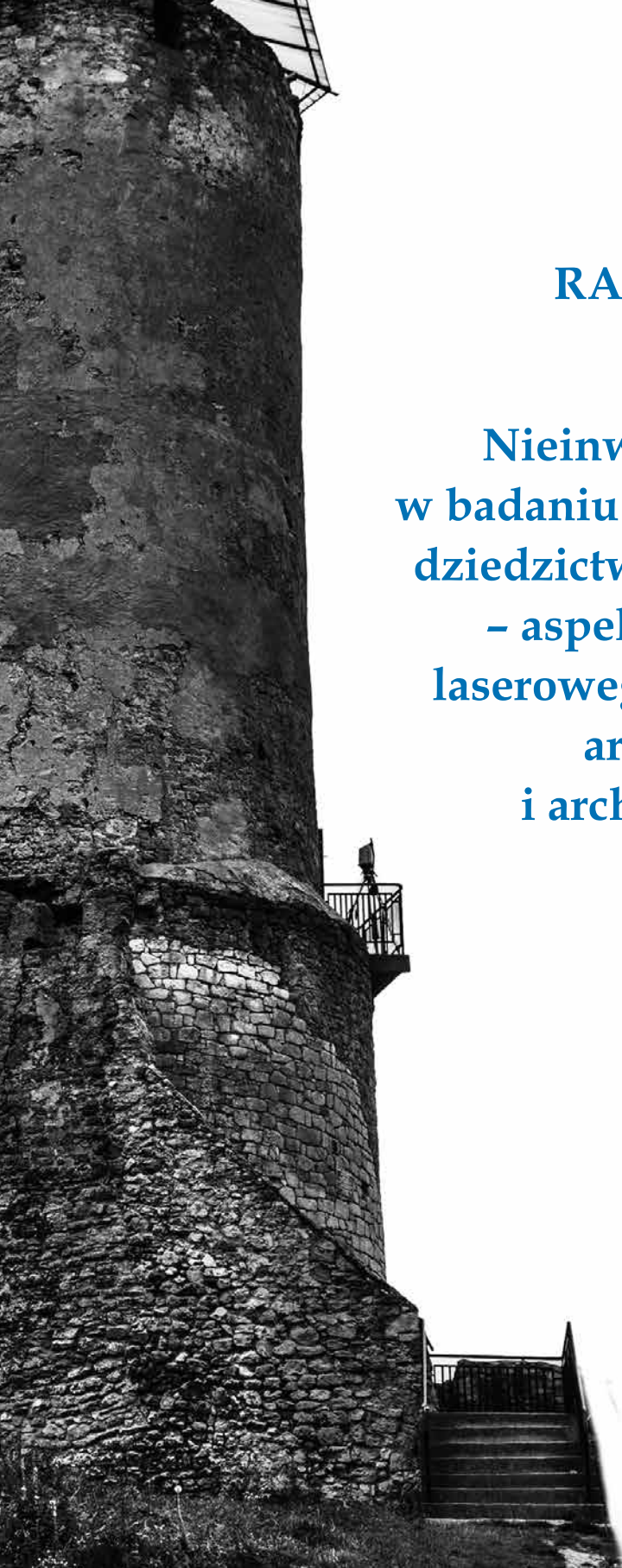




RAFAŁ ZAPŁATA

Nieinwazyjne metody
w badaniu i dokumentacji
dziedzictwa kulturowego
– aspekty skanowania
laserowego w badaniach
archeologicznych
i architektonicznych

Warszawa 2013

**Nieinwazyjne metody w badaniu
i dokumentacji dziedzictwa
kulturowego – aspekty skanowania
laserowego w badaniach
archeologicznych i architektonicznych**

**Nieinwazyjne metody w badaniu
i dokumentacji dziedzictwa
kulturowego – aspekty skanowania
laserowego w badaniach
archeologicznych i architektonicznych**

Rafał Zapłata



Fundacja
HEREDITAS

Warszawa 2013

Recenzent:
PROF. DR HAB. ZBIGNIEW BANIA

Projekt okładki
MAGDALENA BARAŃSKA, RAFAŁ ZAPŁATA

Opracowanie graficzne i skład
MAGDALENA BARAŃSKA

Korekta
MONIKA WILCZYŃSKA



NARODOWY PROGRAM
ROZWOJU HUMANISTYKI

Praca naukowa finansowana w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego
pod nazwą „Narodowy Program Rozwoju Humanistyki” w latach 2012-2015

© Copyright by Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

© Copyright by Rafał Zapłata

Wszelkie prawa zastrzeżone. Całość ani żadna część niniejszej książki
nie może być reprodukowana bez pisemnej zgody autora.

Wydanie pierwsze

ISBN 978-83-931723-8-2

Wydawca: Fundacja HEREDITAS

Na okładce: wieża Zamku Biskupów Krakowskich w Ilży (Oprac. R. Zapłata)

Spis treści

<i>Przedmowa</i>	7
<i>Wstęp</i>	9
<i>Uwagi wprowadzające</i>	10
<i>Podstawowe pojęcia</i>	12
<i>Cel i zakres pracy</i>	15
<i>Układ pracy</i>	20
 1. <i>Nieinwazyjne metody badania i dokumentacji dziedzictwa kulturowego</i>	23
1.1. <i>Wprowadzenie</i>	25
1.2. <i>Metody nieinwazyjne i teledetekcja w rozpoznawaniu, badaniu i ochronie zabytków</i>	27
1.3. <i>Digitalizacja dziedzictwa kulturowego</i>	41
1.4. <i>Podsumowanie</i>	45
 2. <i>Naziemne skanowanie laserowe</i>	47
2.1. <i>Wprowadzenie</i>	49
2.2. <i>Skanowanie naziemne – ogólne zagadnienia</i>	51
2.3. <i>Bezdotykowy pomiar przestrzenny jako element dokumentacji w badaniach dziedzictwa kulturowego in situ</i>	68
2.3.1. <i>Przykładowe zastosowania TLS w badaniach archeologiczno-architektonicznych – rys historyczny</i>	72
2.3.2. <i>Wybrane zagadnienia w zakresie norm i zaleceń – inwentaryzacja i dokumentacja</i>	82
2.3.3. <i>Intensywność odbicia wiązki lasera – czwarty wymiar naziemnego skanowania laserowego</i>	94
2.4. <i>Podsumowanie</i>	104
 3. <i>Zabytkowa architektura – ruina zamku w Iłży i TLS</i>	111
3.1. <i>Wprowadzenie</i>	113
3.2. <i>Dziedzictwo architektoniczne – ruina zamku w Iłży: dzieje, stan obecny i historia badań</i>	116

3.2.1. Przekrojowa historia zamku w Iłży	118
3.2.2. Zarys historii badań	126
3.2.3. Stan obecny obiektu	135
3.3. Nasiemne pomiary laserowe ruiny zamku w Iłży	138
3.3.1. Zagadnienia metodyczne i parametry pomiarów – ogólna charakterystyka	139
3.3.2. Intensywność odbicia wiązki lasera a ruina zamku w Iłży	143
3.3.3. Pomiar przestrzenny – 3D ruiny zamku w Iłży – wybrane rezultaty badań	167
3.4. Podsumowanie	174
4. Lotnicze skanowanie laserowe	187
4.1. Wprowadzenie	189
4.2. Lotnicze skanowanie laserowe – zasada działania	190
4.3. Analiza i przetwarzanie danych ALS	197
4.3.1. Pomiary przestrzenne 3D	199
4.3.2. Czwarty wymiar ALS – intensywność odbicia wiązki lasera	202
4.3.3. Przetwarzanie i analiza geodanych	214
4.4. ALS na rzecz dziedzictwa kulturowego – rys historyczny	218
4.5. Lotnicze skanowanie laserowe w badaniu dziedzictwa kulturowego – prospekcja i inwentaryzacja	226
4.6. Podsumowanie	236
5. Przykłady detekcji i analizy dziedzictwa kulturowego w świetle ALS	241
5.1. Wprowadzenie	243
5.2. Dziedzictwo archeologiczno-przemysłowe – zespół mielerzy z okolic Seredzie	248
5.2.1. Badania i ogólna charakterystyka obiektów zabytkowych – okolice Seredzie	249
5.2.2. Mielerze w świetle wybranych przekazów źródłowych	254
5.2.3. Mielerze i ALS	257
5.3. Dziedzictwo architektoniczne i elementy krajobrazu – przykłady zastosowania ALS i geoinformacji	268
5.4. Podsumowanie	284
Zakończenie	293
Bibliografia	301
Aneks	351
Summary	371

Przedmowa

Wkraczanie na nowe i nieznane obszary badawcze stanowi niezbędny element w rozwoju nauki, a łączenie metod i wiedzy z różnych dyscyplin generuje zjawiska oraz sytuacje, które poszerzając horyzonty poznawcze, wprowadzają zarazem nową jakość do badań. Wyjście poza granice własnej dyscypliny stanowi zawsze krok w stronę „nieznanego”, stwarzając szansę na poprawę i przeformułowanie dotychczasowych praktyk badawczych. W taki właśnie sposób postrzegam połączenie omawianych w pracy metod nieinwazyjnych z zagadnieniami dziedzictwa kulturowego. Inspiracja do napisania pracy zrodziła się z zainteresowań wynikłych w ramach prowadzonych badań własnych, a także z potrzeby omówienia nowych i dynamicznie rozwijających się zagadnień, które wnoszą nową jakość, i co istotne, dają zaskakujące rezultaty w badaniu, ochronie i dokumentacji dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego.

Zainteresowanie się zagadnieniami zastosowania nowoczesnych technologii w badaniach i dokumentacji dziedzictwa kulturowego zawdzięczam inspirującemu wpływowi wielu osób, które zawsze skłaniały się do podejmowania działań nowatorskich, na „dziewiczych” polach, przez co często ryzykownych, będąc jednocześnie wiernymi zasadom, które rozwijają naukę: poszerzania horyzontów poznawczych, przełamywania stereotypów, poszanowania tradycji i doświadczeń minionych pokoleń naukowców. Nie bez znaczenia w moim życiu naukowym były liczne dyskusje, spotkania i wymiana poglądów z osobami skupionymi wokół „Zakładu Historii i Metodologii Prahistorii” Instytutu Prahistorii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, kierowanego przez Panią Profesor Danutę Minta-Tworzowską, które w moim przypadku zawsze owocowały cenną, często krytyczną refleksją nad badaniami i podejmowanymi przeze mnie działaniami. Do ukształtowania i określenia działań badawczych, umożliwiających powstanie niniejszej pracy, przyczyniła się również obecność w moim życiu naukowym osób związanych z Uniwersytetem Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie. Wiele znaczących i cennych doświadczeń naukowych zawdzięczam także współpracy z Panem Profesorem Bogusławem Gedigą oraz ze środowiskiem wrocławskich naukowców, skupionych przede wszystkim wokół „Zespołu Badań Ratowniczych” Instytutu Archeologii i Etnologii Polskiej Akademii Nauk. Znacząca dla moich badań w zakresie stosowania nowych technologii okazała się również owocna współpraca z Łukaszem Sławikiem i Marcinem Borowskim (MGGP Aero), dzięki którym świat podniebnych pomiarów stał się ważną częścią mojego życia naukowego. Nie bez znaczenia pozostaje dla

mnie także intensywna współpraca z osobami, związanymi z „Zakładem Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej” Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej. Cenne i pouczające są doświadczenia zdobyte w trakcie wieloletniej dydaktyki ze studentkami i studentami Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, które zawsze skłaniały do licznych przemyśleń i spojrzenia na zagadnienia, jakimi się zajmuję, również przez pryzmat potrzeb kolejnego pokolenia naukowców. Niniejsza praca, a także dotychczasowe badania, to szereg odniesień do działań z wieloma osobami, które zainspirowały mnie do określenia kierunku zainteresowań badawczych, wzbogacanych o elementy z pogranicza teledetekcji, geoinformacji czy fotogrametrii.

Intencją przedkładanej książki jest przede wszystkim przybliżenie i omówienie aspektów skanowania laserowego w badaniach terenowych przy obiektach zabytkowych *in situ*. Praca została napisana z punktu widzenia osoby zajmującej się zawodowo przeszłością i zabytkami, zainteresowanej nowoczesnymi technologiami w zakresie badania, rozpoznawania i dokumentowania dziedzictwa kulturowego w nieinwazyjny sposób, a zarazem osoby dostrzegającej w tych narzędziach olbrzymi potencjał, który z perspektywy archeologa, historyka architektury i sztuki, czy konserwatora zabytków rodzi nowe pytania badawcze.

Praca jest wynikiem moich doświadczeń, zdobytych w ciągu kilkunastu lat, w zakresie stosowania metod geoinformacyjnych oraz działań skupionych wokół cyfryzacji dziedzictwa kulturowego, a także rezultatem badań przeprowadzonych w ramach projektu naukowego pt. *Zastosowanie skaningu laserowego oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Opracowanie nieinwazyjnych, cyfrowych metod dokumentacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego*, w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego – Narodowego Programu Rozwoju Humanistyki.

W tym miejscu chciałbym podziękować wszystkim osobom, które poświęciły mi swój czas, dzieliły się cennymi uwagami, a zarazem wspierały w trudnych chwilach. Najbliższym i Przyjaciołom dziękuję za wsparcie. Anicie i Jaśkowi dziękuję za cierpliwość i wyrozumiałość.

Warszawa, grudzień 2013 r.

Wstep

Uwagi wprowadzające

Przy aplikacji nowych rozwiązań technologicznych do badań archeologiczno-architektonicznych oraz do działań na rzecz szeroko rozumianego dziedzictwa kulturowego, w tym krajobrazu kulturowego oraz przestrzeni historycznej, u podstaw pojawiają się pytania dotyczące celu oraz argumentów na rzecz poszerzania warsztatu narzędziowego. Postępem w procesie dokumentowania kieruje m.in. potrzeba jak najdokładniejszego oraz niezawyjnego pomiaru obiektów zabytkowych. W ostatnich dekadach odpowiedzią na takie zapotrzebowanie w środowiskach historyków architektury, archeologów, historyków sztuki czy konserwatorów są też technologie skanowania naziemnego i lotniczego, które gwarantują wysoką jakość rejestrowanych danych, szybkość oraz bezdotykowość pomiarów. Rozwój technologiczny, poza ciągłą modyfikacją sprzętu, która jest oczekiwanym elementem w działaniach na rzecz dziedzictwa kulturowego, w tym przypadku częścią procesu jak najwierniejszego odwzorowywania geometrii obiektów zabytkowych, stanowi również źródło inspiracji w poszerzaniu zakresu pytań badawczych oraz możliwości dokumentacyjno-analitycznych i poznawczych. Technologia skanowania laserowego w badaniu dziedzictwa kulturowego stała się – i nadal jest – impulsem do kreowania nowych postaw badawczych, które doprowadziły do nowych odkryć, a więc przyczyniły się przede wszystkim do poszerzenia bazy źródłowej, jak też umożliwiły wpisanie do procesu badawczego nowej jakości analitycznej w odniesieniu do substancji zabytkowej. W Polsce badania konserwatorskie, a zwłaszcza archeologiczne i architektoniczne, stosujące techniki naziemnego oraz lotniczego skanowania laserowego, z jednoczesnym uwzględnieniem parametru intensywności odbicia wiązki lasera, wraz z zaawansowanymi narzędziami przetwarzania danych, znajdują się obecnie w fazie rozwoju i krystalizowania m.in. podstaw metodycznych¹, czego wyrazem jest również niniejsza praca.

Powszechnie stosowany pomiar przestrzenny, także na bazie technologii skanowania laserowego, w ostatnich latach wpisał się na stałe do prac inwentaryzatorsko-dokumentacyjnych, umożliwiając pozyskanie ogromnej

¹ Pyka K., Rzonca A., 2006, *Badanie jakości radiometrycznej ortofotogramów sporządzonych na drodze integracji fotogrametrii bliskiego zasięgu i skaningu laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 16, s. 515-526; Kędzierski M., Zapłata R., Fryškowska A., Wilińska M., Deliś P., 2012, *Metody teledetekcyjne i fotogrametryczne w ochronie, konserwacji i inwentaryzacji zamków w ruinie*, (w:) *Zamki w ruinie – zasady postępowania konserwatorskiego*, Szmygin B., Molski P. (red.), Warszawa – Lublin, s. 147-158; Zapłata R., Zawieska D., Markiewicz J., 2013, *Integracja danych naziemnego skaningu laserowego i obrazów cyfrowych w badaniach archeologiczno-architektonicznych*, [referat wygłoszony na międzynarodowej konferencji pt. „Measurement Technologies in Surveying”, 23-25 maja 2013 r.], Warszawa [maszynopis/wersja elektroniczna w archiwum UKSW].

ilości dokładnych danych, które z jednej strony stanowią zapis geometrii obiektów zabytkowych, z drugiej natomiast zasób umożliwiający m.in. prace diagnostyczno-analityczne związane z obiektem, nieniszczące modelowanie i symulowanie zjawisk, nieinwazyjną rekonstrukcję i wizualizację zabytków, czy też zarządzanie dziedzictwem kulturowym (w postaci cyfrowej) oraz promocję i popularyzację, która nie byłaby możliwa (w określonej formie) bez omawianych narzędzi. Bezdotykowy pomiar przestrzenny obiektów zabytkowych, wraz z rejestracją danych radiometrycznych substancji zabytkowej, oparte na technologii skanowania oraz rejestracji obrazowej, są obecnie najdokładniejszymi metodami pomiarowymi w pracach archeologiczno-architektonicznych i konserwatorskich. Pomiar przestrzenny (lotnicze skanowanie laserowe – akronim ALS od ang. *Airborne Laser Scanning* oraz naziemne skanowanie laserowe – akronim TLS od ang. *Terrestrial Laser Scanning*) traktowany jest stopniowo jako podstawa inwentaryzacji obiektów zabytkowych, a zarazem jako punkt wyjścia do rozpoznawania zasobów dziedzictwa kulturowego oraz ich stanu zachowania.

W kontekście rozwoju nowych technologii pomiarowych, środowiska i instytucje zaangażowane w badanie i ochronę dziedzictwa kulturowego stanęły w obliczu jeszcze bardziej rozwiniętego procesu generowania dużej ilości danych przez podmioty i działania niezwiązane z zabytkami, które to dane stanowią zasób o ogromnym potencjale badawczym (np. zasoby ISOK – akronim od Informatyczny System Ośłony Kraju). Zatem obok celowych działań z zastosowaniem nowoczesnych technologii pomiarowych w ramach badania dziedzictwa kulturowego, różnorodne przedsięwzięcia oferują obecnie zasób danych, zbieranych niezależnie, przyczyniając się do modyfikacji działań i zmiany sposobu uprawiania badań na rzecz dziedzictwa kulturowego. Sytuacja ta zmusza do przeformułowania sposobu postępowania naukowego, modyfikacji metodyki badawczej, a zarazem do szerszej i intensywniejszej współpracy transdyscyplinarnej. Odkrycie naukowe w badaniach nad dziedzictwem kulturowym, a więc w naukach humanistycznych, a także naukach technicznych (zabytki architektury), staje się dziś w dużym stopniu uzależnione od znajomości nowoczesnych narzędzi badawczych i ich możliwości analitycznych w pracy z zasobem powstałym na bazie nowoczesnych technologii.

Wątkiem wiodącym poniższej pracy jest technologia skanowania laserowego, zarówno naziemnego, jak i lotniczego, traktowana jako metoda nieinwazyjna w prospekcji, analizie, inwentaryzacji i dokumentacji dziedzictwa kulturowego *in situ*. Generuje ona zasób danych umożliwiający zróżnicowaną analizę substancji zabytkowej, z położeniem nacisku na rejestrację parametru intensywności odbicia wiązki lasera. Skanowanie

laserowe to technologia pomiaru powierzchniowego, w związku z powyższym winna być stosowana do badań i dokumentacji tych zasobów zabytkowych *in situ*, które charakteryzuje przede wszystkim własna forma przestrzenna, w szczególności konstrukcje ziemne, zabytki architektury oraz przemysłu.

Podstawowe pojęcia

Metody nieinwazyjne pojmuję jako szereg metod umożliwiających prospekcję i dokumentację, będących elementem procesu analitycznego w odniesieniu do zasobów kulturowych, bez ingerencji w substancję zabytkową. Dziedzictwo kulturowe natomiast definiowane jest (za Konwencją Rady Europy z Faro) jako: „zbiór zasobów odziedziczonych z przeszłości, które ludzie identyfikują, niezależnie od stanu własności, jako dowód i reprezentację swoich nieustannie ewoluujących wartości, wierzeń, wiedzy i tradycji. Zawiera ono w sobie wszystkie skutki środowiskowe wynikające z interakcji pomiędzy ludźmi a otoczeniem w ciągu dziejów”², które należy rozumieć jako materialny i duchowy dorobek, przekazywany następnym pokoleniom³. Jako takie, jest ono chronione na płaszczyźnie krajowej oraz międzynarodowej, przede wszystkim za pomocą uzgodnionych środków prawnych. Obejmuje ono m.in. dziedzictwo architektoniczne, archeologiczne oraz przemysłowe.

Rozważania skupiają się głównie wokół metod, a tym samym pojęć wchodzących w zakres teledetekcji, geoinformacji i technologii cyfrowych, a więc i skanowania laserowego, które są pojmowane ogólnie jako narzędzia elektroniczne (wraz z danymi) generujące, przetwarzające, udostępniające i archiwizujące zasoby cyfrowe. Teledetekcja to metody zdalnego, bezdotykowego pozyskiwania informacji o obiektach i zjawiskach, gdzie badany obiekt nie wchodzi w bezpośredni kontakt z badającym sensorem, a więc wiążą się z „pomiarem właściwości obiektów bez fizycznego kontaktu z nimi”⁴, natomiast systemy geoinformatyczne (wymienne określane w pracy jako Systemy Informacji Przestrzennej – akronim SIP lub jako GIS – akronim od ang. *Geographic Information Systems*) to zestaw sprzętu,

² Affelt W., 2009, *Stocznia Gdańska – rewitalizacja pamięci czy obiektu*, (w:) *Dziedzictwo postindustrialne i jego kulturotwórcza rola*, (red.) Januszewski S., Warszawa, s. 27-77 (5).

³ Przyborowska-Klimczak A., 2010, *Międzynarodowa współpraca w dziedzinie ochrony dziedzictwa kulturalnego*, (w:) *Prawna ochrona zabytków*, (red.) T. Gardowska, J. Sobczak, Toruń, s. 38-40.

⁴ Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W., 2006, *GIS. Teoria i praktyka*, (red.) A. Mag-nuszewski, przeł. M. Lenartowicz, A. Magnuszewski, P. Werner, D. Woronko, Warszawa, 47.

oprogramowania, danych, procedur (zasad) i użytkowników, służący generowaniu, przechowywaniu, analizowaniu, edytowaniu, udostępnianiu oraz wizualizowaniu informacji przestrzennych⁵. W kontekście zagadnień związanych z dokumentacją – inwentaryzacją zabytków architektury i technologii cyfrowych, kolejnymi pojęciami związanymi z tematem są również: projektowanie wspomagane komputerowo (akronim CAD od ang. *Computer Aided Design*), projektowanie architektoniczne wspomagane komputerowo (CAAD akronim od ang. *Computer Aided Architectural Design*) oraz inżynieria odwrotna (ang. *reverse engineering*).⁶

Naziemne skanowanie laserowe – TLS (akronim od ang. *Terrestrial Laser Scanning*), wymiennie określane w pracy akronimem NSL (Naziemne Skanowanie Laserowe), to najogólniej wyznaczanie (z pułapu naziemnego) położenia przestrzennego elementów wektorowych, opisujących geometrię mierzonego obiektu, z przypisaniem im wartości radiometrycznych. Rejestrowane wartości to „punkty o współrzędnych przestrzennych XYZ tworzące tzw. chmurę punktów lub wygenerowane trójkąty w postaci sieci nieregularnej (ang. TIN – *triangular irregular net*) opisujące kształt mierzonej powierzchni. (...). Oprócz pomiaru położenia punktu, skanery posiadają możliwość rejestracji odcienia szarości lub koloru i przypisywania go właściwemu punktowi chmury. Stopień szarości piksela jest funkcją intensywności promieniowania powracającego do skanera, odbitego od obiektu w momencie pomiaru”⁷. Natomiast ALS (akronim ang. *Airborn Laser Scanning*), wymiennie określane jako LSL (Lotnicze Skanowanie Laserowe lub jako lotniczy LIDAR – akronim od ang. *Light Detection and Ranging*), rozumiane jest jako wyżej opisany proces wyznaczania przestrzennego położenia elementów, ale z pułapu lotniczego. Z uwagi na zasadę działania

⁵ Zwoliński Z., 2009, *Rozwój myśli geoinformacyjnej*, (w:) *GIS platforma integracyjna geografii*, (red.) Z. Zwoliński, Poznań, s. 9-21;

⁶ Wrona S. K., 1986, *The profits of CAAD can be increased by an integrated participatory design approach*, [in:] *Computer-Aided Architectural Design Futures* [CAAD Futures Conference Proceedings], pp. 53-57 – <http://cuminacad.architecture.net/system/files/pdf/82ab.content.pdf>; Chodorowski F., 1999, *Inwentaryzacja architektoniczna od Villarda de Honnecourt do komputerowego wspomagania*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Architektura”, z. 18, s. 79-103; Wyleżoł M., 2006, *Inżynieria odwrotna w doskonaleniu konstrukcji*, „Modelowanie Inżynierskie”, 32, s. 485-490; Dzienis P., Łukaszewicz A., 2011, *Przygotowanie danych CAD w procesie inżynierii odwrotnej w rzeźbiarstwie*, „Postępy Nauki i Techniki”, nr 7, s. 133-140.

⁷ Boroń A., Rzońca A., Wróbel A., 2007, *Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków*, „Rocznik Geomatyki”, t. V, z. 8, s. 129-140 (133); Baranowski P., Czajkowski K., Gładki M., Morysiński T., Rzońca A., Szambelan R., 2005, *Polish experience with advanced digital heritage recording methodology, including 3D laser scanning, CAD and GIS application, as the most accurate and flexible response for archeology and conservation needs at Jan III Sobieski's residence in Wilanów (Warsaw)*. VI International Congress on Laser in the Conservation of Artworks, (w:) *Lasers in the Conservation of Artworks. LACONA VI Proceedings, Vienna, Austria, Sept. 21–25, 2005*, Series: Springer Proceedings in Physics, Vol. 116 (red.) J. Nimmrichter, W. Kautek, M. Schreiner, Wiedeń, s. 513-521.

urządzeń, wykonywanie pomiarów bezdotykowych z dwóch różnych pułapów (naziemnego i lotniczego), dokonano w pracy zestawienia tych metod, z uwzględnieniem specyfiki każdej z nich.

Przywołane i omawiane w pracy narzędzia wtórnego przetwarzania i analizowania geodanych, to część zbioru aplikacji geoinformatycznych, umożliwiających rozpoznawanie, dokumentację oraz wzajemną weryfikację dokonanych detekcji, zwłaszcza w odniesieniu do danych ALS. Są to przede wszystkim: (1) analiza cieniowania zboczy (ang. *hillshading*; *shaded relief*), w tym wielokierunkowego cieniowania zboczy (ang. *hill-shading from multiple directions* – HS); (2) analiza przetwarzania powierzchni NMT (akronim od Numeryczny Model Terenu) na bazie symulacji rozproszonego oświetlenia (ang. *calculation of visible sky*; *sky view factor* – SVF); (3) analiza głównych składowych (ang. *principal component analysis* – PCA); (4) metoda przetwarzania danych w oparciu o filtr Laplacian (ang. *Laplacian filter* – LF); (5) technika przetwarzania NMT – tzw. lokalny model terenu (ang. *local relief model* – LRM)⁸.

Trzecim, obok pomiaru przestrzennego i przetwarzania na bazie skanowania laserowego, zagadnieniem wiodącym w pracy jest intensywność odbicia powracającej wiązki lasera (ang. *intensity*), określana również jako refleksyjność, rozumiana jako „moc sygnału powracającego do obiektywu lasera”⁹, innymi słowy jako „stosunek ilości promieniowania rozproszonego w kierunku nadajnika do promieniowania wyemitowanego”, dla wiązki o określonej długości fali elektromagnetycznej, przy określonym kącie padania na powierzchnię obiektu skanowanego¹⁰. Podstawą tego zjawiska jest zasada dotycząca interakcji ciał – obiektów z impulsami elektromagnetycznymi, w wyniku której promieniowanie elektromagnetyczne jest transmitowane, absorbowane (pochłanianie fali elektromagnetycznej) lub odbijane (i tym samym rozpraszane). I właśnie promieniowanie elektromagnetyczne, które jest odbijane od powierzchni, może być w pewnym zakresie

⁸ Za SAGA – Bochner J., Antonic O., 2009, *Land-surface parameters specific to topo-climatology*, (w.): *Geomorphometry – concepts, software, applications. Developments in Soil Science*, vol. 33, (red.) T. Hengl, H. Reuter, Amsterdam, s. 195-226; Hantzschel J., Goldberg V., Bernhofer C., 2005, *GIS-based regionalisation of radiation, temperature and coupling measures in complex terrain for low mountain ranges*, „Meteorological Applications”, vol. 12, issue 1, s. 33-42; Oke T. R., 2000, *Boundary layer climates*, New York.

⁹ Pyka K., Rzonca A., 2006, *Badanie jakości radiometrycznej ortofotogramów sporządzonych na drodze integracji fotogrametrii bliskiego zasięgu i skaningu laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 16, s. 515-526 (517).

¹⁰ Pawleta M., Igielska A., 2009, *Analiza dokładności wybranych modeli naziemnych skanerów laserowych firmy Zoller+Fröhlich GmbH, Kraków* [praca dyplomowa – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie]; Baranowski P. et al, 2005, s. 22.

rejestrowane i mierzone¹¹. Dodajmy, że intensywność odbicia stanowi parametr, który może być uwzględniany w prospekcji i dokumentacji zasobów kulturowych, na poziomie pomiaru naziemnego (np. przy obiektach architektury murowanej) oraz lotniczego (np. w odniesieniu do obiektów archeologicznych i powierzchni zabytkowych), co jest jednym z powodów łącznej prezentacji w pracy obu technologii skanowania laserowego. Najogólniej metoda skanowania laserowego, wraz z zapisem intensywności odbicia wiązki lasera, polega na rejestracji w/w parametru i jego przetworzeniu na obraz widzialny (obraz intensywności – ang. *intensity image*). Metoda ta może służyć np. do (1) detekcji i dokumentowania obiektów archeologicznych i architektonicznych (lotnicze skanowanie laserowe) oraz do (2) detekcji i dokumentowania zróżnicowania powierzchniowego zabytków budownictwa i architektury oraz jednostek stratyfikacji (naziemne skanowanie laserowe). Warto podkreślić, że rezultatem rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera są dane z zapisaną wartością radiometryczną (niemianowaną) oraz obrazy powierzchni (obrazy nieciągłe), które stanowią kolejny zbiór danych o obiektach, obok danych przestrzennych.

Zagadnieniem związanym bezpośrednio ze skanowaniem jest digitalizacja, określana również mianem cyfryzacji, traktowana za Grzegorzem Płoszajskim jako proces polegający na tworzeniu cyfrowych odwzorowań obiektów źródłowych wraz z odpowiednim opisem informacyjnym, a więc jest to proces przetwarzania fizycznej jednostki bibliotecznej, archiwalnej, muzealnej czy też zabytkowej lub jej części na postać cyfrową¹².

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest zestawienie i omówienie aspektów nieinwazyjnego badania oraz dokumentowania dziedzictwa kulturowego, ze szczególnym uwzględnieniem technologii skanowania naziemnego i lotniczego, stanowiących komplementarny element współczesnych badań architektonicznych, archeologicznych i konserwatorskich. Celem pośrednim pracy jest podkreślenie potencjału, a także zwrócenie uwagi na nowe kierunki aplikacji i dalszych badań omawianych metod. Praca, obok charakterystyki metod nieinwazyjnych, skupia się na (1) omówieniu metodyki postępowania

¹¹ Franceschi M., 2009, *Application of terrestrial laser scanner to cyclostratigraphy*, Padova [praca doktorska – Università degli Studi di Padova] – <http://paduaresearch.cab.unipd.it/1659/1/FRANCESCHI.pdf>, s. viii-xii.

¹² Płoszajski G. (red.), 2008, *Standardy w procesie digitalizacji obiektów dziedzictwa kulturowego*, Warszawa, s. 15.

badawczego, z uwzględnieniem specyfiki wykonywania prac terenowych i kameralnych podczas badań dziedzictwa kulturowego, w tym badań archeologiczno-architektonicznych, jak również na (2) nakreśleniu aspektów analitycznych, jakie do tych prac wnoszą nowe technologie. Całość jest zestawieniem wybranych zagadnień dotyczących metod nieinwazyjnych, w tym rezultatów ich zastosowania, wraz z wnioskami.

Celem rozdziałów związanych z praktycznym zastosowaniem omawianych technologii jest ukazanie potencjału oraz rezultatów prezentowanych metod w pracach przy wybranych i przykładowych obiektach zabytkowych. W odniesieniu do części aplikacyjnej w rozdziale trzecim stawiana jest teza, że pomiar przestrzenny na bazie TLS (wraz z rejestracją intensywności odbicia wiązki lasera) stanowi podstawę umożliwiającą dodatkową detekcję, klasyfikację i kartometryczną dokumentację zróżnicowania powierzchniowego obiektów architektury murowanej, a także drewnianej oraz jednostek stratyfikacji. W odniesieniu do części aplikacyjnej w rozdziale piątym stawiana jest z kolei teza, że ALS (wraz z rejestracją intensywności odbicia wiązki lasera i w połączeniu z narzędziami wtórnego przetwarzania geodanych, np. filtrami morfologicznymi) stanowi obecnie jedyną metodę umożliwiającą – w sposób nieinwazyjny, obszerny i dokładny – rozpoznanie zasobów dziedzictwa postindustrialnego z obszaru funkcjonowania Staropolskiego Okręgu Przemysłowego (zabytkowych mielerzy – obiektów zabytkowych o deniwelacjach wysokościowych dochodzących nawet do kilkunastu centymetrów), na obszarach zalesionych.

Prezentowane metody – ich możliwości oraz wyniki zastosowania, odnoszą się przede wszystkim do dwóch wybranych i zasadniczych przykładów dziedzictwa kulturowego, mianowicie do zabytkowej architektury murowanej, czyli ruiny zamku w Ilży, oraz do zespołu zabytkowych mielerzy z okolic Seredzie w województwie mazowieckim, stanowiących specyficzny przykład dziedzictwa przemysłowego (archeologicznego). Ruina zamku w Ilży oraz zespół zabytkowych mielerzy są przykładem egzemplifikującym możliwości TLS i ALS w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego.

Omówienie oraz analiza możliwości stosowania, a także użyteczności wymienionych metod odnoszą się głównie do obiektów nieruchomych *in situ* i prowadzone są na dwóch zasadniczych płaszczyznach: (1) bezdotykowego terenowego pomiaru przestrzennego oraz (2) analizy generowanych zasobów. Rozważania oparte są na wybranych przykładach szeroko pojmowanego dziedzictwa kulturowego, z podkreśleniem uniwersalnego charakteru prezentowanych metod, stanowiąc zarazem wynik analizy omawianych zagadnień w oparciu o literaturę przedmiotu, a także powszechnie dostępne informacje na temat urządzeń pomiarowych. W odniesieniu do

części praktycznej (aplikacyjnej) praca bazuje na wynikach badań przeprowadzonych na substancji zabytkowej oraz na wynikach pomiarów wykonanych na próbach – powierzchniach testowych, których rezultaty pozytywnie weryfikują użyteczność omawianych metod w pracach terenowych.

Główna teza rozprawy, w części analitycznej, oparta jest na założeniu, że bezdotykowy pomiar przestrzenny na podstawie skanowania w terenie, poprzez rejestrację intensywności odbicia wiązki lasera, umożliwia: (1) uzupełniające określanie jednostek stratyfikacji i (2) dodatkową segmentację powierzchniową substancji zabytkowej obiektów architektury murowanej, czyli ruiny zamku w Ilży, oraz (3) nieinwazyjną prospekcję dziedzictwa kulturowego w okolicach Seredzic i Ilży. Innymi słowy, problemem stawianym w pracy jest wykazanie możliwości dokonania uzupełniającego opisu i rozróżnienia substancji zabytkowej (na przykładzie wybranych obszarów i obiektów) przede wszystkim na bazie parametru intensywności odbicia wiązki lasera. Wspomniane założenie stanowi przeniesienie idei pojawiających się w literaturze przedmiotu¹³ do studium przypadku, w celu praktycznego zastosowania omawianych metod w nieinwazyjnych badaniach archeologiczno-architektonicznych i w rozpoznawaniu destrukcji powierzchni zabytkowych, wraz z propozycją rozbudowania charakterystyki obiektów zabytkowych o przywołany parametr intensywności. Rejestrowana wartość intensywności odbicia promienia lasera stanowi tym samym podstawę do bezpośredniego i pośredniego wnioskowania o występowaniu zróżnicowania oraz o ogólnym stanie powierzchni oraz warstw podpowierzchniowych zabytków. Inaczej mówiąc, odmienny sposób odbijania promieni świetlnych od zróżnicowanych powierzchni może być cennym źródłem dodatkowych informacji o obiekcie, jak również wspierać detekcję zabytków.

Analiza generowanych zasobów cyfrowych odnosi się do dwóch wiodących zagadnień: (1) rozpoznawania zasobów zabytkowych; (2) klasyfikacji czy też segmentacji dokumentowanej powierzchni obiektu zabytkowego – architektury zabytkowej, a także powierzchni pokrycia terenu, w odniesieniu do dziedzictwa kulturowego. Zasadniczą kwestią poddaną omówieniu jest możliwość włączenia do prac terenowych wymienionych wyżej metod, wraz z bieżącą analizą stanu zachowania obiektów zabytkowych. Dobrany

¹³ Burton D., Dunlap D. B., Wood L. J., Flaig P. P., 2011, *Lidar Intensity as a Remote Sensor of Rock Properties*, „Journal of Sedimentary Research”, vol. 81, no. 5, s. 339-347; Franceschi M., 2009; Armesto-González J., Riveiro-Rodríguez B., González-Aguilera D., Rivas-Brea M. T., 2010, *Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical buildings*, „Journal of Archaeological Science”, vol. 37, issue 12, s. 3037-3047 – <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440310002281>; Bonali E., Pesci A., Casula G., Boschi E., 2013, *Deformation of ancient buildings inferred by Terrestrial Laser Scanning methodology: the Cantalovo church case study (Northern Italy)*, „Archeometry” [preprint] – <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/arc.12028/abstract>.

zestaw przykładowych obiektów umożliwia przekrojowe omówienie stosowania charakteryzowanych metod nieinwazyjnych do dwóch głównych rodzajów obiektów nieruchomych, związanych z dziedzictwem kulturowym: napowierzchniowych, odsłoniętych (np. zabytkowa architektura) oraz wziemnych (nieodsłonięte, zalegające pod ziemią relikty).

Rejestracja intensywności odbicia wiązki lasera jest zagadnieniem niestandardowym w odniesieniu do analizy substancji zabytkowej, które znajduje zastosowanie również w badaniach dziedzictwa kulturowego, wspomagając prace w dwojakiej formie. Po pierwsze, stanowi element uzupełniający i wspierający interpretację substancji zabytkowej, zarówno w odniesieniu do struktur stojących w badaniach architektonicznych, jak też w odniesieniu do warstwowych jednostek stratyfikacji w badaniach archeologiczno-architektonicznych. Po drugie, rejestracja parametrów radiometrycznych to element dodatkowo dokumentujący warunki, jakie panują w trakcie terenowego rozpoznawania, inwentaryzacji i opisywania obiektów zabytkowych.

Naziemne oraz lotnicze skanowanie laserowe są omawiane w pracy rozdzielnie, z uwagi na odmienne warunki wykonywania pomiarów, inną jakość produktów końcowych, różne parametry techniczne, jak również z uwagi na odmienne cele stawiane przed tymi metodami. Warto jednak zauważyć, że istnieje pewien zakres zagadnień, które łączą obie metody, m.in. zasada działania oraz rejestracja danych radiometrycznych.

Co i w jaki sposób dokumentujemy oraz mierzymy za pomocą terenowego skanowania laserowego (naziemnego i lotniczego) w odniesieniu do dziedzictwa kulturowego to wyjściowe pytanie dla podjętych badań. Praca skupia się przede wszystkim na metodach pomiaru, analizy i inwentaryzacji obiektów zabytkowych podczas prac terenowych – obiektów znajdujących się *in situ*, odsyłając do literatury przedmiotu w zakresie stosowania całego zbioru pozostałych metod nieinwazyjnych, zwłaszcza w odniesieniu do obiektów ruchomych i prac gabinetowo-laboratoryjnych. Praca pisana jest z perspektywy działań na rzecz prospekcji, analizy i ochrony dziedzictwa kulturowego – szeroko pojętych działań terenowych, w których dzięki omawianym metodom pojawiają się nowe pytania badawcze oraz wskazane okazuje się przeformułowanie dotychczasowej strategii działań naukowych i konserwatorskich. Rozważania prowadzone są również z perspektywy rysujących się możliwości naukowo-badawczych i konserwatorskich, a więc zapotrzebowań i wyzwań, jakie stawia przed nami współczesność. Propozycja związana z trwałym wpisaniem do warsztatu badawczego charakteryzowanych w pracy metod teledetekcyjnych wiąże się z włączeniem do prac badawczych i konserwatorskich kolejnych narzędzi umożliwiających (rozszerzony) opis i rejestrację środowiska zalegania obiektów zabytkowych, a dokładniej

opis i dokumentację warunków panujących w czasie rejestracji teledetekcyjnej. Pozyskiwane dane, które stanowią wynik rejestracji środowiska występowania materialnych elementów dziedzictwa kulturowego, wraz z rejestracją danych dotyczących samej substancji zabytkowej, dają razem zestaw informacji kierujących działania w stronę pełniejszej charakterystyki wzajemnie na siebie oddziałujących czynników, mających bezpośredni wpływ m.in. na obserwacje i interpretacje w procesie badawczym.

Specyfika prezentowanych metod skłania do podjęcia dyskusji nad przeformulowaniem i modyfikacją terenowych działań archeologiczno-architektonicznych i konserwatorskich, a więc ku zagadnieniom metodycznym oraz ku kwestiom związanym z nową formą zarządzania zasobami dziedzictwa kulturowego. Nowe spektrum działań w badaniach nad dziedzictwem kulturowym otwiera się wraz z aplikacją metod teledetekcyjnych do prac w zakresie zróżnicowanego i kompleksowego badania krajobrazu kulturowego, przestrzeni historycznej czy historycznych założeń urbanistycznych. Szerokopłaszczyznowe podejście do dziedzictwa kulturowego, któremu sprzyjają metody teledetekcyjne, zyskuje tym samym nowy wymiar badawczy i inwentaryzatorski.

Współczesna inwentaryzacja i ochrona dziedzictwa kulturowego, w kontekście zmian, jakie nastąpiły w sferze naukowej i gospodarczej za sprawą rozwijających się technologii teledetekcyjnych, geoinformatycznych czy ogólnie cyfrowych, musi włączyć do swojego zestawu narzędziowego metody, które wnoszą nową jakość prac, stwarzając jednocześnie płaszczyznę do dialogu i współpracy z innymi gałęziami gospodarki i dyscyplinami nauki. Przeformułowania wymaga również proces kształcenia w zakresie badania dziedzictwa kulturowego. Winien on uwzględniać i na bieżąco włączać rozwiązania, które w odniesieniu do innych dyscyplin stały się standardowe. Geoinformacja, teledetekcja oraz współczesna geodezja i fotogrametria generują zestaw procedur oraz danych, które wyznaczają nowe formy zarządzania zasobami cyfrowymi dziedzictwa kulturowego, a zarazem skłaniają do bardziej zacieśnionej współpracy ze specjalistami i do podejmowania transdyscyplinarnych działań. Również współczesna gospodarka przestrzenna, gdzie jest miejsce dla zasobów dziedzictwa kulturowego, funkcjonuje w świecie geodanych, do którego badacz i konserwator winien się dostosować. Szeroko rozumiane zasoby cyfrowe stwarzają szansę na nowe formy upowszechniania wiedzy i informacji o otaczającym nas świecie, z dostępnością do informacji, która w sposób bezpośredni odnosi się do zasobów dziedzictwa kulturowego. W związku z powyższym rozważania dotyczą procesu digitalizacji, istnienia i stosowania zasobów cyfrowych we współczesnej kulturze. Jest to jedynie sygnalizowane w pracy, podobnie jak kwestia zarządzania dziedzictwem kulturowym, w oparciu o dane teledetekcyjne,

współczesną geodezję i geoinformację, gdyż z uwagi na obszerny zakres tematyczny, w/w zagadnienia wymagają oddzielnego omówienia.

Praca stanowi również próbę zaprezentowania i aplikowania powstałych na bazie omawianych technologii kilku rozwiązań (w ramach prowadzonych przez autora prac i badań), które wprowadzają do działań na rzecz dziedzictwa kulturowego niestandardowe sposoby rozpoznawania, analizowania i dokumentowania obiektów zabytkowych. Propozycja zastosowania (jako przyszelego, standardowego komponentu badań) wybranych narzędzi w odniesieniu do dziedzictwa narodowego dotyczy: (1) skanowania naziemnego jako źródła pozyskiwania danych przestrzennych, a także (2) skanowania lotniczego, z rejestracją i analizą intensywności odbicia wiązki lasera jako niestandardowym elementem procesu badawczego, jak również (3) aplikacji wybranych narzędzi geoinformatycznych do przetwarzania i analizy pozyskanych danych teledetekcyjnych.

Współcześnie ogólnie rozumiana teledetekcja i geoinformacja stanowią zestaw narzędziowy, który kreśli dwie zasadnicze perspektywy w działaniach na rzecz dziedzictwa kulturowego: (1) rejestrację danych (wykonywanie pomiarów), a więc procedury pozyskiwania danych, oraz (2) przetwarzanie i analizę wygenerowanych zasobów cyfrowych. Zarówno rejestracja danych, jak i ich przetwarzanie są domeną działań specjalistów, jednak stopniowo dzieloną z przedstawicielami badań archeologiczno-architektonicznych, historykami architektury i konserwatorami. Metody teledetekcyjne, z uwagi na swą specyfikę, zwłaszcza koszty oraz dostępność do aparatury, wyznaczają nową jakość prowadzenia i organizowania procesu badawczego. Złożoność procedur i niezbędność wiedzy specjalistycznej coraz częściej doprowadzają do działań zespołowych, w których transdyscyplinarność jest cechą definiującą proces badawczy. Można skonstatować, że w pewnym stopniu zmniejsza się samodzielność działań badawczych ze strony naukowców i konserwatorów skupionych wokół badania dziedzictwa kulturowego, co z kolei rodzi w nas samych potrzebę kształcenia przede wszystkim umiejętności prowadzenia dialogu międzydyscyplinarnego, eksplikowania wzajemnych oczekiwań i dążenia do osiągnięcia wspólnych rezultatów badawczych.

Układ pracy

Praca składa się z kilku zasadniczych części: wstępu, pięciu rozdziałów, zakończenia oraz bibliografii i aneksu. Tworzą one integralną całość, z wiodącym tematem, którym jest skanowanie laserowe, wraz z parametrem intensywności odbicia wiązki lasera. Istotne jest ukazanie zastosowania tych

metod w badaniach dziedzictwa kulturowego – na przykładach ruin zamku w Ilży oraz obiektów zabytkowych z okolic Seredzic w woj. mazowieckim

We wprowadzeniu zaprezentowane zostały uwagi wstępne, cele i zakres pracy oraz zarysowane zagadnienia dotyczące dziedzictwa kulturowego.

Rozdział pierwszy poświęcony jest metodom nieinwazyjnym w badaniu dziedzictwa kulturowego *in situ*, z ukierunkowaniem na teledetekcję. Są to metody, które w ostatnich latach zyskały uznanie w działaniach na rzecz dziedzictwa kulturowego, jako niezależne oraz uzupełniające szereg dotychczasowych działań nieinwazyjnych, a posiadające duży potencjał poznawczy w badaniu krajobrazów kulturowych i przestrzeni historycznych. Rozdział ma charakter opisowy, w którym przekrojowo są omawiane zagadnienia digitalizacji.

Rozdział drugi skupiony jest wokół technologii skanowania naziemnego – TLS, stosowanego w terenowych badaniach archeologiczno-architektonicznych. Ta część pracy prezentuje również zagadnienie rejestracji i analizy parametru radiometrycznego substancji zabytkowej. Metoda ta stanowi przede wszystkim element komplementarny, a zarazem niestandardowy w praktyce badawczej i dokumentacyjnej dziedzictwa kulturowego.

W ramach rozdziału trzeciego omówiony został przykład dziedzictwa kulturowego – dziedzictwa architektonicznego, które stanowi przykłady obiektu, gdzie prowadzono badania z zastosowaniem tytułowych metod. Ta część pracy charakteryzuje się zatem prezentacją ruiny zamku w Ilży, jej stanem zachowania, wraz z omówieniem aplikacji TLS oraz uzyskanych wyników na podstawie prac pomiarowych.

Rozdział czwarty omawia metodę lotniczego skanowania laserowego (ALS) w badaniach dziedzictwa kulturowego. Rozdział ten, obok przykładów prospekcji terenowej zasobów dziedzictwa kulturowego, zawiera prezentację aplikacji zjawiska intensywności odbicia wiązki lasera, która jest elementem rozwijającym możliwości omawianej technologii.

W ramach rozdziału piątego omawiane jest dziedzictwo kulturowe – przemysłowe (archeologiczne), jako przykłady obiektów, dla których prowadzono badania z zastosowaniem tytułowych metod. Ta część pracy charakteryzuje zatem wybrane zasoby dziedzictwa kulturowego – zespół miellerzy z okolic Seredzic. Elementem uzupełniającym jest omówienie aspektów ALS i geoinformacji w odniesieniu do miasta, najbliższej okolicy oraz ruiny zamku w Ilży.

Zakończenie pracy obejmuje podsumowanie, wnioski końcowe, a także postulaty badawcze w zakresie zastosowania naziemnego i lotniczego

skanowania laserowego w badaniach dziedzictwa kulturowego oraz w odniesieniu do dalszych działań przy analizowanych obiektach.

Poszczególne rozdziały poświęcone TLS i ALS oparto na wyjściowym schemacie, który zakłada prezentację: (1) metody; (2) zasadniczych jej elementów znajdujących zastosowanie w badaniach dziedzictwa kulturowego oraz wybranych zagadnień (z krótkim rysem historycznym); (3) propozycji narzędziowych (geoinformacja), wnoszących nowe rozwiązania i możliwości dokumentacyjno-badawcze. Omawiane metody zostały przedstawione z uwzględnieniem przede wszystkim sytuacji w Polsce, czego najlepszym przykładem jest lotnicze skanowanie laserowe, które jest omawiane m.in. w kontekście zasobu ISOK. Każda z metod ukazana jest pod kątem jej użyteczności analitycznej w badaniach dziedzictwa kulturowego oraz pod kątem dokumentacyjnym, głównie z punktu widzenia bezdotykowych pomiarów parametru radiometrycznego.

Dobór przykładów obiektów zabytkowych, pochodzących zarówno z własnych badań, jak i wyselekcjonowanych z literatury przedmiotu, jest zabiegiem mającym na celu omówienie zastosowania wybranych metod nieinwazyjnych w odniesieniu do dziedzictwa archeologicznego (w tym przemysłowego) i architektonicznego. Przywoływane przykłady należy rozpatrywać na płaszczyźnie: (1) odkryć, a więc poszerzania bazy źródłowej w rozpoznawaniu i badaniu zabytków, a także (2) wdrożeń i aplikacji poszczególnych metod lub ich elementów, na rzecz dokumentacji i analizy substancji zabytkowej. Arbitralny dobór przykładów dziedzictwa kulturowego ściśle związany jest z rozpatrywanymi metodami, celem wyeksponowania ich zasadniczych i wszechstronnych możliwości analityczno-poznawczych.

