

Anna Sylwia Czyż<sup>a</sup>

orcid.org/0000-0001-7923-1204

Fabian Welc<sup>b</sup>

orcid.org/0000-0001-6122-1884

## Nieinwazyjne rozpoznanie podziemi kościoła pw. Świętego Ducha w Wilnie przy użyciu skanowania laserowego (LIDAR) oraz metody georadarowej (GPR)

### Non-invasive Exploration of the Crypts of the Dominican Church of the Holy Spirit in Vilnius Using Laser Scanning (LIDAR) and Ground-Penetrating Radar (GPR)

**Słowa kluczowe:** Wilno, kościół pw. Świętego Ducha, podziemia, badania nieinwazyjne, skaning LIDAR, georadar

**Keywords:** Vilnius, Church of the Holy Spirit, crypts, non-invasive survey, LIDAR scanning, ground-penetrating radar

#### Wprowadzenie

Jedną z najważniejszych i najciekawszych świątyń Wilna jest poddominikański kościół pw. Świętego Ducha<sup>1</sup>. Jest to budowla o złożonej bryle, wielokrotnie niszczona i przebudowywana, o której niewiele wiadomo<sup>2</sup> (ryc. 1). Ze względu na zaginięcie większości źródeł, w tym archiwum dominikanów wileńskich, opowieść o niej można snuć jedynie na podstawie materiałów pośrednich: dziejów miasta i zakonu w Wielkim Księstwie Litewskim, a przede wszystkim badając i analizując jej tkanę zabytkową.

Początki świątyni sięgają chrztu Litwy (1387) w obrządku rzymsko-katolickim, kiedy to w zachodniej części Wilna, zdominowanej przez osadnictwo niemieckie, przy trakcie do Trok (droga do Polski, w późniejszym czasie jedna z tras ceremonialnych), z fundacji księcia Witolda zorganizowano około 1418 roku drugą, obok kościoła pw. św. Jana Chrzciciela, świątynię<sup>3</sup>. Nie wiadomo, czy była ona drewniana czy murowana, jednak biorąc pod uwagę aktywność fundacyjną Witolda, budowla nawet jeśli niewielkich rozmiarów, była raczej

#### Introduction

The Dominican Church of the Holy Spirit is among the most interesting and important churches in Vilnius.<sup>1</sup> The building has a complex structure which was destroyed and rebuilt numerous times and of which little is known<sup>2</sup> (Fig. 1). Since most source materials are lost, including the Dominican archives in Vilnius, we can only reconstruct the history of the church by indirect means: through the history of the city and the Order in the Great Duchy of Lithuania and—most importantly—by researching and analyzing the church's historical structure.

The origins of the church date back to the baptism of Lithuania (1387) in the Roman Catholic rite. In the western part of Vilnius, which was dominated by German settlements, on the route to Trakai (a road to Poland, later one of the ceremonial routes), approximately around 1418, Prince Witold founded a church<sup>3</sup> (the first one being Saint John the Baptist church).

It is unknown if it was a wooden or a brick building, however, considering other buildings from Witold's

<sup>a</sup> dr hab., prof. UKSW, Instytut Historii Sztuki UKSW

<sup>b</sup> dr hab., prof. UKSW, Instytut Archeologii UKSW

<sup>a</sup> *D.Sc. Ph.D., Institute of the History of Art, Cardinal Stefan Wyszyński University*

<sup>b</sup> *D.Sc. Ph.D., Institute of Archaeology, Cardinal Stefan Wyszyński University*

**Cytowanie / Citation:** Czyż A.S., Welc F. Non-invasive Exploration of the Crypts of the Dominican Church of the Holy Spirit in Vilnius Using Laser Scanning (LIDAR) and Ground-Penetrating Radar (GPR). *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2023, 76:185–198

**Otrzymano / Received:** 8.02.2023 • **Zaakceptowano / Accepted:** 12.09.2023

**doi:** 10.48234/WK76LIDAR

Praca dopuszczona do druku po recenzjach

Article accepted for publishing after reviews

murowana. W czasach Aleksandra Jagiellończyka nastąpiła jej znaczna rozbudowa, a świątynię przy likwidacji parafii objęli z jego fundacji w 1501 roku dominikanie, opiekując się nią do kasaty w 1844 roku<sup>4</sup>.

Wiadomo, że gotycki gmach z początku XVI wieku z fundacji króla Aleksandra uległ zniszczeniu podczas wielkiego pożaru Wilna w 1610 roku. Świątynię odbudowano, ale ponownie została uszkodzona podczas okupacji moskiewskiej (1655–1660/61). Kolejny kościół dominikanie wzniesli w latach 1679–1688, z fasadą ukończoną przed 1700 rokiem i kopułą wystawioną do 1727 roku. Niestety także i tej budowli nie ominęły pożary Wilna w 1748 i 1749 roku. Dopiero po 1753 roku powstał w świątyni imponujący zespół ołtarzy prezbiterium i transeptu autorstwa Franciszka Ignacego Hoffera. Do przelomu 1775–1776 wystawiono chór muzyczny, a także charakterystycznie poszarpane szczyty prezbiterium, transeptu i fasady oraz przebudowano kopułę.

Kościół ostatecznie przyjął kształt zbliżony do prostokąta z węższym prezbiterium i dwuprzęsłowym chórem zakonnym ujętym przez zakrystie (tzw. letnia i zimowa) z pseudotranseptem zaaranżowanym wewnątrz poprzez system rozbudowanych ołtarzy, ze ścianą północną lekko wklęsłą względem obrysu świątyni (ryc. 2). Na przecięciu naw rozpięta jest kopuła z latarnią. Korpus kościoła jest dwuprzęsłowy z chórem muzycznym i ze skomunikowanymi dwiema parami kaplic otwierających się do nawy. Dwuwieżową fasadę przysłania w dolnej kondygnacji kruchta z ozdobnym portalem z lat siedemdziesiątych XVIII wieku, za którą jest przejście do klasztoru. Pod świątynią znajdują się rozległe podziemia (w toku badań określone jako dwukondygnacyjne) z dostępem z posadzki kościoła (za filarem pomiędzy pierwszym a drugim przęsłem południowej strony) przy ołtarzu Biczowanego Chrystusa.

Obecnie oprócz klasycznych badań architektoniczno-historycznych coraz częściej stosuje się nowe i całkowicie nieinwazyjne metody rozpoznawania obiektów zabytkowych. Wśród nich prym wiodą teledetekcja z wykorzystaniem technologii LIDAR<sup>5</sup> oraz wybrane metody geofizyczne takie jak georadar czy magnetometria<sup>6</sup>. Ich największą zaletą jest to, że pozwalają w sposób efektywny np. rozpoznać rozplanowanie badanej budowli bez potrzeby ingerencji w jej substancję zabytkową. Z tych też względów w kwietniu 2022 roku interdyscyplinarny zespół badaczy z Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego rozpoczął projekt nieinwazyjnej inwentaryzacji kościoła pw. Świętego Ducha<sup>7</sup>. Ich początkowym etapem było przeprowadzenie nieinwazyjnej inspekcji najmniej rozpoznanej dotychczas partii podziemnej świątyni celem:

- rozpoznania za pomocą metody georadarowej zasięgu oraz stratygrafii pionowej podziemi znajdujących się pod kościołem,
- dokonania wstępnej próby inwentaryzacji podziemnego kompleksu za pomocą skaningu laserowego<sup>8</sup>,
- wykonania planu kościoła na poziomie przyziemia



Ryc. 1. Wnętrze kościoła pw. Świętego Ducha w Wilnie, widok w kierunku prezbiterium; fot. A.S. Czyż

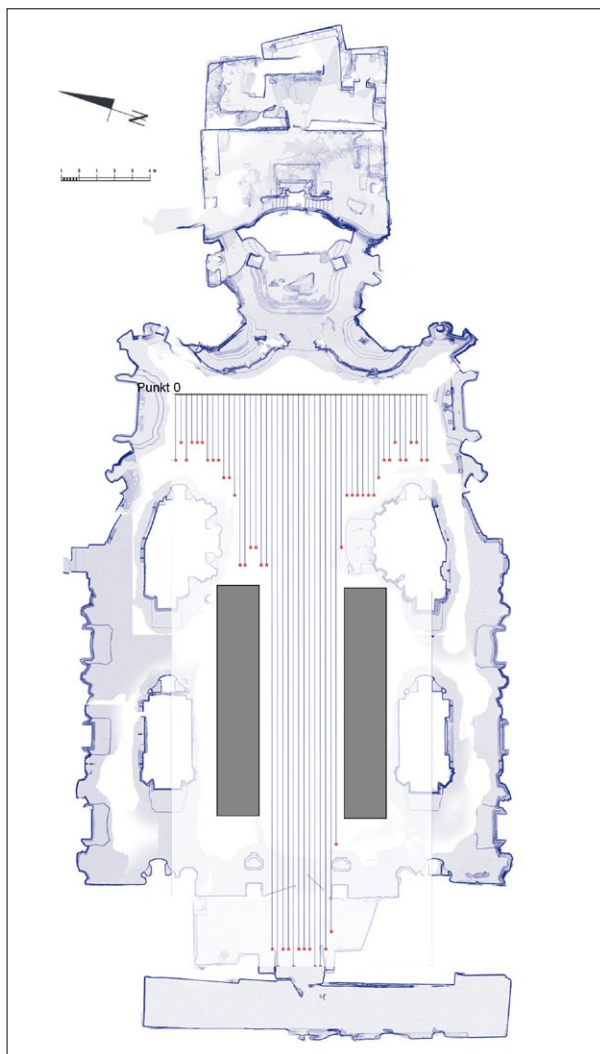
Fig. 1. The interior of the Holy Spirit church in Vilnius, view towards the presbytery; photo by A.S. Czyż

foundations, even if small in size, the church was probably made of brick. In the times of Alexander Jagiellon, it was significantly expanded. The church was taken over by the Dominicans in 1501 when the parish lost its parochial status, and it remained in their hands until its dissolution in 1844.<sup>4</sup>

It is known that the gothic building founded at the beginning of the sixteenth century by King Alexander was destroyed in the great fire of Vilnius in 1610. The church was rebuilt, but was ruined again during the Muscovite occupation (1655–1660/61). Another church was erected by the Dominicans in the years 1679–1688, with the facade completed before 1700 and the construction of the cupola ongoing until 1727. Unfortunately, this building was not spared by either of the fires of Vilnius in 1748 and 1749. It was only after 1753 that an impressive group of presbytery and transept altars were built by Franciszek Ignacy Hoffer in the church. At the turn of 1775–1776, the choir was installed and the characteristically spiked tops of the presbytery, the transept and the facade were added. The dome was also rebuilt.

