rain.

Wbudowane w skaner czujniki pozwalają na zgrubne określenie jego położenia geograficznego (GNSS) jeżeli skaner znajduje się w przestrzeni otwartej. Niezależnie od położenia skaner rejestruje swoje wyzoziomowanie i ustawienie względem północy, co ułatwia dopasowywanie skanów na późniejszym etapie.

Skanery FARO Focus Premium mają bardzo rozbudowany system ustawień parametrów procesu digitalizacji, co pozwala na odpowiedni ich dobór, stosowny do istniejącej sytuacji. Tak więc czas digitalizacji 3D może wynosić od 3 min. do ponad godziny. Operator ma do dyspozycji dwa podstawowe parametry: gęstość pomiaru (tj. jego rozdzielczość) oraz powtarzalność pomiaru. Pierwszy parametr określa ilość pobieranych punktów zaczynając od maksymalnej rozdzielczości urządzenia i zmniejszając ją poprzez pobieranie co 2, 4, 8 itd. punktu. Mniejsza liczba pobieranych punktów oznacza szybszą pracę skanera. Drugi parametr określa sposób pomiaru każdego pojedynczego punktu zwiększając pewność prawidłowego pomiaru poprzez zwielokrotnienie odczytu odbitego lasera z każdego punktu (od 1 do 16 razy). Mniejsze wartości zwielokrotnienia pozwalają na szybsze skanowanie, kosztem braku kompensacji zakłóceń jak np. lecące owady, ptaki, liście, inne drobne szybko poruszające się przeszkody. W zamkniętych pomieszczeniach sakralnych występowanie tego typu zakłóceń jest mało prawdopodobne, tak więc możliwe jest stosowanie niskich wartości krotności. Oba te parametry razem wyznaczają czas niezbędny na wykonanie pojedynczego skanu. Dodatkowym parametrem wpływającym na czas skanowania jest ustawienie trybu pobierania koloru (skaner po zakończeniu skanowania laserowego wykonuje serię zdjęć). W zależności od wybranego trybu STD lub krotność HDR proces pobierania koloru może trwać od 1 do 7 minut, wydłużając proces skanowania. Dodatkowym czynnikiem niezależnym od urządzenia

Sensors built into the scanner allow for rough determination of its geographical location (GNSS) if the scanner is located in an open space. Regardless of position, the scanner records its level and north orientation, making it easier to match scans at a later stage.

FARO Focus Premium scanners have a very extensive system of setting parameters of the digitisation process, which allows for their selection, appropriate to the existing situation. So the 3D digitisation time can be from 3 min. to over an hour. The operator has two basic parameters at his disposal: measurement density (i.e. its resolution) and measurement repeatability. The first parameter determines the number of points gathered, starting from the maximum resolution of the device and decreasing it by gathering every 2nd, 4th, 8th, etc. points. Fewer points collected mean faster scanner operation. The second parameter determines how each individual point is measured, increasing the certainty of correct measurement by multiplying the reflected laser reading from each point (from 1 to 16 times). Lower multiplexing values allow for faster scanning, at the cost of not compensating for interference such as flying insects, birds, leaves and other small, fast-moving obstacles. In closed religious rooms, this type of interference is unlikely to occur, so low multiplicity values can be used. Both of these parameters together determine the time necessary to perform a single scan. An additional parameter influencing the scanning time is the colour acquisition mode setting (the scanner takes a series of photos after finishing the laser scanning). Depending on the selected STD or HDR mode, the colour collection process may take from 1 to 7 minutes, extending the length of the scanning process. An additional factor independent of the device may be interference with colour measurement and collection by bystanders in the scanning area. One may be required to

może być zakłócenie pomiaru i pobierania koloru przez osoby postronne w obszarze skanowania. Może być wymagane wstrzymanie skanowania na czas ich przejścia lub nawet całkowite powtórzenie skanowania w tym miejscu.

Program obsługujący skaner, po wprowadzeniu wartości parametrów skanowania, wyznacza za każdym razem przybliżony czas trwania pojedynczego skanu. Jest to bardzo istotne przy planowaniu pracy na obiekcie. W przypadku skanowania pomieszczeń gdzie kolorystyka nie gra istotnej roli, np. strychy obiektów, gdzie chodzi nam o zdigitalizowanie konstrukcji dachowych bez uwzględniania jej koloru, można wyłączyć funkcje wykonywania zdjęć, a cały proces może być zrealizowany bez żadnego oświetlenia. Skaner laserowy nie potrzebuje oświetlenia do pozyskania danych o powierzchniach elementów.

### **3.3. Narzędzia wykorzystywane w fotogrametrii**

Technologia bliskiej fotogrametrii bazuje na możliwości ekstrakcji trójwymiarowego kształtu z odpowiednio dużej liczby dwuwymiarowych zdjęć cyfrowych skanowanego obiektu. Odpowiednie algorytmy są w stanie rozpoznać odpowiadające sobie obrazy danego punktu na wielu zdjęciach i wyliczyć na ich podstawie trójwymiarowe położenie tego punktu w przestrzeni (bez zachowania skali). Istnienie znacznej liczby zdjęć danego obszaru pozwala mimo mniejszej gęstości wyznaczonych punktów na wygenerowanie gładkiej powierzchni siatkowej o szczegółowej kolorystyce.

Wadą tej technologii jest jednak znacząco mniejsza szczegółowość uzyskiwanych powierzchni co prowadzi do istotnych zniekształceń uzyskanego modelu 3D w stosunku do oryginału (zniekształcenia te są często optycznie maskowane przez znacznie bardziej szczegółową teksturę – kolorystykę powierzchni obiektu)

pause the scan while they pass, or even repeat the scan completely at this point.

After entering the values of the scanning parameters, the program operating the scanner determines the approximate duration of a single scan time. This is very important when planning work on the facility. When scanning rooms where colour does not play an important role, e.g. attics of buildings, where we want to digitise roof structures without taking into account its colour, the photo taking function can be turned off and the entire process can be carried out without any lighting. The laser scanner does not need lighting to obtain data on the surfaces of elements.

### **3.3. Tools used in photogrammetry**

Near photogrammetry technology is based on the ability to extract a three-dimensional shape from a sufficiently large number of two-dimensional digital photos of the scanned object. Appropriate algorithms are able to recognise corresponding images of a given point in many photos and based on them calculate the three-dimensional position of this point in space (without maintaining scale). The existence of a significant number of photos of a given area allows, despite the lower density of designated points, to generate a smooth mesh surface with detailed colours.

The disadvantage of this technology, however, is the significantly lower detail of the obtained surfaces, which leads to significant distortions of the obtained 3D model compared to the original (these distortions are often optically masked by a much more detailed texture – the colour of the object's surface).

Wspomniane technologie mogą być wykorzystywane jednocześnie prowadząc do uzyskania wzajemnie uzupełniających się zbiorów danych. W prezentowanym projekcie zdecydowano się w przypadku wnętrza na wykorzystywanie technologii TLS, wspomaganą w razie konieczności przez technologię fotogrametrii wykorzystywanej głównie do poprawy jakości uzyskiwanej kolorystyki obiektów. Takie rozwiązanie zapewniało utrzymanie wysokiej szczegółowości i dokładności kształtu skanowanych obiektów wnętrza z jednoczesnym zapewnieniem możliwie wiernej kolorystyki.

W trakcie realizacji zadań fotogrametrycznych wykorzystywano zestaw profesjonalnych aparatów fotograficznych Nikon D5300, Canon EOS 80D oraz Panasonic DMC-FZ1000. Realizując zdjęcia wewnątrz wykorzystano obiektywy Nikkor 18–140 mm dla aparatu Nikon D5300, Canon EF 50 mm i wbudowany w Panasonic DMC-FZ1000 obiektyw 25–400 mm zapewniające wprowadzanie minimalnych zniekształceń na fotografowanych odległościach od 1 do kilkunastu metrów (rysunek 3.1b). W przypadku konieczności realizacji zdjęć spoza zasięgu osoby stojącej posiłkowana się wysięgnikami monopod o długości do 3 m. Dla celów dokumentacji prac badawczych wykorzystywano również inne urządzenia rejestrujące (rysunek 3.1c i 3.1d).

The technologies mentioned can be used simultaneously to obtain complementary data sets. In the described project, it was decided to use TLS technology for interiors, supported, if necessary, by Photogrammetry technology, used mainly to improve the quality of the obtained colours of objects. This solution ensured high detail and shape accuracy of scanned interior objects while ensuring the most accurate colours possible.

During the photogrammetric tasks, a set of professional Nikon D5300, Canon EOS 80D and Panasonic DMC-FZ1000 cameras were used. When taking photos inside, Nikkor 18–140 mm lenses for the Nikon D5300, Canon EF 50 mm and the 25–400 mm lens built into the Panasonic DMC-FZ1000 were used, ensuring minimal distortions at photographed distances from 1 to several meters (Figure 3.1b). If it is necessary to take photos beyond the reach of a standing person, monopod booms up to 3 m long are used. Other recording devices were also used to document research work (Figure 3.1c and 3.1d).

## 4. Oprogramowanie do obróbki danych i generowania modeli

Podstawowe cele realizacji skanowania poszczególnych obiektów sakralnych można rozdzielić na dwie grupy:

- pozyskanie danych źródłowych o wyglądzie i rozmiarach obiektu w celu archiwizacji,
- wytworzenie wizualizacji obiektów do celów badawczych i upowszechnieniowych.

Pierwsza grupa obejmuje aspekty pozyskania, zabezpieczenia i przechowywania danych źródłowych – efektów realizacji skanowania. Druga grupa obejmuje aspekty przetwarzania danych źródłowych w celu uzyskania modeli, tj. cyfrowych bliźniaków skanowanych obiektów w formatach przenaszalnych jak również w formie nadającej się do prezentacji jak najszerszemu gronu odbiorców. W trakcie realizacji powyższych celów wykorzystywane jest specjalistyczne oprogramowanie i generowane są wyniki pośrednie i końcowe w różnych formatach. Poniżej omówiono wykorzystane oprogramowanie i formaty wytwarzanych plików w kontekście przebiegu uzyskiwania oczekiwanych wyników.

### 4.1. Pozyskanie danych źródłowych

Pozyskiwane dane źródłowe dzielą się na dwie grupy: dane skanowania skanerem TLS i dane fotograficzne dla fotogrametrii.

Pierwsza grupa zawiera surowe dane pracy skanera, zawierające pomiary pozycji punktów powierzchni otaczających skaner oraz zbiór odpowiadających im fotografii tworzących obraz sferyczny wokół skanera. Dane te zapisane są w formacie fabrycznym skanera i podlegają późniejszej obróbce odpowiednim oprogramowaniem. Ze względu na to, że producent wykorzystywanego skanera Faro udostępnił szczegóły stosowanego formatu zapisu w formie otwartej istnieje alternatywne oprogramowanie umożliwiające odczyt i przetwarzanie tego

## 4. Software for data processing and model generation

The basic goals of scanning individual religious objects can be divided into two groups:

- obtaining source data about the appearance and size of the object for archiving,
- creating visualisations of objects for research and dissemination purposes.

The first group covers aspects of obtaining, securing and storing source data – the results of scanning. The second group includes aspects of processing source data in order to obtain models, i.e. digital twins of scanned objects in transferable formats as well as in a form suitable for presentation to the widest possible audience. In the course of achieving the above objectives, specialised software is used and intermediate and final results are generated in various formats. The software used and the formats of the generated files are discussed below in the context of the process of obtaining the expected results.

### 4.1. Obtaining source data

The acquired source data are divided into two groups: TLS scanner data and photographic data for photogrammetry.

The first group contains raw data of the scanner's operation, including measurements of the positions of surface points surrounding the scanner and a set of corresponding photographs creating a spherical image around the scanner. This data is saved in the scanner's factory format and is later processed with appropriate software. Due to the fact that the manufacturer of the Faro scanner used has made the details of the recording format applied available in an open form, there is alternative software that allows reading and processing this format,

formatu, jak również możliwe jest powstanie w przyszłości oprogramowania mogącego przetwarzać te dane z wyższą niż obecna dokładnością. Zasadne jest więc przechowywanie nieprzetworzonych danych źródłowych dla celów przyszłych zastosowań. Dane te zapisywane są w postaci katalogów z rozszerzeniem .fls zawierających parametry skanu oraz strumienie danych ze skanera w kolejnych plikach binarnych.

W przypadku serii fotografii dla fotogrametrii istotne jest zachowanie danych źródłowych w możliwie nieprzetworzonym formacie – z tego powodu większość fotografii zapisywana jest w formacie RAW danego aparatu. Podobnie jak w przypadku danych ze skanowania TLS daje to w przyszłości potencjalną możliwość uzyskania dokładniejszych wyników. Zdjęcia danego obiektu grupowane są względem urządzenia aparatu rejestrującego i obszaru fotografowanego.

Ze względu na stosowane formaty ilość danych ze skanowania pojedynczego obiektu jest znaczna (dziesiątki GB). Jednocześnie utrata nawet niewielkiej ilości tych danych może doprowadzić do wystąpienia braków w strukturze lub kolorystyce skanowanego obiektu. W celu zapewnienia bezpieczeństwa zgromadzonych danych wykorzystano poniższą strategię:

- Multiplikacja danych źródłowych w trakcie realizacji wypraw i rozdysponowanie kopii między członków wyprawy.
- Zapisanie danych źródłowych na serwerach i dyskach archiwalnych Fundacji ECCC.
- Przygotowanie danych źródłowych do przekazania do otwartych zbiorów danych naukowych.

#### 4.2. Przetwarzanie danych źródłowych

Po zabezpieczeniu danych źródłowych nastąpiła faza ich przetwarzania w celu uzyskania założonych efektów. Fazę tą można podzielić na 4 etapy:

and it is also possible that in the future software will be created that can process these data with higher accuracy than the current one. It is therefore reasonable to store raw source data for future applications. This data are saved in the form of directories with the .fls extension containing scan parameters and data streams from the scanner in subsequent binary files.

In the case of a series of photos for photogrammetry, it is important to keep the source data in the most unprocessed format possible – for this reason, most photos are saved in the RAW format of a given camera. As with TLS scanning data, this provides the potential for more accurate results in the future. Photos of a given object are grouped according to the recording camera device and the photographed area.

Due to the formats used, the amount of data from scanning a single object is significant (tens of GB). At the same time, the loss of even a small amount of these data may lead to deficiencies in the structure or colour of the scanned object. To ensure the security of the collected data, the following strategy was used:

- Multiplication of source data during expeditions and distribution of copies among expedition members.
- Saving source data on the servers and archive drives of the ECCC Foundation.
- Preparation of source data for transfer to open scientific data sets.

#### 4.2. Source data processing

After securing the source data, the processing phase began in order to achieve the intended effects. This phase can be divided into four stages:

- Przygotowanie danych – przygotowanie danych skanowania do obróbki, ujednolicenie formatów zdjęć.
- Wstępne przetwarzanie – dopasowanie i oczyszczenie poszczególnych skanów obiektów, eksport spawanych skanów.
- Generacja modeli bazowych – agregacja danych TLS i NPG, generowanie modeli chmurowych i siatkowych z teksturami z maksymalnie możliwą (na danym etapie rozwoju sprzętu i oprogramowania) dokładnością (tj. liczbą pokolorowanych punktów w chmurze i liczbą trójkątów w modelu siatkowym).

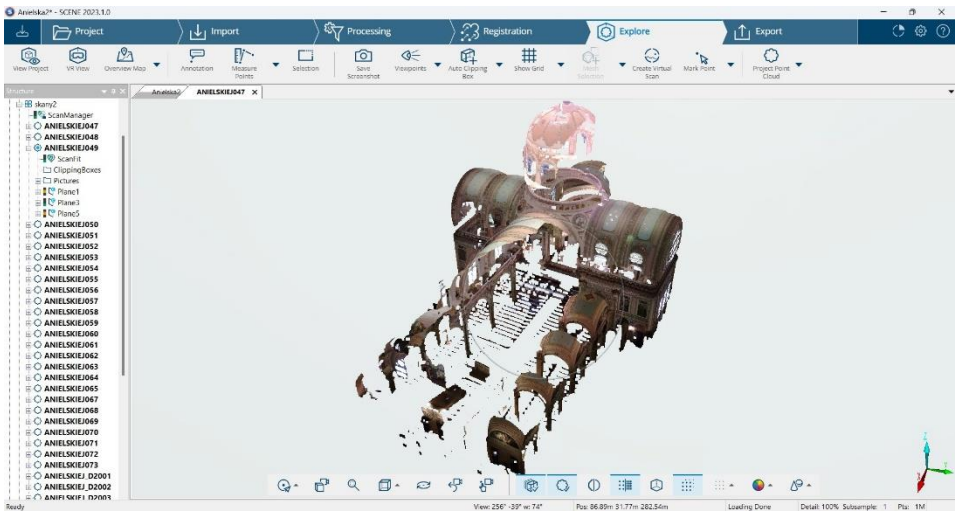
Przygotowanie do upowszechnienia – dobór medium i metod prezentacji, dopasowanie jakości/wielkości modeli do upowszechnienia.

Na etapie przygotowania danych surowe dane skanowania TLS poddawane są rejestracji w oprogramowaniu przetwarzającym. Na tym etapie wykorzystano dedykowane dla skanerów Faro oprogramowanie SCENE – rysunek 4.1.

- Data preparation – preparation of scanning data for processing, standardisation of photo formats.
- Preprocessing – matching and cleaning of individual scans of objects, export of adjusted scans.
- Generation of base models – aggregation of TLS and NPG data, generation of cloud and mesh models with textures with the maximum possible (at a given stage of hardware and software development) accuracy (i.e. the number of coloured points in the cloud and the number of triangles in the mesh model).

Preparation for dissemination – selection of the medium and presentation methods, matching the quality/size of models for dissemination.

At the data preparation stage, the raw TLS scanning data are registered in the processing software. At this stage, SCENE software dedicated to Faro scanners was used (Figure 4.1).



Rysunek 4.1. Interfejs oprogramowania SCENE. Widoczny pojedynczy skan obiektu.

Figure 4.1. SCENE software interface. A single scan of the object is visible.

Poszczególne skany przenoszone są ze sferycznego do kartezjańskiego układu współrzędnych, a wszystkie punkty 3D są

Individual scans are transferred from a spherical to a Cartesian coordinate system, and all 3D points are coloured (i.e. assigned

koloryzowane (tj. przypisywane są im dane o kolorze) zgodnie z danymi ze zdjęcia sferycznego wykonanego przez skaner. Na tym etapie dane zapisywane są w postaci katalogu – projektu zachowującego historię wykonania poszczególnych operacji. Ze względu na zapis danych skanowania w układzie kartezjańskim i w kolorze oraz zachowywanie historii wykonywanych operacji pojedynczy projekt zajmuje wielokrotnie więcej miejsca niż surowe dane skanowania.

Serie zdjęć dla NPG poddawane są ujednoliceniu formatów RAW do formatu Adobe DNG z uwzględnieniem zapisanych warunków oświetlenia. Zdjęcia niewyraźne, zbyt ciemne lub przejaśnione, zawierające niepożądane obiekty, są na tym etapie ręcznie wykluczane z dalszego przetwarzania. Różnice w wielkości plików między różnymi formatami RAW są nieznaczne.

**Wstępne przetwarzanie** odnosi się głównie do skanów TLS i wykonywane jest w oprogramowaniu SCENE. Pokolorowane skany są na tym etapie dopasowywane do siebie i zapisywane w jednym globalnym układzie współrzędnych (zapisywane są macierze przekształceń poszczególnych układów współrzędnych skanów). Skany wraz z macierzami przekształceń zapisywane są w formatach czytelnych dla oprogramowania agregującego dane TLS i NPG. Wykorzystywany jest najczęściej format .e57 lub .ptx. Wykorzystanie tych uniwersalnych formatów niesie za sobą zwielokrotnienie objętości plików w stosunku do danych zapisanych w SCENE ze względu na sposób i format zapisu. Jest to szczególnie widoczne w przypadku formatu .ptx.

**Generacja modeli bazowych** przebiega według dwóch procedur: wytworzenie ujednoliconej chmury punktów obiektu i wytworzenie teksturowanego modelu siatkowego obiektu.

Generacja chmury punktów odbywa się w oprogramowaniu SCENE. Połączone

colour data) according to the data from the 3D image taken by the scanner. At this stage, the data are saved in the form of a directory – a project that maintains the history of individual operations. Due to the recording of scanning data in the Cartesian system and in colour, and the preservation of the history of performed operations, a single project takes up many times more space than the raw scanning data.

Series of photos for NPG are unified from RAW formats to Adobe DNG format, taking into account recorded lighting conditions. Photos that are blurry, too dark or exaggerated, containing unwanted objects, are manually excluded from further processing at this stage. The file size differences between the different RAW formats are negligible.

**Preprocessing** mainly applies to TLS scans and is performed in SCENE. At this stage, the coloured scans are matched to each other and saved in one global coordinate system (transformation matrices of individual scan coordinate systems are saved). Scans along with transformation matrices are saved in formats readable by software that aggregates TLS and NPG data. The most commonly used format is .e57 or .ptx. The use of these universal formats results in a multiplication of the file size in relation to the data saved in SCENE due to the method and format of recording. This is especially visible in the case of the .ptx format.

**The generation of base models** follows two procedures: creating a unified point cloud of the object and creating a textured mesh model of the object.

The point cloud is generated in the SCENE software. The combined scan

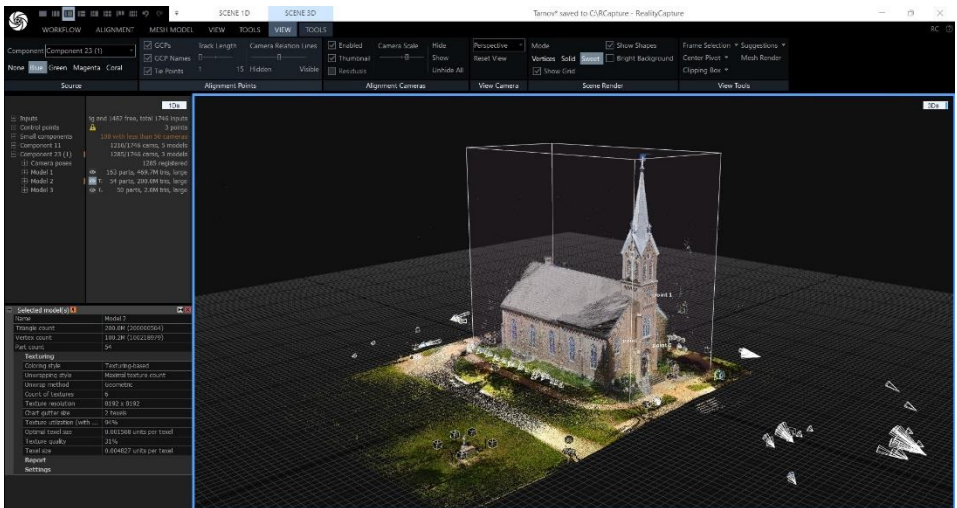


chmury skanów (miliardy punktów 3D) są analizowane pod względem powtarzalności wynikłej z nakładania się obszarów skanowania. Eliminowane są nadmiarowe punkty oraz punkty zagubione (ang. *stray points*), zbyt oddalone od pozostałych – pozostaje wynikowa chmura o pożądanej i w większości ujednoliconej gęstości. Wynikowe chmury są eksportowane do uniwersalnych formatów chmurowych .e57 i .las. Wynikowy plik, ze względu na zawieranie tylko jednej, ujednoliconej chmury zajmuje mniej miejsca niż projekt zawierający chmury wszystkich skanów, nadal jednak są to znaczące ilości danych, sięgające nawet miliardów punktów 3D.

Generacja modelu siatkowego wymaga zagregowania danych TLS i NPG. Wykorzystano w tym celu oprogramowanie RealityCapture – rysunek 4.2.

clouds (dozens of billions of 3D points) are analysed for repeatability resulting from overlapping scanning areas. Redundant points and stray points, too distant from the others, are eliminated – the resulting cloud remains with the desired and mostly uniform density. The resulting clouds are exported to the universal .e57 and .las cloud formats. The resulting file, due to containing only one unified cloud, takes up less space than a project containing clouds of all scans, but it is still a significant amount of data, reaching up to billions of 3D points.

Mesh model generation requires aggregating TLS and NPG data. RealityCapture software was used for this purpose (Figure 4.2).



Rysunek 4.2. Interfejs oprogramowania RealityCapture. Widoczne pozycje skanera i miejsca oraz kierunki wykonania zdjęć.

Figure 4.2. RealityCapture software interface. Visible scanner positions and places and directions for taking photos.

Skany i zdjęcia są importowane, a następnie poddawane procesowi dopasowania. Import skanów z uniwersalnych formatów skutkuje wygenerowaniem widoków w sześciu kierunkach dla każdego skanu.

Scans and photos are imported and then subjected to the matching process. Importing scans from universal formats results in the generation of views in six directions for

Widoki te zapisane są w natywnych formacie dla programu RealityCapture: .lsp.

W dalszych krokach podejmowana jest decyzja: czy i które grupy skanów oraz zdjęć posłużą do wygenerowania kształtu lub kolorystyki modelu siatkowego? Wygenerowany wstępnie model siatkowy zawiera najczęściej zbyt dużą liczbę trójkątów (powyżej 200 milionów) aby możliwe było jego wyświetlanie przez współczesne karty graficzne w czasie rzeczywistym. Model taki poddawany jest uproszczeniu do wielkości możliwej do wizualizacji na ekranie. Usuwane są niepotrzebne elementy otoczenia (np. fragmenty drzew), a następnie realizowane jest wygenerowanie tekstur na podstawie zdjęć lub kolorystyki skanów. Powstaje najdokładniejszy na obecne czasy, całościowy model siatkowy zeskanowanego obiektu sakralnego. Model ten jest eksportowany do uniwersalnego formatu dla modeli 3D (np. .obj lub .glb).

**Przygotowanie do upowszechnienia** obejmuje czynności niezbędne do przetworzenia wyników bazowych modeli na wizualizacje dostępne dla szerokiego ogółu. Przede wszystkim bazowe chmury lub model siatkowe są zbyt duże by mogły być udostępniane przez Internet i wyświetlane na urządzeniach o nie najwyższej wydajności.

Modele siatkowe mogą być upraszczane w oprogramowaniu RealityCapture, które posłużyło do wygenerowania modeli bazowych. Formaty zapisu uproszczonych modeli są również te same.

W przypadku chmur punktów konieczne jest wykorzystanie dodatkowego oprogramowania. Zastosowano otwarte oprogramowanie CloudCompare pozwalające na manipulowanie, porównywanie oraz upraszczanie chmur punktów – rysunek 4.3.

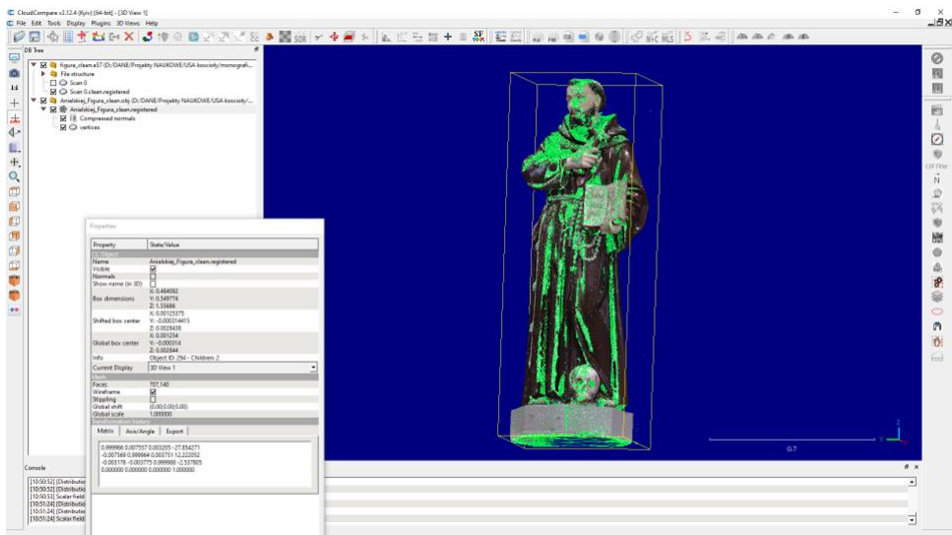
each scan. These views are saved in the native format for RealityCapture: .lsp.

In the next steps, a decision is made: whether and which groups of scans and photos will be used to generate the shape or colour of the mesh model? The pre-generated mesh model usually contains too many triangles (over 200 million) to be displayed by modern graphics cards in real time. Such a model is simplified to a size that can be visualised on the screen. Unnecessary elements of the environment are removed (e.g. fragments of trees), and then textures are generated based on photos or colour data of scans. The most accurate for current technological limits, mesh model of the scanned sacred object is created. This model is exported to a universal format for 3D models (e.g. .obj or .glb).

**Preparation for dissemination** includes activities necessary to transform the resulting base models into visualisations available to the general public. First of all, the underlying base cloud or mesh model is too large to be shared over the Internet and displayed on devices that do not have provide the highest performance.

Mesh models can be simplified in the RealityCapture software that was used to generate the base models. The formats for saving simplified models are also the same.

In the case of point clouds, it is necessary to use additional software. The open CloudCompare software was used, allowing manipulation, comparison and, among others, simplifying point clouds (Figure 4.3).



Rysunek 4.3. Interfejs oprogramowania CloudCompare. Figura mnicha z kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago.

Figure 4.3. CloudCompare software interface. Figure of a monk from the church of St Mary of the Angels in Chicago.

Wielkość przetwarzanych chmur (miliardy punktów) wymusiła konieczność wykorzystania oprogramowania CloudCompare w trybie wsadowym, bez uruchamiania interfejsu graficznego. Wynikowe chmury poddane decymacji zostały zapisane w formacie .las

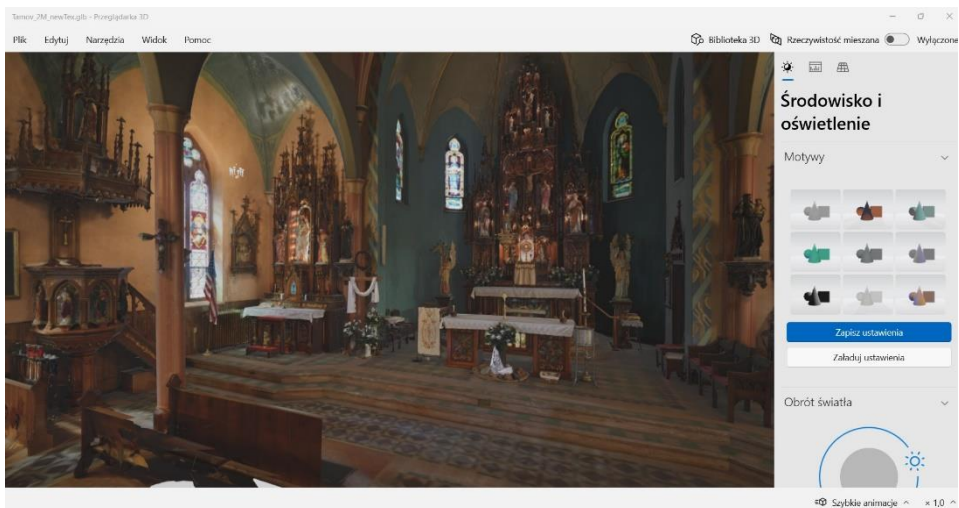
W związku z tym, że głównym medium upowszechniania jest Internet, modele chmurowe i siatkowe należy prezentować bezpośrednio na stronach WWW. Współczesne przeglądarki internetowe posiadają już wbudowane mechanizmy pozwalające przetwarzać grafikę trójwymiarową.

W przypadku modeli siatkowych problem sprowadza się do wykorzystania biblioteki three.js oraz jednej z dostępnych przeglądarek uruchamianych w oknie WWW i załadowaniu do niej modelu 3D – rysunek 4.4. Model musi być na tyle mało szczegółowy aby jego pobieranie poprzez Internet nie było zbyt uciążliwe dla odbiorcy. Na drodze badań określono górny limit szczegółowości na 2 miliony trójkątów.

The size of the processed clouds (billions of points) made it necessary to use the CloudCompare software in batch mode, without running the graphical interface. The resulting decimated clouds were saved in the .las format.

Since the main medium of dissemination is the Internet, cloud and mesh models should be presented directly on websites. Modern web browsers already have built-in mechanisms for processing three-dimensional graphics.

In the case of mesh models, the problem comes down to using e.g. the three.js library and one of the available browsing apps launched in a web window and loading the 3D model into it (Figure 4.4). The model must be sufficiently simplified so that downloading it via the Internet is not too burdensome for the recipient. Through research, an upper limit of detail of 2 million triangles was established.



Rysunek 4.4. Przykład wizualizacji uproszczonego modelu 3D. Wnętrze kościoła Św. Michała Archanioła w Tarnov.

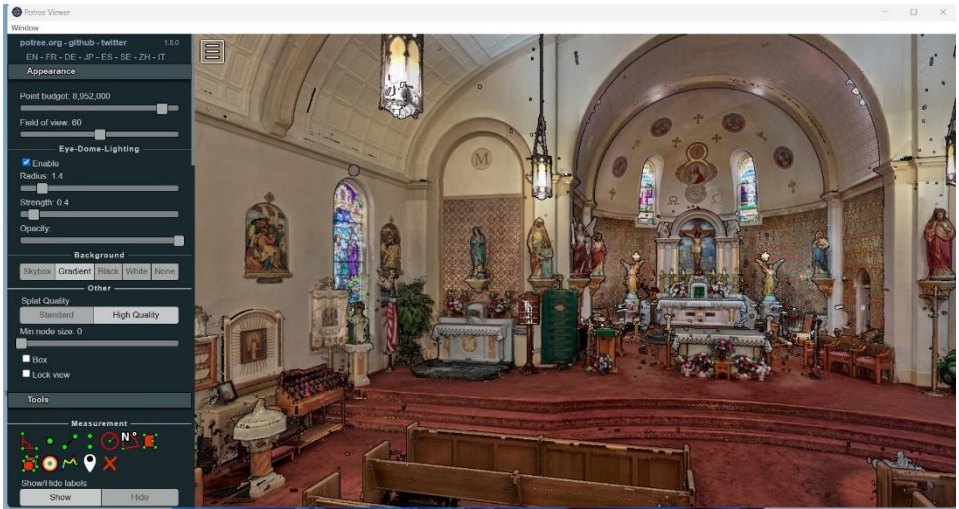
Figure 4.4. Example of visualisation of a simplified 3D model. Interior of the church of St Michael the Archangel in Tarnov.

W przypadku chmur punktów limit 2 milionów punktów prowadziłyby do powstania obrazu zbyt mało szczegółowego. Prezentowane przez Internet chmury – pomimo uproszczenia, nadal zawierają znacząco większe liczby punktów co prowadzi do znacznej wielkości pliku. Ściąganie takiego pliku w całości w celu jego wizualizacji w przeglądarce WWW było by zbyt uciążliwe i mogłoby prowadzić do błędów oprogramowania.