1. Nieinwazyjne metody badania i dokumentacji dziedzictwa kulturowego

1.1. Wprowadzenie

Nieinwazyjność stanowi oczekiwany element badań i prac przy zabytkach oraz wielu działań podejmowanych na rzecz dziedzictwa kulturowego. Z pozytywnym odbiorem środowisk naukowych spotkało się aplikowanie skanowania laserowego do badań terenowych, które nieustannie poszerza kręgi zainteresowanych, a zarazem zdobywa nowe obszary zastosowań w zakresie badania oraz dokumentowania dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego *in situ*. Na potrzeby niniejszej pracy metody (nieinwazyjne) pojmowane wg kryterium „miejsca w procedurze badawczej” są przede wszystkim metodami (1) (pozyskiwania) odkrywania źródeł, (2) ich dokumentowania (inwentaryzowania), a także stanowią (3) część procesu analizy zasobów kulturowych, łącznie będąc integralnym elementem procesu badawczego.¹ Pozyskane za pośrednictwem omawianych metod dane są również (4) elementem procesów związanych z projektowaniem, modelowaniem oraz popularyzowaniem dziedzictwa kulturowego². Wiodące dla poniższych rozważań są metody prospekcji terenowej oraz metody dokumentacji, a także metody określania stanu zachowania substancji zabytkowej *in situ*. Stosowanie metod nieinwazyjnych w badaniach, dokumentacji i konserwacji dziedzictwa kulturowego (architektonicznego, archeologicznego czy industrialnego), to praktyczna realizacja założeń i zaleceń międzynarodowych dokumentów doktrynalnych, w tym m.in. „Karty Ochrony i Zarządzania Dziedzictwem Kulturowym” ICOMOS („Karty Lozańskiej”), „Deklaracji amsterdamskiej w sprawie europejskiego dziedzictwa architektonicznego”³ czy „The Nizhny Tagil Charter for the Industrial Heritage”

¹ Rączkowski W., 2012, *Metody w archeologii*, (w:) *Przeszłość społeczna. Próba konceptualizacji*, (red.) S. Tabaczynski, A. Marciniak, D. Cyngot, A. Zalewska, Poznań, s. 325-365 (329).

² Pawleta M., Zapłata R., 2011, *Obrazowanie przeszłości w świetle nowych mediów (technologii cyfrowych)*, (w:) *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego – wybrane zagadnienia*, (red.) R. Zapłata, Lublin, s. 335-358; Pawleta M., Zapłata R., [w druku], *Nowomiedialne kreacje przeszłości – przeszłość wizualnie zapośredniczona*, (w:) 4 tom serii „Cyfrowe spotkania z zabytkami”, red. A. Seidel-Grzesińska, K. Stanica-Brzezicka; Pawleta M., 2011, *Zabawa w przeszłość. Współczesne formy popularyzowania oraz przekazywania wiedzy na temat odległej przeszłości*, (w:) *Sztuka dla dziecka – tradycja we współczesności*, (red.) G. Leszczyński (red.), Poznań, s. 225-241.

³ Konopka M., Szymgin B., 2009, *Vademecum konserwatora zabytków*, cz. I, *Międzynarodowe prawo ochrony dziedzictwa kultury*, Warszawa, s. 139-144 – <http://www.icomos-poland.org/images/publikacje/VA-DEMECUM%20ICOMOS%20calosc.pdf> [dostęp 02.05.2013]

(Karty Tagilskiej”)⁴. Skanowanie laserowe⁵ rozpatrywane jest jako metoda niedestrukcyjna, stosowana zarówno podczas inwazyjnych i nieinwazyjnych badań terenowych. Innymi słowy technologia ta stanowi element prac terenowych, które to działania wspiera lub uzupełnia w formie bezdotykowego pomiaru przestrzennego oraz rejestracji parametru intensywności odbicia wiązki lasera. W związku z powyższym skanowanie laserowe w badaniach archeologiczno-architektonicznych, a więc działaniach mających na celu „odkrycie, rozpoznanie, udokumentowanie i zabezpieczenie zabytku archeologicznego”⁶ oraz w badaniach architektonicznych, rozumianych jako „działania ingerujące w substancję zabytku, mające na celu rozpoznanie i udokumentowanie pierwotnej formy obiektu budowlanego oraz ustalenie zakresu jego kolejnych przekształceń”⁷, należy rozumieć najogólniej jako technologię pomiaru przestrzennego (naziemnego i lotniczego). Metoda ta stosowana jest jako element kompleksowej prospekcji nieinwazyjnej, powiązanej z archeologicznymi badaniami powierzchniowymi czy badaniami architektonicznymi na etapie inwentaryzacyjno-dokumentacyjnym, a więc i również na etapie diagnostyki obiektów zabytkowych. Poza tym skanowanie laserowe należy traktować jako integralny element badań inwazyjnych, przede wszystkim celem generowania dokładnej i przestrzennej (oraz radiometrycznej) dokumentacji powierzchni zabytkowych, który umożliwia również bezdotykową digitalizację obiektów eksplorowanych – badanych technikami niszczącymi. Najogólniej można stwierdzić, że skanowanie laserowe stanowi metodę uniwersalną, znajdująca swoje zastosowanie zarówno w kompleksowych badaniach nieinwazyjnych, jak i w badaniach inwazyjnych, np. archeologiczno-architektonicznych. Skanowanie laserowe dostarczając danych o geometrii obiektu znajduje również swoje zastosowanie w badaniach konserwatorskich, a więc działaniach mających „na celu rozpoznanie historii i funkcji zabytku, ustalenie użytych do jego wykonania materiałów i zastosowanych technologii, określenie stanu zachowania tego zabytku oraz w opracowaniu diagnozy, projektu i programu prac konserwatorskich, a jeżeli istnieje taka potrzeba, również programu prac restauratorskich”⁸. W związku z powyższym skanowanie laserowe wpisuje do w/w

⁴ *The Nizhny Tagil Charter for the Industrial Heritage*, July, 2003 – http://www.mnactec.cat/ticcih/industrial_heritage.htm [dostęp 02.05.2013 r.]

⁵ TLS (akronim od ang. *Terrestrial Laser Scanning*), wymiennie określane akronimem NSL (Naziemne Skanowanie Laserowe); ALS (akronim ang. *Airborn Laser Scanning*), wymiennie określane jako LSL (Lotnicze Skanowanie Laserowe lub jako lotniczy LIDAR – akronim od ang. *Light Detection and Ranging*).

⁶ *Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. O ochronie zabytków i opiece nad zabytkami* (Dz. U. z 2003 r. Nr 162, poz. 1568), art. 3 ust. 11.

⁷ *Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r.*, art. 3 ust. 10.

⁸ *Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r.*, art. 3 ust. 9.

badan element nieinwazyjnego i bezdotykowego dokumentowania podczas dziaań terenowych, stanowiąc równie narzędzie wspierające w diagnostyce substancji zabytkowej. Zwłaszcza proces dokumentacyjny zyskuje nowy wymiar dzięki skanowaniu laserowemu, wnosząc nową (oczekiwaną)⁹ jakość, przejawiająca się m.in. w automatyzacji, wysokiej dokładności i szybkości pomiarów.

1.2. Metody nieinwazyjne i teledetekcja w rozpoznawaniu, badaniu i ochronie zabytków

Na wstępie odnieśmy się pokrótce do terminów, które określają teoretyczne ramy przedmiotu badań. W literaturze przedmiotu dostrzegamy rozdzielanie na dwie części tego, co stanowi przedmiot badań historyków, archeologów, historyków sztuki i architektury czy konserwatorów. Dobra kultury i dziedzictwo kulturowe¹⁰ (oraz zasoby kulturowe) to pojęcia, które najogólniej należy wiązać z przeszłością i przedmiotem badań nauk o przeszłości i zabytkach. Dobra kultury to wszystkie wytwory człowieka, natomiast dziedzictwo kulturowe jest tym, co badamy i co możemy badać, uwikłani w proces poznawczy zakorzeniony w kontekście społeczno-kulturowym¹¹. Jak pisze A. Tomaszewski, pojęcie dóbr kultury „obejmuje wszystkie „dobra” wytworzone ludzkim talentem, mające obiektywną wartość historyczną i artystyczną. Jest to (...) kulturalny i artystyczny dorobek ludzkości, podlegający jedynie wartościowaniu estetycznemu według przyjętych kryteriów w konkretnych uwarunkowaniach historycznych”¹². Z kolei termin dziedzictwo kulturowe posiada dość szeroki zakres, lecz nie ma on jednolitej definicji. Zazwyczaj rozumiany jest jako pewien dorobek materialny

⁹ Brykowska M., 2007, *Dokumentacja naukowa niezbędna dla ochrony i konserwacji zabytków architektury*, „Rocznik Geomatyki”, t. 7, z. 8, s. 115-132 (122).

¹⁰ Tomaszewski A., 2000, *Dziedzictwo i zarządzanie*, (w:) *Problemy zarządzania dziedzictwem kulturowym*, (red.) K. Gutowska, Warszawa, s. 7-11; Kobyliński Z., 2009, *Własność dziedzictwa kulturowego*, Warszawa, s. 15-18. Również na temat w/w pojęć – dóbr kultury a dziedzictwa kulturowego pisze Frigo M., 2009, *Cultural property vs. Cultural heritage: “battle of concepts” in international law?*, „International Review of the Red Cross”, 86 (854): 367-378 – http://www.provincia.asti.it/hosting/moncalvo/psc/frigo_ricr.pdf

¹¹ Biorąc pod uwagę uwikłanie badającego w proces badawczy, interpretacyjny, a zarazem kulturowo kształtowane podejście do świata i przeszłości, w rozważaniach na temat tego, co badamy i dokumentujemy, należy również dostrzegać elementy, które nie są pochodną minionych zdarzeń i działań człowieka, a wytworem terażniejszości, konstrukcją pojawiającą się m.in. na styku terażniejszość-przeszłość.

¹² Tomaszewski A., 2000, s. 9.

i duchowy, przekazywany z pokolenia na pokolenie¹³. Próbę jego sprecyzowania podjęto w 1972 r. w „Konwencji w sprawie ochrony światowego dziedzictwa kulturalnego i naturalnego”. Zgodnie z 1. artykułem tejże konwencji za dziedzictwo kulturalne uważane są „zabytki: dzieła architektury, dzieła monumentalnej rzeźby i malarstwa, elementy i budowle o charakterze archeologicznym, napisy, groty i zgrupowania tych elementów, mające wyjątkową powszechną wartość z punktu widzenia historii, sztuki lub nauki; zespoły budowli oddzielnych lub łącznych, które ze względu na swą architekturę, jednolitość lub zespolenie z krajobrazem mają wyjątkową powszechną wartość z punktu widzenia historii, sztuki lub nauki; miejsca zabytkowe: dzieła człowieka lub wspólne dzieła człowieka i przyrody, jak również strefy, a także stanowiska archeologiczne, mające wyjątkową powszechną wartość z punktu widzenia historycznego, estetycznego, etnologicznego lub antropologicznego”.¹⁴

Dziedzictwo kultury obejmuje więc wytwory materialnego i niematerialnego dorobku ludzkości, które zostały ukształtowane w procesie przemian historycznych lub w danej epoce historycznej. Składają się na nie zarówno dobra kultury, jak również zjawiska tworzące kulturę, np. całość nauki i wiedzy¹⁵. Tytułowe dziedzictwo kulturowe stanowi zatem zestaw elementów materialnych i niematerialnych, nacechowanych negatywnie i pozytywnie, które dane nam jest analizować z obranej perspektywy teoretyczno-poznawczej. Z uwagi na charakter pracy, a zwłaszcza wiodące zagadnienie, jakim są nieinwazyjne metody badania i inwentaryzacji zabytków w badaniach archeologiczno-architektonicznych, przedmiotem rozważań jest zatem materialne dziedzictwo kulturowe, którego analiza również dotyczy niematerialnych aspektów minionej przeszłości. Integralną częścią dziedzictwa kulturowego jest wspomniane dziedzictwo architektoniczne¹⁶ pojmowane w myśl „Konwencji o ochronie dziedzictwa architektonicznego Europy”¹⁷ jako dobra trwałe, które obejmują: „1. zabytki: wszelkie budowle i obiekty wyróżniające się szczególną wartością historyczną, archeologiczną, artystyczną, naukową, społeczną lub techniczną, włącznie z ich częściami

¹³ Zeidler K., 2010, *Leksykon prawa ochrony zabytków. 100 podstawowych pojęć*, C. H. Beck, Warszawa, s. 38.

¹⁴ *Konwencja w sprawie ochrony światowego dziedzictwa kulturalnego i naturalnego*, przyjęta w Paryżu dnia 16 listopada 1972 r. przez Konferencję Generalną Organizacji Narodów Zjednoczonych dla Wychowania, Nauki i Kultury na jej siedemnastej sesji (Dz.U. z 1976 r. nr 32, poz. 190, załącznik) – http://www.unesco.pl/fileadmin/user_upload/pdf/Konwencja_o_ochronie_swiatowego_dziedzictwa.pdf

¹⁵ Rouba B. J., 2008, Autentyczność i integralność zabytków, „Ochrona zabytków” nr 4, 37-57 (38).

¹⁶ *Konwencja o ochronie dziedzictwa architektonicznego Europy*, Grenada, 3 października 1985 roku – European Treaty Series (ETS) / Série des traités européens (STE) Nr 121 – <http://www.zabytki-tonz.pl/pliki/konwencja%20o%20archit.pdf>

¹⁷ *Konwencja o ochronie dziedzictwa architektonicznego Europy*, ... s. 2.

składowymi i wyposażeniem; 2. zespoły budynków: jednolite zespoły zabudowy miejskiej lub wiejskiej wyróżniające się szczególną wartością historyczną, archeologiczną, artystyczną, naukową, społeczną lub techniczną, na tyle zwarte, aby tworzyły określoną jednostkę urbanistyczną; 3. tereny: dzieła stworzone wspólnie przez człowieka i naturę, stanowiące obszary częściowo zabudowane, dostatecznie wyodrębnione i jednolite, aby tworzyły jednostkę urbanistyczną, mającą szczególną wartość historyczną, archeologiczną, artystyczną, naukową, społeczną lub techniczną.”¹⁸ W stosunku do dziedzictwa kulturowego, którego część stanowi dziedzictwo archeologiczne, wskazuje się kilka zasad sposobu myślenia na jego temat. Ogólnie są to zasady konserwatorskie, dotyczące takich jego aspektów, jak: (1) ochrona; (2) udostępnianie i interpretowanie oraz (3) zarządzanie. W odniesieniu do dóbr kultury Bogumiła Rouba¹⁹ wymienia siedem zasad konserwatorskich, których winniśmy przestrzegać: „(1) zasady *primum non nocere*; (2). zasady maksymalnego poszanowania oryginalnej substancji zabytku i wszystkich jego wartości (materialnych i niematerialnych); (3) zasady minimalnej niezbędnej ingerencji (powstrzymywania się od działań niekoniecznych); (4) zasady, zgodnie z którą usuwać należy to (i tylko to), co na oryginał działa niszcząco; (5) zasady czytelności i odróżnialności ingerencji oraz ich estetycznego podporządkowania oryginałowi (niekonkurencyjności); (6) zasady odwracalności metod i materiałów; (7) zasady wykonywania wszelkich prac zgodnie z najlepszą wiedzą i na najwyższym poziomie”.

Przykłady dziedzictwa kulturowego, stanowiące podstawę stosowania omawianych metod, to również obiekty, które bezpośrednio należy wiązać z dziedzictwem przemysłowym. Według Międzynarodowego Komitetu Konserwacji Dziedzictwa Przemysłowego TICCIH²⁰ „dziedzictwo przemysłowe zawiera pozostałości kultury przemysłowej o wartości historycznej, technicznej, społecznej, architektonicznej lub naukowej. W skład jego wchodzi budynki i maszyny, warsztaty, zakłady produkcyjne i fabryki, kopalnie oraz tereny obróbki i uszlachetniania, magazyny i składy, miejsca wytwarzania, przekazywania i wykorzystania energii, transport i jego infrastruktura, a także miejsca o funkcji socjalnej związanej z przemysłem, jak np. zabudowania mieszkalne, miejsca praktyk religijnych i modlitwy oraz edukacji”.²¹

¹⁸ Konwencja o ochronie dziedzictwa architektonicznego Europy, ... s. 2.

¹⁹ Rouba B.J. 2008b, *Teoria w praktyce polskiej ochrony, konserwacji i restauracji dziedzictwa kultury*, (w:) *Współczesne problemy teorii konserwatorskiej w Polsce*, (red.) B. Szmygin, Warszawa-Lublin, 101-120 (107).

²⁰ TICCIH – The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage – rok założenia 1973 r. – <http://www.ticcih.org/>

²¹ Affelt W., 2008, *Dziedzictwo techniki w kontekście rozwoju zrównoważonego*, (w:) *Współczesne problemy teorii konserwatorskiej w Polsce*, (red.) B. Szmygin, Warszawa-Lublin, s. 7-16.

Praca prezentuje dwojakiego rodzaju podejście do dziedzictwa kulturowego z uwzględnieniem metod nieinwazyjnych – (1) z jednej strony podejmuje temat obiektu znanego, celem jego dokumentowania, badania i ochrony, (2) z drugiej strony odnosi się do obiektów dotychczas nieznanymi, które w wyniku zastosowania omawianej metody zostały odkryte, a następnie przeanalizowane i zainwentaryzowane. Zatem ruina zamku w Iłży oraz kompleks zabytkowych mielerzy stanowią egzemplifikację zasadniczych treści związanych z aplikacją skanowania laserowego do badań dziedzictwa kulturowego. Prezentując stan obecny wybranych obiektów zabytkowych przedstawiane są głównie potrzeby i zagrożenia, które mogą być w znacznym stopniu rozwiązane poprzez zastosowanie omawianych technologii.

Krajobraz kulturowy, czyli przestrzeń historycznie ukształtowana w wyniku działalności człowieka, to całość będąca zbiorem wytworów cywilizacji i elementów przyrody, które rozpoznajemy, dokumentujemy i badamy m.in. za pomocą wielu metod niedestrukcyjnych. Do szeregu metod nieinwazyjnych zaliczamy przede wszystkim: (1) badania archiwalne (historyczne) – badania źródeł pisanych, ikonograficznych oraz kartograficznych; (2) badania powierzchniowe i wizje lokalne obiektów zabytkowych; (3) badania teledetekcyjne (pasywne i aktywne / naziemne, lotnicze i satelitarne) – (3.1) metody geofizyczne oraz fizyko-chemiczne i strukturalne: (a) elektrooporowa, (b) elektromagnetyczna, (c) magnetyczna, (d) akustyczna, (e) radarowa, (f) termowizyjna, (g) ultradźwiękowa; (3.2) metody lotnicze i satelitarne; (3.3) skanowanie naziemne / fotogrametria bliskiego zasięgu; (4) geoinformacyjne metody przetwarzania i analizowania danych, w tym modelowanie prognostyczne oraz wirtualne symulacje. W ramach nieinwazyjnych metod związanych z działaniami na rzecz dziedzictwa kulturowego należy wymienić zasadnicze ich kategorie: (1) metody wykrywania zasobów kulturowych – metody prospekcji, (2) metody diagnostyki i analizowania substancji zabytkowej oraz (3) metody dokumentowania i pomiaru, które obecnie wykraczają poza sam pomiar przestrzenny obiektów zabytkowych, umożliwiając również równoległą rejestrację innych cech zasobów dziedzictwa kulturowego (np. sygnalizowane we wstępie dane radiometryczne). Oddzielnym zagadnieniem, ale ściśle związanym i uzupełniającym powyższe zestawienie są (4) niedestrukcyjne metody związane z symulacją procesów zachodzących przy zabytkach, modelowaniem, a także projektowaniem czy popularyzowaniem. Z uwagi na rodzaj oraz specyfikę obiektów zabytkowych podczas badań dokonuje się doboru metod, które można również podzielić wg kryterium możliwości rejestracyjnych i prospekcyjnych. Zestaw dostępnych obecnie metod umożliwia (na styku kilku dyscyplin) zintegrowaną

prospekcję, rejestrację i analizę zasobu kulturowego, doprowadzając do szerokopłaszczyznowych i komplementarnych działań na rzecz ochrony przestrzeni historycznej oraz obiektów zabytkowych.

Pośród metod nieinwazyjnych, umożliwiających **wykrywanie** pozostałości działalności człowieka w przeszłości, a odnoszących się do badań archeologicznych i architektonicznych, należy wymienić przede wszystkim: kwerendę – analizę źródeł historycznych, ikonograficznych i archiwalnych materiałów kartograficznych; badania powierzchniowe (wizję lokalną – badania wizualne); lotnicze oraz satelitarne metody teledetekcyjne oraz metody geofizyczne²². W oparciu o wyżej wymieniony zestaw metod badamy również dziedzictwo architektoniczne oraz przemysłowe, które często rozpoznajemy przy większym wykorzystaniu źródeł historycznych (archiwalnych zasobów kartograficznych, ikonografii itd.). Wspomnianie metody stanowią zestaw narzędzi umożliwiających rozpoznanie obiektów i struktur zabytkowych, zarówno tych zalegających pod powierzchnią terenu, nie eksponowanych lub w postaci mało widocznej rzeźby terenowej, jak również obiektów architektury, zachowanych przynajmniej w formie trwałej ruiny, eksponowanych częściowo na powierzchni terenu. W odniesieniu do badań archeologiczno-architektonicznych, a zwłaszcza architektonicznych, wyróżniamy szereg metod nieniszczących o charakterze **diagnostyczno-analitycznym**, ukierunkowanych w stronę obiektów zabytkowych *in situ*, mających na celu: (1) określenie stanu zachowania, (2) kontrolę jakości substancji zabytkowej, (3) rozpoznawanie wad struktury wewnętrznej zabytków; (4) detekcję i monitorowanie zmian właściwości substancji zabytkowej (powstałych na skutek działań destrukcyjnych np. działalność mikroorganizmów, wilgoć); (5) określenie właściwości wytrzymałościowych.²³

Do metod nieinwazyjnych badania dziedzictwa kulturowego (**rozpoznawania** – lokalizacji – poszukiwania) w pierwszej kolejności należy zaliczyć badania historyczne, obejmujące swym zasięgiem analizę źródeł historycznych, źródeł ikonograficznych oraz kartograficznych.²⁴ Najczęściej stosowane i przynoszące najobszerniejsze rozpoznanie (pod względem terytorialnym) w badaniach archeologicznych są w Polsce badania powierzchniowe, których efektywność dla terenów rolniczych jest wysoka, natomiast

²² Rączkowski W., 2012, s. 325-365.

²³ Domasłowski W. (red.), 1993, *Profilaktyczna konserwacja kamiennych obiektów zabytkowych*, Toruń, s. 108.

²⁴ Brykowska M., 2003, *Metody pomiarów i badań zabytków architektury*, Warszawa; Dayczak-Domanasiewicz M., 1973, *Forma i zakres opracowania wstępnych badań historycznych i ikonograficznych*, „Materiały i Sprawozdania Konserwatorskie Województwa Krakowskiego”, s. 37-54; Tomaszewski A., 1999, *Historia architektury – badania zabytków architektury – konserwacja zabytków*, (w:) *Metodyka badań archeologiczno-architektonicznych*, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa, s. 9-21; Wyrobisz A., 1987, *Źródła pisane w badaniach nad zabytkami architektury*, „Rocznik P.P. PKZ”, 1987, z. 1, s. 47-61.

dla terenów leśnych znikoma. Prospekcja powierzchniowa polega na poszukiwaniu na powierzchni ziemi materialnych śladów przeszłej działalności człowieka (np. fragmentów naczyń glinianych, narzędzi krzemiennych i kamiennych, ludzkich oraz zwierzęcych fragmentów kostnych) lub pozostałości konstrukcji, które mają własną formę krajobrazową. Badania powierzchniowe to rodzaj nieinwazyjnego rozpoznawania zasobów głównie archeologicznych, które w sposób systematyczny i szeroko płaszczyznowy pozwalają badać i inwentaryzować dziedzictwo archeologiczne w Polsce – w powiązaniu z zainicjowanym od roku 1978 programem Archeologicznego Zdjęcia Polski²⁵. Natomiast w odniesieniu do obiektów architektury zabytkowej, w tym również dziedzictwa przemysłowego, na początkowych etapach prac istotną rolę ma wizja lokalna, a więc specyficzna forma powierzchniowego rozpoznania substancji zabytkowej w terenie.²⁶ Badania wizualne nakierowane są przede wszystkim na rozpoznanie i dokumentację obiektu, a także na określenie stanu zachowania oraz ocenę zakresu i rodzaju zniszczeń. Na tej podstawie dokonywany jest opis obserwowalnych wizualnie zjawisk, takich jak: dezintegracja granularna, złuszczenia, rozwarstwienia, pęcherze, pęknięcia, nawarstwienia, zawilgocenia, wykiwty soli, ubytki itd..²⁷

Kolejna metoda to prospekcja lotnicza – jedna z metod teledetekcyjnych, która daje znakomite rezultaty poznawcze na terenach odsłoniętych, zwłaszcza rolniczych²⁸, szczególnie przy rozpoznawaniu dziedzictwa, ale także w badaniach przestrzeni historycznych związanych z dziedzictwem urbanistycznym czy historycznymi układami ruralistycznymi. Zdjęcia lotnicze są sposobem nieinwazyjnego pozyskiwania informacji o obiektach archeologicznych, architektonicznych oraz układach przestrzennych, umożliwiając szerokopłaszczyznową i kontekstową detekcję zabytków, wraz z ich otoczeniem. Za pośrednictwem fotografii lotniczej uzyskujemy informację o strukturze przestrzennej zabytków, stanie zachowania, funkcji, relacjach ze środowiskiem naturalnym, a w niektórych przypadkach chronologii.²⁹ Niestety, z uwagi na specyfikę obszaru badań i możliwości

²⁵ Konopka M. (red.), 1981, *Zdjęcie archeologiczne Polski*, Warszawa; Jaskanis D. (red.), 1996, *Archeologiczne Zdjęcie Polski – metoda i doświadczenia. Próba oceny*, Warszawa.

²⁶ Kajzer L., 1999, *Archeologiczno-architektoniczne badania terenowe*, (w:) *Metodyka badań archeologiczno-architektonicznych*, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa, s. 23-52; Domaśławski W., 2011, *Zabytki kamienne i metalowe, ich niszczenie i konserwacja profilaktyczna*, Toruń, s. 184-195.

²⁷ Domaśławski W. (red.), 2011, s. 184-195.

²⁸ Rączkowski W., 2002, *Archeologia lotnicza – metoda wobec teorii*, Poznań, s. 125-136; Nowakowski J., Prinke A., Rączkowski W., (red.), 2005, *Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii*, Poznań; Kobyliński Z., 2005, *Archeologia lotnicza w Polsce. Osiem dekad wzlotów i upadków*, Warszawa.

²⁹ Rączkowski W., 2012, s. 336.

techniczne, omawiana metoda w nikłym stopniu umożliwia rozpoznanie zabytków na terenach leśnych. Można nadmienić, że jedną z możliwości uzupełniającego rozpoznania obszarów zalesionych w oparciu o prospekcję lotniczą, jest dokumentacja fotograficzna w okresach bezlistnych. Do metod nieinwazyjnych należy również zaliczyć prospekcję satelitarną, wspierającą badania dziedzictwa kulturowego wysokorozdzielczymi i multispektralnymi zobrazowaniami satelitarnymi, która z uwagi na poprawę jakości generowanych danych, w tym znaczną poprawę rozdzielczości przestrzennej, coraz częściej zasila warsztat badawczy³⁰. Szereg metod nieinwazyjnych uzupełniają również wspomniane wcześniej metody geofizyczne, które umożliwiają prospekcję i dokumentację obiektów zabytkowych, znajdujących się pod powierzchnią terenu (np. fragmentów zabytkowych obiektów architektonicznych – fundamentów itd.).³¹ Metody geofizyczne najogólniej bazują na zjawisku istnienia kontrastu pomiędzy naturalnym układem warstw, przejawiającym się w postaci charakterystyk elektromagnetycznych, a zakłóceniami wynikającymi z występowania warstw i obiektów zabytkowych, rejestrowanych w postaci anomalii. W literaturze przedmiotu wydziela się dwa rodzaje metod geofizycznych, mianowicie pasywne i aktywne. Poza tym pośród metod geofizycznych wyodrębniamy metody: elektrooporową, elektromagnetyczne, sejsmiczne, magnetyczną oraz grawimetryczną.³² Do zbioru narzędzi wspierających nieinwazyjne rozpoznanie dziedzictwa archeologicznego należy również zaliczyć ogólnie rozumiany GIS, który stał się podstawą do stosowania rozbudowanych modeli prognostycznych (ang. *predictive models*) – prognostycznych modeli lokalizacji (ang. *predictive location models*)³³, opartych na analizach wielozmiennych (w polskojęzycznej literaturze przedmiotu podaje się wymiennie tłumaczenie „modelowanie prognostyczne”³⁴ lub „modelowanie predykcyjne”³⁵). Najogólniej modele te polegają na zastosowaniu informacji o znanych stanowiskach archeologicznych oraz ich otoczeniu, a następnie określaniu korelacji pomiędzy nimi, w celu wyznaczenia

³⁰ Parcak S.H., 2009, *Satellite remote sensing for archaeology*, London.

³¹ Misiewicz K., 1998, *Metody geofizyczne w planowaniu badań wykopaliskowych*, Warszawa; Misiewicz K., 2006, *Geofizyka archeologiczna*, Warszawa;

³² Rączkowski W., 2012, s. 342-343.

³³ Lock G., Stančić Z. (red.), 1995, *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*, London; Kamermans H., 2000, *Land evaluation as predictive modelling: a deductive approach*, (w:) *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technology*, (red.) G. Lock, Amsterdam-Berlin-Oxford-Tokyo-Washington, s. 124-146; Jasiewicz J., 2009, *Zastosowanie analiz geoinformacyjnych w badaniu dawnych procesów osadniczych*, (w:) *GIS – platforma integracyjna geografii*, (red.) Z. Zwoliński, Poznań, s. 175-195.

³⁴ Rączkowski W., 2002, s. 167.

³⁵ Jasiewicz J., 2009, s. 184.

tendencji i „preferencji”, jakie można ustalić m.in. w oparciu o analizy w ramach Systemów Informacji Geograficznej (analiza rzeźby terenu, ekspozycji, rodzaju gleby, odległości do wody itp.). W założeniu modelowanie prognostyczne ma prowadzić do „wyznaczenia” zmiennych, określających preferencje przeszłych społeczności, a następnie wspierać określanie lokalizacji miejsc ich aktywności.

Poza procesem rozpoznawania zasobów dziedzictwa kulturowego, w oparciu o interpretację wykonanych pomiarów i wyników prospekcji, dokonujemy również analiz i określenia cech obiektów (substancji) zabytkowych wraz z ich dokumentacją. Szereg metod umożliwia rejestrację oraz pomiar określonych cech, co też jest podstawą rozbudowanych analiz. Zarejestrowane dane stają się tym samym podstawą wnioskowania pośredniego lub bezpośredniego w zakresie stanu zachowania, procesów zachodzących w strukturze zabytku czy też zmian powierzchniowych. Do takich metod, przede wszystkim w zakresie badania dziedzictwa architektonicznego i postindustrialnego, należy zaliczyć m.in. nieniszczące badania aparaturowe obiektów zabytkowych jak np.: metodę termowizyjną; metody radiologiczne; metody badania zawilgocenia; metody elektromagnetyczne; ultradźwiękowe i jądrowe³⁶. Tę grupę metod stosujemy przede wszystkim do zabytkowych obiektów odsłoniętych, wyeksponowanych czy też znajdujących się na powierzchni terenu. Rezultatem stosowania metod nieniszczących są informacje o właściwościach badanych obiektów, które wykorzystywane są przy: (1) kontroli jakości materiałów i wykrywaniu wad, (2) określaniu właściwości wytrzymałościowych, jednorodności, gęstości, wilgotności materiałów, (3) monitorowaniu zmian właściwości materiału w czasie, powstających pod wpływem określonych warunków zewnętrznych (badania doświadczalne), (4) kontroli efektów przeprowadzonych zabiegów konserwatorskich.³⁷

Metody teledetekcyjne stanowią element nowoczesnego i efektywnego badania oraz opieki nad zabytkami, który stwarza m.in. możliwości udostępniania zasobów dziedzictwa kulturowego za pośrednictwem sieci teleinformatycznych. Teledetekcja ogólnie jest „pomiarom właściwości obiektu

³⁶ Marczak J., Koss A., 2009, *Fizyka we współczesnych badaniach i konserwacji dzieł sztuki*. „Wiadomości Konserwatorskie”, nr 26, s. 65-76; Domasławski W. (red.), 2011, *Zabytki kamienne ...*, s. 183-250; Nowak H., 2012, *Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie*, Wrocław; Więcek B., Perkowski J., Wysocki M., 2010, *Zastosowanie termowizji do badań architektonicznych obiektów zabytkowych*, „Prace Instytutu Elektrotechniki”, z. 245, s. 31-40.

³⁷ Domasławski W. (red.), 2011, s. 195.

bez fizycznego kontaktu z nim”³⁸. Optyczne narzędzia pomiarowe to obecnie jakościowa zmiana działalności naukowo-badawczej, niejednokrotnie współwyznaczająca nowe pola badawcze, jak również nowe formy opieki nad zabytkami i strategii konserwatorskich. Dynamiczny rozwój technologii cyfrowych, informacyjnych i telekomunikacyjnych doprowadził do powstania szeregu narzędzi wspierających i unowocześniających działania na rzecz ochrony oraz zachowania dziedzictwa kulturowego, w tym historycznego, architektonicznego czy archeologicznego, do których bez wątpienia należy zaliczyć skanowanie laserowe. Pośród nich najogólniej wyróżniamy m.in. skanowanie satelitarne, lotnicze i naziemne, a więc metody zdalnego, bezdotykowego pozyskiwania informacji o obiektach i zjawiskach, gdzie badany obiekt nie wchodzi w bezpośredni kontakt z badającym (rejestrującym) sensorem. Wyróżnia się dwa zasadnicze typy technik teledetekcyjnych: pasywne i aktywne. Technika pasywna to rejestracja promieniowania odbitego od obiektów, natomiast technika aktywna wiąże się z wysyłaniem promieniowania elektromagnetycznego przez sensor, a następnie rejestracją fal odbitych. Zobrazowania teledetekcyjne, pozyskane w wyniku zastosowania technik pasywnych, to przykładowo: obrazy panchromatyczne, zdjęcia w barwach naturalnych, zdjęcia w podczerwieni, obrazy wielospektralne czy obrazy hemisferyczne. Natomiast dane pozyskiwane w wyniku zastosowania technik aktywnych to np. zobrazowania radarowe (Radar – ang. *Radio Detection and Ranging*) oraz dane lidarowe (LIDAR – ang. *Light Detection and Ranging*), pozyskiwane w wyniku wykorzystania wiązki spójnego promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości w paśmie bliskiej podczerwieni (ok. 1550 nm) emitowanego przez zainstalowany w urządzeniu laser. W literaturze przedmiotu technologie skaningu laserowego dzielone są ogólnie na: lotniczy skaningu laserowy (akronim ALS od ang. *Airborne Laser Scanning*), satelitarny skaningu laserowy (akronim SLS od ang. *Satellite Laser Scanning*) oraz naziemny skaningu laserowy (akronim TLS od ang. *Terrestrial Laser Scanning*)³⁹, w tym skaningu mobilny (akronim MLS od ang. *Mobile Laser Scanning*).⁴⁰

Metody fotogrametryczne, w tym skanowanie naziemne (również w/w mobilne skanowanie naziemne) stosowane podczas prac terenowych,

³⁸ Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W., 2006, *GIS. Teoria i praktyka*, Warszawa, s. 210; szerzej nt. teledetekcji i fotogrametrii m.in. Jachimski J., Mierzwa W., Mularz S., Pyka K., 1999, *Cyfrowa fotogrametria i teledetekcja w Polsce*, „Geoinformatica Polonica”, 1, s. 11-36.

³⁹ Wężyk P., 2006, *Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie*, „Rocznik Geomatyki”, t. IV, z. 4, s. 119-132 (121)

⁴⁰ Szadkowski A., Mehrburg A., Sochacka Ż., luty 2010, *Prosto z samochodu. Mobilne skanowanie laserowe obiektów liniowych*, „Geodeta”, Nr 2 (177), s. 10-15 – http://www.riegl.com/fileadmin/user_upload/Press/177-PROSTO_Z_SAMOCHODU.pdf

zaliczamy do metod nieinwazyjnych, bezdotykowych, które umożliwiają rozpoznawanie dziedzictwa kulturowego oraz jego inwentaryzację. Na bazie wygenerowanych danych technologie te pozwalają również na analizę substancji zabytkowej (np. stanu zachowania na podstawie rejestrowanego parametru) na bieżąco, podczas terenowych badań archeologiczno-architektonicznych (np. w formie uzupełniającej analizę stratygraficzną). Naziemne metody fotogrametryczne znajdują przede wszystkim zastosowanie w dokumentacji obiektów zabytkowych oraz analizie samej substancji zabytkowej, w szczególności nieruchomości obiektów archeologicznych, a także zabytkowych obiektów architektonicznych. Natomiast lotnicze skanowanie laserowe stanowi kolejną metodę nieinwazyjną, która z punktu widzenia pułapu rejestracji danych jest uzupełnieniem lotniczej prospekcji fotograficznej dziedzictwa kulturowego, szeroko stosowanej w dotychczasowych badaniach⁴¹. W związku z rozwojem samej technologii, a zarazem malejącymi kosztami jej stosowania, ALS w ostatnich latach stał się narzędziem, które wpisało się na trwałe do praktyki badawczej. ALS to przede wszystkim metoda, która umożliwia rozpoznawanie zasobów dziedzictwa kulturowego na bazie mikro-rzeźby – niejednokrotnie szczerunkowo zachowanej formy krajobrazowej obiektów zabytkowych. ALS jest również metodą pomiarów przestrzennych, stanowiących element współczesnej inwentaryzacji obiektów zabytkowych (np. forty, zamki)⁴².

Wspomniany laserowy pomiar naziemny, jak i lotniczy, stanowią obecnie podstawę generowania zasobów cyfrowych dziedzictwa kulturowego, skutecznie wspierają rozpoznawanie zabytków, są podstawą nowoczesnej dokumentacji i inwentaryzacji zabytków, generując zarazem dane do dalszych analiz substancji zabytkowej na bazie narzędzi przetwarzania – wtórnego przetwarzania zasobu cyfrowego na etapie prac kameralnych. Począwszy od najprostszych rozwiązań analitycznych, takich jak klasyfikacja nadzorowana powierzchni zabytkowej pod względem barwy, a skończywszy na klasyfikacji materii zabytkowej w oparciu o algorytmy segmentacji o zadanych parametrach, możemy dokonywać rozbudowanych analiz (np. analiza przetwarzania powierzchni NMT (Numerycznego Modelu Terenu) na bazie symulacji rozproszonego oświetlenia (ang.

⁴¹ Opitz R., Cowley R. (red.), *Interpreting archaeological topography – airborne laser scanning, 3D data and ground observation*, (Occasional publications of the aerial archaeology research group, no. 5), Oxford – http://www.academia.edu/2550191/Messy_landscapes_lidar_and_the_practices_of_landscaping.

⁴² Zawieska D., Ostrowski W., Antoszewski M., [w druku], *Wykorzystanie danych lotniczego skaningu laserowego w metodzie badawczej zespołów fortyfikacji nowszej w Polsce*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 25 – referat wygłoszony na XVIII Ogólnopolskim Sympozjum Naukowym „Nowe wyzwania dla fotogrametrii, teledetekcji i kartografii Kazimierz Dolny, w obliczu współczesnych systemów geoinformacji” 19-21 września 2012 r.

calculation of visible sky; sky view factor – SVF) czy analiza głównych składowych (ang. *principal component analysis*)⁴³, które wprowadzają nowy wymiar do badań archeologicznych, architektonicznych oraz konserwatorskich w odniesieniu do obiektów zabytkowych i przestrzeni historycznych. Pomiar geometrii obiektów, w ALS i TLS uzupełnia również sygnalizowana wcześniej rejestracja intensywności odbicia powracającej wiązki lasera. Wiarygodność oraz dokładność wyników uzależniona jest od wielu czynników, a także od warunków wykonywanych pomiarów. Mierzona wielkość fizyczna (parametr intensywności), w odniesieniu do ALS/TLS, to efekt występowania jednej lub łącznie kilku cech mierzonego obiektu (np. barwa, wilgotność), a także rezultat parametrów wykonywania pomiaru (np. odległość, długość fali). W związku z powyższym rejestracja intensywności odbicia wiązki lasera stanowi element narzędzi pośrednich w analizowaniu substancji zabytkowej, o przybliżonych wynikach pomiarów, umożliwiającą przede wszystkim ocenę jakościową, na podstawie otrzymywanej wartości (jednostka niemianowana) oraz powstającego kontrastu na obrazach intensywności.

Omawiane metody, których zastosowanie oscyluje wokół dwóch zasadniczych zadań: pomiaru przestrzennego (pomiaru geometrycznego 3D) oraz rejestracji określonych parametrów, mają również dodatkowy wymiar, jakim jest generowanie zbioru danych służących dalszym działaniom (w połączeniu z narzędziami geoinformatycznymi), w zakresie: (1) analizy i opisu substancji zabytkowej, jak również w zakresie (2) analizy i interpretacji zjawisk zachodzących w przeszłości oraz (3) analizy zjawisk w przyszłości (symulacje, modelowanie). Zwłaszcza pomiar geometrii stanowi punkt wyjścia dla analiz przestrzennych, które odnoszą się do badań wchodzących w zakres studiów nad krajobrazem kulturowym czy przestrzenią historyczną. Między innymi modelowanie przestrzenne i możliwości symulacyjne współczesnych technologii stanowią inspirację do badań w zakresie analizowania minionych praktyk przestrzennych oraz procesów organizacji otoczenia w przeszłości. Studia prowadzone nad krajobrazem kulturowym oraz przestrzenną organizacją życia człowieka w przeszłości, posiłkują się zasobem cyfrowym, który zmienia i modyfikuje perspektywę poznawczą współczesnych podejść do historii architektury czy przeszłego krajobrazu

⁴³ Za SAGA – Boehner J., Antonic O., 2009, *Land-surface parameters specific to topo-climatology*, (w.): *Geomorphometry – concepts, software, applications. Developments in Soil Science*, vol. 33, (red.) T. Hengl, H. Reuter, Amsterdam, s. 195-226; Hantzschel J., Goldberg V., Bernhofer C., 2005, *GIS-based regionalisation of radiation, temperature and coupling measures in complex terrain for low mountain ranges*, „*Meteorological Applications*”, vol. 12, issue 1, s. 33-42; Oke T. R., 2000, *Boundary layer climates*, New York.

kulturowego⁴⁴. Pokrótce, odnosząc się do zjawiska modelowania i analiz przestrzennych w oparciu o zasoby cyfrowe, warto przede wszystkim uwzględnić współczesne trendy poznawcze, jakie dominują w podejściu do krajobrazu kulturowego oraz przestrzeni (historycznej) – przestrzeni architektonicznej. Bez wątpienia należy przywołać w tym miejscu liczne studia i badania na pograniczu historii, socjologii, historii architektury, archeologii, geografii humanistycznej czy filozofii⁴⁵.

Pewnym odniesieniem dla poczynionych w pracy dociekań będą nurty i zjawiska, oscylujące wokół krajobrazu kulturowego i przestrzeni społecznej, które wpisują w zmagania badawcze na etapie analizy minionych zjawisk przestrzennych aspekt społeczny, humanistyczny, a więc odwołują się do koncepcji podkreślających anizotropowość i ludzki – społecznie ukonstytuowany wymiar przestrzeni w przeszłości. Inspiracją dla tych dociekań są przykładowo prace i studia D. Cosgrove, zyskujące szerokie zainteresowanie i zastosowanie w badaniach archeologicznych nad krajobrazem kulturowym.⁴⁶ Natomiast dla przestrzennych form architektonicznych, które możemy w sposób dodatkowy analizować za pośrednictwem zasobów cyfrowych i narzędzi geoinformatycznych, inspiracją będą m.in. koncepcje M. Johnsona⁴⁷, wpisujące w badania zabytkowej architektury aspekty społeczne i znaczeniowe, które generuje codzienna praktyka społeczna, status społeczny przeszłych użytkowników tych obiektów oraz fizyczne usytuowanie jednostek w przestrzeni architektonicznej. Za przykład zastosowania danych przestrzennych posłuży jedna z analiz – analiza widoczności, celem zaprezentowania możliwości zastosowania GIS w procesie

⁴⁴ Lemaire T., 1997, *Archaeology between the invention and the destruction of the landscape*, "Archaeological Dialogues" 4 (1), s. 5-21; Darvil T., 1999, *The historic environment, historic landscapes, and space-time-action models in landscape archaeology*, (w:) *The Archaeology and Anthropology of Landscape. Shaping your Landscape*, (red.) P. J. Ucko, R. Layton, London-New York, s. 104-118.

⁴⁵ Heidegger M., 1977 (1952), *Budować, mieszkać, myśleć*, tłum. K. Michalski, (w:) *Budować, mieszkać, myśleć. Eseje wybrane*, tłum. K. Michalski, K. Pomian, M. J. Siemek, J. Tischner, K. Wolicki, Warszawa, s. 316-334; Jałowicki B., 1988, *Spółeczne wytworzenie przestrzeni*, Warszawa; Wódz J., 1989, *Spółeczna rola przestrzeni – wprowadzenie do rozważań socjologicznych nad przestrzenią*, (w:) *Przestrzeń znacząca. Studia socjologiczne*, (red.) J. Wódz, Katowice, ss. 9-25; *Architecture and Order: Approaches to Social Space*, 1997 (1994), M. P. Pearson, C. Richards (red.), London-New York; Frydarczyk B., 1999, *Pejzaż z ruinami*, (w:) *Przestrzeń, filozofia i architektura. Ośiem rozmów o poznawaniu, produkowaniu i konsumowaniu przestrzeni*, (red.) E. Rewers, Poznań, s. 167-181; Hudzik J. P., 1999, *Architektura jako metafora filozofii*, (w:) *Przestrzeń, filozofia i architektura. Ośiem rozmów o poznawaniu, produkowaniu i konsumowaniu przestrzeni*, (red.) E. Rewers, Poznań, s. 15-33; Norberg-Schulz Ch., 2000 (1971) *Bycie, przestrzeń i architektura*, tłum. B. Gądomska, Warszawa.

⁴⁶ Cosgrove D., 1998 (1984), *Social formation and symbolic landscape*, Madison; Cosgrove D., 1989, *Historical considerations of humanism*, (w:) *Remaking Human Geography, (Section III: Directions)*, (red.) A. Kobayashi, S. Mackenzie, London-Sydney-Wellington, s. 189-205.

⁴⁷ Johnston M., 2002, *Behind the Castle Gate: From the Middle Ages to the Renaissance*, Londyn.

interpretacji zjawisk z przeszłości. Rozpoznany na bazie metod nieinwazyjnych zasób kulturowy, a wraz z nim przestrzenny układ, stanowią we współczesnych badaniach nad krajobrazem kulturowym impuls do dalszych działań z zastosowaniem narzędzi geoinformatycznych, które mogą również wspierać badanie organizacji przestrzennej w przeszłości, umożliwiając inne rozumienie zamieszkiwania minionego świata i funkcjonowania w nim. Wymownym przykładem są liczne studia z pogranicza analizy zabytkowej przestrzeni architektonicznej i krajobrazu kulturowego, wprowadzające do badań nad przeszłością zjawiska granic, przynależności społecznej, tożsamości, znaczeniowego konstruowania miejsca i człowieka, które m.in. uwzględniają rolę widzenia (ang. *visibility*) czy przemieszczania się (ang. *movement*), jako czynników aktywnych oraz determinujących ludzką egzystencję w praktyce życia codziennego.⁴⁸ Właśnie technologie geoinformatyczne⁴⁹, oparte na generowaniu zestawu danych przestrzennych, wpisały w praktykę badawczą obszerny zestaw analiz przestrzennych, opartych na modelach cyfrowych, które pozwoliły włączyć w zakres analiz historycznych przestrzeni (w skali pojedynczych obiektów architektury, jak również w skali mikroregionu) interpretację miejsca i przestrzeni z perspektywy jednostki społecznej, a zatem uwzględniając m.in.: sekwencyjną aktywność człowieka czy rozumienie przestrzeni historycznej przez pryzmat przemieszczania się.⁵⁰

Inna formą wykorzystywania generowanych na bazie ALS/TLS (fotogrametrii) jest symulacja cyfrowa (modelowanie wirtualne), będąca elementem zarządzania i ochrony zasobów kulturowych. Metody przetwarzania danych, związane z modelowaniem 3D obecnie zyskują coraz silniejsze uznanie w środowiskach naukowo-badawczych i konserwatorskich, a także tych związanych z projektowaniem i gospodarką przestrzenną. Powstające dane przestrzenne, wraz z szeregiem narzędzi geoinformatycznych pozwalają (1) tworzyć rekonstrukcje obiektów oraz (2) wirtualne modele przestrzenne, które stosowane są np. w analizie korelacji, w architekturze i urbanistyce – w procesach projektowania zabudowy i przestrzeni miejskiej. Taki nieinwazyjny sposób analizy danych

⁴⁸ Zapłata R., 2006, *Archeologiczne studia nad przestrzenią. Zastosowanie Systemów Informacji Geograficznej w badaniach nad wczesnośredniowiecznym osadnictwem grodowym na Pomorzu* [maszynopis rozprawy doktorskiej w archiwum UAM]; McManama-Kearin L. K., 2013, *The Use of GIS in Determining the Role of visibility in the Siting of Early Anglo-Norman Stone Castles in Ireland*, Oxford.

⁴⁹ Zwoliński Z., 2009, *Rozwój myśli geoinformacyjnej*, (w:) *GIS platforma integracyjna geografii*, (red.) Z. Zwoliński, Poznań, s. 9-21.

⁵⁰ Johnson J., 2002, *Behind the castel gate. From Medieval to Renaissance*, Londyn.

należy również wpisać w szereg metod niedestrukcyjnych, związanych np. z ochroną historycznych sylwet i panoram miast.⁵¹

Każda z omawianych metod stanowi również narzędzie dokumentowania nieruchomości zasobów dziedzictwa kulturowego. Dokumentacja zasobów na bazie TLS i lotniczego skanowania laserowego to przede wszystkim kartometryczna dokumentacja przestrzenna, natomiast w zestawieniu z narzędziami, jakim są Systemy Informacji Geograficznej/Przestrzennej, to pełnowartościowa, hybrydyczna forma kartografowania i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Towarzyszący lotniczemu skanowaniu laserowemu zapis ortofotograficzny, będący składową systemów LIDAR, a także produkt wynikowy pomiarów, a więc wygenerowana i przetworzona chmura punktów, stanowią komponenty całości, która to umożliwia dokumentację pomiarową oraz obrazową (zarówno barwną jak i wektorową), wraz z rejestracją właściwości spektralnych obiektów mierzonych.

Proponowane i omawiane w pracy działania przy substancji zabytkowej in situ, z zastosowaniem nieinwazyjnych metod wspierają również idee kompleksowego i zintegrowanego działania na rzecz ochrony środowiska naturalnego i kulturowego, a więc konserwacji zapobiegawczej, definiowanej jako „wielodyscyplinarne postępowanie mające na celu ograniczenie strat w dziedzictwie kultury, aby trwało ono dla dobra ogółu”⁵². Zintegrowane działania odnoszą się do powstałych w przeszłości obiektów nieruchomych, których pozostałości w formie obiektów wziemnych i naziemnych konstrukcji przetrwały do dzisiaj, splatając się (m.in. w wyniku procesów podepozycyjnych) z dziedzictwem przyrodniczym. Tym samym jakkolwiek inwazyjna działalność w odniesieniu do nieruchomości obiektów zabytkowych (np. w postaci wykopaliskowych badań archeologicznych), stanowi często inwazyjną i niszczącą działalność wobec dziedzictwa naturalnego. Jedynym obecnie rozwiązaniem na rzecz nieniszczącego rozpoznawania i badania środowiska naturalnego oraz kulturowego są więc metody nieinwazyjne, a pośród nich metody teledetekcyjne, zwłaszcza skanowanie laserowe oraz obrazowanie satelitarne.

⁵¹ Czyńska K., 2007, Metody kształtowania współczesnej sylwety miasta na przykładzie panoram Szczecina. Wykorzystanie wirtualnych modeli miast w monitoringu i symulacji panoram, „Przestrzeń i FORMA”, nr 7-8, s. 215-224.

⁵² Tomaszewski A., 2000, s. 10.