Ultimately the church took the shape similar to a rectangle with a narrower presbytery and a two-span monastic choir flanked by sacristies (so-called summer and winter). There was a pseudotransept arranged inside by a system of extended altars, and the northern wall slightly concaved in relation to the floor plan of the church (Fig. 2). At the intersection of the naves there is a dome with a lantern. The church nave is two-span, featuring a choir and two pairs of connecting chapels that open to the central aisle. The two-tower facade is covered on the lower floor by a small narthex with a decorative portal from the 1770s, behind which there is a passage to the monastery. Under the church there are extensive crypts (in the research described as two-levelled) with access from the church's floor (behind a column between the first and the second span on the south side), by the altar of the Flagellation.

Today, in addition to traditional architectural and historical research, new and non-invasive methods of



Ryc. 2. Plan kościoła pw. Świętego Ducha w Wilnie z lokalizacją poligonu nr 1, z zaznaczonymi poszczególnymi profilami pomiarowymi wykonanymi z użyciem georadaru; rys. J. Dąbrowski, oprac. F. Welc

Fig. 2. Floor plan of the Holy Spirit church in Vilnius with the location of polygon 1, showing measuring profiles created with GPR; drawing by J. Dąbrowski, prep. by F. Welc

za pomocą skaningu laserowego (LIDAR) oraz jego integracji z planem części podziemnej,

- integracji danych uzyskanych w toku skaningu laserowego i pomiarów GPR.

### Metodyka badań – LIDAR

W trakcie nieinwazyjnej inwentaryzacji podziemi kościoła pw. Świętego Ducha w Wilnie wykorzystano skaningu laserowego na bazie przenośnego urządzenia iPhone 12 pro z wbudowanym czujnikiem LIDAR (Light Detection and Ranging), który coraz częściej wykorzystywany jest do celów dokumentacji architektonicznej [zob. np. Berenyi *et al.* 2010; Lerma *et al.* 2010; Vosselman, Maas 2010]. Najogólniej rzecz ujmując, LIDAR to metoda pomiaru odległości do danego obiektu poprzez oświetlenie go wiązką światła laserowego i pomiar odbicia tej wiązki<sup>9</sup>.

examining historic objects are increasingly used. The leading methods include remote sensing using LIDAR<sup>5</sup> and selected geophysical methods such as ground-penetrating radar (GPR) and magnetometry.<sup>6</sup> Their greatest advantage is that they allow us, for example, to effectively figure out a layout of the researched building without the need to interfere with its historical substance. For this reason, in April 2022 an interdisciplinary research team from the Cardinal Stefan Wyszyński University started a project for a non-invasive survey of the Holy Spirit church.<sup>7</sup> The initial stage of the project was to carry out a non-invasive inspection of a substructure—so far the least explored part of the church—in order to:

- investigate the range and vertical stratigraphy of crypts using GPR,
- survey underground structures using laser scanning,<sup>8</sup>
- prepare a ground-level floor plan of the church using laser scanning (LIDAR) and integrate it with an underground level floor plan,
- merge the data acquired in the process of laser scanning with the data from the GPR survey.

### Research methodology – LIDAR

A non-invasive survey of the crypts of the Holy Spirit church in Vilnius was performed with a laser scanning method using a portable iPhone 12 pro device with a built-in LIDAR sensor (Light Detection and Ranging), which is more and more frequently used for architectural documentation purposes [Berenyi *et al.* 2010; Lerma *et al.* 2010; Vosselman, Maas 2010]. Broadly speaking, LIDAR is a method of measuring the distance to a given object by directing a laser light beam onto it and measuring the reflection of this beam.<sup>9</sup>

It should be noted that, in this particular case, the laser measurement performed using a portable device was treated as complementary data to the GPR imagery, and—as it will be shown later—this approach yielded good results.

Thanks to ARKit by Apple, information about the depths received by the LIDAR sensor (iPhone) is converted into points (vertices).<sup>10</sup> These data can then be used within applications dedicated to the operating of the LIDAR sensor on the iPhone. In this case, Polycam<sup>11</sup> was used.

The result of the scanning is a point cloud, which is the collection of a huge number of individual reflections of the laser beam located within the same system of coordinates and containing—in addition to encoded information about the *x*, *y* and *z* coordinates—data about the intensity of the signal reflection. In the next stage of the process the point cloud was exported from the Polycam application and processed using CloudCompare<sup>12</sup> software in order to identify surfaces and complex solid shapes (to create a mesh—a net of triangles), to generate a 3D model. Importantly an iPhone built-in camera allowed for the assigning of RGB val-

Należy tu zaznaczyć, że pomiar laserowy wykonany za pomocą urządzenia mobilnego w tym konkretnym przypadku traktowany był jako uzupełnienie skanowania GPR oraz pewnego rodzaju doświadczenie, które – jak to zostanie wykazane poniżej – przyniosło zadowalające rezultaty.

Dzięki ARKit firmy Apple informacje o głębokości uzyskane z czujnika LiDAR (iPhone) przelicza się na punkty<sup>10</sup>. Dane te można następnie wykorzystać w aplikacjach przeznaczonych do obsługi czujnika LIDAR w iPhone. W trakcie opisywanych badań użyto aplikacji Polycam<sup>11</sup>.

Efektem skanowania jest chmura punktów, która stanowi zbiór ogromnej ilości pojedynczych odbić wiązki lasera, znajdujących się w tym samym układzie współrzędnych i posiadających obok zakodowanej informacji o współrzędnych  $x$ ,  $y$ ,  $z$  także dane o intensywności odbicia sygnału. W kolejnym etapie chmura punktów wyeksportowana z aplikacji Polycam była poddawana obróbce za pomocą oprogramowania Cloud Compare<sup>12</sup> celem wyszukiwania płaszczyzn oraz złożonych obiektów brylowych (stworzenia tzw. *mesh* – siatki triangulacyjnej), aby wygenerować model 3D. Co jest bardzo istotne, wbudowany aparat w iPhone pozwolił chmurze punktów przypisać wartości RGB pikseli z matrycy aparatu. Dzięki temu chmura uzyskała realistyczny charakter – tzw. tekstury. Za pomocą programu RealityCapture 1.2 wykonano proces łączenia zdjęć, uzyskując plan fotogrametryczny. W ostatnim etapie za pomocą Adobe Lightroom przygotowano prezentowane tu grafiki 2D w formacie RAW, które następnie przetworzono do formatu tiff i jpg.

### Metodyka badań – GPR

W badaniach użyto także GPR (Ground Penetrating Radar), a więc metodę geofizyczną, która opiera się na emitowaniu fal elektromagnetycznych (EM) o określonej częstotliwości i rejestracji impulsów odbitych od podpowierzchniowych warstw i granic litologicznych charakteryzujących się odmiennymi własnościami fizycznym<sup>13</sup>. W trakcie badań w kościele pw. Świętego Ducha w Wilnie wykorzystano georadar Ground Explorer (GX) Mala/ABEM. Prospekcję przeprowadzono z użyciem ekranowanej anteny nadawczej, bimodalnej o częstotliwości nominalnej emitowanej fali elektromagnetycznej wynoszącej odpowiednio 450 MHz. Uzyskane dane pomiarowe przetworzono z użyciem oprogramowania GPR Slices. Zastosowano następujące procedury przetwarzania: *Move start time* (korelacja pierwszego wstąpienia fali EM), *Gain* (wzmocnienie sygnału fali EM), *Bandpass frequency* (filtracja częstotliwościowa), *Background removal* (usuwanie szumu), *Migration* (procedura związania hiperbol dyfrakcyjnych). Dzięki analizie geometrii ramion hiperbol dyfrakcyjnych wyznaczono wyśrednioną prędkość propagacji fali w lokalnym ośrodku geologicznym na 0,06 m/ns (prędkość taką mają fale przechodzące m.in. przez osady piaszczono-ilaste) [Karczewski 2007, s. 32]. Profilo-

ues to the pixels from its matrix to the cloud points. It gave the cloud a realistic character—a so-called texture. The process of combining photos to obtain a photogrammetric plan was performed with RealityCapture 1.2. In the last stage of the process, the 2D graphics presented here were prepared in RAW format using Adobe Lightroom, which were then processed into TIFF and JPG formats.

### Research methodology – GPR

The survey also included a GPR (Ground Penetrating Radar) profile, which is a geophysical method based on emitting electromagnetic (EM) waves of a specific frequency and recording the impulses reflected from subsurface layers and lithological boundaries characterized by different physical properties.<sup>13</sup> The Holy Spirit church in Vilnius was surveyed with a GPR – Ground Explorer (GX) Mala/ABEM. The prospection was executed using a shielded bimodal transmitting antenna with an emitted electromagnetic wave at a nominal frequency of 450 MHz. The data received were processed with GPR Slices. The following processing procedures were applied: move start time (correlation of the first entry of the EM wave), gain (amplification of the EM wave signal), bandpass frequency (frequency filtering), background removal, migration (procedure for folding diffraction hyperbolas into a point). The analysis of the geometry of the branches of diffraction hyperbolas allowed for the determination of the average speed of EM wave propagation in the local geological medium to be 0.06 m/ns (this is the speed of waves going through sand and clay sediments) [Karczewski 2007, p. 32]. GPR profiling was performed within several measurement polygons, with the profiles spaced at fixed intervals of 0.30 m.