Wybrany rozwiązaniem tego problemu jest wykorzystanie przeglądarki Potree [45, 46], wizualizującej dane chmury punktów w sposób sekwencyjny. Chmura punktów zostaje zaindeksowana i rozdzielona na sekcje. W zależności od obszaru obserwowania i stopnia zbliżenia prezentowane są tylko odpowiednie sekcje i poziomy szczegółowości – gęstości punktów. Sekcje te są pobierane „w locie” w trakcie przeglądania, gdy zaistnieje taka potrzeba. Widz może regulować poziom szczegółowości prezentowanego fragmentu chmury w zależności od potrzeb i możliwości urządzenia końcowego – rysunek 4.5.

In the case of point clouds, a limit of 2 million points would result in an image that is not detailed enough. Clouds presented on the Internet – despite their simplification, still contain significantly larger numbers of points, which leads to a large file size. Downloading such a file in its entirety for visualisation in a web browser would be too burdensome and could lead to software errors.

The chosen solution to this problem is the use of the Potree viewer [45, 46], which visualises point cloud data in a sequential manner. The point cloud is indexed and divided into sections. Depending on the observation area and the zoom level, only appropriate sections and levels of detail – point densities – are presented. When needed, these sections are downloaded on-the-fly during browsing. The viewer can adjust the level of detail of the presented cloud fragment depending on the needs and capabilities of the end device (Figure 4.5).



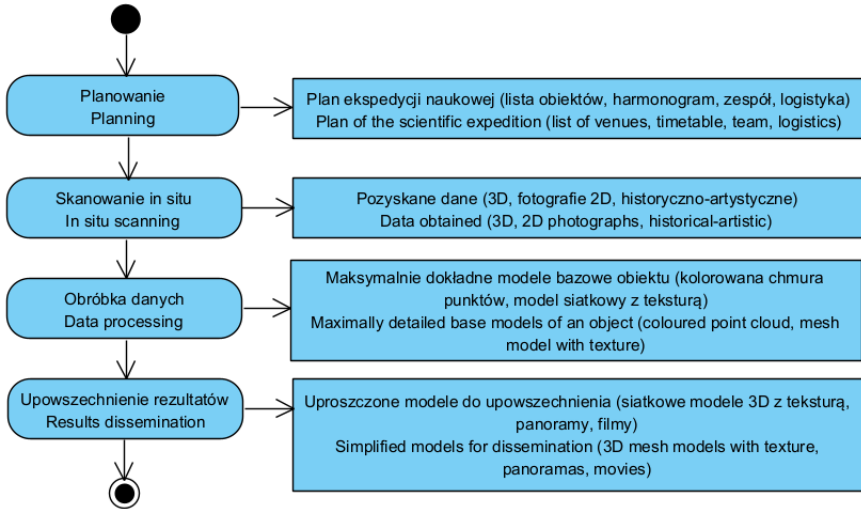
Rysunek 4.5. Wizualizacja chmury punktów z pomocą Potree.

Figure 4.5. Point cloud visualisation with Potree.

## 5. Metodyki skanowania i przetwarzania danych

### 5.1. Metodyka skanowania

Etapy związane z przygotowaniem, realizacją i wykorzystaniem rezultatów ekspedycji naukowych do USA w celu akwizycji danych przedstawia rysunek 5.1.



Rysunek 5.1. Etapy ekspedycji naukowej do USA i ich główne rezultaty.

Figure 5.1. Stages of the scientific expedition to the USA and their main results.

Etap „Planowanie” (rysunek 5.1) realizowany jest przed wyruszeniem na ekspedycję naukową do USA. W jego trakcie realizowane są następujące zadania:

- ustalenie termin ekspedycji i składu zespołu,
- dobór obiektów do skanowania,
- ustalenie możliwości dostępu do obiektów,
- organizacja logistyki ekspedycji (bilety, hotele, sprawy formalne, wypożyczenie sprzętu itd.).

Etap „Skanowanie in situ” (rysunek 5.1) może być realizowany w trybie normalnym (standardowym) lub w trybie skanowania interwencyjnego. Wybór trybu zależy od

## 5. Data scanning and processing methodologies

### 5.1. Scanning Methodologies

The stages related to the preparation, implementation and use of the results of scientific expeditions to the USA for the purpose of data acquisition are presented in Figure 5.1.

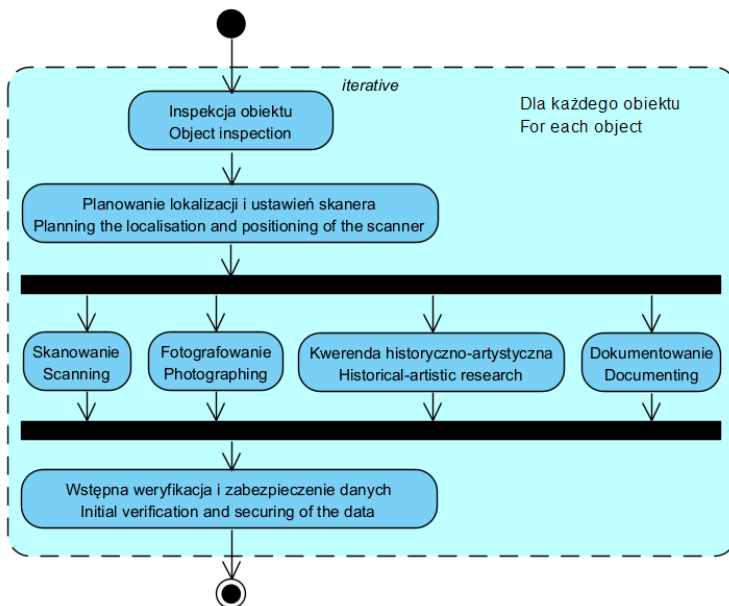
The "Planning" stage (Figure 5.1) is carried out before setting off on a scientific expedition to the USA. The following tasks are carried out during it:

- setting the date of the expedition and the composition of the team,
- selection of objects for scanning,
- determining the possibility of access to facilities,
- organization of expedition logistics (tickets, hotels, formal matters, equipment rental, etc.).

The "In situ scanning" stage (Figure 5.1) can be performed in normal (standard) mode or in emergency scanning mode. The choice of mode depends on the method and

sposobu i warunków udostępnienia obiektu do skanowania. Jeśli dostęp do niego jest wcześniej zaplanowany oraz uzgodniony to skanowanie realizowane jest w trybie normalnym – rysunek 5.2.

conditions of making the object available for scanning. If access to it is previously planned and agreed, scanning is performed in normal mode (Figure 5.2).



Rysunek 5.2. Schemat działań etapu „Skanowanie in situ” w trybie normalnym.

Figure 5.2. Flowchart of the "In situ scanning" stage in normal mode.

W takim przypadku wstępne oczekiwania i potencjalny plan działania jest dostępny z góry oraz istnieje wystarczająca ilość czasu na przeprowadzenie działań przygotowawczych jak inspekcja obiektu i ustalenie optymalnych lokalizacji i parametrów skanowania. Realizacja skanowania oraz innych działań gromadzenia danych o obiekcie przebiega równolegle i w zaplanowany sposób. Istnieje z góry ustalony zapas czasu na przeprowadzenie wstępnej weryfikacji zgromadzonych danych i ewentualne powtórki.

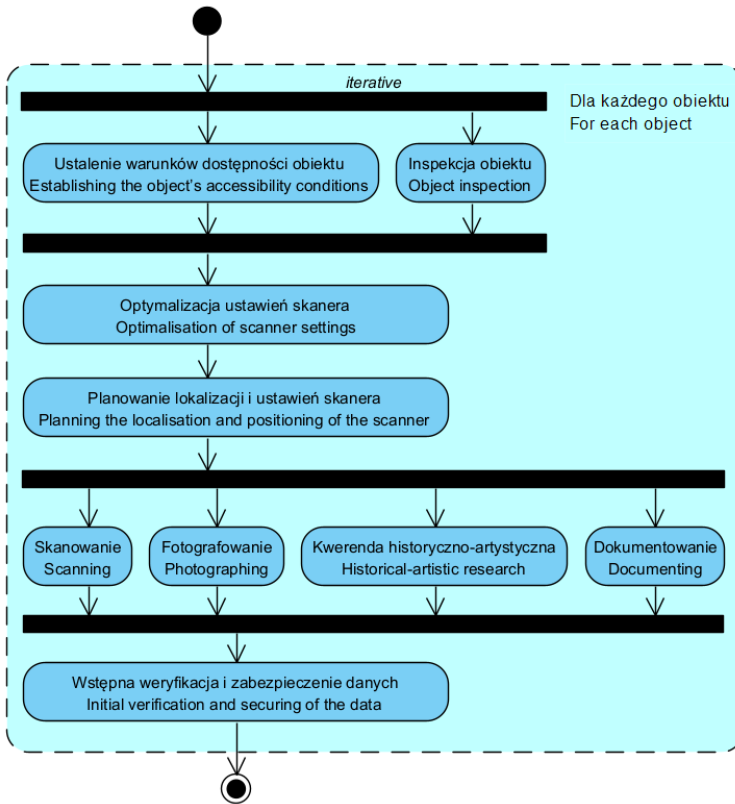
W niektórych przypadkach (np. dotarcie do niezaplanowanego uprzednio obiektu i działania ad-hoc związane z jego udostępnieniem lub też udostępnienia obiektu w trybie wyjątkowym, bo wyrażono

In this case, initial expectations and a potential action plan are available in advance and there is sufficient time to carry out preparatory activities such as inspecting the facility and determining optimal locations and scanning parameters. Scanning and other data collection activities about the facility are carried out in parallel and in a planned manner. There is a predetermined amount of time to perform initial verification of the collected data and possible repetitions.

In some cases (e.g. reaching a previously unplanned facility and ad-hoc activities related to making it available, or making the facility available on an exceptional basis, because a one-time consent was given

jednorazową zgodę dopuszczającą zespół do obiektu na ściśle określony, zwykle bardzo krótki, okres) stosowane jest skanowanie interwencyjne – rysunek 5.3.

allowing the team to enter the facility for a strictly defined, usually very short period) intervention scanning is used (Figure 5.3).



Rysunek 5.3. Schemat działań etapu „Skanowanie in situ” w trybie interwencyjnym.

Figure 5.3. Scheme of activities of the "In situ scanning" stage in the intervention mode.

W przypadku skanowania interwencyjnego brak jest wcześniejszych ustaleń co do oczekiwań i warunków dostępności obiektu. Ustalenia te muszą być wykonane bezwzględnie równolegle z inspekcją obiektu i zdefiniowaniem technicznych możliwości skanowania obiektu (rysunek 5.3). Ustalenia te dokonywane są z uwagą na czas (z reguły krótki) dostępu do obiektu. Z uwagi na ograniczenia czasowe dokonywana jest optymalizacja ustawień i miejsc umieszczenia skanera. Uzyskiwany jest

In the case of intervention scanning, there are no prior arrangements regarding the expectations and conditions of facility availability. These arrangements must be made immediately in parallel with the facility inspection and definition of the facility's technical scanning capabilities (Figure 5.3). These arrangements are made taking into account the (usually short) access time to the facility. Due to time constraints, the settings and locations of the scanner are optimised. A compromise is achieved between



kompromis między ryzykiem nie zdążenia realizacji skanowania w założonym czasie a potencjalnym zwiększeniem zaszufleni wyników i większej ilości obiektów niepożądanych (z reguły członków zespołu realizujących równolegle pozostałe zadania). Realizacja skanowania oraz innych działań gromadzenia danych o obiekcie przebiega równolegle w taki sposób aby minimalizować wzajemne zakłócenia przy jednoczesnym utrzymaniu ograniczeń czasowych. Z reguły zapas czasu na przeprowadzenie wstępnej weryfikacji zgromadzonych danych i ewentualne powtórki jest niewielki, co zwiększa ryzyko niepowodzenia realizacji skanowania w razie poważnego błędu. Ryzyko to jest jednak nadal akceptowalne w obliczu alternatywy braku zeskanowania obiektu, który może zostać utracony zanim następną okazją na zeskanowanie będzie miała miejsce.

Etap „Skanowanie in situ” niezależnie od trybu zawiera działania związane z (rysunki 5.2 i 5.3):

- planowaniem lokalizacji i ustawień skanera,
- skanowaniem TLS,
- fotografowaniem (dokumentujący prace i wygląd obiektu i/lub pozyskaniem zdjęć do realizacji technologii fotogrametrii),
- kwerendą historyczno-artystyczną,
- odręcznym dokumentowaniem lokalizacji skanera i innych elementów obiektu,
- wstępną weryfikacją i zabezpieczeniem danych (tj. skopiowanie ich na minimum trzy przenośne nośniki – taki standard stosuje zespół).

Pozostałe działania w trakcie etapu „Skanowanie in situ” różnią się, ze względu na to, że przy skanowaniu interwencyjnych trzeba uwzględnić istotne ograniczenia nakładane na czas skanowania oraz inne uwarunkowania dostępu do obiektu. Powoduje to w skanowaniu interwencyjnym konieczność podjęcia kroków optymalizacji ustawień skanera i liczby jego lokalizacji na miejscu po inspekcji obiektu i poznaniu

the risk of not completing the scan on time and the potential increase in noise of the results and a larger number of undesirable objects (usually team members carrying out other tasks in parallel). Scanning and other object data collection activities are carried out in parallel in such a way as to minimize mutual interference while maintaining time constraints. Typically, there is little time left for initial verification of the collected data and possible re-runs, which increases the risk of scan failure in the event of a serious error. However, this risk is still acceptable when faced with the alternative of not scanning an object that may be lost before the next opportunity to scan occurs.

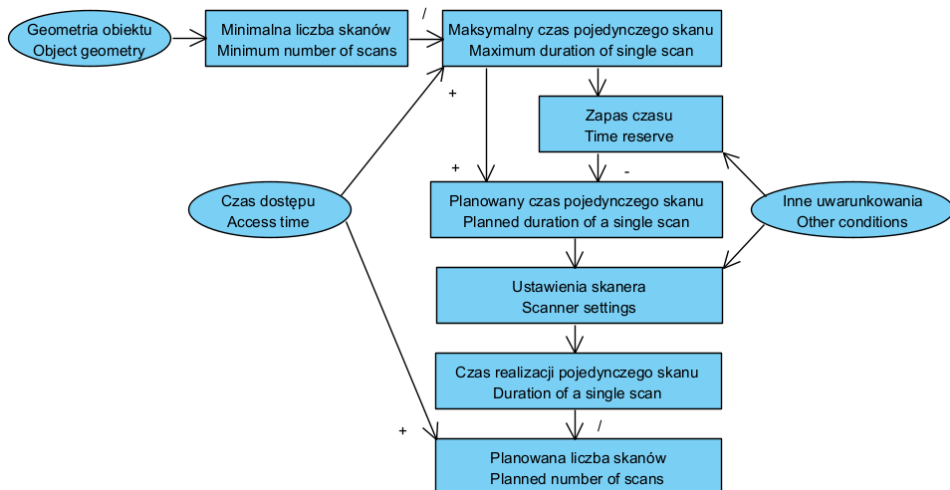
The "In situ scanning" stage, regardless of the mode, includes activities related to (Figures 5.2 and 5.3):

- planning the location and settings of the scanner,
- TLS scanning,
- taking photos (documenting the work and appearance of the object and/or obtaining photos for the implementation of photogrammetry technology),
- historical and artistic research,
- manual documentation of the location of the scanner and other elements of the facility,
- initial verification and security of data (i.e. copying it to at least three portable media – this is the standard used by the team).

The remaining activities during the "In situ scanning" stage differ due to the fact that during intervention scanning, significant limitations imposed on the scanning time and other conditions of access to the facility must be taken into account. In emergency scanning, this makes it necessary to take steps to optimise the scanner settings and the number of its locations on site after inspecting the facility and learning about

tych uwarunkowań. Schemat optymalizacji ustawień przedstawia rysunek 5.4.

these conditions. The settings optimisation scheme is shown in Figure 5.4.



Rysunek 5.4. Schemat działań optymalizacyjnych przy skanowaniu interwencyjnym (opis symboli i oznaczeń w treści).

Figure 5.4. Scheme of optimisation activities during intervention scanning (description of symbols and markings in the text).

Na schemacie (rysunek 5.4) przedstawiono uwarunkowania niezależne od zespołu skanującego (oznaczone elipsami), a mianowicie:

- czas dostępu do obiektu;
- geometria obiektu;
- inne uwarunkowania (np. obecność obiektów przeszkadzających w TLS i fotografowaniu takich jak: wiernych, turystów, osób obsługi obiektu, zapylenie, brak oświetlenia itp.).

Rozpoznana w trakcie inspekcji geometria obiektu (rysunek 5.3) umożliwia wstępne oszacowanie minimalnej liczby skanów do wykonania, na tej podstawie biorąc pod uwagę czas dostępu do obiektu wyznaczany jest maksymalny czas pojedynczego skanu – rysunek 5.4. Od tego czasu odejmowany jest zapas (w sekundach lub procentach) wynikający z innych znanych lub przewidywanych uwarunkowań (np. szacowana jest liczba skanów, które w wyniku istotnych zakłóceń trzeba będzie

The diagram (Figure 5.4) shows conditions independent of the scanning unit (marked with ellipses), namely:

- access time to the facility;
- geometry of the object;
- other conditions (e.g. presence of objects disturbing TLS and photography, such as worshipers, tourists, facility staff, dust, lack of lighting, etc.).

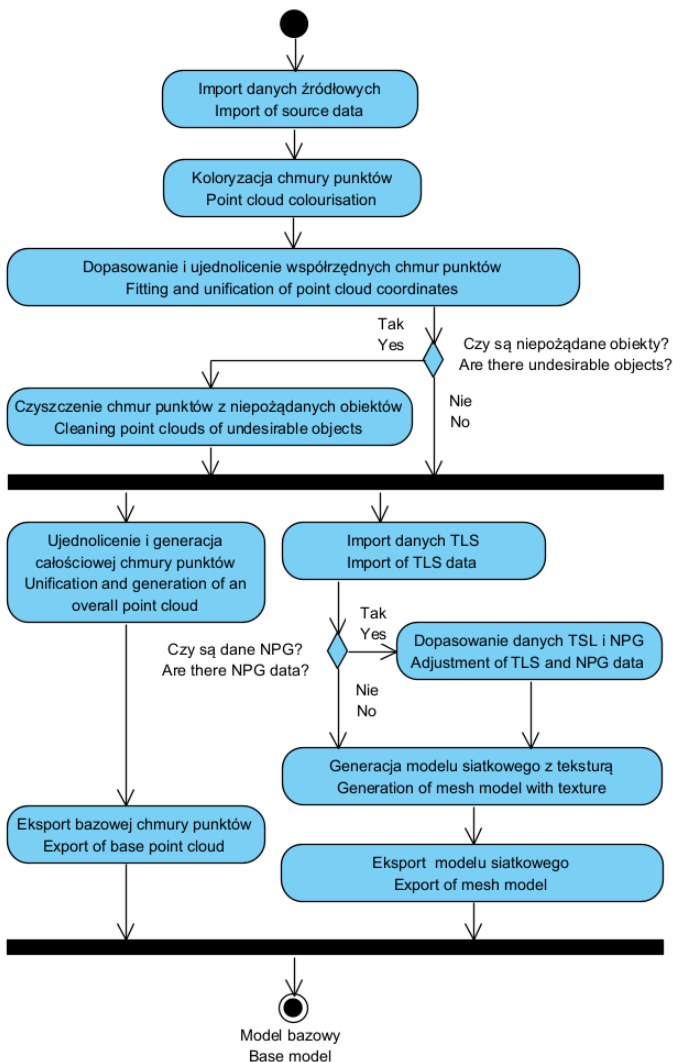
The geometry of the object identified during the inspection (Figure 5.3) allows for a preliminary estimate of the minimum number of scans to be performed, on this basis, taking into account the access time to the object, the maximum time (duration) for a single scan is determined (Figure 5.4). From this time, the margin (in seconds or percentage) resulting from other known or predicted conditions is subtracted (e.g. the number of scans that will have to be repeated

powtórzyć). Wartość ta daje planowany czas realizacji pojedynczego skanu. Na tej podstawie ustala się w oprogramowaniu skanera jego ustawienia (rysunek 5.4), takie by wykonać proces skanowania z maksymalną dokładnością. Oprogramowanie wyznacza przewidywany czas skanowania, który stanowi podstawę do wyznaczenia planowanej liczby skanów. Liczba ta jest potem wykorzystywana w działaniu „Planowanie lokalizacji i ustawień skanera” – rysunek 5.3. Schemat na rysunku 5.4 zawiera także schematyczne oznaczenia operacji wykonywanych na poszczególnych zmiennych (+, -, /).

Etap „Obróbka danych” (rysunek 5.1) może być realizowany z wykorzystaniem danych fotograficznych 2D (dane do NPG) w procesie fotogrametrii połączonemu z obróbką danych z TLS lub bez wykorzystania zdjęć 2D – rysunek 5.5. Celem tego etapu jest uzyskanie bazowych modeli chmurowych i siatkowych skanowanego obiektu. Model chmurowy powstaje wyłącznie na podstawie danych skanowania TLS podczas gdy model siatkowy może bazować zarówno na danych TLS, jak i danych z fotogrametrii. Wykorzystanie danych fotogrametrycznych na etapie generowania modelu siatkowego zależy od decyzji specjalisty, oceniającego kompletność i jakość uzyskanych danych NPG.

as a result of significant disruptions is estimated). This value gives the planned duration of a single scan. On this basis, the scanner software settings are set (Figure 5.4) to perform the scanning process with maximum accuracy. The software determines the expected scanning duration, which is the basis for determining the planned number of scans. This number is then used in the "Planning scanner location and settings" activity – Figure 5.3. The diagram in Figure 5.4 also contains schematic designations of operations performed on individual variables (+, -, /).

The "Data processing" stage (Figure 5.1) can be carried out using 2D photographic data (NPG data) in the photogrammetry process combined with TLS data processing or without the use of 2D photos (Figure 5.5). The aim of this stage is to obtain the base cloud and mesh models of the scanned object. The cloud model is based solely on TLS scanning data, while the mesh model can be based on both TLS and photogrammetry data. The use of photogrammetric data at the stage of generating the mesh model depends on the decision of the specialist who assesses the completeness and quality of the obtained NPG data.

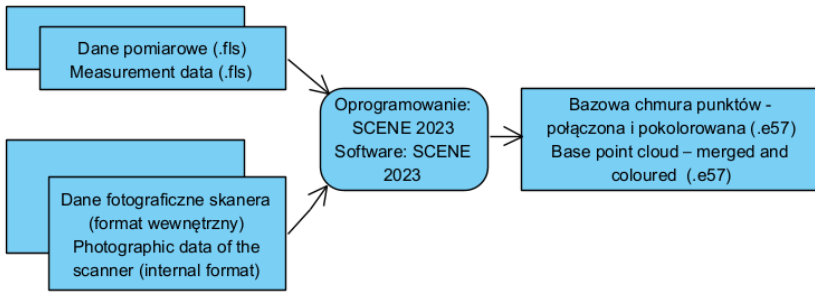


Rysunek 5.5. Schemat działań na etapie „Obróbka danych”.

Figure 5.5. Scheme of activities at the "Data processing" stage.

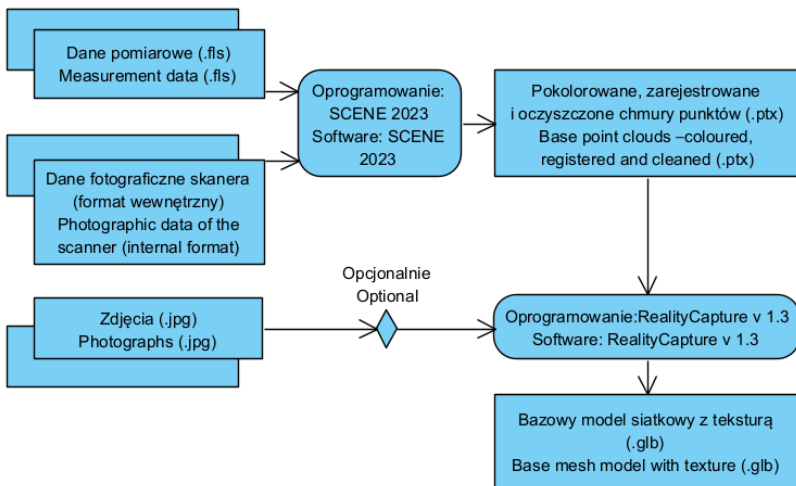
Rysunki 5.6 i 5.7 przedstawiają oprogramowanie i formaty plików wykorzystywanych na końcowych działaniach etapu „Obróbka danych”, a mianowicie: wykonania modelu chmurowego (na rysunku 5.6.) i modelu siatkowego (na rysunku 5.7) W obu przypadkach przedstawiono uproszczony schemat przekształcania danych pozyskanych in situ do bazowych modeli.

Figures 5.6 and 5.7 present the software and file formats used in the final activities of the "Data Processing" stage, namely: creating a cloud model (in Figure 5.6.) and a grid model (in Figure 5.7). In both cases, a simplified scheme for transforming data obtained in situ is presented to the base models.



Rysunek 5.6. Użyte oprogramowanie i formaty plików przy generowaniu modelu chmurowego.

Figure 5.6. Software and file formats used to generate the cloud model.



Rysunek 5.7. Użyte oprogramowanie i formaty plików przy generowaniu modelu siatkowego.

Figure 5.7. Software and file formats used to generate the mesh model.

Etap „Upowszechnienie rezultatów” (rysunek 5.1) obejmuje szereg działań podejmowanych w zależności od potrzeb upowszechniania pozyskanych danych źródłowych. Efektem tych działań mogą być:

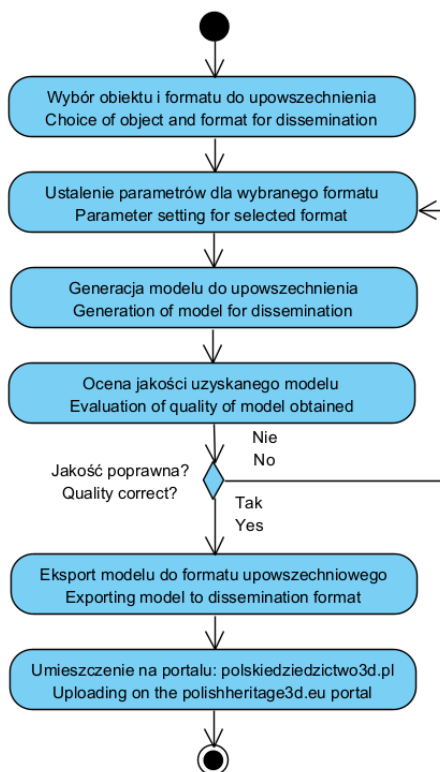
- uproszczone modele siatkowe, dostosowane do prezentacji w Internecie;
- ustrukturyzowane modele chmurowe, z odpowiednimi narzędziami wizualizacji w Internecie;
- widoki (panoramy) 360°;
- filmy i animacje zrealizowane z wykorzystaniem modeli.

The "Dissemination of results" stage (Figure 5.1) includes a number of activities undertaken depending on the needs for dissemination of the acquired source data. The effects of these actions may be:

- simplified mesh models, adapted to presentation on the Internet,
- structured cloud models, with appropriate online visualization tools,
- 360° views,
- films and animations made using models.

Ogólny schemat przygotowania odpowiedniego rezultatu modelu do upowszechnienia przedstawia rysunek 5.8.

The general scheme for preparing an appropriate dissemination result (model for dissemination) is presented in Figure 5.8.



Rysunek 5.8. Ogólny schemat tworzenia modeli do upowszechnienia.

Figure 5.8. A general scheme for creating models for dissemination.

## 5.2. Ocena dokładności opracowanych bazowych modeli 3D

Siatkowe modele 3D z teksturą o maksymalnej jakości (modele bazowe) stanowią elementy wieczystego archiwum 3D, stworzonego w wyniku realizacji projektu „Badania nad narodowym dziedzictwem kulturowym Polonii w USA i utworzenie cyfrowych zbiorów pamięci”. Archiwum to w potocznym znaczeniu jest „cyfrowym zbiorem pamięci”. Modele te o rozmiarach kilkudziesięciu GB (rozdz. 6.1–6.8) odwzorowują rzeczywistość z maksymalną uzyskaną w projekcie dokładnością

## 5.2. Assessment of the accuracy of the developed base 3D models

3D mesh models with a texture of maximum quality (base models) are elements of a perpetual 3D archive created as a result of the implementation of the project "Research on the national cultural heritage of Polonia in the USA and the creation of digital memory collections". In the common sense, this archive is a "digital memory collection". These models, with a size of several dozen GB (chapters 6.1–6.8), reproduce reality with the maximum accuracy achieved in the project (determined by

(wyznaczaną dostępnym sprzętem i oprogramowaniem) i mogą stanowić obiekty badań dla historyków, kulturoznawców, architektów, historyków sztuki, religioznawców itp. Badania z wykorzystaniem modeli zmniejszają ich koszty (nie trzeba ich realizować in-situ), skracają ich czas oraz zwiększają dostępność obiektów dla różnych uczonych. Część modeli 3D odwzorowuje już nie istniejące obiekty, ale w dalszym ciągu możliwe do badań.

Oczywiście, tak duże modele 3D wymagają do ich eksploracji odpowiedniego sprzętu i oprogramowania. W „cyfrowym zbiorze pamięci” przechowywane są również wszystkie dane pierwotne pozyskane w trakcie ekspedycji naukowych do ich ewentualnego późniejszego wykorzystania, kiedy ograniczenia współczesnego sprzętu i oprogramowania zostaną przesunięte w stronę większych wartości. Raz już to miało miejsce w historii pracy zespołu „Lab3D” [43]. Eksploracja tak dużych modeli nie zawsze jest konieczna (szczególnie w badaniach humanistycznych, dla których dokładne wymiary obiektów są niepotrzebne).

Niektórym dyscyplinom naukowym zatem do badań wystarczy ogólny obraz wnętrza i jego elementów (posągów, mebli, obrazów, witraży, fresków itd.), ale dla innych (np. architektki) niezbędne są w miarę dokładne dane (np. dla architektów wymiary z dokładnością  $\pm 5$  cm) o rozmiarach budynków i ich wyposażeniu. Dla badaczy niewielkich artefaktów dokładność modelu 3D ma o wiele większe znaczenie niż dla architektów i powinna być o jeden rząd wielkości większa. Powstaje zatem pytanie, na ile dokładne są opracowane modele. Z jednej strony ich objętość w wielu przypadkach jest olbrzymia (kilkadziesiąt GB), ale z drugiej są to obiekty o bardzo dużych rozmiarach (niekiedy sięgające 70–100 m długości).

Dokładność modelu jest mierzona błędem, czyli różnicą pomiędzy obiektem rzeczywistym, a jego modelem. W związku z dużą liczbą punktów pomiarowych miarą błędu

available hardware and software) and can be objects of research for historians, culture experts, architects, art historians, religious experts, etc. Research using models reduces their costs (they do not have to be carried out in-situ), shortens their time and increases the availability of objects for various scientists. Some 3D models reproduce objects that no longer exist, but are still possible to research.

Of course, such large 3D models require appropriate hardware and software for their exploration. The "digital memory set" also stores all the primary data obtained during scientific expeditions for their possible later use, when the limitations of modern hardware and software are shifted towards larger values. This has already happened once in the history of the work of the "Lab3D" team [43]. Exploring such large models is not always necessary (especially in humanities research, for which the exact dimensions of objects are unnecessary).

Therefore, for some scientific disciplines, a general image of the interior and its elements (statues, furniture, paintings, stained glass, frescoes, etc.) is enough for research, but for others (e.g. architects) relatively accurate data (e.g. for architects dimensions with an accuracy of  $\pm 5$  cm) on the sizes of buildings and their equipment are necessary. For researchers of small artefacts, the accuracy of the 3D model is much more important than for architects and should be one order of magnitude greater. The question therefore arises as to how accurate the developed models are. On the one hand, their volume is in many cases enormous (dozens of GB), but on the other hand, these are objects of very large dimensions (sometimes reaching 70–100 m in length).

The accuracy of the model is measured by the error, i.e. the difference between the real object and its model. Due to the large number of measurement points, the error is

są ich statystyki. Jest to głównie wartość średnia absolutnej różnicy pomiędzy dwoma obiektami: rzeczywistym a chmurą punktów pomiarowych mierzonej jako:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n |d_i|}{n}, \quad (5.1)$$

gdzie:

$n$  – liczba punktów w porównywalnych obiektach cyfrowych;

$d_i$  – odległość pomiędzy dwoma odpowiadającymi sobie punktami w porównywanych obiektach cyfrowych.

Model 3D w postaci chmury punktów odwzorowuje rzeczywisty obiekt z dokładnością (błędem) użytego skanera. Jego parametry dokładnościowe pochodzą z danych fabrycznych lub z raportu kalibracji dołączonego do skanera (tabela 3.2).

Błąd metody przekształcenia chmury punktów pozyskanych w wyniku skanowania do modelu siatkowego (z uwzględnieniem metody fotogrametrii) można wyznaczyć jako wartość średnią różnicy absolutnych wartości różnicy pomiędzy chmurą punktów a modelem siatkowym – analogicznie do formuły (5.1).

Łączny błąd bazowego modelu 3D, czyli różnica pomiędzy rzeczywistością a modelem bazowym, który wynika z dwóch ortogonalnych błędów: pomiaru i błędu metody, wyznacza się jako:

$$\delta = \sqrt{(\delta_{sc}^2 + \delta_m^2)}, \quad (5.2)$$

gdzie:

$\delta_{sc}$  – błąd systematyczny (pomiaru) skanera;

$\delta_m$  – błąd metody, czyli tworzenia modelu siatkowego z chmury punktów.

W celu określenia wartości błędu modelu bazowego dokonano wyodrębnienia z bazowych modeli 3D (zarówno w postaci chmury jak i siatkowego) do oddzielnych plików figury mnicha z kościoła św. Matki Boskiej

measured by its statistics. This is mainly the average value of the absolute difference between two objects: the real one and the cloud of measurement points measured as:

where:

$n$  – number of points in comparable digital objects;

$d_i$  – distance between two corresponding points in compared digital objects.

The 3D model in the form of a point cloud reproduces the real object with the accuracy (error) of the scanner used. Its accuracy parameters come from the factory data or from the calibration report attached to the scanner (Table 3.2).

The error of the method of transforming the point cloud obtained as a result of scanning into a mesh model (taking into account the photogrammetry method) can be determined as the average value of the difference in the absolute values of the difference between the cloud of points and the mesh model – analogously to formula (5.1).

The total error of the base 3D model, i.e. the difference between reality and the base model, which results from the measurement error and the method error, is determined as:

where:

$\delta_{sc}$  – systematic (measurement) error of the scanner;

$\delta_m$  – method error, i.e. creating a mesh model from the point cloud.

In order to determine the error value of the base model, the figure of a monk from the Church of St Mary of the Angels in Chicago was extracted from the base 3D models (both in the form of a cloud and



Anielskiej w Chicago – rysunek 5.9. Wyodrębnienie modelu odbyło się w trybie ręcznym, co może wprowadzać niedokładności w porównywaniu obszarów wyodrębnionych.

a mesh) into separate files (Figure 5.9). The model was extracted manually, which may introduce inaccuracies in comparing the extracted areas.



a)



b)

Rysunek 5.9. Figura mnicha z kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago: a) zdjęcie i b) pokolorowana chmura punktów. W b) wstawiono odcinek o długości 75 cm w celu odwzorowania skali.

Figure 5.9. Figure of a monk from the Church of St Mary of the Angels in Chicago: a) photograph and b) coloured point cloud. A 75 cm long bar was inserted in b) to reflect the scale.