1.3. Digitalizacja dziedzictwa kulturowego⁵³

Omawiana w pracy technologia skanowania naziemnego, jako część szeroko rozumianych metod fotogrametrycznych, stanowi element procesów digitalizacji dziedzictwa kulturowego. Najogólniej, digitalizacja to proces polegający na tworzeniu cyfrowych odwzorowań obiektów źródłowych wraz z odpowiednim opisem informacyjnym, a więc proces przetwarzania fizycznej jednostki bibliotecznej, archiwalnej, muzealnej czy też zabytkowej lub jej części na postać cyfrową⁵⁴. Zatem skanowanie zabytków traktowane jest jako element, czy jeden ze sposobów digitalizacji, a więc tworzenia cyfrowych replik (odwzorowań) obiektów zabytkowych.⁵⁵

Odnosząc się do zapisów *Ustawy z dnia 23 lipca 2003 r. O ochronie zabytków i opiece nad zabytkami*, a także dokumentów programowych⁵⁶, do zasadniczych celów digitalizacji dziedzictwa kulturowego zaliczamy:

- zabezpieczenie i zachowanie zasobów kulturowych, a więc ochronę przed utratą;
- tworzenie cyfrowych odwzorowań zabytków / dokumentacji zabytków;
- udostępnianie;
- tworzenie nowych form/postaci analizy substancji zabytkowej (np. bezdotykowa interakcja z obiektem / symulacja procesów destrukcyjnych / wizualizacja rekonstrukcji);
- nowy sposób przetwarzania treści kulturowych i naukowych;
- zapobieganie wykluczeniu kulturowemu społeczeństwa;
- zwiększanie efektywności i konkurencyjności polskich przedsiębiorstw i instytucji działających w sferze przemysłów kultury.

Omawiając zagadnienie digitalizacji dziedzictwa kulturowego – architektonicznego i archeologicznego, warto odnieść się pokrótce do szerszego kontekstu współczesnych zjawisk powstania i kształtowania się społeczeń-

⁵³ Wybrane dokumenty i literatura na temat digitalizacji – *Karta w sprawie zachowania dziedzictwa cyfrowego* – http://zg.pti.org.pl/sdsi/biblioteczka/karta_UNESCO.pdf [Dostęp 13 września 2009]; Bendyk E., Filiciak M., Hofmokl J., Kulisiewicz T., Tarkowski A., 2007, *Kultura 2.0. Wyzwania cyfrowe przeszłości*, Warszawa; Białobłocki T., Moroz J., Nowina Konopka M., Zacher L. W., 2006, *Spółczesność informacyjne. Istota, problemy, wyzwania*, Warszawa; *Raport o digitalizacji dóbr kultury oraz gromadzenia, przechowywania i udostępniania obiektów cyfrowych w Polsce 2009-2020*, 2009, Warszawa – <http://www.kongreskultury.pl/library/File/RaportDigitalizacja/Program%20digitalizacji%202009-2020.pdf> [dostęp 02.05.2013].

⁵⁴ Płoszajski G. (red.), 2008, *Standardy w procesie digitalizacji obiektów dziedzictwa kulturowego*, Warszawa., s. 15.

⁵⁵ Klak P. 2011, *Praktyka digitalizacyjna zabytków i muzealiów*, „Muzealnictwo”, 52, s. 54-60.

⁵⁶ *Program digitalizacji dóbr kultury oraz gromadzenia, przechowywania i udostępniania obiektów cyfrowych w Polsce 2009-2020*, 2009, Warszawa, s. 36.

stwa informacyjnego⁵⁷, który to kontekst m.in. odsyła do działań Komisji Europejskiej, wspierającej sam proces digitalizacji, jak również generującej zalecenia państwom członkowskim Unii Europejskiej. Krótką charakterystykę przeglądowną należy rozpocząć od działań w zakresie digitalizacji dziedzictwa kulturowego, podjętych przez międzynarodową organizację UNESCO, w ramach której utworzono w 1992 r. program „Pamięć Świata” („Memory of the World”). Jego realizację wspiera Międzynarodowy Komitet Doradczy przy Sekretarzu Generalnym. Początki kształtowania się europejskiego społeczeństwa informacyjnego dostrzegamy w działaniach Unii Europejskiej, która m.in. w dokumencie „Growth, Competitiveness and Employment. The Challenges and Ways Forward into 21st Century” zapoczątkowała proces tworzenia takiego społeczeństwa, a od 1994 r. właściwą politykę w tym zakresie rozpoczęła Komisja Europejska dokumentem „Europa i społeczeństwo globalnej informacji. Zalecenia Rady Europy”⁵⁸. Przywołajmy w tym miejscu kilka istotnych dla rozwoju społeczeństwa informacyjnego wydarzeń związanych z digitalizacją: 17 marca 1994 r. ma miejsce utworzenie Europejskiej Komisji Ochrony Dostępu (European Commission on Preservation and Access), która w kolejnych latach działalności w istotny sposób przyczyniała się do rozwoju digitalizacji wybranych zasobów historycznych; w lipcu 1996 r. opublikowana zostaje przez Komisję Europejską Zielona Księga „Living and Working in Information Society. People First”; 8 grudnia 1999 r. państwa Unii Europejskiej ogłaszają projekt „eEuropa – Społeczeństwo Informacyjne dla wszystkich”; 23-24 marca 2000 r. Rada Unii Europejskiej w Lizbonie przyjmuje tzw. Strategię Lizbońską, w której znalazła się m.in. Inicjatywa „eEuropa – Społeczeństwo Informacyjne dla wszystkich”; 19-20 czerwca 2000 r. następuje przyjęcie dokumentu „Plan Działań eEuropa 2002”, zakładającego m.in. rozpowszechnienie i ułatwienie dostępu do Internetu w Europie; 2001 r. –uruchomiony zostaje program „eContent”, który jest realizacją inicjatywy „eEuropa,” kontynuowany w latach 2005-2008 jako „eContentplus”; 2001 r. to opracowanie „Założeń z Lund” („Lund Principles”) – tzw. „Zasady z Lund”, a także związanego z nimi „Planu działań z Lund”; 6 maja 2003 roku powstają zalecenia Grupy Ekspertskiej do spraw Archiwów w Komisji Europejskiej; 17 października 2003 r. zostaje przyjęta przez UNESCO „Karta w sprawie ochrony dziedzictwa cyfrowego” („Charter on the Preservation of the Digital Heritage”); 2004 r. to przyjęcie

⁵⁷ Dobrowolski Z., 2005, *Koncepcja społeczeństwa informacyjnego Daniela Bella*, (w:) *Od informacji naukowej do technologii społeczeństwa informacyjnego*. Seria „Nauka-Dydaktyka-Praktyka” nr 78, (red.) B. Sosińska-Kalata, M. Przystek-Samokowa M., Warszawa, s. 87-106; Białobłocki T., Moroz J., Nowina Konopka M., Zacher L. W., 2006, *Społeczeństwo informacyjne. Istota, problemy, wyzwania*, Warszawa.

⁵⁸ Białobłocki T., et al, 2006, s. 27.

tw. „Karty Parmeńskiej” („Charter of Parma”); w lipcu 2005 roku pojawia się poparcie Komisji Europejskiej dla inicjatywy utworzenia europejskiej biblioteki cyfrowej; 1 czerwca 2005 roku następuje przyjęcie przez Komisję inicjatywy „i2010: Europejskie Społeczeństwo Informacyjne w 2010 r.”; „Zalecenie Komisji Europejskiej z dnia 24 sierpnia 2006 r. w sprawie digitalizacji i udostępnienia w Internecie dorobku kulturowego oraz w sprawie ochrony zasobów cyfrowych”; grudzień 2006 r. – Rada Europejska ogłasza dokument pt. „Konkluzje Rady w sprawie digitalizacji i udostępniania w Internecie dorobku kulturowego oraz w sprawie ochrony zasobów cyfrowych”.⁵⁹

Natomiast krajowe plany digitalizacji oraz ich realizacja w zakresie rozwoju digitalizacji dziedzictwa kulturowego znajdują swe podstawy m.in. w dokumencie Komitetu Badań Naukowych z dnia 28 listopada 2000 r. „Cele i kierunki rozwoju społeczeństwa informacyjnego w Polsce”. Proces digitalizacji w Polsce należy wiązać z kilkoma istotnymi wydarzeniami, mianowicie: dnia 11 września 2001 r. następuje przyjęcie „Strategii rozwoju społeczeństwa informacyjnego w Polsce na lata 2001-2006 – ePolska”; 22 lipca 2003 r. Rada Ministrów przyjmuje dokument „Program na lata 2003-2006 – Tworzenie mechanizmów i struktur rozwoju elektronicznej gospodarki w Polsce”; 13 stycznia 2004 r. zostaje przyjęta przez Radę Ministrów „Strategia informatyzacji Rzeczypospolitej Polskiej – ePolska na lata 2004-2006”; kwiecień 2004 r. – Minister Kultury i Dziedzictwa Narodowego powołuje Zespół ds. Digitalizacji; 10 maja 2004 r. Minister Kultury Waldemar Dąbrowski przyjmuje „Tezy do opracowania krajowego programu ochrony zabytków i opieki nad zabytkami”, zredagowane przez zespół Rady Ochrony Zabytków przy Ministrze Kultury pod przewodnictwem prof. dr hab. B. Rouby, które m.in. określając kierunki działań, wskazały utworzenie krajowej ewidencji w systemie cyfrowym – Plan Informatyzacji Państwa (Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 01 sierpnia 2006 r.).⁶⁰

Wraz z rozwojem i upowszechnianiem omawianych metod nieinwazyjnych, które stanowią również element wspomnianego procesu, określonego mianem digitalizacji – cyfryzacji, w badaniach dziedzictwa kulturowego oraz w konserwatorstwie, dostrzegamy zjawisko generujące konieczność przeformułowania zarządzania, przetwarzania, archiwizowania i udostępniania zasobów (danych) i informacji związanych z zabytkami.

⁵⁹ Zapłata R., 2011, *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego – wybrane zagadnienia. Wprowadzenie*, (w:) *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego. Wybrane zagadnienia*, (red.) R. Zapłata, Lublin, s. 8-40 – <http://wiedzaiedukacja.eu/archives/55353>

⁶⁰ Zapłata R., 2011, s. 23.

Zasób danych cyfrowych, w tym liczne odwzorowania wirtualne, stanowią część dóbr kultury, które wymagają odmiennego systemu ochrony i zarządzania.

Poza wymiarem dokumentacyjnym, cyfrowa postać dziedzictwa kulturowego (materialnego) winna być również rozpatrywana jako podstawa innych działań związanych z zabytkami, odnoszących się m.in. do: (1) rekonstrukcji, a więc wiernego odtwarzania brakujących elementów zabytku lub jego całości; (2) restauracji, pojmowanej ogólnie jako proces praktycznego ujawniania estetycznej i historycznej wartości zabytku; (3) integracji substancji zabytkowych, poszerzających tym samym zakres nieinwazyjnych działań badawczo-konserwatorskich. Do rzeczywistości wirtualnej przenoszone są analizy konserwatorskie przyjmujące postać symulacji, bazujących na modelach cyfrowych, które umożliwiają prowadzenie licznych prac, dotychczas wykonywanych bezpośrednio na zabytkach. Zatem dokonywana wirtualnie na bazie replik cyfrowych restauracja to działania „mające na celu wyeksponowanie wartości artystycznych i estetycznych zabytku, w tym – jeżeli istnieje taka potrzeba – uzupełnienie lub odtworzenie jego części oraz dokumentowanie tych działań”⁶¹. „Konserwacja wirtualna” służy zatem poprawie (często wizualnej) czytelności fragmentów czy całych obiektów zabytkowych, co szczególne zastosowanie znalazło w konserwacji źródeł pisanych oraz ikonograficznych.

Obok aspektów konserwatorskich, inwentaryzacyjno-dokumentacyjnych i naukowo-badawczych, cyfrowe repliki obiektów zabytkowych odsyłają do kolejnego zagadnienia, mianowicie wspomnianej wirtualnej rekonstrukcji zabytku. Z uwagi na specyfikę generowanego zasobu cyfrowego za pośrednictwem metod laserowych, nawiązanie do w/w zagadnienia wydaje się konieczne z dwóch powodów. Po pierwsze, dokładność pomiaru (zwłaszcza przestrzenne odwzorowanie geometrii obiektów) stanowi punkt wyjścia do dalszych prac badawczych i konserwatorskich, a sam pomiar jest uzależniony od wielu czynników, nie rejestrując z taką samą dokładnością każdego obiektu. Po drugie, model przestrzenny staje się repliką cyfrową obiektu, jednak zróżnicowaną pod względem jakości geometrycznej, będąc jednocześnie podstawą do budowania rekonstrukcji nazbyt często obciążonych daleko idącą swobodą i wyobraźnią, która niejednokrotnie gubi autentyzm zabytku. Tym samym historyczna wiarygodność zabytku w kontekście wirtualnych rekonstrukcji winna zawsze

⁶¹ Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. ..., art. 3 ust. 7.

uwzględniać walory poznawcze replik cyfrowych.⁶² Szereg metod nieinwazyjnych – teledetekcyjnych oraz narzędzi geoinformatycznych oferuje całe instrumentarium, modyfikujące sposób podejścia do badania dziedzictwa kulturowego (automatyzm, szerokopłaszczyznowość itd.), zarówno na poziomie jego rozpoznawania, inwentaryzowania, jak i analizowania i udostępniania. Ta sytuacja zmienia z jednej strony strategię naukowo-konserwatorskie, wpisuje nowe pytania badawcze, z drugiej natomiast wprowadza nowy zestaw kompetencji (nowomediałnych), jakimi musi posługiwać się badacz-konserwator, a także odbiorca wyników prac.

1.4. Podsumowanie

Nieinwazyjne metody badania dziedzictwa kulturowego *in situ*, w odniesieniu do badań architektonicznych i archeologicznych poprzez aplikację skanowania laserowego, zyskują kolejne narzędzie wzbogacające warsztat badawczy, poprawiając jednocześnie jakość dokumentacyjną i prospekcyjną. W kontekście dotychczasowych metod nieinwazyjnych, nowe narzędzia należy rozpatrywać jako komplementarne wobec tych pierwszych, jak i odwrotnie.

Współczesne metody nieinwazyjne w działaniach na rzecz nieruchomego dziedzictwa kulturowego włączają do swojego zestawu narzędziowego, istotny z punktu widzenia analitycznego i monitorującego, stan zachowania zabytków – rejestrację warunków występowania (zalegania) obiektów, czyli środowisko ich występowania. Tym samym, obok rozpoznawania substancji zabytkowej, pozwalają na dokonanie rejestracji i rozpoznania warunków, w jakich występuje obiekt kulturowy. Takie podejście z punktu widzenia nowoczesnych metod, winno być stałym i integralnym elementem działań przy obiektach zabytkowych, a zwłaszcza elementem procesów rejestracyjnych i analitycznych. Wpisanie na stałe do praktyki badawczej rejestracji parametrów, które odnoszą się do panujących warunków, jakie towarzyszą zabytkom (np. wilgotność, temperatura), stanowi również krok w stronę rejestracji warunków występujących w momencie dokumentowania i analizowania substancji zabytkowej, co też wprowadza możliwość wykonywania bardziej obiektywnego opisu samego zabytku. Za przykład może posłużyć m.in. rejestracja barwy danego zabytku, która w wielu

⁶² Karta Londyńska – *The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage*, red. Hugh Denard, King's College London, 7 lutego 2009 – www.londoncharter.org – tłumaczenie na j. polski: http://historiasztuki.uni.wroc.pl/projekty_badawcze/doc/kart_londyńska_PL.pdf

sytuacjach stanowi znaczący element w procesie interpretacyjnych obiektów zabytkowych (np. warstw kulturowych w analizie stratygraficznej warstw kulturowych czy struktur stojących zabytkowych obiektów architektonicznych), a której rejestracja uzależniona jest m.in. od panujących warunków oświetleniowych oraz wilgotności.

Omawiane technologie oferują badaniom dziedzictwa kulturowego rozwiązania, które najogólniej umożliwiają integrację danych pochodzących z różnych źródeł i pozyskanych w różnym czasie, mających jednocześnie zróżnicowany charakter, stanowiąc elementy tzw. systemów geoinformatycznych, które również zasilają naziemne oraz lotnicze pomiary laserowe. Omówione w kolejnych częściach pracy technologie oraz generowane zasoby danych stanowią obecnie element zmieniający sposób myślenia na temat prowadzenia badań i zarządzania zasobami, a tym samym element zmieniający sposób organizowania prac wokół dziedzictwa kulturowego. Diametralnej zmianie ulega np. proces badania terenów leśnych, na których w nikłym stopniu sprawdzały się dotychczasowe metody, w odróżnieniu od lotniczego skanowania laserowego. Natomiast w odniesieniu do zastosowania naziemnego skanowania laserowego, diametralnej zmianie ulega m.in. sposób inwentaryzowania i wykonywania pomiarów obiektów zabytkowych, w szczególności ich jakość. Przykładem niech będzie zalecana dokładność pomiarów inwentaryzacyjnych – dokładność identyfikacji zgodnie z „Wytycznymi technicznymi G. 3-4”, która wynosi dla muru kamiennego (ruina) od 3 cm do 10 cm, kiedy w pomiarze za pośrednictwem technologii laserowej możemy uzyskać w sposób nieinwazyjny i szybki dokładność identyfikacji poniżej 1 cm.⁶³

Technologia skanowania laserowego, jako metoda nieinwazyjna, stanowi przede wszystkim narzędzie wspierające procesy rozpoznawania i inwentaryzowania dziedzictwa kulturowego. Przykładem takiego właśnie podejścia do omawianych metod są działania przeprowadzone wokół zabytkowej architektury murowanej (ruiny zamku w Iłży) oraz zespołu zabytkowych mielerzy z okolic Seredzic w woj. mazowieckim, które zostaną omówione w kolejnych rozdziałach.

⁶³ Wytyczne Techniczne G-3.4 pt.: „Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury”, 1981, GUGiK, Warszawa., s. 33.

2. Naziemne skanowanie laserowe

2.1. Wprowadzenie

Naziemne skanowanie laserowe to część jednego z etapów inwentaryzacji architektury, a więc bezpośredniego pomiaru budowli zabytkowych¹, a także jeden z elementów generowania dokumentacji podczas badań archeologiczno-architektonicznych², w procesie badania zabytkowych budynków *in situ*³. Skanowanie laserowe stosowane na użytek badań architektonicznych, archeologicznych czy konserwatorskich należy postrzegać w ramach dwóch pól eksploatacji, mianowicie (1) pomiaru jako procesu dokumentującego (zapis geometrii) oraz (2) pomiaru pojmowanego jako automatyczna rejestracja pewnych właściwości obiektów. Na krótki komentarz w tym miejscu zasługuje drugi rodzaj pomiaru, który w świetle zautomatyzowanych technik inwentaryzacyjnych, może wprowadzać element dystansujący badającego-dokumentalistę w odniesieniu do obiektu zabytkowego, co może doprowadzić do niebezpieczeństwa powierzchowności wyników badań, umieszczając analizę substancji zabytkowej jedynie na etapie gabinetowego opracowania.⁴ W związku z powyższym, pewnym postulatem kreślonym na wstępie tego rozdziału, a zarazem ideą towarzyszącą omawianiu TLS, jest włączenie omawianej technologii do procesu badawczego, jako technologii przede wszystkim wspierającej działania terenowe, która na bieżąco, podczas tych prac, może wspierać analizy i interpretacje substancji zabytkowej. Dzisiejsze technologie umożliwiają nie tylko rejestrację w terenie, ale również bieżącą analizę generowanej dokumentacji, która może być podstawą prac analitycznych, wykonywanych jeszcze w terenie, a nie jedynie na etapie kameralnych opracowań. Znacząca w takim podejściu do naziemnego skanowania laserowego wydaje się rejestracja i analiza odbicia wiązki lasera, która właśnie na etapie prac terenowych, zwłaszcza

1 Brykowska M., 2003, *Metody pomiarów i badań zabytków architektury*, Warszawa, s. 7.

2 Kajzer L., *Archeologiczno-architektoniczne badania terenowe*, (w:) *Metodyka badań archeologiczno-architektonicznych*, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa 1999, s. 23-52 (37-39).

3 Brykowska M., 2007, *Dokumentacja naukowa niezbędna dla ochrony i konserwacji zabytków architektury*, „Rocznik Geomatyki”, t. 7, z. 8, s. 115-132 (124).

4 Kościuk J., 2006, *Wybrane problemy wykorzystania współczesnych technologii w dokumentacji remontowo-konserwatorskiej*, (w:) *Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych* (praca zbiorowa), Wrocław, 123-39 – http://labscan3d.pwr.wroc.pl/images/stories/pdf/skanowanie_3D_REMO_2006.pdf

podczas badań archeologiczno-architektonicznych, ma szansę bycia techniką wspierającą procesy interpretacyjne. Zasadniczą zaletą naziemnego skanowania laserowego jest możliwość wykonywania dokładnych i bezinwazyjnych pomiarów geometrii obiektów zabytkowych oraz jednostek stratyfikacji. Ten quasi-ciągły pomiar, który bazuje na punktowej rejestracji powierzchni zabytkowej, umożliwia uzyskanie przestrzennego odwzorowania obiektu, które ma zarazem wartość dokumentacyjną, jak i analityczną. Starając się zestawić zagadnienia przestrzennej rejestracji i produktów pochodnych naziemnego skanowania laserowego, poniżej zostanie zaprezentowana charakterystyka wybranych zagadnień omawianej technologii w badaniach dziedzictwa kulturowego. Zalety omawianych pomiarów oraz ich produktów dostrzeżono zarówno w badaniach architektonicznych, jak i archeologicznych. W wypadku badania architektury zabytkowej, w tym małej architektury (np. pomniki), naziemne skanowanie laserowe stanowi drugą obok fotogrametrii bliskiego zasięgu technikę uzyskiwania dokładnych i zautomatyzowanych odwzorowań geometrii obiektów. W odniesieniu do badań archeologicznych, zwłaszcza prac inwazyjnych, technologia skanowania naziemnego wprowadza możliwość przestrzennej – qusi-ciągłej rejestracji jednostek stratyfikacji, z dużą dokładnością, włączając w szereg prac dokumentacyjnych narzędzie trójwymiarowej rejestracji wspomnianych jednostek czy zabytków ruchomych⁵. Dokładny zapis przestrzenny to możliwość wykonywania licznych pomiarów obiektów zabytkowych, generowania dokumentacji wektorowych czy przekrojów i planów konstrukcji oraz warstw zabytkowych. Generowane modele 3D obiektów zabytkowych, zwłaszcza architektury, stwarzają m.in. możliwość rejestracji całości założeń, wraz z dokładną analizą uszkodzeń mechanicznych, w tym ubytków substancji zabytkowej. Fotogrametria bliskiego zasięgu oraz naziemne skanowanie laserowe stanowią zestaw narzędziowy umożliwiający przestrzenno-obrazową rejestrację obiektów zabytkowych, a zarazem zapis danych, które mogą być uzupełniane i dowiązywane do istniejących systemów bazodanowych, np. w odniesieniu do planowania przestrzennego, gospodarki przestrzennej czy zintegrowanego i powiązanego systemu dokumentacji zasobów kulturowych.

W poniższym rozdziale zostaną omówione wybrane zagadnienia naziemnego skanowania laserowego w kontekście badań dziedzictwa kulturowego, przede wszystkim jako metody pomiarów zabytków architektury i dokumentowania jednostek stratyfikacji. W rozdziale prezentowana

⁵ Tyszczyk S., 2006, *Mechaniczny proces dokumentacji – zagrożenie czy szansa dla procesu interpretacji?* (w:) *Badania archeologiczne na Górnym Śląsku i ziemiach pogranicznych w latach 2003-2004*, Katowice, s. 259-273.

jest metoda skanowania laserowego wraz wnioskami podsumowującymi, postulatami badawczymi, a także zaleceniami dotyczącymi zagadnień metodycznych. Przewodnie elementy tej części pracy to bezdotkowy pomiar geometrii zabytków architektury murowanej, a zarazem pomiar przestrzenny wykonywany podczas badań archeologiczno-architektonicznych. Kolejnym elementem rozdziału jest omówienie zagadnienia rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera od powierzchni zabytkowych, które w pewnym zakresie wzbogaca proces dokumentacyjny dziedzictwa architektonicznego oraz archeologicznego⁶. Rozdział stanowi wyraz dostrzegania potencjału, jaki niesie ze sobą TLS w badaniach dziedzictwa kulturowego, z ukierunkowaniem zainteresowań badawczych na niestandardowe rozwiązania, które obecnie znajdują się na etapie testów i prób ich aplikowania do prac dokumentacyjnych i analitycznych. Przywołane przykłady studiów oraz przedstawiane wyniki badań własnych, to m.in. pozytywne efekty prac, które docelowo mają za zadanie rozwinięcie i zainicjowanie szerszego procesu badawczego w zakresie użyteczności prezentowanych rozwiązań w terenowych badaniach architektonicznych i archeologicznych.

2.2. Skanowanie naziemne – ogólne zagadnienia

Parafrazując słowa autorów publikacji „Jak czytać architekturę”, powiedzielibyśmy, a raczej dodalibyśmy, że doświadczanie architektury zaczyna się od kontaktu z oddali, pierwszego ujrzenia budynku w rzeczywistości lub na fotografii, a obecnie również w wirtualnej rzeczywistości – w świecie zasobów danych, modeli i symulacji cyfrowych, które generują współczesne technologie.⁷ Zatem zanim poznamy i doświadczymy przestrzeni zabytkowej w sposób bezpośredni, stykając się z oryginalną substancją, często poznajemy obiekt za pośrednictwem opisu, obrazu, a także przestrzenie, poprzez nowe technologie⁸. Dematerializacja architektury i jej wirtualne doświadczenie, w tym architektury zabytkowej, stanowi rys współczesnej kultury, co obserwujemy w badaniach oraz procesach poznawania

⁶ Soria-Medin A., Martínez J., Buffara-Antunes A. F., Arias P., González-Jorge H., 2011, *An approach to extracting facade features using the intensity value of terrestrial laser scanner with mathematical morphology*, s. 552-557, „Proceedings of the 28th ISARC, Seoul, Korea”, s. 552-557 – <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/S16-3.pdf>

⁷ Basista A., Nowakowski A., 2012, *Jak czytać architekturę*, Kraków, s. 6.

⁸ Szerzej na temat zjawiska wirtualnej architektury – K. Kalitko, 2004, *Architektura między materialnością i wirtualnością*, Poznań.

dziedzictwa kulturowego.⁹ Przyczyny tej zmiany należy upatrywać m.in. w nowych formach inwentaryzacji zabytków, do których zaliczamy technologie cyfrowe¹⁰, wraz z naziemnym skanowaniem laserowym, które stało się jedną z technik umożliwiających generowanie odpowiedników cyfrowych – replik obiektów zabytkowych, stanowiących jednocześnie podstawę do przeprowadzania analiz naukowych.

Zasadniczym kryterium doboru i analizy omawianych w pracy urządzeń (metod) skanowania naziemnego, a zarazem kryterium wyznaczającym określony zakres pomiarów naziemnych jest przede wszystkim: (1) możliwość wykonywania pomiarów w terenie na bazie bezdotykowych urządzeń skanujących, jak również (2) ich dostępność oraz użyteczność w terenowych pracach architektonicznych i archeologicznych, a także (3) możliwość rejestracji intensywności odbicia powracającej wiązki światła. Powyższe podejście określa zatem zakres charakterystyki, która sprowadza się do naziemnych skanerów laserowych w nieinwazyjnych pracach terenowych. Dodatkowym kryterium definiującym omawiany zakres sprzętowy, jest dobór metod i urządzeń (w ramach terenowych prac archeologiczno-architektonicznych) w zależności od stawianych celów, potrzeb i generowanej za ich pomocą jakości dokumentacji końcowej. Istotnym elementem ukierunkowania prezentacji TLS jest również oczekiwana optymalizacja działań terenowych, co też uwzględnia czasochłonność oraz koszty wykonywanych pomiarów. Tym samym również i dostępność do urządzeń oraz usług stanowią kryteria doboru omawianych metod w pracy terenowej, które stopniowo stają się standardowym rozwiązaniem dla prowadzonych prac inwentaryzacyjnych. Należy zaznaczyć, że specyfika prowadzonych prac terenowych określa w pewnym zakresie możliwości wykonywania bieżących pomiarów bezdotykowych, które winny być dostosowane do prowadzonych działań, uwzględniając zakres organizacyjny prowadzonych prac. W związku z powyższym znaczącym wydaje się: (1) analiza potrzeb i możliwości prowadzonych badań; (2) analiza możliwości i ograniczeń dostępnych na rynku rozwiązań¹¹; (3) dobór urządzeń pomiarowych i określenie parametrów oraz warunków technicznych planowanych pomiarów. Analizując literaturę przedmiotu i obserwując istniejące tendencje w zakresie digitalizacji dziedzictwa kulturowego, należy

⁹ Bendkowska-Kafel A., 2009, *Zabytek wirtualny: kryteria oceny i rola Karty Londyńskiej*, (w:) *Informatyka w historii Sztuki. Stan i perspektywy rozwoju współczesnych metodologii*, t. 2., *Cyfrowe spotkania z zabytkami*, (red.) A. Seidel-Grześnińska, K. Stanicka-Brzezicka, Wrocław, s. 72-81.

¹⁰ Czernik E., 2011, *Trendy w architekturze cyfrowej*, "Przestrzeń i FORMA", nr 15, s. 155-162.

¹¹ Źródowski C., Kłos M., 2012, *Metodyka pracy ramieniem 3D*, Gdańsk., s. 6-7 – http://www.cmm.pl/upload/Files/cke/Metodyka_pracy_ramieniem_3D-raport.pdf.

stwierdzić, że optymalnym rozwiązaniem dla prac dokumentacyjnych, sięgających po fotogrametryczne bezdotykowe systemy pomiarowe, podczas badań architektonicznych i archeologicznych oraz działań inwentaryzacyjnych przy obiektach zabytkowych (przy jednoczesnym uwzględnieniu w/w kryteriów doboru sprzętu i metody) jest wybór naziemnych skanerów laserowych – urządzeń geodezyjnych, wyposażonych (doposażonych) w zewnętrzną kamerę cyfrową. Uwzględniając również, pośród kryteriów doboru rozwiązań sprzętowych, specyfikę obiektów lub powierzchni mierzonych w terenie, które wiążą się rozmiarami oscylującymi od kilku (np. powierzchnia wykopu archeologicznego) do kilkudziesięciu metrów (np. zabytkowa architektura murowana), optymalnym rozwiązaniem jest także stosowanie urządzeń skanujących, mogących pracować w znacznej odległości od obiektu mierzonego. Tak dobrany sprzęt zapewnia przede wszystkim nieinwazyjność, wysoką dokładność i jakość pomiarów, szybkość i automatyzm w pracach terenowych oraz znaczną mobilność i elastyczność działań. Poza tym naziemny skanowanie laserowe zapewnia możliwość rejestracji i generowania dodatkowych danych (poza geometrią obiektu), które wnoszą nową jakość do prowadzonych prac badawczych i konserwatorskich.

Naziemne metody skanowania laserowego (bliskiego, średniego oraz dalekiego zasięgu), wraz z metodami fotogrametrii bliskiego zasięgu, najogólniej stanowią zestaw technik wchodzących w skład szeroko rozumianej digitalizacji dziedzictwa kulturowego, która posiada kilka form przestrzennej rejestracji obiektów zabytkowych. Jednym z kryteriów ich wyróżniania jest podział na obiekty ruchome i nieruchome, czy podział na prace wykonywane w terenie oraz w warunkach gabinetowych „laboratoryjnych”.¹² Z wyjątkową formą wykonywania pomiarów mamy do czynienia podczas badań archeologiczno-architektonicznych, gdzie pomiary muszą być prowadzone w terenie. Fotogrametryczne systemy pomiarowe to szereg narzędzi i metod wykonywania pomiaru przestrzennego, pośród których najogólniej należy wymienić metody należące do dwóch zasadniczych grup: (1) metody aktywne (sensory 3D – np. skanery impulsowe i fazowe) oraz (2) metody pasywne (wykorzystujące obrazy cyfrowe np. stereowizja).

W ramach metod aktywnych, a więc optycznych systemów pomiarowych, powszechnie stosowanych i zalecanych w procesach digitalizacji

¹² Warto zaznaczyć, że również obiekty in situ, mogą mieć stworzone warunki „laboratoryjne” (regulacja oświetlenia, wilgotności, temperatury), jednak praktyka badawcza wskazuje, że większość prac terenowych (m.in. z uwagi na wielkość obiektów) jest mierzona – digitalizowana w tzw. „warunkach terenowych”, bez możliwości znacznego regulowania oświetleniem czy temperaturą.



Ryc. 2.1. Naziemny skaner laserowy (skaner impulsowy – Leica ScanStation C10) podczas pomiarów ruiny zamku w Ilży (fot. R. Zapłata)

zasobów dziedzictwa kulturowego należy wymienić: (1) metody prążkowe (interferometria holograficzna i plamkowa); (2) metodę triangulacji laserowej (np. skaner Konica-Minolta Vivid-900); (3) metodę przelotu wiązki (np. skaner Leica, Faro, Zoller + Fröhlich, Riegl); (4) metodę oświetleniem strukturalnym (np. skaner Artec, Smarttech)¹³. Obecnie ogólnie dostępne urządzenia, które stanowią przykłady wykorzystywania w/w metod to: (1) naziemne (stacjonarne) ramiona – systemy pomiarowe; (2) naziemne (stacjonarne) skanery laserowe; (3) naziemne (stacjonarne oraz mobilne – ręczne) skanery optyczne; (4) naziemne systemy mobilne (skanowanie dynamiczne)¹⁴. Z uwagi na zasięg pomiarowy urządzeń, przyjmuje się również podział trojakiemu rodzaju dla fotogrametrii i naziemnego skanowania laserowego: bliskiego, średniego i dalekiego zasięgu.¹⁵

¹³ *Zalecenia dotyczące planowania i realizacji projektów digitalizacyjnych w muzealnictwie*, 2011, (red.) zespół ekspertów powołany przez Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów: E. Bunsch, P. Jam-ski, T. Kalota, L. Karecka, M. Kłos, J. Marciniak, C. Mazurek, R. Sitnik, M. Szala, M. Werla, T. Zaucha, A. Kuśmidrowicz-Król, D. Galas, Warszawa, s. 25-6.

¹⁴ Kościuk J., 2006, s. 123-39.

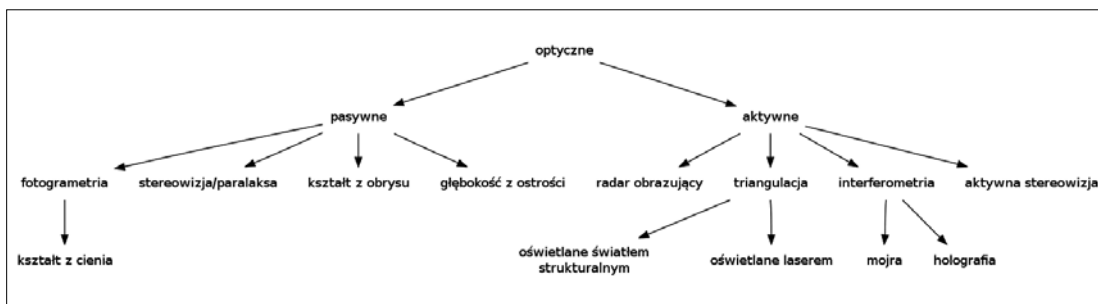
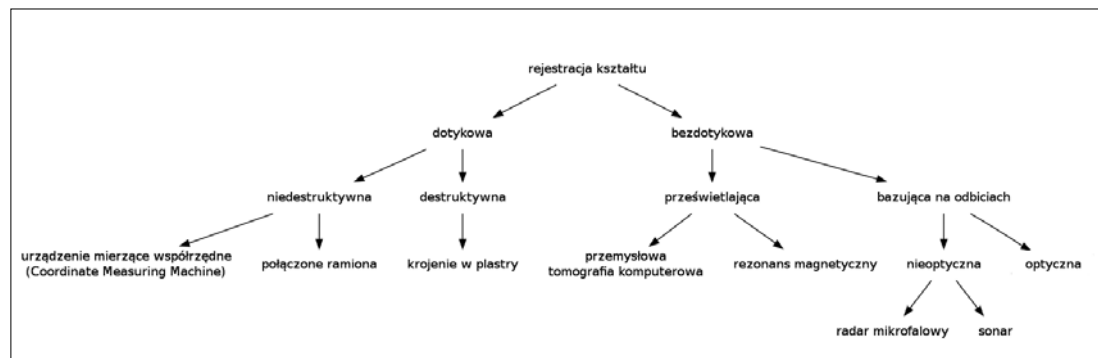
¹⁵ Pfeifer N., Dorninger P., Haringb A., Fanb H., 2007, *Investigating terrestrial laser scanning intensity data: quality and functional relations*, (w:) "8th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques", s. 328-337 Zurich – http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-geo_1932.pdf



Ryc. 2.2. Naziemny skaner laserowy (skaner fazowy – Z+F IMAGER 5006) podczas pomiarów ruiny zamku w Iłży (fot. R. Zapłata)

Wyżej wymieniony zbiór metod bezdotykowego pomiaru naziemnego umożliwia w ramach pomiaru przestrzennego uzyskiwanie informacji o geometrii obiektu (powierzchni mierzonej), którą charakteryzuje przede wszystkim duża rozdzielczość przestrzenna oraz niska niepewność pomiaru. Dostępne urządzenia i naziemne systemy pomiarowe (w tym metody pasywne – fotogrametria bliskiego zasięgu) mają możliwość odwzorowania kształtu powierzchni obiektów zabytkowych, w następujących rozdzielczościach (w zależności od stosowanej metody i urządzenia): (1) skanery światła strukturalnego – poniżej 1 mm (ang. *structured light scanning*); (2) fotogrametria bliskiego zasięgu – poniżej 1 mm (ang. *close range digital photogrammetry*); (3) naziemne skanery laserowe – impulsowe i fazowe – poniżej 1 cm (ang. *terrestrial laser scanning*); (4) kinematyczny skanowanie laserowe – mobilny skanowanie laserowe – maks. ok. 1-3 cm (ang. *mobile laser scanning*); (5) tachimetry elektroniczne (ang. *total station*) – 1 cm; (6) skaner typu ramię skanujące – do 0,05 mm¹⁶.

¹⁶ Wawro K., 2011, *Inwentaryzacja architektoniczna ołtarza w kościele św. Idziego w Krakowie na podstawie danych z naziemnego skaningu laserowego*, Kraków [praca dyplomowa – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie] – http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/WebHome/praca_mgr_Wawro.pdf



Ryc. 2.3. Klasyfikacja metod rejestracji kształtu (geometrii obiektów przestrzennych) oraz klasyfikacja urządzeń optycznych do pomiarów przestrzennych (za Dziubek 2009)¹⁷

Pod kątem odległości, skaner dzielimy (jak już wspomniano) na urządzenia bliskiego, średniego i dalekiego zasięgu, co zgodnie z literaturą przedmiotu przekłada się w ogólnym zarysie na możliwość wykonywania pomiarów z maksymalnej odległości:

- skanery bliskiego zasięgu - do kilku metrów;
- skanery średniego zasięgu - do ok. 100 m;
- skanery dalekiego zasięgu - ≥ 1000 m.¹⁸

Dodatkową klasyfikację omawianych urządzeń wprowadza również zasada pomiaru - technologia pomiaru: (1) impulsowa, (2) fazowa i (3) triangulacja optyczna, które wprowadzają podział wg odległości oraz dokładności skanowania, co ilustruje tabela. (Tab. 2.1).

¹⁷ Dziubek, 2009, *Skaner 3D na bazie strukturalnego oświetlenia*, Warszawa, s. 7 [praca magisterska - Uniwersytet Wrocławski] - <http://www.ii.uni.wroc.pl/~anl/MGR/dziubek.pdf>

¹⁸ Schulz T., Ingesand H., 2004, *Terrestrial Laser Scanning - Investigations and Applications for High Precision Scanning*, (w:) "Proceedings of the ,FIG Working Week, May 23-27, 2004, Athens, Greece", s. 1-4 za Marczeńska K., 2010, *Opracowanie ortofotografii obiektu architektonicznego na podstawie jego pomiaru laserowym skanerem naziemnym*, Warszawa [praca dyplomowa - archiwum Politechniki Warszawskiej], s. 25.

Technologia pomiaru	Dokładność [mm]	Zasięg [m]
Impulsowy	poniżej 10 poniżej 20	Do 100 ≥ 1000
Fazowy	Poniżej 10	Do 100
Triangulacja optyczna	poniżej 1	Do 5/10

Tab. 2.1. Ogólny podział skanerów laserowych wg technologii, odległości i dokładności pomiaru.

Skanowanie laserowe to proces emitowania przez urządzenie specyficznego rodzaju promieniowania elektromagnetycznego¹⁹, polegający na wyznaczeniu przestrzennego położenia elementów wektorowych, opisujących geometrię mierzonego obiektu i ewentualnym przypisaniu im wartości radiometrycznych w skali szarości, sztucznej palety barw lub barw naturalnych w postaci składowych RGB.

Rejestrowane wartości to punkty o współrzędnych przestrzennych XYZ, tworzące tzw. chmurę punktów lub wygenerowane trójkąty w postaci sieci nieregularnej (ang. TIN – *triangular irregular net*), opisujące kształt mierzonej powierzchni. Oprócz pomiaru położenia punktu skanery posiadają możliwość rejestracji odcienia szarości lub koloru

Ryc. 2.4. Ilża, fragment ruin zamku górnego. Ortofoto w skali szarości, wygenerowane na podstawie naziemnego skanowania laserowego – ściana wzniesiona z kamienia wapiennego w układzie warstwowym, spojenego zaprawą wapienno-piaskową – wejście na dziedziniec (XVI w.) zamknięte łukiem, wykończone cegłą (Oprac. fotogram. Politechnika Warszawska)



¹⁹ Jones D. M. (red.), 2011, *3D Laser Scanning for Heritage (second edition)*. Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture, Swindon, s. 3; Barański M., 2008, *Określenie cech interpretacyjnych promieni wiązki skanującej w naziemnym skanerze w funkcji rejestrowanego obiektu*, Warszawa [maszynopis pracy magisterskiej – archiwum Politechniki Warszawskiej].

i przypisywania go właściwemu punktowi chmury. Stopień szarości piksela jest funkcją intensywności promieniowania powracającego do skanera, odbitego od obiektu mierzonego w momencie zetknięcia z powierzchnią.²⁰ Skanowanie laserowe stanowi formę tzw. inżynierii odwrotnej (ang. *reverse engineering*)²¹, gdzie zachodzi odwrotny proces w zakresie powstawania dokumentacji geometrycznej obiektu, w porównaniu z tradycyjną metodą projektowania. I tak, w oparciu o rzeczywisty obiekt, (w naszym wypadku obiekt zabytkowy) otrzymujemy, na bazie pomiaru skanerem laserowym, cyfrowy model przestrzenny np. architektonicznego obiektu zabytkowego.



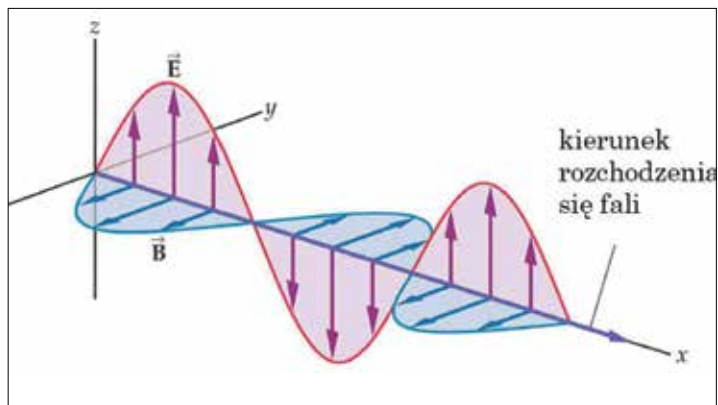
Ryc. 2.5. Ilża, fragment ruin zamku górnego. Ortofoto RGB wygenerowane na podstawie naziemnego skanowania laserowego – ściana wzniesiona z kamienia wapiennego w układzie warstwowym, spojenego zaprawą wapienno-piaskową – wejście na dziedziniec (XVI w.) zamknięte łukiem, wykończone cegłą (Oprac. fotogram. Politechnika Warszawska)

W wyniku skanowania laserowego otrzymujemy zatem: (1) pomiar przestrzenny punktów (XYZ), (2) wartość RGB, (3) rejestrację odbić promienia lasera oraz (4) parametr intensywności (wartość radiometryczną – podawaną w skali szarości w jednostkach niemianowanych).

²⁰ Boroń A., Rzonca A., Wróbel A., 2007, *Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków*, „Rocznik Geomatyki”, t. V, z. 8; Baranowski P., Czajkowski K., Gładki M., Morysiński T., Rzonca A., Szambelan R., 2005, *Polish experience with advanced digital heritage recording methodology, including 3D laser scanning, CAD and GIS application, as the most accurate and flexible response for archeology and conservation needs at Jan III Sobieski's residence in Wilanów (Warsaw)*. VI International Congress on Laser in the Conservation of Artworks, (w:) *Lasers in the Conservation of Artworks. LACONA VI Proceedings, Vienna, Austria, Sept. 21–25, 2005*, Series: Springer Proceedings in Physics, Vol. 116 (red.) J. Nimmrichter, W. Kautek, M. Schreiner, Wideń, s. 513–521.

²¹ Wyleżoł M., 2006, *Inżynieria odwrotna w doskonaleniu konstrukcji*, „Modelowanie Inżynierskie”, 32, s. 485–490.

Ryc. 2.6. Schematyczny rysunek fali elektromagnetycznej (oprac. R. Zapłata za Barański 2008)



Od strony parametrów, naziemne skanery laserowe charakteryzuje głównie:

- zasięg skanowania (odległość minimalna i maksymalna, dla jakiej skaner może wykonać pomiar obiektu, a także odległość, dla jakiej skaner wykonuje rejestrację intensywności odbicia wiązki lasera – np. skaner Leica ScanStation C10 dla 300 m przy 90% albedo, 134 m przy 18% albedo)²²;
- gęstość skanowania (rozdzielczość skanowania);
- dokładność (precyzja wykonywania pomiaru);
- maksymalna prędkość skanowania (szybkość wykonywania pomiaru pojedynczego punktu – dla skanerów fazowych wynosząca do 500 000 pkt/s; dla skanerów impulsowych 5 000 pkt/s;
- pole widzenia (zakres wykonywania pomiaru w płaszczyźnie pionowej i poziomej);
- bezpieczeństwo lasera (wpływ wiązki lasera na oko ludzkie);
- środowiska pracy (temperatura).²³

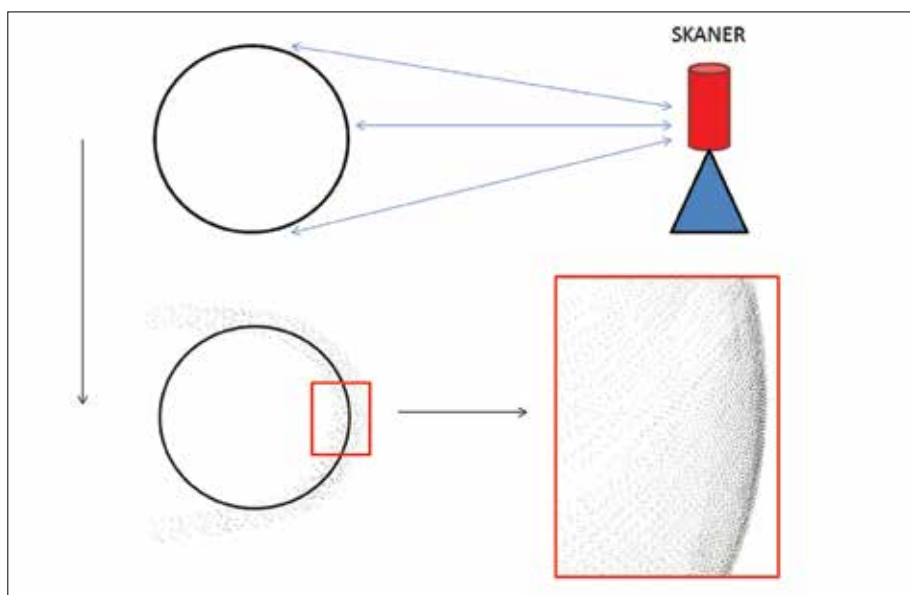
Uzyskiwana jakość pomiaru laserowego ściśle wiąże się z wielkością plamki skanera, jaka pada na mierzoną powierzchnię, co z kolei wpływa na gęstość i jakość generowanej chmury punktów i powstających modeli powierzchni.²⁴ Tym samym, od w/w parametru zależy m.in. możliwość

²² <http://www.leica-geosystems.pl/pl/index.htm>

²³ Toś C., Wolski B., Zielina L., 2010, *Tachimetry skanujące. Aplikacje technologii skanowania w budowie szczegółowych modeli obiektów inżynierskich*, Kraków, s. 12-13.

²⁴ Kościuk J., 2009b, *3D scanning and modeling of the upper terrace of the Hatshepsut Temple in Deir el-Bahari as an example of architectural heritage documentation for restoration purposes (Skanowanie i modelowanie 3d górnego tarasu świątyni Hatszepsut w Deir el-Bahari jako przykład dokumentacji dla celów konserwatorskich)*, "Wiadomości Konserwatorskie", 26, s. 705-17; Toś C., Wolski B., Zielina L., 2010, s. 13, 26; Pawleta M., Igielska A., 2009, *Analiza dokładności wybranych modeli naziemnych skanerów laserowych firmy Zoller+Fröhlich GmbH*, Kraków [praca dyplomowa – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie], s. 23-25 – http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/WebHome/Pawleta_Igielska_praca_dyplomowa.pdf

analizowania zjawisk z określoną dokładnością, np. możliwość wykrywania i inwentaryzowania uszkodzeń budynków, z których wiele pozostaje poza pomiarem na bazie TLS, gdyż np. szczeliny (o szerokości poniżej 1 mm) nie będą dokładnie mierzone przez urządzenie. Alternatywą dla tego typu pomiarów jest stosowanie technik fotogrametrycznych (rejestracja obrazu) oraz skanowanie strukturalne, osiągające o wiele większe dokładności przestrzenne.²⁵ Wielkość plamki, a zarazem gęstość skanowania stanowią zasadnicze elementy w jakości i dokładności rejestracji powierzchni, której wynikiem jest model nieciągły, punktowy, który może nie posiadać informacji o wielu szczegółach mierzonej powierzchni.

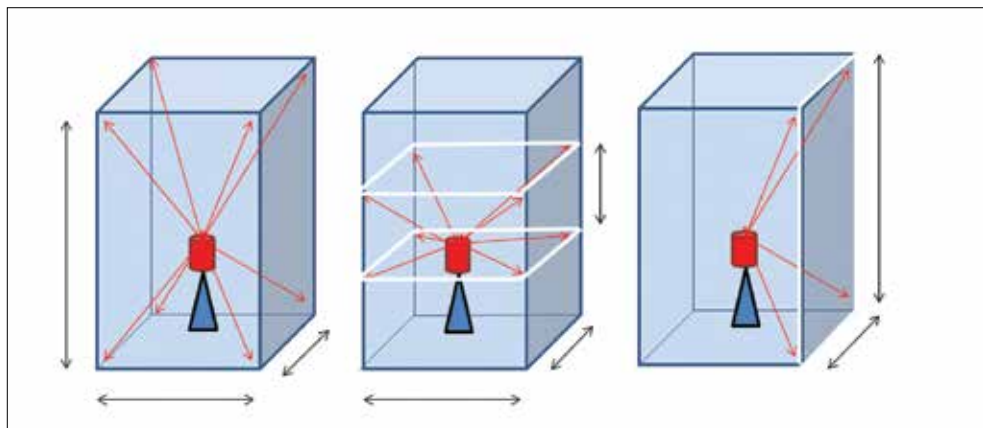


Ryc. 2.7. Schemat działania skanera (u góry) oraz (u dołu) wizualizacja fragmentu modelu cyfrowego obiektu – tzw. chmura punktów (oprac. R. Zapłata)

Ze względu na zakres wykonywania pomiaru w płaszczyźnie pionowej i poziomej wyróżniamy trzy zasadnicze typy skanerów (z wyłączeniem skanerów ręcznych światła strukturalnego, gdzie istnieje możliwość pełnego pomiaru panoramicznego $360^{\circ}/360^{\circ}$):

- skanery panoramiczne;
- skanery hybrydowe;
- skanery typu kamera.

²⁵ Toś C., Wolski B., Zielina L., 2010, s. 13.