### Results

Thanks to the laser scanning (LIDAR) it was possible for the first time to produce a very accurate, even if partial only, floor plan (internal outline up to 1 m in height) of the Vilnius church. The captured imagery not only reveals a highly diverse interior but also serves as evidence that the preceding floor plans were overly simplified and did not accurately reflect reality. The survey, aimed at the preliminary determination of the expanse and structure of the crypts, showed that their central part (under the nave, level -1) is divided by rectangular-base columns supporting a barrel vault of unequivocal modern form, built of brick with a delicate grey-green hue color. Adjacent to it are numerous burial chambers (crypts<sup>14</sup>) of various chronology. It was established that burial chambers are also present in the eastern part of the building (under the presbytery and monastic choir).<sup>15</sup>

In the next stage of the survey, the central section of the crypts was scanned using LIDAR. It produced a precise floor plan which was combined with a 'laser'

wania wykonano w obrębie kilku poligonów pomiarowych, przy czym same profile były oddalone od siebie o stały interwał wynoszący 0,30 m.

### Wyniki badań

Przeprowadzone skanowanie laserowe (LIDAR) umożliwiło po raz pierwszy uzyskanie bardzo dokładnego, choć częściowego planu (obrys wewnętrzny do wysokości 1 m) wileńskiego kościoła. Ujawnia on nie tylko mocno zróżnicowane wnętrze, ale również fakt jak bardzo dotychczasowe rzuty świątyni są uproszczone i dalekie od rzeczywistości. Z kolei rozpoznanie, mające na celu wstępne określenie zasięgu i struktury podziemi wykazało, że ich centralna część (pod nawą, poziom -1) jest podzielona prostokątnymi w podstawie filarami dźwigającymi kolebkowe sklepienie o jednoznacznie nowożytnych formach, w całości wzniesione z cegły o delikatnym szarzielonym odcieniu. Przylegają do niej liczne komory grobowe (krypty<sup>14</sup>) o różnorodnej chronologii. Stwierdzono także, że komory grobowe znajdują się również w części wschodniej (pod prezbiterium i chórem zakonnym)<sup>15</sup>.

W kolejnym etapie rozpoznania podziemi dokonano skanowania laserowego (LIDAR) ich części centralnej, dzięki czemu uzyskano dokładny plan, który następnie zespolono z „laserowym” planem wnętrza kościoła i wynikami profilowań georadarowych. Skanowanie to miało też na celu sprawdzenie, czy możliwe jest w przyszłości przeprowadzenie kompleksowej inwentaryzacji podziemi z użyciem skanowania laserowego<sup>16</sup>.

Uzyskane wyniki potwierdziły, że do podziemi prowadzi korytarz ze schodami, którego wylot na powierzchni znajduje się za południowo-zachodnim filarem, przy bocznym ołtarzu Chrystusa Biczowanego (pomiędzy kaplicami Anioła Stróża i św. Anny)<sup>17</sup>. Wiedzie on do kwadratowego w planie przedsionka (5 × 4 m), od którego w kierunku północnym odchodzi wąski korytarz o długości około 3 m i szerokości 1,20 m. Umożliwia on dostęp do dużego (ok. 12 × 30 m), centralnego pomieszczenia o prostokątnym, nieco nieregularnym rzucie. Jego sklepienie podtrzymuje pięć masywnych filarów o wymiarach u podstawy wynoszących około 2 m. Wysokość pomieszczenia jest znaczna i wynosi 2,37 m. Z pomieszczenia tego wąskie i częściowo niskie przejścia prowadzą do komór grzebalnych, z których te położone po stronie północnej są ze sobą połączone. W obszernym pomieszczeniu północno-wschodniego narożnika podziemi pod korpusem świątyni – połączonego wąskim, ale wysokim przejściem z pomieszczeniem z filarami – znajdują się schody prowadzące w dół, tj. do niższego piętra podziemi (poziom -2), które są obecnie zasypane lub zamurowane. Jak zostanie wykazane dalej, ich obecność została potwierdzona dzięki profilowaniom georadarowym.

Dopiero po nałożeniu na siebie planu podziemi (poziom -1) z planem kościoła, uzyskany dzięki skanowaniu laserowemu, uwidacznia się relacja prze-

blueprint of the interior of the church and the results of GPR profiling. The objective of the laser scanning was to verify if it is possible to execute a comprehensive survey of the crypts using this method in the future.<sup>16</sup>

The results confirmed that there is a corridor with stairs leading to the crypts, the entrance to which is located behind the southwestern column, near the side altar of the Flagellation (between the chapels of the Guardian Angel and St. Anne).<sup>17</sup> It connects to a square-shaped (5 × 4 m) entryway, from which a narrow corridor—approx. 3 m long and 1.20 m wide—extends northwards. It leads to a large (ca. 12 × 30 m), central room with a slightly irregular, rectangular floor plan. Its vault is supported by five massive columns measuring approx. 2 m at the base. The room is quite high and measures 2.37 m. Narrow and partially low passageways lead to burial chambers of which those on the northern side are connected. In the spacious room in the north-eastern corner of the basement under the church—linked by a narrow but high passage to the room with columns—there are stairs leading down, i.e., to the lower floor of the underground section (level -2), which is currently buried or walled up. As it will be shown further, its presence was confirmed by GPR profiling.

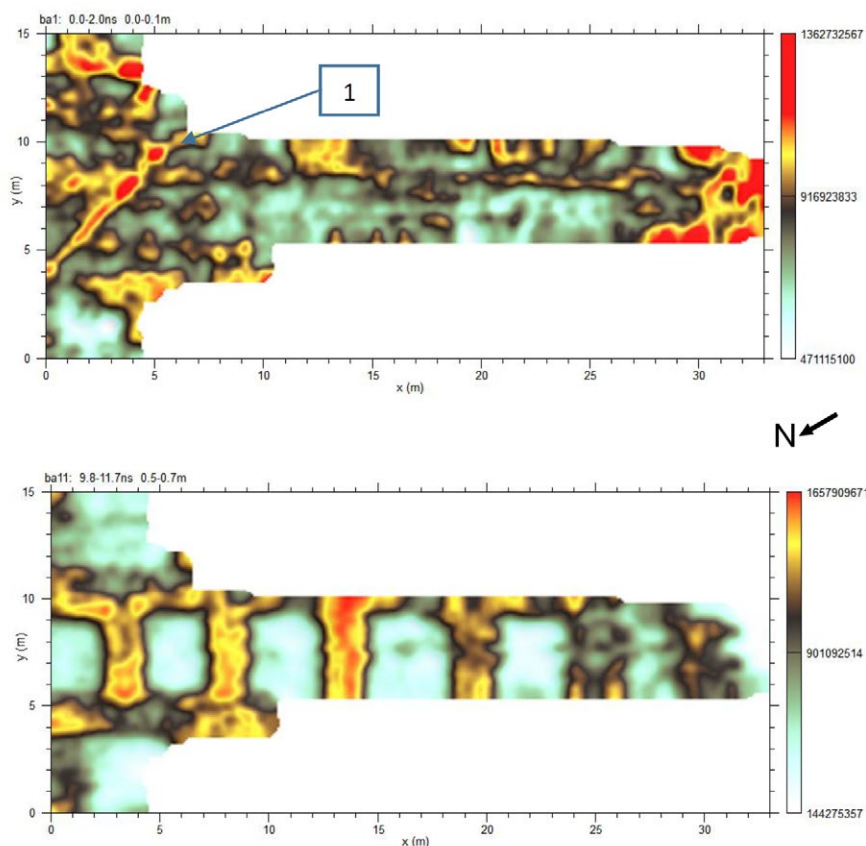
The spatial relationship between the levels, previously completely unknown to researchers, is visible after superimposing the floor plan of the crypts (level -1) onto the plan of the church (ground floor), both obtained thanks to laser scanning. It turns out that the central section of the crypts does not run precisely under the nave and deviates at the south-western axis of the building.

The GPR survey of the crypts vaults was executed on level -1. Its main objective was to confirm or rule out the hypothesis about the existence of a lower level of catacombs, which was suggested by the presence of the aforementioned stairs and historical memory, but unfortunately not supported by any written record.<sup>18</sup>

Parallel profiling was performed within several measurement polygons covering the available area inside the church. Each of the recorded anomalies were analyzed with respect to characteristic features, allowing the identification of underground rooms with burial purposes (crypts), but also walls and other architectural structures.

The main objective of the research was to obtain GPR images to a satisfactory resolution, as they became the basis for stratigraphic and architectural analyses. To this end the survey grid was quite dense. The profiles were spaced at 30 cm, which allowed for the capturing of many important details in time slices (GPR plans) and radargrams. This imagery was the basis for conclusions regarding the location of crypts and walls.

The boundaries of the polygon located along the longer axis of the main nave and transept were constrained due to accessibility issues. In this case, it was significantly limited by joint bases of carved benches decorated with inlay and dating from the 1770s and al-



Ryc. 3. Plany GPR (przekroje czasowe) dla przedziału głębokości od 0,1 do 0,7 m; analiza i rys. F. Welc  
 Fig. 3. GPR plans (time slices) for the depth range from 0.1 to 0.7 m; by F. Welc

strzenna pomiędzy nimi, dotąd całkowicie nieznana badaczom. Okazuje się, że centralna część podziemi nie przebiega dokładnie pod nawą i jest odchylona na osi południowo-zachodniej.