Parametry figury i jej modeli przedstawiono w tabeli 5.1.

The parameters of the figure and its models are presented in Table 5.1.

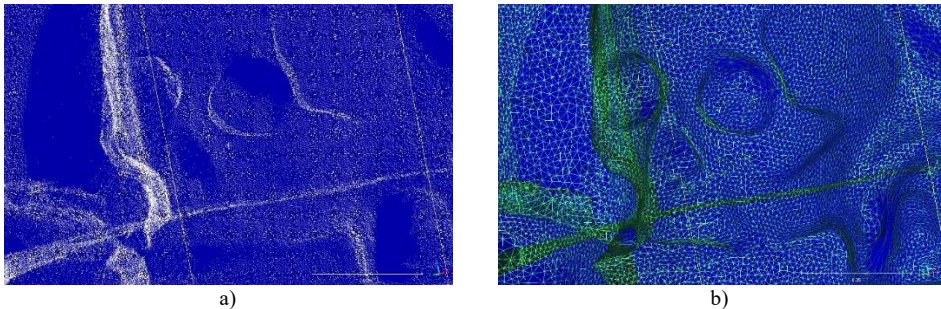
Tabela 5.1. Parametry figury i jej modeli.

Table 5.1. Parameters of the figure and its models.

Parametr / Parameter	Jedn. miary / Unit of measurement	Wartość / Value
Wysokość figury z cokolem / Height of the figure with the base	m	1.54
Liczba punktów w chmurze / Number of points in the cloud	szt. / pcs	2 894 088
Wielkość chmury punktów w formacie .e57 / Size of the point cloud in the .e57 MB format	MB	76.7
Liczba trójkątów w modelu siatkowym 3D / Number of triangles in the 3D mesh model	szt. / pcs	707 140
Liczba wierzchołków modelu siatkowym 3D / Number of vertices in the 3D mesh model	szt. / pcs	353 822
Wielkość modelu siatkowego 3D w formacie .obj / Size of the 3D mesh model in the .obj format	MB	56.6

Uzyskana gęstość punktów w modelu chmurowym jest różna w różnych miejscach figury – rysunek 5.10 a. W konsekwencji wielkości trójkątów w modelu siatkowym też są różne w różnych miejscach – rysunek 5.10 b. Tym niemniej większość boków trójkątów waha się w granicach 2–3 mm. Jako, że modele figury pozyskano z modeli bazowych to można powiedzieć, że całe wnętrze kościoła może być odwzorowane z taką dokładnością.

The obtained point density in the cloud model is different in different places of the figure (Figure 5.10 a). As a result, the sizes of the triangles in the mesh model are also different in different places (Figure 5.10 b). Nevertheless, most of the triangle sides vary within the range of 2–3 mm. Since the models of the figure were obtained from base models, it can be said that the entire interior of the church can be reproduced with such accuracy.

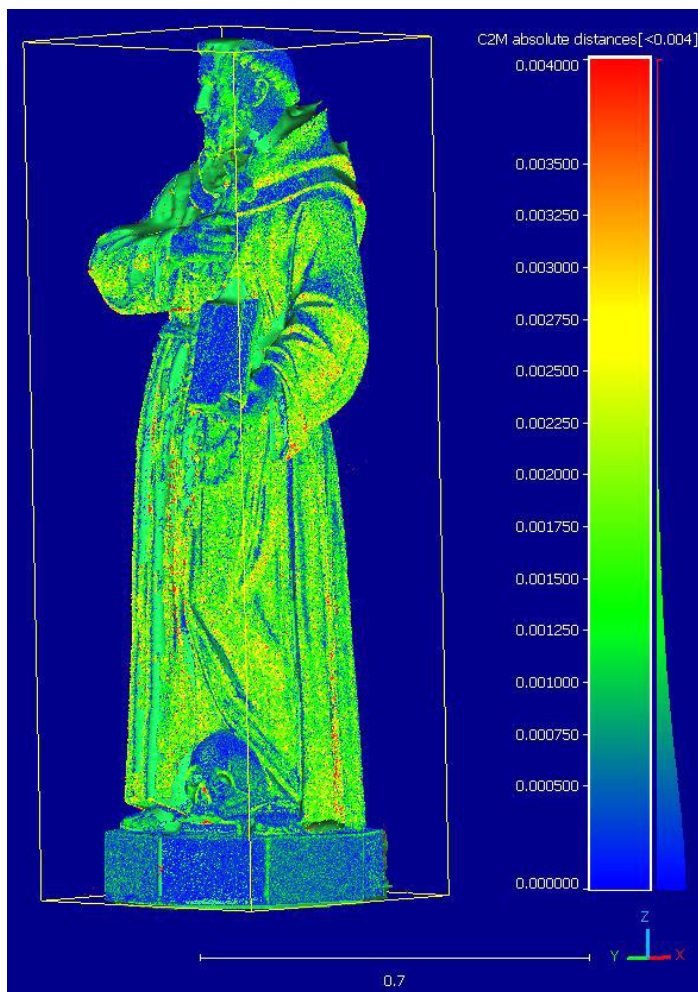


Rysunek 5.10. Powiększone fragmenty modelu: a) punkтового i b) siatkowego.  
Wstawiono odcinek o długości 5 cm w celu pokazania skali.

Figure 5.10. Enlarged fragments: a) of the point model and b) the mesh model.  
A 5 cm long bar is inserted to show the scale.

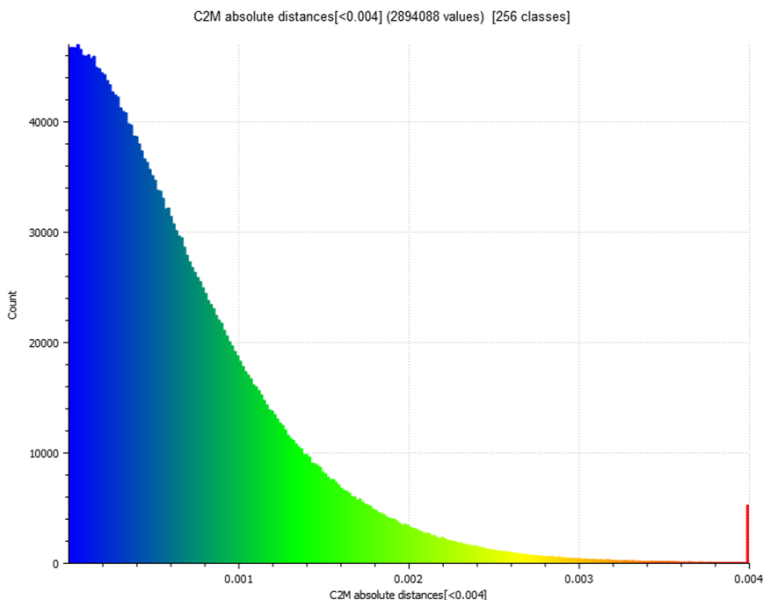
Przy pomocy oprogramowania CloudCompare v. 2.12.4, po rejestracji obydwu modeli figury, porównano chmurę punktów pomiarowych z modelem siatkowym odrzucając duże odchylenia (powyżej 4 mm). Zawężenie analizowanego przedziału absolutnych wartości odległości pomiędzy modelami do 0–4 mm spowodowało odrzucenie statystycznie niewielkiej liczby (około 0,18%) pomiarów odległości. Rezultat porównania w postaci absolutnych wartości odległości pomiędzy chmurą a modelem siatkowym przedstawiono na rysunkach 5.11 i 5.12.

Using CloudCompare v. 2.12.4 software, after registering both models of the figure, the cloud of measurement points was compared with the mesh model, rejecting large deviations (over 4 mm). Narrowing the analysed range of absolute distance values between the models to 0–4 mm resulted in the rejection of a statistically small number (approximately 0.18%) of distance measurements. The result of the comparison in the form of absolute distance values between the cloud and the mesh model is presented in Figures 5.11 and 5.12.



Rysunek 5.11. Absolutne wartości odległości pomiędzy modelem chmurowych a siatkowym. Wstawiono odcinek o długości 70 cm w celu pokazania skali. Z prawej strony przedstawiony jest histogram absolutnych odległości ze zróżnicowaniem kolorów dla poszczególnych przedziałów. Wszystkie odległości przedstawiono w metrach.

Figure 5.11. Absolute distance values between the cloud model and the mesh model. A 70 cm long bar was inserted to show the scale. On the right side is a histogram of absolute distances with colour differentiation for individual ranges. All distances are presented in meters.



Rysunek 5.12. Histogram absolutnych wartości odległości pomiędzy modelem chmurowym a siatkowym figury. Wszystkie odległości przedstawiono w metrach.

Figure 5.12. Histogram of absolute distance values between the cloud model and the mesh model of the figure. All distances are presented in meters.

Histogram (rysunek 5.12), pozyskany w postaci pliku .csv, składający się z 256 przedziałów i liczby absolutnych wartości odległości punktów chmury od modelu siatkowego. Program sklasyfikował 2 894 088 odległości pomiędzy modelami (tj. dla każdego punktu chmury), z czego 2 888 799 było w przedziale 0–4 mm. Pozwoliło to wyznaczyć parametry jakości 3D modelu siatkowego w porównaniu do chmurowego – tabela 5.2.

Histogram (Figure 5.12), obtained as a .csv file, consisting of 256 intervals and the number of absolute values of the distance of cloud points from the mesh model. The program classified 2,894,088 distances between models (i.e. for each cloud point), of which 2,888,799 were in the 0–4 mm range. This allowed determining the 3D quality parameters of the mesh model compared to the cloud model (Table 5.2).

Tabela 5.2. Parametry figury i jej modeli.

Table 5.2. Mesh model quality parameters.

Parametr / Parameter	Jedn. miary / Unit of measurement	Wartość / Value
Średnia wartość absolutnych odległości pomiędzy chmurą punktów a modelem siatkowym / Average value of absolute distances between point cloud and mesh model	mm	0.69
Standardowe odchylenie absolutnych odległości pomiędzy chmurą punktów a modelem siatkowym / Standard deviation of absolute distances between point cloud and mesh model	mm	0.58

Według rezultatów kalibracji użytego skanera FARO Premium (tabela 3.2) błąd pomiarowy wynosi nie więcej niż 0,36 mm dla odległości 25 m. Przy pomocy formuły 5.2 można wyznaczyć łączny błąd 3D modelu siatkowego. Jego wartość to 0,78 mm. Biorąc pod uwagę ręczny sposób wydzielenia figury z modeli bazowych wydaje się, że można wnioskować, że całe wnętrze kościoła św. Matki Boskiej Anielskiej zostało odwzorowane w modelu siatkowym ze średnim błędem 0,78 mm, a w modelu w postaci chmury punktów – 0,36 mm.

### 5.3. Klasyfikacja skanowanych kościołów

Kościoły skanowane w trakcie realizacji projektu pt. „Badania nad narodowym dziedzictwem kulturowym Polonii w USA i utworzenie cyfrowych zbiorów pamięci” umiejscowione są głównie w mieście Chicago (stan Illinois, IL) i okolicznych miejscowościach satelickich (np. Marytown), a także w Milwaukee (stan Wisconsin, WI). Wynika to z faktu, że było (i jest) to największe skupisko Polonii w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej, a w konsekwencji skupisko kościołów budowanych przez Polonię. W trakcie projektu zrealizowano również prace skanowania 3D kościołów polonijnych w bardzo małych, wiejskich miejscowościach.

W celach uporządkowania i metodycznego podejścia, w projekcie zastosowano system klasyfikacji typów kościołów (CT) w projekcie. W proponowanym systemie każdemu kościołowi przypisuje się uporządkowaną n-tkę, charakteryzującą jego parametry, warunki i zakres skanowania, a także lokalizację:

$$CT=(C, D, S, L), \quad (5.3)$$

gdzie:

C – złożoność obiektu skanowania (l/m/h – “niska”, “średnia”, “wysoka”);

According to the calibration results of the FARO Premium scanner used (Table 3.2), the measurement error is no more than 0.36 mm for a distance of 25 m. Using formula 5.2, the total 3D error of the mesh model can be determined. Its value is 0.78 mm. Considering the manual method of separating the figure from the base models, it seems that it can be concluded that the entire interior of the Church of Our Lady of the Angels was reproduced in the mesh model with an average error of 0.78 mm, and in the point cloud model – 0.36 mm.

### 5.3. Classification of scanned churches

Churches scanned during the implementation of the project entitled "Research on the national cultural heritage of the Polish diaspora in the USA and the creation of digital memory collections" are located mainly in the city of Chicago (Illinois, IL) and nearby satellite towns (e.g. Marytown), as well as in Milwaukee (Wisconsin, WI). This is due to the fact that it was (and is) the largest concentration of Polish diaspora in the United States of America, and consequently the concentration of churches built by the Polish diaspora. During the project, 3D scanning of Polish diaspora churches in very small, rural towns was also carried out.

For the purposes of order and methodical approach, the project used the church type classification system (CT) in the project. In the proposed system, each church is assigned an ordered n-th, characterising its parameters, conditions and scanning range, as well as location:

where:

C – complexity (l/m/h – “low”, “medium”, “high”),

D – obecność osób przeszkadzających w skanowaniu (y/n – “tak” jeśli byli, “nie” – w przeciwnym przypadku);  
S – zakres skanowania (i/w – tylko “wnętrze” lub “cały”, tj. wewnątrz i zewnętrzne obiektu);  
L – lokalizacja (c/t/v – “miasto”, ”miasteczko” lub “wioska”).

Poziom złożoności oceniany był w formule eksperckiej. Przy czym, w ocenie kierowano się przede wszystkim liczbą naw, a więc i kolumnad, w kościele (1, 3 i 5), liczbą i konfiguracją kaplic oraz liczbą poziomów pomieszczeń kościelnych (w większości dwa: kościół i chór, ale zdarzały się z dodatkowym poziomem dla wiernych, więc trzy).

Skanowania odbywały się w kościołach udostępnionych zespołowi na wyłączność, ale też w normalnym trybie otwarcia dla wiernych na czuwania i modlitwy (w czasie mszy świętych, z oczywistych powodów, skanowania nie odbywały się). W przypadku udostępniania budynków na wyłączność nie było osób kręcących się po kościele i zaburzających prace zespołu. Dotyczyło to już wyłączonych z użytku kościołów (zdesakralizowanych) oraz większości kościołów w małych miejscowościach – zamkniętych dla wiernych w dni robocze. Fakt obecności lub nie ludzi przeszkadzających w skanowaniu wskazuje parametr D.

W wielu przypadkach skanowanie zewnętrznej bryły kościoła było utrudnione lub wręcz niemożliwe do realizacji. Przeszkadzała w takich działaniach roślinność (drzewa z liśćmi) lub gęsta, bliska zabudowa przesłaniając znaczną część ścian zewnętrznych. W niektórych przypadkach skanowanie z zewnątrz było utrudnione z powodu deszczu. Fakt skanowania także bryły zewnętrznej kościoła odnotowano w parametrze S.

Zagrożone są kościoły nie tylko w dużych miastach, ale także na terenach wiejskich. Parametr L odwzorowuje usytuowanie kościoła.

D – people disturbing the scanning process (y/n – “yes” if any, “no” – otherwise),  
S – scanning scope (i/w – “interior” only or “whole”, tj. interior and exterior),  
L – location (c/t/v – “city”, ”town” or “village”).

The level of complexity was assessed in an expert formula. However, the assessment was guided primarily by the number of naves, and therefore colonnades, in the church (1, 3 and 5), the number and configuration of chapels and the number of levels of church rooms (mostly two: church and choir, but there were cases with an additional level for the faithful, so three).

Scanning took place in churches that were made available to the team exclusively, but also in the normal mode of opening to the faithful for vigils and prayers (for obvious reasons, scanning was not carried out during masses). In the case of buildings that were made available exclusively, there were no people hanging around the church and disturbing the team's work. This concerned churches that had already been closed (desacralised) and most churches in small towns – closed to the faithful on weekdays. The presence or absence of people interfering with scanning is reflected in parameter D.

In many cases, scanning the external mass of the church was difficult or even impossible to carry out. Such activities were hindered by vegetation (trees with leaves) or dense, close buildings that obscured a significant part of the external walls. In some cases, scanning from the outside was difficult due to rain. The fact that the external mass of the church was also scanned was indicated in parameter S.

Churches are at risk not only in large cities, but also in rural areas. Parameter L reflects the location of the church.

Przykładowo, n-tka charakteryzująca kościół św. Wojciecha w Chicago (IL) wygląda następująco:

(m, n, i, c),

a kościół św. Michała Archanioła w Radomiu (IL):

(l, n, w, v),

a kościół Matki Boskiej Anielskiej w Chicago (IL):

(h, y, i, c).

For example, the n-th characterising the church of St Adalbert in Chicago (IL) looks like this:

and a church of St Michael the Archangel in Radom (IL):

and a church of St Mary of the Angels in Chicago (IL):

Tak zdefiniowana n-tka tworzy  $3*2*2*3$ , tj. 36 grup klasyfikacyjnych. Nie wszystkie miały swoich reprezentantów spośród zeskanowanych kościołów, co jest oczywiste bo liczba grup klasyfikacyjnych (36) przewyższa liczbę zeskanowanych kościołów (20).

Klasyfikację przy pomocy formuły (5.3) kościołów zeskanowanych w ramach projektu przedstawia tabela 5.3. Numeracja kościołów w tabeli 5.3 jest dwupoziomowa: pierwsza liczba jest kolejnym numerem zeskanowanego kościoła w pracach w projekcie, a liczba po „-” jest numerem ekspedycji naukowej (wg. rozdziału 1: 1, 2 lub 3).

The n-th defined in this way creates  $3*2*2*3$ , i.e. 36 classification groups. Not all of them had their representatives among the scanned churches, which is obvious because the number of classification groups (36) exceeds the number of scanned churches (20).

The classification using formula (5.3) of churches scanned as part of the project is presented in Table 5.3. The numbering of churches in Table 5.3 is two-level: the first number is the consecutive number of the scanned church in the work on the project, and the number after "-" is the number of the scientific expedition (according to Chapter 1: 1, 2 or 3).

Tabela 5.3. Klasyfikacja zeskanowanych kościołów.

Table 5.3. Classification of scanned churches

Nr / No.	Kościół / Church	Złożoność / Complexity	Przeszkadzający / Process disturbance	Zakres skanowania / Scanning scope	Lokalizacja / Location
		<b>C</b>	<b>D</b>	<b>S</b>	<b>L</b>
1-1	Bazylika św. Jacka / St Hyacinth's Basilica, Chicago (IL)	m	n	i	c
2-1	Kościół Trójcy Świętej / Holy Trinity Church, Chicago (IL)	h	y	i	c
3-1	Kościół św. Stanisława Kostki / St Stanislaus Kostka's Church, Chicago (IL)	m	y	i	c
4-1	Kościół św. Michała Archanioła / St Michael the Archangel's Church, Chicago (IL)	m	n	w	c
5-1	Kościół św. Jadwigi / St Hedwig's Church, Chicago (IL)	m	n	w	c

6-1	<b>Kościół św. Stanisława Biskupa i Męczennika / St Stanislaus the Bishop and Martyr's Church, Milwaukee (WI)</b>	<b>l</b>	<b>n</b>	<b>w</b>	<b>c</b>
7-2	<b>Kościół św. Wojciecha / St Adalbert's Church, Chicago (IL)</b>	<b>m</b>	<b>n</b>	<b>i</b>	<b>c</b>
8-2	Sanktuarium św. Maksymiliana Kolbego / St Maximilian Kolbe's Shrine, Marytown (IL)	h	y	i	t
9-2	<b>Kościół św. Brunona / St Bruno's Church, Chicago (IL)</b>	<b>l</b>	<b>n</b>	<b>i</b>	<b>c</b>
10-2	Kościół św. Jozefata / St Josaphat's Church, Chicago (IL)	m	n	i	c
11-2	Kościół św. Michała Archanioła / St Michael the Archangel's Church, Radom (IL)	l	n	w	v
12-2	Bazylika św. Jozefata / St Josaphat's Basilica, Milwaukee (WI)	m	n	i	c
13-2	Kościół św. Błażeja / St Blaise's Church, Chicago	l	n	i	c
14-3	<b>Kościół Najświętszego Serca Pana Jezusa i św. Wacława / Sacred Heart and St Wenceslas' Church, Dodge (WI)</b>	<b>l</b>	<b>n</b>	<b>w</b>	<b>v</b>
15-3	Kościół Najświętszego Serca Pana Jezusa / Sacred Heart Church, Custer (Polonia) (WI)	l	n	w	v
16-3	<b>Kościół śś. Piotra i Pawła / St Peter and Paul's Church, Independence (WI)</b>	<b>m</b>	<b>n</b>	<b>w</b>	<b>t</b>
17-3	Kościół św. Piotra / St Peter's Church, Stevens Point (WI)	l	n	w	t
18-3	Kościół św. Wawrzyńca / St Lawrence's Church, Wisconsin Rapids (WI)	l	n	w	t
19-3	<b>Kościół św. Michała Archanioła / St Michael the Archangel's Church, Tarnov (NE)</b>	<b>m</b>	<b>n</b>	<b>w</b>	<b>v</b>
20-3	<b>Kościół Matki Boskiej Anielskiej / St Mary of Angels Church, Chicago (IL)</b>	<b>h</b>	<b>y</b>	<b>i</b>	<b>c</b>

Uwaga: oznaczenia jak w formule (5.3). Wytłuszczono kościoły wybrane do szczegółowego opisu studiów ich przypadków w rozdziale 6.

Note: symbols as in formula (5.3). Bolded are churches selected for a detailed description of their case studies in Chapter 6

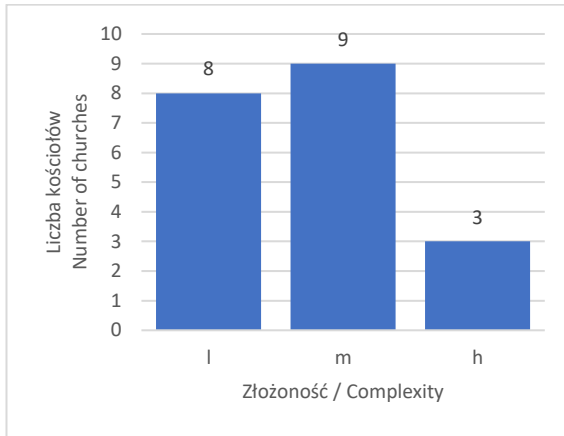
Analiza danych z tabeli 5.3 wskazuje, że w większości przypadków (75%) prace związane ze skanowaniem odbywały się w pustych kościołach udostępnianych na wyłączność. Zmniejszyło to pracochłonność późniejszego postprocessingu (nie trzeba ręcznie czyścić skanów z zakłóceń), ale też jest wskazaniem na negatywną tendencję „pustynniejących kościołów” w USA. Praktycznie połowę kościołów udało się

Analysis of the data from Table 5.3 indicates that in most cases (75%) the work related to scanning was carried out in empty churches made available exclusively. This reduced the workload of later post-processing (no less need to manually clean the scans from interference), but it is also an indication of the negative trend of "desertifying churches" in the USA. Almost half of the churches were scanned from the inside



zeskanować z wewnątrz i zewnątrz (9 z 20). Większość kościołów była w lokalizacjach dużych miast (12). Można to uzasadnić tym, że były one dobrane jako największe i najbardziej cenne historyczno-artystycznie. Rysunek 5.13 przedstawia rozkład odskanowanych kościołów według ich stopnia złożoności.

and outside (9 out of 20). Most of the churches were located in large cities (12). This can be justified by the fact that they were selected as the largest and most valuable historically and artistically. Figure 5.13 shows the distribution of scanned churches according to their degree of complexity.



Rysunek 5.13. Rozkład zeskanowanych kościołów pod kątem ich złożoności.

Figure 5.13. Distribution of scanned churches in terms of their complexity.

Dane w tabeli 5.3 wskazują na silną korelację (100%) pomiędzy wiejską lokalizacją kościoła (L=v lub L=t) a możliwością jego odskanowania z zewnątrz, oraz także na to że wszystkie one były udostępniane na wyłączność.

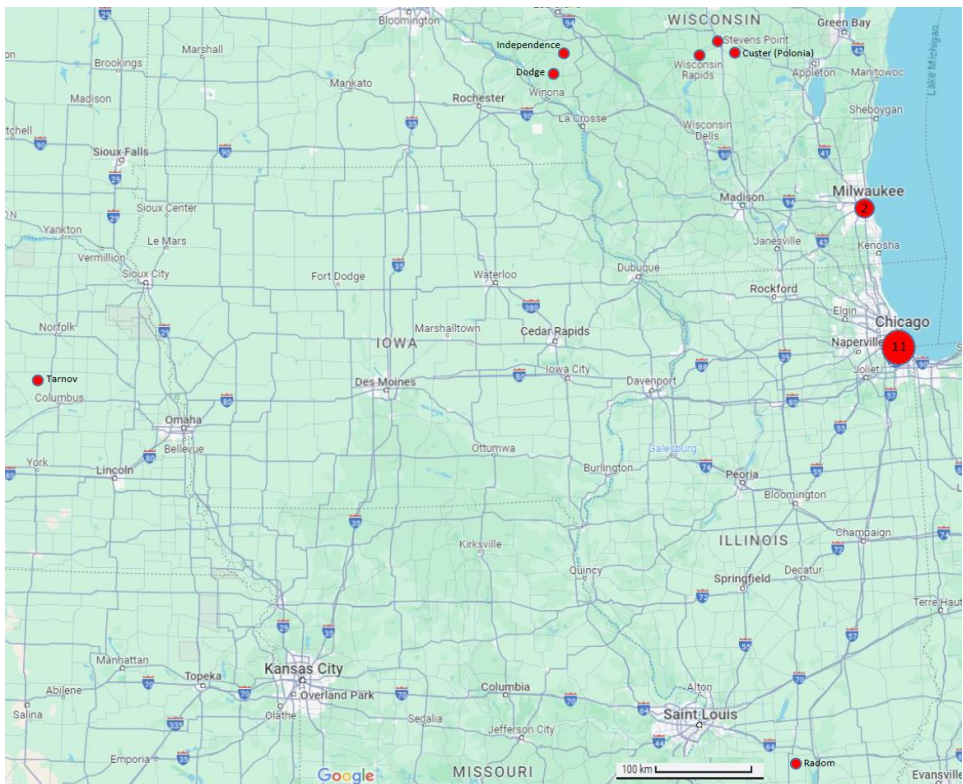
W tabeli 5.3 wytłuszczeniem wydzielono osiem kościołów, w których przebieg i rezultaty skanowania są przedstawione w kolejnych podrozdziałach rozdziału 6. Dobór jest arbitralny i starający się pokryć większość grup klasyfikacyjnych.

Na rysunku 5.14 przedstawiono geograficzną lokalizację wszystkich zeskanowanych kościołów w USA w ramach projektu.

The data in Table 5.3 indicate a strong correlation (100%) between the rural location of the church (L=v or L=t) and the possibility of scanning it from the outside, and also that all of them were made available exclusively.

In Table 5.3, eight churches have been distinguished in bold, in which the course and results of scanning are presented in the following subchapters of Chapter 6. The selection is arbitrary and attempts to cover most of the classification groups.

Figure 5.14 shows the geographical location of all USA churches scanned as part of the project.

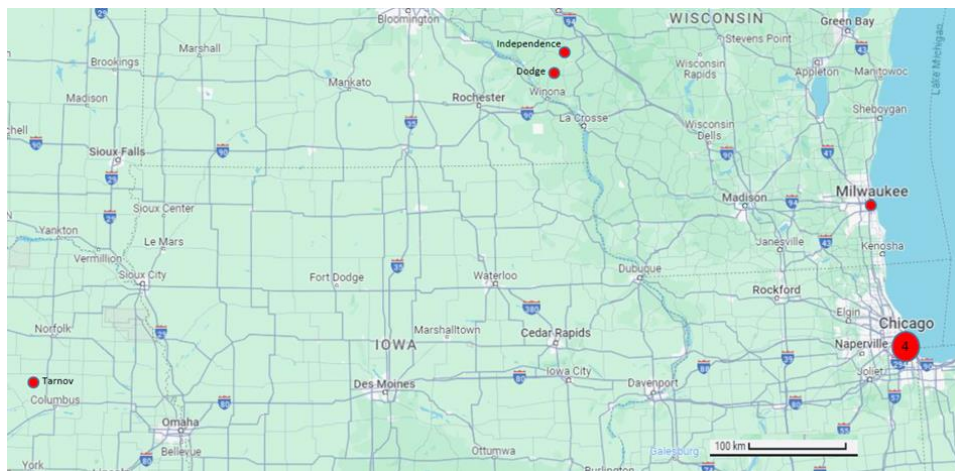


Rysunek 5.14. Geograficzne położenie wszystkich zeskanowanych kościołów w USA w ramach projektu.  
Wstawiono odcinek o długości 100 km w celu pokazania skali.

Figure 5.14. Geographic location of all US churches scanned as part of the project. A 100 km long bar was inserted to show the scale.

## 6. Studia przypadków skanowania kościołów w USA

Kościoły wybrane do szczegółowej prezentacji w rozdziałach 6.1–6.8 znajdowały się w 5. miejscowościach leżących w 3. stanach: Illinois, Wisconsin i Nebraska i były zeskanowane podczas trzech ekspedycji naukowych w latach 2022–2024 – rysunek 6.1.



Rysunek 6.1. Rozmieszczenie miejscowości skanowanych kościołów opisanych w monografii.

Figure 6.1. Distribution of the locations of the scanned churches described in the monograph.

### 6.1. Bazylika św. Jacka w Chicago

Bazylika w projekcie została zakwalifikowana jako kościół o średnim stopniu złożoności ( $C=m$  w formule (5.3)), bez przeszkadzania w skanowaniu przez osoby postronne ( $D=n$ ), którego nie udało się zeskanować ze środka i z zewnątrz ( $S=i$ ) i położony w dużym mieście Chicago ( $L=c$ ).

#### *Historia i stan bazyliki*

Gwałtownie zwiększająca się liczba polskich emigrantów była głównym powodem, że w przedmieściu Chicago Avondale w 1894 r. powstała parafia św. Jacka. Od wezwania kościoła obecnie dzielnica ta

## 6. Case studies of church scanning in the USA

The churches selected for detailed presentation in chapters 6.1–6.8 were located in 5 locations in 3 states: Illinois, Wisconsin, and Nebraska and were scanned during three scientific expeditions in years 2022–2024 (Figure 6.1).

### 6.1. St Hyacinth's Basilica in Chicago

The basilica in the project was classified as a church of medium complexity ( $C=m$  in formula (5.3)), without obstructing scanning by outsiders ( $D=n$ ), which could not be scanned from the inside and outside ( $S=i$ ) and located in the large city of Chicago ( $L=c$ ).

#### *History and condition of the basilica*

The rapidly increasing number of Polish emigrants was the main reason why the parish of St Hyacinth was established in the Chicago suburb of Avondale in 1894. From the church's name, this district is currently

w środowisku polskim nosi nazwę Jackowo [47]. Pierwszy drewniany budynek, wybudowany za sprawą zmartwychwstańca ks. Wincenta Barzyńskiego, łączył funkcje szkoły i kościoła. Przez kolejne lata parafia się rozrastała, nastąpiła zmiana lokalizacji, wybudowano kolejne budynki na potrzeby liturgiczne i szkoły. W 1895 r. zaproszono Siostry Świętej Rodziny z Nazaretu, które prowadziły szkołę do jej zamknięcia w 1984 r. (w szczytowym okresie lat 60. liczba uczniów w szkole podstawowej sięgała 1 150).

Budowę obecnego kościoła rozpoczęto w dniu 21 października 1917 r. (poświęcenie kamienia węgielnego), a już w 1918 r. budynek został pokryty dachem. Konsekracja świątyni z rąk arcybiskupa miejsca, Georga W. Mundelein, odbyła się 16 października 1921 r. Z okazji 75 rocznicy istnienia parafii (1969 r.) poświęcono kaplicę Matki Boskiej Częstochowskiej [48]. W lipcu 2000 parafię wizytowali kardynałowie Francis Eugene George OMI (z zakonu oblatów) – arcybiskup Chicago i Józef Glemp – Prymas Polski. 21 czerwca 2003 świątynia otrzymała tytuł Bazyliki Mniejszej, zaś w czerwcu 2008 r. świątynię wizytował kardynał Stanisław Dziwisz [49]. Można śmiało powiedzieć, że bazylika św. Jacka była centrum życia religijnego i społecznego Polonii w Chicago.

Kościół znajduje się przy West George Street i jest usytuowany na osi północ-południe z częścią prezbiterialną od strony południowej. Świątynia wybudowana została na planie krzyża łacińskiego. Kościół został zaprojektowany przez firmę architektoniczną Worthmann & Steinbach, która zbudowała wiele wspaniałych polskich kościołów w Chicago, reprezentujących tzw. polski katedralny styl kościołów [21]. Nazwa ta wynikała z powodu bogactwa formy, jak i rozmiaru budowli [50]. Kościół stylem bryły nawiązuje do włoskiego renesansu, a w trójwieżowej części frontowej widać inspiracje barokiem – rysunek 6.2. Wystrój i wyposażenie kościoła powstawały

called Jackowo in the Polish community [47]. The first wooden structure, built thanks to the Resurrectionist priest Wincenty Barzyński, combined the functions of a school and a church. Over the following years, the parish grew, the location changed, and more buildings were built for liturgical and school purposes. In 1895, the Sisters of the Holy Family of Nazareth were invited and ran the school until it was closed in 1984 (at its peak in the 1960s, the number of students in the primary school reached 1,150).

Construction of the current church began on October 21, 1917 (blessing of the cornerstone), and in 1918 the building was covered with a roof. The consecration of the church by the local archbishop, George W. Mundelein, took place on October 16, 1921. On the occasion of the 75th anniversary of the parish (1969), the chapel of Our Lady of Częstochowa was consecrated [48]. In July 2000, the parish was visited by Cardinals Francis Eugene George OMI (of the Oblate Order) – Archbishop of Chicago and Józef Glemp, Primate of Poland. On June 21, 2003 the church received the title of Minor Basilica, and in June 2008 the church was visited by Cardinal Stanisław Dziwisz [49]. It can safely be said that St Hyacinth's Basilica was the centre of religious and social life of the Polish community in Chicago.

The church is located on West George Street and is situated on the north-south axis with the presbytery on the south side. It was built on a Latin cross plan. Designed by the architectural firm Worthmann & Steinbach, which built many magnificent Polish churches in Chicago, it represents the so-called Polish cathedral style of churches [21]. This name resulted from the richness of form and the size of the building [50]. The style of the church refers to the Italian Renaissance, and the three-tower front part is inspired by the Baroque (Figure 6.2). The interior design and furnishings of the church were created throughout its existence. In 1921, stained glass windows were

przez cały czas jego istnienia. W 1921 r. zamontowano witraże przygotowane przez Meyer Co. z Munich w stanie Georgia, a niektóre przez Zettler Co. z New York oraz organy firmy Kilgen (z St Louis stan Missouri) z 34 głosami. Pierwsza znacząca część malowideł zdobiących wnętrze została wykonana w latach 30-tych XX w. Także stacje Drogi Krzyżowej przygotowane prawdopodobnie w Austrii uważane obecnie za bezcenne, zostały zamontowane w tym okresie. Wśród malowideł można znaleźć prace tak renomowanych malarzy, jak: Tadeusz Żukotyński i siostra Maria Stanisla, ze Zgromadzenia Sióstr Szkolnych de Notre Dame [50].

installed, prepared by Meyer Co. from Munich, Georgia, and by Zettler Co. from New York, as well as the Kilgen organ (from St Louis, Missouri) with 34 voices. The first significant part of the paintings decorating the interior were made in the 1930s. Also the Stations of the Cross, probably prepared in Austria and now considered priceless, were installed at that time. Among the paintings, one can find works by such renowned painters as: Tadeusz Żukotyński and Sister Maria Stanisla, from the Congregation of the School Sisters of Notre Dame [50].