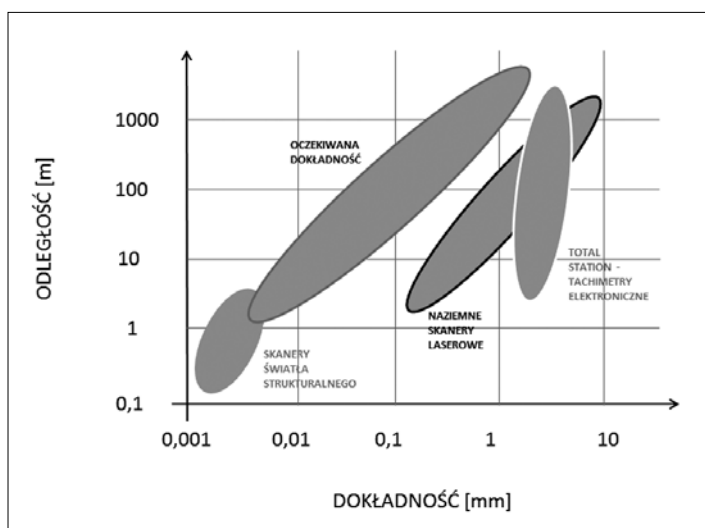


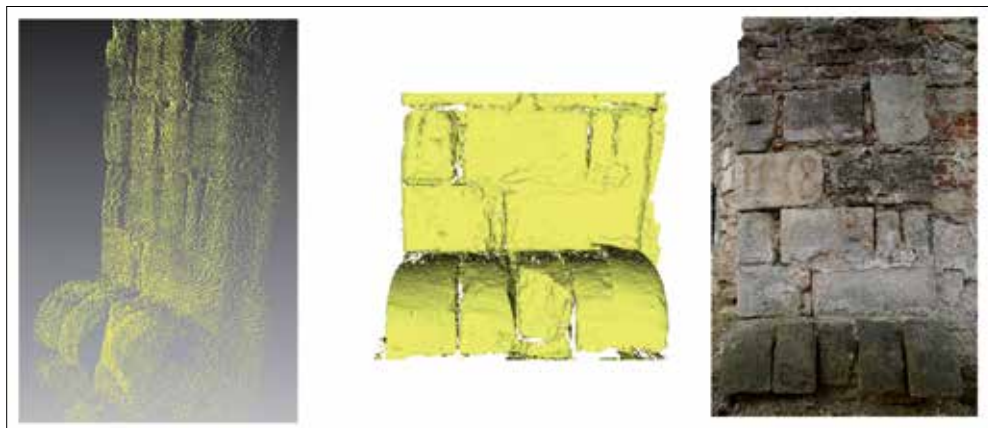
Ryc. 2.8. Schematyczny podział skanerów z przedstawieniem pola widzenia - od lewej: (1) skaner panoramiczny, (2) skaner hybrydowy, (3) skaner typu kamera (oprac. R. Zapłata za Staiger 2003)

Wykonywane pomiary przestrzenne, zwłaszcza na bazie naziemnego skanowania laserowego, stanowią narzędzia oferujące wysoką jakość pomiaru, która umożliwia pomiar obiektu z dokładnością w przedziale poniżej 10 mm, w zależności od odległości pomiędzy urządzeniem pomiarowym a obiektem.

W wyniku naziemnych pomiarów laserowych otrzymujemy zasób danych przestrzennych (informacja przestrzenna – zbiór danych o współrzędnych XYZ), które w procesie wstępnego przetwarzania przyjmują postać tzw. chmury punktów (ang. *points cloud*). „Chmura punktów jest zbiorem

Ryc. 2.9. Dokładność technologii pomiarowych w zestawieniu z odległością wykonywanych pomiarów (oprac. R. Zapłata za Kościuk 2013, Sumitro et al. 2007)





Ryc. 2.10. Fragmenty bramy wjazdowej zamku górnego w Ilży. Pomiar przestrzenny – tzw. chmura punktów, model *mesh* oraz fotografia skanowanego fragmentu (oprac. R. Zapłata)

współrzędnych XYZ we wspólnym układzie odniesienia, umożliwiającym obserwatorowi zrozumienie przestrzennego rozmieszczenia obiektu czy miejsca. Może także zawierać dodatkową informację, tak jak moc odbitego sygnału czy wartość RGB.”²⁶

W tzw. „post-processingu” (podczas prac kameralnych) dane poddawane są rejestracji i przetworzeniu, na które składają się:

- eksport danych ze skanera;
- konwersja danych binarnych skanera do tzw. chmury punktów;
- kontrola wizualna skanów oraz oczyszczanie tzw. surowych danych z tzw. szumów;
- eliminacja pomiarów zbędnych;
- rejestracja danych – proces orientacji, dopasowania i łączenia skanów w celu wygenerowania wynikowego zbioru danych
- wypełnianie pustek²⁷.

Zasadniczym etapem związanym z pracą z danymi TLS jest przetwarzanie pozyskanych danych²⁸. Pośród zagadnień, które szeroko omawia przywoływana w pracy literatura przedmiotu – co też zwalnia z konieczności

²⁶ Mills J., Barber, D., 2003. *An Addendum to the Metric Survey Specifications for English Heritage – the collection and archiving of point cloud data obtained by terrestrial laser scanning or other methods*. Version 11/12/2003. URL: <http://www.heritage3d.org/> za Marczevska K., 2010, s. 16.

²⁷ Toś C., Wolski B., Zielina L., 2010, s. 15-17; Markiewicz J., 2012, *Integracja danych z różnych źródeł fotogrametrycznych przy budowie modelu 3D obiektu*, Warszawa [maszynopis pracy dyplomowej – archiwum Politechniki Warszawskiej], s. 26; Pragacz E. P., 2012, *Wtórne przetwarzanie danych z naziemnego skaningu laserowego dla potrzeb inwentaryzacji architektury*, Warszawa [maszynopis pracy dyplomowej – archiwum Politechniki Warszawskiej], s. 19.

²⁸ Np. Soria-Medin A., Martínez J., Buffara-Antunes A. F., Arias P., González-Jorge H., 2011.



Ryc. 2.11. Ilża, ruina zamku górnego. Wizualizacja chmury punktów (widok od strony W) wygenerowana na bazie naziemnego skanowania laserowego – od lewej chmura punktów (1) przed filtracją, (2) po filtracji (z intensywnością odbicia wiązki lasera) oraz (2) z nałożoną teksturą (oprac. fotogram. Politechnika Warszawska oraz Leica Geosystems; oprac. R. Zapłata)

szczegółowego omawiania w pracy w/w elementów procedury, warto podkreślić dwie zasadnicze kwestie, które rzutują bezpośrednio na jakość produktów prac terenowych i kameralnych. Po pierwsze: segregacja, filtracja i klasyfikacja chmury punktów może być efektem pracy manualnej, półautomatycznej i automatycznej), co wspiera dokumentacja fotograficzna oraz inne dane o obiekcie. Te prace na danych mogą być (jeśli np. nie pracujemy podczas klasyfikacji bezpośrednio przy obiekcie mierzonym) przyczyną błędnej interpretacji, a więc nieodpowiedniego wyboru punktów, które odpowiadają powierzchni mierzonej. „W procesie filtracji usuwane są dane zbędne, wielokrotne lub błędne. Źródłem danych błędnych w każdym przypadku są sygnały odbite od powierzchni nienależących do obserwowanego obiektu. (...) Filtracja polega na przeglądzie wyróżnionych fragmentów obiektu w różnych rzutach modelu oraz powierzchni w różnych widokach. Ze względu na znaczenie, jakie ma każdy pomierzony punkt dla postaci modelu, procedura filtracji wymaga dużej staranności i jest pracochłonna.”²⁹ Po drugie, kwestia dalszego przetwarzania chmury punktów, a więc proces interpolacji i generowania Numerycznego Modelu Powierzchni Obiektu (NMPO) – modelu *mesh*, daje rezultat, którego wynik bywa często dyskusyjny.

Analiza przetworzonych danych stanowi zasadniczy etap procesu, podczas którego otrzymujemy np. produkty dokumentacyjne związane z zabytkami i/lub wstępne odpowiedzi na postawione pytania badawczo-konserwatorskie (np. miąższość warstwy kulturowej czy odległość pomiędzy podniebieniem a grzbietem sklepienia). Spośród szeregu analiz, jakie przeprowadzane są na danych TLS, celem przybliżenia potencjału, jaki oferuje oma-

²⁹ Toś C., Wolski B., Zielina L., 2010, s. 54.

wiana technologia i wygenerowany zasób cyfrowy, wymienić należy³⁰: (1) analizę, segmentację i klasyfikację powierzchni zabytkowych; (2) detekcję i dokumentację zniszczeń zabytków; (3) analizy pomiarowe oraz morfologiczne; (4) monitorowanie zmian zachodzących na powierzchni zabytkowej oraz zmian geometrii obiektów (deformacje konstrukcji, stabilność obiektów); (5) modelowanie.

Omawiając przekrojowo elementy procesu naziemnego skanowania zabytków oraz przetwarzania danych, należy odnieść się do sygnalizowanego wcześniej zagadnienia metadanych.³¹ Znaczącym komponentem generowanych pomiarów – zasobu cyfrowego są informacje o danych, zawierające przynajmniej następujące elementy:

- nazwę danych surowych – źródłowych;
- datę pozyskania;
- zastosowany system skanowania (z numerem seryjnym producenta);
- nazwę firmy / sprzętu;
- nazwę stanowiska;
- numer skanowania;
- łączną liczbę pozyskanych punktów;
- gęstość punktów przypadającą na powierzchnię skanowaną;
- warunki pogodowe panujące podczas skanowania.³²

Przywołajmy za J. Kościukiem ogólne zestawienie zastosowania różnorodnych rezultatów TLS wg ich przydatności do określonych celów, które prezentuje cały szereg zastosowań w modelowaniu, dokumentacji i konserwacji dziedzictwa architektonicznego. (Tab. 2.2.)

Naziemne skanowanie laserowe jest metodą nieinwazyjną, bezdotykową, a zarazem aktywną, gdzie mierzony obiekt jest poddawany (częściowo) kontrolowanemu działaniu czynnika zewnętrznego, w tym wypadku fali elektromagnetycznej, jaką jest światło lasera. W odniesieniu do naziemnych pomiarów laserowych, możemy mówić o dwójakim rodzaju rejestracji powierzchni obiektów architektury zabytkowej – dwóch skrajnych sytuacjach: (1) rejestracja powierzchni zastanej (pomiar powierzchni w terenie bez jakiegokolwiek ingerencji ze strony

³⁰ Kościuk J., 2013, *Modern 3D scanning in modeling, documentation and conservation of architectural heritage / Współczesne skanowanie laserowe 3D w modelowaniu, dokumentacji i konserwacji zabytków architektury*, „Wiomości Konserwatorskie”, 32, s. 82-88.

³¹ Płoszajski G. (red.), 2008, *Standardy w procesie digitalizacji obiektów dziedzictwa kulturowego*, Warszawa; Bunsch E., Ceraficki p., Pyzik W., Sitnik R., Staszkiewicz W., Szala M., Kuśmidrowicz-Król A., 2012, *Cyfrowe odwzorowania muzealiów, parametry techniczne, modelowe rozwiązania – raport z prac Grupy Ekspertów ds. Digitalizacji powołanej w ramach NIMOZ*, Warszawa, s. 150 – <http://www.nimoz.pl/pobierz/474.html> [dostęp 02.05.2013]; Jones D. M. (red.), 2011, s. 15-16.

³² Jones D. M. (red.), s. 16.

Field of application	Archival documentation	Architectural design	Structural design	Structural analyses	Deterioration analyses	Deformation and displacement monitoring
Types of deliverables						
black & white (intensity scale) orthophoto delivered directly from 3D point clouds	+/-	+	--	---	+	+
colour (RGB) orthophoto delivered directly from 3D point clouds	++	++	--	---	-	++
colour photomosaics* calibrated with 3D scan data	++	++	---	---	++	---
2D line drawings (plans, views, sections) delivered manually or semiautomatically directly from 3D point clouds	+	+/-**	++	--	++	++
orthophoto delivered from mesh models textured with black & white or colour information	+	+	--	-	+	++
2D line drawings (plans, views, sections) delivered from 3D mesh models	+/-	++	+	++	+	++
2D line drawings (plans, views, sections) delivered manually or semiautomatically from 3D surface models	-	++	++	+	-	+
2D line drawings (plans, views, sections) delivered automatically from 3D solid models	--	+++	++	++	+/-	+/-
2D line drawings (plans, views, sections) delivered by manual or semiautomatic on-screen digitizing of orthophotos	---	+	--	---	--	---
original 3D point cloud	+++	+/-	+/-	+/-	+/-	+
viewing (visualizing) 3D point cloud in reflection intensity mode	---	---	---	---	---	+/-
viewing (visualizing) 3D point cloud in colour (RGB) mode	--	--	---	---	---	+
3D line wireframe drawings (plans, views, sections) delivered manually or semiautomatically directly from 3D point clouds	-	---	--	+	---	++
3D mesh models delivered from 3D point clouds	+	---***	---	++	--	+
3D surface models delivered manually or semiautomatically directly from 3D point clouds	--	--***	--	++	--	+
3D solid (BIM) models delivered manually or semiautomatically directly from 3D point clouds (BIM models)	---	+++	+++	+++	---	-

note: number of +/- signs describe suitability of certain deliverables for different purposes

* archival documentation is meant there as a possibly full and exact geometrical and textural representation of a given object

** high accuracy but time-consuming

*** too large files and too detailed representation for most of architectural software

Tab. 2.2. Zastosowanie różnorodnych wyników TLS w odniesieniu do określonych celów – Applicability of different TLS deliverables according to their suitability for certain purposes (za Kościuk 2013)

mierzącego); (2) rejestracja powierzchni poddanej zmianom ze strony mierzącego (np. oczyszczenie powierzchni, osuszenie powierzchni itp.). Innymi słowy, pomiar terenowy obiektów zabytkowych może być ukierunkowany na (1) pomiar i rejestrację geometrii oraz stanu zachowania obiektu, z wszelkimi zanieczyszczeniami (np. poprzez rejestrację intensywności odbicia wiązki lasera) lub (2) pomiar tylko i wyłącznie geometrii obiektu. Rejestracja powierzchni, którą poprzedziła jakakolwiek ingerencja ze strony osoby dokumentującej geometrię, może być działaniem mającym na celu przede wszystkim poprawę jakości warunków pomiaru, jak i samego ich wyniku (np. mniejsze rozproszenie punktów odzwierciedlających powierzchnię). Natomiast brak jakiejkolwiek ingerencji i działań ze strony dokumentującego wiąże się (może wiązać się) z pomiarem geometrii, a zarazem zabiegiem prowadzącym do zadokumentowania pewnych zjawisk zachodzących na powierzchni oraz (pośrednio) wewnątrz substancji zabytkowej. Do tego typu zabiegów (zmieniających powierzchnię zabytkową) możemy zaliczyć m.in. celowe i kontrolowane działania doprowadzające do zmian w zakresie: (1) wilgotności obiektu; (2) temperatury obiektu; (3) odsłaniania powierzchni mierzonej (np. wtórne zanieczyszczenia); (4) pokrywania powierzchni nieniszcząco i usuwalną substancją (wąskie zastosowanie).

Zmiana wilgotności i temperatury obiektu stanowi zabieg czasowy i odwracalny, który przede wszystkim może wpłynąć na jakość pomiaru i rejestrację wartości mierzonej. Osuszenie obiektu wydaje się w niektórych wypadkach wskazane, gdyż woda (wilgoć) stanowi element zakłócający pomiar, zwłaszcza gdy znajduje się na powierzchni mierzonej (patrz przykłady w ANEKSIE). Osuszanie czy nawilżanie powierzchni jest zabiegiem mającym również na celu ujednolicenie właściwości powierzchni mierzonych, w związku z potrzebą i możliwością wyeliminowania nierównomiernych zakłóceń pomiaru. W odniesieniu do zmiany stopnia nawilżenia obiektów, a także jednostek stratyfikacji, sytuacja odpowiada zaleceniom praktycznym, mówiącym m.in. o utrzymywaniu stałego, równomiernego stopnia wilgotności obiektu, którego celem jest również zapobieganie niszczącemu osuszaniu obiektów zabytkowych. Zmiana temperatury obiektu mierzonego (jeśli jest dopuszczalna w danej sytuacji), ma charakter stymulacji cieplnej, a więc dostarczania energii cieplnej na podobieństwo badań w termografii aktywnej, w ramach której wyróżnia się cztery zasadnicze techniki pobudzania – stymulacji cieplnej. Pierwszą jest termografia impulsowa, która najogólniej bazuje na dostarczaniu energii cieplnej za pomocą impulsu. Druga to termografia modulacyjna, gdzie ma miejsce pobudzanie obiektu harmonicznym strumieniem ciepła. Kolejne

techniki to termografia impulsowo-fazowa i wibrotermografia, oparta na falach ultradźwiękowych.³³

Zabieg oczyszczania powierzchni zabytkowej odnosi się do różnorodnych form usuwania zanieczyszczeń i nawarstwień w sposób mechaniczny (np. roślinność, mikroorganizmy, kurz itd.), celem wyeksponowania powierzchni zabytkowej. Oczywiście w/w zabiegi są przeprowadzane w zależności od celu pomiarów, gdyż jednym z zadań stawianych przed naziemnym skanowaniem jest rejestracja i wykrywanie napowierzchniowych zmian. Usuwanie zanieczyszczeń, wtórnych warstw czy mikroorganizmów jest wskazane z punktu widzenia dokładności pomiarów, gdyż zmieniona powierzchnia zabytku z w/w powodów, może stanowić podstawę zakłóceń w wykonywanych pomiarach (np. okopcenie powierzchni z charakterystycznym czarnym zabarwieniem zmniejsza dokładność pomiaru). Zabieg pokrywania powierzchni mierzonej substancją mogącą poprawić jakość pomiaru, a więc ujednolicić obiekt pod względem barwy, należy do działań sporadycznie mogących wspierać prace terenowe.³⁴ Oczywiście najbardziej wskazanym i oczekiwanym działaniem jest pomiar obiektów w sytuacji zastanej, którego celem jest m.in. rejestracja warunków charakteryzujących dany obiekt (np. jednostkę stratyfikacji) czy też dokumentacja efektów zachodzących procesów niszczących.

Skanowanie to dokładny i nieinwazyjny pomiar przestrzenny, który wpisał się również w praktykę inwentaryzacyjno-dokumentacyjną badań architektonicznych, archeologicznych i konserwatorskich, rozwijając spektrum rejestracyjne i analityczne o dodatkowe elementy, do jakich należy zaliczyć m.in. rejestrację intensywności odbicia powracającej wiązki światła – lasera (ang. *intensity*), modernizując również pod względem analityczno-interpretacyjnym sam proces badawczy substancji zabytkowej.

Poza w/w argumentami na rzecz stosowania omawianej metody w badaniach terenowych przy obiektach zabytkowych, należy również podkreślić kolejne, mianowicie wydajność i efektywność pomiarów w zestawieniu z tradycyjnymi metodami mierzenia oraz z techniką fotogrametrii naziemnej. Takie zestawienie zaprezentowali m.in. V. Stojakovic i B. Tepavcevic w publikacji „Optimal methodes for 3D modeling of devastated architectural objects”³⁵, w której wykazano zdecydowaną przewagę

³³ Nowak H., 2012, *Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie*, Wrocław, s. 170-4; Więcek B., Perkowski J., Wysocki M., 2010, *Zastosowanie termowizji do badań architektonicznych obiektów zabytkowych*, „Prace Instytutu Elektroniki”, z. 245, s. 31-40.

³⁴ Żrodowski C., Kłos M., 2012, s. 33.

³⁵ Stojakovic V., Tepavcevic B., 2009, *Optimal methods for 3D modeling of devastated architectural objects*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, vol. XXXVIII-5/W1 – http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/5-W1/pdf/stojakovic_tepavcevic.pdf

metod fotogrametrycznych, z wyszczególnieniem skanowania laserowego, pod względem osiągniętych (i oczekiwanych) celów oraz pod względem cech obiektów mierzonych, w porównaniu z metodami manualnymi. Jedynym argumentem przeciwko wyborowi TLS były względy ekonomiczne (zestawienie na rok 2008). Zwłaszcza precyzja, stopień szczegółowości pomiarów oraz kryteria dotyczące kształtu obiektu okazały się elementami przemawiającymi na korzyść naziemnego skanowania laserowego [Tab. 2.3.].

Kategoria kryteriów	Metoda Kryterium	Pomiar manualny	Fotogrametria naziemna	Skanowanie laserowe
Kryterium celów projektu	2D/3D	S	W	W
	Precyzja	S	S	W
	Szczegóły	S	S	W
Kryterium ekonomiczne	Finanse	N	S	N
	Czas	N	S	N
Kryterium obiektu	Forma / kształt	N	S	W
	Lokalizacja	S	S	S
	Dostępność	N	S	S

Tab. 2.3. Porównanie metod rejestracji ruin z uwzględnieniem poszczególnych kryteriów i oceną jakości rezultatów pomiaru: N – niesatysfakcjonujące; S – satysfakcjonujące; W – wykraczające poza wymagania projektu (wg Stojakowvic, Tepavcevic 2009 za Wylęzoł).

2.3. Bezdotykowy pomiar przestrzenny jako element dokumentacji w badaniach dziedzictwa kulturowego *in situ*

Technologia skanowania (bliskiego, średniego i dalekiego zasięgu, a także skanowania mikro) stanowi współcześnie jedną z metod wykonywania pomiarów przestrzennych obiektów zabytkowych, która dodatkowo umożliwia rejestrację, detekcję oraz analizę przede wszystkim warstw wierzchnich obiektów (detekcję pośrednią i wspierającą np. analizę składu

chemicznego³⁶, analizę pokrycia mikroorganizmami, analizę struktury fizycznej czy morfologii obiektu). Skanowanie stanowi jedną z kilku dostępnych metod wykonywania (zróżnicowanych pod względem dokładności i jakości np. rozdzielczości przestrzennej) pomiarów obiektów zabytkowych, do których zaliczamy również: fotogrametrię bliskiego i dalekiego zasięgu (np. dla obiektów odsłoniętych, jak ruiny zamków lub obiektów badanych i odkrywanych podczas prac archeologiczno-architektonicznych, czy takich jak jednostki stratyfikacji) oraz geofizykę (np. dla obiektów zalegających pod powierzchnią terenu – np. zabytkowe fundamenty).

Poza tym skanowanie naziemne stanowi zarówno samodzielną i niezależną technikę pomiaru przestrzennego, jak również technikę, która w połączeniu z innymi metodami (oraz narzędziami informatycznymi) umożliwia wykonywanie zintegrowanej i kompleksowej dokumentacji obiektów zabytkowych. Przykładem uzupełniających się wzajemnie bezdotykowych metod pomiarów naziemnych są m.in. skanowanie, rejestracja obrazów, w tym rejestracja obrazów sekwencyjnych³⁷, które łącznie umożliwiają stworzenie pełnej i przestrzennej dokumentacji powierzchni obiektów zabytkowych. Spośród licznych metod skanowania w badaniach archeologiczno-architektonicznych w ostatnich latach na znaczeniu zyskały m.in. urządzenia, które umożliwiają pomiar w warunkach terenowych, poprawiając jakość i dokładność prowadzonych prac oraz przyspieszając ich wykonywanie, zwłaszcza w odniesieniu do pomiarów inwentaryzacyjnych architektury zabytkowej, a także działań dokumentacyjnych warstw kulturowych – jednostek stratyfikacji. Część metod opartych o technologię skanowania, stanowi zbiór rozwiązań dokumentacyjno-analitycznych, stosowanych przede wszystkim w warunkach laboratoryjnych lub gabinetowych (kameralnych), w związku z powyższym nie są one przedmiotem prezentowanej charakterystyki. Poza szerszym omówieniem pozostaje również wspomniana technologia mobilnego skanowania laserowego³⁸, która stanowi kolejny zestaw urządzeń geodezyjnych, różniących się zwłaszcza z uwagi na platformę nośną, jednak o odmiennej użyteczności w zastosowaniu podczas badań archeologiczno-architektonicznych, niż pomiary stacjonarne.

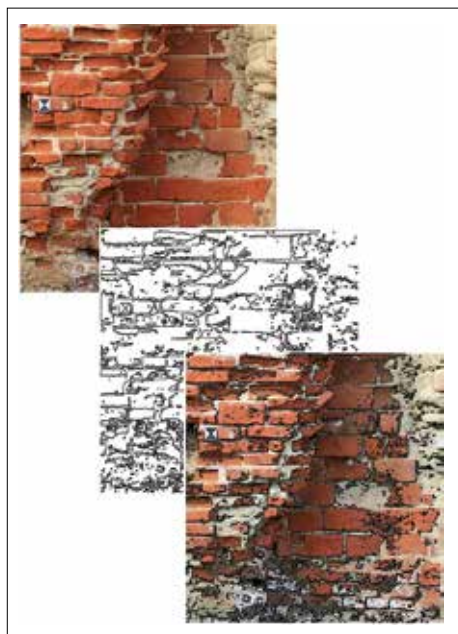
Technika skanowania w badaniach dziedzictwa archeologiczno-architektonicznego oraz konserwatorstwie ma już swoją historię, a zarazem szereg

³⁶ Marczak J., Koss A., 2009, *Fizyka we współczesnych badaniach i konserwacji dzieł sztuki*, „Wiadomości Konserwatorskie”, nr 26, s. 65-76..

³⁷ Kowalczyk M., 2012, *Badanie przemieszczenia obiektu względem kamery na podstawie analizy obrazów sekwencyjnych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 24, s. 165-175.

³⁸ Szadkowski A., Mehrburg A., Sochacka Ż., luty 2010, *Prosto z samochodu. Mobilne skanowanie laserowe obiektów liniowych*, „Geodeta”, Nr 2 (177), s. 10-15.

zdobytých doświadczeń i ogromny zasób pozytywnych aplikacji omawianych narzędzi. Od samego początku włączania do badań nad dziedzictwem kulturowym technologii skanowania, wysoko ocenianymi walorami w/w metody pomiarowej były: dokładność, szybkość i nieinwazyjność, a zatem trudne do osiągnięcia (łącznie) w/w cechy w oparciu o tradycyjne rozwiązania dokumentacyjne. Uwagę badaczy w większości dotychczasowych prac skupiała przede wszystkim możliwość wykonywania pomiarów przestrzennych, które w odniesieniu do terenowych badań archeologiczno-architektonicznych (gdzie istotną rolę odgrywa rejestracja jednostek stratygraficznych oraz form przestrzennych) oferowały możliwość dokumentacji, wychodzącą poza rysunkowo-pomiarowy (wektorowo-punktowy) sposób zapisywania odsłanianych warstw i obiektów. Podobnie sytuacja zarysowała się w odniesieniu do pomiarów zabytków architektury, gdzie szybko dostrzeżono zalety bezdotykowego pomiaru przestrzennego, dzięki któremu nadal trwa proces przeformułowania sposobu inwentaryzowania obiektów zabytkowych oraz generowania produktu końcowego. Obok zmiany sposobu wykonywania samego pomiaru, modyfikacji uległ sposób rejestracji pomiaru, a także przechowywania danych. Zapisu dokonuje się na nośnikach, a jego przetworzenie w postaci baz danych i opracowanie, wykonywane jest w oparciu o narzędzia informatyczne. Tym samym praca dokumentacyjna poszerzana jest o dodatkowe prace kameralne, które w kolejnym etapie procesu inwentaryzacyjnego umożliwiają wygenerowanie dokumentacji obrazowej,



Ryc. 2.12. Ilża, ruina zamku górnego. Fragment łukowatego wejścia na dziedziniec opracowany na podstawie naziemnego skanowania laserowego – od góry: (1) fragment ortoobrazu elewacji, (2) rysunek wektorowy elewacji, (3) obraz hybrydowy elewacji (za Zapłata et al. 2013)

wektorowej czy też modelowanie 3D. Powszechną praktyką, a zarazem rozwiązaniem szeroko oferowanym przez producentów urządzeń i wykonawców pomiarów terenowych, stały się działania integrujące różnorodne narzędzia: oprogramowanie (ang. *software*) i sprzęt (ang. *hardware*), które w postaci odrębnych lub scalonych systemów umożliwiają zróżnicowaną formę dokumentacji dziedzictwa kulturowego oraz wieloaspektową analizę generowanych zasobów cyfrowych.³⁹

Metodyka terenowych badań archeologicznych (inwazyjnych i nieinwazyjnych), również tych prowadzonych przy obiektach zabytkowej architektury, a więc archeologiczno-architektonicznych, nakazuje dokumentację pomiarowo-rysunkową, fotograficzną oraz opisową⁴⁰. Dotychczasowe podejścia (nadal obowiązujące i praktykowane) głównie w zakresie pomiaru, opierały się na typowych urządzeniach takich jak niwelator czy teodolit lub tachimetr, umożliwiając przede wszystkim pomiar punktowy znalezisk, a następnie rysunek wektorowy. Ciągłość dokumentacyjną powierzchni odsłanianych zapewniały w tym procesie fotografia oraz dokumentacja opisowa. Sytuacja stopniowo ulegała zmianie m.in. poprzez stosowanie metod fotogrametrycznych, które pozwalały na rejestrację powierzchni warstw i obiektów zabytkowych w sposób ciągły, z możliwością generowania na bazie fotogramów (stereopar) modeli przestrzennych, które w sposób geometryczny dokumentowały i oddawały rzeczywistą powierzchnię (z określoną dokładnością). Kolejnym rozwiązaniem stały się elektroniczne urządzenia geodezyjne, a zwłaszcza tachimetry optyczne i elektroniczne, laserowe, bezlustrowe, które umożliwiły jednoczesny pomiar kątów poziomych, pionowych oraz odległości, w sposób „masowy”. Następnym krokiem w stronę poprawy jakości i dokładności wykonywanych pomiarów przestrzennych było wdrożenie urządzeń optoelektronicznych oraz technologii laserowej do badań dziedzictwa kulturowego. Technologia przestrzennego skanowania obiektów zabytkowych stała się rozwiązaniem, które w sposób najlepszy i najpełniejszy (w krótkim czasie) umożliwia rejestrację 3D.

³⁹ Lock G., Stančić Z. (red.), 1995, *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*, London; Evans T. L. and Daly P. (red.), 2006, *Digital Archaeology. Bridging method and theory*, London – New York; Gillings M., Wheatley D., 2002, *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Applications of GIS*, London-New York.

⁴⁰ Kobyliński Z., 1998, *Minimalne wymogi konserwatorskie w zakresie metod eksploracji stanowisk archeologicznych i sporządzania ich podstawowej dokumentacji*, (w:) Ewidencja, eksploracja i dokumentacja w praktyce konserwatorstwa archeologicznego, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa, s. 59-72; Zapłata R., 2012, *Dokumentacja w archeologii*, (w:) *Przeszłość społeczna. Próba konceptualizacji*, (red.) S. Tabaczyński, A. Marciniak, D. Cyngot, A. Zalewska, Poznań, s. 426-444.

2.3.1. Przykładowe zastosowania TLS w badaniach archeologiczno-architektonicznych – rys historyczny

Historię skanowania laserowego rozpoczyna konstrukcja pierwszego urządzenia geodezyjnego, które wykorzystywało elektroniczny pomiar odległości w 1960 r. w wyniku budowy pierwszego lasera rubinowego oraz w 1961 r. lasera He-Ne o ciągłym trybie pracy. Po nową technologię sięgnęły również badania dziedzictwa kulturowego, które dziś doczekały się wszechstronnego i częstego wykorzystania podczas prac terenowych i gabinetowych, laserowych urządzeń geodezyjnych. Historia działań wspieranych naziemnym pomiarem laserowym rozpoczyna się od docenienia przez naukowców możliwości wykonywania nieinwazyjnego, bezdotykowego, szybkiego i dokładnego pomiaru geometrycznego, stanowiąc kolejny krok w procesie dokumentacji pomiarowo-przestrzennej, jaka obowiązuje w pracach przy obiektach zabytkowych. Wraz z rozwojem technologii, a zarazem malejącymi kosztami sprzętu (*hardware* i *software*) oraz procesu obróbki i przetwarzania danych, technologia skanowania laserowego stała się stopniowo metodą powszechną, która doczekała się licznych opracowań i publikacji o charakterze zaleceń metodycznych, w zakresie stosowania naziemnego skanowania podczas prac terenowych. Poza rozwojem urządzeń, w zakresie dokładności i prędkości wykonywania pomiarów, producenci urządzeń wzbogacali kolejne modele dodatkowymi możliwościami, co również aplikowano do prac terenowych i co stopniowo znajdowało swoje zastosowanie nie tylko w pracach pomiarowych, ale również analitycznych, ukierunkowanych na diagnostykę substancji zabytkowej. Cechą charakterystyczną naziemnego skanowania laserowego od początku jego stosowania w inwentaryzacji zasobów kulturowych jest wyraźnie widoczna aktywność sektora prywatnego w tych pracach, zwłaszcza firm, które wyspecjalizowały się w wykonywaniu pomiarów przestrzennych, jak również znacząca obecność specjalistów (geodetów i fotogrametrów), którzy wpisali się na stałe w szereg osób uczestniczących w terenowych badaniach dziedzictwa kulturowego i pracach archeologiczno-architektonicznych.

Pierwsze skanery naziemne pojawiły się na rynku pod koniec roku 1998. Inspiracją dla ich twórców było zagadnienie połączenia atrybutów LIDARu, fotogrametrii i innych technik pomiarowych w jednym urządzeniu. Taki instrument miał charakteryzować się: techniką pomiarów „bliskiego zasięgu”, dużą szybkością zbierania danych, wydajnością wynikającą z integracji instrumentu z oprogramowaniem, odpornością na błędy spowodowane przez operatora, mobilnością, bezpieczeństwem dla oczu,

milimetrową dokładnością.⁴¹ Szybko okazało się, że istnieje ogromne zapotrzebowanie na realizację pomiarów inżynierskich skanerami laserowymi. Po paru latach można było wyraźnie określić okoliczności, w których skanery stały się bezkonkurencyjne dla innych metod pomiarowych.⁴²

Działania naukowo-badawcze i konserwatorskie aplikowały skanowanie laserowe do badań terenowych, stosując omawiane urządzenia wieloaspektowo, co obrazują przywoływane w tekście przykładowe publikacje. Jednymi z pierwszych pionierskich prac na rzecz dziedzictwa kulturowego, stosującymi naziemne skanowanie laserowe, były pomiary architektury zabytkowej, wykonane przez brytyjską firmę „Plowman Craven and Associates”.⁴³ Przełom stuleci, a zwłaszcza pierwsze lata XXI w. były okresem rosnącego zainteresowania TLS w wielu dyscyplinach i sektorach, w tym w ochronie dziedzictwa kulturowego, przyczyniając się do aplikowania naziemnego skanowania do prac terenowych przy zabytkach. Przykładem są m.in. pomiary średniowiecznych zabytków architektury murowanej w Anglii⁴⁴ czy fortyfikacji z miasta Rodos w Grecji, z listy światowego dziedzictwa UNESCO. W pierwszych latach XXI w. wykonano m.in. skanowanie laserowe fragmentu Pałacu Wielkich Mistrzów Zakonu Joannitów z XIV wieku.⁴⁵ Geometria obiektów zabytkowych, a zwłaszcza dziedzictwa architektonicznego, stanowi przede wszystkim przedmiot zainteresowania środowiska historyków architektury i konserwatorów, które z powodzeniem stosuje technologię skanowania, czego przykładem są m.in. liczne prace w Europie czy krajach śródziemnomorskich, skupione wokół średniowiecznych obiektów zabytkowych np. architektury romańskiej i gotyckiej⁴⁶, starożytnych budowli cywilizacji greckiej oraz rzymskiej,

⁴¹ Loedeman H., 1999, *Methods of Capturing Reality Can Be Improved*, „GIM International”, 13, s. 48-51; Loedeman H., 2000, *Construction Surveyors Cut out by 3D-Scanning?*, „GIM International”, 14, s. 6-9.

⁴² Jacobs G., 2004, *What kinds of Projects Benefit Most?*, „Professional Surveyor Magazine” – http://hds.leica-geosystems.com/hds/en/What_kinds_of_projects_benefit.pdf.

⁴³ Onsurez L., 2011, *The history and use of aerial and space-based remote sensing and ground based terrestrial laser scanning in archaeology*, California – <http://www.escholarship.org/uc/item/22c8c01v#page-1>

⁴⁴ Barber D., Mills J., Bryan P., 2001, *Laser scanning and photogrammetry: 21st century metrology*, „Proceedings of the Surveying and Documentation of Historic Buildings – Monuments – Sites Traditional and Modern Methods, CIPA 2001 International Symposium”, Potsdam – <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/5-C7/pdf/2001-08-db01.pdf>

⁴⁵ Gianniou P., Georgopoulos A., Tsakir M., Della K., 2000, *The documentation of the medieval entrance of the Rhodes fortification complex*, „XXI International CIPS Symposium, 01-06 October, Athens, Greece” – <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-C53/papers/FP066.pdf>

⁴⁶ Cabeza Gonzales M., Soler Estrela A., Manez Pitarch J., Saez Riaume B., Garfella Rubio J., Pitarch Roig A. M., 2012, *Geometric and constructive study of the Mediterranean Gothic Architecture with virtual models: Church of San Francisco in Morella*, (w:) *Less More Architecture Design Landscape*, (red.) C. Gambardella, Neapol, s. 242-250 – http://www.leviedeimercanti.it/2012/Ebook%20Less_More.pdf

a także zabytkowych obiektów sakralnych⁴⁷. Sam pomiar wzbogacany jest technikami fotogrametrii, celem integrowania nowoczesnych narzędzi, na rzecz pełnowymiarowej i obrazowej dokumentacji dziedzictwa kulturowego.⁴⁸ Proces ten prowadzi jednocześnie do generowania zasobu cyfrowego, który umożliwia i rozpoczyna kolejny etap prac nad zabytkami, w postaci analizowania wirtualnych symulacji i modeli obiektów.⁴⁹ Zagadnienie integracji danych, skupione wokół TLS, nie odnosi się jedynie do obrazów cyfrowych, ale sięga również po dane termograficzne, czego przykładem są m.in. prace zespołu w składzie: M. Cabrelles, S. Galcera, S. Navarro, J. T. Lerma, T. Akasheh N. Haddad.⁵⁰ Również dziedzictwo archeologiczne, a zwłaszcza badania archeologiczne aplikowały do swojego warsztatu badawczego skanowanie naziemne, które zmodyfikowało proces dokumentacji przestrzennej, a zwłaszcza pomiar jednostek stratygraficznych, wprowadzając możliwość dokładnego, quasi-ciągłego rejestrowania i analizowania warstw kulturowych czy obiektów przestrzennych.⁵¹ Taki pomiar wprowadza możliwość dokładniejszego rejestrowania zróżnicowanych i złożonych form jednostek stratyfikacji.

Pomiar przestrzenny, wraz z rejestracją barwną w postaci ortofotoplanów obiektów mierzonych, stanowi sprawdzoną i nieustannie rozwijaną metodę inwentaryzacyjną, która analizując m.in. przywoływaną w tekście literaturę przedmiotu, skupia się wokół kilku zasadniczych zagadnień: 1) wykonywania pomiarów przestrzennych i dokumentacji podczas prac terenowych; 2) jakości, dokładności i powtarzalności pomiarów; 3) określania zaleceń

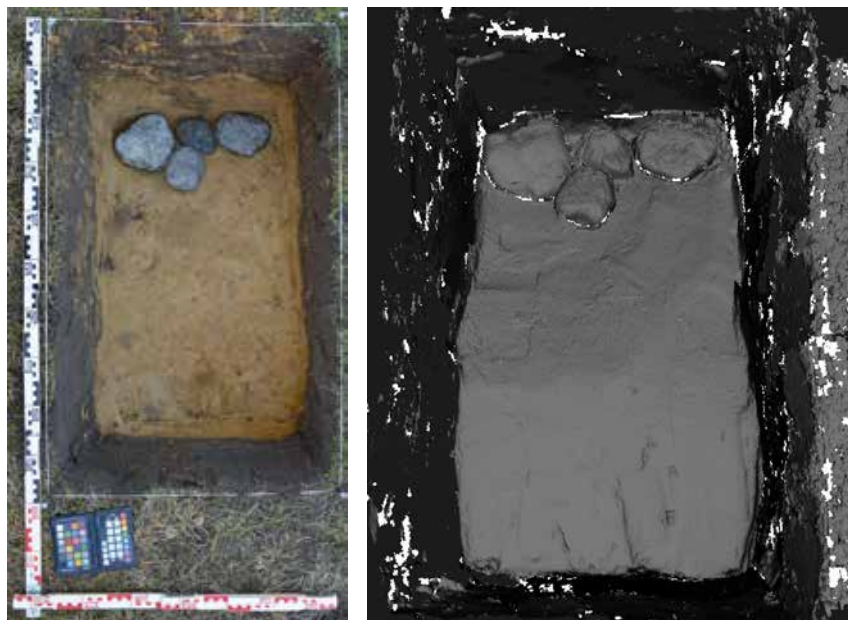
⁴⁷ Agapiou A., Hadjimitsis D. G., Themstocleous K., 2010, *Geometric documentation of historical churches in Cyprus using laser scanner*, (w:) *EuroMed2010. 3rd International Conference dedicated on Digital Heritage*, (red.) M. Ioannides, D. Fellner, A. Georgopoulos, D. Hadjimitsis, Budapest, s. 1-6; Stathopoulou E. K., Lerma J. L., Georgopoulos A., 2010, *Geometric documentation of the Almoina Door of the Cathedra of Valencia*, (w:) *EuroMed2010. 3rd International Conference dedicated on Digital Heritage*, (red.) M. Ioannides, D. Fellner, A. Georgopoulos, D. Hadjimitsis, Budapest, s. 60-64.

⁴⁸ Argenziano P., Avella A., 2012, *Investigating on boundary. Integration approach to architectural rapid characterization*, (w:) *Less More Architecture Design Landscape. Le vie dei Mercanti. X Forum Internazionale di Studi*, (red.) C. Gambardella, Neapol, s. 700-709 – http://www.leviedeimercanti.it/2012/Ebook%20Less_More.pdf

⁴⁹ Cabeza Gonzales M., Soler Estrela A., Manez Pitarch J., Saez Riauelme B., Garfella Rubio J., Pitarch Roig A. M., 2012, s. 242-250; Kersten T. P., 2006, *Combination and Comparision of Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for the Generation of Virtual Models in Cultural Heritage Applications*, (w:) *The e-volution of Information Communication Technology in Cultural Heritage. Where Hi-Tech Touches the Past: Risks and Challenges for the 21st Century Project papers from the joint event CIPA / VAST / EG / EuroMed*, (red.) M. Ioannides, D. Arnold, F. Niccolucci, K. Mania, s. 207-214.

⁵⁰ Cabrelles, M., Galcera, S., Navarro, S., Lerma, J.L., Akasheh, T., Haddad, N., 2009, *Integration of 3d laser scanning, photogrammetry and thermography to record architectural monuments*, (w:) *“Proceedings of the 22nd CIPA Symposium. Kyoto, Japan”* – <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/KY-OTO/74.pdf>

⁵¹ Engström T., Johansson M., 2009, *The use of terrestriallaser scanning in archaeology. Evaluation af a Swedish praject, with twa examples*, „*Journal of Nordic Archaeological Science*”, 16, s. 3-13.



Ryc. 2.13. Model wykopu (po lewej) oraz wizualizacja modelu cyfrowego wygenerowanego na podstawie skanowania (oprac. R. Zapłata)

metodycznych oraz standardów wykonywania pomiarów; 4) zastosowania skanowania naziemnego w detekcji przemieszczeń i deformacji obiektów zabytkowych; 5) wizualizacji i udostępnianiu obiektów zabytkowych na bazie kartometrycznych produktów fotogrametrycznych⁵². Zakres poniższej pracy, w odniesieniu do w/w grup tematycznych, dotyczy przede wszystkim zagadnień detekcji deformacji obiektów zabytkowych oraz dokumentacji przestrzennej, wraz z rejestracją i analizą wartości radiometrycznych obiektów zabytkowych, zarówno w inwentaryzacji zabytkowej architektury, jak również podczas badań archeologiczno-architektonicznych.

Omawiając przykłady stosowania naziemnego skanowania laserowego w historii badań dziedzictwa kulturowego, z uwagi na bardzo liczne projekty w skali światowej, warto przynajmniej pokrótce przybliżyć doświadczenia środowiska polskich naukowców, którzy aplikowali omawianą metodę do badań i prac inwentaryzacyjnych, podejmując się wykonania projektów, które przyczyniły się do powstania ogromnego zasobu cyfrowego dziedzictwa kulturowego. Podobnie jak na świecie, również i w Polsce mamy do czynienia z działaniami pilotażowymi i wdrożeniowymi oraz przedsięwzięciami na styku naukowo-komercyjnym, z silnie akcentowaną współpracą

⁵² Kościuk J., 2013, s. 82-88.

między geodetami-fotogrametrami a historykami architektury, archeologami, historykami sztuki i konserwatorami. Warte uwagi są powstałe w Polsce inicjatywy podejmowane m.in. w ramach Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów (NIMOZ), które rozpoczęły stopniowy proces tworzenia zaleceń w zakresie digitalizacji zbiorów muzealnych. Kolejny przykład to powołane Centra Kompetencji m.in. przy NIMOZ czy Narodowy Instytut Dziedzictwa (NID), które stanowią jednostki określające wytyczne w zakresie tworzenia cyfryzacji zasobów dziedzictwa kulturowego. Obecnie dostrzegamy wiele jednostkowych i niezintegrowanych działań, których zasadniczą zaletą jest oddolne testowanie metod i dostosowywanie istniejących rozwiązań do potrzeb z pogranicza badań historii architektury, archeologii i konserwatorstwa. Z pewnością można obecnie mówić o licznych przykładach dobrych praktyk, które wyznaczyły pewne kierunki działań w zakresie stosowania naziemnego skanowania laserowego. Istotny i zauważalny postęp dokonuje się również w oprogramowaniu, które za pośrednictwem niektórych rozwiązań (*ang. Open Source,*) staje się ogólnodostępne nie tylko dla niskobudżetowych projektów.

Polskie prace skupione wokół dziedzictwa kulturowego, sięgające po metody fotogrametrii naziemnej, w tym skanowania laserowego, realizowane są dwutorowo w ramach projektów – realizacji krajowych oraz zagranicznych misji badawczych, działających poza granicami kraju. Pomiar zabytków, zwłaszcza pomiary inwentaryzacyjne zabytków architektury, mają swoją długą tradycję również w polskich środowiskach⁵³, a zarazem wypracowaną metodykę w zakresie pomiarów fotogrametrycznych⁵⁴, której kontynuację dostrzegamy w czasach pomiarów laserowych. Innymi słowy, można stwierdzić, że stosowanie współczesnych metod fotogrametrycznych (zwłaszcza skanowania laserowego) w inwentaryzacji i badaniu dziedzictwa kulturowego, stanowi kolejny etap w opracowanych przez poprzednie pokolenia wytycznych i celach, dążących przede wszystkim do wiernego, obiektywnego i dokładnego dokumentowania zasobów zabytkowych. Zarówno krajowe, jak i zagraniczne przedsięwzięcia od samego początku aplikowania do badań terenowych metod geodezyjnych prowadzone są w ścisłej współpracy ze specjalistami (geodetami-fotogrametrami)⁵⁵, skupiając się z jednej strony na samym pomiarze, dokumentacji i apli-

⁵³ Małachowicz E., (współpraca) Małachowicz M., 2007, *Konserwacja i rewaloryzacja architektury w środowisku kulturowym*, Wrocław, s. 242--246.

⁵⁴ Brykowska M., 2003.

⁵⁵ Fellman J., 1972, *Pomiary zamków obronnych w Polsce. Metody geodezyjne inwentaryzacji powierzchniowej*, „Studia Zespołu Badań nad Polskim Średniowieczem UW i PW”, t. V, Warszawa.

kacji omawianych narzędzi do badań dziedzictwa kulturowego⁵⁶, a z drugiej (zwłaszcza w kręgach nauk technicznych) na pracach nad modernizacją procedur i sprzętu, z ukierunkowaniem na prace przy zabytkach. Początki stosowania metod fotogrametrycznych, a zwłaszcza naziemnego skanowania laserowego i związane z nimi publikacje sięgają przynajmniej kilku dekad wstecz do XX wieku. Ich upowszechnienie i wpisanie do warsztatu badawczego w działaniach przy dziedzictwie kulturowym odsyła natomiast do pierwszych lat XXI wieku, kiedy prace w zakresie stosowania metod fotogrametrycznych, mające na celu m.in. dokumentację przestrzenną, rozwijały się niezależnie w środowiskach naukowców Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji, Politechniki Warszawskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Politechniki Wrocławskiej czy Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, a także były wdrażane w sektorze prywatnym⁵⁷. W okresie ostatnich 10 lat sytuacja w skali krajowej uległa diametralnej zmianie, przyczyniając się do rozpowszechnienia metod fotogrametrycznych, w tym naziemnego skanowania laserowego w pracach terenowych, wykraczając poza tradycyjną inwentaryzację zachowanych obiektów architektury murowanej i drewnianej. Przykładem tego jest stosowanie naziemnego skanowania laserowego w badaniach archeologiczno-architektonicznych, podczas prac inwazyjnych i nieinwazyjnych przy obiektach zabytkowych, takich jak⁵⁸.

1) działania w charakterze badań archeologiczno-architektonicznych, realizowane przez Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D Politechniki Wrocławskiej, które objęły naziemnym skanowaniem laserowym m.in.: Jaskinię Niedźwiedzią w Kletnie (2008), zamek biskupi w Miliczu (2008), Świątynię Hatszepsut w Deir el-Bahari w Egipcie (2009)⁵⁹;

⁵⁶ Kosakowski E., 1996, *Dokumentacja konserwatorska prac przy elewacjach – zastosowanie współczesnych metod programowania i prezentacji*, (w:) *Problemy konserwacji elewacji budowli zabytkowych*, „Wiadomości Konserwatorskie Woj. Krakowskiego”, 5, s. 105-117.

⁵⁷ Joachimski J., 1997, *Fotogrametryczna inwentaryzacja obiektów zabytkowych*, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 7, s. 53-60; Boroń A., Borowiec M., Jachimski J., Wróbel A., 2004, *Fotogrametryczna inwentaryzacja zabytkowych murów budowli z czasów starożytnego Egiptu*, „Teledetekcja Środowiska”, 33, s. 1251-32; Boroń A., Rzonca A., Wróbel A., 2007; Zawieska D., 2013, *Wielobrazowe dopasowanie zdjęć bliskiego zasięgu do automatycznej rekonstrukcji fotorealistycznych modeli 3D*, Warszawa; sektor prywatny np.: DEPHOS – <http://www.dephos.com/>; 3Deling – <http://www.3deling.pl/>; APEKS – <http://www.apeks.com.pl/>; TERRAMAP – <http://terramap.pl/pl/>.

⁵⁸ Reua De J., Pletsa G., Verhoevena G., De Smedtb P., Batsa M., Cherrettéc B., De Maeyerc W., Deconynckd J., Herremansa D., Lalood P., Van Meirvenneb M., De Clercqqa W., 2013, *Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage* – <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440312003949>

Interferometria – Tapete D., Casagli N., Luzi G., Fanti R., Gigli G., Leva D., 2013, *Integrating radar and laser-based remote sensing techniques for monitoring structural deformation of archaeological monuments*, „Journal of Archaeological Science”, 40, s. 176-189.

⁵⁹ <http://labscan3d.pwr.wroc.pl/> – skaner Leica HDS 3000

2) naziemne pomiary laserowe reliktyw murowanego kompleksu zabytkowego Atturaif Heritage Area w Arabii Saudyjskiej przez KPG Geomatics w 2006-07⁶⁰;

3) prace w Wilanowie, integrujące technologie GIS/CAD, wraz z fotogrametrią i naziemnym skanowaniem laserowym, wykonywanym w latach 2006-08⁶¹;

4) prace przy ruinach zamku w Krzyżtoporze, realizowane przez Konsorcjum, którego liderem jest Międzyuczelniany Instytut Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki, z udziałem Zespołu Archeologiczno-Konserwatorskiego Andrzej Gołębniak, w ramach których od 2010 r. stosowane są również w pracach archeologiczno-architektonicznych naziemne pomiary laserowe⁶²;

5) prace pomiarowe 3D (odkrytych w 2006 r. podczas prac archeologicznych) piwnic, wykonywane w 2010 r., w ramach badań Muzeum Archeologicznego w Gdańsku⁶³;

6) prace dokumentacyjne 3D grodu pierwszych Piastów na Ostrowie Lednickim, wykonane przez Narodowy Instytut Dziedzictwa w 2011 r.