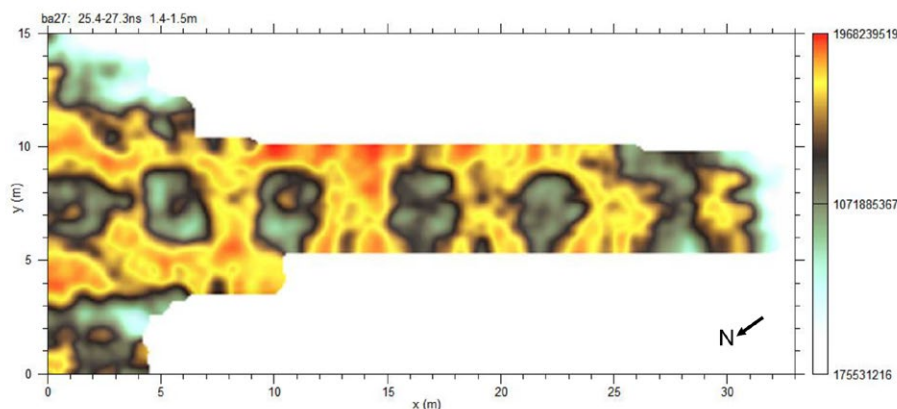
Przeprowadzony za pomocą metody georadarowej rekonesans podziemi przeprowadzono na poziomie –1. Głównym ich celem było potwierdzenie lub wykluczenie tezy o istnieniu niższego piętra katakumb, co sugerowały obecność wspomnianych schodów oraz pamięć historyczna, niestety nieudokumentowana w źródłach pisanych<sup>18</sup>.

Równoległe profilowania wykonano w obrębie kilku poligonów pomiarowych obejmujących dostępną powierzchnię wewnątrz kościoła. Każda z zarejestrowanych anomalii była rozpatrywana pod kątem występowania charakterystycznych cech, pozwalających na identyfikację podziemnych pomieszczeń o przeznaczeniu grobowym (krypty), ale też występowania murów lub innych relikwów architektonicznych.

Podstawową kwestią w trakcie badań było osiągnięcie odpowiedniej rozdzielczości obrazów GPR, które stały się podstawą analiz stratygraficzno-architektonicznych. Z tego powodu zdecydowano się na zagęszczenie siatki pomiarowej. Profile ułożone zostały w odległości od siebie o 30 cm, co pozwoliło na uchwycenie na przekrojach czasowych (plany GPR) i falogramach wielu istotnych detali, które stały się

tars in the pseudotranscept (Fig. 2). The produced GPR profiles (time slices) show numerous signal amplification zones (dark colors) just below the floor surface, which corresponds to the fixing of the floor tiles. A characteristic linear signal amplification zone corresponding to the electrical wiring is also visible (Fig. 3.1). Below 0.5 m, the electromagnetic waves reflect from the segments of the vault in the above-mentioned central room supported by columns (level –1; Fig. 3.2).

About 1 m below floor level the amplitude of the GPR signal decreases. There is also no clear image of the structures described above, which would suggest that this is the floor level of the central room supported by columns. Surprisingly, at about 1.50 m the EM waves reflect from the vaults again, which indicates the presence of another floor of burial chambers (Fig. 4). It seems that the depth range is too small to record the second floor of the crypts. In fact, during the passage of the EM wave from a geological medium (soil) to a void filled with air (in this case just below the ceiling of the lower underground floor), its speed increases rapidly, which is why in the GPR images the ceiling is at an apparently smaller depth than it is in reality [Karczewski 2007, pp. 206–207]. As a consequence, the first level of burial chambers visible in the analyzed GPR images is lower by approx. 0.70 m compared to the actual height of 2.30 m (which was measured).



Ryc. 4. Plan GPR dla przedziału głębokości od 1,4 do 1,5 m; analiza i rys. F. Welc  
 Fig. 4. A GPR plan for the depth range from 1.4 to 1.5 m; analysis and drawing by F. Welc

podstawą do wnioskowań dotyczących m.in. lokalizacji krypt i murów.

Granice poligonu usytuowanego wzdłuż dłuższej osi nawy głównej i transeptu uwarunkowane były dostępnością powierzchni – w tym wypadku znacząco ograniczonej zespolonymi podstawami pod snycerskie, zdobione intarsją zabytkowe ławki z lat siedemdziesiątych XVIII wieku – oraz konstrukcją ołtarzy w pseudo-transepcie (ryc. 2). Na uzyskanych planach georadarowych (przekrojach czasowych) tuż poniżej powierzchni posadzki widoczne są liczne strefy wzmocnienia sygnału (ciemne barwy), co wiąże się z mocowaniem płytek posadzki. Widoczna jest też charakterystyczna linijna strefa wzmocnienia sygnału odpowiadająca instalacji elektrycznej (ryc. 3.1). Poniżej 0,5 m widoczne jest odbicie fal elektromagnetycznych od segmentów sklepienia, omówionego już, centralnego pomieszczenia wspartego na filarach (poziom –1; ryc. 3.2).

Na poziomie około 1 m poniżej posadzki amplituda sygnału GPR maleje. Brak również wyraźnego obrazu struktur opisanych powyżej, co sugeruje, że jest to poziom posadzki centralnego pomieszczenia wspartego na filarach. Zaskakujące jest to, że na głębokości około 1,50 m ponownie widoczne jest odbicie fali EM do sklepień, co wskazuje na obecność kolejnego piętra komór grzebalnych (ryc. 4). Pozornie wydaje się, że przedział głębokości jest zbyt mały, aby zarejestrować drugą kondygnację podziemi. W rzeczywistości w trakcie przejścia fali EM z ośrodka geologicznego (gruntu) do pustki wypełnionej powietrzem (w tym wypadku tuż poniżej stropu niższej kondygnacji podziemi) następuje gwałtowny wzrost jej prędkości, stąd też na obrazach GPR strop znajduje się na pozornie mniejszej głębokości, niż ma to miejsce w rzeczywistości [Karczewski 2007, s. 206–207]. W efekcie tego zjawiska pierwszy poziom komór grzebalnych widoczny na analizowanych obrazach GPR ma zaniżoną wysokość (ok. 0,70 m) w stosunku do stanu faktycznego, tj. 2,30 m (co zostało zmierzone).

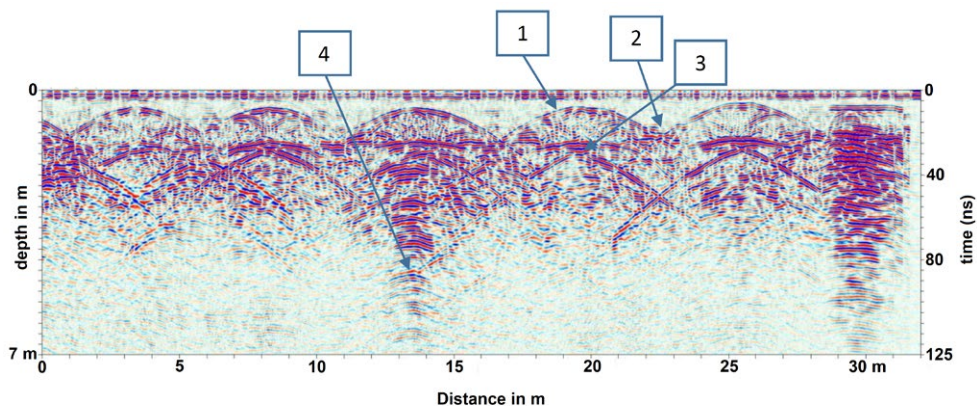
Dwa poziomy podziemi zostały jednoznacznie potwierdzone w trakcie analizy wybranych profili reflek-

Two levels of crypts were clearly confirmed during the analysis of selected reflection profiles (radargrams or echograms) in 2D and quasi 3D formats. The most important profiles for interpretation purposes turned out to be the longest ones which run exactly on the axis of the main nave of the church (Fig. 5–6). For example, profile no. 25 shows reflections from the upper level in the form of five diffraction hyperbolas (Fig. 5 no. 1). The points at which the hyperbolas meet correspond to columns that support the vault (Fig. 5 no. 2). About 1 m below there is another series of hyperbolas representing the vault of the lower floor of the underground levels (Fig. 5 no. 3, Fig. 6 no. 2). Finally, between thirteenth and fourteenth m of the  $x$ -axis, there is an anomaly in the form of a series of diffraction hyperbolas, which can be interpreted as an echo of wall (Fig. 5 no. 4, Fig. 6 no. 3). This anomaly (clearly visible, running linearly and transversely) can be tracked up to 4 m down. However, we must remember that the speed of the EM wave during data processing is averaged for the entire depth range. Therefore, the anomaly can be located much shallower than the GPR images imply.

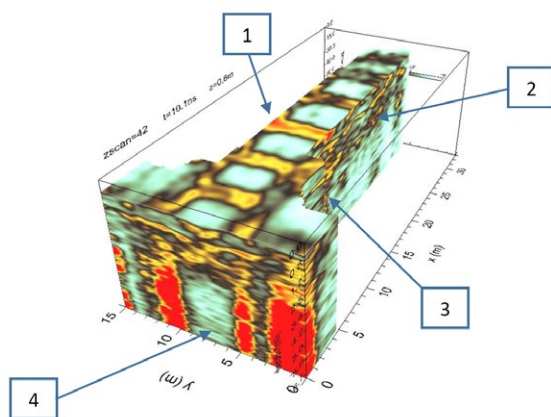
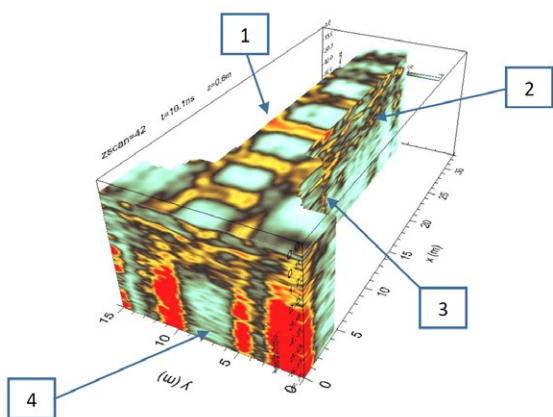
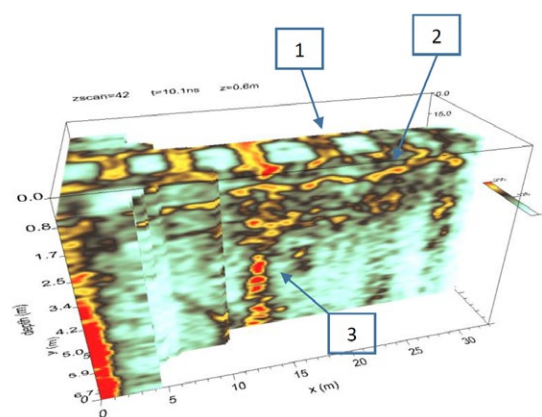
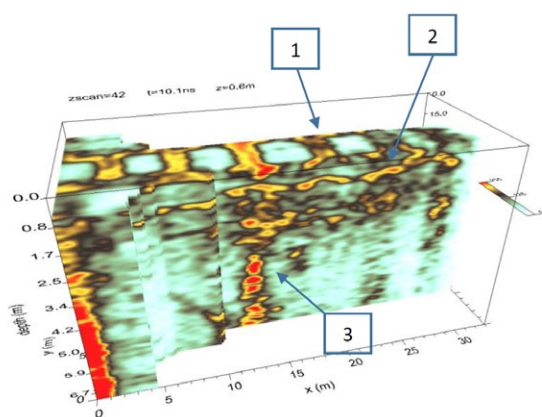
The described sets of anomalies are also clearly visible in 3D diagrams, confirming the thesis about the existence of two-level crypts. They show reflections from the vault on the upper level (Fig. 7 no. 1), lower level (Fig. 7 no. 2) and an anomaly preliminarily referred to as a wall (Fig. 7 no. 3). Additionally, in the north-eastern part of the building the entrance to a further section of the crypts is visible<sup>19</sup> (Fig. 7 no. 4).