Rysunek 6.2. Bryła bazyliki Św. Jacka, Chicago i uczestnicy pierwszej ekspedycji naukowej.

Figure 6.2. The structure of St Hyacinth's Basilica, Chicago and participants of the first scientific expedition.

Dzięki hojności kilku polskich rodzin w 2005 r. wykonano spiżowe drzwi wraz z obramowaniem. Środkowe drzwi zawierają płaskorzeźbione sceny, postaci i atrybuty nawiązujące do historii Polski: m.in.

Thanks to the generosity of several Polish families, a bronze door with a frame was made in 2005. The central door contains bas-relief scenes, figures and attributes referring to the history of Poland: including

postać św. Jana Pawła II klęczącego przed zmartwychwstałym Chrystusem, herby Polski i Rzeczypospolitej Obojga narodów z różnych okresów historycznych, polscy woje, rycerze i żołnierze, Szczerbiec i włócznia św. Maurycego – rysunek 6.3a. Drzwi po lewej stronie fasady zawierają przedstawienia ewangelistów: św. Mateusza i św. Marka z ich symbolami, postać św. Jacka, orła niosącego ryngraf z Matką Boską Częstochowską, widok z czasu budowy kościoła, biskupa pokrapiającego zgromadzony lud oraz tarcze herbowe z polskimi orłami. Dekoracja drzwi po stronie prawej zawiera postacie pozostałych ewangelistów: św. Łukasza i św. Jana z ich symbolami. Sceny i postaci poniżej nawiązują do historii zgromadzenia Zmartwychwstańców, w tym daty: ich przybycia do Teksasu, 1866, oraz objęcia pierwszej placówki w Chicago w 1870 r. – rysunek 6.3b [48].

the figure of St John Paul II kneeling before the resurrected Christ, the coats of arms of Poland and the Polish-Lithuanian Commonwealth from various historical periods, Polish warriors, knights and soldiers, the coronation sword Szczerbiec and the spear of St Maurice (Figure 6.3a). The door on the left side of the façade contains representations of the evangelists: St Matthew and St Mark with their symbols, the figure of St Hyacinth, an eagle carrying a gorget with Our Lady of Częstochowa, a view from the time of the church's construction, a bishop sprinkling the gathered people and coats of arms with Polish eagles. The decoration of the door on the right side contains figures of the other evangelists: St Luke and St John with their symbols. The scenes and figures below refer to the history of the Resurrectionists, including the dates of their arrival in Texas, 1866, and taking over the first facility in Chicago in 1870 (Figure 6.3) [48].



a)



b)

Rysunek 6.3. Spізowe drzwi wejściowe do bazyliki Św. Jacka w Chicago: a) środkowe, b) prawe wraz z obramowaniem.

Figure 6.3. Bronze entrance doors to the Basilica of St Hyacinth in Chicago: a) middle, b) right with frame.

Wnętrze kościoła prezentuje strukturę bazylikową – rysunek 6.4. Do transeptu korpus kościoła zawiera cztery przęsła, wliczając w to chór muzyczny. Nawa główna pokryta jest sklepieniem o przekroju łuku o obniżonej strzałce z gurtami.

The interior of the church presents a basilica structure (Figure 6.4). The body of the church contains four bays up to the transept, including the choir. The main nave is covered with a vault with a cross-section of an arch with a lowered arrowhead with arch bands.



Rysunek 6.4. Wnętrze bazyliki Św. Jacka.

Figure 6.4. Interior of the Basilica of St Hyacinth.

Na poziomie naw bocznych okna w przęsłach wypełnione są witrażami ze scenami: Wjazd Jezusa do Jerozolimy, Jezus uzdrawiający, Piotr otrzymuje Klucze Królestwa, Jezus u Marii i Marty, Jezus błogosławiący dzieci, Cud w Kanie Galilejskiej (wykonane przez F. X. Zettlera). Na ścianach nawy i transeptu znajdują się stacje Drogi Krzyżowej – rysunek 6.5.

At the level of the side aisles, the windows in the bays are filled with stained glass with scenes: Jesus' Entry into Jerusalem, Jesus Healing, Peter Receives the Keys of the Kingdom, Jesus with Mary and Martha, Jesus Blessing the Children, Miracle at Cana (made by F. X. Zettler). On the walls of the nave and transept are the Stations of the Cross (Figure 6.5).



a)



b)

Rysunek 6.5. Wyposażenie bazyliki: a) witraż – Jezus wręcza klucze Św. Piotrowi, b) stacja Drogi Krzyżowej z polskimi podpisami (Jezus na krzyżu umiera oraz Jezus do krzyża przybity).

Figure 6.5. The equipment of the basilica: a) stained glass – Jesus hands the keys to St Peter, b) Stations of the Cross with Polish captions (Jesus dies on the cross and Jesus nailed to the cross).

W bezpośrednim sąsiedztwie kościoła znajdują się pomniki: ku czci ks. Jerzego Popiełuszki, ku czci weteranów I wojny światowej (rysunek 6.6a), oraz statua św. Jana Pawła II (rysunek 6.6b). Koło kościoła znajduje się także grupa figuralna Matki Bożej z małym Jezusem, a w pobliżu dawnego klasztoru statua Najświętszego Serca Jezusowego.

In the immediate vicinity of the church there are monuments: in honour of a martyr Father Jerzy Popiełuszko, in honour of veterans of World War I (Figure 6.6a), and a statue of St John Paul II (Figure 6.6b). Near the church there is also a figural group of the Mother of God with the baby Jesus, and near the former monastery there is a statue of the Sacred Heart of Jesus.



a)



b)

Rysunek 6.6. Pomniki przy Bazylice Św. Jacka w Chicago: a) obelisk poświęcony parafianom uczestniczącym w I wojnie światowej, b) pomnik Św. Jana Pawła II.

Figure 6.6. Monuments at the Basilica of St Hyacinth in Chicago: a) obelisk dedicated to parishioners who participated in World War I, b) monument of St John Paul II.

### *Parametry procesu skanowania i pozyskane dane*

Skanowanie wnętrza Bazyliki było realizowane z ustawieniami skanera: rozdzielczość pojedynczego skanu 20 480 punktów

### *Scanning process parameters and acquired data*

Scanning the interior of the Basilica was carried out with the scanner settings: single scan resolution 20,480 points per 360



na 360 stopni. Obraz pobierany w trybie HDR. W tabeli 6.1 zestawiono czas pracy sprzętu (czyste, bez planowania, zmiany pozycji itd.) i pozyskane efekty skanowania. Wskazano istotne problemy wpływające na proces zbierania danych – rysunek 6.7.

degrees. Image acquired in HDR mode. Table 6.1 summarises the equipment operation time (clean, without planning, changing position, etc.) and the acquired scanning effects. Significant problems affecting the data collection process were indicated (Figure 6.7).

Tabela 6.1. Zestawienie czasu i ilości zgromadzonych danych przy skanowaniu bazyliki Św. Jacka w Chicago.

Table 6.1. Summary of time and amount of collected data during scanning of St Hyacinth's Basilica in Chicago.

Czas pracy (godz.) Working time (hours)				Liczba sztuk pozyskanych danych Number of units of acquired data				Problem Problems
Wnętrze Interior		Zewnętrzne Exterior		Wnętrze Interior		Zewnętrzne Exterior		
TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	
9	11	5	6	45	5 200	26	3 600	Ogromny budynek, słaby dostęp z zewnątrz / Huge building, poor access from outside

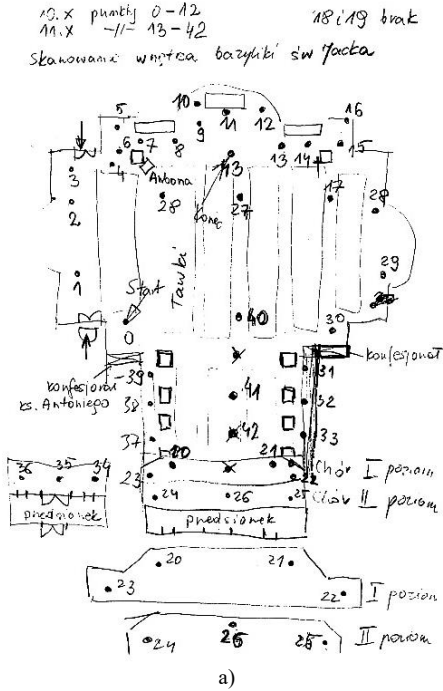


Rysunek 6.7. Digitalizacja 3D Bazyliki Św. Jacka w Chicago z wykorzystaniem skanera FARO.

Figure 6.7. 3D digitisation of St Hyacinth's Basilica in Chicago using the FARO scanner.

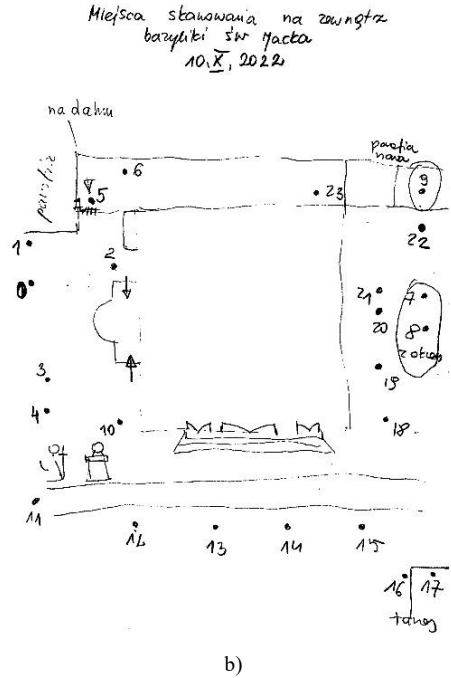
### Szkic procesu skanowania

Na rysunku 6.8 przedstawiono ręczne szkice opracowywane w trakcie skanowania wnętrza i zewnętrznej bryły Bazyliki Św. Jacka w Chicago.



### Sketch of the scanning process

Figure 6.8 shows manual sketches developed during scanning of the interior and exterior of St Hyacinth's Basilica in Chicago.



Rysunek 6.8. Szkice lokalizacji skanera w trakcie skanowania Bazyliki Św. Jacka w Chicago: a) wnętrza, b) zewnętrzna, wykonanie E. Miłosz

Figure 6.8. Sketches of the scanner location during scanning of St Hyacinth Basilica in Chicago: a) interior, b) exterior, by E. Miłosz

### Rezultaty postprocessingu

Po wstępnej analizie zebranych danych stwierdzono, że zebrane dane zewnętrznej bryły kościoła są niewystarczające aby odtworzyć model tej bryły bez znacznych braków, szczególnie w obszarze dachu, balkonów i wieży. Zdecydowano się na przeprowadzenie przetwarzania danych jedynie dla wnętrza Bazyliki.

Rezultaty przetwarzania danych źródłowych zostały zestawione w tabeli 6.2.

### Postprocessing results

After initial analysis it was found that the collected data of the external body of the church were insufficient to recreate a model of it without significant gaps, especially in the area of the roof, balconies and tower. It was decided to perform data processing only for the interior of the Basilica.

The results of processing the source data are summarised in Table 6.2.

Tabela 6.2. Zestawienie wygenerowanych efektów przetwarzania danych źródłowych z Bazyliki Św. Jacka w Chicago.

Table 6.2. Summary of the generated effects of processing the source data from St Hyacinth's Basilica in Chicago.

Typ zasobu / Resource Type	Pochodzenie / Origin	Cel / Purpose	Liczba zasobów /No. of resources	Parametry / Parameters	Rozmiar / Size
bazowy model siatkowy / base mesh model	wnętrze / interior	A	1	40 mln. trójkątów, tekstura wysokiej rozdzielczości / 40 million triangles, high-res texture	2 GB
model siatkowy do upowszechnienia / mesh model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	2 mln. trójkątów, tekstura niskiej rozdzielczości / 2 million triangles, low-res texture	280 MB
bazowy model chmurowy / base cloud model	wnętrze / interior	A	1	1,4 mld 3D punktów, kolorowanych RGB / 1.4 billion 3D points, RGB-coloured	64 GB
model chmurowy do upowszechnienia / cloud model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	60 mln. 3D punktów, kolorowanych RGB / 60 million 3D points, RGB-coloured	2 GB
obraz panoramy 360 / 360 panorama image interior	wnętrze / interior	U	9	20 x 10 tys. pikseli, RGB JPG / 20 x 10 tys. pixels, RGB JPG	37 MB

Uwaga: Cel: A – archiwizacja, U – upowszechnienie. / Note: Purpose: A – archiving, U – popularisation.

Przykładowe ekrany wybranych modeli chmurowych 3D uzyskane po obróbce danych zaprezentowano na rysunku 6.9.

Example print-screens of selected 3D cloud models obtained after data processing are presented in Figure 6.9.

## 6.2. Kościół Św. Stanisława Biskupa i Męczennika w Milwaukee (WI)

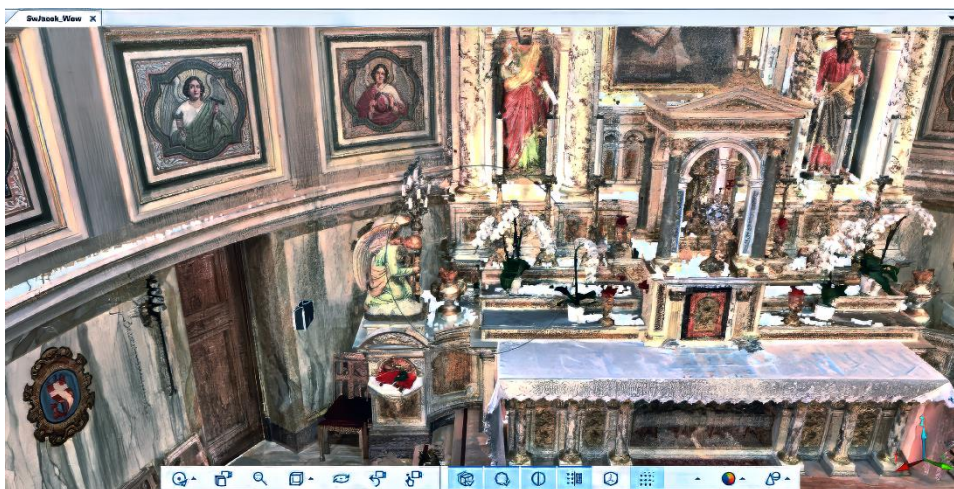
## 6.2. Church of St Stanislaus the Bishop and Martyr in Milwaukee (WI)

Kościół Św. Stanisława Biskupa i Męczennika w Milwaukee stan Wisconsin to rozmiarowo duży kościół, ale zakwalifikowany jako dość prosty architektonicznie (C=l w formule (5.3)). Położony jest w dużym mieście (L=c) i jest jednym z nielicznych miejskich kościołów, w którym udało się częściowo zeskanować jego zewnętrzną bryłę architektoniczną (S=w). Kościół był udostępniony zespołowi do skanowania na wyłączność (D=n).

The Church of St Stanislaus the Bishop and Martyr in Milwaukee, Wisconsin is a large church, but classified as quite simple architecturally (C=l in formula (5.3)). It is located in a large city (L=c) and is one of the few urban churches in which it was possible to partially scan its external architectural form (S=w). The church was made available to the team for exclusive scanning (D=n).



a)



b)

Rysunek 6.9. Ekran cyfrowych modeli chmurowych 3D z Bazyliki Św. Jacka w Chicago: a) widok ogólny na prezbiterium, b) widok na ołtarz główny.

Figure 6.9. Print-screens of digital 3D cloud models from St Hyacinth's Basilica in Chicago: a) general view of the presbytery, b) view of the main altar.

### *Historia i stan kościoła*

W latach 40. XIX w. polscy emigrantami z Kaszub dość licznie osiedlali się na Jones Island, trudniąc się przede wszystkim rybołówstwem. Parafia Św. Stanisława Biskupa i Męczennika wraz pierwszym kościołem powstała w 1866 r. i była trzecim rzymskokatolickim polskim kościołem w Stanach Zjednoczonych, a pierwszym na obszarze

### *History and condition of the church*

In the 1840s, Polish emigrants from Kashubia settled in large numbers on Jones Island, primarily engaged in fishing. The parish of St Stanislaus the Bishop and Martyr, together with the first church, was established in 1866 and was the third Roman Catholic Polish church in the United States, and the first in the urban area. The

miejskim. Budowę nowej świątyni, zaprojektowanej przez polskiego szlachcica Leonarda Kowalskiego (przyjął nazwisko Leonard Schmidtner i mówił po niemiecku, który studiował architekturę na uniwersytetach w Warszawie i Monachium) ukończono w 1873 r. [51]. Obecny stan budynku jest dziełem wielu następujących po sobie renowacji i upiększeń. Kościół należy do grupy tzw. „polskich katedr” [21] i bywa zwany Matką Polskich Kościołów w Milwaukee, ponieważ dał początek aż 16 innym polskim świątyniom rzymskokatolickim w tym mieście. W 1867 r. założono tu pierwszą katolicką polską szkołę parafialną w Stanach Zjednoczonych, która funkcjonowała w nowym budynku z 1927 r. do 1988 r. Poprowadzenie, tuż przed budynkiem kościoła, autostrady doprowadziło do wyburzenia bardzo wielu polskich domów, a także postępujące sukcesywnie zmiany składu etnicznego mieszkańców pobliskich dzielnic na przestrzeni dziesięcioleci spowodowało, że parafia w latach 70., pomimo ogromnego zaangażowania księdza Raymonda Punda zaczęła podupadać [52]. Parafia przeżyła odrodzenie od 2007 r., kiedy zaczęła odprawiać tradycyjną mszę łacińską w niedziele. Obecnie kościołem zarządzają księża należący do Instytutu Chrystusa Króla Najwyższego Kapłana – rysunek 6.10 [53].

construction of the new church, designed by Polish nobleman Leonard Kowalski (who took the name Leonard Schmidtner and spoke German, and studied architecture at universities in Warsaw and Munich) was completed in 1873 [51]. The current state of the building is the result of many successive renovations and embellishments. The church belongs to the group of so-called "Polish cathedrals" [21] and is sometimes called the Mother of Polish Churches in Milwaukee, because it gave rise to as many as 16 other Polish Roman Catholic churches in that city. In 1867, the first Polish Catholic parish school in the United States was established here, which operated in a new building from 1927 until 1988. The construction of a highway right in front of the church building led to the demolition of many Polish homes, and the gradual changes in the ethnic composition of the residents of nearby districts over the decades caused the parish to decline in the 1970s, despite the enormous commitment of Father Raymond Pund [52]. The parish experienced a revival in 2007, when it began celebrating the traditional Latin Mass on Sundays. Currently, the church is managed by priests belonging to the Institute of Christ the King the Supreme Priest (Figure 6.10) [53].



Rysunek 6.10. Ksiądz kanonik Benoît Jayr z Francji i członkowie pierwszej ekspedycji naukowej.

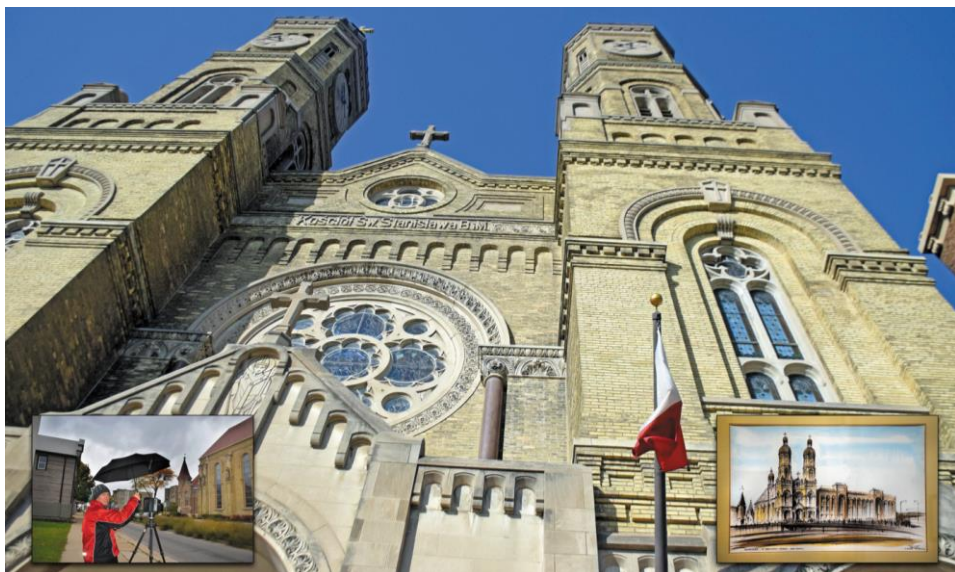
Figure 6.10. Canon Father Benoît Jayr from France and members of the first scientific expedition.

Kościół Św. Stanisława Biskupa i Męczennika w Milwaukee znajduje się przy West Historic Mitchell Street. Oś świątyni przebiega na linii wschód-zachód, ale prezbiterium znajduje się w części zachodniej. Bryła kościoła przykryta jest dwuspadowym dachem, z którego kalenicy wyrasta sygnaturka w formie centralnej ośmiobocznej świątynki zwieńczonej krzyżem. W fasadzie kościoła dominują dwie bliźniacze wieże o wysokości 170 stóp (około 52 m) – rysunek 6.11. Architektura i zdobnictwo fasady bazują na repertuarze form romańskich, przede wszystkim niemieckich. W osiach fasady znajdują się trzy monumentalne wejścia do świątyni poprzedzone masywnymi, kamiennymi portalami. W 1905 r. wg. projektu przygotowanego przez Erhard Brielmaier & Sons wykonano okrągłe okno o średnicy 15 stóp (4,5 m), które zachowało się do dzisiejszych czasów. W 1966 r. oryginalne miedziane kopuły wież zostały zastąpione spawaną blachą aluminiową pokrytą 23-karatowym złotem. W czasie remontu przeprowadzonego przez firmę Conrad Schmitt Studios usunięto wszystkie stare witraże i wstawiono nowe okna ze szkłem płytowym o grubości około jednego cala osadzone w mieszance epoksydowej [54]. Obiekt został wpisany do rejestru „Historic American Buildings Survey of the United States Department of the Interior for its archives at the Library of Congress”.

Pomiędzy oknami zawieszono są stacje Drogi Krzyżowej wykonane w technice mozaiki, których podpisy są w języku angielskim. Dwa ołtarze o cechach gotycko-renesansowych wykonano z marmuru, tak jak kazalnicy o neogotyckiej kielichowej formie zwieńczonej baldachimem i balustradą oddzielającą prezbiterium od nawy – rysunek 6.12. Ze względu na fakt, że w świątyni odprawiana jest liturgia wg. rytu trydenckiego w kościele nie ma ołtarza wprowadzonego przez Sobór Watykański II.

Church of St Stanislaus the Bishop and Martyr in Milwaukee is located in West Historic Mitchell Street. The church axis runs along the east-west line, but the chancel is located in the western part. The church body is covered with a gable roof, from the ridge of which sprouts a bell tower in the form of a central octagonal temple topped with a cross. The church façade is dominated by two twin towers with a height of 170 feet (approx. 52 m) – Figure 6.11. The architecture and ornamentation of the façade are based on the repertoire of Romanesque forms, primarily German. In the axes of the façade there are three monumental entrances to the church preceded by massive, stone portals. In 1905, according to a design prepared by Erhard Brielmaier & Sons, a round window with a diameter of 15 feet (4.5 m) was made, which has survived to this day. In 1966, the original copper domes of the towers were replaced with welded aluminium sheet metal covered with 23-karat gold. During the renovation, carried out by Conrad Schmitt Studios, all the old stained glass windows were removed and new windows were installed with one-inch-thick plate glass embedded in an epoxy mixture [54]. The building is listed in the Historic American Buildings Survey of the United States Department of the Interior for its archives at the Library of Congress.

Between the windows, the Stations of the Cross are hung in mosaic technique, with captions in English. Two altars with Gothic-Renaissance features are made of marble, as is the pulpit in a neo-Gothic chalice form, topped with a canopy and a balustrade separating the presbytery from the nave (Figure 6.12). Due to the fact that the liturgy is celebrated in the temple according to the Tridentine rite, the church does not have an altar introduced by the Second Vatican Council.



Rysunek 6.11. Fasada kościoła Św. Stanisława Biskupa i Męczennika.  
 Figure 6.11. Façade of the Church of St Stanislaus the Bishop and Martyr.



Rysunek 6.12. Wnętrze kościoła Św. Stanisława Biskupa i Męczennika – widok na marmurowe ołtarze.  
 Figure 6.12. Interior of the church of St Stanislaus the Bishop and Martyr – view of the marble altars.

Pomimo wielu modyfikacji fasady i wnętrza świątyni nadal zachowało się wiele akcentów polskich. W różnych miejscach można zobaczyć patrona świątyni św. Stanisława ze Szczepanowa, biskupa krakowskiego, który zginął w 1079 r. na rozkaz króla Bolesława II Szczodrego zw. też Śmiałym: statuy i witraże. Nie trudno zauważyć statui św. Kazimierza Królewicza i św. Stanisława Kostki, banderę Polski (barwy RP z godłem) i dwie lunety wcinające się w okna absydy, a nad nimi umieszczony herb arcybiskupstwa i herb Polski. Na bocznej zewnętrznej ścianie kościoła znajduje się duża mozaika z obrazem Matki Boskiej Częstochowskiej – rysunek 6.13.

Despite many modifications to the façade and interior of the church, many Polish accents have still been preserved. In various places, you can see the patron saint of the church, St Stanislaus of Szczepanów, bishop of Kraków, who died in 1079 on the orders of King Bolesław II the Generous, also known as Bold: statues and stained glass windows. It is easy to notice the statues of St Casimir the Prince and St Stanislaus Kostka, the Polish flag (the colours of the Republic of Poland with the coat of arms) and two lunettes cutting into the apse windows, and above them the coat of arms of the archbishopric and the coat of arms of Poland. On the side external wall of the church there is a large mosaic with a painting of St Mary of Częstochowa (Figure 6.13).



a)



b)

Rysunek 6.13. Akcenty polskie: a) pomnik św. Stanisława Biskupa i Męczennika, b) mozaika Matki Boskiej Częstochowskiej.

Figure 6.13. Polish accents: a) statue of St Stanislaus the Bishop and Martyr, b) mosaic of St Mary of Częstochowa.



### *Parametry procesu skanowania i pozyskane dane*

Skanowanie wnętrza kościoła było realizowane z ustawieniami skanera: rozdzielczość pojedynczego skanu 20480 punktów na 360 stopni. Obraz pobierany w trybie HDR. W tabeli 6.3 zestawiono czas pracy sprzętu i pozyskane efekty skanowania. Wskazano istotne problemy wpływające na proces zbierania danych. Z zewnątrz dostępny dla skanowania był tylko front i lewy bok kościoła.

### *Scanning process parameters and acquired data*

The scanning of the church interior was carried out with the scanner set to single scan resolution of 20 480 points per 360 degrees. The image was collected in HDR mode. Table 6.3 summarises the equipment operation time and the acquired scanning effects. Significant problems affecting the data collection process were indicated. From the outside, only the front and left side of the church were available for scanning.

Tabela 6.3. Zestawienie czasu i ilości zgromadzonych danych podczas skanowania Kościoła św. Stanisława Biskupa i Męczennika w Milwaukeee.

Table 6.3. Summary of time and amount of collected data during scanning of the Church of St Stanislaus the Bishop and Martyr in Milwaukee.

Czas pracy (godz.) Working time (hours)				Liczba sztuk pozyskanych danych Number of units of acquired data				Problemy Problems
Wnętrze Interior		Zewnątrz Exterior		Wnętrze Interior		Zewnątrz Exterior		
TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	
7	8	1.5	1	32	3 700	6	200	Brak dostępu do całej powierzchni zewnętrznej / No access to external surface

### *Szkic procesu skanowania*

Na rysunku 6.13 przedstawiono ręczne szkice opracowywane w trakcie skanowania kościoła św. Stanisława Biskupa i Męczennika w Milwaukeee. Z zewnątrz obiektu był dostęp tylko do dwóch ścian – rysunek 6.14b.

### *Sketch of the scanning process*

Figure 6.13 presents manual sketches developed during scanning of the Church of St Stanislaus the Bishop and Martyr in Milwaukee. From the outside of the building there was access only to two walls (Figure 6.14b).

### *Rezultaty postprocessingu*

Brak możliwości zeskanowania całej bryły zewnętrznej kościoła wyeliminował możliwość generowania modelu zewnątrz. Zdecydowano się na przeprowadzenie przetwarzania danych jedynie dla wnętrza kościoła. Tym niemniej możliwe jest zbudowanie modelu 3D ograniczonego do dwóch ścian.

Rezultaty przetwarzania danych źródłowych zostały zestawione w tabeli 6.4.

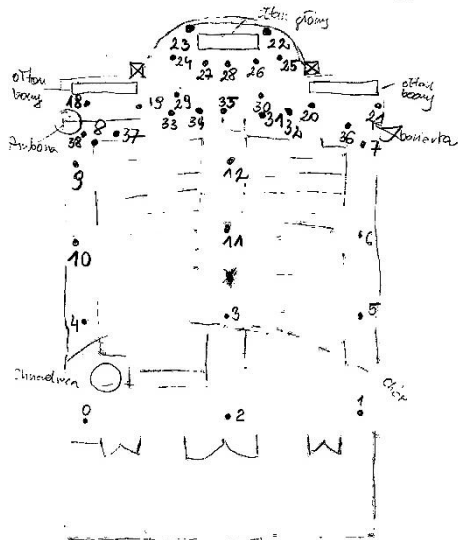
### *Postprocessing results*

The inability to scan the entire external mass of the church eliminated the possibility of generating a model of the exterior. It was decided to perform data processing only for the interior of the church. However, it is possible to build a 3D model limited to two walls.

The results of processing the source data are summarised in Table 6.4.

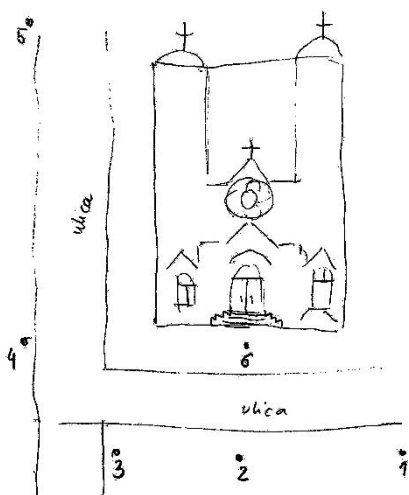
Wnętrze kościoła św. Stanisława w Milwaukee  
28, 22, 26, 25, 24, 33, 31, 32 - miejsce

0-38



a)

Stanowienie kościoła z zewnątrz



b)

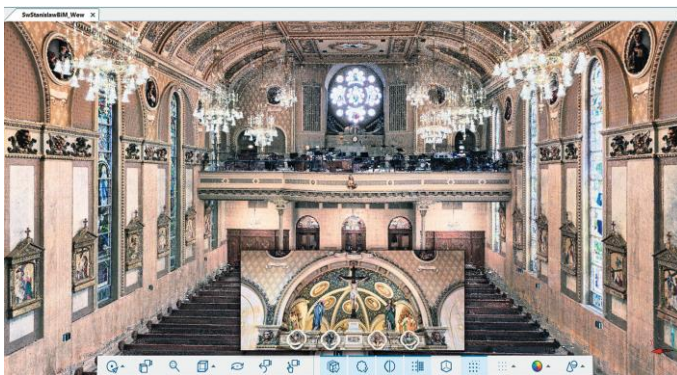
szkic macierzy pomiarowej M3 10.10.001

Rysunek 6.14. Szkice lokalizacji skanera w trakcie skanowania kościoła św. Stanisława Biskupa i Męczennika w Milwaukee: a) wnętrza, b) zewnątrz, wykonanie E. Miłośz.

Figure 6.14. Sketches of the scanner location during scanning of the Church of St Stanislaus the Bishop and Martyr in Milwaukee: a) interior, b) exterior, by E. Miłośz.

Przykładowe ekrany modelu 3D uzyskane po obróbce danych zaprezentowano na rysunkach 6.15 i 6.16.

Example print-screens of the 3D model obtained after data processing are presented in Figures 6.15 and 6.16.



Rysunek 6.15. Ekran wnętrza cyfrowego modelu 3D kościoła św. Stanisława Biskupa i Męczennika w Milwaukee: widok w stronę chóru.

Figure 6.15. Print screen of the interior of the digital 3D model of the Church of St Stanislaus the Bishop and Martyr in Milwaukee: view towards the choir.

Tabela 6.4. Zestawienie wygenerowanych efektów przetwarzania danych źródłowych z kościoła św. Stanisława Biskupa i Męczennika w Milwaukeee.

Table 6.4. Summary of the generated effects of processing the source data from the Church of St Stanislaus the Bishop and Martyr in Milwaukee.

Typ zasobu / Resource Type	Pochodzenie / Origin	Cel / Purpose	Liczba zasobów / No. of resources	Parametry / Parameters	Rozmiar / Size
bazowy model siatkowy / base mesh model	wnętrze / interior	A	1	40 mln. trójkątów, tekstura wysokiej rozdzielczości / 40 million triangles, high-res texture	1,5 GB
model siatkowy do upowszechnienia / mesh model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	2 mln. trójkątów, tekstura niskiej rozdzielczości / 2 million triangles, low-res texture	250 MB
bazowy model chmurowy / base cloud model	wnętrze / interior	A	1	2,8 mld 3D punktów, kolorowanych RGB / 2.8 billion 3D points, RGB-coloured	48 GB
model chmurowy do upowszechnienia / cloud model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	50 mln. 3D punktów, kolorowanych RGB / 50 million 3D points, RGB-coloured	1,9 GB
obraz panoramy 360 / 360 panorama image	wnętrze / interior	U	6	20 x 10 tys. pikseli, RGB JPG / 20 x 10 thousand pixels, RGB JPG	37 MB

Uwaga: Cel: A – archiwizacja, U – upowszechnienie. / Note: Purpose: A – archiving, U – popularisation.



Rysunek 6.16. Model punktowy 3D dwóch ścian zewnętrznych kościoła św. Stanisława Biskupa i Męczennika.

Figure 6.16. 3D point model of two external walls of the Church of St Stanislaus the Bishop and Martyr.

### 6.3. Kościół św. Wojciecha w Chicago

Kościół św. Wojciecha w Chicago jest w zasadzie budynkiem pokościelnym, zamkniętym od paru lat i wystawionym na sprzedaż. Jest to duży kościół, ale o średniej złożoności wnętrza ( $C=m$  w formule (5.3)). Położony jest w dużym mieście Chicago ( $L=c$ ) i nie udało się zeskanować jego zewnętrznej bryły architektonicznej ( $S=i$ ). Z racji zamknięcia zespół miał dostęp do wnętrza kościoła na wyłączność ( $D=n$ ).