7) prace w ramach projektu „Teledetekcja archeologicznych krajobrazów ziemi sławieńskiej” Fundacji Dziedzictwo, wykonane w 2011 r., a obejmujące zasięgiem dokumentację przestrzenną grodzisk wczesnośredniowiecznych⁶⁴;

8) projekty Pracowni Komputerowej Instytutu Archeologii Uniwersytetu Warszawskiego, m.in. w zakresie naziemnego skanowania: Jaskini Kroczyckiej (2012), rytów naskalnych na Bornholmie (2012), cmentarzyska kurhanowego w Samławkach (2012)⁶⁵;

9) archeologiczno-architektoniczne prace nieinwazyjne (pomiarowo-dokumentacyjne) ruin zamku w Ilży, realizowane w 2011 r. w ramach badań własnych na UKSW⁶⁶ oraz od 2012 r. w ramach projektu naukowego pt. „Zastosowanie skaningu laserowego oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Opracowanie nieinwazyjnych, cyfrowych metod dokumentacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa

⁶⁰ http://www.kpg.pl/pl/files/produkty/dokumentacja_zabytkow_oferta_KPG_SA.pdf

⁶¹ Rzonca A., 2013, *Integracja danych pozyskiwanych metodami fotogrametrycznymi i skanowania laserowego przy inwentaryzacji obiektów zabytkowych*, Kraków [wydanie elektroniczne]

⁶² http://www.golembnik.pl/info_krzyz.html – skaner FARO

⁶³ Wykonawca pomiarów laserowych – Zakład Usług Inżynierskich Apeks Sp. z o.o. z Gdańska – skaner Riegl VZ400 – <http://www.archeologia.pl/index.php?n=12&m=2>

⁶⁴ <http://www.teledetekcja-slawno.org/index.php?p=4> – wykonawca pomiarów laserowych „Zakład Usług Inżynierskich APEKS” – zastosowanie skanera RIEGL VZ 400.

⁶⁵ <http://www.archeo.uw.edu.pl/szablon.php?id=1022> – Leica HDS C10

⁶⁶ Wykonawca pomiarów fragmentów ruin zamku górnego w Ilży – Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie (skaner Leica).

architektonicznego i archeologicznego” przez Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie⁶⁷;

10) prace badawcze Politechniki Warszawskiej – „Opracowanie innowacyjnej metodyki integracji danych ze skaningu naziemnego i obrazów cyfrowych dla wytworzenia dokumentacji fotogrametrycznej wybranej elewacji Pałacu w Wilanowie”.

11) prace inwentaryzacyjne np. zabytkowych komór solnych (kaplica św. Kingi w Kopalni Soli „Wieliczka” i kaplica św. Kingi w Kopalni Soli „Bochnia”), wykonywane przez specjalistów z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie⁶⁸;

12) działania w zakresie dokumentacji i inwentaryzacji przy wsparciu nowoczesnych technologii Międzyuczelnianego Instytutu Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki⁶⁹ oraz szereg innych⁷⁰.

Naziemne skanowanie laserowe stanowi metodę, którą w odniesieniu do badań terenowych i prac inwentaryzacyjnych można rozpatrywać z punktu widzenia dwóch zasadniczych zagadnień. Pierwsze, to (1) pomiar przestrzenny bryły – powierzchni badanej oraz drugie (2) – rozszerzające zainteresowanie wykorzystaniem skanowania laserowego w badaniach dziedzictwa kulturowego, poprzez uwzględnienie rejestracji i analizy dodatkowych cech powierzchni obiektu (np. ocena własności refleksyjnych skanowanego obiektu) tzw. czwarty wymiar.⁷¹ W licznych pracach intensywność odbicia wiązki lasera stanowiła podstawę do analizy różnicowania powierzchni skanowanej, jednak nie wyczerpując potencjału rejestrowanych danych, które mogą być podstawą szerszej i złożonej analizy substancji zabytkowej oraz zachodzących w niej zmian, zwłaszcza w odniesieniu do terenowych badań archeologiczno-architektonicznych, co stanowi przedmiot szerszych rozważań w dalszej części pracy.

⁶⁷ Wykonawca pomiarów ruin zamku w Ilży (zamek górny i dolny) – Politechnika Warszawska (skaner – Zoller+Fröhlich) oraz w ramach prezentacji (fragment ruiny) firma Leica Geosystems (skaner Leica PC10).

⁶⁸ Maciaszek J., 2008, *Skanowanie laserowe jako nowa technologia inwentaryzacji i wizualizacji zabytkowych komór solnych*, „Gospodarka Surowcami Mineralnymi”, t. 24, z. 3/2, s. 197-212.

⁶⁹ <http://www.mik.edu.pl/>

⁷⁰ Boron A., Borowiec M., Wróbel A., 2009, *Rozwój cyfrowej technologii inwentaryzacji obiektów zabytkowych na przykładzie doświadczeń Zakładu Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 19, s. 11-22; Mitka B., 2007, *Możliwości zastosowania naziemnych skanerów laserowych w procesie dokumentacji i modelowania obiektów zabytkowych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 17b, s. 525-534; <http://www.dephos.com/> oraz <http://www.3delling.pl/> – przykłady inwentaryzowanych w Polsce obiektów technologią TLS

⁷¹ Armesto-González J., Riveiro-Rodríguez B., González-Aguilera D., Rivas-Brea M. T., 2010, *Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical buildings* – <http://www.science-direct.com/science/article/pii/S0305440310002281>

Wraz z aplikowaniem do badań dziedzictwa kulturowego geodezyjnych urządzeń elektronicznych, stopniowo włączano w warsztat badawczy cały zestaw narzędzi, które tworzyły zintegrowane systemy, umożliwiające pozyskanie, przetworzenie oraz przygotowanie produktów końcowych (np. dokumentacji z badań archeologiczno-architektonicznych⁷² czy inwentaryzacji architektonicznych)⁷³, doprowadzających do powstawania zasobów cyfrowych dziedzictwa kulturowego. Stosowanie rozwiązań fotogrametrycznych spowodowało również przeformułowanie metodyki badawczej i inwentaryzacyjnej, która wpisała w proces dokumentacyjno-badawczy elementy obejmujące m.in.: 1) wizję lokalną prowadzoną pod kątem planowanych pomiarów fotogrametrycznych; 2) zaprojektowanie, założenie, pomiar i wyrównanie osnowy geodezyjnej; 3) zaprojektowanie stanowisk skanera laserowego; 4) zaprojektowanie procesu technologicznego; 5) prace terenowe – pomiary; 6) opracowanie kameralne; 7) generowanie produktu końcowego.⁷⁴

Wyżej wymienione etapy postępowania podczas prac wyraźnie dzielą działania na dwie zasadnicze części: terenową oraz kameralną – gabineutową. Pierwsza część działań (etap terenowy) to przede wszystkim oparcie się na urządzeniach pomiarowych (skaner laserowy – ang. *hardware*) oraz dedykowanym oprogramowaniu do przetwarzania i archiwizowania danych poza urządzeniami rejestrującymi, natomiast druga część działań (etap kameralny) to prace z wygenerowanym zasobem, które poza dokumentacją, umożliwiają przeprowadzenie szeregu analiz dotyczących substancji zabytkowej.

Geodezyjne urządzenia pomiarowe – skanery laserowe (przede wszystkim bliskiego i średniego zasięgu), wykonują pomiary z określoną dokładnością i jakością, przy przyjętych lub odgórnie zdefiniowanych warunkach oraz parametrach, które najogólniej określają wcześniej przywołane zestawienia. Pomiary jednak wykonywane są dla potrzeb inwentaryzacji, zatem ich jakość i dokładność określa przede wszystkim cel, a także inne czynniki, jak np. budżet.

⁷² Golembnik A., Morysiński T., *Czas na nowe technologie*, "Ochrona Zabytków", Nr 1/2, 2004, s. 93-103.

⁷³ Przykładowe zastosowania: Lerma J. L., Seguí A. E., Navarro S., Haddad N., Cabrelles M., Akasheh T., 2011, *Integration of laser scanning and imagery for photorealistic 3D architectural documentation*, (w:) *Laser Scanning, Theory and Applications*, (red.) W. Chau-Chang – <http://www.intechopen.com/books/laser-scanning-theory-and-applications/integration-of-laser-scanning-and-imagery-for-photorealistic-3d-architectural-documen>

⁷⁴ Mitka B., 2007. Na temat procesu digitalizacji przestrzennych obiektów zabytkowych (muzealnych) szerzej m.in.: *Zalecenia dotyczące planowania ...*, 2011; Bunsch B., Sitnik R., 2011, *Proces digitalizacji 3D. Od założeń do dokumentacji cyfrowej*, „Muzealnictwo”, nr 52, Warszawa, s. 48-53.

W pracach terenowych stosowane są również coraz powszechniej (1) skanery światła strukturalnego⁷⁵ oraz (2) ramiona skanujące, jednak z uwagi na cele stawiane omawianym urządzeniom oraz przyjęte kryteria pracy, nie stanowią one przedmiotu szerszego omówienia pracy.⁷⁶

Do zasadniczych zastosowań naziemnego skanowania laserowego w odniesieniu do dziedzictwa kulturowego zaliczamy: 1) inwentaryzację obiektów architektonicznych (w tym przemysłowych); 2) dokumentację w trakcie badań archeologicznych i archeologiczno-architektonicznych; 3) pomiar rzeźby terenu (otoczenia zabytków); 4) rejestrację natężenia odbicia wiązki laserowej. Skanowanie laserowe, rozumiane również jako proces digitalizacji, ma na celu pomiar przestrzennej powierzchni obiektów, pod kątem potrzeb konserwatorskich i edukacyjnych (popularyzatorskich), znajdując swoje zastosowanie m.in. w:

- dokumentacji zabytków przed procesem renowacji;
- dokumentacji zabytków narażonych na zniszczenie lub zmianę (np. badania archeologiczno-architektoniczne);
- wizualizacji obiektów w formie modeli 3D;
- monitorowaniu stanu obiektów zabytkowych, pod kątem zmian zachodzących w czasie;
- generowaniu modeli geometrycznych, celem tworzenia replik jako zamienników np. dla potrzeb renowacji;
- dokumentowaniu zabytków w celu tworzenia modeli przestrzennych, animacji i prezentacji dla zwiedzających w muzeach itp.;
- wspomaganiu interpretacji znalezisk archeologicznych i relacji zjawisk w krajobrazie;
- analizach w zróżnicowanej skali i perspektywie, celem wykrywania wcześniej niezauważalnych cech lub obiektów;
- analizowaniu przestrzennym obiektów zabytkowych, wraz z otoczeniem⁷⁷.

W ramach inwentaryzacji obiektów zabytkowych – ich przestrzennego pomiaru bezdotykowego, generowane są na bazie naziemnych pomiarów laserowych: 1) przestrzenna chmura punktów; 2) dokumentacja 2D (np. rzuty, przekroje, fotoplany, ortofotoplany); 3) dokumentacja 3D (np. modele bryłowe, modele (ang. *mesh*), modele szkieletowe, modele powierzchniowe, modele

⁷⁵ Szerzej – Boroń A., Rzonca A., Wróbel A., 2007; Rychlik M., 2007, *Skanery 3d – wrota do wirtualnego świata*, „Design News Polska”, s. 36-40 – http://designnews.pl/download/DN4%2823%29_2007_b_website.pdf; McPherrona S., P., Hublina J. -J., 2009, *Structured light scanning for high-resolution documentation of in situ archaeological finds* – <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030544030800160X>; Sitnik R., 2010, *Odwzorowanie kształtu obiektów trójwymiarowych z wykorzystaniem oświetlenia strukturalnego*, Zeszyt „Mechanika” nr 231, Warszawa.

⁷⁶ Żrodowski C., Kłos M., 2012.

⁷⁷ Jones D. M. (red.), 2011, s. 4-5; Bunsch E., Ceraficki P., Pyzik W. *et al.*, 2012, s. 150.

z nałożoną teksturą); 4) modele warstwiczne oraz hipsometryczne obiektów; 5) mapy głębi; 6) dokumentacje powykonawcze; 7) mapy hipsometryczne. Obok wygenerowanych produktów na bazie TLS, również elastyczność systemów oraz programów, umożliwia integrację danych pozyskanych z innych urządzeń, celem stworzenia wieloźródłowego i zróżnicowanego systemu dokumentującego obiekty zabytkowe (np. termografia, dokumentacja w bliskiej podczerwieni). W oparciu o wygenerowany zasób danych cyfrowych, a więc rezultaty naziemnych pomiarów laserowych, działania na rzecz badania i ochrony dziedzictwa kulturowego, stanęły w obliczu nowych możliwości diagnostyczno-analitycznych, które pozwalają m.in. na: 1) analizę zadokumentowanego obiektu w formie przestrzennej / 3D (dodajmy na marginesie, że dotychczasowa praktyka dokumentacyjna oraz przyzwyczajenia, sprowadzają nadal dość często proces analityczny do dwuwymiarowych planów i przekrojów obiektów, również generowanych z danych 3D); 2) dokładne pomiary wszystkich elementów i detali architektonicznych; 3) detekcję i klasyfikację ubytków oraz zniszczeń, w oparciu o proces analizy danych narzędziami oprogramowania; 4) badanie odkształceń na bazie dokładnego pomiaru, przy wsparciu oprogramowaniem specjalistycznym; 5) analizę i klasyfikację powierzchni oraz przekrojów substancji zabytkowej (szerzej dalej); 6) nieinwazyjną symulację procesów destrukcyjnych, procesów konserwatorskich i restauratorskich; 7) wizualizację obiektów zabytkowych. Dane sprowadzone do jednolitego, kartometrycznego systemu umożliwiają łączną analizę, której efektem jest m.in. (1) korelacyjna i wielowymiarowa detekcja obiektu czy (2) ekstrakcja elementów powierzchniowych zabytków⁷⁸ oraz segmentacja powierzchni substancji zabytkowej⁷⁹, bazujące na wieloźródłowych danych przestrzenno-obrazowych. Natomiast w ramach rejestracji danych radiometrycznych, uzyskujemy zasób informacji, które umożliwiają dodatkową analizę i segmentację powierzchni mierzonej, a w sposób pośredni (w licznych sytuacjach) analizę procesów zachodzących wewnątrz substancji zabytkowej.

2.3.2. Wybrane zagadnienia w zakresie norm i zaleceń – inwentaryzacja i dokumentacja

Obecnie nie istnieją jednolite i określone standardy oraz normy w zakresie wykonywania naziemnego skanowania laserowego obiektów

⁷⁸ Soria-Medin A., Martínez J., Buffara-Antunes A. F., Arias P., González-Jorge H., 2011.

⁷⁹ Lamas J., Melero A., Zalama E., Gómez-García-Bermejo J., 2010, *A 3D snake approach for extracting plans of heritage buildings*, "Proceedings of the 27th ISARC, Bratislava, Slovakia", s. 524-533 – http://www.iaarc.org/publications/fulltext/A_3D_snake_approach_for_extracting_plans_of_heritage_buildings.pdf

zabytkowych, które jednoznacznie określałyby sposób wykonywania pomiarów oraz ich jakość. Brakuje również standardów dotyczących zdefiniowania dokładności TLS, gdyż wszyscy producenci określają ją dla odległości, a nie komponentów kątowych. Nie uwzględnione są też wpływy otoczenia czy rodzaj powierzchni odbijającej⁸⁰. Wykonywane prace terenowe oparte na skanowaniu laserowym sięgają do istniejących zaleceń i wskazań, jakie pojawiły się w literaturze przedmiotu, jak również określają na bieżąco własną jakość prac i produktów, która jest związana ze stawianymi celami i potrzebami poszczególnych projektów. Najogólniej można stwierdzić, że w zakresie pomiaru przestrzennego (a także dokumentacji obrazowej), obowiązuje zasada wiernego i jak najdokładniejszego odwzorowania zabytków, która w myśl obowiązujących norm oraz przepisów określa formę i jakość produktu końcowego dla poszczególnych badań⁸¹. Przykładem są *Wytyczne Techniczne G-3.4*, w których odnajdujemy np. wskazane dokładności identyfikacji kształtów niektórych elementów architektonicznych, w zależności od stopnia ich zniszczenia, co ilustruje załączona tabela 2.4..

RODZAJ ELEMENTU	DOKŁADNOŚĆ IDENTYFIKACJI W CM		
	Stan dobry	Zniszczony	Ruina
Ściana murowana	1-2	2-3	2-5
Mur kamienny	2-3	3-5	3-10
Ściana drewniana	1-2	1-2	2-5
Detale kamienne	1-2	1-3	2-4
Stolarka	1-2	1-2	1-3
Budowle ziemne	5-10	10-20	20-50

Tab. 2.4. Przykład dokładności identyfikacji kształtów niektórych elementów architektonicznych, w zależności od stopnia ich zniszczenia.⁸²

Uzasadnienia w zakresie włączania do prac terenowych – archeologiczno-architektonicznych urządzeń geodezyjno-fotogrametrycznych można

⁸⁰ Marczeńska K., 2010, s. 33.

⁸¹ Brykowska, M. 2003; Tajchman J., 2009, *Metoda konserwacji i restauracji dziedzictwa architektonicznego w zakresie zabytkowych budowli*, Toruń; Kobyliński Z., 1998, s. 59-72; Gołębniak A., 1998, *Zasady eksploracji i dokumentacji wielowarstwowych stanowisk archeologicznych w miastach*, (w:) *Ewidencja, eksploracja i dokumentacja w praktyce konserwatorstwa archeologicznego*, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa, s. 73-104.

⁸² *Wytyczne Techniczne G-3.4*, 1981, pt.: „Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury”, GUGiK, Warszawa, s. 33.

odnaleźć w licznych międzynarodowych dokumentach doktrynalnych, w tym w „Karcie Lozańskiej”, która m. in. stwierdza, że:

„Ochrona tego dziedzictwa nie może być oparta na zastosowaniu samych tylko technik archeologicznych. Wymaga ona szerszej podstawy wiedzy i umiejętności zawodowych i naukowych. Niektóre elementy dziedzictwa archeologicznego są częściami składowymi budowli architektonicznych i w takich przypadkach muszą być chronione zgodnie z kryteriami sformułowanymi w Karcie Weneckiej Konserwacji i Restauracji Zabytków i Miejsc Zabytkowych z 1964 r.”⁸³

I dalej czytamy, że:

„Z tych i innych powodów ochrona dziedzictwa archeologicznego musi być oparta na efektywnej współpracy fachowców z różnych dziedzin. Wymaga ona także współdziałania ze strony władz rządowych, badaczy akademickich, przedsiębiorców prywatnych i publicznych, jak i ogółu społeczeństwa. Niniejsza karta formułuje zatem zasady odnoszące się do różnych aspektów zarządzania dziedzictwem archeologicznym. Obejmują one odpowiedzialność władz publicznych i ustawodawców, zasady odnoszące się do profesjonalnego prowadzenia procesów inwentaryzacji, rozpoznania, wykopalisk, dokumentacji, badań naukowych, utrzymywania we właściwym stanie, konserwacji, ochrony, rekonstrukcji, informacji, prezentacji, publicznego udostępniania i korzystania z dziedzictwa, jak również kwalifikacje fachowców zajmujących się ochroną dziedzictwa”.⁸⁴

Powyższe stwierdzenia w wyraźny sposób wskazują włączanie do prac badawczych i dokumentacyjnych specjalistów, w tym wypadku specjalistów z zakresu fotogrametrii i teledetekcji, wraz z całym bagażem narzędziowym tych dyscyplin.

Natomiast w „Karcie Weneckiej” odnajdujemy zapisy wyznaczające konieczność generowania dokładnej dokumentacji:

„Pracom z zakresu konserwacji, restauracji i wykopalisk zawsze będzie towarzyszyć powstanie dokładnej dokumentacji w postaci sprawozdań analitycznych i krytycznych, ilustrowanych rysunkami i fotografiami”⁸⁵, co też w doskonały sposób może być realizowane za pośrednictwem współczesnych technologii geodezyjno-fotogrametrycznych.

⁸³ Międzynarodowa Karta Ochrony i Zarządzania Dziedzictwem Archeologicznym ICOMOS (Karta Lozańska) – Konopka M., Szmygin B., 2009, *Vademecum konserwatora zabytków*, cz. I, Międzynarodowe prawo ochrony dziedzictwa kultury, Warszawa – <http://www.icomos-poland.org/images/publikacje/VADEMECUM%20ICOMOS%20calosc.pdf>; <http://www.icomos-poland.org/index.php/pl/dokumenty-doktrynalne>.

⁸⁴ Międzynarodowa Karta Ochrony, 2009, s. 113-120.

⁸⁵ Międzynarodowa Karta Konserwacji i Restauracji Zabytków i Miejsc Zabytkowych (Karta Wenecka), Wenecja 1964 – <http://www.icomos-poland.org/images/Magazyn/karta%20wenecka.pdf>

Również „Konwencja o ochronie dziedzictwa architektonicznego Europy” kreśli podstawy postępowania z zabytkami architektury, które w doskonały sposób mogą być realizowane za pośrednictwem współczesnych technologii geodezyjnych, m.in. poprzez prowadzenie inwentaryzacji „celem dokładnego zidentyfikowania zabytków, zespołów budynków i terenów podlegających ochronie”.⁸⁶

W odniesieniu do przywołanego zapisu, znaczące wydaje się stosowanie urządzeń mogących dokumentować i identyfikować zespoły oraz całe tereny, co jest możliwe m.in. w wyniku zastosowania naziemnego, mobilnego czy lotniczego skanowania.

Wskazanie zastosowania technologii cyfrowych, przede wszystkim w odniesieniu do dokumentowania, a zarazem analizowania historycznego krajobrazu miejskiego, odnajdujemy również w „Rekomendacji UNESCO w sprawie historycznego krajobrazu miejskiego”, gdzie czytamy:

„Należy zachęcać do wykorzystywania technologii informacyjnych i komunikacyjnych w celu dokumentowania, lepszego rozumienia oraz prezentowania złożonej stratyfikacji obszarów miejskich i jej zasadniczych elementów. Gromadzenie i analizowanie takich danych jest głównym przyczynkiem do wiedzy o obszarach miejskich.”⁸⁷

Powyższy zapis wymownie świadczy o angażowaniu i aplikowaniu technologii cyfrowych do badań dziedzictwa kulturowego, co też szeroko jest realizowane od kilkunastu lat przez różnorodne instytucje i podmioty na całym świecie.

„Karta konserwatorska” podkreśla w działaniach na rzecz ochrony dziedzictwa architektoniczno-urbanistycznego oparcie się na odpowiednich rozwiązaniach technicznych, analizach pomiarowych i graficznych stwierdzając: „Ochrona dziedzictwa architektoniczno-urbanistycznego jest realizowana przez projekt konserwatorski określający jej długoterminową strategię. „Projekt konserwatorski” powinien być oparty na szeregu odpowiednich rozwiązań technicznych i przygotowany w poznawczym procesie gromadzenia wiedzy i interpretacji budynku, zespołu, miasta czy miejsca, uwzględniając znajomość zarówno tradycyjnych jak i nowoczesnych materiałów, badania strukturalne, analizę pomiarową i graficzną oraz identyfikację znaczeń historycznych, artystycznych i społeczno-kulturowych. Wszelkie niezbędne specjalistyczne dyscypliny muszą uczestniczyć

⁸⁶ Konwencja o ochronie dziedzictwa architektonicznego Europy. Grenada, 3 października 1985 roku. European Treaty Series (ETS)/Série des traités européens (STE) Nr 121 – <http://www.zabytki-tonz.pl/pliki/konwencja%20o%20archit.pdf>

⁸⁷ Rekomendacji UNESCO w sprawie historycznego krajobrazu miejskiego, 2011 – http://www.unesco.pl/fil-eadmin/user_upload/pdf/Rekomendacje/rekomenkrajobraz.pdf

w projekcie konserwatorskim, a jego koordynowanie ma być powierzone osobie wykwalifikowanej i wykształconej.”⁸⁸

Następna grupa międzynarodowych dokumentów oraz publikacji odnosi się bezpośrednio do zagadnień dokumentacji zasobów dziedzictwa kulturowego. Spośród wszystkich wymieńmy m.in. „Principles for the recording of monuments, groups of building and sites” ratyfikowaną przez XI Walne Zgromadzenie ICOMOS w Sofii, w październiku 1996 r.⁸⁹, a także „Minimum requirements for metric use of non-metric photographic documentation”⁹⁰.

Kolejnymi dokumentami wyznaczającymi zasady wykonywania prac dokumentacyjno-pomiarowych są przepisy i zasady obowiązujące w poszczególnych państwach. I tak dla badań architektonicznych, archeologicznych oraz konserwatorskich podstawą do tworzenia dokumentacji w Polsce są standardy określone przede wszystkim w: *Ustawie z dnia 23 lipca 2003 r. O ochronie zabytków i opiece nad zabytkami*, *Ustawie z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane*, jak również w *Rozporządzeniu Ministra Kultury z dnia 27 lipca 2011 r. w sprawie prowadzenia prac konserwatorskich, robót budowlanych, badań konserwatorskich i architektonicznych, a także innych działań przy zabytku wpisanym do rejestru zabytków oraz badań archeologicznych i poszukiwań ukrytych lub porzuconych zabytków ruchomych*⁹¹, które w świetle upowszechniania się nowych narzędzi pomiarowych wymagają aktualizacji. Pomiar przestrzenny oparty na technologii skanowania laserowego to przede wszystkim część postępowania w ramach wykonywania dokumentacji stanu obiektu, jak również sporządzania pełnej inwentaryzacji pomiarowo-rysunkowej i fotograficznej pozostałości odkrywanego zabytku architektury, a także przygotowywania dokumentacji powykonawczej. W związku z powyższym wykonanie jakichkolwiek prac pomiarowych w odniesieniu do dziedzictwa kulturowego, w pierwszej kolejności należy odnieść do zapisów istniejących w w/w dokumentach.

⁸⁸ Karta krakowska 2000. *Principia konserwacji i restauracji dziedzictwa architektoniczno-urbanistycznego z 2000 r.*, s. 196 – <http://www.icomos-poland.org/images/publikacje/VADEMECUM%20ICOMOS%20calosc.pdf>

⁸⁹ *Principles for the recording of monuments, groups of building and sites* – Ratified by the 11th ICOMOS General Assembly in Sofia, October 1996 – <http://www.icomos.org/charters/archives-e.pdf>

⁹⁰ D’Ayala D., Smars, 2003, *Minimum requirements for metric use of non-metric photographic documentation*, Bath – <http://www.english-heritage.org.uk/content/publications/publicationsNew/metric-use-of-non-metric-photographic-documentation/metricextraction1.pdf>

⁹¹ *Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. O ochronie zabytków i opiece nad zabytkami* (Dz. U. z 2003 r. Nr 162, poz. 1568). / *Rozporządzenie Ministra Kultury z dnia 27 lipca 2011 r. w sprawie prowadzenia prac konserwatorskich, robót budowlanych, badań konserwatorskich i architektonicznych, a także innych działań przy zabytku wpisanym do rejestru zabytków oraz badań archeologicznych i poszukiwań ukrytych lub porzuconych zabytków ruchomych* (Dz. U. z dnia 27 lipca 2011 r. Nr 165, poz. 987); *Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane* (Dz. U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414); Kisilowska H., 2000, *Prawne podstawy ochrony dziedzictwa kulturowego w ustawie o ochronie dóbr kultury*, (w:) *Problemy zarządzania dziedzictwem kulturowym*, (red.) K. Gutowskiej, Warszawa, s. 91-97; Brykowska M., 2007, s. 121.

W literaturze przedmiotu funkcjonuje pewien podział odnoszący się do sposobu i jakości wykonywania pomiarów bezdotykowych, opartych na czterech odmiennych technikach (triangulacja laserowa, fotogrametria, metoda czasu przelotu wiązki oraz metoda z oświetleniem strukturalnym)⁹², który to podział przekłada się również na zakres wskazań i zaleceń, określających pewne zasady, jakie należy stosować podczas prac pomiarowych.

Naziemne pomiary obiektów architektury zabytkowej oraz obiektów archeologicznych, rozumiane również jako proces dokumentacji, wykonywane są w oparciu o szereg zaleceń, standardów oraz przepisów, które wykazują specyfikę i zróżnicowane w poszczególnych krajach. W Polsce obowiązuje przywołany już zestaw regulacji określany przez *Wytyczne Techniczne G-3.4* pt.: „Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury”⁹³, określających sposób wykonywania takich pomiarów, stanowiących zarazem część procesu inwentaryzacyjnego podczas badań terenowych. Dodajmy, że m.in. w/w wytyczne stanowią przykład częściowo zdezaktualizowanych zasad, których zmiany postulowane są w literaturze przedmiotu.⁹⁴

Poza tym istnieje szereg zaleceń (również ogólnościowych – szerzej dalej), które uwzględniane są podczas prac terenowych, stanowiąc pewien niestandardowy – nieformalny zestaw zasad wykonywania omawianych prac. Ściśle powiązaną kategorią wytycznych odnoszących się do naziemnych pomiarów obiektów zabytkowych jest literatura przedmiotu, która stopniowo wykazuje m.in. konieczność modyfikacji i dostosowania przepisów oraz norm do bieżącej sytuacji, zwłaszcza zmieniającej się technologii. Ogólną dyskusję o potrzebie standardów dotyczących danych w pracach na rzecz dziedzictwa kultury można odnaleźć w publikacjach M. Ioannidesa i G. Hadzilacos⁹⁵ oraz D. Barbera i współautorów⁹⁶, a opracowania profesjonalnych wytycznych technicznych m.in. w publikacji autorstwa D. Barber i J. Millsa „3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology

⁹² Bunsch E., Sitnik R, 2011, s. 48-53.

⁹³ *Wytyczne Techniczne G-3.4*, 1981.

⁹⁴ Falkowski P., Parzyński Z., Uchański J., 2009, *Przygotowawcze prace projektowe modelowego opracowania standardu technicznego inwentaryzacji obiektów architektonicznych przy użyciu technologii naziemnego skaningu laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 19, 2009, s. 111-121.

⁹⁵ Ioannides M., Hadzilacos G., 2003, *Standardization: A Necessity for the Documentation & Archiving in Cultural Heritage*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences” (CIPA 2003 XIXth Int. Symp., Antalya, Turkey), vol. XXXIV-5/C15, s. 1682-1777.

⁹⁶ Barber D., Mills J., Bryan P., 2003, *Towards A Standard Specification for Terrestrial Laser Scanning of Cultural Heritage*, „International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 34, cz. 5/C15, s. 619 – 624.

and architecture"⁹⁷. Inną pozycją, która podejmuje temat pomiarów budynków historycznych, jest publikacja „Measured and Drawn – Techniques and practice for the metric survey of historic buildings”⁹⁸, stanowiąc swego rodzaju wprowadzenie do zagadnienia dokumentacji obiektów zabytkowych z zastosowaniem pomiarów laserowych. Zagadnienia w zakresie szczegółów m.in. na temat technik dokumentacyjnych odnajdujemy w pracy pod redakcją D. Andrews „Metric Survey. Specifications for Cultural Heritage Swindown”.⁹⁹ To przykład publikacji podejmującej zagadnienie pomiarów obiektów zabytkowych, która zawiera m.in. specyfikacje w zakresie wykonywania dokumentacji obrazowej i pomiarowej, wraz ze zaleceniami w zakresie kolekcjonowania oraz archiwizowania danych laserowych. Szereg zaleceń oraz wskazań zawierają „Przewodniki dobrych praktyk” (*Guides to Good Practice*)¹⁰⁰, stanowiące rezultat współpracy pomiędzy *Archaeology Data Service*¹⁰¹ a *Digital Antiquity*¹⁰², spośród których wymienimy przynajmniej te odnoszące się w sposób bezpośredni do dokumentacji i pomiaru obiektów zabytkowych, a także omawiające zagadnienia przechowywania i przetwarzania generowanych zasobów cyfrowych. Ściśle związane z pomiarem terenowym, a w tym z naziemnym skanowaniem laserowym i fotogrametrią bliskiego zasięgu są publikacje pt. „Laser Scanning for Archaeology. A Guide to Good Practice” autorstwa Angie Payne¹⁰³ oraz pt. „Close-Range Photogrammetry. A Guide to Good Practice” autorstwa Adama Barnes¹⁰⁴. Przewodnikami w zakresie przechowywania, przetwarzania oraz analizy i wizualizacji są m.in. pozycje „GIS”¹⁰⁵, „CAD”¹⁰⁶ oraz „Virtual Reality”¹⁰⁷.

⁹⁷ Barber D., Mills J., 2007, *3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture*, English Heritage, www.english-heritage.org.uk/.../3d-laser-scanning-for-heritage/

⁹⁸ Andrews D., Bedford J., Blake B., Bryan P., Cromwell T., Lea R., 2009, *Measured and Drawn – Techniques and practice for the metric survey of historic buildings* (second edition), (red.) J. Bedford, H. Papworth, Swindown: English Heritage – <http://www.english-heritage.org.uk/publications/measured-and-drawn/measured-and-drawn.pdf>

⁹⁹ Bryan P., Blake B., Bedford J., Barber D., Mills J., Andrews D., 2009, *Metric Survey. Specifications for Cultural Heritage*, (red.) D. Andrews – <http://www.english-heritage.org.uk/publications/metric-survey-specification/metric-survey-specific-for-cultural-heritage.pdf>

¹⁰⁰ <http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/>

¹⁰¹ <http://archaeologydataservice.ac.uk/>

¹⁰² <http://www.digitalantiquity.org/>

¹⁰³ Payn A., 2009, *Laser Scanning for Archaeology. A Guide to Good Practice*, (red.) K. Niven – http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/LaserScan_Toc

¹⁰⁴ Arnese A., *Close-Range Photogrammetry. A Guide to Good Practice*, (red.) K. Niven – http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/Photogram_Toc

¹⁰⁵ http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/Gis_Toc

¹⁰⁶ http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/Cad_Toc

¹⁰⁷ http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/Vr_Toc

Kolejnym istotnym zagadnieniem jest szereg zaleceń, które określają zasady przetwarzania i przechowywania zasobów cyfrowych, a więc i rezultatów naziemnych pomiarów laserowych obiektów zabytkowych. Propozycję przewodnika w tym zakresie, w sposób usystematyzowany, odnajdujemy w publikacji R. Letelliera pt. *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places. Guiding Principles*, wydanej przez „The Getty Conservation Institute”, kierowanej w stronę procesów konserwacji dziedzictwa kulturowego.¹⁰⁸ W literaturze przedmiotu, poza zagadnieniami technicznymi oraz parametrami wykonywania pomiarów, odnajdujemy wskazania w zakresie jakości produktów końcowych. Efekt prac jest uzależniony od wykorzystywanych urządzeń, które również – zdaniem wielu badaczy, wymagają dookreślenia, m.in. w zakresie certyfikatów, mających poświadczać jakość oraz błędy wykonywanych pomiarów, a także kalibracji urządzeń.¹⁰⁹

Podstawową i zasadniczą regulacją, odnoszącą się do zagadnień dokumentacji i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego (w tym architektonicznego i archeologicznego), w Polsce są przywołane wcześniej *Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane*¹¹⁰, *Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. O ochronie zabytków i opiece nad zabytkami*¹¹¹, a dalej *Rozporządzenie Ministra Kultury z dnia 27 lipca 2011 r. w sprawie prowadzenia prac konserwatorskich, robót budowlanych, badań konserwatorskich i architektonicznych, a także innych działań przy zabytku wpisanym do rejestru zabytków oraz badań archeologicznych i poszukiwań ukrytych lub porzuconych zabytków ruchomych*¹¹², które łącznie określają sposób wykonywania pomiarów substancji zabytkowej i tworzenia dokumentacji. W tym miejscu należy podkreślić, że z punktu widzenia technologii pomiarowych, ani ustawa, ani też jakiegokolwiek rozporządzenie, nie zawierają szczegółowych zasad wykonywania pomiarów laserowych (dokumentacji czy inwentaryzacji) substancji zabytkowej, sprowadzając rzecz do bardzo ogólnych

¹⁰⁸ Letellier R., 2007, *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places. Guiding Principles*, Los Angeles – http://philipmarshall.net/Teaching/rwuhp175/Letellier_2008_Guiding_Principles_Getty_Guidance.pdf

¹⁰⁹ Rinaudo F., Bornaz L., Ardisson P., 2007, *3D High Accuracy Survey and Modelling for Cultural Heritage Documentation and Restoration*, (w:) VAST2007 – Future Technologies to Empower Heritage Professionals. The 8th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage Incorporating the 5th EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage. Short and Project Papers from VAST2007, (red.) D. Arnold, A. Chalmers, F. Niccolucci, Budapest, s. 19-23.

¹¹⁰ *Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane* (Dz. U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414).

¹¹¹ *Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. O ochronie zabytków i opiece nad zabytkami* (Dz. U. z 2003 r. Nr 162, poz. 1568).

¹¹² *Rozporządzenie Ministra Kultury z dnia 27 lipca 2011 r. w sprawie prowadzenia prac konserwatorskich, robót budowlanych, badań konserwatorskich i architektonicznych, a także innych działań przy zabytku wpisanym do rejestru zabytków oraz badań archeologicznych i poszukiwań ukrytych lub porzuconych zabytków ruchomych* (Dz. U. z dnia 27 lipca 2011 r. Nr 165, poz. 987).

zapisów w kwestii samej dokumentacji i pomiarów. W związku z powyższym, pojawia się konieczność zmiany tej sytuacji. W świetle obecnych przepisów brak jakichkolwiek regulacji może skutkować nadmierną swobodą wykonawczą, czy też generowaniem słabej jakości produktów fotogrametrycznych.

Kolejne zagadnienie to wspomniany zestaw zaleceń oraz dobrych praktyk, a także projekty zmierzające do standaryzacji działań z zakresu stosowania TLS w badaniach dziedzictwa kulturowego, które określają zasady wykonywania naziemnych pomiarów laserowych¹¹³. Zagadnienie standardów w literaturze przedmiotu jest przede wszystkim dyskusją o potrzebie opracowania wytycznych technicznych oraz tworzenia standardów, zwłaszcza w odniesieniu do dziedzictwa kulturowego.¹¹⁴ W tym miejscu warto przywołać zalecenia, jakie stworzono w ramach prac ekspertów działających przy NIMOZ, które stanowią jedną z pierwszych propozycji wyznaczania pewnych zasad w zakresie digitalizacji obiektów zabytkowych, z uwzględnieniem skanowania. „Zalecenia dotyczące planowania i realizacji projektów digitalizacyjnych w muzealnictwie”.¹¹⁵ Jedną ze znaczących publikacji w zakresie standaryzacji digitalizacji dziedzictwa kulturowego jest praca pod redakcją G. Płoszajskiego pt. „Standardy w procesie digitalizacji obiektów dziedzictwa kulturowego, określający grupę zaleceń i wskazań w powyższym temacie, a zwłaszcza w zakresie metadanych”.¹¹⁶

Z uwagi na zakres pracy, zasygnalizujemy jedynie zagadnienia, które wiążą się wykonywaniem naziemnych pomiarów laserowych, szczególnie z częścią całego procesu doprowadzającego do wygenerowania produktu fotogrametrycznego na rzecz badań dziedzictwa kulturowego. Generowany zasób cyfrowy m.in. na bazie naziemnych pomiarów laserowych obiektów zabytkowych, stanowi zbiór danych, które wymagają odpowiedniego przetworzenia, przechowania, udostępniania oraz modyfikowania – wtórnego przetwarzania (np. dla potrzeb wizualizacji obiektów). Zagadnienie przetwarzania danych odsyła przede wszystkim do procedury, daleko wykraczającej poza kompetencje badacza-konserwatora, a więc stanowi temat, który regulują standardy określone dla danych dziedzin i dyscyplin, zwłaszcza geodezji i fotogrametrii. Przechowywanie czy udostępnianie, to zagadnienia, które z jednej strony odsyłają do zagadnień

¹¹³ Barber D., Mills J., Bryan P., 2003, *Towards A Standard Specification for Terrestrial Laser Scanning of Cultural Heritage*, „International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 34, cz. 5/C15, s. 619 – 624.

¹¹⁴ Ioannides M., Hadzilacos G., 2003; Barber D., Mills J., Bryan P., 2003, s. 619 – 624.

¹¹⁵ *Zalecenia dotyczące planowania ...*, 2011.

¹¹⁶ Płoszajski G. (red.), 2008.

technicznych, z drugiej strony do kwestii prawnych, m.in. w zakresie praw autorskich, możliwości rozpowszechniania zasobów, wizerunków obiektów itd.. Z punktu widzenia regulacji prawnych w odniesieniu do zabytków, zagadnienia przetwarzania, w szczególności przechowywania i udostępniania są najobszerniejszym tematem, wymagającym doprecyzowania wielu kwestii, z jednoczesnym odesłaniem do różnych regulacji prawnych, które dotyczą muzeów czy zbiorów. Ostatnia zasygnalizowana kwestia to modyfikacja produktów fotogrametrycznych, zgromadzonych i przetworzonych danych cyfrowych, a zwłaszcza rezultatów pomiarów przestrzennych. Zasób cyfrowy, powstały w wyniku zastosowania technologii skanowania laserowego, wykorzystywany jest w różnorodny sposób, co zostało już przedstawione. Zastrzeżeń nie budzą prace umożliwiające integrację substancji zabytkowej, a więc integrację replik cyfrowych, co pozwala na m.in. nieinwazyjną symulację osiągniętych w rzeczywistości efektów, które w odniesieniu do pracy z samą substancją zabytkową, mogłyby narazić materię na uszkodzenia i nieprzewidywalne sytuacje. Podobnie rzecz się ma z bezdotykowym analizowaniem substancji zabytkowej, w oparciu o jej cyfrową replikę i zapis pewnych parametrów, umożliwiając m.in. bezinwazyjne rozpoznawanie zmian zachodzących wewnątrz materii zabytkowej. Niestety, szereg uwag kierowanych jest do tzw. rekonstrukcji wirtualnych, a więc modeli przestrzennych obiektów, które powstają m.in. na bazie naziemnych pomiarów laserowych. W literaturze przedmiotu zwrócono m.in. uwagę na konieczność ustalenia pewnych zasad, a dokładniej ograniczeń przed nadmierną i swobodną autorską rekonstrukcją obiektów zabytkowych, która wprowadza przekłamania w wizualizacji obiektów. Reakcją na tego typu zjawiska jest „The London Charter”¹¹⁷, dokument dotyczący zastosowania przestrzennego obrazowania cyfrowego w badaniu i upowszechnianiu dziedzictwa kulturowego.¹¹⁸ Zasadniczą ideą, jaką promuje „Karta Londyńska”, jest potrzeba opracowania zasad i metod zapewniających najwyższą jakość modeli wirtualnych, jak również mechanizmów kontroli, celem określania i sprawdzania wiarygodności historycznej obiektów cyfrowych – cyfrowych replik zabytków. Omawiany

¹¹⁷ Karta Londyńska – *The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage*, red. Hugh Denard, King's College London, 7 lutego 2009 – www.londoncharter.org – tłumaczenie na j. polski: http://historiasztuki.uni.wroc.pl/projekty_badawcze/doc/karta_londyńska_PL.pdf; Hermon S., Sugimoto G., Mara H., 2007, *The London Charter and its Applicability*, (w:) VAST2007 – *Future Technologies to Empower Heritage Professionals. The 8th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage Incorporating the 5th EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage. Short and Project Papers from VAST2007*, (red.) D. Arnold, A. Chalmers, F. Niccolucci, Budapest, s. 11-14.

¹¹⁸ Bendkowska-Kafel A., 2009, s. 72-81.

dokument to m.in. apel dotyczący przejrzystości tworzenia wirtualnych replik, czy też rekonstrukcji zabytków, które zgodnie z intencjami autorów „Karty Londyńskiej”, mogą być „przekształcane”, jednak pod warunkiem informowania o tym odbiorcy.¹¹⁹ Podsumowując, powyższe uwagi proponuję odnieść się do fragmentu „Karty Londyńskiej”, która stawia zasadnicze cele:

„– wypracowywania standardów wizualizacji, które zostałyby zaakceptowane przez zainteresowane środowiska badaczy i użytkowników;
– upowszechniania intelektualnej i technicznej dyscypliny w dziedzinie cyfrowych wizualizacji dziedzictwa kulturowego;
– gwarantowania, że procesy wizualizacji komputerowych i ich wyniki będą prawidłowo rozumiane i oceniane przez odbiorców;
– umożliwiania wiarygodnego wykorzystania wizualizacji komputerowych w analizie, interpretacji i zarządzaniu dobrami dziedzictwa kulturowego;
– promowania dbałości o budowanie i stosowanie strategii dotyczących zapewnienia stałego dostępu do danych;
– stwarzania stabilnych podstaw, które umożliwią specjalistom różnych dyscyplin określenie szczegółowych zaleceń dotyczących wdrażania.”¹²⁰

Dodajmy, że sam proces cyfrowej dokumentacji, w tym skanowania laserowego w badaniach architektonicznych, archeologicznych oraz konserwatorskich, stopniowo staje się nieformalnym standardem w pracach terenowych¹²¹, który wymaga jednak szerokich działań w zakresie określenia norm i zaleceń, a także wytycznych w zakresie dokumentacji, uwzględniających aktualną technologię. Zatem do sygnalizowanych w literaturze przedmiotu potrzeb w zakresie ustanawiania standardów wykonywania projektów dotyczących prac przy zabytkach architektury¹²², można dołączyć również zagadnienia standaryzacji nieinwazyjnych metod skanowania laserowego. Obowiązująca *Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r.*¹²³ oraz *Rozporządzenie z dnia 27 lipca 2011 r.*¹²⁴, zawierają zasadnicze wytyczne nt. dokumentacji, a *Standardy*

¹¹⁹ Bendkowska-Kafel A., 2009, s. 77.

¹²⁰ Karta Londyńska – *The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage*, 2009.

¹²¹ Fiorini A., Urcia A., Archetti V., 2011, *The Digital 3D Survey as Standard Documentation of the Archaeological Stratigraphy* – http://www.academia.edu/1431725/The_Digital_3D_Survey_as_Standard_Documentation_of_the_Archaeological_Stratigraphy

¹²² Tajchman J., 2008, *W sprawie konieczności ustanowienia standardów wykonywania projektów dotyczących prac planowanych w zabytkach architektury*. „Wiadomości Konserwatorskie”, 24, s. 17 – 47.

¹²³ *Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. O ochronie zabytków i opiece nad zabytkami* (Dz. U. z 2003 r. Nr 162, poz. 1568).

¹²⁴ *Rozporządzenie Ministra Kultury z dnia 27 lipca 2011 r. w sprawie prowadzenia prac konserwatorskich, robót budowlanych, badań konserwatorskich i architektonicznych, a także innych działań przy zabytku wpisanym do rejestru zabytków oraz badań archeologicznych i poszukiwań ukrytych lub porzuconych zabytków ruchomych* (Dz. U. z dnia 27 lipca 2011 r. Nr 165, poz. 987).

*metodyczne i dokumentacyjne badań archeologicznych i opracowań ich wyników. Wytyczne opracowane przez KOBiDZ w konsultacji z Kolegium Doradczym ds. archeologii przy Dyrektorze KOBiDZ*¹²⁵, sygnalizując jedynie możliwość stosowania nowoczesnych technik.¹²⁶

Szereg wskazań i zaleceń, wraz z diagnozą stanu digitalizacji w Polsce oraz przechowywania i udostępniania obiektów cyfrowych zawiera raport z 2009 r. opracowany na zlecenie Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego, jako jeden z Raportów o Stanie Kultury, podsumowujących zmiany, jakie dokonały się w sektorze kultury w Polsce w ciągu ostatnich dwudziestu lat pt. *Program digitalizacji dóbr kultury oraz gromadzenia, przechowywania i udostępniania obiektów cyfrowych w Polsce 2009-2020*. Raport zawiera informacje na temat celów w zakresie digitalizacji, poruszając m.in. zagadnienia danych, oprogramowania oraz sprzętu do digitalizacji, wraz z omówieniem aspektów prawnych, dotyczących cyfryzacji dóbr kultury.¹²⁷

Pewnej modyfikacji, czy też aktualizacji, wymagają obecnie zasady przywoływane w literaturze przedmiotu, jakie dotyczą systemów pomiarowych podczas badań archeologiczno-architektonicznych (zwłaszcza stanowisk wielowarstwowych)¹²⁸, które najzwyczajniej, w związku ze zmianami technologicznymi, powinny być dostosowane do urządzeń włączanych do prac terenowych. O ile zachowane powinny być m.in. podstawowe elementy podziałów przestrzennych i dokumentacji obszarów badanych (eksplorowanych), o tyle zmianom winny ulec zalecenia w zakresie wykonywania samego pomiaru czy dokumentacji fotograficznej. Krajowe doświadczenia i prace stopniowo wprowadzają rozwiązania dokumentacji i pomiaru, oparte na szeroko rozumianych systemach GIS/CAD, niejako wyprzedzając odgórne zalecenia konserwatorskie, w zakresie prac dokumentacyjnych przy zabytkach architektury i dziedzictwa archeologicznego.¹²⁹ Przywołajmy w tym miejscu interesujący zapis zawarty we

¹²⁵ *Standardy metodyczne i dokumentacyjne badań archeologicznych i opracowań ich wyników. Wytyczne opracowane przez KOBiDZ w konsultacji z Kolegium Doradczym ds. archeologii przy Dyrektorze KOBiDZ, „Kurier Konserwatorski”, nr 6, 2010, s. 40-49.*

¹²⁶ *Program digitalizacji dóbr kultury oraz gromadzenia, przechowywania i udostępniania obiektów cyfrowych w Polsce 2009-2020*, Warszawa – http://www.kongreskultury.pl/title,Raport_o_digitalizacji_dobr_kultury,pid,398.html

¹²⁷ *Program digitalizacji dóbr kultury ...*, 2009.

¹²⁸ Golembnik A., 1998.

¹²⁹ Golembnik A., 2012, *Problemy i perspektywy współczesnej archeologii (przyczynek do dyskusji o metodycie badań stanowisk w obrębie miast zabytkowych)*, (w:) *Archeologia w obliczu wyzwań współczesności. Radom: Korzenie Miasta i regionu*, T. 3, Warszawa, s. 73-106; Zapłata R., Kędziński M., Fryśkowska A., Wilińska M., Deliś P., 2012, *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego i historycznego. Wybrane przykłady i zagadnienia zastosowania teledetekcji*, (w:) *Radom: Korzenie Miasta i regionu*, T. 3, (red.) A. Buko, D. Główna, M. Trzeciecki, Warszawa, s. 107-127.

Wskazówkach dotyczących Ocen Oddziaływania na Dziedzictwo dla Obiektów Światowego Dziedzictwa Kulturowego, mianowicie „Dobra dokumentacja nie wymaga zastosowania Systemu Informacji Geograficznej (GIS), jednak jeśli jest on dostępny, stanowi mocne i przydatne narzędzie”¹³⁰, co z pewnością wyznacza ogólne i wyraźne preferencje w zakresie generowania dokumentacji dziedzictwa kulturowego.

Powyżej zarysowane zagadnienia, ściśle związane z naziemnymi pomiarami laserowymi obiektów zabytkowych, wykraczające poza zasadniczy temat pracy, wymagają oddzielnych studiów dla tak zarysowanych problemów, celem ujednolicenia działań, a zarazem celem poprawy jakości uzyskiwanych produktów, dążąc do określenia przejrzystej polityki generowania zasobu cyfrowego (w pewnym sensie ujednoliconej). Powyższa konstatacja stanowi swego rodzaju wniosek, a zarazem postulat na rzecz podjęcia działań, które z jednej strony upowszechnią poprawne stosowanie omawianych technologii, z drugiej zaś usystematyzują wykonywanie pomiarów, określając pewne wymagania minimalne w zakresie tzw. digitalizacji przy zastosowaniu różnorodnych technik.

2.3.3. Intensywność odbicia wiązki lasera – czwarty wymiar naziemnego skanowania laserowego

Włączenie do badań dziedzictwa kulturowego oraz do prac dokumentacyjnych rejestracji i analizy intensywności odbicia powracającej wiązki lasera (ang. *intensity*) jest oparte na studiach i badaniach popartych empirycznymi przesłankami, które dotyczą interakcji zachodzącej pomiędzy światłem lasera (o określonej długości fali) a materią (powierzchnią), z którą styka się wiązka lasera.¹³¹ Podstawą pomiaru intensywności odbijanej wiązki lasera od powierzchni jest zasada, dotycząca interakcji ciał – obiektów z impulsami elektromagnetycznymi (radiacją – promieniowaniem elektromagnetycznym), w wyniku której promieniowanie elektromagnetyczne jest transmitujące, absorbowane (pochłanianie fali elektromagnetycznej) lub odbijane.