GPR profiling executed within the measuring polygon situated in the axis of the first span of the nave produced significant data confirming and supplementing the above assumptions (Fig. 8).

As before, the boundaries of the polygon were constrained due to the accessibility of space for measurements—in this case, the space was significantly limited by the wooden bases of altars and columns.<sup>20</sup> Below the floor surface, there are randomly scattered signal amplification zones, which should be associated with the fixing of floor tiles (Fig. 9). At about 0.70 m, similarly



Ryc. 5. Wybrany profil refleksyjny (radargram), oś nawy kościoła pw. Świętego Ducha w Wilnie; analiza i rys. F. Welc  
 Fig. 5. A selected reflection profile (radargram), an axis of the nave of the Holy Spirit church in Vilnius; by F. Welc



Ryc. 6. Wybrane radargramy i plan GPR uzyskany na osi nawy kościoła pw. Świętego Ducha w zestawieniu quasi 3D; analiza i rys. F. Welc

Fig. 6. Selected radargrams and a GPR plan obtained in the axis of the nave of the Holy Spirit church in quasi 3D; by F. Welc

Ryc. 7. Model 3D anomalii ujawnionych w osi nawy kościoła pw. Świętego Ducha w Wilnie w zestawieniu quasi 3D; analiza i rys. F. Welc

Fig. 7. 3D model of anomalies found in the axis of the nave of the Holy Spirit church in Vilnius in quasi 3D; by F. Welc

syjnych (radargramów lub echogramów) w formule 2 i quasi 3D. Najważniejsze dla celów interpretacyjnych okazały się najdłuższe z nich, które przebiegają dokładnie na osi głównej nawy kościoła (ryc. 5–6). Dla przykładu profil nr 25 ukazuje refleksy od górnego poziomu w postaci pięciu hiperbol dyfrakcyjnych (łuki)

as with the case of the already described polygon no. 1, the GPR images show reflections from vaults which indicates the presence of burial chambers on the first underground level. Starting from a depth of approx. 1 m, the amplitude of the GPR signal gradually decreases, indicating the floor of the central room supported by

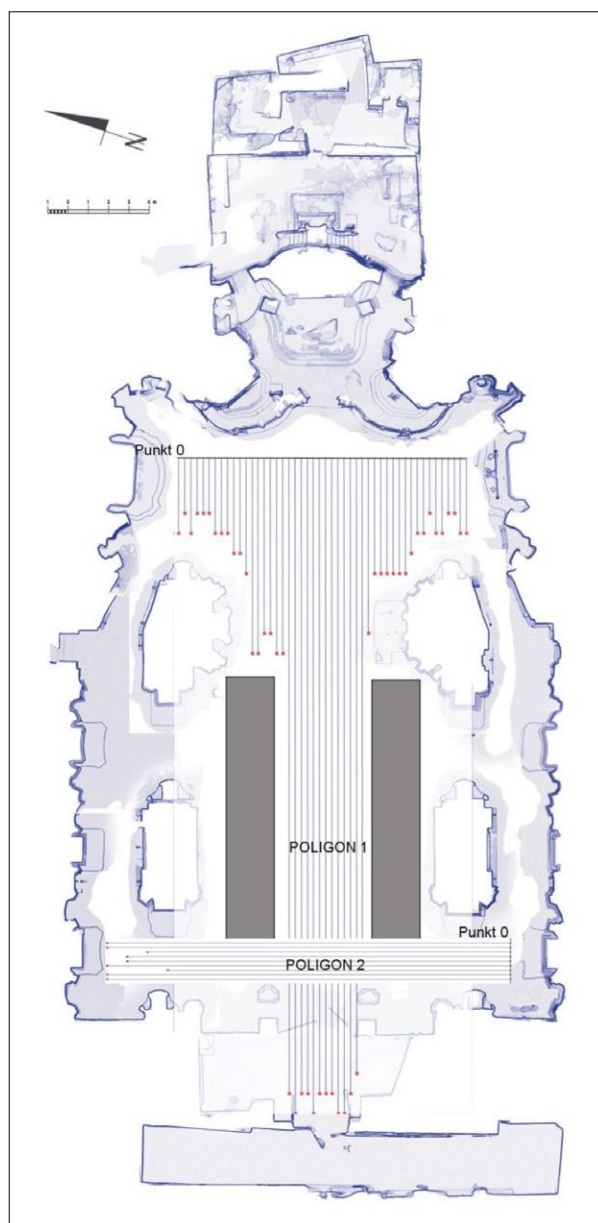


o szeroko rozwartych ramionach (ryc. 5 nr 1). W miejscach styku hiperbol znajdują się w rzeczywistości filary podtrzymujące sklepienie (ryc. 5 nr 2). Około 1 m poniżej znajduje się kolejna seria hiperbol odpowiadających sklepieniu niższego piętra podziemi (ryc. 5 nr 3, ryc. 6 nr 2). Wreszcie między 13 a 14 m osi  $x$  widoczna jest anomalia w postaci serii hiperbol dyfrakcyjnych, która może być interpretowana jako echo muru (ryc. 5 nr 4, ryc. 6 nr 3). Anomalia ta (wyraźnie widoczna, linijna i poprzecznie biegnąca) daje się śledzić do głębokości poniżej 4 m. Musimy jednak pamiętać, że prędkość fali EM w trakcie procesu obróbki danych jest wyśredniona dla całego przedziału głębokości. Zatem rzeczona anomalia może znajdować się znacznie płycej, niż sugerują to obrazy GPR.

Opisane zespoły anomalii doskonale widoczne są również w diagramach 3D, potwierdzając jednoznacznie tezę o istnieniu dwukondygnacyjnych podziemi. Uwidaczniają one odbicia od sklepienia poziomego wyższego (ryc. 7 nr 1), niższego (ryc. 7 nr 2) oraz anomalii określanej tu roboczo jako mur (ryc. 7 nr 3). Ponadto widoczne jest wejście do kolejnej części podziemi w kierunku północno-wschodnim<sup>19</sup> (ryc. 7 nr 4).

Istotne dane, potwierdzające i uzupełniające powyższe przypuszczenia przyniosły również profilowania GPR przeprowadzone w obrębie poligonu usytuowanego w osi pierwszego przęsła korpusu świątyni (ryc. 8).

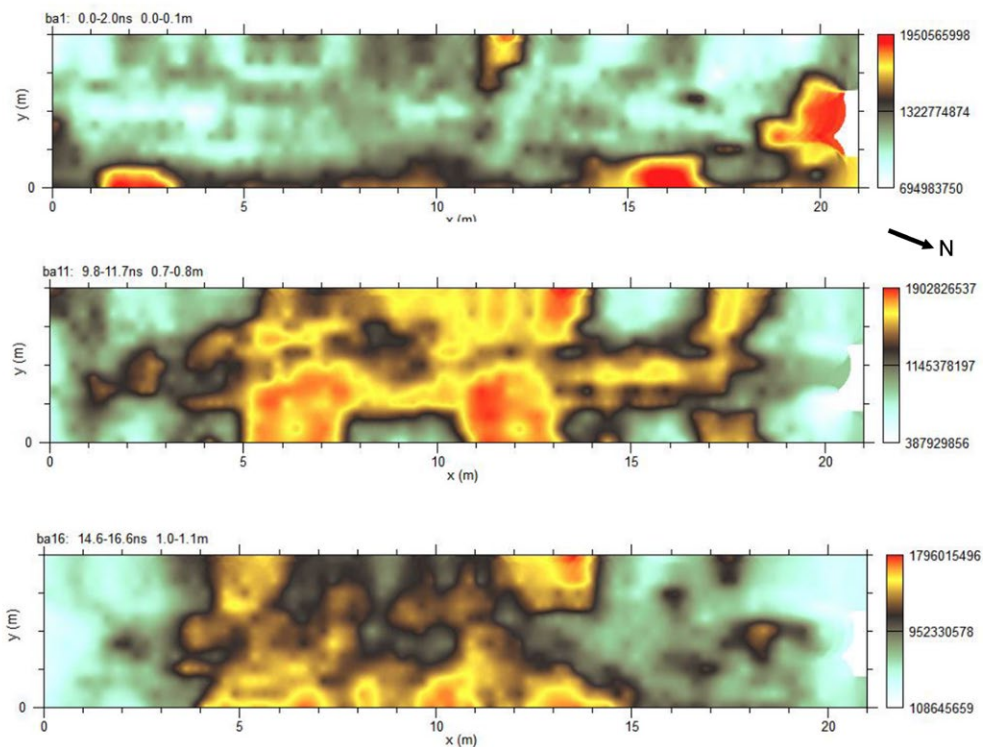
Podobnie jak poprzednio granice poligonu uwarunkowane były dostępnością powierzchni do przeprowadzenia pomiarów – w tym wypadku znacząco ograniczonej przez drewniane podstawy pod ołtarze i filary<sup>20</sup>. Poniżej powierzchni posadzki widoczne są chaotycznie układające się strefy wzmocnienia sygnału, które należy wiązać z posadowieniem płytek posadzki (ryc. 9). Na poziomie około 0,70 m, analogicznie jak w przypadku omawianego już poligonu nr 1, plany GPR ujawniają odbicia od sklepień, co wskazuje na obecność pierwszej kondygnacji podziemnych komór grzebalnych. Począwszy od głębokości około 1 m amplituda sygnału GPR stopniowo maleje, co wskazuje na poziom posadzki centralnego pomieszczenia wspartego na filarach. Mamy zatem kontynuację zespołu pomieszczeń ciągnących się w kierunku zachodnim. Jak jednak wykazał plan „laserowy” kościoła oraz przeprowadzone rozpoznanie terenowe, komory te nie należą do pomieszczenia centralnego, lecz do części, która została dobudowana w późniejszym okresie. Pojawienie się na głębokości około 1,6 m ponownie refleksów od sklepień krypt grobowych jednoznacznie wskazuje na dolną kondygnację (ryc. 9). Cały górny układ pomieszczeń powiązanych ze sobą korytarzami wydaje się zatem zdublowany w formie niżej położonych podziemi zaliczanych do poziomu  $-2$ . Echogramy uzyskane na omawianym obszarze kościoła ujawniają zarys sklepień górnego poziomu w formie hiperbol dyfrakcyjnych (ryc. 10 nr 1) oraz analogicznie poziomu  $-2$  (il. 10 nr 2). Niezwykle interesujący jest układ dwóch pionowych stref wzmocnienia sygnału GPR anomalnych,