#### *Historia i stan kościoła*

Historia kościoła św. Wojciecha w Chicago związana jest z katolicką parafią pod tym samym wezwaniem założoną w 1874 r. przez polskich imigrantów, którzy zaczęli osiedlać się w czeskiej dzielnicy Pilsen położonej na południowy zachód od centrum Chicago [55]. Budowa monumentalnej świątyni zaprojektowana przez Henry J. Schlacksa rozpoczęła się 30 czerwca 1912 r. gdy proboszczem parafii był Kazimierz Gronkowski. Kamień węgielny pod budowę kościoła położył arcybiskup Chicago James E. Quigley. Budowa trwała tylko 2 lata i 20 września 1914 r. odbyła się ceremonia poświęcenia kościoła, w której uczestniczył arcybiskup Quigley, abp John Bonzano – delegat apostolski i biskup pomocniczy Paweł Rhode [56]. Kościół pod wezwaniem Świętego Wojciecha w Chicago znajduje się na liście obiektów historycznych Archidiecezji Chicago. Bliźniacze wieże monumentalnej świątyni mierzą 185 stóp (56 m) i są zwieńczone miedzianymi kopułami (rysunek 6.17). W czasach świetności parafia skupiała ponad 4 tys. polskich wiernych, a do przyparafialnej szkoły uczęszczało ponad 2 tys. uczniów. Od lat 70. ludność pochodzenia polskiego zaczęła się przenosić w inne części miasta, co spowodowało pierwsze trudności w utrzymaniu budynków parafialnych i kościoła [34].

### 6.3. St Adalbert's Church in Chicago

St Adalbert's Church in Chicago is basically a former church building, closed for a few years and put up for sale. It is a large church, but with an average interior complexity ( $C=m$  in formula (5.3)). It is located in the large city of Chicago ( $L=c$ ) and its external architectural form could not be scanned ( $S=i$ ). Due to the church's closure to the public, the team had exclusive access to the interior of the church ( $D=n$ ).

#### *History and condition of the church*

The history of St Adalbert's Church in Chicago is associated with the Catholic parish of the same name, founded in 1874 by Polish immigrants who began to settle in the Czech district of Pilsen located southwest of downtown Chicago [55]. Construction of the monumental church designed by Henry J. Schlacks began on June 30, 1912, when Kazimierz Gronkowski was the parish priest. The cornerstone for the church was laid by Chicago Archbishop James E. Quigley. Construction lasted only 2 years and on September 20, 1914, the church was dedicated, attended by Archbishop Quigley, Archbishop John Bonzano – Apostolic Delegate and Auxiliary Bishop Paul Rhode [56]. The Church of St Adalbert in Chicago is on the list of historical sites of the Archdiocese of Chicago. The twin towers of the monumental church are 185 feet (56 m) high and are topped with copper domes (Figure 6.17). In its heyday, the parish had over 4,000 Polish believers, and the parish school was attended by over 2,000 students. From the 1970s, the Polish population began to move to other parts of the city, which caused the first difficulties in maintaining the parish buildings and the church [34].



Rysunek 6.17. Fasada kościoła św. Wojciecha w Chicago.

Figure 6.17. Facade of St Adalbert's Church in Chicago.

Bazylikowy kościół św. Wojciecha to budowla o wielkiej skali, o długości 195 stóp (59,5 m), szerokości 175 stóp (53,3 m) i wysokości 65 stóp (19,8 m) nawiązujące do rzymskiej bazyliki San Paolo Fuori le Mura. Szeroka nawa, mieszcząca drewniane ławki dla 1 800 wiernych, oddzielona jest od naw bocznych rzędem kolumnowych arkad. Powyżej nich ściana rozczłonkowana jest pilastrami, między którymi rozmieszczone są półokrągłe okna. Główna nawa nakryta jest płaskim stropem z kwadratowymi i prostokątnymi kasetonami. Nawy boczne są podzielone półokrągłymi łukami ze wspornikami w kształcie głowic korynckich, złożonych, tak jak wszystkie kapitele w kościele – rysunek 6.18 [57].

The church of St Adalbert is a large-scale basilica interior building, 195 feet (59.5 m) long, 175 feet (53.3 m) wide and 65 feet (19.8 m) high, referring to the Roman basilica of San Paolo Fuori le Mura. The wide nave, containing wooden pews for 1,800 worshippers, is separated from the side aisles by a row of columnar arcades. Above them, the wall is divided by pilasters, between which semi-circular windows are placed. The main nave is covered with a flat ceiling with square and rectangular coffers. The side aisles are divided by semi-circular arches with corbels in the shape of Corinthian heads, gilded, like all the capitals in the church (Figure 6.18) [57].



Rysunek 6.18. Wygląd wnętrza kościoła św. Wojciecha w Chicago.

Figure 6.18. Interior view of St Adalbert's Church in Chicago.

Wnętrze kościoła zawiera bardzo wiele wysokiej jakości zdobień i artefaktów. Ołtarze, figury, ambona, balustrady wykonane zostały z marmuru sprowadzonego z Włoch. Szczególnie ciekawa jest kopia Piety Michała Anioła oraz replika obrazu El Greco Wniebowzięcia NMP [58]. Wykonawcą witraży była niemieckiego artysty F. X. Zettler (Królewski Artystyczny Instytut w Monachium), który je także zaprojektował. Należy dodać, że Zettler zdobył pierwsze miejsce za projekty witraży na Wystawie Światowej w 1893 roku pokonując L. C. Tiffanyego [55]. Wnętrze pokrywa polichromia przedstawiająca sceny z historii Polski: ślub Jadwigi i Jagiełły oraz obrona klasztoru Jasnogórskiego przed Szwedami w 1665 r. Organy wykonała firma W. and W. Kimball [58].

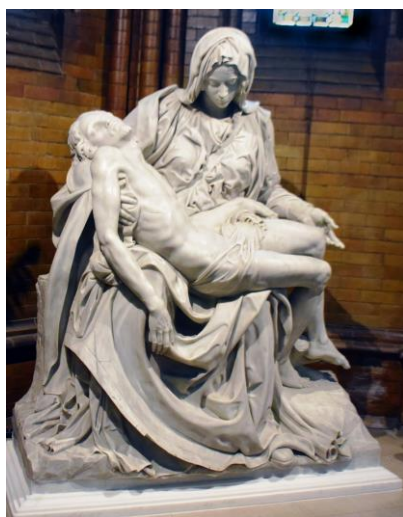
Od początku XXI wieku w kościele odbywały się msze święte w języku polskim i hiszpańskim, a w kościele znajduje się również sanktuarium meksykańskiej patronki Matki Bożej z Guadalupe. W 2016 roku władze Archidiecezji Chicago ogłosiły,

The interior of the church contains a great many high-quality decorations and artefacts. The altars, figures, pulpit and balustrades were made of marble imported from Italy. Of particular interest is the copy of Michelangelo's *Pieta* and the replica of El Greco's painting *Assumption of the Blessed Virgin Mary* [58]. The stained glass windows were made by the German artist F. X. Zettler (Royal Artistic Institute in Munich), who also designed them. It should be added that Zettler won first place for stained glass designs at the World Exhibition in 1893, beating L. C. Tiffany [55]. The interior is covered with polychrome depicting scenes from Polish history: the wedding of Jadwiga and Jagiełło and the defence of the Jasna Góra monastery against the Swedes in 1665. The organs were made by the W. and W. Kimball company [58].

Since the beginning of the 21st century, masses have been held in the church in Polish and Spanish, and the church also houses a sanctuary of the Mexican patroness, Our Lady of Guadalupe. In 2016, the authorities of the Archdiocese of Chicago

że kościół św. Wojciecha zostanie zamknięty z powodu niskiej frekwencji na mszach oraz konieczności wykonania kosztownych remontów. Ostatnia Msza święta odbyła się 14 lipca 2019 r., a parafia została dołączona do pobliskiego kościoła katolickiego św. Pawła [59]. Starania polonii o zachowanie kościoła trwają nieustannie od 2016 roku. Pomimo tego degradacja substancji materialnej kościoła nieustannie postępuje. 29 listopada 2022 r. wywieziono kopię Piety do kościoła św. Pawła (wspólnota meksykańska) rozbierając fragment ściany bocznej – rysunek 6.19.

announced that St Adalbert's Church would be closed due to low attendance at masses and the need for costly renovations. The last mass was held on July 14, 2019, and the parish was added to the nearby Catholic Church of St Paul [59]. The efforts of the Polish community to preserve the church have been ongoing since 2016. Despite this, the degradation of the church's material substance is constantly progressing. On November 29, 2022, a copy of the Pieta was taken to St Paul's Church (Mexican community), in the process dismantling a section of the side wall (Figure 6.19).



Rysunek 6.19. Pieta po przeniesieniu do kościoła św. Pawła w Chicago.

Figure 6.19. Pieta after being moved to St Paul's Church in Chicago.

W drugiej połowie lipca 2023 roku nastąpił demontaż witraży znajdujących się w oknach bocznych – rysunek 6.20. Te działania skłoniły w dniu 7 sierpnia Miejską Komisję ds. Zabytków do wydania wstępnej rekomendacji dotyczącej punktu orientacyjnego – tzw. „landmark” dla budynku kościoła. Demontaż witraży był kontynuowany, pomimo braku uzyskania wymaganego pozwolenia. Rozeta i misterne okno nad ołtarzem pozostały na razie na swoich miejscach.

In the second half of July 2023, the stained glass windows in the side windows were dismantled (Figure 6.20). These actions prompted the City Landmarks Commission on August 7 to issue a preliminary recommendation regarding a landmark for the church building. The dismantling of the stained glass windows continued despite the lack of obtaining the required permit. The rosette and the elaborate window above the altar remained in place for now.



Rysunek 6.20. Uszkodzone witraże w kościele św. Wojciecha w Chicago [57].

Figure 6.20. Damaged stained glass windows in St Adalbert's Church in Chicago [57].

### ***Parametry procesu skanowania i pozyskane dane***

Skanowanie wnętrza kościoła było realizowane jako interwencyjne – rysunek 5.3. Wykorzystano następujące ustawieniami skanera: rozdzielczość pojedynczego skanu 20480 punktów na 360 stopni. Obraz pobierany w trybie STD. Ze względu na ograniczony czas dostępu do obiektu zmniejszono kompensację ewentualnych szumów na rzecz przyspieszenia realizacji skanu. Zewnętrznej bryły kościoła nie skanowano ze względu na ustawione rusztowania i brak czasu. Zaletą w procesie skanowania był brak dostępu dla osób postronnych do obiektu podczas skanowania.

W tabeli 6.5 zestawiono czas pracy sprzętu i pozyskane efekty skanowania. Wskazano istotne problemy wpływające na proces zbierania danych.

### ***Scanning process parameters and acquired data***

The scanning of the interior of the church was carried out as an intervention (Figure 5.3). The following scanner settings were used: single scan resolution of 20 480 points per 360 degrees. Image acquired in STD mode. Due to the limited access time to the object, compensation for potential noise was reduced in favour of accelerating the scan. The external mass of the church was not scanned due to the scaffolding and lack of time. An advantage in the scanning process was the lack of access for unauthorised persons to the object during scanning.

Table 6.5 summarises the equipment operation time and the obtained scanning results. Significant problems affecting the data collection process were indicated.



Tabela 6.5. Zestawienie czasu i ilości zgromadzonych danych podczas skanowania kościoła św. Wojciecha w Chicago.

Table 6.5. Summary of time and amount of collected data during scanning of the Church of St Adalbert's in Chicago.

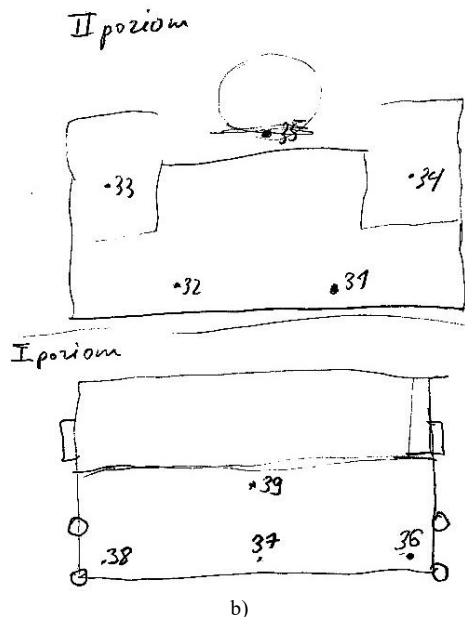
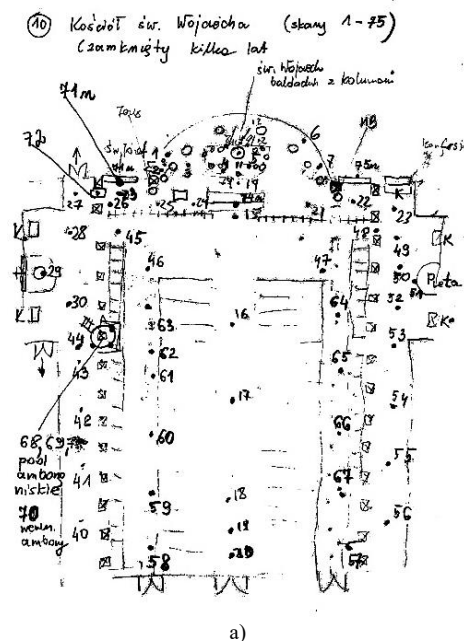
Czas pracy (godz.) Working time (hours)				Liczba sztuk pozyskanych danych Number of units of acquired data				Problemy Problems
Wnętrze Interior		Zewnętrzne Exterior		Wnętrze Interior		Zewnętrzne Exterior		
TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	
8	6	-	-	75	2 200	-	-	Ograniczony czas dostępu, bark dostępu do zewnątrz / Limited access time, no access to external surface

### Szkic procesu skanowania

Na rysunku 6.19 przedstawiono ręczne szkice opracowywane w trakcie skanowania trzech poziomów pomieszczeń kościoła św. Wojciecha.

### Sketch of the scanning process

Figure 6.19 shows manual sketches developed during scanning of three levels of rooms of St Adalbert's Church.



Rysunek 6.21. Szkice lokalizacji skanera w trakcie skanowania kościoła św. Wojciecha w Chicago: a) pierwszy poziom, b) drugi i trzeci poziom, wykonanie E. Miłosz.

Figure 6.21. Sketches of the scanner location during scanning of the Church of St Adalbert's Church in Chicago: a) first level, b) second and third levels, by E. Miłosz.

### Rezultaty postprocessingu

Brak możliwości zeskanowania bryły zewnętrznej kościoła wyeliminował możliwość generowania modelu zewnątrz. Zdecydowano się na przeprowadzenie przetwarzania danych jedynie dla wnętrza kościoła. Szumy wprowadzone przez szybszą realizację skanów zostały skompensowane przez większą liczbę skanów oraz dłuższy proces przetwarzania.

Rezultaty przetwarzania danych źródłowych zostały zestawione w tabeli 6.6.

### Postprocessing results

The inability to scan the external mass of the church eliminated the possibility of generating a model of the exterior. It was decided to perform data processing only for the interior of the church. Noise introduced by faster scanning was compensated by a larger number of scans and a longer processing span.

The results of processing the source data are summarised in Table 6.6.

Tabela 6.6. Zestawienie wygenerowanych efektów przetwarzania danych źródłowych z kościoła św. Wojciecha w Chicago.

Table 6.6. Summary of the generated effects of processing the source data from St Adalbert's Church in Chicago.

Typ zasobu / Resource Type	Pochodzenie / Origin	Cel / Purpose	Liczba zasobów / No. of resources	Parametry / Parameters	Rozmiar / Size
bazowy model siatkowy / base mesh model	wnętrze / interior	A	1	40 mln. trójkątów, tekstura wysokiej rozdzielczości / 40 million triangles, high-res texture	1.6 GB
model siatkowy do upowszechnienia / mesh model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	3,5 mln. trójkątów, tekstura niskiej rozdzielczości / 3.5 million triangles, low-res texture	202 MB
bazowy model chmurowy / base cloud model	wnętrze / interior	A	1	3,5 mld 3D punktów, kolorowanych RGB / 3.5 billion 3D points, RGB-coloured	52 GB
model chmurowy do upowszechnienia / cloud model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	48 mln. 3D punktów, kolorowanych RGB / 48 million 3D points, RGB-coloured	1.6 GB
obraz panoramy 360 / 360 panorama image	wnętrze / interior	U	7	20 x 10 tys. pikseli, RGB JPG / 20 x 10 thousand pixels, RGB JPG	37 MB

Uwaga: Cel: A – archiwizacja, U – upowszechnienie. / Note: Purpose: A – archiving, U – popularisation.

Przykładowe ekrany wybranych modeli siatkowych 3D uzyskane po obróbce danych zaprezentowano na rysunku 6.22.

Examples of print-screens of selected 3D mesh models obtained after data processing are presented in Figure 6.22.



a)



b)

Rysunek 6.22. Ekrany cyfrowych modeli 3D kościoła św. Wojciecha w Chicago: a) widok w stronę ołtarza głównego, b) widok na zrekonstruowany ołtarz boczny z wstawioną rzeźbą Piety.

Figure 6.22. Prints of digital 3D models of St Adalbert's Church in Chicago: a) view towards the main altar, b) view of the reconstructed side altar with the inserted Pieta sculpture.

## 6.4. Kościół św. Brunona w Chicago

Kościół św. Brunona w Chicago został udostępniony do skanowania na wyłączność ( $D=n$  w formule (5.3)). Jest to kościół o prostym, jednonawowym wnętrzu ( $C=l$ ). Położony jest w dużym mieście Chicago ( $L=c$ ) i nie zeskanowano jego prostej, nieciekawej, zewnętrznej bryły architektonicznej ( $S=i$ ).

### *Historia i stan kościoła*

Parafia św. Brunona leży w dzielnicy Archer Heights w Chicago i powstała pod koniec XIX w. Dzięki tramwajom konnym pod koniec lat 90. XIX wieku i tramwajom elektrycznym zyskiwała coraz większą popularność, szczególnie od lat 20. i 30. XX [60]. Przybywali emigranci urodzeni w Polsce, Włoszech, Czechach i Rosji. W tym czasie powstały dwie parafie katolickie, św. Brunona (1925) i św. Ryszarda (1938). Obecnie w dzielnicy znaczący odsetek ludności to mieszkańcy o korzeniach meksykańskich, zaś społeczność polska częściowo przeszła na język angielski [61]. Wg. tablicy informacyjnej ustawionej przed kościołem Msze św. odprawiane są w języku angielskim, polskim i hiszpańskim.

Obecny budynek kościoła św. Brunona powstał na początku lat 50. Jest to budowla jednonawowa w stylu modernizmu amerykańskiego usytuowana na osi wschód-zachód z wieżą-dzwonnicą o podstawie kwadratu, usytuowaną przy ścianie północnej cofnięta względem fasady obiektu – rysunek 6.23.

Do przykrycia obiektu zastosowano stropodach (rysunek 6.24), a w strukturze kościoła można zauważyć elementy tworzące powtarzalny moduł.

## 6.4. St Bruno's Church in Chicago

St Bruno's Church in Chicago was made available for exclusive scanning ( $D=n$  in formula (5.3)). It is a church with a simple, single-nave interior ( $C=l$ ). It is located in the large city of Chicago ( $L=c$ ) and its simple, uninteresting, external architectural form ( $S=i$ ) has not been scanned.

### *History and condition of the church*

St Bruno parish is located in the Archer Heights district of Chicago, and was established in the late 19th century. Thanks to horse-drawn streetcars in the late 1890s and electric streetcars, it gained increasing popularity, especially from the 1820s and 1830s [60]. Emigrants from Poland, Italy, the Czech Lands and Russia arrived. During this time, two Catholic parishes were established, St Bruno's (1925) and St Richard's (1938). Currently, a significant percentage of the district's population are residents of Mexican origin, and the Polish community has partially converted to English [61]. According to the information board placed in front of the church, Holy Masses are celebrated in English, Polish and Spanish.

The current building of the church of St Bruno was built in the early 1950s. It is a single-nave building in the style of American modernism situated on the east-west axis with a square-based bell tower, located at the northern wall, set back from the building's façade (Figure 6.23).

A flat roof was used to cover the building (Figure 6.24), and in the structure of the church one can see elements creating a repeating module.



Rysunek 6.23. Fasada kościoła św. Brunona w Chicago z widoczną wieżą-dzwonnicy.

Figure 6.23. Façade of St Bruno's Church in Chicago with a visible bell tower.



Rysunek 6.24. Bryła kościoła od strony południowej.

Figure 6.24. The body of the church from the south.

Wnętrze obiektu jest proste i oszczędne w formie – rysunek 6.25. Główne elementy dekoracyjne świątyni to witraże figuralno-geometryczne, w których przedstawiono świętych kościoła powszechnego oraz kilka posągów świętych. Witraże zaprojektował Bob White, a wykonała firma Clinton Glass Company z Chicago w 1956 r. [62]. Każdy z witraży ma odnotowanego fundatora, a napisy są zapisane po angielsku lub polsku, np. „Dar Tow. Zwiastowania NMP”. Wśród przedstawień na witrażach można znaleźć akcenty polskie, np. witraż z Matką Boską Tarnowiecką (rysunek 6.26a) i św. Maksymilianem Kolbe. Pod oknami znajdują się stacje Drogi Krzyżowej, które mają polskie napisy – rysunek 6.26b.

The interior of the building is simple and sparse in form (Figure 6.25). The main decorative elements of the temple are figurative-geometric stained glass windows, which depict the saints of the universal church and several statues of saints. The stained glass windows were designed by Bob White and made by the Clinton Glass Company of Chicago in 1956 [62]. Each of the stained glass windows has a noted founder, and the inscriptions are written in English or Polish, e.g. "Gift from the Annunciation of the Blessed Virgin Mary". Polish accents can be found among the depictions on the stained glass windows, e.g. the stained glass window with the Virgin Mary of Tarnowiec (Figure 6.26a) and St Maximilian Kolbe. Below the windows are the Stations of the Cross, which have Polish inscriptions (Figure 6.26b).



Rysunek 6.25. Wnętrze kościoła św. Brunona w Chicago – widok w stronę chóru i organów.

Figure 6.25. Interior of St Bruno's Church in Chicago – view towards the choir and organ.



a)



b)

Rysunek 6.26. Obiekty wnętrza kościoła: a) witraż – Matka Boska Tarnowiecka, b) IX stacja Drogi Krzyżowej – Jezus upada po raz trzeci.

Figure 6.26. Objects in the church interior: a) stained glass window – Virgin Mary of Tarnowiec, b) IX Station of the Cross – Jesus falls for the third time.

Ze względu na międzynarodowy charakter wspólnoty parafialnej niektóre napisy są zapisane w trzech językach, np. tekst na obrazie Jezusa Miłosiernego: JESUS I TRUST IN YOU / JEZU UFAM TOBIE / JESUS EN TI CONFI.

#### *Parametry procesu skanowania i pozyskane dane*

Skanowanie wnętrza kościoła było realizowane z ustawieniami skanera: rozdzielczość pojedynczego skanu 20 480 punktów na 360 stopni. Obraz pobierany w trybie STD. Zewnętrznej bryły kościoła nie skanowano ze względu na niską wartość estetyczną.

W tabeli 6.7 zestawiono czas pracy i pozyskane efekty skanowania. Ze względu na relatywnie małe rozmiary, prostą budowę

Due to the international character of the parish community, some inscriptions are written in three languages, e.g. the text on the image of Merciful Jesus: JESUS I TRUST IN YOU / JEZU UFAM TOBIE / JESUS EN TI CONFI.

#### *Scanning process parameters and acquired data*

The scanning of the church interior was performed with the scanner set to single scan resolution of 20,480 points per 360 degrees. The image was acquired in STD mode. The exterior of the church was not scanned due to its low aesthetic value.

Table 6.7 summarises the working time and the obtained scanning effects. Due to the relatively small size, simple construction and exclusive access to the object, no

i ekskluzywny dostęp do obiektu nie wskazano istotnych problemów podczas skanowania.

significant problems were indicated during scanning.

Tabela 6.7. Zestawienie czasu i ilości zgromadzonych danych podczas skanowania kościoła św. Brunona.

Table 6.7. Summary of time and amount of data collected during scanning of the Church of St Bruno.

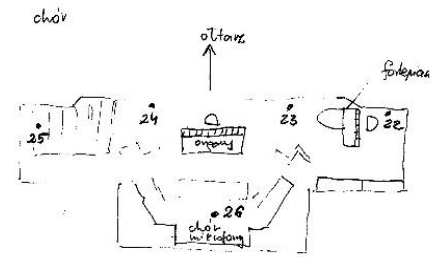
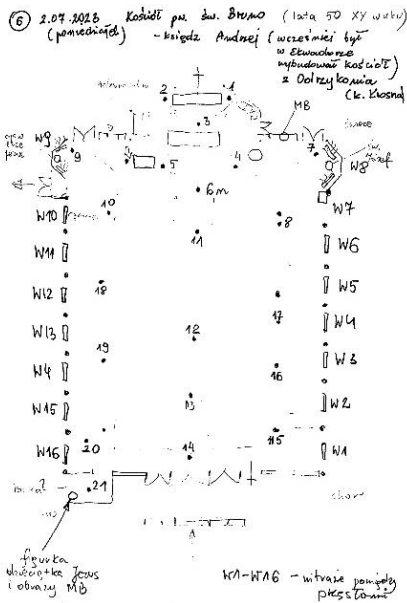
Czas pracy (godz.) Working time (hours)				Liczba sztuk pozyskanych danych Number of units of acquired data				Problemy Problems
Wnętrze Interior		Zewnętrzne Exterior		Wnętrze Interior		Zewnętrzne Exterior		
TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	
5	3	-	-	26	1 500	-	-	-

### Szkic procesu skanowania

Na rysunku 6.27 przedstawiono ręczne szkice opracowywane w trakcie skanowania kościoła św. Brunona w Chicago.

### Sketch of the scanning process

Figure 6.27 presents manual sketches developed during scanning of the Church of St Bruno's in Chicago.



- skanowanie wnętrza kościoła
- skanowanie relikwii św. Bruno (od kaptura) zaleca miły kontemplacji i odświeżenie od siebie - pustelnicy

Rysunek 6.27. Szkice lokalizacji skanera w trakcie skanowania kościoła św. Brunona w Chicago, wykonanie E. Miłosz.

Figure 6.27. Sketches of the scanner location during scanning of St Bruno's Church in Chicago, by E. Miłosz.

### Rezultaty postprocessingu

Zdecydowano się na przeprowadzenie przetwarzania danych jedynie dla wnętrza kościoła. Relatywnie niska liczba skanów była wystarczająca przy tak prostej architekturze wnętrza kościoła.

### Postprocessing results

It was decided to process the data only for the church interior. A relatively low number of scans was sufficient for such a simple architecture of the church inside.



Rezultaty przetwarzania danych źródłowych zostały zestawione w tabeli 6.8.

The results of processing the source data are summarised in Table 6.8.

Tabela 6.8. Zestawienie wygenerowanych efektów przetwarzania danych źródłowych z kościoła św. Brunona w Chicago.

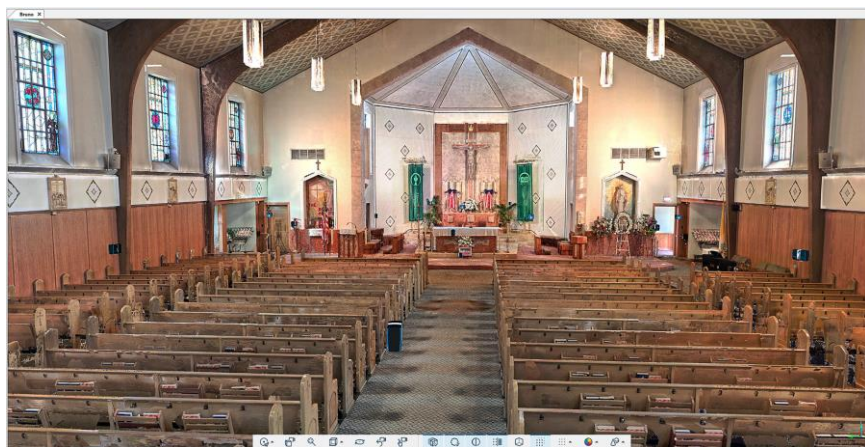
Table 6.8. Summary of the generated effects of processing the source data from St Bruno's Church in Chicago.

Typ zasobu / Resource Type	Pochodzenie / Origin	Cel / Purpose	Liczba zasobów / No. of resources	Parametry / Parameters	Rozmiar / Size
bazowy model siatkowy / base mesh model	wnętrze / interior	A	1	80 mln. trójkątów, tekstura wysokiej rozdzielczości / 80 million triangles, high-res texture	2.2 GB
model siatkowy do upowszechnienia / mesh model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	2 mln. trójkątów, tekstura niskiej rozdzielczości / 2 million triangles, low-res texture	282 MB
bazowy model chmurowy / base cloud model	wnętrze / interior	A	1	2,4 mld 3D punktów, kolorowanych RGB / 2,4 billion 3D points, RGB-coloured	35 GB
model chmurowy do upowszechnienia / cloud model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	27 mln. 3D punktów, kolorowanych RGB / 27 million 3D points, RGB-coloured	0.7 GB
obraz panoramy 360 / 360 panorama image	wnętrze / interior	U	5	20 x 10 tys. pikseli, RGB JPG / 20 x 10 thousand pixels, RGB JPG	37 MB

Uwaga: Cel: A – archiwizacja, U – upowszechnienie. / Note: Purpose: A – archiving, U – popularisation.

Przykładowy ekran modelu 3D uzyskany po obróbce danych zaprezentowano na rysunku 6.28.

A sample print screen of the 3D model obtained after data processing is presented in Figure 6.28.



Rysunek 6.28. Ekran cyfrowego modelu 3D kościoła św. Brunona w Chicago w stronę ołtarza.

Figure 6.28. Print screen of the digital 3D model of St Bruno's Church in Chicago towards the altar.

## 6.5. Kościół Najświętszego Serca Pana Jezusa i św. Wacława w Dodge (WI)

Kościół Najświętszego Serca Pana Jezusa w Dodge w stanie Wisconsin, został udostępniony zespołowi do skanowania na wyłączność ( $D=n$  w formule (5.3)). Jest to kościół o prostym, jednonawowym wnętrzu ( $C=1$ ). Położony jest w małej miejscowości w stanie Wisconsin o liczbie mieszkańców niewiele przekraczającej 400 ( $L=v$ ). Zeskanowano także jego zewnętrzną bryłę architektoniczną ( $S=w$ ).

### *Historia i stan kościoła*

Osadnicy pochodzenia kaszubskiego oraz czeskiego przybyli do hrabstwa Trempealeau w 2. poł. XIX w. Zanim zostali rolnikami, pracowali w tartakach i magazynach zbożowych, a żony jako praczki. Parafia w Dodge-Pine Creek powstała w 1862 roku. Początkowo pod wezwaniem św. Wacława, patrona Czech, ale ze względu na fakt, że większość wspólnoty stanowili Kaszubi to w późniejszym okresie świątyni dodano tytuł Najświętszego Serca Pana Jezusa (bardzo popularny na terenie Kaszub). To jedyny kościół w USA posiadający dwa wezwania [48]. Pierwszym stałym proboszczem został ks. Florentine Zadziowski, który przybył do miejscowości w 1866 roku. Do 1969 r. proboszczami w Dodge byli księża pochodzenia polskiego, ale ze względu na zmiany etniczne wśród mieszkańców i rozproszenie się polonii proboszczami zostali różni księża (ostatnim o korzeniach polskich był ks. Robert Polcyn (1996-2005)). Mieszkańcy dbając o wykształcenie swoich dzieci w 1890 r. postawili murowaną szkołę, w której początkowo pracowały siostry ze zgromadzenia św. Franciszka z Asyżu (od 1898 r.), a od 1949 r. siostry ze Zgromadzenia Sióstr św. Józefa Trzeciego Zakonu św. Franciszka z Asyżu. Szkoła funkcjonowała do 1976, obecnie w tym budynku znajduje się plebania [63]. Za kościołem znajduje się

## 6.5. Church of the Sacred Heart of Jesus and St Wenceslas in Dodge (WI)

The Church of the Sacred Heart of Jesus in Dodge, Wisconsin, was made available to the team for exclusive scanning ( $D=n$  in formula (5.3)). It is a church with a simple, single-nave interior ( $C=1$ ). It is located in a small town in Wisconsin with a population of just over 400 ( $L=v$ ). Its exterior architectural form was also scanned ( $S=w$ ).

### *History and condition of the church*

Settlers of Kashubian and Czech origin arrived in Trempealeau County in the second half of the 19th century. Before becoming farmers, they worked in sawmills and grain warehouses, and their wives worked as laundresses. The parish in Dodge-Pine Creek was established in 1862. Initially under the patronage of St Wenceslas, the patron saint of the Czech Republic, but due to the fact that the majority of the community were Kashubians, the title of the Most Sacred Heart of the Lord Jesus (very popular in Kashubia) was later added to the temple. It is the only church in the USA with two names [48]. The first permanent parish priest was Father Florentine Zadziowski, who came to the town in 1866. Until 1969, the parish priests in Dodge were priests of Polish origin, but due to ethnic changes among the residents and the dispersion of the Polish community, various priests became parish priests (the last one with Polish roots was Father Robert Polcyn (1996-2005)). The residents, taking care of the education of their children, built a brick school in 1890, initially staffed by sisters from the congregation of St Francis of Assisi (from 1898), and from 1949 by sisters from the Congregation of the Sisters of St Joseph of the Third Order of St Francis of Assisi. The school operated until 1976, and currently houses a rectory [63]. Behind the

cmentarz z licznymi polskimi grobami – rysunek 6.29.

church there is a cemetery with numerous Polish graves – Figure 6.29.



Rysunek 6.29. Cmentarz w Dodge z widokiem na miejscowość.

Figure 6.29. Dodge cemetery with a view of the town.

Pierwsza drewniana świątynia z 1864 r. postawiona na gruntach podarowanych przez Paul i Antonina Libera spłonęła. Nowy proboszcz, ks. Adolf Snigorski, 10. maja 1875 roku rozpoczął budowę obecnego kościoła, który został zaprojektowany przez C. G. Maybury'ego z Winony (stan Minnesota) [64]. Powstał budynek jednonawowy przykryty dwuspadowym dachem, na planie prostokąta z wysuniętą, wysoką dwukondygnacyjną wieżą-dzwonnicy (na rzucie kwadratu) krytą iglastym hełmem. Pośrodku wieży znajduje się tablica ze skrótem łacińskiej dewizy: A.M.D.G. (Ad maiorem Dei gloriam – na większą chwałę Bożą) i napis: Ku czci Najświętszego Serca Pana Jezusa i Sgo [świętego] Wacława M. [Męczennika] – rysunek 6.30.

The first wooden church from 1864, built on land donated by Paul and Antonine Liber, burned down. The new parish priest, Father Adolf Snigorski, began construction of the current church on May 10, 1875, designed by C. G. Maybury from Winona (Minnesota) [64]. A single-nave building covered with a gable roof was built, on a rectangular plan with a protruding, high two-story bell tower (on a square plan) covered with a coniferous dome. In the centre of the tower there is a plaque with the abbreviation of the Latin motto: A.M.D.G. (Ad maiorem Dei gloriam – for the greater glory of God) and the inscription: In honour of the Most Sacred Heart of Jesus and Saint Wenceslas M. [Martyr] – Figure 6.30.