¹³⁰ Wskazówki dotyczące Ocen Oddziaływania na Dziedzictwo dla obiektów Światowego Dziedzictwa Kulturowego Publikacja Międzynarodowej Rady Ochrony Zabytków i Miejsc, ICOMOS styczeń 2011 r. – <http://www.icomos-poland.org/images/Magazyn/DokumentyDoktrynalne/Ocena%20Oddzia%C5%82ywania%20na%20Dziedzictwo.pdf>

¹³¹ Baścik M., Dudek, 2009, *Generowanie ortofotoplanów w programie Pointools – zastosowanie skanera laserowego 3D. Creating cost-effective orthophotoplans with Pointools software – one innovative application of 3D laser scanning*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 26/2009, s. 738-740; Pfeifer N., Dorninger P., Haringb A., Fanb H., 2007; Guarnieri A., A. Vettore, F. Pirotti, M. Menenti, M. Marani, 2009, *Retrieval of small-relief marsh morphology from Terrestrial Laser Scanner, optimal spatial filtering, and laser return intensity*, „Geomorphology”, vol. 113, Issues 1-2, s. 12-20 – http://www.image.unipd.it/m.marani/publications/TLS%20geomorphology_final.pdf

I właśnie radiacja elektromagnetyczna – promieniowanie elektromagnetyczne, które jest odbijane od powierzchni, może być częściowo rejestrowane i mierzone.¹³² Najogólniej wartość radiometryczna określana w literaturze przedmiotu jako intensywność (ang. *intensity*) jest definiowana jako „moc sygnału powracającego do obiektywu lasera”¹³³ czy też jako „stosunek ilości promieniowania rozproszonego w kierunku nadajnika do promieniowania wyemitowanego”, dla wiązki o określonej długości fali elektromagnetycznej, przy określonym kącie padania na powierzchnię obiektu skanowanego.¹³⁴ Natężenie promieniowania powracającego do instrumentu (skanera) zależy od warunków i wielu czynników (szerzej dalej), w tym od sposobu rozpraszania wiązki lasera od powierzchni.

Większość skanerów naziemnych ma możliwość rejestracji tzw. czwartego wymiaru, czyli intensywności odbicia promienia lasera, która stanowi podstawę m.in. generowania ortofotoplanów obiektów mierzonych. Poza wspomnianym zastosowaniem „czwartego wymiaru”, z punktu widzenia potrzeb dokumentacyjnych i badawczych dziedzictwa kulturowego, przy

Ryc. 2.14. Ilża, ruina zamku górnego. Fragment elewacji z kamieniarką przy jednym z otworów komunikacyjnych – (po lewej) obraz intensywności odbicia wiązki lasera w skali szarości, (po prawej) zdjęcie cyfrowe. (Oprac. fotogram. Politechnika Warszawska / foto. R. Zapłata)

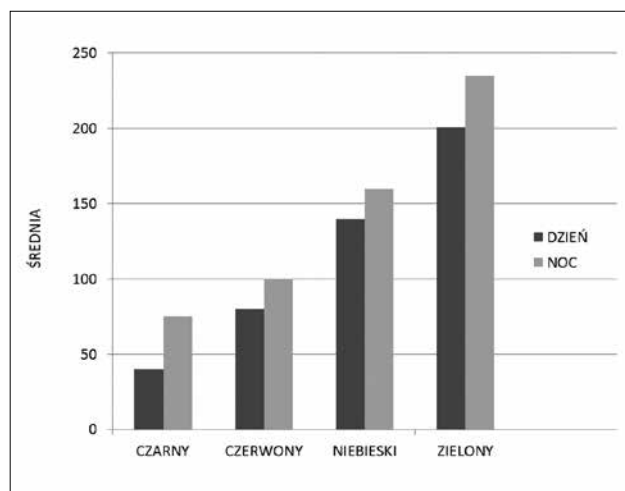


¹³² Franceschi M., 2009, *Application of terrestrial laser scanner to cyclostratigraphy*, Padova [praca doktorska – Università degli Studi di Padova] – <http://paduaresearch.cab.unipd.it/1659/1/FRANCESCHI.pdf>

¹³³ Pyka K., Rzonca A., 2006, *Badanie jakości radiometrycznej ortofotogramów sporządzonych na drodze integracji fotogrametrii bliskiego zasięgu i skaningu laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji „, vol. 16, s. 515-526.

¹³⁴ Pawleta M., Igielska A., 2009.

uwzględnieniu zasady powstawania zróżnicowania w rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera, mamy możliwość dokonania uzupełniającej interpretacji struktur stojących oraz stratygrafii podczas badań archeologiczno-architektonicznych. Rejestracja parametru intensywności stanowi bezdotykową metodę pośrednią analizy cech powierzchni mierzonej (zespół cech: wilgotność, kolor (również stopień nasycenia danej barwy)¹³⁵, temperatura, powierzchnia, tekstura/faktura, „kształt”) oraz warunków wykonywania pomiaru (odległość, kąt pomiaru oraz natężenie światła i długość fali). Przykładowo: wartość intensywności odbicia jest niższa dla kolorów ciemniejszych, jak również dla powierzchni wilgotnych, natomiast jest wyższa dla powierzchni jasnych i suchych.



Ryc. 2.15. Histogram zróżnicowania średniej wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla czterech kolorów (od lewej: czarny, czerwony, niebieski, zielony) – porównanie wartości dla pomiaru w wykonanego przy (żółty) świetle dziennym oraz (niebieski) w nocy (oprac. R. Zapłata na podstawie Voegtle, Schwab, Landes 2008)

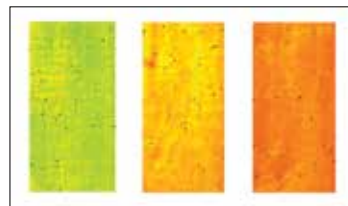
Omawiając zjawisko odbicia wiązki lasera, należy odnieść się do opisywanych w literaturze przedmiotu modeli interakcji światła z materią, które dotyczą przede wszystkim zróżnicowania w odbiciu światła od powierzchni.¹³⁶ Rycina 2.16 obrazuje omawianą sytuację, z przywołaniem przykładów interakcji, co też pozwala uwypuklić złożoność zjawiska, z którym również spotykamy się przy naziemnym skanowaniu laserowym. Światło odbija się w różnorodnych kierunkach, co ma wpływ na intensywność powracającej wiązki, a zwłaszcza jej osłabienie i rozproszenie.

Dodając do tego (przywoływane w tekście) zróżnicowanie powierzchni (np. chropowatość) czy też barwę, obserwujemy, że interpretacja wyników

¹³⁵ Barański M., 2008, s. 106.

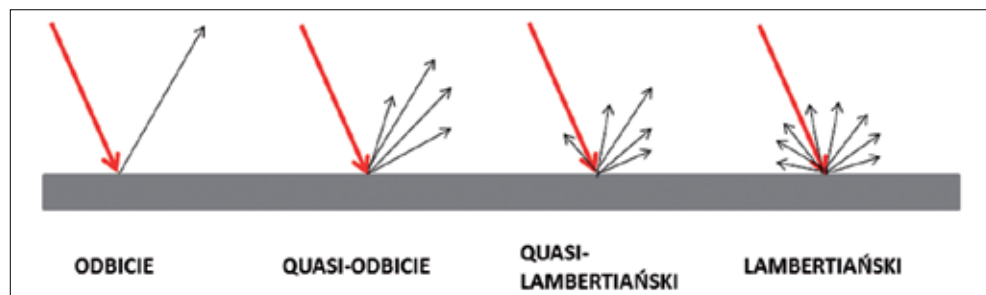
¹³⁶ Pesci A., Giordano T., 2008, *Effects of surface irregularities on intensity data from laser scanning: an experimental approach*, „Annals of Geophysics”, vol. 51, N. 5/6, October/December, s. 839-848.

Ryc. 2.16. Przykład zróżnicowanych wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla trzech różnych próbek drewna (Pomiar Leica Geosystems / oprac. R. Zapłata)



odbicia wiązki lasera wymaga uwzględnienia zróżnicowania przyczyn rejestracji wartości omawianego parametru i nie może być podstawą do jednoznacznej interpretacji przyczyn zarejestrowanych kontrastów.

W dotychczasowych badaniach (patrz – przywoływana w tekście wybrana literatura przedmiotu) głównym przedmiotem zainteresowania, w odniesieniu do analizy intensywności odbicia wiązki lasera w skanowaniu naziemnym, były przede wszystkim (obok generowania ortofotoplanów): 1) analiza absorpcji optycznej i intensywności odbicia wiązki lasera w kontekście ich wpływu na jakość i dokładność pomiaru; 2) analiza intensywności odbicia wiązki lasera w odniesieniu do detekcji i analizy zróżnicowania powierzchni – materiału mierzonego (w tym obiektów zabytkowych). Kolejnym elementem, który stanowi przedmiot badań referowanych w niniejszej pracy w odniesieniu do wybranych obiektów (szerzej dalej), jest szczegółowa analiza intensywności odbicia wiązki lasera od zabytkowej powierzchni, mierzonej podczas prac terenowych, która poza w/w zagadnieniami jakości i dokładności pomiaru, uwzględnia zróżnicowanie substancji zabytkowej (np. rodzaj surowca budowlanego), a także (3) zróżnicowanie powierzchni zmienionej – zdeformowanej obiektów zabytkowych, jak również (4) zróżnicowanie warstw kulturowych odsłanianych i dokumentowanych podczas badań archeologiczno-architektonicznych. Dane rejestrowane przez skaner (tzw. „czwarty wymiar”) stanowią zatem dodatkową informację,



Ryc. 2.17. Uproszczony schemat możliwych interakcji zachodzących między padającym promieniem światła a powierzchnią materiału, bez absorpcji i transmisji (oprac. R. Zapłata na podstawie Franceschi 2009)

umożliwiająca (1) interpretację jednostek stratyfikacji w badaniach archeologiczno-architektonicznych oraz (2) analizę, detekcję oraz monitorowanie rejestrowanych na powierzchni zmian substancji zabytkowej.

Intensywność odbicia wiązki lasera znalazła już liczne zastosowania w różnych dziedzinach i dyscyplinach naukowych, zwłaszcza w odniesieniu do lotniczego skanowania laserowego (szerzej dalej), a także w odniesieniu do naziemnego skanowania laserowego. Rejestracja zróżnicowania wartości odbicia intensywności promienia lasera m.in. została uwzględniona w badaniach: (1) geologii (profile) – cyklostartygrafii¹³⁷, zwietrzałych skałach; (2) powierzchni lodowców¹³⁸, a także (3) obiektów lądowych – konstrukcji betonowych¹³⁹, przynosząc wymierne efekty oraz nowy zasób danych dla przyrodniczych i antropogenicznych.

W literaturze przedmiotu obserwujemy tendencje uwzględniania „czwartego wymiaru” w pracach opartych na naziemnym skanowaniu laserowym, zwłaszcza w odniesieniu do dziedzictwa kulturowego: 1) ortofotoplany (ortofotogramy); 2) analiza jakości pomiaru przestrzennego; 3) rozróżnianie surowca – substancji mierzonej; 4) rozpoznawanie budulca zabytkowego¹⁴⁰; 5) rozróżnianie substancji zabytkowej (badania archeologiczne – przekroje)¹⁴¹; 6) detekcja zniszczeń¹⁴².

W polskiej literaturze przedmiotu oraz opracowaniach zagadnień TLS, dotychczas zaprezentowane zostały m.in. zagadnienia pomiaru i znaczenia

¹³⁷ Franceschi M., 2009.

¹³⁸ Świerczyńska E., *Charakterystyka odbicia wiązki skanera laserowego od powierzchni lodowców*, czerwiec 2012. – <http://sympozjum-polarne2012.us.edu.pl/STRESZCZENIA%2034%20Symposium%20Polarne.pdf>

¹³⁹ Zaczek-Peplinska J., Falaciński P., 2011 *Evaluation of possibilities to apply laser scanning for estimation of conditions of concrete*, „Report on Geodesy”, No. 1 (91), s. 539-546; Zaczek-Peplinska J., Osirńska-Skotak K., Gergont K., 2012, *Możliwości wykorzystania zmian intensywności odbicia promienia laserowego do oceny stanu konstrukcji betonowej*, (w:) *Inżynierskie zastosowania geodezji*, (red.) A. Plichta, I. Wyczalek, s. 41-54.

¹⁴⁰ Soria-Medin A., Martínez J., Buffara-Antunes A. F., Arias P., González-Jorge H., 2011; Wilsona L., Rawlinsonb A., Mitchella D. S., Pritchardb D. K., McGregora H. C., 2011, *3D documentation of global historic sites: The “Scottish Ten” project and its applications for cultural heritage*, „Proceedings of 3D-ARCH Conference – ISPRS Trento 2011 Workshop, 2-4 March 2011, Trento, Italy”, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Vol. XXXVIII-5/W16 – <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-5-W16/39/2011/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-39-2011.pdf>

¹⁴¹ <http://www.english-heritage.org.uk/publications/3d-laser-scanning-heritage2>

¹⁴² Armesto-González J., Riveiro-Rodríguez B., González-Aguilera D., Rivas-Brea M. T., 2010, *Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical buildings*, „Journal of Archaeological Science”, vol. 37, issue 12, s. 3037-3047 – <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440310002281>; Chrysostomou C. Z., Hadjimitsis D.G., Agapiou A., Lysandrou V., Themistocleous K., Demetriadou Chr., 2010, *Application of non-destructive techniques in assessing the quality of stone building materials in cultural heritage structures in Cyprus: use of ultrasonic and 3D laser scanning integrated approach for diagnostic tests* – http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/RELATED%20LITERATURE/EuroMed2010_SP_book.pdf; Argenziano P., Avella A., 2012.

intensywności odbicia wiązki lasera dla potrzeb (1) ortofotografii¹⁴³ oraz wspomnianych analiz – (2) jakości pomiaru¹⁴⁴ i (3) rozróżniania surowców¹⁴⁵ wraz z (4) segmentacją budulca substancji zabytkowej¹⁴⁶. Kolejnym krokiem w badaniach o kreślonym wcześniej zakresie są (prezentowane w niniejszej pracy) „poszerzone” pomiary i analizy (ad. w/w 4) zabytkowego budulca oraz substancji zabytkowej, uwzględniające procesy niszczące czy zmiany zachodzące na powierzchni zabytku. Tego typu prace stanowią przykład analizy rejestrowanych danych radiometrycznych – „czwartego wymiaru”, z uwzględnieniem takich zjawisk, jak rezultaty działań mikroorganizmów (napowierzchniowe zmiany barwne, jakościowe itd., np. glony i porosty), procesy fizyko-chemiczne (napowierzchniowe zmiany barwne, jakościowe itd., np. patyna, zasolenie)¹⁴⁷ czy efekty procesów antropogenicznych (napowierzchniowe zmiany barwne, jakościowe itd., np. okopcenia, osmolenia powierzchni – osady z sadzy).

W odniesieniu do badań archeologicznych czy archeologiczno-architektonicznych, rejestracja i analiza „czwartego wymiaru” na podstawie literatury przedmiotu oraz przeprowadzonych testów i eksperymentalnych pomiarów (szerzej dalej) jest jedną z pierwszych prób (w polskich badaniach przy obiektach zabytkowych) uwzględnienia i opisu intensywności odbicia wiązki lasera w odniesieniu do jednostek stratyfikacji¹⁴⁸. Badania archeologiczno-architektoniczne oraz prace inwentaryzacyjne przy architekturze zabytkowej odsyłają przede wszystkim do stratygrafii i prac związanych z jednostkami stratygraficznymi¹⁴⁹. Do jednych z zasadniczych zadań

¹⁴³ Baścik M., Dudek, 2009, s. 738-740.

¹⁴⁴ Pawleta M., Igielska A., 2009.

¹⁴⁵ Kędzierski M. Walczykowski P., Fryškowska A., 2008, *Wybrane aspekty opracowania dokumentacji architektonicznej obiektów zabytkowych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 18, s. 221-230.

¹⁴⁶ Kędzierski M. Walczykowski P., Fryškowska A., 2008; Zapłata R., Kędzierski M., Fryškowska A., Wilińska M., Deliś P., 2012, *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego i historycznego. Wybrane przykłady i zagadnienia zastosowania teledetekcji*, (w:) Radom – Korzenie Miasta i regionu. T. 3, (red.) A. Buko, D. Głowska, M. Trzeciecki, Radom, s. 107-127.

¹⁴⁷ Małachowicz E., (współpraca) Małachowicz M., 2007, s. 89-162.

¹⁴⁸ Zagadnienie sygnalizowane w polskiej literaturze przedmiotu, ale ograniczone jedynie do określania zróżnicowania surowca zabytkowego oraz jednego rodzaju zniszczeń m.in. podczas konferencji w 2011 r. oraz w publikacjach – Zapłata R., Kędzierski M., Fryškowska A., Wilińska M., Deliś P., 2012; Kędzierski M., Zapłata R., Fryškowska A., Wilińska M., Deliś P., 2012, *Dokumentacja i modelowanie 3D ruin zamku w Iłży*, (w:) *Zamki w ruinie – zasady postępowania konserwatorskiego*, (red.) B. Szmygin, P. Molski, Warszawa-Lublin, s. 147-158.

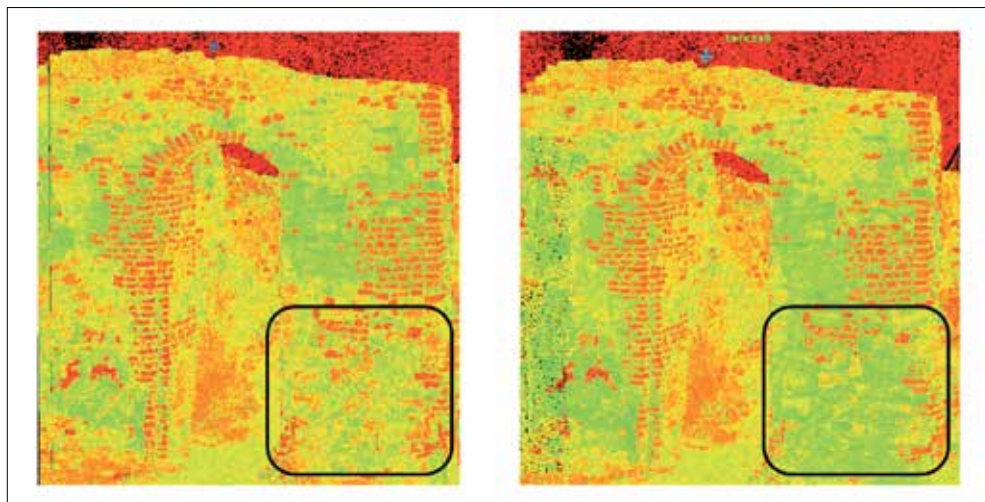
¹⁴⁹ Harris E. C., *Zasady stratygrafii archeologicznej*, Warszawa 1989; Harris, E.C. 1999. *Stratygrafia struktur stojących*, (w:) *Metodyka badań archeologiczno-architektonicznych*, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa, s. 77-88; Jednostka stratygraficzna – Urbańczyk P., 2012, *Stratygrafia*, (w:) *Przeszłość społeczna. Próba konceptualizacji*, (red.) S. Tabaczyński, A. Marciniak, D. Cyngot, A. Zalewska, Poznań, s. 378-398; Jednostka stratyfikacji – Golembnik A., 1998.

w procesie badawczym należy zaliczyć rozróżnianie, wydzielanie i opisywanie występujących jednostek stratyfikacji. Praktyka badawcza i proces odkrywczy w pierwszej kolejności kieruje w stronę wyróżniania cech indywidualnych warstwowych jednostek stratyfikacji, podczas prowadzenia eksploracji (badania wykopaliskowe), które mają na celu: 1) charakterystykę jednostki oraz 2) określanie zasięgu jednostki stratyfikacyjnej. Badacz osiąga wspomniane cele poprzez: 1) ustalenie składu jednostki; 2) wyodrębnienie cech fizycznych; 3) określenie kategorii, do jakiej należy jednostka. Skład jednostki to przede wszystkim materiał organiczny, mineralny oraz zabytkowy. Natomiast cechy fizyczne to m.in. zawartość, struktura, elastyczność, kolor czy odcień. Strukturę oraz cechy fizyczne warstwowych jednostek stratyfikacji rozpoznajemy podczas terenowych prac badawczych m.in. na bazie prostych czynności, takich jak: przełamywanie, zgniatanie, wyciskanie, uciskanie, „mini eksploracja” czy rozpuszczanie.¹⁵⁰ Znaczącą w procesie poznawania i rozróżniania warstwowych jednostek stratyfikacji jest każda metoda, która umożliwi bieżącą ich analizę, w tym szereg metod i analiz specjalistycznych. Zgodnie z założeniem wyjściowym pracy, do takich metod należy zaliczyć naziemne skanowanie laserowe, a wraz z nim rejestrację intensywności odbicia wiązki lasera, która na bieżąco (poza pomiarem przestrzennym) może (1) uzupełniać i wspierać rozróżnianie warstwowych jednostek stratyfikacji oraz stwarza dodatkową możliwość (2) dokumentowania warunków występujących w momencie eksploracji i opisu wspomnianych jednostek.¹⁵¹ Rejestracja, jak i sama wartość intensywności odbicia wiązki lasera, mogą zatem stanowić elementy komplementarne wobec dotychczasowych sposobów wydzielania i opisu jednostek stratyfikacji, jednak w świetle przeprowadzonych badań, nie mogą stanowić zbioru niezależnych danych, na których będzie opierany końcowy opis stratyfikacyjny w badaniach archeologiczno-architektonicznych, a także analizach struktur stojących. Omawiane postępowanie stanowi kolejną metodę weryfikującą i uzupełniającą tradycyjne podejście do stratygrafii w badaniu dziedzictwa kulturowego.

Zasadniczym założeniem i argumentami skłaniającym do podjęcia badań w zakresie użyteczności analizy intensywności odbicia wiązki lasera, były przede wszystkim rezultaty prac, które podkreśliły wpływ refleksyjności powierzchni obiektów mierzonych na jakość pomiaru i intensywność

¹⁵⁰ Golembnik A., 1998.

¹⁵¹ Harris E. C., 1989; Golembnik A., 1998, *Zasady eksploracji i dokumentacji wielowarstwowych stanowisk archeologicznych w miastach*, (w:) *Ewidencja, eksploracja i dokumentacja w praktyce konserwatorstwa archeologicznego*, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa, s. 73-104.



Ryc. 2.18. Ilża, fragment ruin zamku górnego. Obrazy intensywności odbicia wygenerowane na podstawie TLS: (kwadrat – po lewej) powierzchnia sucha, (kwadrat – po prawej) powierzchnia zwilżona – ściana wzniesiona z kamienia wapiennego w układzie warstwowym, spojenego zaprawą wapienno-piaskową – wejście na dziedziniec (XVI w.) zamknięte łukiem, wykończone cegłą (Pomiar: Leica Geosystems / oprac. R. Zapłata)

odbicia wiązki lasera. Poza odległością, kątem oraz natężeniem emitowanej wiązki lasera (jako elementami zależnymi od mierzącego) zwrócono uwagę na właściwości obiektów mierzonych, które wpływają na jakość i dokładność samego pomiaru, a w efekcie końcowym na zróżnicowanie wykonanej rejestracji. Wilgoć, temperatura, barwa, tekstura, faktura oraz rodzaj obiektu mierzonego (dla warstw kulturowych znaczące są również wymiary składników depozytów niespojonych, a więc ziarnistość) stanowią zasadnicze cechy, które z jednej strony wpływają na pomiar, a zarazem umożliwiają dodatkową klasyfikację i analizę powierzchni mierzonej. I tak, powierzchnia obiektu zabytkowego, którą stanowi np. mur ceglany, ze względu na rodzaj budulca, może uzyskać dwójakiego rodzaju wartość radiometryczną, którą powodują właściwości materiału ceramicznego oraz spoinowania. Jednak z uwagi na zachodzące procesy niszczące obiekt (często niewidoczne nieuzbrojonym okiem, jak również niewidoczne w zapisie fotograficznym), ta sama powierzchnia może wykazywać o wiele większe zróżnicowanie radiometryczne, np. w partiach o silniejszym zawilgoceniu. W związku z powyższym, zarejestrowane zróżnicowanie intensywności, w formie kartometrycznych danych zintegrowanych z pomiarem przestrzennym 3D, może stanowić dodatkowy i uzupełniający element w analizie stratygraficznej struktur stojących. Tak wygenerowany produkt fotogrametryczny, w wyniku dalszej

procedury klasyfikacji danych, stanowi podstawę do detekcji i wydzielenia powierzchni niszczonych, zdeformowanych czy narażonych na destrukcyjne zmiany, zwłaszcza w miejscach trudnodostępnych.

Uwzględnienie intensywności odbicia wiązki lasera w badaniach terenowych stanowi kolejny etap w aplikowaniu rozwiązań laserowych do rozbudowanych analiz obiektów zabytkowych. Poza możliwością bieżącego rozpoznawania zróżnicowania substancji zabytkowej, rejestracja intensywności stwarza możliwość budowy: (1) dodatkowej klasyfikacji obiektów i jednostek zabytkowych i/lub ich fragmentów – określania dodatkowej klasyfikacji radiometrycznej obiektów zabytkowych; (2) dodatkowej klasyfikacji zmian zachodzących w czasie substancji zabytkowej (monitoring); (3) uzupełniającego rejestrowania warunków zalegania – występowania obiektów zabytkowych podczas procesu dokumentacyjnego; (4) analizy i weryfikacji jakości wykonywanych pomiarów przestrzennych.

Na podstawie rejestracji jakości odbicia wiązki lasera dokonywana jest przede wszystkim rejestracja zróżnicowania powierzchniowego substancji zabytkowej, a więc niejednorodności powierzchni mierzonej, która zależy od: (1) barwy powierzchni substancji zabytkowej; (2) rodzaju materiału zabytkowego – budulca (np. skała, drewno, metal) i/lub rodzaju jednostki stratyfikacji; (3) rodzaju powierzchni zabytkowej (faktura); (4) wilgotności obiektu; (5) temperatury obiektu, a także (6) pokrycia powierzchni w wyniku procesów niszczących substancję zabytkową. Zróżnicowanie wartości intensywności odbicia sygnału, uzyskane na bazie pomiaru laserowego, może stanowić zatem jeden z (wstępnych) elementów w procesie analizy zróżnicowania jakości i rodzaju substancji zabytkowej, a więc narzędzie komplementarne w procesie interpretacji inwentaryzacyjnej. Zintegrowanie uzyskanych wartości pomiaru z np. termografią, pomiarem wilgotności, pomiarem barwy czy makroskopowym określeniem rodzaju surowca, pozwala na eirloaspektową analizę procesów zachodzących w substancji zabytkowej. Ze względu na zależności pomiaru intensywności od kąta padania światła lasera na powierzchnię mierzoną oraz odległości urządzenia pomiarowego od obiektu, interpretację wyników należy przeprowadzać „kontekstowo”, tj. poprzez obserwację i zestawienie różnic pomiarów sąsiadujących ze sobą elementów.

Zagadnieniami bezpośrednio związanymi z rejestracją i analizą intensywności odbicia jest korekta i kalibracja. Szereg publikacji, jak również omawiane w niniejszej pracy pomiary badań własnych, bazują na niekalibrowanych danych. W związku z powyższym proces kalibracji radiacji, podobnie jak w odniesieniu do ALS czy teledetekcji satelitarnej, winien być kolejnym krokiem w pracach nad analizą omawianych danych, co w tym miejscu można

już potraktować jako postulat badawczy. Ponieważ zagadnienie dotyczy specjalistycznych przetworzeń danych, a jego szczegółowe omawianie wykracza poza ramy niniejszej pracy, w związku z powyższym zagadnienie należy niewątpliwie zasygnalizować, odsyłając do literatury przedmiotu (przywołanej w tekście), omawiającej problematykę korelacji radiometrycznej.¹⁵²

Z punktu widzenia jakości pomiaru przestrzennego, analiza intensywności odbicia światła stanowi również element kontroli i poprawy jakości pomiaru, wspierający poprawną klasyfikację danych oraz proces usuwania powstałych błędów, czy analizowania odnotowanych szumów pomiarowych, co stanowi zagadnienie określające przedmiot badań i dociekań na pograniczu fotogrametrii i optoelektorniki. Metodę tę można również uznać za kolejny element w rejestracji warunków występujących podczas interpretacji substancji zabytkowej, w tym np. interpretacji barwy.

W odniesieniu do profili stratygraficznych w badaniach archeologiczno-architektonicznych, rejestracja i wartość odbicia wiązki lasera zależy głównie od rodzaju wypełniska, a więc składu, rodzaju spojenia, wielkości frakcji (ziaren), tekstury, faktury oraz barwy (patrz przykłady w ANEKSIE). Zasadniczą zaletą rejestracji i analizy intensywności odbicia wiązki lasera jest miejscowe wykazanie istniejących kontrastów (dla tego samego rodzaju surowca), które mogą wskazywać konieczność wykonania dodatkowych analiz pozornie jednolitej powierzchni, np. na bazie dokumentacji barwnej, termografii itd. przykładowo, poszczególne powierzchnie zabytkowe mogą być takie same lub zbliżone w świetle pomiaru termograficznego czy fotograficznej dokumentacji barwnej, natomiast intensywność odbicia wiązki lasera będzie zróżnicowana (przy tej samej odległości i kącie pomiaru), co może być efektem powierzchniowych lub podpowierzchniowych zmian i procesów, jakie zachodzą w substancji zabytkowej. Taka analiza może być przydatna np. w miejscach trudnodostępnych. Dodajmy, że rejestracja intensywności odbicia z dwóch stanowisk pomiarowych tej samej powierzchni, może pomóc wyeliminować przyczyny zewnętrzne różnic radiometrycznych – odległość i kąt skanowania, jeśli kontrast będzie zbliżony lub taki sam.

Podsumowując charakterystykę parametru intensywności odbicia wiązki lasera, możemy skonstatować, że paradoksalnie zróżnicowanie powierzchni związane z utrudniającymi pomiar właściwościami materiałów mierzonych, stanowi swego rodzaju mankament wpływający na jakość

¹⁵² Inne wybrane pozycje: Jaakkola A., Kaasalainen S., Hyyppä J., Niittymäki H., Aakurjarvi A., 2008, *Intensity Calibration and Imaging with SwissRanger SR-3000 Range Camera*, "International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 37, ss. 155-160; Kaasalainen S., Vain A., Krooks A., Kukko A., 2009, *Topographic and Distance Effects in Laser Scanner Intensity Correction*, (w:) *Laser scanning 2009*, (red.) Bretar F., Pierrot-Deseilligny M., Vosselman G., vol. XXXVIII, Paris, s. 219-223.



Ryc. 2.19. Ilża, ruina zamku górnego. Piwnica zamkowa, ściana E – obraz intensywności odbicia wiązki lasera w skali szarości – porównaj z ryc. 3.36 (oprac. fotogram. Politechnika Warszawska)

pomiaru przestrzennego i odtwarzanie geometrii obiektu, a zarazem zaletę, gdyż rejestracja odmiennych wartości radiometrycznych umożliwia, czy też wspiera proces dodatkowej detekcji oraz segmentacji substancji zabytkowej. W oparciu o przeprowadzone pomiary (szerzej rozdział 3 oraz Aneks) i literaturę przedmiotu, zastosowanie obrazów intensywności może mieć szczególne znaczenie w generowaniu dokumentacji wektorowej powierzchni zabytkowych, w niektórych sytuacjach, zwłaszcza w pomieszczeniach o słabym oświetleniu i przy braku dokumentacji fotograficznej. Chociaż używana wartość intensywności odbicia TLS nie pozwala na jednoznaczne określanie dokładnej wartości całych powierzchni, to może być przydatna w określaniu pewnych przedziałów, dla określonych powierzchni czy jednostek stratyfikacji [przykłady w rozdziale 3 oraz Aneks]

2.4. Podsumowanie

Choć powszechnym zastosowaniem i efektywnością cieszą się generowane modele przestrzenne i przekroje, które dostarczają zasadniczych informacji w badaniach architektonicznych i konserwatorskich nt. geometrii zabytków, to stopniowo na znaczeniu zaczynają zyskiwać również rozbudowane narzędzia, pozwalające na wieloaspektową i złożoną analizę

badanej materii. Narzędzia geoinformatyczne i CAD, poza procesem generowania dokumentacji kartometrycznej, stanowią zbiór programów, które umożliwiają analizę przestrzenną obiektów oraz analizę obrazową, opartą na przetworzonych danych wyjściowych. Przykładem analizy bazującej na danych przestrzennych są pomiary powierzchni zabytkowych, umożliwiające określanie np. ubytków substancji zabytkowej, a zarazem symulacje ilości substancji uzupełniającej ubytki w ramach prac konserwatorsko-zabezpieczających zabytków architektury murowanej. Kolejny przykład zastosowania danych przestrzennych to możliwość porównywania powstających ubytków w wyniku np. procesów destrukcyjnych w odniesieniu do osuwisk wzniesień, na których znajdują się historyczne założenia obronne. Podstawą tego typu zestawień, stanowiących docelowo element monitorowania zachodzących zjawisk przy obiektach zabytkowych, są powtarzalne pomiary TLS dla poszczególnych obiektów zabytkowych. Innym przykładem analizowania procesów zachodzących przy zabytkach architektury murowanej są m.in. symulacje oparte na NMPZ (Numerycznym Modelu Powierzchni Zabytkowych). Pomiar przestrzenny obiektów zabytkowych to również możliwość wirtualnego łączenia poszczególnych elementów w celu wyszukiwania i rekonstruowania poszczególnych fragmentów konstrukcji budowlanych.¹⁵³ Pomiar przestrzenny stanowi również źródło danych dla analiz statyki i monitorowania deformacji oraz odchyień obiektów zabytkowych¹⁵⁴. Monitorowanie odkształceń to z kolei inny przykład powtarzalnego pomiaru przestrzennego i analizy zebranych danych w celu określenia procesów destrukcyjnych.¹⁵⁵ Kolejne zagadnienie, wykraczające poza zakres tej pracy, jednak warte zasygnalizowania, to przetwarzanie i analiza wieloźródłowych danych przestrzennych, które w wyniku procesu integracji stanowią zasób umożliwiający wieloaspektowy opis stanu zachowania zabytku. Przykładem integracji danych jest sygnalizowane w pracy zastosowanie fotogrametrii bliskiego zasięgu z TLS, a także łączenie np. danych pochodzących z badań termograficznych czy pomiarów w bliskiej podczerwieni. Tak przygotowany zbiór danych

¹⁵³ Bujakiewicz A., Kowalczyk M., Podlasiak P., Zawieska D., Andrzejewska D., 2006, *Fotogrametryczny pomiar powierzchni przełamania rzeźb archeologicznych w celu ich wzajemnego dopasowania*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 16, s. 97-109.

¹⁵⁴ Tapete D., Casagli N., Luzi G., Fanti R., Gigli G., Leva D, 2013; Kamiński W., Bojarowski K., Dumalski A., Mroczkowski K., Trystuła J., 2008, *Ocena możliwości wykorzystania skanera laserowego Scanstation firmy Leica w badaniu deformacji obiektów budowlanych*, „Czasopismo Techniczne. Środowisko”, z. 2-Ś/2008, s. 139-147; Bojarowski K., Gościewski D., 2012, *Ocena elementów konstrukcyjnych obiektów budowlanych z wykorzystaniem numerycznego modelowania powierzchni*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska”, z. 59, (1/12/II), Nr 283, s. 51-60.

¹⁵⁵ Genechen van B., Schueremans L., 2009, *Laserscanning for heritage dosumentation / Skanowanie laserem dla dokumentacji dziedzictwa kulturowego*, „Widomości Konserwatorskie”, 26, s. 727-737.

umożliwia m.in. korelowanie zjawisk obserwowanych przy zastosowania każdej z wymienionych metod oddzielnie, w celu uzyskania np. całościowej oceny stanu zachowania zabytku. Podobnie rysuje się sytuacja dotycząca stratygrafii struktur stojących (architektury zabytkowej), z jej właściwą specyfiką prac i dokumentacji¹⁵⁶.

Podsumowując, zwróćmy uwagę na kilka zagadnień, które wyznaczają zalecenia w zakresie TLS, uwypuklając niektóre słabe strony i mankamenty pomiarów obiektów *in situ*. Współcześnie produkowany sprzęt skanujący gwarantuje uzyskanie oczekiwanej (zgodnie z obowiązującymi wytycznymi np. przywołane *Wytyczne techniczne G-3.4*) jakości inwentaryzacji architektonicznej. Warto jednak dodać, że dokładność pomiaru może być słabsza – niezgodna z oczekiwaniami, w odniesieniu do niektórych sytuacji, np. z uwagi na zbyt dużą, a tym samym nieodpowiednią odległość między urządzeniem skanującym, a obiektem pomiaru. Zastosowanie nieodpowiedniego urządzenia może stać się przyczyną błędów pomiarowych. Inną sytuacją, dotyczącą nieodpowiedniej jakości dokumentacji inwentaryzacyjnej, jest często błędne i złe łączenie skanów, wynikające np. z nieodpowiedniego rozstawienia i/lub braku odpowiedniej ilości punktów orientujących – elementów mających scalać chmury punktów (np. tarcz HDS).¹⁵⁷ Niską dokładność łączenia skanów może również powodować scalanie chmur punktów – chmura do chmury – poprzez wyszukiwanie charakterystycznych punktów na obiekcie. Kolejnym zagadnieniem związanym z jakością wykonywanej dokumentacji pomiarowej oraz jej końcową postacią, są panujące podczas prac terenowych warunki i sytuacja w miejscu pomiaru. Zakłócenia mogą wprowadzać niesprzyjające warunki atmosferyczne, niskie temperatury czy opady deszczu. Aby uniknąć takich sytuacji, prace należy planować i prowadzić w jak najoptymalniejszych warunkach. Kilku słów komentarza wymaga również sytuacja, jaka istnieje w miejscu pomiaru, a zwłaszcza dostępność skanowanego obiektu. Możliwość rozmieszczania urządzenia skanującego w licznych miejscach, celem pozyskania kompletnej i jednolitej informacji przestrzennej o skanowanym obiekcie, jest oczekiwanym i najlepszym rozwiązaniem dla tego typu prac. Niestety, w wielu sytuacjach mamy zróżnicowany, a często utrudniony dostęp do obiektów zabytkowej architektury. Wiąże to się z: (1) usytuowaniem obiektów w miejscach trudnodostępnych

¹⁵⁶ Harris E. C., s. 23; Harris E. C., 1999, s. 77-88; Harvey, H.M., 1999, *Obiekty architektoniczne jako relikty ustratyfikowane. „Badania wykopaliskowe” budynków King’s Castle na Bermudach*, (w:) *Metodyka badań archeologiczno-architektonicznych*, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa, s. 107-160.

¹⁵⁷ Toś C., Wolski B., Zielina L., 2010, s. 15.

- wzniesienia, strome zbocza itd., co utrudnia wykonanie pomiarów z określonej (optymalnej odległości) i w sposób jednolity (np. zbliżona gęstość pomiaru). W tego typu sytuacjach można wesprzeć się budową rusztowań lub innymi urządzeniami, które bez zakłócania stabilności skanera pozwolą na zniwelowanie utrudnień. Innym rozwiązaniem może być wykorzystanie dwóch rodzajów urządzeń pomiarowych, w tym skanerów dalekiego zasięgu. Kolejną przyczyną, jaka może utrudniać wykonywanie pomiarów powierzchni zabytkowych w podobnych (zbliżonych) warunkach i o podobnej jakości, jest (2) istniejące, trwale powiązanie zabytków architektury z innymi obiektami. Z taką sytuacją możemy spotkać się, gdy istnieje trwale przebudowanie otoczenia, które w wyniku dobudowania do obiektu zabytkowego np. innego budynku, może całkowicie lub częściowo zasłaniać powierzchnię zabytkowej architektury. Kolejną sytuacją, wprowadzającą utrudnienia w pomiarze powierzchni zabytkowej, z jaką spotykamy się w odniesieniu do badań archeologiczno-architektonicznych (w wykopie), jest niepełne odsłonięcie zabytkowego obiektu. Sytuacja ta odnosi się przede wszystkim do zabytków, których część lub całość jest odsłaniana w wyniku badań wykopaliskowych lub też wynika z odgruzowywania obiektu. Ze zrozumiałych powodów zabytki architektury murywanej, zwłaszcza najniżej położone ich elementy *in situ*, podczas prac archeologiczno-architektonicznych, nie są często w pełni odsłaniane, z uwagi na przepisy budowlane (bezpieczeństwo, nienaruszanie statyki obiektu itd.), jak również z uwagi na pozostawianie w stanie nienaruszonym obiektu, bez zakłócania stabilności konstrukcji, w miejscu jego powstania i rozpoznania. Wspomniana wyżej dostępność do obiektu – jego odsłoniętych elementów (w wykopach archeologicznych), jest uzależniona od wielkości powierzchni eksploracji, co również rzutuje na możliwość wykonywania jednolitych pomiarów wszystkich powierzchni.

Głównym utrudnieniem w jednorodnym i całkowitym pomiarze powierzchni jest głębokość i szerokość wykopu, a także panujące, niesprzyjające w nim warunki, np. ciągle zalewanie wykopu wodą. W takich sytuacjach pomiar przynajmniej z dwóch powodów jest utrudniony, a nawet niemożliwy. Podmokły teren wpływa na destabilizację urządzenia, co ma bezpośrednie przełożenia na jakość pomiaru i pozyskiwanych danych. Taka sytuacja zazwyczaj przyczynia się do rezygnacji z planowania stanowiska skanera wewnątrz wykopu lub też zmusza do budowania dodatkowych konstrukcji, niestety wprowadzając dodatkowe utrudnienia w pomiarze i podnosząc koszty oraz czas wykonywania skanowania. Również duże zawilgocenie w wykopie, czy też zalewanie poszczególnych powierzchni wodą, mają bezpośredni wpływ na pomiar, gdyż

światło lasera nie odbija się lub też w bardzo małym stopniu odbija się od powierzchni wody. Elementami, które mają bezpośrednie przełożenie na pomiar zabytków w wykopie są (1) głębokość i (2) szerokość. W głębokich wykopach, gdy pomiar wykonywany jest z brzegu miejsca eksploatacji, zasadniczym utrudnieniem jest m.in. kąt pod jakim należy wykonywać pomiar – im większa głębokość, tym większy kąt skanowania, co w pewnych sytuacjach (przy niektórych urządzeniach) może utrudniać lub uniemożliwić wykonywanie pomiaru. Jeszcze bardziej istotnym elementem w wykonywaniu pomiarów stacjonarnym skanerem laserowym w wykopie, jest jego szerokość, a co z tym związane – odległość między ścianą wykopu a powierzchnią skanowaną. Takie sytuacje powodują, że umiejscowienie urządzenia skanującego w niektórych obszarach wykopu jest utrudnione, czy wręcz niemożliwe. Często panujące złe warunki terenowe powodują, że usytuowanie skanera na zewnątrz wykopu tak, aby można było wykonać pomiar całej, odsłoniętej powierzchni fundamentu, jest również niemożliwe. Niestabilny grunt przy krawędzi wykopu, zalegające hałdy, wąska przestrzeń dookoła powierzchni odsłoniętej, a także niesprzyjająca głębokość i szerokość wykopu, w wielu sytuacjach uniemożliwiają wykonanie pełnej rejestracji geometrii obiektu. Rozwiązaniem w tego typu sytuacjach jest np. poszerzenie wykopu, co jednak powoduje konieczność bieżącej zmiany decyzji konserwatorskiej w związku z wcześniej określoną powierzchnią badań, generując dodatkowe koszty. Kolejnym zagadnieniem, sygnalizowanym wcześniej, związanym z jakością produktów wynikowych TLS, jest rejestracja silnie pofałdowanych, zniszczonych oraz mających bardzo zróżnicowaną geometrię powierzchni zabytkowych. Dotyczy to przede wszystkim takich elementów konstrukcji, jak np. rozdrobnione skały, rozbite cegły, zniszczone zaprawy i spoinowania. Elementy o silnie pofałdowanym i zróżnicowanym kształcie są przyczyną wykonywania bardzo wielu skanów, celem uzyskania pełnego i jednolitego pokrycia obiektu pomiarem. Jedną z najtrudniejszych sytuacji jest taka, gdzie obiekty *in situ*, ze względu na swój kształt, nie mogą znaleźć się w polu widzenia skanera (np. wnęki). Powstającą dokumentację pomiarową skanerem laserowym, m.in. z uwagi na w/w sytuacje, należy uzupełnić dokumentacją fotograficzną, wykonaną z niezależnego urządzenia, co pozwoli na częściowe lub całkowite uzupełnienie brakujących danych przestrzennych, poprzez zastosowanie dostępnych programów. Kolejny mankament pomiarów TLS to tzw. martwe pola, które powstają zazwyczaj z trzech powodów: elementy obiektów wzajemnie się zasłaniają, powierzchnia jest poza polem widzenia kamery, skaner nie reje-

struje danych z uwagi na powierzchnię obiektu.¹⁵⁸ Innym problemem jest powierzchnia, a zarazem jej złożoność i geometria, co może doprowadzać do kłopotów z rejestracją geometrii ostrych krawędzi czy pojedynczych, wąskich detali architektonicznych. Niewątpliwą „wadą” naziemnego skanowania laserowego jest koszt urządzenia, jak również czasochłonność opracowania pomiarów. Włączenie do prac badawczo-konserwatorskich technologii skanowania generuje również dodatkowe obciążenia, jeśli zespół, w którym brakuje geodety będzie samodzielnie wykonywać pomiary. Mowa tutaj o kompetencjach i umiejętnościach obsługi sprzętu oraz opracowania danych. Umiejętność wykonywania pomiarów manualnych nie stanowi obecnie problemu dla przeciętnego badacza, jednak specyfika pomiarów fotogrametrycznych, a zwłaszcza laserowych, wymaga uwzględnienia w procesie wykonywania prac specjalistów, co generuje dodatkowe koszty. Jednak tę sytuację winniśmy postrzegać właśnie jako element modyfikacji procesu inwentaryzacyjno-badawczego, który wyznacza nową jakość w zakresie prowadzonych prac oraz kompetencji współczesnego badacza-dokumentalisty. Omawiając słabsze strony naziemnego skanowania laserowego, warto przywołać w tym miejscu porównanie dokładności oraz możliwości skanera z kamerą cyfrową, co obrazuje zamieszczona Tabela 2.4.

Skaner laserowy	Kamera cyfrowa
Nieściśle wyznaczenie linii i łącz	Wysoka precyzja linii i łącz, krawędzi
Uboga informacja o kolorze	Dobra informacja kolorystyczna
Szybka informacja metryczna	Pracochłonna i powolna informacja metryczna
Świetna technika dla opisu złożonych nieregularnych powierzchni	Czasochłonna technika dla opisu złożonych nieregularnych powierzchni
Wysoko kosztowna technika	Niski koszt
Model 3D jest produktem chaotycznym i bez topologii	Model 3D jest zorganizowanym produktem z topologią
Niewymagane oświetlenie	Wymagane oświetlenie
Możliwość pomiaru całej półkuli z jednego stanowiska	Dla pojedynczego zdjęcia rejestracja ograniczona polem widzenia obiektywu

Tab. 2.4. Porównanie naziemnego skanera laserowego z kamerą cyfrową (za Marczeńska 2010)

¹⁵⁸ Rzonca A., 2013, s. 40.

Przytoczone zestawienie wraz z literaturą przedmiotu wyraźnie wskazują na niektóre mankamenty naziemnego skanowania laserowego, a zarazem podkreślają integrację wspomnianych metod na rzecz pozyskania wysokiej jakości pomiaru metrycznego dla obiektów o złożonej geometrii i teksturze.¹⁵⁹

Kończąc powyższe rozważania warto dodać, że literatura przedmiotu oraz własne doświadczenia wyraźnie wskazują na potrzebę wprowadzenia standardów w zakresie TLS przy obiektach zabytkowych, co być może przyczyni się jednocześnie do określenia wytycznych w zakresie oceny jakości wykonywanych prac i minimalnych warunków, jakie powinny one spełniać.

¹⁵⁹ Guarnieri A., Remondino F., Vettore A., 2006, *Digital photogrammetry and TLS data fusion applied to Cultural Heritage 3D modeling*, "International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", Vol. XXXVI, part 5. ISPRS Commission V Symposium, Drezno, Germany - http://www.cyi.ac.cy/system/files/Guarnieri_etal_ISPRSV06.pdf; Grussenmeyer P., Landes T., Voegtli T., Ringle K., 2008, *Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings*, "The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", Vol. XXXVII. Part B5, Beijing.

3. Zabytkowa architektura - zamek w Iłży i TLS

3.1. Wprowadzenie

Przykładowa aplikacja prezentowanych metod zostanie omówiona w odniesieniu do wybranego obiektu dziedzictwa architektonicznego – ruiny zamku w Iłży (woj. mazowieckie), m.in. celem wykazania uniwersalności i użyteczności skanowania laserowego w badaniach obiektów *in situ*. Zabytki architektury zachowane w różnorodnym stanie wymagają kilku zasadniczych działań związanych z ich konserwacją, badaniem i ochroną, a także ich uczytelnianiem. Część z tych działań realizowana jest w sposób nieinwazyjny (szerzej rozdział 1). Pośród nich, w kontekście omawianych metod, na pierwszy plan wyłaniają się w badaniach konserwatorskich, archeologiczno-architektonicznych oraz architektoniczno-historycznych: (1) inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa; (2) analiza i diagnoza stanu zachowania; (3) dokumentacja powykonawcza.¹ Obecnie dostrzegamy silne wsparcie w/w działań poprzez zastosowanie TLS w odniesieniu do zabytków architektury, zwłaszcza obiektów w ruinie. Poza tym techniki skanowania przestrzennego i narzędzia geoinformatyczne wnoszą nowy sposób analizowania obiektu – trójwymiarowy, z zachowaniem autentycznej skali przestrzennych założeń. Przywołajmy zatem kilka zagadnień z współczesnych badań architektonicznych czy konserwatorskich, które bezpośrednio można powiązać z omawianą technologią TLS.

Jednym z zasadniczych elementów każdego procesu badawczego, a zarazem integralną częścią dokumentacji naukowej, są pomiary inwentaryzacyjne², które niejednokrotnie wiążą się z różnymi trudnościami. Częstym problemem prac pomiarowo-inwentaryzacyjnych jest stan zachowania obiektu, szczegółowość i złożoność detali czy też trudny dostęp do zabytków. Rezultatem tradycyjnych pomiarów jest dokumentacja, która w postaci dwuwymiarowej stwarza perspektywę uniemożliwiającą oddanie pełnej geometrii obiektu w sposób rzeczywisty. Sytuację dwuwymiarowego zapisu zmieniły najpierw techniki fotogrametrii (głównie techniki stereoskopowe), a także skanowanie laserowe, wraz z systemami informacji przestrzennej (SIP) oraz systemami wspomagającymi projektowanie

¹ Tajchman J., 2008b, *Podstawowe zagadnienia metody konserwacji i restauracji dziedzictwa architektonicznego w zakresie zabytkowych budowli*, (w:) *Współczesne problemy teorii konserwatorskiej w Polsce*, red. B. Szmygin, Warszawa-Lublin, s. 155-167 (158); Brykowska M., 2003, *Metody pomiarów i badań zabytków architektury*, Warszawa; Brykowska M., 2007, *Dokumentacja naukowa niezbędna dla ochrony i konserwacji zabytków architektury*, „Rocznik Geomatyki”, t. 7, z. 8, s. 115-132 (121).