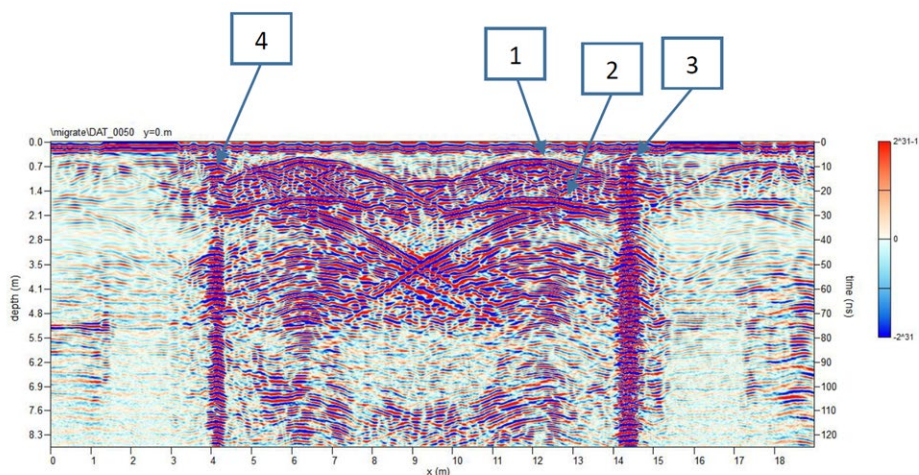
Ryc. 8. Plan kościoła pw. Świętego Ducha z lokalizacją poligonów nr 1 i 2 z zaznaczonymi poszczególnymi profilami pomiarowymi wykonanymi z użyciem georadaru; rys. J. Dąbrowski, oprac. F. Welc

Fig. 8. Floor plan of the Holy Spirit church in Vilnius with the location of polygons 1 and 2, showing measuring profiles created with GPR; drawing by J. Dąbrowski, prep. by F. Welc

columns. Therefore, it is a continuation of rooms running westward. However, as we know from the church floor plan obtained using the laser method and through field research, these chambers do not belong to the central room but to a part of the building that was built later. The reappearance of reflections from the vaults of the burial chambers at about 1.6 m clearly implies a lower level (Fig. 9). Therefore, the entire upper system of rooms connected by passageways seems to be duplicated in the crypts of the lower underground structure, classified as level  $-2$ . Echograms obtained in this part of the church show an outline of the vaults of the upper level in the form of diffraction hyperbolas (Fig. 10



Ryc. 9. Plany GPR (przekroje czasowe) dla przedziału głębokości od 0,1 do 1 m; analiza i rys. F. Welc  
*Fig. 9. GPR plans (time slices) for the depth range from 0.1 to 1 m; by F. Welc*



Ryc. 10. Wybrany profil refleksyjny (radargram) w obrębie poligonu usytuowanego w osi pierwszego przęsła korpusu; analiza i rys. F. Welc  
*Fig. 10. A selected reflection profile (radargram) within a polygon situated in the axis of the first span of the nave; by F. Welc*

które są odbiciami od ścian pomieszczenia z filarami, które zgodnie z planem kończy się za dwoma zachodnimi filarami nawy głównej (ryc. 10 nr 3–4).

Profilowania wykonane w obrębie pozostałych poligonów pomiarowych ujawniły stratygrafię pionową analogiczną do omówionej powyżej. Tuż poniżej powierzchni posadzki widoczne są liczne punktowe, regularnie rozmieszczone strefy wzmocnienia sygnału, które należy wiązać z posadowieniem płytek posadzki. Na poziomie około 0,60 m doskonale widoczne są

no. 1) and—similarly—of the level -2 (il. 10 no. 2). Especially interesting is the arrangement of two vertical anomalous GPR signal amplification zones being the reflections from the walls of the room with columns, which, according to the plan, ends behind two western columns of the main nave (Fig. 10 no. 3–4).

Profiling executed from within the remaining measurement polygons produced vertical stratigraphy similar to the one discussed above. Just below the floor surface, there are numerous points indicating regularly

hiperbole będące refleksem od sklepień pomieszczenia wspartego na filarach. Na głębokości 1,40–1,70 m ponownie widoczne jest odbicie fali EM do sklepień komór grobowych niższej kondygnacji podziemi. Liczne powierzchnie refleksyjne widoczne poniżej tych hiperbol sugerują, że pomieszczenia te przynajmniej częściowo są zagruzowane, co jest bardzo istotną informacją odnośnie do potencjalnych – przyszłych planów wiążących się z eksploracją ich wnętrza. Na koniec warto nadmienić, że profilowaniami GPR objęto również poprzeczną kruchtę dostawioną do fasady, z wejściem prowadzącym do klasztoru. W jej obrębie nie odnotowano żadnych anomalii oprócz refleksów generowanych przez niejednorodności gruntu, co wskazuje, że system podziemnych pomieszczeń zajmuje przestrzeń pod korpusem świątyni i nie wychodzi poza jej obrys.

### Wnioski

Jak nadmieniono, celem pierwszych nieinwazyjnych badań – pomiarów geofizycznych i skanowań laserowych w technice LIDAR – przeprowadzonych wewnątrz kościoła pw. Świętego Ducha w Wilnie było przede wszystkim wstępne rozpoznanie struktury podziemi świątyni i ich powiązanie z częścią nadziemną.

W początkowym etapie przeprowadzono skanowanie laserowe (LIDAR), które umożliwiło po raz pierwszy uzyskanie bardzo dokładnego planu wileńskiego kościoła. Ujawnia on nie tylko bardzo duże zróżnicowanie wnętrza, ale również fakt jak bardzo dotychczasowe pomiary są uproszone i dalekie od rzeczywistości. Co więcej, uzyskany plan będzie podstawą do dalszych prac inwentaryzacyjnych. W przyszłości ważne jest wykonanie skanu laserowego i modelu 3D całego podziemnego założenia obejmującego górną kondygnację (poziom -1), co umożliwi dokładną analizę przestrzenną tej części podziemi. Biorąc pod uwagę fakt, że znajdują się tam również pozostałości stopy fundamentowej wcześniejszego kościoła (potwierdzone w trakcie rekonesansu), taki model zespolony z planem obecnej świątyni pozwoli na rekonstrukcję planu poprzedniej – gotyckiej (?) – świątyni z czasów Aleksandra Jagiellończyka.

W drugim etapie badań wykonano łącznie ponad 200 profilowań w obrębie kilku poligonów pomiarowych o zróżnicowanych rozmiarach i lokalizacji. Na całej przebadanej powierzchni, tuż poniżej powierzchni posadzki widoczne są liczne punktowe strefy wzmocnienia sygnału, które należy wiązać z posadowieniem płytek ceramicznej podłogi. Na poziomie około 0,50 m poniżej poziomu gruntu, w centralnej części kościoła na uzyskanych obrazach GPR widoczny jest podział na poprzecznie rozdzielone segmenty, które odpowiadają przejściu fali EM przez sklepienia centralnego pomieszczenia wspartego na filarach, które zostało zadokumentowane skanowaniem laserowym w formie modelu 3D. Na głębokości 1,40–1,70 m ponownie widoczne jest odbicie fali EM do podziemnych sklepień, co wskazuje na obecność kolejnej kondygnacji komór grzebalnych. Dwa poziomy podziemi zostały

spaced zones of signal amplification, which should be associated with the fixing of floor tiles. Hyperbolas being the reflection from the vaults of the room with columns are perfectly visible at the depth of about 0.60 m. At about 1.40–1.70 m the reflection of the EM waves from the vaults of the burial chambers at the lower underground level is again observable. The numerous reflective surfaces visible below these hyperbolas imply that these rooms are at least partially filled with rubble, which is an important piece of information considering the potential future plans to explore them. Finally, it is worth mentioning that GPR profiling was also executed in the porch that was added to the facade, whose entrance leads to the monastery. No anomalies were recorded within this space, apart from reflections generated by the inhomogeneity of soil, which implies that the system of underground rooms runs under the nave of the church and does not go beyond its outline.

### Conclusions

The main objective of the first non-invasive research—geophysical survey and laser scanning using LIDAR technology—which were performed in the Holy Spirit church in Vilnius, was to make preliminary research into the underground structure of the church's crypts and determine their relation to the above-ground part of the building.