Rysunek 6.30. Fasada kościoła Najświętszego Serca Pana Jezusa i św. Wacława w Dodge.

Figure 6.30. Façade of the Church of the Most Sacred Heart of Jesus and Saint Wenceslas in Dodge.

We wnętrzu kościoła sklepienie jest spłaszczone i półokrągłe, a ściana tęczowa zakończona ostrołukowo – rysunek 6.31. Na sklepieniu prezbiterium namalowane są dekoracyjne „żebra”, naśladujące gotyckie sklepienie.

Inside the church, the vault is flattened and semicircular, and the chancel wall ends with a pointed arch (Figure 6.31). Decorative “ribs” are painted on the vault of the presbytery, imitating a Gothic vault.



Rysunek 6.31. Wnętrze kościoła z widocznymi trzema neogotyckimi ołtarzami.

Figure 6.31. Interior of the church with three neo-Gothic altars visible.

Ołtarz główny z figurą Chrystusa w środku, św. Antoniego Padniewskiego (po prawej) i św. Wacława (po lewej). Po prawej stronie znajduje się boczny ołtarz św. Józefa, zaś po lewej ołtarz boczny Matki Boskiej z Lourdes. Wszystkie ołtarze wykonano w stylu neogotyckim. Na uwagę zasługuje również wieloboczna chrzcielnica ozdobiona motywami neogotyckiego ornamentu i główkami aniołków oraz pokrywą z postaciami Chrystusa przyjmującego chrzest od św. Jana Chrzciciela.

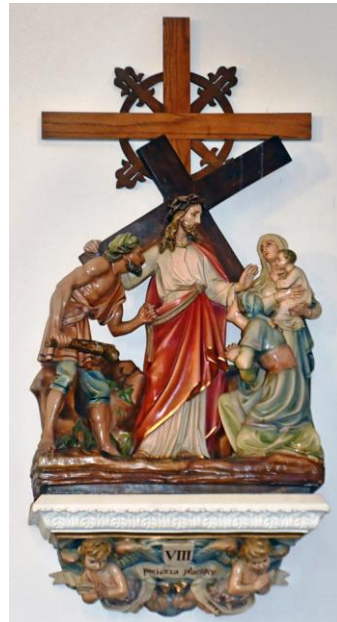
Na bocznych ścianach kościoła zostały umieszczone wielofigurowe Stacje Drogi Krzyżowej z adnotacją o ofiarodawcach – rysunek 6.32.

The main altar with the figure of Christ in the centre, Saint Anthony of Padua (on the right) and Saint Wenceslas (on the left). On the right side is the side altar of Saint Joseph, and on the left is the side altar of Our Lady of Lourdes. All the altars were made in the neo-Gothic style. Also noteworthy is the polygonal baptismal font decorated with neo-Gothic ornaments and angel heads, as well as the cover with figures of Christ receiving baptism from St John the Baptist.

On the side walls of the church, there are multi-figure Stations of the Cross with annotations about the donors (Figure 6.32).



a)



b)

Rysunek 6.32. Stacje Drogi Krzyżowej: a) stacja I – Jezus na śmierć skazany, ofiarodawcy: Franciszek Maliszewski z żoną Pauliną, b) stacja VIII – Jezus pociesza płaczące kobiety, ofiarował Marianna Herek [65].

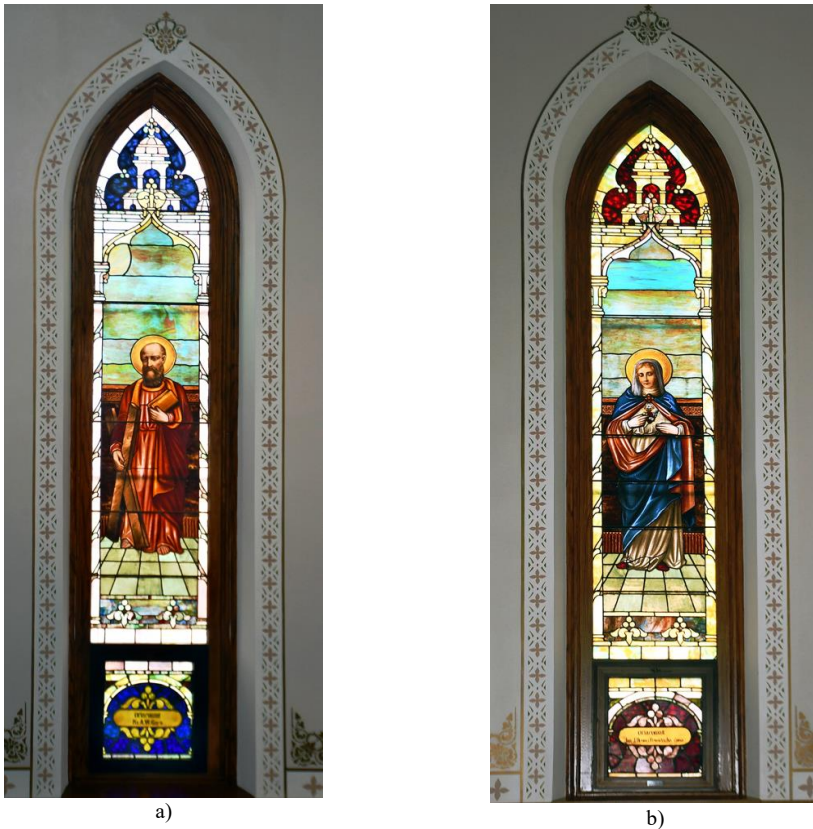
Figure 6.32. Stations of the Cross: a) Station I – Jesus sentenced to death, donors: Franciszek Maliszewski with his wife Paulina, b) Station VIII – Jesus comforts crying women, donated by Marianna Herek [65].

W oknach kościoła zamontowano witraże nawiązującą formą artystyczną do witraży gotyckich. Poszczególne witraże figuralne przedstawiają: św. Józefa, Jezusa, św.

Stained glass windows referring to Gothic stained glass were installed in the church windows. Individual figurative stained glass windows depict: St. Joseph,

Jakuba Starszego, Matkę Boską Różańcową, postać Maryi, św. Wacława i św. Andrzejem. W części chóru można odnaleźć witraże: z chrystogramem IHS i ze znakami Alfa i Omega symbolizującymi Chrystusa oraz z dwoma sercami: Maryi i Jezusa. Wszystkie witraże posiadają szczegółową informację o ofiarodawcach – rysunek 6.33.

Jesus, St James the Elder, Our Lady of the Rosary, the figure of Mary, St Wenceslas and St Andrew. In the choir section, there are stained glass windows: with the IHS Christogram and with the Alpha and Omega signs symbolising Christ, and with two hearts: of Mary and Jesus. All stained glass windows have detailed information about the donors (Figure 6.33).



Rysunek 6.33. Witraże: a) św. Andrzej, fundator: proboszcz parafii ks. Andrzej Gara (1898–1901), b) Matka Boska, fundator: Jan J. Brom z żoną Franciszką.

Figure 6.33. Stained glass windows: a) St Andrew, donor: parish priest Fr Andrzej Gara (1898–1901), b) Mother of God, donor: Jan J. Brom with his wife Franciszka.

### *Parametry procesu skanowania i pozyskane dane*

Skanowanie wnętrza kościoła było realizowane z ustawieniami skanera: rozdzielczość pojedynczego skanu 20 480 punktów na 360 stopni. Obraz pobierany w trybie

### *Scanning process parameters and acquired data*

The scanning of the church interior was carried out with the scanner set to single scan resolution of 20 480 points per 360 degrees. The image was acquired in STD

STD. W tabeli 6.9 zestawiono czas pracy urządzeń i pozyskane efekty skanowania. Ze względu na ekskluzywny dostęp do budynku nie występowały istotne problemy podczas skanowania.

Umieszczenie kościoła w terenie wiejskim powodowało, że dostęp do bryły zewnętrznej nie był istotnie ograniczony. Kształt i wielkość kościoła pozwalały na zrealizowanie skanowania bryły zewnętrznej bez utraty istotnych obszarów.

mode. Table 6.9 summarises the device operation time and the acquired scanning effects. Due to the exclusive access to the building, there were no significant problems during scanning.

The location of the church in a rural area meant that access to its exterior was not significantly limited. The shape and size of the church allowed for scanning it from the outside without losing important areas.

Tabela 6.9. Zestawienie czasu i ilości zgromadzonych danych podczas skanowania kościoła Najświętszego Serca Pana Jezusa i św. Wacława w Dodge.

Table 6.9. Summary of time and amount of data collected during scanning of the Church of the Sacred Heart of Jesus and St Wenceslas in Dodge.

Czas pracy (godz.) Working time (hours)				Liczba sztuk pozyskanych danych Number of units of acquired data				Problemy Problems
Wnętrze Interior		Zewnątrz Exterior		Wnętrze Interior		Zewnątrz Exterior		
TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	
5	4	1,5	1	24	900	7	250	-

### *Szkic procesu skanowania*

Na rysunku 6.34 przedstawiono ręczne szkice opracowywane w trakcie skanowania kościoła Najświętszego Serca Pana Jezusa w Dodge.

### *Outline of the scanning process*

Figure 6.34 shows manual sketches developed during scanning of the Church of the Sacred Heart of Jesus in Dodge.

### *Rezultaty postprocessingu*

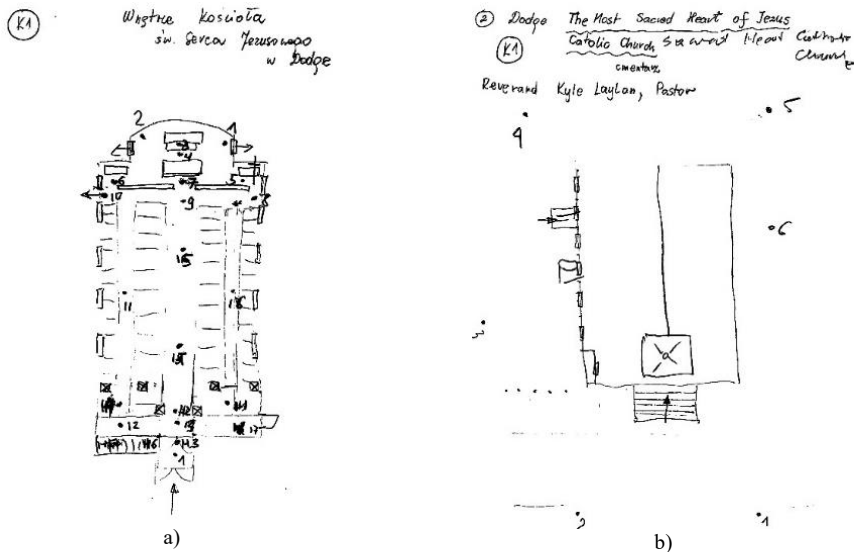
Możliwość zeskanowania całej bryły zewnętrznej kościoła wraz z przedsionkiem pozwoliła na wygenerowanie połączonego modelu całości kościoła. Relatywnie niewielki rozmiar kościoła spowodowały, że ilość danych dla takiego połączonego modelu nie była większa niż w przypadku poprzednio omawianych obiektów. Większa liczba trójkątów modelu bazowego była wyborem twórcy, podyktowanym chęcią uzyskania szczegółowego widoku zarówno wnętrza jak i zewnątrz kościoła.

Rezultaty przetwarzania danych źródłowych zostały zestawione w tabeli 6.10.

### *Postprocessing results*

The ability to scan the entire exterior of the church together with the vestibule allowed for the generation of a combined model of the entire church. The relatively small size of the church meant that the amount of data for such a combined model was no greater than in the case of the previously discussed objects. The larger number of triangles in the base model was the creator's choice, dictated by the desire to obtain a detailed view of both the interior and exterior of the church.

The results of processing the source data are summarised in Table 6.10.



Rysunek 6.34. Szkice lokalizacji skanera w trakcie skanowania kościoła Najświętszego Serca Pana Jezusa i św. Wacława w Dodge: a) wewnątrz, b) zewnątrz, wykonanie E. Miłosz.

Figure 6.34. Sketches of the scanner location during scanning of the Church of the Sacred Heart of Jesus and St Wenceslas in Dodge: a) interior, b) exterior, by E. Miłosz.

Tabela 6.10. Zestawienie wygenerowanych efektów przetwarzania danych źródłowych z Kościoła Najświętszego Serca i św. Wacława w Dodge.

Table 6.10. Summary of the generated effects of processing the source data from the Church of the Sacred Heart and St Wenceslas in Dodge.

Typ zasobu / Resource Type	Pochodzenie / Origin	Cel / Purpose	Liczba zasobów / No. of resources	Parametry / Parameters	Rozmiar / Size
bazowy model siatkowy / base mesh model	wnętrze / interior	A	1	200 mln. trójkątów, tekstura wysokiej rozdzielczości / 200 million triangles, high-res texture	20 GB
model siatkowy do upowszechnienia / mesh model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	2 mln. trójkątów, tekstura niskiej rozdzielczości / 2 million triangles, low-res texture	185 MB
bazowy model chmurowy / base cloud model	wnętrze / interior	A	1	1,5 mld 3D punktów, kolorowanych RGB / 1.5 billion 3D points, RGB-coloured	30 GB
model chmurowy do upowszechnienia / cloud model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	38 mln. 3D punktów, kolorowanych RGB / 38 million 3D points, RGB-coloured	0,6 GB
obraz panoramy 360 / 360 panorama image	wnętrze / interior	U	5	20 x 10 tys. pikseli, RGB JPG / 20 x 10 thousand pixels, RGB JPG	37 MB

Uwaga: Cel: A – archiwizacja, U – upowszechnienie. / Note: Purpose: A – archiving, U – popularisation.



Przykładowe ekrany wybranych modeli siatkowych 3D uzyskane po obróbce danych zaprezentowano na rysunku 6.35.

Example print-screens of selected 3D mesh models obtained after data processing are presented in Figure 6.35.



a)



b)

Rysunek 6.35. Ekrany cyfrowych modeli 3D kościoła Najświętszego Serca Pana Jezusa i św. Wacława w Dodge: a) bryła kościoła, b) wnętrze w stronę ołtarza.

Figure 6.35. Print screens of digital 3D models of the Church of the Sacred Heart of Jesus and St. Wenceslas in Dodge: a) the body of the church, b) the interior towards the altar.

## 6.6. Kościół św. Piotra i Pawła w Independence (WI)

Kościół św. Piotra i Pawła w Independence w stanie Wisconsin, został udostępniony zespołowi do skanowania na wyłączność ( $D=n$  w formule (5.3)). Jest to kościół o trzynawowym wnętrzu ( $C=m$ ). Położony jest w małym mieście (town) w stanie Wisconsin o liczbie mieszkańców przekraczającej 1 500 ( $L=t$ ). Zeskanowano także jego zewnętrzną bryłę architektoniczną ( $S=w$ ).

### *Historia i stan kościoła*

Miejscowość Independence wydzielona w 1876 roku z osady Burnside znajduje się w stanie Wisconsin, w hrabstwie Trempealeau. Pod namową rodziny Alberta Bautcha przeniosły się tam grupy polskich imigrantów pochodzących ze Śląska, z miejscowości Popielów, którzy już byli na terenie Stanów Zjednoczonych. [48] Wszyscy ci emigranci przynależeli do Kościoła Katolickiego. Gdy grupa wiernych powiększyła się do około 60 rodzin zakupiono za 15 dolarów 10 akrów ziemi od rodziny Markhamów i wybudowano pierwszy drewniany kościół poświęcony przez biskupa Michaela Heissa 7 października 1875 r. – rysunek 6.36.

## 6.6. Church of St. Peter and Paul in Independence (WI)

The Church of St. Peter and Paul in Independence, Wisconsin, was made available to the team for exclusive scanning ( $D=n$  in formula (5.3)). It is a church with a three-nave interior ( $C=m$ ). It is located in a small town in Wisconsin with a population exceeding 1,500 ( $L=t$ ). Its external architectural form was scanned ( $S=w$ ).

### *History and condition of the church*

The town of Independence, separated in 1876 from the settlement of Burnside, is located in Wisconsin, in Trempealeau County. At the urging of the family of Albert Bautch, groups of Polish immigrants from Silesia, from the town of Popielów, who were already in the United States, moved there. [48] All of these emigrants belonged to the Catholic Church. When the group of believers grew to about 60 families, 10 acres of land were purchased for \$15 from the Markham family and the first wooden church was built, dedicated by Bishop Michael Heiss on October 7, 1875 (Figure 6.36).

PICTURE OF FIRST CHURCH



Rysunek 6.36. Uroczystość poświęcenia drewnianego kościoła św. Piotra i Pawła w Independence [66].

Figure 6.36. Dedication ceremony of the wooden church of St Peter and Paul in Independence [66].

Data ta jest uznawana za początek parafii św. Piotra i Pawła w Independence. Parafia stała się jedną z największych w diecezji i licząc 893 osoby ze 167 rodzin w 1887 roku. Przez cały okres dziejów parafii proboszczami byli księża polscy, ale zmiany demograficzne i etniczne spowodowały, że w okolicy nie ma już osób mówiących po polsku. Obecnie proboszczem jest ks. George Thayilkuzhithottu pochodzący z grupy etnicznej Xhosa w RPA. Pierwszą szkołę parafialną ukończono w 1887 r., w której uczyły trzy siostry franciszkanki z Milwaukee, później z miasteczka Stevens Point. Warto wspomnieć, że nauka języka polskiego była prowadzona do końca lat 40. XX wieku. Przy kościele znajduje się cmentarz, gdzie w większości grobów pochowano wiernych przybyłych z Polski.

Budowę obecnego kościoła rozpoczęto w 1895 r., a zakończono jesienią 1896 r. (typowe tempo amerykańskie). Budynek mierzył 56 na 131 stóp (17x40 m) usytuowany wzdłuż osi wschód-zachód. W 1908 r. dobudowano prezbiterium czyniąc kościół jednym z największych w diecezji La Crosse, z liczbą miejsc siedzących wynoszącą 1200 [67]. Kościół został wybudowany w stylu neogotyckim, murowany z cegły, założony na planie krzyża łacińskiego, z wielobocznym prezbiterium, oszkarpowany, z fryzem kostkowym wokół dachu – rysunek 6.37. W ścianach umieszczono neogotyckie okna witrażowe. Od frontu kościół ma wysoką wieżę zwieńczoną wielobocznym hełmem iglastym, a na skrzyżowaniu naw sygnaturkę – rysunek 6.38.

This date is considered the beginning of the parish of St Peter and Paul in Independence. The parish became one of the largest in the diocese, with 893 people from 167 families in 1887. Throughout the history of the parish, Polish priests were the parish priests, but demographic and ethnic changes have resulted in the state that there are no longer any Polish speakers in the area. The current parish priest is Fr George Thayilkuzhithottu, who comes from the Xhosa ethnic group in South Africa. The first parish school was completed in 1887, with three Franciscan sisters from Milwaukee, later from the town of Stevens Point, teaching. It is worth mentioning that Polish language classes were held until the end of the 1940s. There is a cemetery next to the church, where most of the graves contain the faithful who came from Poland.

Construction of the current church began in 1895 and was completed in the fall of 1896 (a typical American pace). The building measured 56 by 131 feet (17x40 m) and was located along the east-west axis. In 1908, a chancel was added, making the church one of the largest in the La Crosse diocese, with a seating capacity of 1,200 [67]. The church was built in the neo-Gothic style, made of brick, laid out on a Latin cross plan, with a polygonal chancel, buttressed, with a cube frieze around the roof (Figure 6.37). The walls have neo-Gothic stained glass windows. The church has a tall tower topped with a polygonal spire at the front, and a bell tower at the intersection of the naves (Figure 6.38).



Rysunek 6.37. Widok ogólny kościoła św. Piotra i Pawła w Independence.

Figure 6.37. General view of the Church of St Peter and Paul in Independence.



a)



b)

Rysunek 6.38. Szczegóły architektoniczne kościoła św. Piotra i Pawła w Independence: a) portal, b) sygnaturka.

Figure 6.38. Architectural details of the Church of St Peter and Paul in Independence: a) portal, b) bell tower.

Trójnawowe wnętrze kościoła robi duże wrażenie na osobie wchodzącej do świątyni. Nawy ozdobione polichromiami z ornamentami geometrycznymi i roślinnymi mają sklepienia krzyżowo-żebrowymi z półkolistymi arkadami podtrzymywanymi przez filary ze słupkami, między nimi znajdują się dekoracyjne formy roślinne. W prezbiterium nad ołtarzem przedstawiono Wniebowstąpienie Chrystusa – rysunek 6.39.

The three-nave interior of the church makes a big impression on anyone entering the church. The naves, decorated with polychromes with geometric and plant ornaments, have cross-ribbed vaults with semi-circular arcades supported by pillars with shafts, between them there are decorative plant forms. In the presbytery above the altar, the Ascension of Christ is depicted (Figure 6.39).



Rysunek 6.39. Wnętrze kościoła śś. Piotra i Pawła w Independence.

Figure 6.39. Interior of the Church of St Peter and Paul in Independence.

Ołtarze główny i boczne są architektoniczne w stylu neogotyckim. W ołtarzu głównym znajduje się obraz Matki Boskiej z Dzieciątkiem, po bokach ustawiono figury patronów kościoła – śś. Piotra i Pawła. W lewej bocznej nawie ołtarz z figurą Matki Boskiej z Dzieciątkiem, zaś w prawej – ołtarz św. Józefa z figurą świętego z Dzieciątkiem. Warto zwrócić uwagę na neogotycką ambonę dekorowaną ostrołukowymi niszami z postaciami czterech ewangelistów oraz marmurową chrzcielnicę ze sceną

The main and side altars are architecturally in the neo-Gothic style. The main altar contains a painting of the Virgin Mary with Child, and on the sides there are figures of the church's patrons – St. Peter and Paul. In the left side aisle there is an altar with a figure of the Virgin Mary with Child, while in the right – the altar of St. Joseph with a figure of the saint with Child. It is worth paying attention to the neo-Gothic pulpit decorated with pointed arch niches with figures of the four evangelists and the

Chrztu Chrystusa przez św. Jana Chrzciciela ofiarowaną przez Barbara Jelen, Theo W. Thurn i Winiona Minn [68] – rysunek 6.40.

marble baptismal font with the scene of the Baptism of Christ by St. John the Baptist donated by Barbara Jelen, Theo W. Thurn and Winiona Minn [68] (Figure 6.40).



a)



b)

Rysunek 6.40. Detale wystroju wnętrza: a) ambona, b) XIII Stacja Drogi Krzyżowej z napisem – „Jezusowe składają Je na łonie Panny Maryi”.

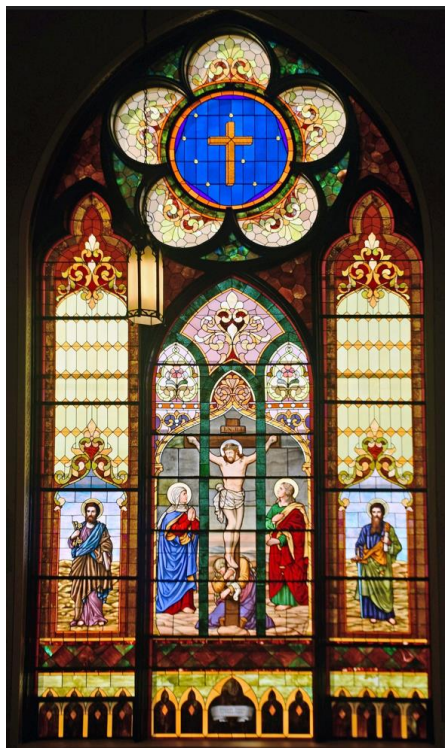
Figure 6.40. Details of the interior design: a) pulpit, b) XIII Station of the Cross with the inscription – "The children of Jesus lay them on the bosom of the Virgin Mary".

Na ścianach naw bocznych zachowały się architektoniczne neogotyckie Stacje Drogi Krzyżowej z polskimi napisami – rysunek 6.40b. W świątyni znajdują się zarówno witraże ornamentalne (głównie w oknach wieży) oraz figuralne. Witraże figuralne po lewej stronie przedstawiają między innymi św. Urbana i Michała, św. Karolinę i Annę, św. Zuzannę, w transepcie duży witraż ze sceną Pokłonu Pasterczy. W transepcie po prawej stronie kościoła znajduje się witraż ze sceną Ukrzyżowania z Matką Boską, św. Janem i św. Marią Magdaleną, po bokach stoją dwaj święci: Piotr i Paweł – rysunek 6.41a. Pewnym zaskoczeniem było

On the walls of the side naves, the architectural neo-Gothic Stations of the Cross with Polish inscriptions have been preserved (Figure 6.40b). The church has both ornamental stained glass windows (mainly in the windows of the tower) and figurative ones. The figurative stained glass windows on the left side depict, among others, St Urban and Michael, St Caroline and Anna, St Susanna, in the transept there is a large stained glass window with the scene of the Adoration of the Shepherds. In the transept on the right side of the church there is a stained glass window with the scene of the Crucifixion with the Mother of God, St John and St Mary

odkrycie zupełnie nowego witrażu z przedstawieniem św. Jana Pawła II, ale już z napisem po angielsku – I AM TOTALLY YOURS – rysunek 6.41b.

Magdalene, on the sides stand St Peter and Paul – Figure 6.41a. A certain surprise was the discovery of a completely new stained glass window with a representation of St John Paul II, but with an inscription in English – I AM TOTALLY YOURS (Figure 6.41b).



a)



b)

Rysunek 6.41. Witraże ze świątyni: a) scena ukrzyżowania ufundowana przez Towarzystwo św. Piotra i Pawła, b) św. Jan Paweł II.

Figure 6.41. Stained glass windows from the temple: a) crucifixion scene funded by the Society of Saints Peter and Paul, b) Saint John Paul II.

### *Parametry procesu skanowania i pozyskane dane*

Skąnowanie wnątrza kościoła było realizowane z ustawieniami skanera: rozdzielczość pojedynczego skanu 20 480 punktów na 360 stopni. Obraz pobierany w trybie STD. W tabeli 6.11 zestawiono czas pracy i pozyskane efekty skanowania. Ze względu

### *Scanning process parameters and acquired data*

The scanning of the church interior was carried out with the scanner settings: single scan resolution 20480 points per 360 degrees. The image was acquired in STD mode. Table 6.11 summarises the working time and the acquired scanning effects. Due to the exclusive access to the building, there





### **Rezultaty postprocessingu**

Możliwość zeskanowania całej bryły zewnętrznej kościoła wraz z przedsiönkiem pozwoliła na wygenerowanie połączonego modelu całości kościoła. Nieco większe rozmiary kościoła, oraz bardziej skomplikowana bryła spowodowały, że ilość danych dla takiego połączonego modelu była nieco większa niż w przypadku poprzednio omawianego obiektu jednak nadal porównywalna z poprzednikami. Większa liczba trójkątów modelu bazowego była wyborem twórcy, podyktowanym chęcią uzyskania szczegółowego widoku zarówno wnętrza jak i zewnątrz kościoła.

Rezultaty przetwarzania danych źródłowych zostały zestawione w tabeli 6.12.

### **Postprocessing results**

The ability to scan the entire external mass of the church together with the vestibule allowed for the generation of a combined model of the entire church. The slightly larger size of the church and the more complicated mass meant that the amount of data for such a combined model was slightly larger than in the case of the previously discussed object, but still comparable to its predecessors. The larger number of triangles in the base model was the creator's choice, dictated by the desire to obtain a detailed view of both the interior and exterior of the church.

The results of processing the source data are summarized in Table 6.12.

Tabela 6.12. Zestawienie wygenerowanych efektów przetwarzania danych źródłowych z kościoła śś. Piotra i Pawła w Independence.

Table 6.12. Summary of the generated effects of processing the source data from the Church of St Peter and Paul in Independence.

<b>Typ zasobu / Resource Type</b>	<b>Pochodzenie / Origin</b>	<b>Cel / Purpose</b>	<b>Liczba zasobów / No. of resources</b>	<b>Parametry / Parameters</b>	<b>Rozmiar / Size</b>
bazowy model siatkowy / base mesh model	wnętrze / interior	A	1	200 mln. trójkątów, tekstura wysokiej rozdzielczości / 200 million triangles, high-res texture	20 GB
model siatkowy do upowszechnienia / mesh model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	2 mln. trójkątów, tekstura niskiej rozdzielczości / 2 million triangles, low-res texture	200 MB
bazowy model chmurowy / base cloud model	wnętrze / interior	A	1	1,5 mld 3D punktów, kolorowanych RGB / 1.5 billion 3D points, RGB-coloured	30 GB
model chmurowy do upowszechnienia / cloud model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	42 mln. 3D punktów, kolorowanych RGB / 42 million 3D points, RGB-coloured	1.1 GB
obraz panoramy 360 / 360 panorama image	wnętrze / interior	U	8	20 x 10 tys. pikseli, RGB JPG / 20 x 10 thousand pixels, RGB JPG	37 MB

Uwaga: Cel: A – archiwizacja, U – upowszechnienie. / Note: Purpose: A – archiving, U – popularisation.

Przykładowe ekrany wybranych modeli siatkowych 3D uzyskane po obróbce danych zaprezentowano na rysunku 6.43.

Example print-screens of selected 3D mesh models obtained after data processing are presented in Figure 6.43.



a)



b)

Rysunek 6.43. Ekran cyfrowych modeli 3D kościoła św. Piotra i Pawła w Independence: a) bryła kościoła, b) wnętrze w stronę ołtarza.

Figure 6.43. Print-screens of digital 3D models of the Church of St. Peter and Paul in Independence: a) the body of the church, b) the interior towards the altar.

## 6.7. Kościół św. Michała Archaniola w Tarnov (NE)

Kościół św. Michała Archaniola w Tarnov w stanie Nebraska, został udostępniony zespołowi do skanowania na wyłączność ( $D=n$  w formule (5.3)). Jest to kościół o trzynawowym wnętrzu ( $C=m$ ). Położony jest w wiosce w stanie Nebraska o liczbie mieszkańców poniżej 50 ( $L=v$ ). Zeskanowano także jego zewnętrzną bryłę architektoniczną ( $S=w$ ).

### *Historia i stan kościoła*

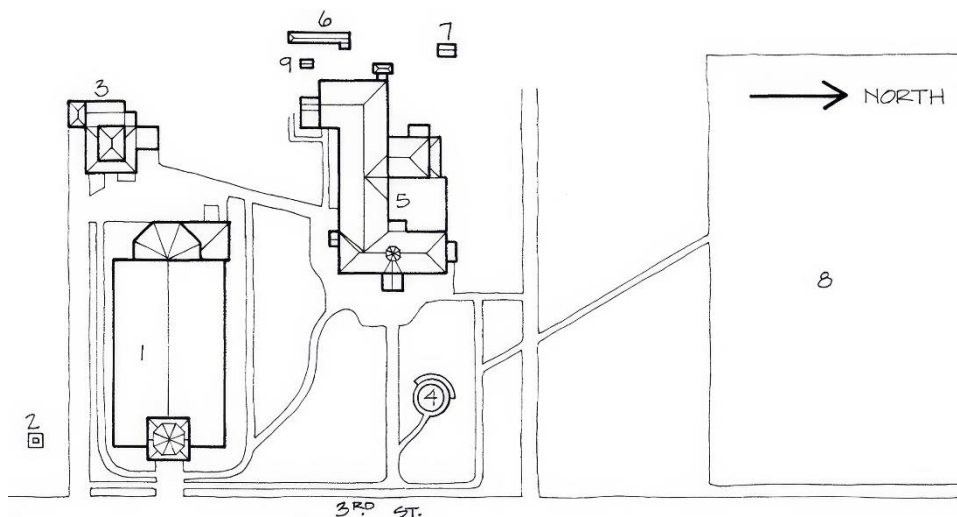
Polscy imigranci przybyli w ten rejon pod koniec lat 70. XIX wieku i zwrócili się do biskupa z petycją o budowę kościoła w 1880 roku, co poprzedzało jeszcze powstanie miasta [69]. Pierwszy budynek był zbudowany z drewna. Budowa linii kolejowej przez Union Pacific Railroad pobudziło rozwój okolicy i konieczność założenia miasteczka ze względu na potrzebę ustalenia miejsca na stację. Ta nowa sytuacja doprowadziła również do potrzeby budowy nowego kościoła. Planowanie murowanego kościoła rozpoczęto w grudniu 1899 r. pod przewodnictwem ojca A. Czecha, OFM (franciszkanie konwentualni). Ziemię, na niewielkim wzniesieniu, pod budowę kościoła podarowali Frank i Sophia Paprocki, którzy pochodzili z Tarnowa w Polsce, jak większość osadników (wówczas Galicja – tereny okupowane przez cesarską Austrię) [70]. Projekt kościoła w stylu neogotyckim przygotował brat L. Dorschied, OFM, a budowę rozpoczęto już w 1900 r. Kościół św. Michała Archaniola ukończono w 1901 r. Jesienią 1910 r. parafianie zbudowali nową plebanię, szkołę-klasztor i kurnik. Kompleks sakralny obejmuje również grotę zbudowaną w latach 1926–27, wg projektu Charlesa Wurdemana, na cześć byłych żołnierzy I wojny światowej (okręg Tarnov wysłał 16 jej synów, z których jeden zginął – Andrew Matya) [69]), a także cmentarz wyznaczony już w 1880 r. – rysunek 6.44.

## 6.7. Church of St Michael the Archangel in Tarnov (NE)

The Church of St Michael the Archangel in Tarnov, Nebraska, was made available to the team for exclusive scanning ( $D=n$  in formula (5.3)). It is a church with a three-nave interior ( $C=m$ ). It is located in a village in Nebraska with a population of less than 50 ( $L=v$ ). Its external architectural body was also scanned ( $S=w$ ).

### *History and Condition of the Church*

Polish immigrants arrived in the area in the late 1870s and petitioned the bishop to build a church in 1880, which preceded the founding of the town [69]. The first building was made of wood. The construction of a railroad by the Union Pacific Railroad stimulated the development of the area and the need to establish a town due to the need to establish a site for a station. This new situation also led to the need to build a new church. Planning for a brick church began in December 1899 under the leadership of Father A. Czech, OFM (Conventual Franciscans). The land, on a small hill, for the construction of the church was donated by Frank and Sophia Paprocki, who came from Tarnów, Poland, like most of the settlers (at that time Galicja – territories occupied by Imperial Austria) [70]. The design of the church in the neo-Gothic style was prepared by Brother L. Dorschied, OFM, and construction began in 1900. The Church of St Michael the Archangel was completed in 1901. In the autumn of 1910, the parishioners built a new rectory, a school-monastery and a henhouse. The sacral complex also includes a grotto built in 1926–27, according to the design of Charles Wurdeman, in honour of former soldiers of World War I (the Tarnov district sent 16 of her sons, one of whom, Andrew Matya, died) [69]), as well as a cemetery designated already in 1880 (Figure 6.44).



Rysunek 6.44. Zespół sakralny we wsi Tarnov: (1) kościół, (2) figura św. Michała Archanioła, (3) probostwo, (4) grotta, (5) szkoła, (6) kurnik, (7) i (9) magazyny, (8) cmentarz [70].

Figure 6.44. Sacral complex in the village of Tarnov: (1) church, (2) figure of St Michael the Archangel, (3) rectory, (4) grotto, (5) school, (6) henhouse, (7) and (9) warehouses, (8) cemetery [70].