² Brykowska, M. 1988, *Badania zabytków architektury*, „Rocznik P.P PKZ”, 1, s. 21-40; Brykowska M., 2003; Brykowska M., 2007; Małachowicz E., 2007, *Konserwacja i rewaloryzacja architektury w środowisku kulturowym*, (współpraca Małachowicz M.), Wrocław; 242-246; Świącka E., 2011, *Czy zostaną tylko dokumentacje...?*, (w:) *System ochrony zabytków w Polsce – analiza, diagnoza, propozycje*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s. 106-109.

architektoniczne (CAD (CAAD)), wprowadzając nową jakość do badań zabytków. Powierzchnia zabytkowa to płaszczyzna, którą w zróżnicowany sposób dokumentujemy, ale także analizujemy i diagnozujemy, gdzie wzajemnie przeplatają się nieinwazyjność z inwazyjnością. Diagnostyka powierzchni możliwa jest dzięki metodom nieinwazyjnym, za pośrednictwem których dokonuje się m.in. określania czynników niszczących oraz wyznaczania powierzchni objętych destrukcją. Do zasadniczych efektów zniszczeń obserwowanych i rejestrowanych powierzchniowo, m.in. na podstawie wizji lokalnej, zaliczamy: (1) nawarstwienia powierzchniowe; (2) dezintegrację budulca oraz elementów wykończenia.³ I właśnie te elementy możemy również dokumentować, jak i częściowo (wstępnie) analizować w oparciu o TLS. Zagadnieniami, które także podlegają (w pewnym zakresie) ocenie i analizie wizualnej są: deformacja, stan równowagi czy geometria zabytków architektury.

Stan techniczny murów poddawany jest również częściowo analizie wizualnej, w tym: rysy i ich propagacja (miejsce wystąpienia, rozwartość), zmiany geometrii (wychylenia od pionu, obrót), warunki zewnętrzne (pory roku, wpływ otoczenia: sąsiednie budowle, roślinność, poziom wód gruntowych, powodzie itp.), warunki i sposób użytkowania obiektu i jego otoczenia.⁴ Zdaniem T. Nicera oraz B. Szmygina „[w]izualne określenie stanu równowagi polega przede wszystkim na ocenie geometrii, usztywnienia, smukłości, zwięzłości stopnia uszkodzenia, rodzaju i miejsc występowania rys.”⁵ W tym zakresie również należy dostrzegać potencjał TLS, wraz z fotogrametrią. Poza badaniami, integralną częścią systemu ochrony zabytków jest upowszechnianie wiedzy na ich temat, w tym nieformalna edukacja, która przyczynia się do podnoszenia świadomości społecznej. Powszechnymi formami w tej kwestii jest uczytelnianie, wizualizacja i ekspozycja zabytków.⁶ Ta postać udostępniania dziedzictwa społeczeństwu pozwala obcować

³ Łukaszewicz J. W., 2010, *Badania konserwatorskie stanu zachowania zabytków architektonicznych, ceglanych murów i ruin*, (w:) *Trwała Ruina II. Problemy utrzymania i adaptacji. Ochrona, konserwacja i adaptacja zabytkowych murów*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s. 97-109 (99-101); Domasławski W. (red.), 2011, *Zabytki kamienne i metalowe, ich niszczenie i konserwacja profilaktyczna*, Toruń; Małachowicz M., 2010, *Mury budowli zabytkowych*, (w:) *Trwała Ruina II. Problemy utrzymania i adaptacji. Ochrona, konserwacja i adaptacja zabytkowych murów*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s.11-120; Trochonowicz M., 2010, *Obiekty murowe w ruinie. Wpływ czynników degradujących na ich zachowanie*, (w:) *Trwała Ruina II. Problemy utrzymania i adaptacji. Ochrona, konserwacja i adaptacja zabytkowych murów*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s. 173-184; *Ochrona budynków przed korozją biologiczną*, 2001, (red.) J. Ważny i J. Karyś, Warszawa.; Ważny J., Kurpiak W., 2004, *Konserwacja drewna zabytkowego w Polsce. Historia i stan badań*, Nr 1/2, s. 25-47.

⁴ Nicer T., Szmygin B., 2010, *Problemy nośności murów w trwałej ruinie*, (w:) *Trwała Ruina II. Problemy utrzymania i adaptacji. Ochrona, konserwacja i adaptacja zabytkowych murów*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s. 129-154 (131-2).

⁵ Nicer T., Szmygin B., 2010, s. 132.

⁶ Małachowicz E., 2007, s. 138-147.

z zabytkiem architektury, zwłaszcza z tym w stanie ruiny, **słabo zachowanym** *in situ*. Obok tradycyjnych form uczytelniania, w ostatnich latach obserwujemy coraz częstsze sięganie po nowe rozwiązania, w tym rozszerzoną rzeczywistość (ang. *augmented reality*)⁷, a więc technologie umożliwiające odtwarzać – wizualizować i w nowoczesny sposób uczytelniać zabytki *in situ*.⁸ Takie systemy wspierają również dane TLS, na podstawie których wygenerowane modele stanowią np. udostępnione odbiorcy obiekty bryłowe, możliwe do obserwacji w skali 1:1.

To zagadnienie odsyła do kolejnego, mianowicie do rekonstrukcji zabytków, która w odniesieniu do architektury jest zagadnieniem ważnym, ale często dyskusyjnym, czy nawet kontrowersyjnym, zwłaszcza jeśli chodzi o efekty takich realizacji.⁹ I tutaj również dostrzegamy potencjał danych TLS, które mogą być często bazą dla wirtualnych rekonstrukcji architektury, posiadając zasadniczą zaletę – możliwość rekonstrukcji i wizualizacji unikającej ingerencji i zmiany substancji zabytkowej. Mimo, że wirtualna rekonstrukcja przyjmuje również kontrowersyjną i dyskusyjną postać – tzw. rekonstrukcje „swobodne”¹⁰, „pseudo-rekonstrukcje”¹¹, z czym mamy również do czynienia w odniesieniu do rzeczywistości wirtualnej (co też zostało omówione w poprzednim rozdziale), warto tutaj podkreślić jej pozytywny wymiar i znaczenie w działaniach na rzecz ochrony zabytków.

Kolejnym zagadnieniem, które należy zasygnalizować, a w dalszej części pracy odnieść do ruin zamku w Iłży, to dokumentacja powykonawcza np. prac konserwatorskich¹², która współcześnie, w świetle naziemnego skano-

⁷ Kluszczyński R. W., 2010, *Sztuka interaktywna. Od działu-instrumentu do interaktywnego spektaklu*, Warszawa, s. 203.

⁸ Stricker D., Pagani A., Zöllner M., 2010, *In-Situ Visualization for Cultural Heritage Sites using Novel Augmented Reality Technologies*, (w:) VAR. Virtual Archaeology Review, 1 (2010), 2, pp. 32-36 – http://www.varjournal.es/doc/varj01_002_06.pdf; Zöllner M., Keil J., Wuest H., Pletinckx D., 2009, *An Augmented Reality Presentation System for Remote Cultural Heritage Sites*, [in:] VAST 2009. VAS T-STAR, Short and Project Papers Proceedings, [ed.] Debattista K., Msida : University of Malta, pp. 112-116; Lamorski R., 2008, *Tendencje stosowania narzędzi cyfrowych dla prezentacji i popularyzacji dziedzictwa kulturowego*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki”, t. LIII, z. 2/2008, s. 76-81.

⁹ Małachowicz E., 2007, 128-130; *Zamki, grody, ruiny. Waloryzacja i ochrona*, 2009, (red.) M. A. Lewicka, Warszawa-Białystok; Janczykowski J., 2010, *Miejskie mury obronne – kolejny problem konserwatorski*, (w:) *Trwała Ruina II. Problemy utrzymania i adaptacji. Ochrona, konserwacja i adaptacja zabytkowych murów*, (red.) B. Szymgin, Lublin-Warszawa, s. 53-56;

¹⁰ Kowalski W., Zalasieńska K., 2011, *Prawo ochrony dziedzictwa kulturowego w Polsce – próba oceny i wnioski*, (w:) *System ochrony zabytków w Polsce – analiza, diagnoza, propozycje*, (red.) B. Szymgin, Lublin-Warszawa, s. 17-34 (18).

¹¹ Bukal G., 2008, *Produkcja zabytków jako problem konserwatorski (przykład Gdańska)*, (w:) *Współczesne problemy teorii konserwatorskiej w Polsce*, B. Szymgin (red.), Warszawa, Lublin, s. 17-24 (20); Molski P., 2011, *Waloryzacja dziedzictwa architektonicznego w systemie ochrony zabytków*, (w:) *System ochrony zabytków w Polsce – analiza, diagnoza, propozycje*, (red.) B. Szymgin, Lublin-Warszawa, s. 55-60 (50).

¹² Małachowicz E., 2007, s. 261.

wania laserowego, nabiera nowego wymiaru. Rejestracja TLS w odniesieniu do architektury, a tym samym ruiny zamku w Iłży, odsyła do jeszcze jednego zagadnienia – autentyzmu. W literaturze przedmiotu został szeroko omówiony problem autentyczności zabytków, w szczególności architektury – autentyczności jej formy i substancji.¹³

Ten element, stanowiący dla obiektu gwarancję bycia dokumentem historycznym, jest definiowany w literaturze przedmiotu jako „cecha (złożona) obiektu polegająca na tym, że obiekt jako byt złożony z wielu komponentów – materialnych i niematerialnych – zachowuje oryginalność we wszystkich składnikach”.¹⁴ Zwłaszcza geometria obiektu – jego przestrzenna, autentyczna forma, są przedmiotem prac dokumentacyjno-pomiarowych, których celem jest ich wierny (dodajmy jak najwierniejszy) zapis, również w formie cyfrowej, co obecnie może wspierać technologia TLS. Przywołane przekrojowo problemy i zagadnienia, charakteryzujące współczesne badania architektoniczne i konserwatorskie, nie wyczerpując całego ich zbioru, kierują nas w stronę tematyki, jaką bezpośrednio możemy wiązać z ruiną zamku w Iłży oraz jej obecnym stanem, a dalej nieinwazyjnym pomiarem laserowym.

3.2. Dziedzictwo architektoniczne – ruina zamku w Iłży

Ruina zamku w Iłży to obiekt wpisany do rejestru zabytków – st. 6 – zamek (powierzchnia 1,00 ha) – Decyzja Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków w Radomiu, nr rej. 23 z 24.03.1974, 156 z 23.06.1967 oraz 96/A/81 z dnia 18.03.1981 r.¹⁵ Obiekt jest założeniem, które przetrwało do dzisiaj w postaci ruiny z zachowanym układem przestrzennym, będącym efektem licznych zmian i modernizacji. Zamek w swej historii był nie tylko warownią średniowieczną, ale również (w późniejszym okresie) renesansową, rezydencjalno-obronną siedzibą biskupów, a także szpitalem wojskowym. Łączył funkcje administracyjne z rolą centrum rozległego klucza biskupiego oraz siedzibą starosty¹⁶.

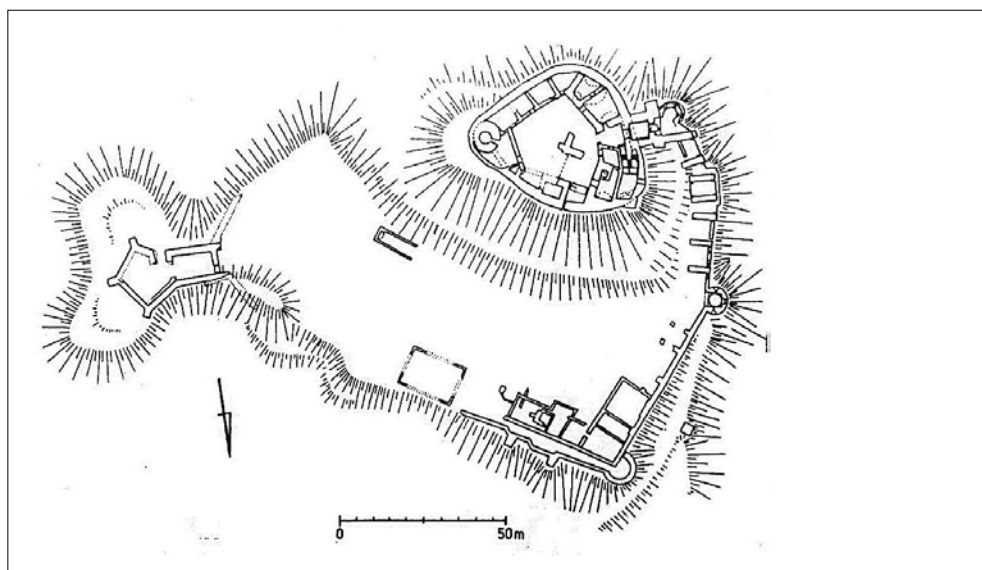
¹³ Karta z Nara, Międzynarodowa Karta Konserwacji i Restauracji Zabytków i Miejsc Zabytkowych (Karta Wenecja), Wenecja 1964; Czerner O., 1974, *Wartość autentyzmu w zabytkach*, „Ochrona Zabytków”, 7. 27, nr 3 (106), s. 180-183; Rouba B., 2008, *Autentyczność i integralność zabytków*, „Ochrona Zabytków”, t. 56, nr 4 (243), s. 37-57;

¹⁴ Berełkowski R., 2012, *System wartości zabytkowej a ruina*, (w:) *Zamki w ruinie – zasady postępowania konserwatorskiego*, (red.) Szmygin B., Molski P., Warszawa – Lublin, s. 37-48 (45).

¹⁵ Szalęgin J., 1997, *Karta Ewidencyjna Zabytków Architektury i Budownictwa – ruina zamku biskupów krakowskich*, [archiwum Narodowy Instytut Dziedzictwa].

¹⁶ Lewicki J., 1997, *Dzieje i architektura zamku w Iłży. Problematyka badawcza i konserwatorska*, (w:) *Siedziby biskupów krakowskich na terenie dawnego woj. sandomierskiego*, Kielce, s.56-86 (60).

Prezentowany poniżej opis zamku, jak i przedstawiane zmiany związane z licznymi przebudowami oraz pracami zabezpieczającymi, są elementem, który powinien pojawiać się na początkowych etapach omawianych w poprzednim i poniższym rozdziale prac pomiarowo-analitycznych, m.in. w celu wskazania oraz rozróżnienia elementów i powierzchni autentycznych (zabytkowych) od ich współczesnych uzupełnień.



Ryc. 3.1. Iłża, widok ruina zamku od strony W (Foto. R. Zapłata) oraz plan zamku niskiego i wysokiego (za Lewicki 1997)¹⁷

¹⁷ Opis zdjęć dla ryc. 3.1-3.13, 3.46-3.57 – Rafał Zapłata (RZ) oraz (wybranych) Rafał Zapłata i Laura Kosiniak – RZ/LK za Zapłata R. (red.), 2013, *RUINowAnie. Zamek Biskupów Krakowskich w Iłży. Katalog wystawy*, Warszawa. Pozostałe ryciny – opis R. Zapłata i/lub za podawanymi autorami/źródłami. Dokumentacja fotograficzna ruiny zamku w Iłży oraz dokumentacja radiometryczna wykonane w latach 2012-2013.

3.2.1. Przekrojowa historia zamku w Iłży

W literaturze przedmiotu oraz opracowaniach¹⁸ wyróżnia się cztery zasadnicze fazy – etapy wznoszenia oraz przebudowy siedziby Biskupów Krakowskich, które ogólnie należy wiązać z powstaniem i przebudową obiektu. Pierwszy etap to okres średniowieczny, kiedy wzniesiono zamek z łamanego wapiennego kamienia (układ łączonego zaprawą wapienną budulca był warstwowy). Drugi etap – okres ok. poł. XV wieku otwiera w historii zamku powstanie m.in. wieży bramnej, którą wzmacniały skarpy w narożach, wraz z filarami podtrzymującymi most. Kolejny – trzeci etap wznoszenia zamku wiązany jest z przebudową obiektu z średniowiecznej konstrukcji w rezydencjonalno-obronną siedzibę renesansową, co też rozpoczyna dzieje obiektu w czasach nowożytnych. Czwartym, a zarazem ostatnim znaczącym etapem w historii wznoszenia i przebudowywania zamku, związanym z I poł. XVII w., były działania związane z powstawaniem oraz rozbudową obiektów gospodarczych na przedzamczu. W tym czasie, najprawdopodobniej bramę wschodnią zamku niskiego, zaopatrzonego w beluardę i bastion bramny¹⁹. Zamek górny zajmował powierzchnię ok. 1500 m², natomiast całe założenie, wraz z zamkiem dolnym (niskim), w tym beluarda i bastion bramny, to obszar o powierzchni przekraczającej 10 000 m². Obiekt w założeniu miał być zamkiem miejskim, pozostającym poza obrębem fortyfikacji miejskich, z którymi łączył się w części południowej zamku górnego, oraz w części zachodniej założenia. Analogiczną sytuację dostrzegamy w odniesieniu do innej siedziby Biskupów Krakowskich, mianowicie zamku w Bodzentynie.²⁰

¹⁸ Omówienia obiektu oparto przede wszystkim na pracach i materiałach: Lewicki J., 1997, *Dzieje i architektura zamku w Iłży. Problematyka badawcza i konserwatorska*, (w:) *Siedziby biskupów krakowskich na terenie dawnego woj. sandomierskiego*, Kielce, s.56-86; Kosiniak L., 2012, *Kwerenda archiwalna i biblioteczna (archeologiczno-architektoniczna – aspekt dokumentacyjny i konserwatorski) w zakresie podstawowego rozpoznania obiektu zabytkowego pod względem architektonicznym. Rozpoznanie architektoniczne i charakterystyka ruin zamku w Iłży*, Warszawa-Radom-Iłża, s. 57. [maszynopis i wersja elektroniczna w archiwum UKSW]; Zapłata R., Kosiniak L., 2012, *Dokumentacja przebieg prac (uzupełniająca) oraz opracowanie wyników prac nieinwazyjnych (prac pomiarowo-powierzchniowych)* pt. "Badania nieinwazyjne z zastosowaniem metod fotogrametrycznych i teledetekcyjnych – zamek w Iłży". Stan. 6, AZP 79-68/8. Nr rej. 96/A/81 z dn. 18.03.1981 r. 01.09.2011-31.12.2011 r., . [maszynopis w archiwum UKSW]; Zapłata R., 2012, *Sprawozdanie "Badania nieinwazyjne z zastosowaniem metod fotogrametrycznych i teledetekcyjnych – zamek w Iłży"* [maszynopis w archiwum WMKZ – Radom], Iłża/Warszawa; Kosiniak L., Zapłata R., 2013, *Krótka historia Zamku Biskupów Krakowskich w Iłży i jego badań*, (w:) *RUINowAnie. Zamek Biskupów Krakowskich. Katalog wystawy*, (red.) R. Zapłata, Warszawa, s. 10-17. Przekrojową historię zamku w Iłży przygotowano w oparciu o w/w materiały i opracowania, a także na podstawie cytowanej w dalszej części pracy dokumentacji i literatury przedmiotu.

¹⁹ Lewicki J., 1997; Kajzer L., Kołodziejski S., Salm J., 2012, *Leksykon zamków w Polsce*, Warszawa; Medek-sza S., 1978, *Analiza architektoniczno-konserwatorska substancji zabytkowej zamku i podzamcza w Iłży*, [mps przechowywany w archiwum WOUZ w Radomiu], Wrocław, s. 1-6; Kosiniak L., 2012, s. 24-25; Nowakowski P., 2012, *Iłża miasto kościelne*, Radom, s. 89-90.

²⁰ Lewicki J., 1997; Kosiniak L., 2012.



Ryc. 3.2. Iłża, ruina zamku górnego (stan 2011 r.). Widok na dziedziniec zamkowy z wieży zamkowej – od strony E (Foto. R. Zapłata / RZ)

Zamek iłżecki to budowla wzniesiona najprawdopodobniej z inicjatywy biskupa krakowskiego Jana Grota. Literatura przedmiotu podaje najczęściej rok 1340²¹ jako datę powstania założenia zamkowego. Funkcjonują również wcześniejsze opracowania dotyczące zamku, które podają następujące daty określające początki powstania budowli, tj. lata 1347²², 1342²³, 1345²⁴ i 1328²⁵, a więc przypadające na okres rządów biskupa Jana Grota (1326-1347)²⁶. Wg niektórych badaczy źródła przy roku 1334 przywołują już zamek „in

²¹ Wiśniewski J., 1909-11, *Dekanat iłżecki*, Radom, s. 43; Thugutt J. 1914, *Przewodnik po Królestwie Polskim. Kieleckie i Radomskie*, Warszawa, s. 15; Bednarczyk A., Stanisławek B., Szymański J., 1979, *Iłża. Monografia rozwoju społeczno- gospodarczego miasta. Rozwój w okresie XIII- XVIII w.* (w:) *Biuletyn Kwartalny Radomskiego Towarzystwa Naukowego*, t. XVI (3), Radom, s. 2; Kiryk F., 1994, *Rozwój urbanizacji Małopolski w XIII-XVI wieku*, Kielce, s. 47; Zwolski Cz. T., 2003, *Radom i region radomski*, Radom, s. 182; Madejski J.K., 2004, *Iłża zapamiętana*, Radom, s. 33; Zając M., *Iłża. Iłża, s.2*; Dąbek W., 2012, *Iłża w literaturze, ilustracji i na starych pocztówkach*, Warszawa, s. 13.

²² *Iłża- zamek i miasteczko w woj. sandomierskim*, (w:) *Przyjaciel Ludu*, t.2, nr 45, 1835, s.355-357.

²³ Chlebowski B., 1882, hasło: *Iłża*, (w:) *Słownik geograficzny Królestwa Polskiego i innych krajów słowiańskich*, t. 3, s. 271, Warszawa, s. 24.

²⁴ Medeksza S., 1978, s. 2.

²⁵ Chądzyński J.N., *Historyczno – statystyczne opisy miast starożytnych w Ziemi Sandomierskiej leżących*, t. 3, s. 25-44, wyd.2, 1856, t. 3, s. 25-44, Warszawa, s. 27.

²⁶ Nierychlewska A., 2002, *Budownictwo obronne powiatu radomskiego w okresie od XIII do XVIII wieku*, Radom, s. 131.



Ryc. 3.3. Ilża, ruina zamku – pozostałości muru kurtynowego (XVI w.), wapień łączony zaprawą wapienno-piaskową. Widok os trony NE (fot. R. Zapłata / RZ)

Islza, in castro nostri”²⁷. Wg jednej z hipotez zamek został wzniesiony przez biskupa Jana Muskatę (1294-1320), natomiast Jan Grot był kończącym rozpoczęte dzieło²⁸. Sięgając do literatury przedmiotu, odnajdujemy również informacje na temat powstania zamku na miejscu istniejącego wcześniej i zniszczonego obiektu drewnianego²⁹.

Dokonując poniżej przekrojowej charakterystyki dziejów zamku w Ilży, podkreślimy, że m.in. na podstawie przeprowadzonych badań archeologiczno-architektonicznych Stanisław Medeksza wyróżnił kilka etapów formowania obiektu (wspomnianych wcześniej), które stopniowo, ale i zasadniczo zmieniały charakter omawianego założenia.³⁰ W początkowym etapie powstawania założenia pojawiają się wschodnie i północne odcinki muru obwodowego oraz wieża główna (stołp), a także zabudowa mieszkalna w północnej części obiektu. Ówczesny zamek stanowił konstrukcję z charakterystyczną, cylindryczną wieżą ostatecznej obrony, która łączyła się

²⁷ Lewicki J., 1997, *Dzieje i architektura zamku w Ilży. Problematyka badawcza i konserwatorska*, (w:) *Siedziby biskupów krakowskich na terenie dawnego woj. sandomierskiego*, Kielce, s.56-86 (58) za Bednarczyk A., 1981, *Ilża*. Kraków, s. 7; Kiryk F., 1994, s. 48.

²⁸ Bednarczyk A., Stanisławek B., Szymański J., s. 24; Nierychlewska A., 2002, s. 43; Madejski J.K., 2004, s. 78.

²⁹ Chądzyński J.N., 1855, s. 27; Wiśniewski, J., 1909, s. 55; Zwolski Cz. T., 2003, s. 182; Madejski J.K., 2004, s. 33.

³⁰ Medeksza S., 1978; Nierychlewska A., 2002.

z murem obwodowym. Do średniowiecznego zamku prowadziła brama z wieżą przedbramną, która była umieszczona w murze otaczającym założenie. Bramę i wieżę przedbramną łączył most drewniany, który znajdował się nad suchą fosą. Następnym etapem budowy zamku, związanym z tym samym okresem, było zamknięcie obwodu warownego (zamku górnego) od strony zachodniej, które doprowadziło do uformowania się kształtu budowli na planie zbliżonym do owalnego, nieregularnego trójkąta. Siedziba Biskupów Krakowskich w Iłży to typowa średniowieczna budowla, wzniesiona w miejscu z natury obronnym, na wyniesionym terenie, z przywołaną wieżą ostatecznej obrony, znajdującą się we wschodniej części założenia³¹, tworząc typowy układ dla wieżowo-ścianowego systemu obrony.³²

Okolo 1370 r. zamek został rozbudowany przez biskupa Floriana z Mokrska (1305-1380). W tym okresie miasto zostało otoczone murami z kamienia wapiennego, które były zwieńczone krenelażem – zębatym zakończeniem z rytmicznie rozmieszczonymi prostokątnymi prześwitami. Obwód murów miejskich wynosił najprawdopodobniej wtedy ok. 800 m i posiadał dwie bramy – Mostową (od wschodu) i Radomską (od zachodu)³³, które dołączono za rządów biskupa Jana Konarskiego (biskup w latach 1592-24). Kolejne bramy – Krakowska (od południa) i Solecka (od północy) zostały wzniesione w nowych odcinkach murów. Jeszcze jedną bramę wzniesiono w późniejszym okresie u wylotu dzisiejszej ulicy Kowalskiej.³⁴

Kolejny etap rozbudowy średniowiecznego zamku (I poł. XV) wiąże się z budową wieży bramnej (z charakterystycznymi dla architektury gotyku potężnymi przyporami, wzmacniającymi ściany wieży) oraz mostu wjazdowego na kamiennych filarach³⁵. Do zamku górnego prowadziła droga wjazdowa w postaci równi pochyłej, wiodąca od północy na południe, skręcająca na wysokości bramy pod kątem prostym w stronę wschodnią. W partiach początkowych droga miała szerokość ok. 7 m (stopniowo zwężając się ku górze) i prowadziła przez most na kamiennych filarach, częściowo odtworzonych współcześnie. Analogiczne rozwiązanie wjazdu odnajdujemy w zamku biskupa krakowskiego Zbigniewa Oleśnickiego w Pińczowie, które możemy analizować na podstawie dwóch zachowanych rysunków E. J. Dahlberga, również autora miedziorytu zamku w Iłży z XVII w..³⁶

³¹ Guerquin B., 1984, *Zamki w Polsce*, Warszawa, s. 146.

³² Bogdanowski J., *Architektura obronna w krajobrazie Polski*, Warszawa–Kraków, s. 70.

³³ Lewicki J., 1997; Kosiniak L., 2012, s. 7.

³⁴ Lewicki J., 1997; Kosiniak L., 2012.

³⁵ Medeksza S., 1978, s. 1-3; Nierychlewska A., 2002, s. 43.

³⁶ Medeksza S., 1978, s. 3; Kajzer L., Kołodziejski S., Salm J., 2012, s. 383, 203.



Ryc. 3.4. Iłża, ruina zamku – wschodnie pozostałości muru kurtynowego (XVI w.), wapień łączony zaprawą wapienno-piaskową. Widok od strony W / od strony miasta (fot. R. Zapłata / RZ)

Po pożarze zamku w I poł. XVI wieku Jan Konarski rozpoczął odbudowę obiektu, a do zasadniczej rozbudowy doprowadził Filip Padniewski (na początku lat 60. tego wieku), który przekształcił zamek w renesansową rezydencję obronną. (lata 60. XVI wieku). W tym czasie dokonano m.in. rozbioru gotyckiej zabudowy, a także dodano do zewnętrznego lica filarów mostu elementy obronne – trzy fortyfikacje bastejowe, które łączył mur kurtynowy w części zachodniej założenia, rozciągający się na długości ponad 120 m. Basteję najbliższą położoną względem zamku górnego – południowo-zachodnią (ryc. 3.5) zbudowano przy bramie wjazdowej, kolejną w części środkowej muru kurtynowego – basteję zachodnią (ryc. 3.46), a ostatnią – trzecią usytuowano w narożniku północno-zachodnim założenia. Pierwsze dwie basteje charakteryzowały strzelnice kluczowe o kulistych wylotach (ryc. 3.46). Omawiane elementy obronne obiektu rozmieszczono w odległości ponad 50 m od siebie.³⁷ Fortyfikacyjne basteje to półokrągłe w planie elementy murowane, zwieńczone attykami, a więc ściankami usytuowanymi ponad koronującym gzymsem. W roku 1588 zamek ulega ponownemu spaleni, po którym biskup Marcin Szyszkowski przeprowadza gruntowny

³⁷ Medeksza S., 1978, s. 1-6; Lewicki J., 1997; Kosiniak L., 2012.



Ryc. 3.5. Iłża, ruina zamku – basteja ze strzelnicami kluczowymi umieszczona przy bramie wjazdowej (XVI w.), ciosy wapienne łączone zaprawą wapienno-piaskową, widoczne otwory po rusztowaniu. Widoczne zmiany powierzchni substancji zabytkowej m.in. nalot z mchu, ubytki i rozluźnienia spoinowań. Widok od strony SW (fot. R. Zapłata / RZ/LK)

jego remont (ok. 1618 r.). Bastion bramny i (domniemana) beluarda dodano prawdopodobnie w XVII wieku³⁸.

Biskup Andrzej Trzebicki około roku 1670 podjął się odbudowy zamku po zniszczeniach związanych z potopem szwedzkim. Kolejnych remontów i przebudowy dokonywali w 1732 roku Jan Aleksander Lipski; w 1750 roku Andrzej Stanisław Załuski i ok. 1782 roku Kajetan Sołtyka, który był ostatnim właścicielem obiektu. W 1789 roku zamek przeszedł w ręce państwa, stanowiąc obiekt charakteryzujący się poważnymi i postępującymi zniszczeniami. W lustracji z 1789 roku odnajdujemy opis potwierdzający zły stan zachowania obiektu.³⁹

Zamek w swej historii pełnił funkcję szpitala wojskowego, co jest związane z początkiem XIX w. W tym czasie w pozostałych pomieszczeniach organizowane były publiczne zabawy, z których jedna doprowadziła do

³⁸ Nierychlewska A., 2002, s. 43; Madejski J. K., 2004, s. 35; Lechowicz Z., 2011, *Zamek górny w Iłży w świetle konserwatorskich badań architektoniczno-archeologicznych wykonanych w 2009 roku*, (w:) *Iłża miasto biskupów krakowskich na tle regionu. Materiały z sesji naukowej poświęconej dziejom regionu iłżeckiego pod tytułem „Przeszłość w służbie przyszłości”*, Iłża, s. 35-76 (38); Nowakowski P., 2012, s. 89-90.

³⁹ Baliński M., Lipiński T., 1985, *Starożytna Polska pod względem historycznym, jeograficznym i statystycznym*, t. 2, s. 450-453; wyd.2, 1855, t. 2, s. 465-468, Warszawa, s. 467; Kuczyński J., *Iłża*, Kraków, s. 11.

kolejnego pożaru obiektu, powodującego poważne i nieodwracalne zniszczenia. Od tego czasu zamek popadł w całkowitą ruinę⁴⁰, stając się źródłem łatwo dostępnego surowca budowlanego, spożytkowanego m.in. do budowy fabryki fajansu Leviego Sunderlanda⁴¹ i miejscowej zabudowy.

Losy zamku nie ulegają zmianie przy kolejnym właścicielu. Obiekt w 1837 roku kupił Tadeusz Lubomirski, którego syn Zdzisław przekazuje ruinę Towarzystwu Opieki nad Zabytkami⁴². Od początku XX w. zamek,



Ryc. 3.6. Ilża, ruina zamku – fragment zniszczonego czworobocznego fragmentu bramy wjazdowej prowadzącej na zamek górny, zwietrzałe ciosy wapienne, łączone zaprawą wapienno-piaskową, widoczne otwory po rusztowaniu, w górnej i środkowej części, oblicowanie ze starannie opracowanych prostokątnych płyt (XV w.). Widok od strony (fot. R. Zapłata / RZ/LK)

będący już poza użytkowaniem, zgodnie z jego funkcją i stanowiący część dziedzictwa kulturowego, stanowi obiekt poddawany licznym pracom naprawczym i konserwatorskim, które trwają do dzisiaj. W 1910 roku z inicjatywy Towarzystwa, dokonano naprawy wieży głównej. Dalsze zniszczenia osłabiające konstrukcję pojawiają się podczas I wojny światowej, kiedy to uszkodzeniom uległ m.in. gotycki portal okalający wejście do głównej wieży⁴³, a także podczas II wojny światowej, kiedy znaczącym zniszczeniom uległa południowo-wschodnia część wieży⁴⁴.

Przekrojąwą historię związaną z remontami, zmianami oraz modernizacją zamku prezentuje poniższa tabela.

⁴⁰ Bednarczyk A., 1981, *Zamek w Ilży*, Ilża, s. 47.

⁴¹ Bednarczyk A., 1981, s. 47.

⁴² Idzikowski W., 26 stycznia/8 luty 1901, *Pamiętki. Zamek w Ilży* (w:) *Biesiada Literacka*, nr 51 (6), s.104-105 (104).

⁴³ Szydłowski T., 1919, *Ruiny Polski: opis szkód wyrządzonych przez wojnę w dziedzinie zabytków sztuki na ziemiach Małopolski i Rusi Czerwonej z 227 rycinami i mapką orientacyjną*, Kraków, s. 107,198; Borkowska M., Wysocki S., *Ilża*. Starachowice, s. 33.

⁴⁴ Lewicki J., 1997, s. 64.

Data	Etapy budowy i przebudowy oraz dzieje zamku	Osoby związane z przebudową/rozbudową
I poł. XIV w. (przed 1334 / 1340 r.)	Początek budowy – powstaje wieża wraz z obwodem murów	Biskup krakowski Jan Grot
XIV/ XV w.	Wieża przedzamkowa (przedbramna)	Biskup krakowski Florian z Mokrska
I poł. XV w.	Wzmocnienie bramy głównej przyporami i połączenie jej z mostem wjazdowym wspartym na filarach	Biskup krakowski Florian z Mokrska, Zbigniew Oleśnicki
I poł. XIV w.	Odbudowa po pożarze: sprzężenie zamku z murami obronnymi miasta	Biskup krakowski Jan Konarski
Ok. 1560 r.	Przekształcenie zamku w renesansową rezydencję obronną; otoczenie przedzamcza od strony zachodniej i północnej murem kurtynowym z bastiejami	Biskup krakowski Filip Padniewski
1618 r.	Remont zamku po pożarze	Biskup krakowski Marcin Szyszkowski
I lub II poł. XVII w.	Wzniesienie beluardy (?) – bastionu bramnego	-
1670 r.	Odbudowa zamku po zniszczeniach w czasie potopu szwedzkiego i złupieniu przez wojska Rakoczego	Biskup krakowski Andrzej Trzebicki
1732 r.	Remont i przebudowa zamku	Biskup krakowski Jan Aleksander Lipski
Ok. 1750 r.	Remont zamku	Biskup krakowski Andrzej Stanisław Załuski
Ok. 1782 r.	Remont zamku	Biskup krakowski Kajetan Sołtyk
1789 r.	Zamek staje się własnością państwa	-
Pocz. XIX w.	W zamku mieścił się szpital wojskowy	-
1837 r.	Zakup zamku	Tadeusz Lubomirski
1909 r.	Przekazanie zamku Towarzystwu Opieki nad Zabytkami	Zdzisław Lubomirski
1927 r.	Przekazanie zamku gminie Ilża	Towarzystwo Opieki nad Zabytkami

Tab. 1. Zestawienie ważniejszych etapów budowy oraz przebudowy zamku w Ilży.
(Za Lewicka 2012, Kosiniak 2012⁴⁵)

⁴⁵ Lewicki J., 1997; L. Kosiniak, 2012; Lewicka M., 2012, *Kulturowe i społeczne wartości mazowieckich zamków w Liwie i Ilży*, (w:) *Zamki w ruinie – Zasady postępowania konserwatorskie*, (red.) B. Szmygin, P. Molski, Warszawa– Lublin, s. 169-184 (183); Lechowicz Z., 2011; Lewicki J., 1997.

3.2.2. Zarys historii badań

Obiekt już w XIX w. wzbudzał zainteresowanie, stanowiąc przedmiot licznych opisów oraz publikacji widoków m.in. na łamach artykułów prasowych, atlasów, przewodników i encyklopedycznych wzmianek.⁴⁶ Pierwszą „inwentaryzację” zamku przeprowadzono w XIX w., kiedy to pozostałości założenia opisali i narysowali uczestnicy delegacji rządowej, którzy na polecenie Rady Administracyjnej mieli za zadanie zebranie informacji na temat istniejących zabytków⁴⁷. Od początku XX wieku zamek poddawany był licznym działaniom konserwatorskim, a także badaniom. Jednymi z pierwszych prac konserwatorskich przy obiekcie z ramienia Towarzystwa Opieki nad Zabytkami Przeszłości kierował architekt Oskar Sosnowski⁴⁸. Kolejna inwentaryzacja została przeprowadzona w 1911 roku⁴⁹. Prace przy ruinach kontynuowano następnie w dwudziestoleciu międzywojennym (ogólnie były to działania konserwatorskie oraz prace porządkowe⁵⁰). Działania przy obiekcie ponowiono w latach 50. XX w.⁵¹, kiedy to wykonano inwentaryzację wieży⁵². Wówczas to przeprowadzono zabiegi wzmacniające jej konstrukcję, m.in. poprzez spięcie cylindra klamrami⁵³, obecnie słabo czytelnymi, pokrytymi tynkiem. Rok 1962 otwiera nową kartę w dziejach zamku, prace naukowo-badawcze (badania archeologiczno-architektoniczne) rozpoczyna Zakład Historii Architektury, Sztuki i Techniki Politechniki Wrocławskiej, które będą kontynuowane przez wiele kolejnych lat. Pierwsze prace badawcze z Wrocławia przeprowadzili na dziedzińcu zamkowym przy wjeździe. Podczas tych badań odgruzowano bramę wjazdową zamku górnego, a także odsłonięto brukowany dziedziniec, fragmenty murów oraz nowożytną klatkę schodową⁵⁴, prowadzącą na nieistniejące piętro zamkowe. W 1969 roku zainicjowano kolejne badania archeologiczno-architektoniczne, które

⁴⁶ Lewicki J., 1997, s. 57.

⁴⁷ *Opis zabytków Starożytności przez Delegację wysłaną z polecenia Rady Administracyjnej Królestwa zebrane w Gubernii Radomskiej w latach 1844 i 1846*, (w:) *Dzieje Powszechne*, 1863 (101), 4 V, s. 411.41.

⁴⁸ Lewicki J., 1997, s. 64; Madejski J.K., 2004, s. 36 za „Sprawozdanie Zarządu Towarzystwa Opieki nad Zabytkami Przeszłości” 1910, s. 8-10.

⁴⁹ Lewicka M., 2012, s. 183.

⁵⁰ Lewicki J., 1997, s. 64.

⁵¹ Galicka I., Nawoik K., 1956, *Iłża. Baszta zamkowa*. Maszynopis przechowywany w archiwum WOUZ w Radomiu, Warszawa; Lewicka M., s. 64; Nierychlewska A., 2002, s. 135; Lechowicz Z., 2011, s. 40.

⁵² Galicka I., Nawoik K., 1956, *Iłża. Baszta zamkowa* [mps przechowywany w archiwum WOUZ w Radomiu], Warszawa.

⁵³ Lewicka M., 2012, s. 183; Kosiniak L., 2012.

⁵⁴ Kaźmierczyk, J., Rozpędowski J., Różycka E., Paprocki J., 1962. *Sprawozdanie z badań przeprowadzonych w roku 1962 przez Katedrę Historii Architektury Polskiej Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław [mps w archiwum MWKZ/Radom]; Bednarczyk A., 1981, s. 9.

z przerwami do 1978 roku prowadził Instytutu Historii Architektury, Sztuki i Techniki Politechniki Wrocławskiej pod kierownictwem Andrzeja Kudły, Jerzego Rozpędowskiego i Stanisława Medeksy⁵⁵. W latach 1971-72 na podzamczu odsłonięto jeden z nowożytnych elementów obronnych założenia – beluardę (bastion bramny), a w 1972 roku odkryto przejazd przez bastion i bramę wschodnią⁵⁶. Następne badania wykopaliskowe prowadzone były w 1976 roku. Odkryto wówczas m.in. północne i wschodnie ramiona odsłoniętego wcześniej bastionu bramnego, pozostałości ziemnych fortyfikacji związanych z bramą wschodnią, budynek, w którym rezydował starosta, przy nim bruk dziedzińca, a także inne budynki gospodarcze, datowane na XVII w.⁵⁷

W 1973 roku zostaje wykonana przez E. i J. Fijałkowskich analiza surowców użytych do budowy zamku w Iłży.⁵⁸ Dalsze badania archeologiczno-architektoniczne prowadzone były w 1977 roku, obejmując swym zasięgiem teren zamku dolnego. Odsłonięto m.in. części fundamentów wieży bramnej z XV wieku (w miejscu wjazdu na zamek górny), filary renesansowej wiaty przy bramie zachodniej, prostokątny element obronny z XVI wieku⁵⁹.

Pracownicy Politechniki Wrocławskiej przeprowadzili w 1978 roku kolejne badania, w trakcie których odsłonięto zarys dziedzińca oraz skrzydła mieszkalne, przylegające do obwodu murów średniowiecznych. Oznaczony również został zarys bramy i wjazdu, relikty mostu, zarys wieży bramnej z „fragmentami kanału przeciwwagi mostu zwodzonego”⁶⁰. Ówczesne badania pozwoliły na wyróżnienie i dookreślenie wspomnianych wcześniej czterech faz budowy zamku⁶¹. Prowadzone w latach 1976-78 badania archeologiczno-architektoniczne stały się również podstawą do stworzenia przez badaczy programu zabezpieczenia zamku jako trwałej ruiny. Projekt opracowany został przez Stanisława Medeksę („Zagospodarowanie i konserwacja

⁵⁵ Kaźmierczyk, J. 1969. *Z badań archeologicznych na grodzisku i zamku w Iłży*. Wrocław). Wg M. Lewickiej były to badania zamku górnego, którymi kierował J. Kaźmierczyk – Lewicka M., 2012, s. 171.

⁵⁶ Bednarczyk A., 1981, s. 10; Lechowicz Z., 2011, s. 41; Medeksza S. 1972., *Sprawozdanie z badań architektoniczno-archeologicznych prowadzonych na terenie zamku w Iłży w 1971-72*, Wrocław [archiwum MWKZ/Radom]; Nierychlewska A. 2002, s. 135.

⁵⁷ Bednarczyk A., 1981, s. 10; Lechowicz Z., 2011, s. 37, 41 za: Kudła A., 1978, *Sprawozdanie z archeologiczno-architektonicznych badań na zamku dolnym w Iłży w latach 1976-78*, Wrocław [maszynopis w archiwum MWKZ/Radom].

⁵⁸ Fijałkowska E., Fijałkowski J., 1973, *Surowce skalne użyte przy budowie zamku w Iłży*, „Zeszyty Przyrodnicze Muzeum Świętokrzyskiego w Kielcach”, nr 1, s. 1-22.

⁵⁹ Nierychlewska A. 2002; Lechowicz Z., 2011, s. 41 za Kudła A. *Badania archeologiczno-architektoniczne na zamku w Iłży w latach 1976-78*. Maszynopis przechowywany w archiwum Zakładu Historii Architektury Politechniki Wrocławskiej oraz w archiwum Urzędu Miasta i Gminy w Iłży, Wrocław, s. 1-15.

⁶⁰ Medeksza S., 1978, s. 1.

⁶¹ Medeksza S., 1978, s. 1-6.



Ryc. 3.7. Ilża, zamek górny, wnęka sklepią kolebkowo w jednym z pomieszczeń (skarbcu – wg lustracji z 1644 i 1789 roku) po stronie północnej (XVI w.), wapienie i cegły, pozostałości fragmentarycznie zachowanych tynków / pobiał i warstwy malarskiej; widok od północy; fragment kamieniarki renesansowej luźno zalegający w pomieszczeniu; widoczne działania zabezpieczające mur; przykład stopniowego niszczenia muru i powstawania ubytków, w wyniku procesów rozsadzania surowca – ciosy wapienne i cegły niszczą przede wszystkim w wyniku przedostawania się wody do wnętrza budulca, przy współudziale zmieniającej się temperatury oraz rozrastającej się roślinności; zdjęcie ilustruje również proces deponowania się materiału odpadowego; kolebkowo sklepią stanowi przykład nielicznie zachowanych sklepień zabytkowych obiektu (fot. R. Zapłata / RZ/LK)



Ryc. 3.8. Ilża, zamek górny. Fragmentarycznie zachowana posadzka z ceramicznych płytek w pomieszczeniu sklepionym (wg lustracji z 1644 roku) – spiżarnia (wg lustracji z 1668 i 1789 roku) oraz zachowane stopnie z piaskowca. Wymiary płytek 19,0-31 x 19,0-31 x 3,5-4 cm (fot. R. Zapłata / RZ)

Ryc. 3.9. Iłża, ruina zamku. Fragment kamieniarki z piaskowca (część łuku otworu komunikacyjnego), luźno zalegający pośród ruin (fot. R. Zapłata / RZ)



ruin zamku górnego oraz podzamcza”)⁶², a kierownikiem naukowym działań był Jerzy Rozpędowski.

Prace terenowe ponowiono w latach 90. XX w., kiedy to odgruzowano mury zamku górnego i część zachowanych piwnic, zabezpieczając i uzupełniając zaprawą mury wieży i bastei. Dokonano również dobudowania pewnych elementów, np. przy wieży wybudowano metalowe schody, które prowadziły na taras widokowy, poszerzając atrakcyjność obiektu z punktu widzenia ruchu turystycznego⁶³. W/w schody oraz zadaszenie wieży były realizacją projektu adaptacji, zagospodarowania i zabezpieczenia ruin zamku z 1993 r. autorstwa krakowskiego architekta Andrzeja Kadłuczki⁶⁴.

W 1997 r. opracowano program ochrony i zagospodarowania zespołu zamkowego w Iłży (w ramach projektu Ministerstwa Kultury i Sztuki: „Ochrona i konserwacja architektury obronnej”)⁶⁵, w którym dostrzeżono walory widokowe z wieży, zamku górnego oraz podzamcza, kładąc nacisk na przystosowanie założenia do obsługi ruchu turystycznego. Kolejne działania przy ruinie to lata 2003-2004. Uporządkowano wówczas teren zamku

⁶² Medeksza S., 1976, *Projekt konserwacji ruin zamku i podzamcza w Iłży faza II – etap I, projekt konserwacji przedbramia*, [mps przechowywany w archiwum WOUZ w Radomiu].

⁶³ Nierychlewska A., 2002, s. 135; Lechowicz Z., 2011, s. 35-38.

⁶⁴ Kadłuczka, A. 1993, *Dokumentacja techniczna dotycząca koncepcji zagospodarowania wzgórza zamkowego*, Kraków [archiwum Urząd Gminy Iłża]

⁶⁵ Chołuj Z., Gluszek I., 1997, *Program ochrony i zagospodarowania zespołu zamkowego w Iłży*, Radom, [maszynopis przechowywany w archiwum WOUZ w Radomiu].



Ryc. 3.10. Iłża, zamek górny, pozostałości nowożytnej klatki schodowej prowadzącej na niezachowane piętro (XVI w.). Surowiec – cegła / ciosy wapienne / piaskowiec jasnobieżowy oraz współczesne uzupełnienia. Widok od NE (fot. R. Zapłata / RZ)



Ryc. 3.11. Iłża, ruina zamku – fragmentarycznie zachowana posadzka z ceramicznych płytek odsłonięta podczas badań archeologicznych w 2009 roku w pomieszczeniu nr 3 (wg Lechowicza, 2009), sklepionym (wg lustracji z 1644 roku), spiżarni (wg lustracji z 1668 i 1789 roku) w części południowej założenia. Wymiary płytek 19,0-31 x 19,0-31 x 3,5-4 cm. (Foto. R. Zapłata). RZ/LK

oraz najbliższe otoczenie, odgruzowano dziedziniec, a także wzmocniono mury obwodowe⁶⁶.

W 2009 roku przeprowadzone zostały kolejne badania archeologiczno-architektoniczne, poprzedzone odgruzowaniem czterech pomieszczeń po stronie południowej, a także części dziedzińca. Objęły one przede wszystkim pomieszczenia południowego skrzydła zamku do naroża południowo-zachodniego.⁶⁷ Po tych badaniach archeologicznych został opracowany (w 2010 r.) projekt konserwacji, zabezpieczenia i przystosowania ruin zamku górnego do celów muzealnych, których autorem był łódzki architekt i konserwator Jan Salm wraz z zespołem⁶⁸. W 2010 roku przeprowadzono mikroskopowe badania surowców skalnych użytych do budowy zamku w Iłży, analizując cechy strukturalno-teksturalne oraz skład mineralny substancji zabytkowej⁶⁹.



Ryc. 3.12. Iłża, zamek górny – przekrój przez warstwy przylegającego do muru zewnętrznego nasypu pod tzw. „oknem biskupim”; efekt procesów osuwiskowych i niszczącej działalności korzeni roślin dziko rosnących na terenie wzgórza. Widok od strony NW (fot. R. Zapłata / RZ/LK)

⁶⁶ Madejski J.K., 2004, s. 36.

⁶⁷ Lechowicz Z., 2011, s. 41.

⁶⁸ Salm J., 2011, *Problematyka konserwatorska dawnego zamku biskupów krakowskich w Iłży*, (w:) *Iłża miasto biskupów krakowskich na tle regionu. Materiały z sesji naukowej poświęconej dziejom regionu iłżeckiego pod tytułem „Przeszłość w służbie przyszłości”*, Iłża, s. 127-140 (127-140).

⁶⁹ Krystek M., 2011, *Petrografia surowców skalnych na zamku w Iłży i na zamku w Radomiu. Przyczynek do poznania surowców skalnych zamków w Iłży i Radomiu*, (w:) *Iłża miasto biskupów krakowskich na tle regionu. Materiały z sesji naukowej poświęconej dziejom regionu iłżeckiego pod tytułem „Przeszłość w służbie przyszłości”*, Iłża, s. 17-34.

Rok 2011 rozpoczyna szereg działań o charakterze nieinwazyjnym. Wówczas to przeprowadzono przy ruinie zamku pilotażowe, bezdotykowe pomiary teledetekcyjne. Prace miały charakter nowatorskich i bezdotykowych pomiarów związanych z zastosowaniem metod teledetekcji w badaniach archeologiczno-architektonicznych. Przeprowadzono również prace weryfikacyjno-rozpoznawcze obiektu i najbliższego otoczenia w oparciu o wizję lokalną i badania powierzchniowe. Pracami kierował Rafał Zapłata z Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie. Pilotażowe pomiary fragmentów zamku górnego wykonane zostały przez zespół fotogrametrów z Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie.⁷⁰

Od 2012 roku prowadzone są kompleksowe prace nieinwazyjne, skupiające się m.in. na bezdotykowych naziemnych oraz lotniczych pomiarach teledetekcyjnych w ramach projektu naukowego pt. „Zastosowanie



Ryc. 3.13. Iłża, ruina zamku (stan 2011 r.). Fragment wieży głównej wzniesionej na planie kolistym z ciosów wapiennych łączonych zaprawą wapienno-piaskową, znajdującej się we wschodnim narożu założenia (XIV w.) z widocznymi ubytkami, szczelinami i spękaniami; widoczne zróżnicowanie surowcowe muru wieży i stopnia zniszczenia; pozostałości na znacznej powierzchni tynków pochodzących z późniejszych okresów remontu zamku; uzupełnienia fragmentu ściany; widok od N (fot. R. Zapłata / RZ)

⁷⁰ Zapłata R., 2012, *Sprawozdanie „Badania nieinwazyjne z zastosowaniem metod fotogrametrycznych i teledetekcyjnych – zamek w Iłży”*, Iłża/Warszawa [maszynopis w archiwum MWKZ – Radom]; Kędzierski M., Zapłata R., Fryškowska A., Wilińska M., Deliś P., 2012, *Metody teledetekcyjne i fotogrametryczne w ochronie, konserwacji i inwentaryzacji zamków w ruinie*, (w:) *Zamki w ruinie – zasady postępowania konserwatorskiego*, (red.) B. Szmygin, P. Molski, Warszawa–Lublin, s. 147-158.

skaningu laserowego oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Opracowanie nieinwazyjnych, cyfrowych metod dokumentacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego”.⁷¹ Zasadnicze, kompleksowe pomiary naziemne realizowane były przy współpracy z zespołem fotogrametrów z Politechniki Warszawskiej.⁷² Również w 2012 r. z inicjatywy Urzędu Miasta Iłża rozpoczęto prace konserwatorsko-zabezpieczające zamek górny, które w pierwszej kolejności objęły trzy pomieszczenia południowego skrzydła. Poza omówionymi badaniami terenowymi ruiny zamku w Iłży, w odniesieniu do obiektu, prowadzone były przez lata liczne prace archiwalne, m.in. nad inwentaryzacją obiektu autorstwa Jakuba Lewickiego⁷³. Przekrojącą historię badań i prac konserwatorskich przy obiekcie ilustrują poniższa Tabela 2.