At the initial stage, laser scanning (LIDAR) was performed which produced the first truly accurate floor plan of the Vilnius church. It reveals not only a highly diverse interior but also serves as evidence that the preceding floor plans were overly simplified and did not accurately reflect reality. What is more, the produced floor plan will be the basis for a follow-up survey. In the future a laser scan and a 3D model of the entire underground structure—including the upper floor (level -1)—should be executed. It will enable a thorough spatial analysis of this part of the crypts. Since the research confirmed the presence of the remains of the foundation of an earlier church, such a model—combined with the floor plan of the current church—will allow for the reconstruction of the floor plan of the previous—Gothic (?)—church dating from the times of King Alexander. In the second stage of the research, a total of over 200 GPR profiling scans were performed within several measurement polygons of various sizes and locations. On the entire surveyed surface, just below the floor surface, there are numerous points of signal amplification zones, which should be associated with the fixing of ceramic floor tiles. At approx. 0.50 m below the ground level, in the central part of the church, the GPR images show a division into transversely separated segments which correlate with the passage of the EM wave through the vaults of the central room supported by columns. It was documented by laser scanning in the form of a 3D model. At a depth of 1.40–1.70 m the reflection of EM waves from vaults is visible again, which indicates

jednoznacznie potwierdzone także w trakcie analizy wybranych profili refleksyjnych.

Oprócz zespołu anomalii opisanych powyżej i wiążących się z dwiema kondygnacjami podziemi na głębokości 3,40 m widoczna jest wyraźna liniowa, poprzeczna biegnąca anomalia w stosunku do osi nawy. Można ją interpretować jako pozostałości muru ceglano-kamiennego o bliżej nieokreślonej funkcji i chronologii.

Przedstawione wyniki badań otwierają pole do interpretacji z zakresu historii i historii architektury, opartych na dostępnych źródłach archiwalnych. W przyszłości zasadne jest wykonanie takich samych działań na obszarze klasztoru<sup>21</sup>.

Na koniec należy podkreślić, że przeprowadzone w kościele pw. Świętego Ducha pomiary geofizyczne wykazały jednoznacznie wielką przydatność metody georadarowej w celach nieinwazyjnej prospekcji oraz inwentaryzacji struktur podziemnych, szczególnie tych, które wypełnione są częściowo powietrzem (np. krypty). Na ich granicy (sklepieniu) następuje wzrost prędkości fali elektromagnetycznej, co powoduje, że jest ona zazwyczaj doskonale widoczna na obrazach GPR (na tzw. planach czy echogramach) w postaci wyraźnej hiperboli dyfrakcyjnej. W świetle powyższych badań oraz innych podobnych zrealizowanych projektów postuluje się, aby metoda georadarowa była standardowo stosowana w badaniach dawnej architektury sakralnej. Georadar pozwala bowiem na precyzyjną lokalizację podziemnych struktur oraz ich późniejszą wizualizację w trzech wymiarach (3D). Co istotne, jest to metoda całkowicie nieinwazyjna i relatywnie szybka, jeśli chodzi o pomiar oraz proces późniejszej obróbki danych. Uzupełniona i zintegrowana z wynikami skanowania laserowego w technologii LIDAR pozwala na tworzenie nieosiągalnej do niedawna jakościowo dokumentacji przestrzennej badanego obiektu zabytkowego, co wyznacza zupełnie nowy standard w badaniach architektoniczno-historycznych.

the presence of another level of burial chambers. Two levels of crypts were also unequivocally confirmed during the course of an analysis of selected reflection profiles.

In addition to the set of anomalies described above and linked to the two levels of crypts, at a depth of 3.40 m there is a clear linear anomaly running transversely in relation to the axis of the nave. It can be interpreted as the remains of a brick and stone wall of unknown function and chronology.

The presented results give room for interpretation in the field of history and history of architecture, based on available archival sources. In the future, similar activities should be performed in the monastery.<sup>21</sup>

Finally, it should be emphasized that the geophysical surveys carried out in the Church of Holy Spirit have clearly demonstrated the practicality of the GPR method in non-invasive scanning and surveying of underground structures, especially those partially filled with air (e.g., crypts). The speed of the electromagnetic wave increases at the boundary of the room (the vault) which makes it perfectly visible on GPR images (the so-called plans or echograms) in the form of a clear diffraction hyperbola. In the light of the above research and other similar and completed projects, it is recommended that the GPR method be used in research on old religious architecture. GPR enables the precise location of underground structures and their subsequent visualization in three dimensions (3D). Importantly, this method is completely non-invasive and relatively quick in terms of taking measurements and data processing. Since this method is supplemented and integrated with the results of laser scanning in LIDAR, it is now possible to create a spatial documentation of the historical structure under investigation, something that has been unattainable before, and which therefore sets a completely new standard in architectural and historical research.

---

## Bibliografia / References

### Opracowania / Secondary sources

- Baronas Darius, *Christians in Late Pagan, and Pagans in Early Christian Lithuania: the Fourteenth and Fifteenth Centuries*, „Lithuanian Historical Studies” 2014, t. 19.
- Baronas Darius, Rowell Stephen C., *The Conversion of Lithuania. From Pagan Barbarians to Late Medieval Christians*, Vilnius 2015.
- Bednarz Łukasz J., Drygała Izabela J., Gentilini Cristina, Jasieńko Jerzy, Dulińska Joanna M., Kuśnierz Kazimierz, *From Digital Surveying to Heritage Analysis on the Example of a Baroque Church: A Proposal for Structural Strengthening and Monitoring*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2021, nr 65.

- Bednarz Łukasz J., Jasieńko Jerzy, Kogut Tomasz, Dominiak Łukasz, *Application of a cloud of points for heritage building inventory – the case of the church of the Assumption of the Virgin Mary in Nysa*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2016, nr 45.
- Berenyi Attila, Lovas Tamas, Barsi Arpad, *Terrestrial laser scanning–civil engineering applications*, „International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences” 2010, t. 38, nr 5.
- Conyers Lawrence B., *Ground – Penetrating Radar for Archaeology*, [Altamira Press] 2013.
- Ćmielewski Bartłomiej, Sieczkowska Dominika, Kociuk Jacek, Bastante José M., Wilczyńska Izabela,

- UAV LiDAR Mapping in the Historic Sanctuary of Machupicchu: Challenges and Preliminary Results: Part 1*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2021, nr 65.
- Frost Robert, *Oksfordzka historia unii polsko-litewskiej*, t. 1: *Powstanie i rozwój 1385–1569*, Poznań 2018.
- Jankevičienė Algė, Samukienė Alina, *Gotikos relikvijos Vilniaus dominikonų architektūros ansamblyje*, „Lietuvos TSR architektūros klausimai” 1988, t. 9.
- Jasieńko Jerzy, Nowak Tomasz, Mroczek Piotr, Bednarz Łukasz J., *Construction conservation using new technologies on the example of St. Anna’s Church in Zabkowice Śląskie*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2008, nr 28.
- Jonaitis Rytis, *Orthodox Churches in the Civitas Ruthenica Area of Vilnius: the Question of Location*, „Archaeologia Baltica” 2011, t. 16.
- Karczewski Jerzy, *Zarys metody georadarowej*, Kraków 2007.
- Lerma José Luis, Navarro Santiago, Cabrelles Miriam, Villaverde Valentin, *Terrestrial laser scanning and close-range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study*, „Journal of Archaeological Science” 2010, t. 37, nr 3.
- Lietuvos architektūros istorija*, t. 2: *Nuo XVII a. pradžios iki XIX a. vidurio*, red. Klemensas Čerbulėnas, Algė Jankevičienė, Vilnius 1994.
- Lietuvos TSR istorijos ir kultūros paminklų sąvadas*, t. 1: *Vilnius*, Vilnius 1988.
- Teppati Losè Lorenzo, Spreafico Alessandra, Chiabrandò Filiberto, Tonolo Fabio Giulio, *Apple LiDAR Sensor for 3D Surveying: Tests and Results in the Cultural Heritage Domain*, „Remote Sensing” 2022, t. 14, nr 4157.
- Vosselman George, Maas Hans-Gerd, *Airborne and terrestrial laser scanning*, [Whittles Publishing] 2010.
- Welc Fabian, Łyczak Monika, Drażkowska Anna, *Kompleksowe rozpoznanie metodą georadarową (GPR) wnętrza bazyliki franciszkanów w Krakowie*, [w:] *Kryptogrobowe kościoła pw. św. Franciszka z Asyżu w Krakowie w świetle badań interdyscyplinarnych*, t. 1, red. Anna Drażkowska, Toruń 2020.
- Welc Fabian, Nebelsick Louis, Wach Dariusz, *The first Neolithic roundel discovered in Poland reinterpreted with the application of the geophysical Amplitude Data Comparison (ADC) method*, „Archaeological Prospection” 2019, t. 26, nr 4.
- Welc Fabian, Rabiega Kamil, Brzostowska Izabella, Wagner Adam, *From field survey to 3D model – application of Ground – Penetrating Radar for studies of historical architecture: a case study of the Wyszyna castle in Poland*, „International Journal of Conservation Science” 2022, t. 13, nr 3.
- Wiewióra Marcin, Misiewicz Krzysztof, Wasik Bogusz, Małkowski Wiesław, *Przedzamcze zachodnie zamku w Kowalewie Pomorskim w świetle badań nieinwazyjnych i archeologiczno-architektonicznych*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2017, nr 51.
- Wileńska architektura sakralna doby baroku. Dewastacja i restauracja*, red. i oprac. Andrea Langer, Dietmar Popp, Warszawa 2005.

<sup>1</sup> Autorzy pragną podziękować Narodowemu Instytutowi Polskiego Dziedzictwa Kulturowego za Granicą POLONIKA, który sfinansował prezentowane w artykule badania. Podziękowania kierujemy także do opiekuna świątyni ks. proboszcza Szymona Wikło.