Szkoła działała do 1961 roku [71], a jej zamknięcie było związane z nieustannym wyludnianiem się miejscowości. W 2010 roku liczba mieszkańców wynosiła zaledwie 46 osób [72]. Obecnie w budynku znajduje się muzeum poświęcone historii osadników, ich życiu religijnemu i zawodowemu [73].

Nowy murowany kościół zbudowany z cegły został poświęcony 11 października 1901 r – rysunek 6.45a. Kościół został wpisany od 28 listopada 1990 r. do Krajowego Rejestru Miejsc Historycznych – rysunek 6.45b.

The school operated until 1961 [71], and its closure was associated with the constant depopulation of the village. In 2010, the number of inhabitants was only 46 people [72]. Currently, the building houses a museum devoted to the history of the settlers, their religious and professional life [73].

The new brick church was consecrated on October 11, 1901 (Figure 6.45a). The church was entered into the National Register of Historic Places on November 28, 1990 (Figure 6.45b).



a)



b)

Rysunek 6.45. Kościoła św. Michała Archanioła we wsi Tarnov, Nebraska: a) fronton z wieżą, b) tablica o wpisie do rejestrów zabytków.

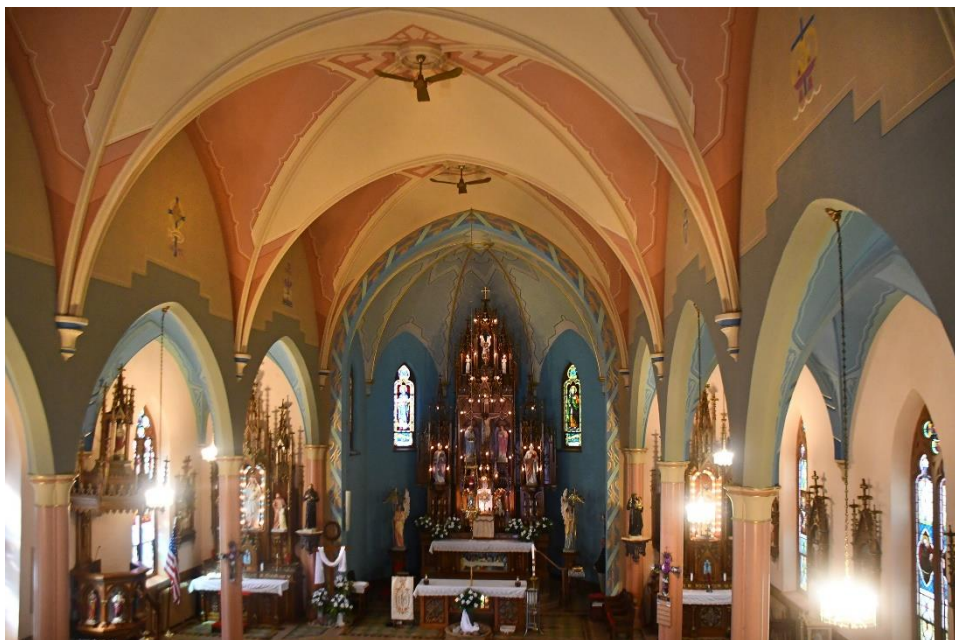
Figure 6.45. Church of St. Michael the Archangel in the village of Tarnov, Nebraska: a) pediment with tower, b) plaque about entry in the register of historical monuments.

Bryła kościoła zorientowana wzdłuż kierunku wschód-zachód o wymiarach 110x45 stóp (około 34x14 m) o wysokości kalenicy dachu 50 stóp (15 m). Wieża z iglicą sięga 110 stóp (34 m), w której znajdują się dwa dzwony o wadze odpowiednio 600 (270 kg) i 1000 (450 kg) funtów [69]. Wnętrze kościoła o 350 miejscach siedzących zostało zaprojektowane w stylu neogotyckim – rysunek 6.46.

Najważniejsze obiekty wyposażenia, to: ołtarz główny o wysokości ponad 27 stóp (ponad 8 m), dwa ołtarze boczne – Najświętszej Maryi Panny i św. Józefa, ambona z baldachimem i duże stacje Drogi Krzyżowej z napisami w języku polskim. Wszystkie te obiekty zostały wykonane z drewna wiśniowego i sprowadzone z Europy. W oknach znajdują się witraże figuralne oraz z motywami roślinnymi – rysunek 6.47.

The body of the church is oriented along the east-west direction with dimensions of 110x45 feet (approx. 34x14 m) with a roof ridge height of 50 feet (15 m). The tower with a spire reaches 110 feet (34 m), in which there are two bells weighing 600 (270 kg) and 1,000 (450 kg) pounds respectively [69]. The interior of the church with 350 seats was designed in the neo-Gothic style (Figure 6.46).

The most important elements of the equipment are: the main altar with a height of over 27 feet (over 8 m), two side altars – of the Blessed Virgin Mary and St. Joseph, a pulpit with a canopy and large Stations of the Cross with inscriptions in Polish. All these objects were made of cherry wood and brought from Europe. The windows have figurative and plant-themed stained glass windows (Figure 6.47).



Rysunek 6.46. Wnętrze neogotyckie kościoła św. Michała Archanioła we wsi Tarnov, Nebraska.

Figure 6.46. Neo-Gothic interior of the Church of St Michael the Archangel in the village of Tarnov, Nebraska.



Rysunek 6.47. Wyposażenie kościoła: a) ambona, b) stacja VI Drogi Krzyżowej, c) witraż fundowany przez Augusta, Jan i Adam Korus.

Figure 6.47. Church equipment: a) pulpit, b) Station VI of the Way of the Cross, c) stained glass window funded by August, Jan and Adam Korus.

Obiekty godne odwiedzenia to posąg św. Michała Archanioła oraz nagrobki cmentarne – rysunek 6.48.

Objects worth visiting include the statue of St Michael the Archangel and cemetery tombstones (Figure 6.48).



a)



b)

Rysunek 6.48. Zespół sakralny we wsi Tarnov: a) Figura św. Michała Archanioła, ufundowana przez rodzinę Mike'a Jarosza b) nagrobek z napisem: Tu spoczywa MICHAEL PAPROCKI ur. 5 W. 1875, um. 9 Li. 1895, R. I. P.

Figure 6.48. Sacral complex in the village of Tarnov: a) Figure of St Michael the Archangel, funded by the family of Mike Jarosz b) tombstone with the inscription: Here lies MICHAEL PAPROCKI born 5 W. 1875, 9 Li. 1895, R. I. P.

### ***Parametry procesu skanowania i pozyskane dane***

Skanowanie wnętrza Kościoła było realizowane z ustawieniami skanera: rozdzielczość pojedynczego skanu 20480 punktów na 360 stopni. Obraz pobierany w trybie STD. Ograniczony czas skanowania (skanowanie podjęte w trybie interwencyjnym) wymusił skrócenie czasu trwania pojedynczych skanów poprzez zmniejszenie krotności powtarzania pomiarów. Nie wpłynęło to znacząco na dokładność uzyskanych danych. W tabeli 6.13 zestawiono czas pracy urządzeń i pozyskane efekty skanowania. Ze względu na wyłączny dostęp do budynku nie występowały istotne problemy podczas skanowania wnętrza.

Umieszczenie kościoła w terenie wiejskim powodowało, że dostęp do bryły zewnętrznej nie był istotnie ograniczony.

### ***Scanning process parameters and acquired data***

The scanning of the church interior was carried out with the scanner set to single scan resolution of 20480 points per 360 degrees. The image was acquired in STD mode. Limited scanning time (scanning undertaken in interventional mode) forced us to shorten the duration of individual scans by reducing the number of times measurements were repeated. This did not significantly affect the accuracy of the data obtained. Table 6.13 summarises the device operation time and the acquired scanning effects. Due to the exclusive access to the building, there were no significant problems during scanning the interior.

The location of the church in a rural area meant that access to the external mass was not significantly limited. Trees growing

Pewnym utrudnieniem były drzewa rosnące blisko elewacji budynku. Nie wpłynęło to znacząco na rekonstrukcję bryły kościoła jednak wprowadziło zakłócenia w generowaniu tekstur powierzchni zewnętrznej budynku gdzie korony drzew pojawiały się na wygenerowanej teksturze. Eliminacja tych zakłóceń wymaga dość pracochłonnego spreparowania zdjęć źródłowych dla fotogrametrii co planowane jest w dalszych pracach.

Liczba skanów zewnętrznych została zwiększona o 5 obejmujących dokładniej figurę św. Michała Archanioła.

close to the building's elevation were a certain difficulty. This did not significantly affect the reconstruction of the church mass, but it introduced interference in generating textures of the external surface of the building where tree crowns appeared on the generated texture. Eliminating these interferences requires quite laborious preparation of source photos for photogrammetry, which is planned in further work.

The number of external scans was increased by 5, covering more precisely the figure of St Michael the Archangel.

Tabela 6.13. Zestawienie czasu i ilości zgromadzonych danych podczas skanowania Kościoła. św. Michała Archanioła w Tarnov.

Table 6.13. Summary of time and amount of data collected during scanning of the Church of St Michael the Archangel in Tarnov.

Czas pracy (godz.) Working time (hours)				Liczba sztuk pozyskanych danych Number of units of acquired data				Problemy Problems
Wnętrze Interior		Zewnątrz Exterior		Wnętrze Interior		Zewnątrz Exterior		
TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	
5	5	3,5	2	28	1 300	20	350	-

### *Szkic procesu skanowania*

Na rysunku 6.49 przedstawiono ręczne szkice opracowywane w trakcie skanowania kościoła św. Michała Archanioła w Tarnov.

### *Postprocessing results*

Figure 6.49 shows manual sketches developed during scanning of the Church of St Michael the Archangel in Tarnov.

### *Rezultaty postprocessingu*

Możliwość zeskanowania całej bryły zewnętrznej kościoła wraz z przedsionkiem pozwoliła na wygenerowanie połączonego modelu całości kościoła. Stosunkowo nieduże rozmiary kościoła oraz prosta bryła zewnętrzna sprawiły że rozmiary wygenerowanych chmur i modeli siatkowych były nieco niższe niż średnia dla całego projektu.

### *Postprocessing results*

The ability to scan the entire external mass of the church together with the vestibule allowed for the generation of a combined model of the entire church. The relatively small size of the church and the simple external mass meant that the sizes of the generated clouds and mesh models were slightly lower than the average for the entire project.

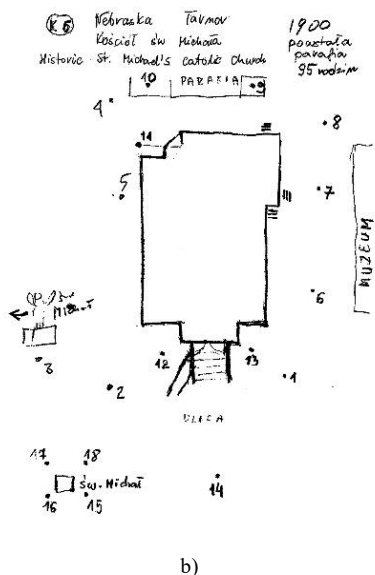
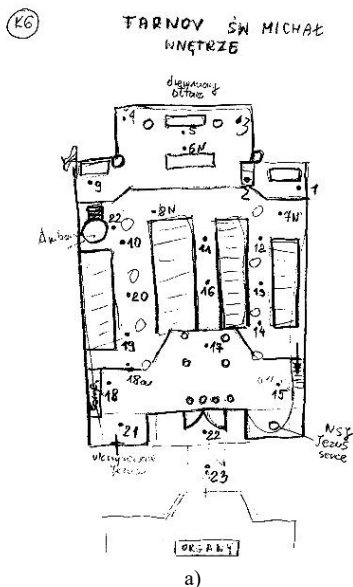
Większa liczba trójkątów modelu bazowego była wyborem twórcy, podyktowanym chęcią uzyskania szczegółowego widoku zarówno wnętrza jak i zewnątrz kościoła.

The larger number of triangles in the base model was the creator's choice, dictated by the desire to obtain a detailed view of both the interior and exterior of the church.

Rezultaty przetwarzania danych źródłowych zostały zestawione w tabeli 6.14.

The results of source data processing are summarised in Table 6.14.





Rysunek 6.49. Szkice lokalizacji skanera w trakcie skanowania kościoła św. Michała Archanioła w Tarnov: a) wewnątrz, b) zewnątrz, wykonanie E. Miłoś.

Figure 6.49. Sketches of the scanner location during scanning of the Church of St Michael the Archangel in Tarnov: a) interior, b) exterior, by E. Miłoś.

Tabela 6.14. Zestawienie wygenerowanych efektów przetwarzania danych źródłowych z Kościoła św. Michała Archanioła w Tarnov.

Table 6.14. Summary of the generated effects of processing the source data from the Church of St Michael the Archangel in Tarnov.

Typ zasobu / Resource Type	Pochodzenie / Origin	Cel / Purpose	Liczba zasobów / No. of resources	Parametry / Parameters	Rozmiar / Size
bazowy model siatkowy / base mesh model	wnętrze / interior	A	1	200 mln. trójkątów, tekstura wysokiej rozdzielczości / 200 million triangles, high-res texture	20 GB
model siatkowy do upowszechnienia / mesh model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	2 mln. trójkątów, tekstura niskiej rozdzielczości / 2 million triangles, low-res texture	148 MB
bazowy model chmurowy / base cloud model	wnętrze / interior	A	1	0,9 mld 3D punktów, kolorowanych RGB / 0.9 billion 3D points, RGB-coloured	23 GB
model chmurowy do upowszechnienia / cloud model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	36 mln. 3D punktów, kolorowanych RGB / 36 million 3D points, RGB-coloured	0.8 GB
obraz panoramy 360 / 360 panorama image	wnętrze / interior	U	8	20 x 10 tys. pikseli, RGB JPG / 20 x 10 thousand pixels, RGB JPG	37 MB

Uwaga: Cel: A – archiwizacja, U – upowszechnienie. / Note: Purpose: A – archiving, U – popularisation.

Przykładowe ekrany wybranych modeli siatkowych 3D uzyskane po obróbce danych zaprezentowano na rysunku 6.50 i 6.51.

Example print-screens of selected 3D mesh models obtained after data processing are presented in Figures 6.50 and 6.51.



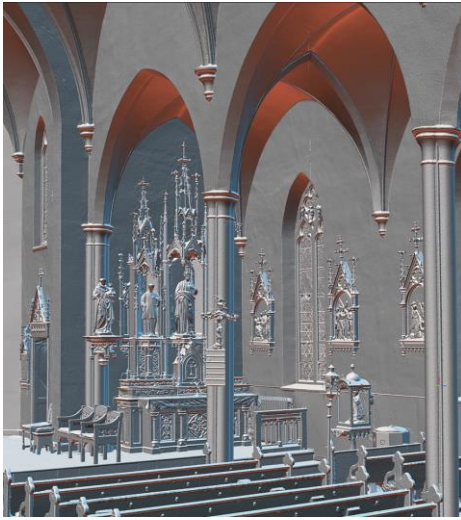
a)



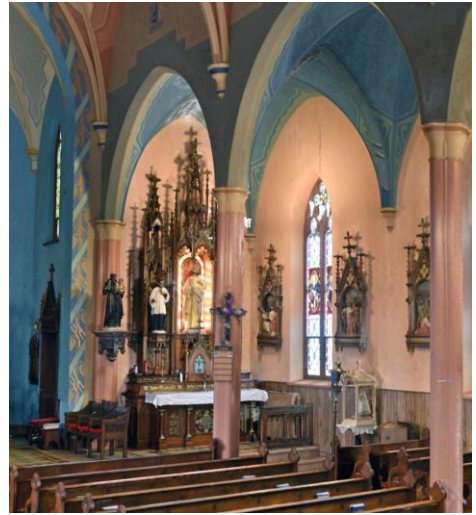
b)

Rysunek 6.50. Ekran cyfrowych modeli 3D kościoła św. Michała Archaniola we wsi Tarnov: a) bryła kościoła, b) wnętrze w stronę ołtarza.

Figure 6.50. Print screens of digital 3D models of the church of St Michael the Archangel in the village of Tarnov: a) the body of the church, b) the interior towards the altar.



a)



b)

Rysunek 6.51. Porównanie cyfrowych modeli 3D kościoła św. Michała Archanioła we wsi Tarnov: a) model bez oteksturuwania, b) model po mapowaniu tekstury.

Figure 6.51. Comparison of digital 3D models of the Church of St Michael the Archangel in the village of Tarnov: a) the model without texture, b) the model after texture mapping.

## 6.8. Kościół Matki Boskiej Anielskiej w Chicago

Kościół Matki Boskiej Anielskiej w Chicago, został udostępniony zespołowi do skanowania w warunkach odwiedzania go przez wiernych ( $D=y$  w formule (5.3)). Jest to kościół o bardzo skomplikowanym, pięcionawowym wnętrzu ( $C=h$ ). Położony jest w mieście Chicago ( $L=c$ ) i nie było możliwości zeskanowania jego zewnętrznej bryły architektonicznej ( $S=i$ ).

### *Historia i stan kościoła*

Terytorium parafii Matki Bożej Anielskiej zostało wydzielone z parafii św. Stanisława Kostki, najstarszej polskiej wspólnoty w Chicago. Ks. Wincenty Barzyński zakupił grunty w dzielnicy Bucktown i skierował ks. Stanisława Gorgdona ze Zgromadzenia Zmartwychwstańców do pracy w terenie. Pierwszy kościół został wybudowany w latach 1899-1900. Budynek oprócz funkcji liturgicznych był

## 6.8. Church of St Mary of the Angels in Chicago

The Church of St Mary of the Angels in Chicago was made available to the team for scanning in conditions of visits by the faithful ( $D=y$  in formula (5.3)). It is a church with a very complicated, five-nave interior ( $C=h$ ). It is located in the city of Chicago ( $L=c$ ) and it was not possible to scan its external architectural body ( $S=i$ ).

### *History and condition of the church*

The territory of the parish of St Mary of the Angels was separated from the parish of St Stanislaus Kostka, the oldest Polish community in Chicago. Father Wincenty Barzyński purchased land in the Bucktown district and sent Father Stanislaus Gorgdon from the Congregation of the Resurrection to work in the field. The first church was built in 1899-1900. In addition to liturgical functions, the building was also intended

przeznaczony również na szkołę, pomieszczenia dla grup parafialnych, audytorium oraz mieszkania dla księży [74]. W 1912 roku liczba rodzin przynależnych do parafii wzrosła z 300 do 1200. Była to największa parafia w Chicago. Przystąpiono do budowy obecnego kościoła, ale ze względu na czas I wojny światowej, strajków i innych okoliczności budowa, jak na warunki amerykańskie, trwała bardzo długo. Dopiero 20 maja 1920 r. arcybiskup George William Mundelein dokonał konsekracji świątyni. Budowa w pobliżu autostrady „Kennedy Expressway” pod koniec lat 50. podzieliła terytorium parafii i zmusiła wiele rodzin do przeprowadzki do innych dzielnic Chicago. W latach 70. wspólnota wiernych utrzymywała jeszcze polski charakter, ale znacząco wzrastał żywioł latynoski. Kościół podupadał i ostatecznie w 1988 r. nakazano zamknięcie i rozbiórkę kościoła. Dzięki wyjątkowemu zaangażowaniu wspólnoty polonijnej i biskupa pomocniczego Alfreda Leona Abramowicza pozyskane fundusze i wykonane remonty odwróciły bieg wydarzeń. Kościół został otwarty w 1991 r. a kardynał Joseph Bernardin, ówczesny arcybiskup Chicago, administrowanie świątynią oddał księżom z Prałatury Świętego Krzyża i Opus Dei [75].

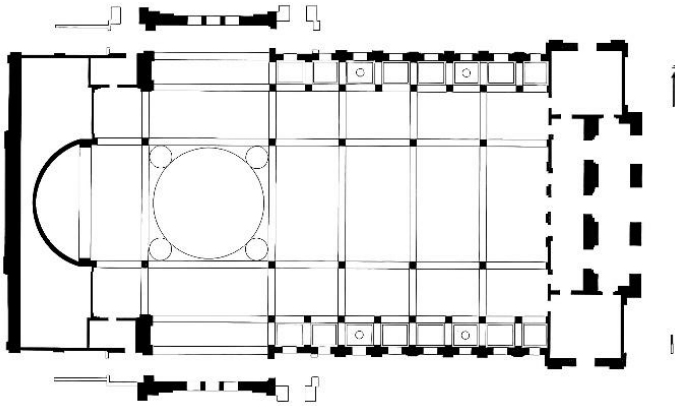
Kościół jest przykładem polskiego stylu architektury katedralnej, północnoamerykańskiego gatunku katolickiej architektury sakralnej. Jest to jeden z monumentalnych polskich kościołów, którego projekt przygotowali architekci Henry Worthmanna i Johna G. Steinbach wzorując się wyglądem Bazyliki św. Piotra w Rzymie [76]. Obiekt został okrzyknięty jednym z najwspanialszych przykładów architektury rzymskiego renesansu w Stanach Zjednoczonych. Imponuje swoim rozmachem, gdyż w podstawie ma ponad 229 x 124 stóp (70 x 38 m), wysokość w kopule wynosi ponad 147 stóp (45 m), a obie wieże mierzą ponad 68 stóp (21 m) wysokości każda. Pięcionawowa bazylika z transeptem (rysunek 6.52), z dwuwieżową fasadą z oknem

for a school, rooms for parish groups, an auditorium and apartments for priests [74]. In 1912, the number of families belonging to the parish increased from 300 to 1,200. It was the largest parish in Chicago. Construction of the current church began, but due to the time of World War I, strikes and other circumstances, construction took a very long time, as for American conditions. It was not until May 20, 1920, that Archbishop George William Mundelein consecrated the church. The construction of the nearby Kennedy Expressway in the late 1950s divided the parish territory and forced many families to move to other parts of Chicago. In the 1970s, the community of the faithful still maintained a Polish character, but the Latin element was growing significantly. The church fell into decline and finally in 1988 it was ordered to be closed and demolished. Thanks to the exceptional commitment of the Polish community and auxiliary bishop Alfred Leon Abramowicz, the funds obtained and the renovations carried out reversed the course of events. The church was reopened in 1991 and Cardinal Joseph Bernardin, then Archbishop of Chicago, gave the administration of the temple to priests from the Prelature of the Holy Cross and Opus Dei [75].

The church is an example of the Polish style of cathedral architecture, a North American genre of Catholic religious architecture. It is one of the monumental Polish churches, the design of which was prepared by architects Henry Worthmann and John G. Steinbach, inspired by the appearance of St Peter's Basilica in Rome [76]. The building has been hailed as one of the finest examples of Roman Renaissance architecture in the United States. It is impressive in its grandeur, measuring over 229 x 124 feet (70 x 38 m) at its base, over 147 feet (45 m) high at the dome, and each tower measuring over 68 feet (21 m) high. The five-nave basilica with a transept (Figure 6.52), with its two-tower façade with a rose window, refers to the Cathedral of Notre-Dame in

rozetowym nawiązuje do katedry Notre-Dame w Paryżu, zaś ośmioboczna kopuła, przypominająca rozwiązanie zastosowane w Bazylice Św. Piotra w Rzymie. Na koronie murów obiektu ustawiono kilkadziesiąt figur aniołów, które jednoznacznie nawiązują do wezwania świątyni – rysunek 6.53.

Paris, while the octagonal dome, reminiscent of the solution used in St Peter's Basilica in Rome. Several dozen figures of angels were placed on the crown of the building's walls, which clearly refer to the name of the temple (Figure 6.53).



Rysunek 6.52. Plan kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago [77].

Figure 6.52. Plan of the Church of St Mary of the Angels in Chicago [77].



Rysunek 6.53. Widok kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago.

Figure 6.53. View of the Church of St Mary of the Angels in Chicago.

Wystrój i wyposażenie kościoła powstawało etapami. W 1923 r. zamontowano organy firmy W.W. Kimballa. Na 50. lecie parafii przypadające w 1948 r. zamówiono dekoracje malarskie, które wykonał John A. Mallin – rysunek 6.54. W 1973 roku dokonano gruntownego remontu zewnętrznej kopuły kościoła, a Towarzystwo Najświętszego Imienia podarowało niebieskie „Światło Przewodnie”, które jest widoczne na kopule ze znacznej odległości, zwłaszcza z pobliskiej autostrady „Kennedy Expressway”.

The church's interior and furnishings were built in stages. In 1923, a W. W. Kimball organ was installed. For the parish's 50th anniversary in 1948, painted decorations were commissioned, which were done by John A. Mallin (Figure 6.54). In 1973, the church's exterior dome underwent a major renovation, and the Society of the Holy Name donated a blue "Guiding Light," which is visible on the dome from a considerable distance, especially from the nearby Kennedy Expressway.



Rysunek 6.54. Wnętrze kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago.

Figure 6.54. Interior of the Church of St Mary of the Angels in Chicago.

Ołtarze boczne ufundowano w latach 1921–1922 (rysunek 6.55a), a w dwunastu witrażowych oknach tamburu kopuły przedstawiło 12 apostołów – rysunek 6.55b.

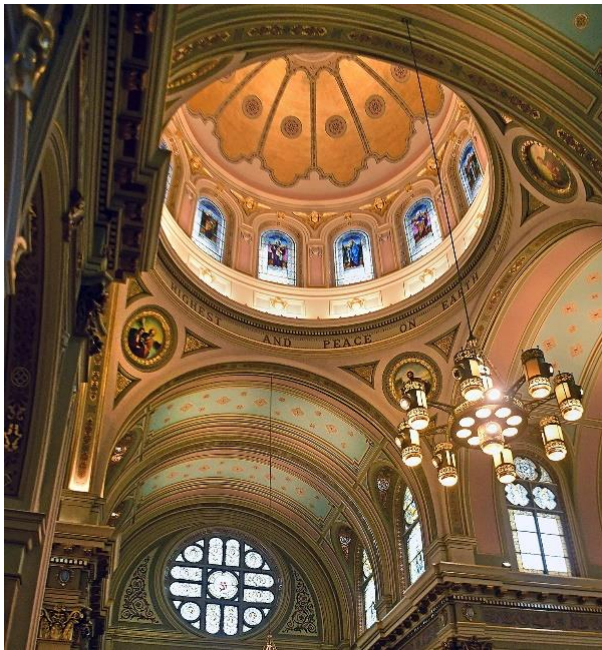
W 1923 r. zamontowano witrażowe stacje Drogi Krzyżowej (okna w nawie bocznej) – rysunek 6.56.

The side altars were funded in 1921–1922 (Figure 6.55a) and the twelve stained-glass windows of the dome's tambourine depict the 12 apostles (Figure 6.55b).

In 1923, stained glass Stations of the Cross were installed (windows in the side nave) (Figure 6.56).



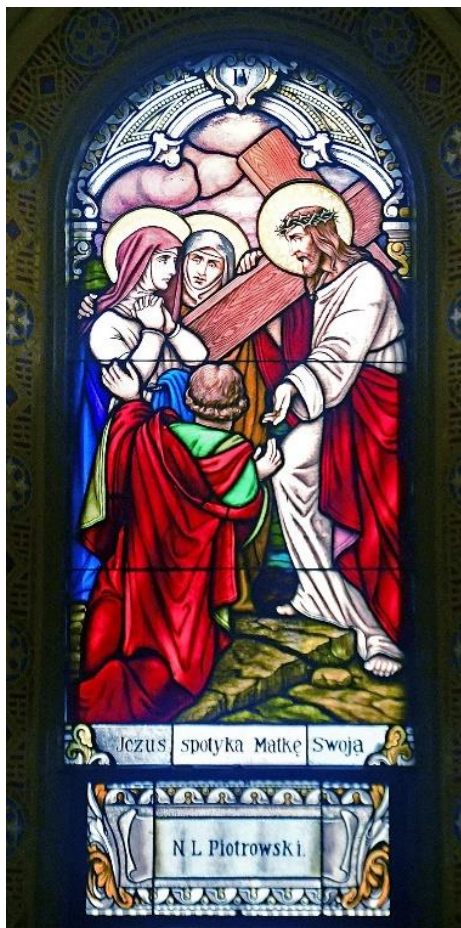
a)



b)

Rysunek 6.55. Wnętrze kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago: a) ołtarz boczny Najświętszego Serca Jezusowego oraz scena Zwiastowania na ścianie, b) kopuła z widocznymi witrażami z postaciami Apostołów i Ewangelistów namalowanymi na pendentywach.

Figure 6.55. Interior of the Church of Our Lady of the Angels Our Lady of the Angels in Chicago: a) side altar of the Sacred Heart of Jesus and the scene of the Annunciation on the wall, b) dome with visible stained glass windows with figures of the Apostles and Evangelists painted on the pendentives.



a)



b)

Rysunek 6.56. Witrażowe Stacje Drogi Krzyżowej: a) stacja IV, Jezus spotyka Matkę Swoją, fundator – N. L. Piotrowski, b) stacja VI, Jezusowi ociera twarz Św. Weronika, fundator – Br. Dziewic Róż. Św.

Figure 6.56. Stained glass Stations of the Cross: a) Station IV, Jesus meets His Mother, donated by N. L. Piotrowski, b) Station VI, Jesus' face is wiped by St Veronica, donated by Fr. of Virgins of the Holy Roses.

### *Parametry procesu skanowania i pozyskane dane*

Skanywanie wnętrza Kościoła było rozłożone na dwa dni. Było ono realizowane z ustawieniami skanera: rozdzielczość pojedynczego skanu 20 480 punktów na 360 stopni. Obraz pobierany w trybie STD. Ze względu na znaczne rozmiary i skomplikowanie architektoniczne obiektu zmniejszono kompensację ewentualnych szumów na rzecz przyspieszenia realizacji skanu. Niewielką przeszkodą były sporadyczne

### *Scanning process parameters and acquired data*

Scanning of the church interior was spread over two days. It was performed with the following scanner settings: single scan resolution of 20480 points per 360 degrees. Image acquired in STD mode. Due to the considerable size and architectural complexity of the object, compensation for possible noise was reduced in favour of accelerating the scan. A minor obstacle was the sporadic visits of the faithful to the



wizyty wiernych w kościele, które nie powodowały znaczących opóźnień.

Zewnętrznej bryły kościoła nie skanowano ze względu na skomplikowany kształt, generujący znaczące braki przy skanowaniu wyłącznie z powierzchni ziemi.

W tabeli 6.15 zestawiono czas pracy sprzętu i pozyskane efekty skanowania. Wskazano istotne problemy wpływające na proces zbierania danych.

church, which did not cause significant delays.

The external mass of the church was not scanned due to its complex shape, generating significant gaps when scanning only from the ground level.

Table 6.15 summarises the equipment operation time and the acquired scanning effects. Significant problems affecting the data collection process were indicated.

Tabela 6.15. Zestawienie czasu i ilości zgromadzonych danych podczas skanowania kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago.

Table 6.15. Summary of time and amount of data collected during scanning of the Church of St Mary of the Angels in Chicago.

Czas pracy (godz.) Working time (hours)				Liczba sztuk pozyskanych danych Number of units of acquired data				Problemy Problems
Wnętrze Interior		Zewnątrz Exterior		Wnętrze Interior		Zewnątrz Exterior		
TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	TLS	NPG	
12	9	-	-	84	4 100	-	-	Nieliczne wizyty osób trzecich. Zbyt skomplikowane zewnątrz niedostępne z poziomu gruntu. / Few visits from third parties. Exterior too complicated, inaccessible from ground level

### *Szkic procesu skanowania*

Na rysunku 6.57 przedstawiono ręczne szkice opracowywane w trakcie skanowania kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago.

### *Outline of the scanning process*

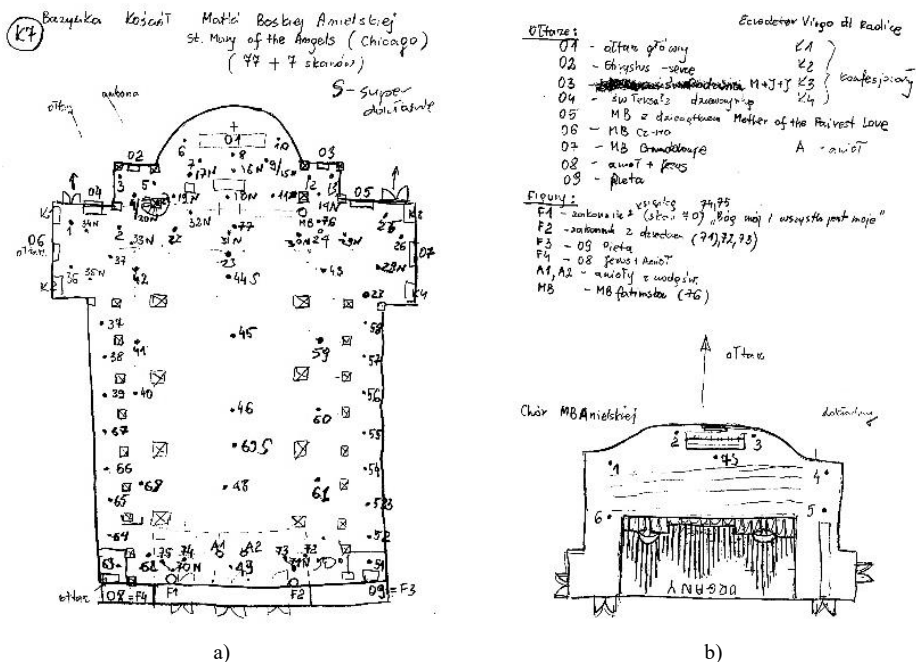
Figure 6.57 shows manual sketches developed during scanning of the Church of St Mary of the Angels in Chicago.

### *Rezultaty postprocessingu*

Brak możliwości zeskanowania bryły zewnętrznej kościoła wyeliminował możliwość generowania modelu zewnątrz. Zdecydowano się na przeprowadzenie przetwarzania danych jedynie dla wnętrza kościoła. Szumy wprowadzone przez szybszą realizację skanów zostały skompensowane przez większą liczbę skanów oraz dłuższy proces przetwarzania. Większa liczba skanów była również podyktowana koniecznością odskanowania wszystkich istotnych powierzchni skomplikowanej architektury wnętrza (m. in. występowanie podwójnych kolumnad w nawach bocznych).

### *Postprocessing results*

The inability to scan the exterior of the church eliminated the possibility of generating a model of the exterior. It was decided to perform data processing only for the interior of the church. The noise introduced by the faster execution of scans was compensated by a larger number of scans and a longer processing process. The larger number of scans was also dictated by the need to scan all significant surfaces of the complex interior architecture (including the presence of double colonnades in the side naves).



Rysunek 6.57. Szkice lokalizacji skanera w trakcie skanowania kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago: a) wewnątrz na pierwszym poziomie, b) chór, wykonanie E. Miłosz.

Figure 6.57. Sketches of the scanner location during scanning of the Church of Our Lady of the Angels in Chicago: a) interior on the first level, b) choir, by E. Miłosz.

Duża kubatura i skomplikowanie wnętrza zaowocowało wyjątkowo dużą bazową chmurą punktów, przekraczającą 3 miliardy. Jest ona porównywalna wielkościami z chmurą dla Bazyliki św. Jacka opisywanej w 6.1.

Bazowy model siatkowy, mimo ograniczenia do obecnego maksimum wyświetlania przez hardware – 200 mln trójkątów zajmuje nieco więcej miejsca niż podobnej szczegółowości modele innych kościołów ze względu na większą liczbę plików tekstur koloryzujących wszystkie powierzchnie wnętrza.