<sup>2</sup> Skromne, przede wszystkim katalogowe wzmianki na temat architektury kościoła, znajdują się m.in. w: *Lietuvos TSR* 1988, s. 138–140; *Lietuvos architektūros* 1994, s. 106–109; *Wileńska architektura* 2005, s. 124–125. Należy wskazać także artykuł dotyczący całego kompleksu zabudowań klasztornych: Jankevičienė, Samukienė 1988, s. 23–34. Dla kościoła i klasztoru Dominikanów, wznoszonego etapami od początku XVI w., do tej pory nie wykonano współczesnych pomiarów. W IS PAN są przechowywane plany kościoła sporządzone jeszcze przez Piotra Bohdziewiczza, a w archiwum litewskiego Kultūros paveldo departamentas znajdują się plany z przełomu lat 70. i 80. XX w. W pierwszym półroczu 2023 r. staraniem Instytutu POLONIKA podjęte zostały prace związane z pomiarem świątyni (zob. przyp. 7).

<sup>3</sup> Na długo przed przyjęciem chrztu w obrządku zachodnim w Wilnie obecni byli duchowni prawosławni posługujący w cerkwiach: św. Paraskiewy (Piątnicka), św. Mikołaja (Przeniesienia Relikwii), Świętej Trójcy i Przczystej Bogurodzicy, jakie były położone we wschodniej części miasta (*civitas Ruthenica*). Powstały one dzięki przychylności Olgierda (przed 1300–1377, książę od 1345) i jego kolejnych żon: Marii/Anny (ślub ok. 1323, zm. 1347/przed 1349),

księżniczki witebskiej, oraz Julianny, księżniczki twerskiej (zm. 1392), zob. Jonaitis 2011, s. 110, 112–125; Baronas 2014, s. 67; Baronas, Rowell 2015, s. 26, 282, tabl. III.

<sup>4</sup> Dominikanie, obok franciszkanów, byli obecni w Wilnie jeszcze w czasach Gedymina (ok. 1275–1341, wielki książę od 1315/16), służąc m.in. jako sekretarze na dworze wielkksiążęcy, zob. Jonaitis 2011, s. 114; Baronas 2014, s. 66; Baronas, Rowell 2015, s. 120–121, 124, 135–136; Frost 2018, s. 62, 119–120, 127, 260–261.

<sup>5</sup> Jasieńko *et al.* 2008; Bednarz *et al.* 2016; Bednarz *et al.* 2021; Ćmielewski *et al.* 2021.

<sup>6</sup> Wiewióra *et al.* 2017; Welc *et al.* 2022.

<sup>7</sup> Prof. ucz. dr hab. Fabian Welc z Instytutu Archeologii wraz ze współpracownikiem Jarosławem Dąbrowskim oraz prof. ucz. dr hab. Anną Sylwią Czyż z Instytutu Historii Sztuki. Prace sfinansował Instytut POLONIKA. Kontynuacja prac miała miejsce w grudniu 2022 r., kiedy to firma Geometric sp. z o.o. wykonała skanowanie kościoła, na podstawie którego powstanie chmura punktów w naturalnych kolorach RGB, obejmująca całą kubaturę obiektu. W przyszłości powstanie także fotorealistyczny model 3D budynku oraz modele wszystkich ołtarzy, ortofotoplany wnętrza i elewacji. Prace te są również finansowane przez Instytut POLONIKA. Kolejnym etapem prac będą kwerendy archiwalne oraz analizy architektury, wystroju i wyposażenia świątyni wraz z ustaleniem programu ideowego oraz miejsca na dawnej duchowej i artystycznej mapie Wilna.

- <sup>8</sup> Wykonawcą skanowania laserowego był mgr Jarosław Dąbrowski, archeolog specjalizujący się w nieinwazyjnej dokumentacji zabytków architektury za pomocą fotogrametrii i skaningu laserowego.
- <sup>9</sup> Niestety producent nie podaje dokładnej specyfikacji czujnika LIDAR zastosowanego w urządzeniach iPhone 12 pro, zob. [https://support.apple.com/kb/SP831?locale=pl\\_PL](https://support.apple.com/kb/SP831?locale=pl_PL) [dostęp: 10 X 2022]. Wiadomo jedynie, że urządzenie jest wyposażone fabrycznie w trzy tylne kamery RGB 12 MP, aparat szerokokątny, ultraszerokokątny i z zoomem, czujnik LiDAR – oraz nowego typu – półprzewodnikowy LiDAR (SSL), którego deklarowany zasięg wynosi 5 m, a dokładność, jak zostało to wykazane praktycznie, można szacować na  $\pm 3$  cm w poziomie i  $\pm 7$  mm w pionie, osiągając jednocześnie dokładność względną  $\pm 3$  cm, zob. Teppati Losè *et al.* 2022; <https://conferences.lib.unb.ca/index.php/tcr/article/view/645> [dostęp: 10.10.2022].
- <sup>10</sup> Developer Apple, [https://developer.apple.com/documentation/arkit/arkit\\_in\\_ios/content\\_anchors/visualizing\\_and\\_interacting\\_with\\_a\\_reconstructed\\_scene](https://developer.apple.com/documentation/arkit/arkit_in_ios/content_anchors/visualizing_and_interacting_with_a_reconstructed_scene) [dostęp: 10 X 2023].
- <sup>11</sup> Polycam, <https://poly.cam/> [dostęp: 10 X 2023].
- <sup>12</sup> Daniel Girardeau-Montaut, <https://www.danielgm.net/cc/> [dostęp: 10 X 2023].
- <sup>13</sup> Na temat metodyki pomiarów georadarowych na obszarze obiektów zabytkowych i stanowisk archeologicznych zob. m.in.: Conyers 2013; Welc *et al.* 2019; Welc *et al.* 2020; Welc *et al.* 2022.
- <sup>14</sup> Pod tym pojęciem w europejskiej architekturze sakralnej rozumie się pomieszczenie lub ciąg pomieszczeń połączonych korytarzami, całkowicie lub częściowo posadowionych w gruncie, ze ścianami wzniesionymi z cegły lub kamienia, przykrytych sklepieniem.
- <sup>15</sup> Obszar pracy georadaru jest niemożliwy w partii wschodniej ze względu na trwale ustawione zabytkowe ołtarze, stalle i przegrody.
- <sup>16</sup> Odpowiedź na tak postawione pytanie okazała się pozytywna, ale najpierw należy uprzątnąć poziom  $-1$  podziemi. Pierwsze prace porządkowe podjęli w nich w 1934 r. studenci Uniwersytetu Stefana Batorego. Ponownie podziemia były porządkowane po II wojnie światowej, kiedy przynajmniej częściowo zostały udostępnione zwiedzającym. Obecnie są zamknięte, ale istnieje pałaca potrzeba ich uporządkowania, z koniecznością pochówków pozostawionych tam ok. 20–25 z mumifikowanych ciał dorosłych i dzieci, a także szczątków kostnych. Zabezpieczenia wymagają także drewniane trumny, na których częściowo zachowały się płócienne obicie, metalowe nity, a także kocioł na wnętrzności pod jedną z kaplic grobowych Pocijów. Podobna uwaga dotyczy fragmentów strojów, z których część można datować na XVIII w.
- <sup>17</sup> W tym kontekście jasne stają się wezwania ołtarzy w tej części kościoła związane ze staropolskim *ars moriendi*.
- <sup>18</sup> Zgodnie z tradycją uważa się, że pod kościołem znajdują się unikatowe w skali całej Litwy rozległe, wielokondygnacyjne podziemia, w których spoczywa nawet kilka tysięcy zmarłych (tzw. wileńskie królestwo zmarłych). Kontekst dla tych obszernych podziemi tworzą przestrzenie kościoła Jezuitów pw. św. Kazimierza, Karmelitów Bosych pw. św. Teresy czy o średniowiecznych metrykach wileńskie świątynie Franciszkanów i Bernardynów. We wskazanych występuje jednak jeden poziom podziemi.
- <sup>19</sup> Opisane powyżej pomieszczenie ze schodami w północno-wschodnim narożniku podziemi.
- <sup>20</sup> Te same uwarunkowania występują dla poligonów 3–4.
- <sup>21</sup> Klasztor, konglomerat budynków, od końca lat 90. XX w. w większej części znajduje się w stanie ruiny. Wpływ na to ma przede wszystkim fakt współdzielonej własności. Budynki będące w relatywnie najlepszym stanie znajdują się w rękach polskiej parafii funkcjonującej przy świątyni podominikańskiej od czasów powojennych. Właścicielem pozostałych jest wileńska kuria.

## Streszczenie

Celem pierwszych nieinwazyjnych badań – pomiarów geofizycznych i skanowań laserowych w technice LIDAR – przeprowadzonych wewnątrz kościoła wileńskiego było wstępne rozpoznanie struktury podziemi i ich powiązanie z częścią nadziemną. Wykonanie ponad 200 profilowań w obrębie kilku poligonów pomiarowych o zróżnicowanych rozmiarach i lokalizacji potwierdziło obecność dwukondygnacyjnych podziemi. Na całej przebadanej powierzchni, tuż poniżej posadzki, widoczne są liczne punktowe strefy wzmocnienia sygnału, które należy wiązać z posadowieniem płytek ceramicznej podłogi. Na poziomie około 0,5 m poniżej poziomu gruntu, w centralnej części kościoła na uzyskanych obrazach GPR widoczny jest podział na poprzecznie rozdzielone segmenty, które odpowiadają przejściu fali EM przez sklepienia centralnego pomieszczenia wspartego na filarach, które zadokumentowano skanowaniem laserowym w formie modelu 3D.

## Abstract

The objective of the first non-invasive research—a geophysical survey and laser scan using LIDAR technology—performed in the church in Vilnius was to initially explore the underground structures and map them to the overground part of the building. Over 200 profiles obtained in a few measuring polygons of various sizes and locations confirmed the presence of two-levelled crypts. On the entire surveyed surface, just below the floor surface, there are numerous points of signal amplification zones, which should be associated with the fixing of ceramic floor tiles. At approx. 0.50 m below the ground level, in the central part of the church, the GPR images show a division into transversely separated segments which correlate with the passage of the EM wave through the vaults of the central room supported by columns. It was documented by laser scanning in the form of a 3D model.