Rezultaty przetwarzania danych źródłowych zostały zestawione w tabeli 6.16.

Przykładowe ekrany wybranych modeli siatkowych 3D uzyskane po obróbce danych zaprezentowano na rysunku 6.58 i 6.59.

The large volume and complexity of the interior resulted in an exceptionally large base point cloud, exceeding 3 billion. It is comparable in size to the cloud for St Hyacinth's Basilica described in 6.1.

The base mesh model, despite being limited to the current maximum display by the hardware, i.e. 200 million triangles, takes up slightly more space than similarly detailed models of other churches due to the larger number of texture files colouring all surfaces of the interior.

The results of processing the source data are summarised in Table 6.16.

Example print screens of selected 3D mesh models obtained after data processing are presented in Figure 6.58 and 6.59.

Tabela 6.16. Zestawienie wygenerowanych efektów przetwarzania danych źródłowych z kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago.

Table 6.16. Summary of the generated effects of processing the source data from the Church of St Mary of the Angels in Chicago.

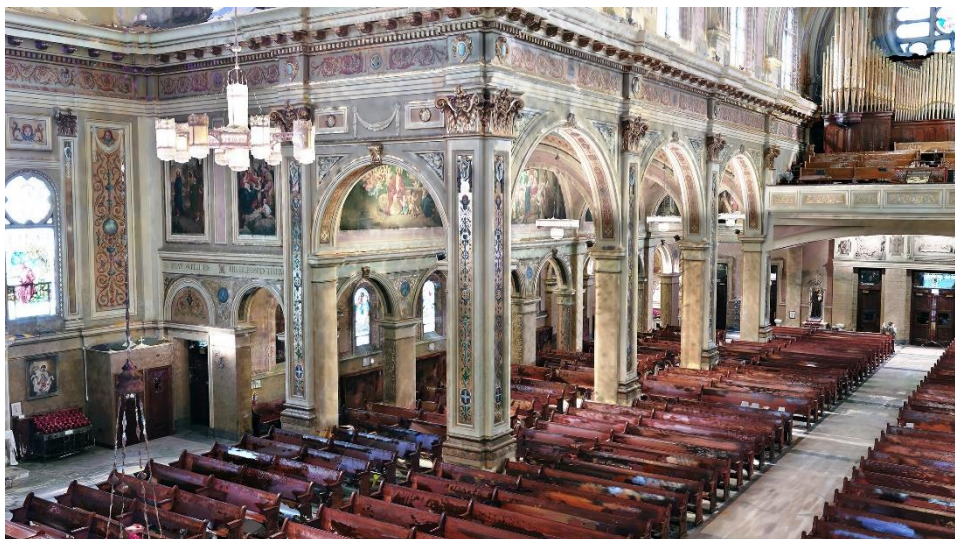
Typ zasobu / Resource Type	Pochodzenie / Origin	Cel / Purpose	Liczba zasobów / No. of resources	Parametry / Parameters	Rozmiar / Size
bazowy model siatkowy / base mesh model	wnętrze / interior	A	1	200 mln. trójkątów, tekstura wysokiej rozdzielczości / 200 million triangles, high-res texture	21 GB
model siatkowy do upowszechnienia / mesh model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	3,5 mln trójkątów, tekstura niskiej rozdzielczości / 3.5 million triangles, low-res texture	232 MB
bazowy model chmurowy / base cloud model	wnętrze / interior	A	1	3,6 mld 3D punktów, kolorowanych RGB / 3.6 billion 3D points, RGB-coloured	91 GB
model chmurowy do upowszechnienia / cloud model for dissemination	wnętrze / interior	U	1	48 mln. 3D punktów, kolorowanych RGB / 36 million 3D points, RGB-coloured	1.2 GB
obraz panoramy 360 / 360 panorama image	wnętrze / interior	U	7	20 x 10 tys. pikseli, RGB JPG / 20 x 10 thousand pixels, RGB JPG	37 MB

Note: Cel: A – archiwizacja, U – upowszechnienie. / Purpose: A – archiving, U – popularisation.



Rysunek 6.58. Ekrany cyfrowych modeli 3D wnętrza kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago – widok na ołtarz główny.

Figure 6.58. Print screens of digital 3D models of the interior of the Church of Our Lady of the Angels in Chicago – view of the main altar.



Rysunek 6.59. Ekran cyfrowych modeli 3D wnętrza kościoła Matki Boskiej Anielskiej w Chicago – widok w stronę organów.

Figure 6.59. Print screens of digital 3D models of the interior of the Church of Our Lady of the Angels in Chicago – view towards the organ.

## Podsumowanie i podziękowania

Historia Polonii w Stanach Zjednoczonych, ale także w wielu innych krajach nowego świata, np. Argentynie, Brazylii czy Kanadzie jest słabo znana w Polsce ze względu na fakt, że w czasach komunistycznych ówczesne władze nie tylko nie zajmowały się tą tematyką, ale prowadziły różnego typu działania, aby losy i dokonania emigrantów zostały definitywnie zapomniane. Nie da się ukryć faktu, że polscy emigranci z różnych obszarów Polski, która przecież w XIX wieku była pod trzema zaborami: austriackim, pruskim i rosyjskim, zawsze skupiali się wokół wiary swoich ojców. Praktyka przynależności do kościoła katolickiego przejawiała się w wymiarze organizacyjnym w tworzeniu polskich parafii, w wymiarze liturgicznym – obecność polskich księży, duchownych i sióstr zakonnych oraz w wymiarze materialnym – budowanie polskich świątyń i szkół parafialnych.

W monografii przedstawiono komputerowe technologie 3D – naziemne skanowanie laserowe oraz fotogrametrię bliskiego zasięgu, które zostały zastosowane do tworzenia bardzo dokładnych trójwymiarowych cyfrowych modeli polskiego dziedzictwa sakralnego (z dokładnością 1–2 mm): brył kościołów, ich wnętrz i pojedynczych obiektów stanowiących ich wyposażenia, np. rzeźba Piety z kościoła pw. św. Wojciecha w Chicago. Skanowanie 3D z użyciem nowoczesnych skanerów laserowych pozwala na tzw. wieczystą archiwizację. Akwizycja chmury punktów cyfryzowanego kościoła staje się pierwotnym zapisem o jego kształcie i teksturze. Może być wielokrotnie przetwarzana w miarę potrzeb i postępu w obszarze oprogramowania, kart graficznych i mocy obliczeniowych komputerów.

Monografia zawiera omówienie rezultatów wybranych działań (ośmiu kościołów leżących w stanach Illinois, Wisconsin i Nebraska) wykonanych podczas trzech ekspedycji naukowych do USA oraz prac

## Summary and Acknowledgements

The history of the Polish diaspora in the United States, but also in many other countries of the new world, such as Argentina, Brazil or Canada, is poorly known in Poland due to the fact that during the communist era, the authorities of that time not only did not deal with this subject, but also carried out various activities so that the fates and achievements of expatriates would be definitively forgotten. There is no hiding the fact that Polish emigrants from various areas of Poland, which in the 19th century was under three partitions: Austrian, Prussian and Russian, always focused on the faith of their fathers. The practice of belonging to the Catholic Church was manifested in the organisational dimension in the creation of Polish parishes, in the liturgical dimension – the presence of Polish priests, clergymen and nuns, and in the material dimension – the construction of Polish churches and parish schools.

The monograph presents computer 3D technologies – terrestrial laser scanning and close-range photogrammetry, which were used to create very accurate three-dimensional digital models of Polish sacral heritage (with an accuracy of 1–2 mm): the masses of churches, their interiors and individual objects constituting their equipment, e.g. the sculpture of Pieta from the church of St Wojciech in Chicago. 3D scanning using modern laser scanners allows for the so-called perpetual archiving. The acquisition of a point cloud of a digitised church becomes the original record of its shape and texture. It can be processed repeatedly as needed and as progress is made in the area of software, graphics cards and computing power of computers.

The monograph contains a discussion of the results of selected activities (eight churches located in the states of Illinois, Wisconsin and Nebraska) carried out during three scientific expeditions to the USA

przeprowadzonych w Lublinie – post-processing zebranych danych i wygenerowanie interaktywnych cyfrowych modeli 3D i panoram 2D. Dokładne modele 3D wszystkich dwudziestu kościołów (w niektórych przypadkach były zewnętrzne i wnętrza) udostępnione zostały na bezpłatnie dostępnym portalu [polskiedziedzictwo3d.pl](http://polskiedziedzictwo3d.pl). Tam można je obejrzeć, ale także starannie prze-studiować posiłkując się zamieszczonymi ich opisami. Dostępność modeli w przestrzeni cyfrowej przeciwdziała wykluczeniu ekonomicznemu i na skutek niepełnosprawności ruchowej. Ponadto przywraca pamięć o działaniach naszych rodaków, którzy jako emigranci potrafili zjednoczyć się by wybudować tak wspaniałe obiekty.

Autorzy są przeświadczeni, że realizacja zadań określonych w projekcie, a szczególnie wygenerowanie i udostępnienie cyfrowych modeli 3D na specjalnym portalu internetowym jest pewną formą spłacenia długu wdzięczności wobec polskich emigrantów i dzieł jakich oni dokonali.

Autorzy pragną podziękować osobom, bez których ta monografia nie mogłaby powstać. W pierwszym rządzie prezesowi Fundacji ECCC – panu dr. Ryszardowi Woś, który zdecydował się powierzyć przeprowadzenie skanowania 3D polskich kościołów w USA naukowcom z Katedry Informatyki Politechniki Lubelskiej. Także całemu zespołowi uczestniczącemu w poszczególnych wyprawach do Stanów Zjednoczonych, w tym pani dr inż. Elżbiecie Miłosz z Politechniki Lubelskiej, która przygotowywała na bieżąco szkice digitalizowanych obiektów oraz wykonywała zdjęcia do fotogrametrii, zespołowi związanemu z Katolickim Uniwersytem Lubelskim Jana Pawła II, który zbierał informacje historyczne o parafiach i kościołach oraz przygotowywał opisy skanowanych obiektów: pan mgr Łukasz Konopa, pani dr Katarzyna Urban i pan mgr Tomasz Rolski, zespołowi reprezentujący Fundację ECCC, który przygotowywał logistykę ekspedycji naukowych i zapewniał dostęp do

and work carried out in Lublin – post-processing of the collected data and generation of interactive digital 3D models and 2D panoramas. Detailed 3D models of all twenty churches (in some cases external and internal masses) have been made available on the free portal [polishheritage3d.eu](http://polishheritage3d.eu). They are available there to be viewed, but also carefully studied using the descriptions provided. The availability of models in the digital space counteracts exclusion resulting from economic unaffordability or physical disability. In addition, it brings back the memory of the actions of our compatriots, who as emigrants were able to unite to create such magnificent buildings.

The authors are convinced that the implementation of the tasks specified in the project, and especially the generation and sharing of digital 3D models on a special website, is a form of repaying the debt of gratitude to Polish emigrants and their achievements.

The authors would like to thank the people without whom this monograph would not have been possible. First of all, the president of the ECCC Foundation – Dr. Ryszard Woś, who decided to entrust the 3D scanning of Polish churches in the USA to scientists from the Department of Computer Science of the Lublin University of Technology. Also the entire team participating in the individual expeditions to the United States, including Dr. Elżbieta Miłosz from the Lublin University of Technology, who prepared sketches of the digitised objects on an ongoing basis and took photos for photogrammetry, the team associated with the John Paul II Catholic University of Lublin, who collected historical information about parishes and churches and prepared descriptions of the scanned objects: Mr Łukasz Konopa, Dr. Katarzyna Urban and Mr Tomasz Rolski, the team representing the ECCC Foundation, who prepared the logistics of the scientific expeditions and provided access to individual

poszczególnych obiektów: paniom mgr Małgorzacie Brzyskiej (kierownik projektu) oraz mgr Małgorzacie Tys. Słowa podziękowania należą się również czcigodnym księżom, którzy zapewнили nam fizyczny dostęp do swoich obiektów, a także do innych kościołów poprzez osobiste kontakty, w tym: ks. Antoni Dziorek CR – zgromadzenie Zmartwychwstańców, ks. Andrzej Totzke SChr – zgromadzenie Towarzystwa Chrystusowego dla Polonii Zagranicznej, ks. Tomasz Wojciechowski CR, ks. kanonik Benoît Jayr – zakonnik francuski, ks. Janusz Kowalski. Wielu z księży, którzy nam pomagali chcieli zachować anonimowość, ale zapewniamy, że o nich pamiętamy. Pragniemy również wyrazić wdzięczność poznanym w Chicago Polakom, którzy również poprzez swoje kontakty przyczynili się do dostępu do kościołów wyłączonych z funkcji liturgicznych: pan Damian Pogorzelski i Marek Dobrzycki – działacze polonijni z Chicago oraz pan Hubert Cioromski – przedsiębiorca budowlany. Na koniec podziękowania kierujemy do osób, które zapewniły wsparcie medialne całego przedsięwzięcia: pani mgr Iwonie Czajkowskiej-Deneka z Politechniki Lubelskiej, panu mgr Ryszardowi Montusiewiczowi z telewizji regionalnej TVP3 Lublin i panu inż. Andrzejowi Kozłowskiemu.

objects: Mrs Małgorzata Brzyska (project manager) and Mrs Małgorzata Tys. Words of gratitude are also due to the venerable priests who provided us with physical access to their facilities, as well as to other churches through personal contacts, including: Fr Antoni Dziorek CR (Congregation of the Resurrection), Fr Andrzej Totzke SChr (Congregation of the Society of Christ for Polish People Abroad), Fr Tomasz Wojciechowski CR, the French monk Fr Canon Benoît Jayr and Fr Janusz Kowalski. Many of the priests who helped us wanted to remain anonymous, but we pledge that we remember them. We would also like to express our gratitude to the Poles we met in Chicago, who also through their contacts contributed to access to churches excluded from liturgical functions: Mr Damian Pogorzelski and Marek Dobrzycki – Polish activists from Chicago and Mr Hubert Cioromski – construction entrepreneur. Finally, we would like to thank the people who provided media support for the entire undertaking: Mrs Iwona Czajkowska-Deneka from the Lublin University of Technology, Mr Ryszard Montusiewicz from the regional television TVP3 Lublin and Mr Andrzej Kozłowski.

## Literatura / References

1. Program digitalizacji dóbr kultury oraz gromadzenia, przechowywania i udostępniania obiektów cyfrowych w Polsce 2009-2020, Ministerstwo Kultury i Dziedzictwa Narodowego, Warszawa wrzesień 2009, <https://www.nac.gov.pl/wp-content/uploads/2015/05/Program-digitalizacji-2009-2020-1.pdf> (dostęp 6.06.2024).
2. 10 mln stron dokumentów zdigitalizowano... w polskich archiwach, Wprost, 2012, <https://www.wprost.pl/312930/10-mln-stron-dokumentow-zdigitalizowano-w-polskich-archiwach.html> (dostęp 6.06.2024).
3. Basic principles and tips for 3D digitisation of tangible cultural heritage for cultural heritage professionals and institutions and other custodians of cultural heritage, European Commission Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/basic-principles-and-tips-3d-digitisation-cultural-heritage#basic-principles> (dostęp 6.06.2024).
4. M. Dzięglewski, A. Guzik. Procesy digitalizacji dziedzictwa. Prawodawstwo, typy repozytoriów i przykłady ich wykorzystania w latach 2004–2014. Małopolski Instytut Kultury w Krakowie, Wyd. MİK, 2016, 74.
5. M. Skublewska-Paszkowska, P. Powroźnik, J. Smółka, M. Miłośz, E. Łukasik, D. Mukhamedova, E. Miłośz. Methodology of 3D Scanning of Intangible Cultural Heritage—The Example of Lazgi Dance. *Applied Sciences*, 2021, 11(23), 1–17.
6. 3D Digital Silk Road portal, <https://silkroad3d.com/?lang=pl> (dostęp 6.06.2024).
7. Portal Drewniane zabytki Karpat w 3D, <https://carpatia3d.com/> (dostęp 6.06.2024).
8. Panteon w Rzymie, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Panteon\\_w\\_Rzymie](https://pl.wikipedia.org/wiki/Panteon_w_Rzymie) (dostęp 6.06.2024).
9. Hagia Sophia, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Hagia\\_Sophia](https://pl.wikipedia.org/wiki/Hagia_Sophia) (dostęp 6.06.2024).
10. Katedra Świętych Apostołów Piotra i Pawła w Kamieńcu Podolskim, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Katedra\\_%C5%9Awi%C4%99tych\\_Aposto%C5%82%C3%B3w\\_Piotra\\_i\\_Paw%C5%82a\\_w\\_Kamie%C5%84cu\\_Podolskim](https://pl.wikipedia.org/wiki/Katedra_%C5%9Awi%C4%99tych_Aposto%C5%82%C3%B3w_Piotra_i_Paw%C5%82a_w_Kamie%C5%84cu_Podolskim) (dostęp 6.06.2024).
11. Sobór Chrystusa Zbawiciela w Moskwie, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Sob%C3%B3r\\_Chrystusa\\_Zbawiciela\\_w\\_Moskwie](https://pl.wikipedia.org/wiki/Sob%C3%B3r_Chrystusa_Zbawiciela_w_Moskwie) (dostęp 6.06.2024).
12. Posągi Buddy w Bamianie, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Pos%C4%85gi\\_Buddy\\_w\\_Bamianie](https://pl.wikipedia.org/wiki/Pos%C4%85gi_Buddy_w_Bamianie) (dostęp 6.06.2024).
13. Drewniane cerkwie Marmaroszu, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Drewniane\\_cerkwie\\_Marmaroszu](https://pl.wikipedia.org/wiki/Drewniane_cerkwie_Marmaroszu) (dostęp 6.06.2024).
14. M. Mosoarca, V. Gioncu. Historical wooden churches from Banat Region, Romania. Damages: Modern consolidation solutions. *Journal of Cultural Heritage*, 2013, 14(13), 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.11.020>.
15. C. Neamtu, V.C. Marutoiu, I. Bratu, O. Marutoiu, C. Marutoiu, I. Chirilă, M. Dragomir, D. Popescu, D. Popescu. Multidisciplinary Investigation of the Imperial Gates of the 17th Century Wooden Church in Sălișca, Cluj County, Romania. *Sustainability*, 2018, 10, 1-15. <https://doi.org/10.3390/su10051503>.
16. Nie ma Greenpointu, nie ma Jackowa, <https://m.niedziela.pl/artykul/169475/nd/Nie-ma-Greenpointu-nie-ma-Jackowa> (dostęp 6.06.2024).
17. Polonia, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Polonia> (dostęp 6.06.2024).
18. Portal Parafie Polskie w USA – inwentaryzacja cyfrowa i upowszechnianie wiedzy na temat polskiego dziedzictwa kulturowego w Stanach Zjednoczonych, <https://kosciolypolskiewusa.com/> (dostęp 6.06.2024).
19. Polonijne parafie rzymskokatolickie w Stanach Zjednoczonych, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Kategoria:Polonijne\\_parafie\\_rzymskokatolickie\\_w\\_Stanach\\_Zjednoczonych](https://pl.wikipedia.org/wiki/Kategoria:Polonijne_parafie_rzymskokatolickie_w_Stanach_Zjednoczonych) (dostęp 6.06.2024).
20. F. Harrison. *Chicago Catholic Churches: A Sketchbook*. Arcadia Publishing, 2022, 191.
21. Polish cathedral style, [https://en.wikipedia.org/wiki/Polish\\_cathedral\\_style](https://en.wikipedia.org/wiki/Polish_cathedral_style), (dostęp 6.06.2024).
22. M. Miłośz, J. Montusiewicz, J. Kęsik. 3D Information Technology in the Protection and Popularization of the Cultural Heritage of the Silk Road, Wyd. Politechniki Lubelskiej, 2022, 125.
23. R.M. Ruiz, M.T. M. Torres, P.S. Allegue. Comparative Analysis Between the Main 3D Scanning Techniques: Photogrammetry, Terrestrial Laser Scanner, and Structured Light Scanner in Religious Imagery: The Case of The Holy Christ of the Blood. *J. Comput. Cult. Herit.*, 2021, 15(1), 18. <https://doi.org/10.1145/3469126>



24. Y. Li, Y. Du, M. Yang, M. A Review of the Tools and Techniques Used in the Digital Preservation of Architectural Heritage within Disaster Cycles. *Herit Sciences*, 2023, 11, 199. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01035-x>
25. A. Tota, E. Shehi, A. Onuzi. 3D Scanning and 3D Printing Technologies used in Albanian Heritage Preservation. *European Journal of Engineering Research and Science*, 2017, 2(12), 39–45. <https://doi.org/10.24018/ejers.2017.2.12.566>
26. M. Pudło. Skaner Leica HDS 3000. *Magazyn Geoinformatyczny*, 2006, 6(133), 58–60.
27. J. Böhm, S. Becker, N. Haala. Model refinement by integrated processing of laser scanning and photogrammetry. *Institute for Photogrammetry, Universitaet Stuttgart, Commission V*, 2006, WG V/4.
28. Leica – Produkty, <https://leica-geosystems.com/pl-pl/products> (dostęp 6.06.2024).
29. Aplikacja mobilna Leica Cyclone FIELD 360, Leica Cyclone FIELD 360 Product Specifications, <https://leica-geosystems.com/pl-pl/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-field-360> (dostęp 6.06.2024).
30. ARTEC RAY II laserowy skaner 3D, <https://skanery3d.eu/skanery-3d/artec-ray-2/> (dostęp 6.06.2024).
31. Faro Focus Premium. [https://media.faro.com/-/media/Project/FARO/FARO/FARO/Resources/1\\_BROCHURE/2022/FARO-Sphere/AEC\\_Focus-Premium/3154\\_Brochure\\_FocusPremium\\_AEC\\_ENG\\_LT.pdf](https://media.faro.com/-/media/Project/FARO/FARO/FARO/Resources/1_BROCHURE/2022/FARO-Sphere/AEC_Focus-Premium/3154_Brochure_FocusPremium_AEC_ENG_LT.pdf) (dostęp 6.06.2024).
32. M. Miłosz, J. Kęsik, J. Montusiewicz. 3D Scanning and Visualization of Large Monuments of Timurid Architecture in Central Asia – A Methodical Approach. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 2021, 14(1), 1–31. <https://doi.org/10.1145/3425796>
33. K. Żyła, J. Kęsik, S. Korga, M. Miłosz, K. Rybak. Scanning, modelling and dissemination of the interior appearance of wooden historic churches in the Maramures region of Romania. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2024, 34, e00351. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00351>
34. M. Miłosz, J. Kęsik, J. Montusiewicz. Three-Dimensional Digitization of Documentation and Perpetual Preservation of Cultural Heritage Buildings at Risk of Liquidation and Loss—The Methodology and Case Study of St Adalbert’s Church in Chicago. *Electronics*, 2024, 13(3) 1–26. <https://doi.org/10.3390/electronics13030561>
35. V. Bendicho, A. Marchante-Ortega, M. Vincent, A. Martín-Buitrago, J. Pintado. Uso combinado de la fotografía digital nocturna y de la fotogrametría en los procesos de documentación de petroglifos: El caso de Alcázar de San Juan (Ciudad Real, España). *Virtual Archaeol. Rev.*, 2017, 8, 64–74. <https://doi.org/10.4995/var.2017.6820>
36. S. Bianco, G. Ciocca, D. Marelli. Evaluating the Performance of Structure from Motion Pipelines. *J. Imaging*, 2018, 4, 98. <https://doi.org/10.3390/jimaging4080098>
37. M. Barszcz, J. Montusiewicz, M. Pańnikowska-Łukaszuk, A. Salamacha. Comparative Analysis of Digital Models of Objects of Cultural Heritage Obtained by the “3D SLS” and “SfM” Methods. *Applied Sciences*, 2021, 11(12), 1–20. <https://doi.org/10.3390/app11125321>
38. M. Douglass, S. Lin, M. Chodoronek. The Application of 3D Photogrammetry for In-Field Documentation of Archaeological Features. *Adv. Archaeol. Pract.* 2015, 3, 136–152. <https://doi.org/10.7183/2326-3768.3.2.136>
39. M.D. Howland, F. Kuester, T.E. Levy. Photogrammetry in the field: documenting, recording, and presenting archaeology. *Mediterr. Archaeol. Archaeom*, 2014, 4, 101–108. <https://www.researchgate.net/publication/287258514>
40. C. Balletti, F. Guerra, V. Scocca, C. Gottardi. 3D integrated methodologies for the documentation and the virtual reconstruction of an archaeological site. In *Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, Avila, Spain, 25–27 February 2015, Volume XL-5/W4, 215–222. <https://10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-215-2015>
41. J. Lerma, C. Muir. Evaluating the 3D documentation of an early Christian upright stone with carvings from Scotland with multiples images. *J. Archaeol. Sci.*, 2014, 46, 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.026>
42. Cameras for Photogrammetry, <https://en.elcovision.com/messkameras.html> (dostęp 6.06.2024).
43. M. Miłosz, J. Kęsik, U. Abdullaev. 3D scanning and modeling of highly detailed and geometrically complex historical architectural objects: the example of the Juma Mosque in Khiva (Uzbekistan). *Heritage Science*, 2024, 12, 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01207-3>

44. J. Kęsik, M. Milosz, J. Montusiewicz, K. Samarov. Documenting the geometry of large architectural monuments using 3D scanning—The case of the dome of the Golden Mosque of the Tillya-Kori Madrasah in Samarkand. *Digit. Appl. Archaeol. Cult. Herit.*, 2021, 22, e00199. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00199>
45. M. Schuetz. *Potree: Rendering Large PointClouds in Web Browsers*. Diploma thesis. Technische Universität Wien, Wiedeń, 2016, 1–80.
46. A. Yeshwanth Kumar, M.A. Noufia, K. A., Shahira, A.M. Ramiya, A. M. Building information modelling of a multi storey building using terrestrial laser scanner and visualisation using potree: An open source point cloud renderer. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2019, 42, 421–426. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W17-421-2019>
47. D. Pogorzelski. *Avondale and Chicago's Polish Village*. Northwest Chicago Historical Society, 2009, 10, 14–17.
48. Polskie dziedzictwo 3D, [www.polskiedziedzictwo3d.pl](http://www.polskiedziedzictwo3d.pl) (dostęp 5 lipca 2024).
49. History of St. Hyacinth Basilica, <https://www.sthyacinthbasilica.org/history/> (dostęp, 5 lipca 2024).
50. Basilica of Saint Hyacinth, [https://en.wikipedia.org/wiki/Basilica\\_of\\_Saint\\_Hyacinth](https://en.wikipedia.org/wiki/Basilica_of_Saint_Hyacinth) (dostęp 5 lipca 2024).
51. St. Stanislaus Catholic Church (Milwaukee), <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Church+of+St.+Stanislaus+Bishop+and+Martyr+in+Milwaukee> (dostęp 5 lipca 2024).
52. J. Gurda. St. Stanislaus Church, a Milwaukee landmark, is reborn with a definite Latin accent. Special to USA TODAY NETWORK-Wisconsin, <https://eu.jsonline.com/story/news/solutions/2019/08/01/milwaukee-landmark-st-stanislaus-church-gets-new-life-mitchell-st/1829924001/> (dostęp 5 lipca 2024).
53. T.J. Jablonsky. St. Stanislaus Parish. *Encyclopedia of Milwaukee*, <https://emke.uwm.edu/entry/st-stanislaus-parish/> (dostęp 5 lipca 2024).
54. A. Hope. St. Stanislaus Catholic. 1872, Architecture of Faith, <http://architectureoffaithmilwaukee.info/I-Classical-Tradition/4-St-Stanislaus-Catholic.aspx> (dostęp 5 lipca 2024).
55. Polski kościół św. Wojciecha, <https://deon24.com/2023/08/16/polski-kosciol-sw-wojciecha-traci-cenne-witraze-mimo-ze-ma-byc-objety-ochrona/> (dostęp 10 stycznia 2024).
56. Kościół św. Wojciecha – architektoniczna perełka polskiego Chicago, [https://dziennikzwiazkowy.com/polonijne-parafie/kosciol-sw-wojciecha-architektoniczna-perelka-polskiego-chicago/#google\\_vignette](https://dziennikzwiazkowy.com/polonijne-parafie/kosciol-sw-wojciecha-architektoniczna-perelka-polskiego-chicago/#google_vignette) (dostęp 10 stycznia 2024).
57. I. Rolska, J. Kęsik. *Archiwizacja polskich kościołów w USA – dobra utracone, zagrożone i odzyskane: studium przypadków*. Wyd. Tow. Nauk. KULJPII, Lublin, 2024.
58. Saint Adalbert Church, <https://kosciolypolskiewusa.com/parafia-sw-wojciecha/> (dostęp 10 stycznia 2024).
59. B. Gutowski. *St. Adalbert Church [w:] Polish Parishes and Churches in Chicago*. Pub. Polonika, 2019.
60. Archer Heights, Chicago, [https://en.wikipedia.org/wiki/Archer\\_Heights,\\_Chicago](https://en.wikipedia.org/wiki/Archer_Heights,_Chicago) (dostęp 10 maja 2024).
61. Archer Heights. *Community Data Snapshot*. Chicago Community Area Series, Chicago Metropolitan Agency for Planning, 2023.
62. St. Bruno Church 75th Jubilee. 1925 / 2000, Chicago, 2000.
63. F. Curtiss-Wedge, E.D. Pierce. *History of Trempealeau County Wisconsin*. Winona, 1917, 878–879.
64. Sacred Heart-Saint Wenceslaus Church, [https://en.wikipedia.org/wiki/Sacred\\_Heart-Saint\\_Wenceslaus\\_Church](https://en.wikipedia.org/wiki/Sacred_Heart-Saint_Wenceslaus_Church) (dostęp 5 lipca 2024).
65. J. Hughes, P. Jereczek, S. Klien, R.A. Kaldunski. *St. Wenceslaus & Sacred Heart. 150 years, 2012. 1875–1975. 100 Years in the Lord's Service*, S.S. Peter & Paul. Independence, Wisconsin, 1975.
66. Saints Peter And Paul Roman Catholic Church, Wisconsin Historical Society, <https://www.wisconsinhistory.org/Records/Property/HI49654> (dostęp 5 lipca 2024).
67. S.S. Peter & Paul Catholic Church, Independence, Wisconsin 54747, *One Hundred Years, 1875–1975. A History and Parish Directory, Saints Peter and Paul's Congregation (Independence, Wis.)*. Wyd. SS. Peter & Paul Church, 1975.
68. T. Sliva (August 1990). "National Register of Historic Places Registration: St. Michael's Catholic Church / St. Michael's Catholic Church Complex / NEHBS # PT12-1 through 6" (dostęp 4 lipca 2024).
69. St. Michaels Historical Society, St. Michaels Complex. *National Register of Historic Places*. National Park Service. 2013.

71. E. Freeman. St. Michael's school building, rectory reaches 100 years, *The Columbus Telegram*, August 23, 2011 (dostęp 4 lipca 2024).
72. Tarnov, Nebraska, [https://en.wikipedia.org/wiki/Tarnov,\\_Nebraska](https://en.wikipedia.org/wiki/Tarnov,_Nebraska) (dostęp 4 lipca 2024)
73. St. Michael Archangel Church. *School and Rectory, Faith: Past – Present – Future*, Tarnov, Nebraska. Wyd. Life Touch, USA.
74. Iglesia de Santa María de los Ángeles (Chicago), [https://es.wikipedia.org/wiki/Iglesia\\_de\\_Santa\\_Mar%C3%ADada\\_de\\_los\\_%C3%81ngeles\\_\(Chicago\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Iglesia_de_Santa_Mar%C3%ADada_de_los_%C3%81ngeles_(Chicago)) (dostęp 5 lipca 2024)
75. Kościół pw. Matki Bożej Anielskiej w Chicago, Polonika, *Dziedzictwo za granicą*, Baza Poloników, <https://baza.polonika.pl/pl/obiekty/102091> (dostęp 5 lipca 2024).
76. D.R. McNamara. *Heavenly City: The Architectural Tradition of Catholic Chicago*. Liturgy Training Publications. 2005.
77. K. Chrudzimska-Uhera. *Church of St. Mary of the Angels. Polish parishes and churches in Chicago*. Polonika, Warsaw, 2019.

Jerzy Montusiewicz, Marek Miłośz, Jacek Kęsik

## Cyfrzacja 3D obiektów dziedzictwa kulturowego Polonii w USA – dokumentowanie wyglądu i geometrii

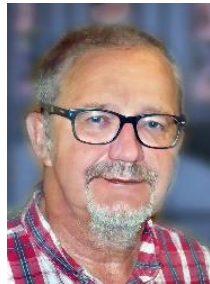
### 3D Digitization of Cultural Heritage Objects of the Polish Diaspora in the USA – Documenting Appearance and Geometry

Autorzy / Authors:



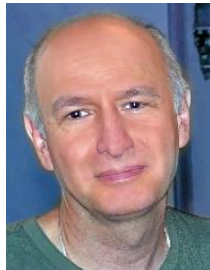
Prof. Jerzy MONTUSIEWICZ – twórca laboratorium „Lab3D”, także kierownik Zakładu Programowania i Grafiki Komputerowej w Katedrze Informatyki Politechniki Lubelskiej. Współorganizator i uczestnik wypraw naukowych do Azji Centralnej. Jest przewodniczącym Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja w Politechnice Lubelskiej.

Prof. Jerzy MONTUSIEWICZ – creator of the “Lab3D” laboratory, also head of the Department of Programming and Computer Graphics at the Department of Computer Science at the Lublin University of Technology. Co-organizer and participant of scientific expeditions to Central Asia. He is the chairman of the Scientific Discipline Council of Technical Computer Science and Telecommunications at the Lublin University of Technology.



Prof. Marek MIŁOSZ – kierownik Zakładu Inżynierii Oprogramowania i Systemów Baz Danych w Katedrze Informatyki Politechniki Lubelskiej. Współorganizator i uczestnik wypraw naukowych do państw Azji Centralnej. Pomysłodawca i współautor projektu pt. „Badania nad narodowym dziedzictwem kulturowym Polonii w USA i utworzenie cyfrowych zbiorów pamięci”.

Prof. Marek MIŁOSZ – Head of the Department of Software Engineering and Database Systems at the Department of Computer Science at the Lublin University of Technology. Co-organizer and participant of scientific expeditions to Central Asian countries. Originator and co-author of the project entitled “Research on the national cultural heritage of the Polish diaspora in the USA and creation of digital memory collections”.



Dr inż. Jacek KĘSIK – pracownik Katedry Informatyki Politechniki Lubelskiej. Zajmuje się grafiką komputerową, a od 8. lat także tematyką skanowania 3D. Uczestniczył w wyprawach naukowych Politechniki Lubelskiej do Azji Centralnej oraz regionu Karpat gdzie realizował zadania digitalizacji obiektów architektonicznych dziedzictwa kulturowego.

Dr. Jacek KĘSIK – employee of the Department of Computer Science at the Lublin University of Technology. He deals with computer graphics, and for 8 years also with the subject of 3D scanning. He participated in scientific expeditions of the Lublin University of Technology to Central Asia and the Carpathian region, where he carried out tasks of digitization of architectural objects of cultural heritage.

ISBN 978-83-936692-6-4 (wydanie cyfrowe)



Ministerstwo  
Edukacji i Nauki