Data	Rodzaj badań	Osoby/Instytucje prowadzące badania
XIX w.	Inwentaryzacja architektoniczna	Towarzystwo Opieki nad Zabytkami
1910 r.	Prace konserwatorskie	O. Sosnowski
1911 r.	Inwentaryzacja architektoniczna	S. Majewski
Dwudziestolecie międzywojenne	Prace konserwatorskie	Brak danych
Lata 50. XX w.	Prace konserwatorskie	I. Galicka, K. Nawoik (PKZ)
1962 r.	Archeologiczno-architektoniczne (dziedziniec zamkowy)	Zakład Historii Architektury Politechniki Wrocławskiej
poł. lat 70. XX w.	Prace badawcze	Zespół Politechniki Świętokrzyskiej
1971– 72	Archeologiczno-architektoniczne (podzamcze)	Zakład Historii Architektury Politechniki Wrocławskiej
1973 r.	Analiza surowców skalnych użytych przy budowie zamku	E. i J. Fijałkowscy
1974 r.	Projekt terenowych schodów na wzgórze zamkowe po skłonie Góry Zamkowej od strony północnej;	Zakład Historii Architektury Politechniki Wrocławskiej
1976 r.	Projekt konserwacji ruin zamku i podzamcza w Iłży	S. Medeksza (Zakład Historii Architektury Politechniki Wrocławskiej)

⁷¹ Zapłata R., [w druku/a], *Zastosowanie fotogrametrii oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa archeologiczno-architektonicznego – zarys projektu na przykładzie ruin zamku w Iłży*, (w:) 4 tom serii „Cyfrowe spotkania z zabytkami”, red. A. Seidel-Grzebińska, K. Stanica-Brzezicka, Wrocław.

⁷² Zapłata R., Zawieska D., Markiewicz J., 2013, *Integracja danych naziemnego skaningu laserowego i obrazów cyfrowych w badaniach archeologiczno-architektonicznych*, [referat wygłoszony na międzynarodowej konferencji pt. „Measurement Technologies in Surveying”, 23-25 maja 2013 r.], Warszawa [wersja elektroniczna w archiwum UKSW]; Zawieska D., Andrzejewska E., Markiewicz J., Kowalczyk M., Ostrowski W., 2013, *Raport z wykonania skanowania naziemnego oraz cyfrowych zdjęć fotogrametrycznych ruin zamku w Iłży*, [archiwum UKSW], Warszawa.

⁷³ Lewicki J., 1997.

1976 r.	Archeologiczno-architektoniczne (podzamcze)	Zakład Historii Architektury Politechniki Wrocławskiej
1977 r.	Archeologiczno-architektoniczne (zamek dolny)	Zakład Historii Architektury Politechniki Wrocławskiej
1978 r.	Archeologiczno-architektoniczne (zamek górny i dolny)	Zakład Historii Architektury Politechniki Wrocławskiej
1990 – 1993	Prace związane z odgruzowaniem zamku górnego	
1993 r., 1995 r.	Projekt zabezpieczenia i adaptacji wieży zamkowej do potrzeb turystycznych z projektem zabezpieczenia ruin i ich zagospodarowania	J. Kadłuczko (Politechnika Krakowska)
1997 r.	Opracowanie programu ochrony i zagospodarowania zespołu zamkowego w Ilży (w ramach Programu MKiSz : „Ochrona i konserwacja architektury obronnej”)	Z. Chołuj, I. Głuszek
2003– 2004	Porządkowanie terenu zamku, odgruzowanie dziedzica, wzmocnienie murów obronnych	Urząd Miasta Ilży
2009 r.	Badania archeologiczne (zamek górny)	Z. Lechowicz
2010 r.	Projekt konserwacji i zabezpieczenia murów zamku górnego z adaptacją wnętrza na cele muzealne	J. Salm (Politechnika Łódzka)
2010 r.	Analiza surowców skalnych zamku w Ilży	M. Krystek
2010-2012 r.	Projekt badawczy dotyczący analizy lica murów m.in. zamku w Ilży Projekt badawczy N N527 205839	B. Klimek, M. Trochanowicz
2011 r.	Wizja lokalna (badania nieinwazyjne) oraz naziemne pomiary fotogrametryczne (naziemny skanowanie laserowy) – zamek górny	R. Zapłata (UKSW) – współpraca i wykonawca pomiarów M. Kędziński (WAT) wraz z zespołem WAT
2012 r.	Prace konserwatorsko-zabezpieczające – zamek górny w Ilży	Urząd Miasta Ilża
2012 r.	Lotnicze pomiary laserowe ruin zamku i wzgórza zamkowego (Ilża stan. 6). Projekt naukowy Nr 0037/FNiTP/H11/80/2011	R. Zapłata (UKSW) – wykonawca pomiarów Sp. z o. o. MGGP Aero
2012-2013 r.	Nieinwazyjne prace dokumentacyjne oraz naziemne pomiary fotogrametryczne (naziemny skanowanie laserowy) Projekt naukowy Nr 0037/FNiTP/H11/80/2011	R. Zapłata (UKSW) – współpraca: L. Kosiniak; M. Kędziński (WAT) z zespołem WAT; D. Zawieska (PW) z zespołem PW

Tab. 2. Zestawienie dotychczasowych działań i badań przy ruinach zamku w Ilży.
(Za Lewicka 2012, Kosiniak 2012, z uzup. R. Zapłata)⁷⁴

⁷⁴ Kosiniak L., 2012; Lewicka M., 2012; Lechowicz Z., 2011; Lewicki J., 1997.

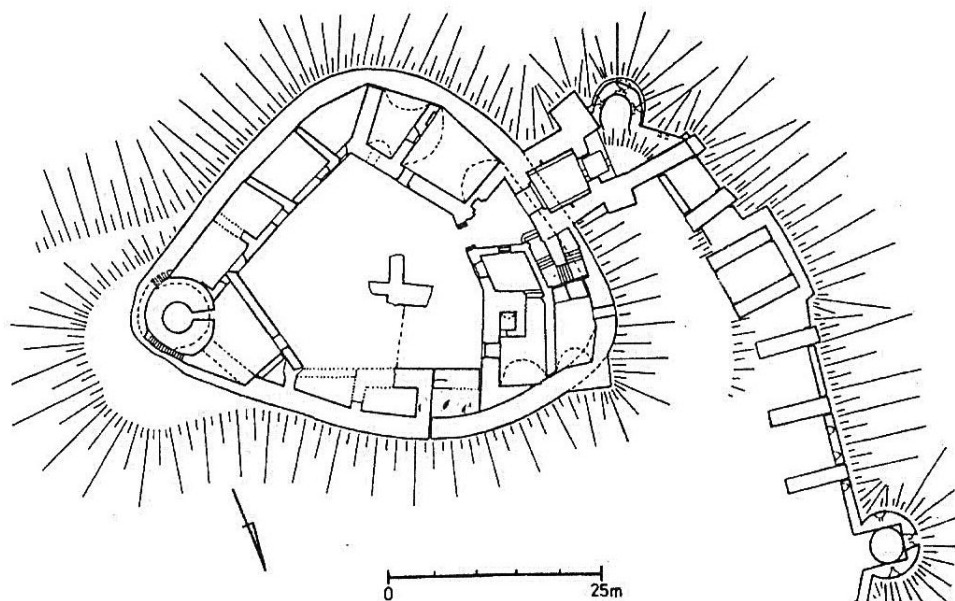
3.2.3. Stan obecny obiektu

Obecny stan zamku to relikty po historycznym założeniu, które składało się z dwóch zasadniczych elementów – zamku dolnego i zamku górnego. Pozostałości zamku górnego to przede wszystkim wieża na planie kołystym, która znajduje się we wschodniej części założenia oraz mur obwodowy, przebiegiem zbliżony do trójkąta, z zaokrąglonymi narożami. Wieża nie posiada obecnie zabytkowych poziomów użytkowych, a od jej nasady w części południowo-wschodniej biegnie mur obwodowy. Wzdłuż muru, od strony wewnętrznej, znajdują się pozostałości pomieszczeń (numeracja pomieszczeń w tekście wg ryc. 3.37), w których m.in. odkryto zachowanie *in situ* fragmenty płytek posadzkowych (pomieszczenie nr 2) oraz relikty studni z kamienną cembrowiną (pomieszczenie nr 3). Natomiast kolejne z pomieszczeń (nr 4), na planie zaokrąglonego trójkąta, obecnie stanowi miejsce przechowywania licznych fragmentów kamieniarki renesansowej z piaskowca. Otwory komunikacyjne w/w pomieszczeń posiadały częściowo zachowaną kamieniarke z piaskowca (stan na 2012 r.). Pozostałości wieży bramnej, zbudowane na planie czworoboku, znajdują się w części zachodniej zamku górnego. Wieża bramna w pierwotnej swej formie była poprzedzona mostem wspierającym się na filarach. Przypora północna jest silnie zniszczona, natomiast przypora południowa, będąca w lepszym stanie, ma nadal nieliczne oblicowania, znajdujące się przede wszystkim w partii górnej, wykonane z czworobocznych płyt kamiennych. Z dwóch poziomów użytkowych zamku górnego do dzisiaj zachował się w formie ruiny jeden, związany z pomieszczeniami parteru, przylegającymi dookoła do obwodu muru zamkowego. Większość pomieszczeń posiada plan czworokąta, w jednotraktowym układzie. Po południowej stronie wjazdu na zamek górny znajduje się zejście do dwóch piwnic sklepionych kolebkami, natomiast po stronie północnej wjazdu znajdują się szczątkowo zachowane mury oraz fragmenty klatki schodowej, prowadzącej pierwotnie na niezachowane obecnie piętro. Część wschodnia zamku górnego, prowadząca z dziedzińca, zawiera pozostałości zabudowy związane z dawnym przejściem do schodów na wieżę zamkową. Część południowa zamku górnego to pomieszczenie z otworem komunikacyjnym, wychodzącym na wjazd do zamku górnego, następnie pomieszczenia na planie czworokąta (tzw. skarbiec) oraz dwa pomieszczenia z silnie zdewastowanymi ścianami, częściowo zagruzowane.⁷⁵

Zamek dolny składa się z dobrze rozpoznawanymi (częściowo nadbudowanymi) trzema bastejami, połączonymi murami kurtynowymi. W części

⁷⁵ Kosiniak L., 2012, s. 10.

wschodniej podzamcza istnieje silnie zerodowany fragment przypory północnej bastionu bramnego (beluardy (?)). Kolejnym zachowanym i wyeksponowanym elementem zamku dolnego jest kamienna, sklepiona piwnica. Część północno-zachodnią dziedzińca zamku dolnego charakteryzują nadbudowane fragmenty zabudowań gospodarczych. Zasadnicze surowce wykorzystane przy budowie oraz licznych przebudowach i odbudowach zamku to wapień, piaskowiec oraz cegła.⁷⁶ Opisane wcześniej liczne elementy zamku w znacznym stopniu nie przetrwały do dzisiaj lub też nie są eksponowane na powierzchni terenu, pozostając poza zakresem analitycznym w ramach poniższej pracy.



Ryc. 3.14. Iłża, zamek wysoki, plan (za Lewicki 1997)

Integralna część założenia to wspomniane wzgórze, na którym został wzniesiony zamek wraz z dobrze zachowanymi elementami ukształtowanymi przez działania modyfikujące naturalne wzniesienie, w tym fosę odcinającą zamek górny od dolnego. Niepokojący jest stan zboczy wzniesienia, na których widoczne są postępujące procesy erozyjno-osuwiskowe, stanowiące realne zagrożenie dla zabytku, jak i współczesnej zabudowy znajdującej się u podnóża wzniesienia. Stan obiektu pogarszają postępujące procesy

⁷⁶ Kosiniak L., 2012, s. 11-12.

destrukcyjne, które najogólniej dotyczą: ubytków wynikających z procesów mechanicznych, fizyko-chemicznych oraz zmiany wynikające z rozwoju mikroorganizmów. Znaczące dla niszczenia obiektu są m.in. postępujące zmiany substancji zabytkowej, związane z rozwojem mikroorganizmów, czynnikami mechanicznymi, solami rozpuszczalnymi w wodzie, zmianami temperatury czy rozwojem porostów i roślinności. Tak zachowany obiekt stanowi również przedmiot analiz w oparciu o skanowanie laserowe.

Wśród widocznych na podstawie wizji lokalnej i dokumentacji obiektu, możemy wyróżnić kilka zasadniczych rodzajów niedogodności inwentaryzacyjnych oraz zniszczeń:

1) silne zniszczenia substancji zabytkowej, powstałe w wyniku procesów naturalnych: pęknięcia, szczeliny, rozwarstwienia, spęcherzenia, odpryski, wykruszenia, odspojenia tynków, rozmycia powierzchni, rozluźnienia spinowań, osypywanie, odpadanie nawarstwień oraz ubytki i mechaniczne uszkodzenia elementów murów oraz sklepień piwnic zamku górnego;

2) „zniekształcenia” powstałe w wyniku prac zabezpieczających, prowadzonych bez konsultacji z konserwatorem (współczesna zaprawa, klej Atlas itp., np. zniekształcony przebieg muru północnego zamku górnego / elewacja N);

3) zniszczenia powstałe w wyniku aktów wandalizmu i celowej dewastacji niektórych fragmentów, dotyczy to zwłaszcza piwnic na zamku górnym, czego śladem jest okopcenie sklepień piwnicznych powstałe najprawdopodobniej w wyniku rozpalania ognisk wewnątrz pomieszczeń;

4) występowanie roślinności (samosiewnej), która znajduje się przede wszystkim na murach oraz dziedzińcu zamku, wpływając destrukcyjnie na ruin (np. rozsadzanie przez ukorzenie roślin substancji zabytkowej – murów i fundamentów – np. elementy związane z bramą wjazdową na zamek górny), natomiast na wzgórzu zamkowym, zwłaszcza stoku S, roślinność stanowi istotny element zabezpieczający obiekt, a przede wszystkim stok wzniesienia przed procesami spływowymi, jak również stanowi czynnik destrukcyjnie wpływający na warstwy przyległe do obiektu – mury zamku w części NW (okolice tzw. „okna biskupiego”);

5) niedostępność – z uwagi na zasypianie – pomieszczeń podziemnych, stanowiących integralną część zabudowy zamku (np. basteja N);

6) zagruzowanie oraz zaśmiecenie obiektu, zwłaszcza zamku górnego, poza wieżą zamkową – zagruzowanie pomieszczeń, dziedzińca zamku, pomieszczeń piwnicznych oraz stoku wzniesienia od strony S i SE. Wynika ono przede wszystkim z postępujących procesów destrukcji substancji zabytkowej oraz współczesnych czynników antropogenicznych (np. fosa / część N wzniesienia);

7) niekorzystna sytuacja związana z brakiem kontrolowanego odpływu wód deszczowych z dziedzińca zamku górnego, którą nasilają procesy destrukcji murów i opadający drobny gruz, gromadzący się przy ścianach oraz wewnątrz zabytkowej zabudowy;

8) wilgoć występująca przede wszystkim w partiach przyziemia⁷⁷.

Stan obiektu, funkcjonujące w literaturze przedmiotu postulaty badawcze⁷⁸ oraz dotychczasowa dokumentacja, stanowiły impuls do podjęcia działań na rzecz nieinwazyjnego pomiaru obiektu, celem uzyskania dokładnej dokumentacji ruiny zamku. Zwłaszcza stan obiektu wymagający natychmiastowych działań zabezpieczających był punktem wyjścia dla zaplanowanych pomiarów naziemnych, a zarazem dodatkowej analizy substancji zabytkowej. Kolejnym impulsem dla podjętych działań były i są obecne prace konserwatorsko-zabezpieczające, które prowadzą do zmian – nadbudowy korony murów. W związku z tym wydało się konieczne dokonanie rejestracji geometrii i stanu obiektu przed podjęciem prac ingerujących w substancję zabytkową, celem udokumentowania i zarchiwizowania zabytkowej formy. Dodatkowym impulsem do wykonania całościowego pomiaru obiektu był brak dokładnej, jednolitej i zespolonej dokumentacji. Podjęte pomiary laserowe stanowią również krok w stronę niestandardowych badań i analiz zabytku architektury murowanej, opartych na cyfrowych replikach obiektów, co też otwiera nowy rozdział w historii badań ruiny zamku w Iłży. Rezultat pomiarów geometrii obiektu to m.in. podstawa w lokalizacji ubytków oraz zniszczeń substancji zabytkowej.

3.3. Naziemne pomiary laserowe ruiny zamku w Iłży

Wykonanie naziemnych pomiarów laserowych ruiny zamku w Iłży wiąże się z kilkoma stawianymi celami zaplanowanych działań naukowo-badawczych, w ramach których substancja zabytkowa stanowiła swego rodzaju pole testowe w zakresie (1) opracowania metodyki postępowania

⁷⁷ Zapłata R., 2012a, *Sprawozdanie „Badania nieinwazyjne z zastosowaniem metod fotogrametrycznych i teledetekcyjnych – zamek w Iłży”*, Iłża/Warszawa [mps w archiwum MWKZ – Radom]; Zapłata R., (marzec) 2013 r., *Sprawozdanie cząstkowe z prac wykonanych w 2012 r. w ramach projektu naukowego pt. „Zastosowanie skaningu laserowego oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Opracowanie nieinwazyjnych, cyfrowych metod dokumentacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego”*. Weryfikacyjne badania powierzchniowe na obszarach AZP: AZP: 78-67, 78-68, 78-69; 79-67, 79-68, 79-69; 80-68, 80-69, Warszawa [mps w archiwum WUOZ oraz UKSW]; J. Salm, *Ruiny zamku w Iłży – uwagi do pomiarów*, 2012, (maszynopis w archiwum UKSW); Zapłata R., [w druku/b], *Wybrane zagadnienia skanowania naziemnego architektury zabytkowej – przykład ruiny zamku w Iłży*, „Radomskie Studia Humanistyczne”, z. 1.

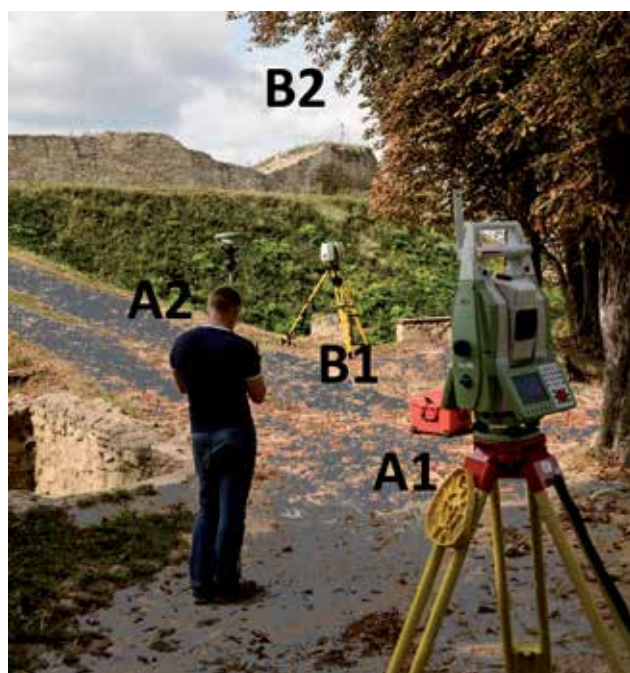
⁷⁸ Lewicki J., 1997.

badawczo-dokumentacyjnego, jak również w zakresie (2) przeanalizowania potencjału oraz użyteczności TLS w pracach przy obiektach architektury murowanej (w stanie ruiny). Równorzędnym powodem podjęcia działań nieinwazyjnych było (3) dookreślanie stanu obiektu (niestandardowa segmentacja i diagnostyka substancji zabytkowej), a także (4) utworzenie cyfrowej dokumentacji i repliki zabytkowego obiektu, wraz z jego kontekstem (wzgórzem zamkowym). Najefektywniejszym rozwiązaniem dla zaplanowanych działań było zastosowanie nieinwazyjnych metod pomiaru – skanowania laserowego z pułapu naziemnego oraz lotniczego, przy uzupełniających działaniach ze strony fotogrametrii bliskiego zasięgu czy skanowania optycznego (metod niewchodzących w zakres poniższego opracowania), a także zastosowaniu zdjęć lotniczych, obrazowań satelitarnych i innych danych teledetekcyjnych. Określone na etapie przygotowań do pomiarów terenowych i sygnalizowane powyżej podstawowe zadania zaplanowanych prac obejmowały rejestrację laserową, mającą stanowić podstawę do: (1) analizy, segmentacji i klasyfikacji powierzchni zabytkowych; (2) detekcji i dokumentacji zniszczeń zabytku; (3) analiz pomiarowych oraz morfologicznych; (4) monitorowania zmian zachodzących na powierzchni zabytkowej oraz zmian geometrii obiektów (deformacje konstrukcji, stabilność obiektów); (5) modelowania przestrzennego. Opracowanie zagadnień dotyczących metodyki badawczej ukierunkowanej w stronę analizy stratygraficznej, uwzględniało również powierzchnie mogące stanowić potencjalny przedmiot pomiarów podczas prac archeologiczno-architektonicznych (archeologicznych), które dla potrzeb badań zostały wykonane *in situ* oraz w oparciu o przygotowane próbki osadów nieskonsolidowanych. Z uwagi na niezachowane drewniane fragmenty zamku, które stanowiły integralną część obiektu, w charakterze pomiarów uzupełniających, przeprowadzono eksperymenty na powierzchniach drewnianych, celem ukazania możliwości i potencjału TLS w pracach przy elementach (powierzchniach) drewnianych tego typu obiektów.

3.3.1. Zagadnienia metodyczne i parametry pomiarów – ogólna charakterystyka

Główne pomiary TLS wykonano w warunkach terenowych na substancji zabytkowej, którą jest ruina zamku w Iłży. Omówiony powyżej zabytek architektury murowanej, to obiekt o zróżnicowanym stanie zachowania powierzchniowego. Pomiary zasadnicze wykonał zespół specjalistów z Politechniki Warszawskiej, natomiast pomiary uzupełniające oraz testowe wykonano przy współpracy specjalistów z Leica Geosystems. Ze względu

na obszerny zakres pracy, w poniższej publikacji prezentowane są wybrane zagadnienia przeprowadzonych pomiarów terenowych, w celu omówienia zasadniczych aspektów naziemnego skanowania laserowego obiektu, wraz z charakterystyką i analizą parametru intensywności odbicia wiązki lasera w kontekście badań architektonicznych, archeologiczno-architektonicznych czy konserwatorskich.⁷⁹



Ryc. 3.15. Iłża, ruina zamku. Przykładowe rozmieszczenie urządzeń oraz elementów pomiarowych podczas prac terenowych.

A – pomiary referencyjne:
 (1) tachimetr Leica TS09 plus,
 (2) instrumenty pomiarowe GPS/GNSS Leica VIVA GS12
 oraz B – pomiary laserowe
 (1) skaner naziemny Leica HDS ScanStation C10, w tle
 (1) jedna z tarcz HDS (sprzęt Leica Geosystems / fot. R. Zapłata)

W ramach przeprowadzonych prac terenowych wykonano pomiary substancji zabytkowej oraz prób testowych materiałów spojonych i niespojonych wg następującego schematu: I – etap organizacyjny; II – etap prac terenowych – pomiarowych; III etap – przetworzenie, analiza i interpretacja danych przestrzennych, w tym obrazów intensywności odbicia wiązki lasera. Wykonywane naziemne pomiary laserowe miały przede wszystkim na celu: (1) przestrzenną rejestrację geometrii obiektu oraz (2) rejestrację intensywności odbicia wiązki lasera. Pomiar geometrii obiektu odniesiono głównie do zabytkowego obiektu architektury murowanej⁸⁰, nato-

⁷⁹ Szczegółowe opracowanie przebiegu prac terenowych, wyników pomiarów oraz dokumentacja będą przedmiotem odrębnej publikacji.

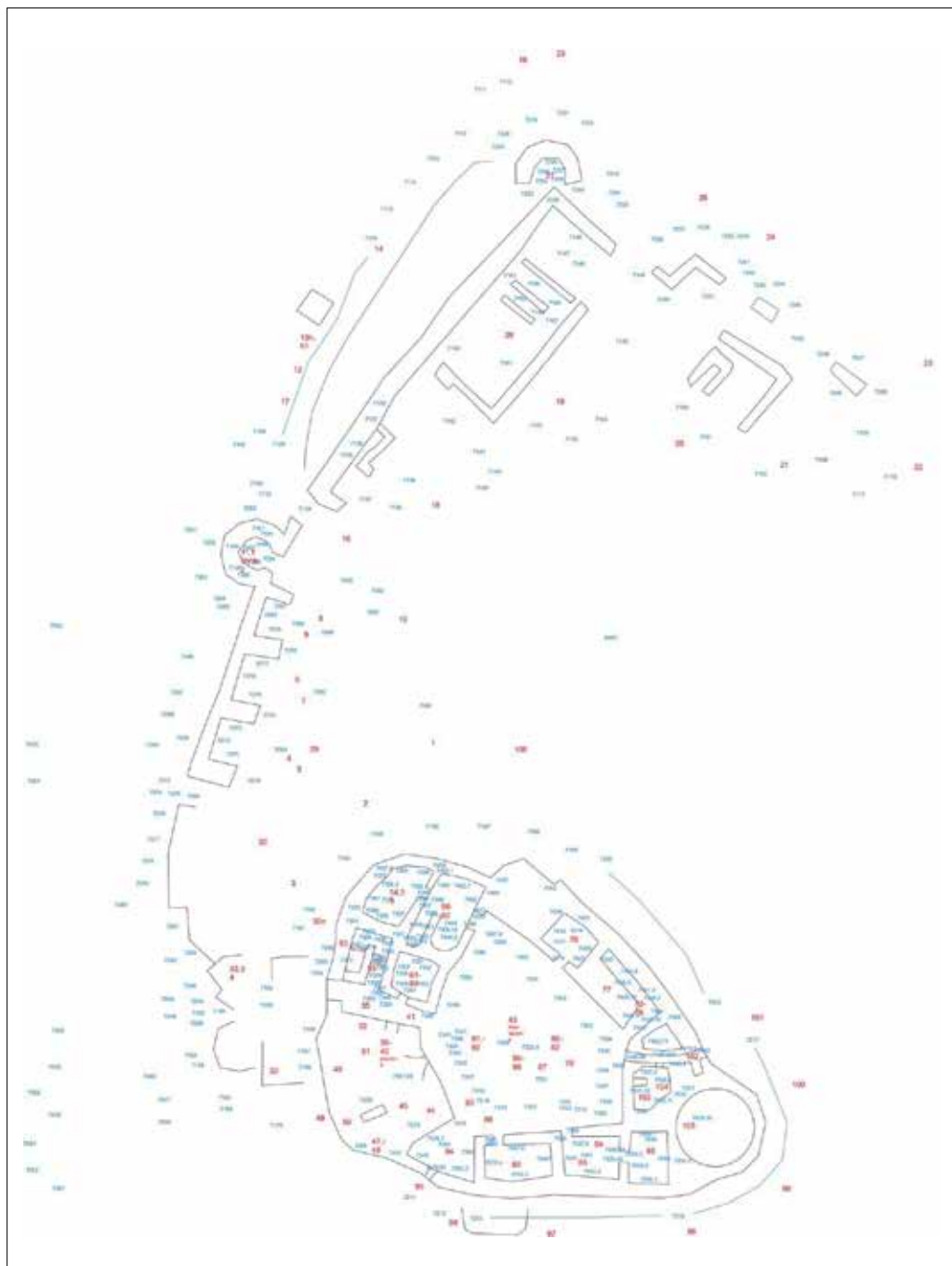
⁸⁰ Specyfikacja techniczna skanera Z+F Imager 5006 (za: <http://www.zf-laser.com/>; Pudło 2008; Wawro 2011) – ANEKS

miast pomiar intensywności odbicia wiązki lasera odniesiono zarówno do ruiny zamku w Iłży, a także do przykładowego profilu oraz do prób testowych materiałów zwięzłych i luźnych dla wykazania przydatności i potencjału rejestracji odbicia wiązki lasera. Pomiary próbek osadów oraz fragmentów skał wykonano w (zbliżonych) jednolitych warunkach terenowych (odległość, kąt pomiaru oraz warunki atmosferyczne). W pierwszej kolejności przygotowano próby i wykonano pomiar, następnie dokonano przetworzenia danych i analizy wyników pomiarów. Pomiary substancji zabytkowej oraz prób testowych wykonano dwoma rodzajami skanerów – urządzeniem impulsowym Leica ScanStation C10 oraz fazowym Zoller+Fröhlich Imager 5006h. Pomiar większej części obiektu wykonano naziemnym skanerem laserowym Zoller+Fröhlich Imager 5006h (produkowany od 2010 r.), należącym do instrumentów fazowych (typu LIDAR) o niewielkim zasięgu (maksymalnie 79 m) i wysokiej dokładności pomiaru, rzędu 1 mm na odległości 50 m. Prędkość skanowania to 500 000 punktów na sekundę. Światło lasera widoczne o kolorze czerwonym, z klasą bezpieczeństwa IIIR (szczegółowa specyfikacja techniczna urządzenia – Aneks)⁸¹. Pomiary ruiny zamku wykonano z ponad 100 stanowisk.

Pomiar muru zewnętrznego zamku dolnego, wraz z elewacjami murów filarów fragmentów bramy oraz bastei południowej, od strony W, a także wieży zamkowej wykonano skanerem impulsowym Leica ScanStation C10 (szczegółowa specyfikacja techniczna urządzenia – Aneks).⁸² Pomiary wymienionych elementów zamku w Iłży wykonywano z kilku stanowisk, w odległości ok. kilkudziesięciu metrów, a nawet przekraczającej 100 m. Pomiary testowe próbek materiałów (spojonych i nieskonsolidowanych) wykonano w/w urządzeniem w takich samych warunkach, jak pomiary skanerem Zoller+Fröhlich Imager 5006h. Elementem uzupełniającym budowany system informacji przestrzennej dla zabytkowego założenia stały się również takie dane, jak zdjęcia fotogrametryczne wykonane m.in. kamerą cyfrową Canon 5D, czy zdjęcia w bliskiej podczerwieni wykonane kamerą Hasselblad H4D50. Dane te stanowią materiał weryfikujący np. zróżnicowanie tonalne obrazów intensywności odbicia wiązki lasera, a zarazem są elementem dokumentujący stan zachowania zabytku.

⁸¹ Wawro K., 2011, *Inwentaryzacja architektoniczna ołtarza w kościele św. Idziego w Krakowie na podstawie danych z naziemnego skaningu laserowego*, Kraków [praca dyplomowa – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie] – http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/WebHome/praca_mgr_Wawro.pdf; Dubik P., 2010, *Inwentaryzacja 3D zespołu obiektów zabytkowych na podstawie danych ze skaningu laserowego*, Kraków [praca dyplomowa – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie] – http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/WebHome/PRACA_MAGISTERSKA.pdf

⁸² Pomiary wykonano w ramach prezentacji sprzętu przez firmę Leica Geosystems.



Ryc. 3.16. Ilża, stan. 6 – ruina zamku Biskupów Krakowskich. Szkic rozmieszczenia głównych stanowisk skanera Z+F (kolor czerwony) oraz podstawowych stanowisk wykonania zdjęć fotogrametrycznych (niebieski) (za Zawieska et al., 2013)

Ze względu na utrudniony dostęp do niektórych elementów konstrukcji, pomiary wykonywano dwoma różnymi w/w urządzeniami, co pozwoliło wyeliminować stosowanie i konstruowanie rusztowań oraz platform – sytuacja dotyczyła m.in. stromych zboczy wzgórza zamkowego, a także elementów wysokich, takich jak wieża zamkowa. Z uwagi na pokrycie powierzchni obiektu współczesnymi tynkami oraz przy założeniu, że prace mają charakter nieinwazyjny (bez dokonywania odkrywek i innych zabiegów inwazyjnych), pomiar TLS nie mógł być wykonany dla wszystkich powierzchni zabytkowych.

Wymiernym rezultatem wyżej opisanych działań jest zadokumentowana w terenie geometria obiektu, a także rejestracja intensywności odbicia promienia laserowego od powierzchni ruiny zamku w Iłży. Kolejny rezultat to tworzenie systemu inwentaryzacyjnego (systemu informacji przestrzennej ruiny zamku w Iłży) opartego na dokładnym pomiarze przestrzennym, umożliwiającym integrację różnoczasowych danych, pochodzących z różnych źródeł oraz ich korelację i analizę w jednym zwartym systemie, np. obrazowa analiza rezultatów pomiaru intensywności odbicia wiązki lasera z wynikami rejestracji w bliskiej podczerwieni.

Integralną częścią wyżej opisanego systemu dokumentacji i analizy ruiny zamku w Iłży, w oparciu dane TLS, mogą być nieinwazyjne badania uzupełniające – weryfikujące jednocześnie wykonywane pomiary (np. intensywności odbicia wiązki lasera), do których należy zaliczyć m.in.: (1) zdjęcia fotogrametryczne (m.in. pozyskanie uzupełniającej wartości RGB); (2) obrazy cyfrowe w bliskiej podczerwieni; (3) pomiary mikroskopowe; (4) pomiary spektrodensytometryczne (spektrodensytometrem / kolorymetrem elektronicznym); (5) termogramy; (6) pomiary światłem strukturalnym; (7) pomiary wilgotności, a także obserwacje w zakresie: mykologii, lichenologii, destrukcji mechanicznej, destrukcji fizyko-chemicznej i charakterystyki makroskopowej substancji zabytkowej.

3.3.2. Intensywność odbicia wiązki lasera a ruina zamku w Iłży

Pomiary intensywności wykonano bezpośrednio na substancji zabytkowej, a także na przygotowanych próbach testowych, np. surowcach używanych w budownictwie, a odnotowywanych w licznych obiektach zabytkowych (prezentacja pomiarów dla różnych odmian granitu – czytaj dalej), a także takich, które stanowiły materiał luźny, nieskonsolidowany, niezawierający spoiwa (np. spalenizna, piasek) lub też materiał zbliżony cechami fizycznymi do jednostek stratyfikacji, odnotowywanych podczas badań archeologiczno-architektonicznych (np. glina) oraz materiał wymieszany (np. spalenizna-piasek, gruz-glina, próchnica ze szczątkami roślinnymi).

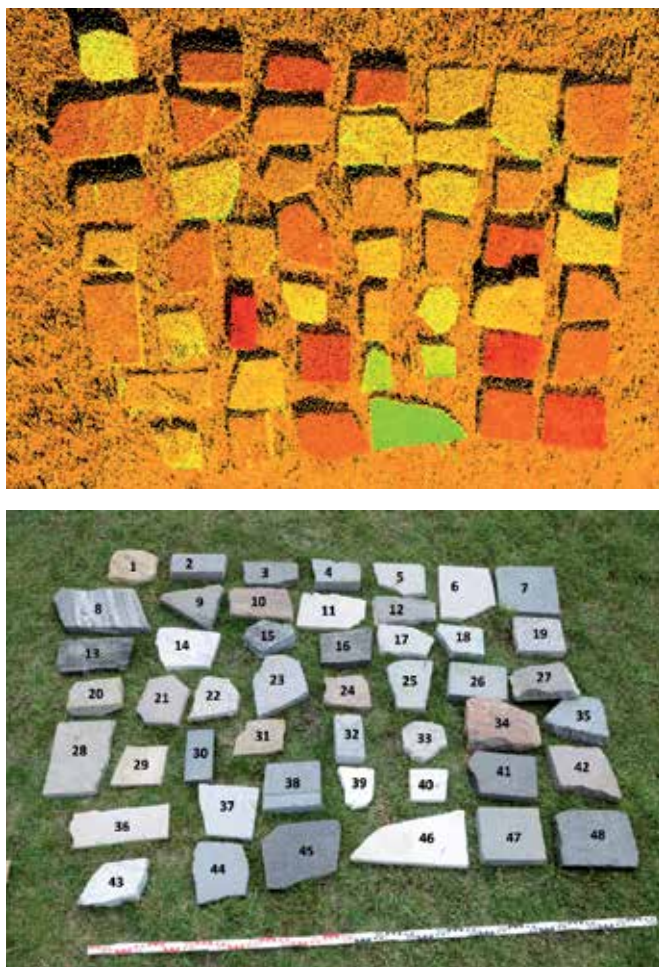
Celem pomiarów było przede wszystkim określenie możliwości przydatności metody w analizie segmentacji i detekcji zróżnicowania powierzchniowego substancji zabytkowych oraz potencjalnych profili stratygraficznych.

Pomiary i porównania wykonano w dwóch zasadniczych etapach – (1) pomiar prób testowych oraz (2) pomiar *in situ* (zabytkowe mury oraz profil – przekrój stoku u podnóża zamku górnego). Pomiary prób testowych wykonano z rozróżnieniem na jednostki luźne (nieskonsolidowane) oraz zwarte (skonsolidowane). Pomiary powierzchni testowych wykonywano przy zróżnicowanych warunkach, np. wilgotnościowych, w celu wykazania wpływu warunków na wynik pomiaru dla określonych powierzchni. Porównania wyników pomiarów powierzchni zabytkowych *in situ* dokonywano poprzez zestawienie pomiaru powierzchni „czystych” (np. niezanieczyszczonych mikroorganizmami) z powierzchniami „zanieczyszczonymi” (np. cegła – zasolenie, wapień – ubytki, spękania, piaskowiec – mikroorganizmy). Wykonano również pomiar testowy jednostek stratyfikacji (w/w w profil) *in situ*, które były odsłonięte na stan. 6 – na terenie wzgórza zamku w Iłży. Pomiar powierzchni drewnianych wykonano na przygotowanych próbach kilku gatunków drewna oraz na powierzchni przykładowego budynku drewnianego. Przebieg i wyniki pomiarów przedstawia poniższe zestawienie z podziałem na serie, które mają charakter porządkujący.

I seria pomiarów – próbki granitu

Pomiary prób testowych wykonano dla materiałów skonsolidowanych – granitu (łącznie ponad 40 próbek), przy zróżnicowanej powierzchni: (1) pomiar powierzchni suchej / chropowatej / pofałdowanej, (2) pomiar powierzchni mokrej / chropowatej / pofałdowanej, (3) pomiar powierzchni suchej / matowej / płaskiej, (4) pomiar powierzchni mokrej / matowej / płaskiej, (5) pomiar powierzchni suchej / wypolerowanej / płaskiej, (6) pomiar powierzchni mokrej / wypolerowanej / płaskiej. W wyniku przeprowadzonych pomiarów TLS uzyskano dane, wykazujące zróżnicowanie kontrastowe dla powierzchni mierzonych w zakresie intensywności odbicia wiązki lasera, które przede wszystkim należy wiązać z barwą. Poza tym zanotowano zróżnicowanie wartości tych samych odmian granitu dla powierzchni wilgotnej i suchej, zarówno dla powierzchni matowej oraz wypolerowanej. Dodatkowo wykazano, że w odniesieniu do niektórych odmian granitu (z silnie zróżnicowaną teksturą i barwą) laser generuje zróżnicowany pomiar intensywności, wynikający z kolorystycznego zróżnicowania przestrzennego składników w skale. Różnica intensywności odbicia wiązki lasera została wykazana również dla wspomnianych, zróżnicowanych powierzchni poszczególnych odmian granitu – (1) powierzchnia

naturalna – nieobrobiona (powierzchnia matowa) oraz (2) powierzchnia wypolerowana (powierzchnia obrobiona), przy tych samych warunkach wilgotności. Wyniki pomiarów oraz przykłady z literatury (szerzej rozdział 2) przedmiotu potwierdziły tym samym przydatność i skuteczność (w określonym zakresie) rejestracji omawianego parametru dla materiałów skonolidowanych.



Ryc. 3.17. Obraz intensywności odbicia powracającej wiązki lasera dla różnorodnych odmian granitu – pomiar skanerem impulsowym Leica ScanStation C10 / opracowanie w oprogramowaniu Cyclone). Wysoki współczynnik odbicia – próbka nr 46, niski współczynnik odbicia próbka nr 30⁸³ (fot. R. Zapłata)

⁸³ Skala barwna odzwierciedlająca wartości odbicia dla ilustracji kolorowych w pracy – od jasno zielonej (wysoka wartość odbicia wiązki lasera), przez żółty, pomarańczowy, do ciemno czerwonej (niska wartość odbicia wiązki lasera).

II seria pomiarów – powierzchnia zabytkowa

Zasadnicze pomiary intensywności odbicia wiązki lasera zostały wykonane w następnej kolejności na powierzchniach zabytkowych ruiny zamku w Ilży. Pozostałości murów omawianego obiektu, to przede wszystkim zniszczony budulec, który stanowi: wapień (m.in. oolit; wapień biodetrytyczny), muszlowiec (m.in. muszlowiec drobnodetrytyczny;), piaskowiec (m.in. piaskowiec droбноziarnisty – szydlowiecki)⁸⁴, cegła, zaprawa murarska, spoinująca oraz fragmentarycznie zachowane tynki, jak również warstwy kulturowe (odpowiadające powierzchni użytkowej obiektu, np.



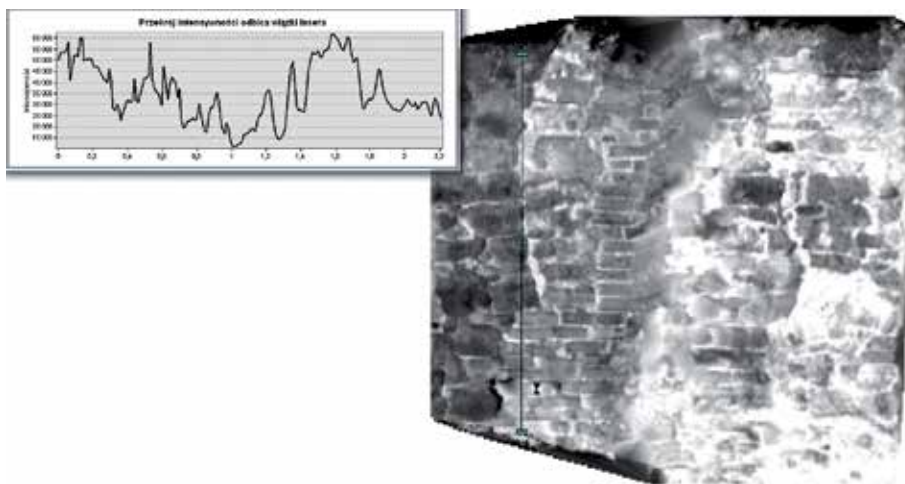
Ryc. 3.18. Ilża, ruina zamku górnego. Przykładowe fragmenty lica muru z wyraźnymi powierzchniowymi ubytkami substancji zabytkowej (po lewej) wieża zamkowa – zwietrzały wapień (muszlowiec) i wymyte spoinowania, (po prawej) lico muru jednej z komnat zamkowych – zwietrzały piaskowiec droбноziarnisty (fot. R. Zapłata)

⁸⁴ Fijałkowska E., Fijałkowski J., 1973; Krystek M., 2011; Złonkiewicz Z., 2013, *Wstępna charakterystyka petrograficzna wybranych surowców skalnych ruin zamku w Ilży*, Kielce [maszynopis w archiwum UKSW].

dziedziniec zamku górnego wraz z kamiennym brukiem czy fragmentarycznie zachowana posadzka spoinowa, ceramiczna oraz inne posadzki kamienno-ceglane piwnic zamkowych).

Rejestrację intensywności odbicia wiązki lasera dokonano dla wyeksponowanej powierzchni zabytkowej (poza pomiarem znalazły się niektóre, trudnodostępne, a także nieodgruzowane fragmenty obiektu, jak również przebudowane współcześnie lica murów). Pomiar intensywności odbicia objął tym samym zabytkowy surowiec, który: (1) nie wykazuje znacznych zmian powierzchniowych związanych z działalnością mikroorganizmów, związków chemicznych czy naturalnych procesów niszczących (np. rozmarzanie, zawilgocenie, wietrzenie itp.); (2) wykazuje efekty silnego procesu zwietrzenia i mechanicznej destrukcji; (3) wykazuje efekty zawilgocenia bez powierzchniowych nawarstwień powstałych w związku z zawilgoceniem; (4) wykazuje efekty działania mikroorganizmów, w postaci napowierzchniowych warstw; (5) wykazuje efekty zachodzących reakcji chemicznych, w postaci napowierzchniowych zmian; (6) wykazuje efekty niszczenia i pokrywania powierzchni zabytkowych warstwami wtórnymi, w wyniku działalności człowieka.

Rezultat pomiarów stanowi m.in. zestawienie kontrastów – obrazów intensywności w skali szarości. Obrazy intensywności (kontrast intensywności w skali barwnej oraz skali szarości) analizowano w odniesieniu do



Ryc. 3.19. Iłża, ruina zamku górnego. Przykładowy obraz intensywności odbicia wiązki lasera – kontrast w skali szarości. Skala szarości odzwierciedlająca wartości odbicia dla ilustracji niekolorowych w pracy – odcienie jasne (wysoka wartość odbicia wiązki lasera), odcienie ciemnoszare (niska wartość odbicia wiązki lasera) (oprac. Politechnika Warszawska)



Ryc. 3.20. Ilża, fragment ruin zamku górnego. Ortofoto powierzchni ściany N pomieszczenia nr I (wg lustracji z 1644 r.) na bazie pomiaru naziemnym skanerem laserowym (fazowym). Obraz intensywności odbicia wiązki lasera w skali szarości m.in. z zaznaczonymi wykwitami soli (dolne zakreślenie) oraz słabo rozpoznawalnymi fragmentami muru (górne zakreślenie) – zaprawa oraz wapień. Stan na 2013 r. (oprac. Politechnika Warszawska)



Ryc. 3.21. Ilża, fragment ruin zamku górnego. Zdjęcie cyfrowe powierzchni ściany N pomieszczenia nr I (wg lustracji z 1644 r.) – skala szarości. Stan na 2013 r. (porównaj ryc. 3.20). (fot. Politechnika Warszawska)



Ryc. 3.22. Ilża, fragment ruin zamku górnego. Zdjęcie cyfrowe powierzchni ściany N pomieszczenia nr I (wg lustracji z 1644 r.) – RGB. Stan na 2013 r.. (fot. Politechnika Warszawska)

poszczególnych stanowisk pomiarowych i poszczególnych powierzchni mierzonych, których rejestracja spełniała następujące warunki: jednolita (zblizona) sytuacja odległościowo-kątowa i natężeniowa wykonywanego pomiaru; taka sama (zblizona) temperatura wykonywania pomiaru. Podczas analiz i porównań dokonano tzw. kontekstowego rozpoznania zróżnicowania powierzchni, polegającego w pierwszej kolejności na detekcji różnic sąsiadujących ze sobą powierzchni. W kolejnym etapie dokonano detekcji różnic tych samych materiałów na bazie wartości intensywności odbicia wiązki lasera, wykazując powierzchniowe i/lub (prawdopodobne) wewnętrzne zmiany, jakie charakteryzują poszczególne surowce.

W wyniku postępowania analitycznego i interpretacyjnego (1) wykazano i zadokumentowano zróżnicowanie powierzchniowe obiektu, a więc dokonano uzupełniającej segmentacji powierzchni, posługując się omawianą metodą (przykład – ryc. 3.20). W wyniku pomiarów powierzchni zabytkowych dokonano rejestracji różnic intensywności odbicia wiązki lasera, powierzchni „pozornie” jednolitych, które dla przykładu wykazują mniej wyraźne zróżnicowanie rejestrowane na podstawie fotografii, a także odnotowano małe zróżnicowanie barwne (tonalne) powierzchni tych samych surowców zabytkowych, jak cegła, natomiast odmienne zróżnicowanie w odniesieniu do intensywności odbicia wiązki lasera. Istotne wydaje się również zróżnicowanie rejestrowanej intensywności odbicia lasera wynikające z różnic powierzchniowych, w formie ubytków, spękań, a więc charakteryzujących się nierówną powierzchnią, których rejestracja nie jest możliwa w takim stopniu przy zastosowaniu dokumentacji fotograficznej.

W zakresie analizy parametrów i warunków pomiaru wartości intensywności odbicia wiązki lasera (dla powierzchni zabytkowych ruin zamku w Iłży) (2) wykazano, że mimo nieznacznej zmiany kątów pomiaru oraz odległości (przedział od kilku do kilkunastu metrów) dla takich materiałów jak cegła, wapień czy piaskowiec rejestrowane jest podobne zróżnicowanie, co wyraża się m.in. w widocznym kontraście.⁸⁵ Analiza kontrastowego odróżniania surowca (przy zróżnicowanym kącie pomiaru) wymaga dodatkowych badań i analiz, jednak na podstawie wykonanych pomiarów można stwierdzić, że taka rejestracja daje pozytywne rezultaty i może stanowić element uzupełniającej identyfikacji i klasyfikacji zróżnicowania powierzchniowego zabytku. Odmienne wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla tego samego surowca (np. cegły) przy innych warunkach wilgotnościowych

⁸⁵ Na ten temat również Warchol A., 2012, *Analiza przestrzennego rozkładu współczynnika intensywności odbicia jako wstęp do jego normalizacji*, „Zeszyty Naukowe politechniki Rzeszowskiej”. Budownictwo i Inżynieria Środowiska”, z. 59 (1/12/II), Nr 283, s. 367-373.

są bardzo wyraźne – obserwujemy niską rejestrację wartości dla cegły zawilgoconej. Potwierdzono również, że pomiary z większych odległości (tym samym urządzeniem, przy tej samej długości fali) np. z ponad 100 m, znacząco wpływają na rejestrację omawianego parametru, tracąc w pewnym sensie potencjał analityczno-dokumentacyjny (ryc. 3.23).



Ryc. 3.23. Iłża – ruina zamku. Rejestracja intensywności odbicia wiązki lasera dla powierzchni wieży zamkowej. Skaner Leica P10 (1 – po lewej) odległość ok. 30 m, (3 – środek) wieża zamkowa widok od NW (podobnie jak skany), (3 – po prawej) odległość skanowania ponad 100 m (poza zasięgiem dla skanera fazowego Z+F). Z bliższej odległości rejestrowane wyraźne różnice dla nieotynkowanego piaskowca w górnych partiach wieży (pomiar Leica Geosystems / oprac. R. Zapłata)

Kolejny wniosek odnosi się do zróżnicowania substancji wewnętrznie jednolitej (pod względem struktury, np. cegła), ale zróżnicowanej ze względu na pokrycie jej powierzchni, powstałe m.in. w wyniku procesów niszczących substancję zabytkową oraz silnego zawilgocenia. (3) Wykazano, że wartość intensywności odbicia wiązki lasera jest zróżnicowana dla wymienionych sytuacji, umożliwiając klasyfikację jednorodnego surowca pod względem zmian, jakie zachodzą w wyniku działania mikroorganizmów czy procesów fizyko-chemicznych (np. zasolenia⁸⁶). W wyniku pomiaru zarejestrowano i potwierdzono m. in. cegły o wyższym stopniu zawilgocenia (ciemniejszy odcień – ryc. 3.24). W sytuacji analiz i obserwacji powierzchniowych

⁸⁶ Jasieńko J., Matkowski Z., 2003, *Zasolenie i zawilgocenie murów ceglanych w obiektach zabytkowych – diagnostyka, metodyka badań, techniki rehabilitacji*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 14/2003, s. 43-48.

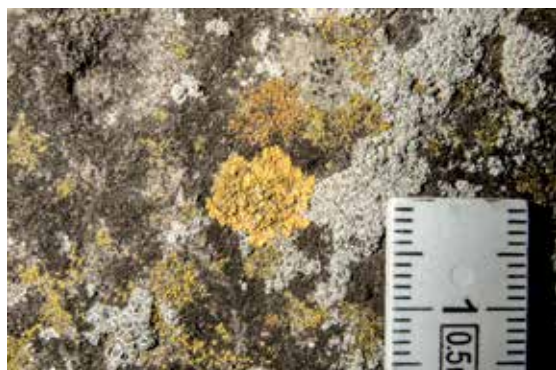
objawów niszczenia substancji zabytkowej na bazie parametru intensywności, istnieje oczywiście ograniczenie, które uniemożliwia detekcję i rejestrację omawianych zmian na każdym etapie procesu niszczenia – np. rozwoju mikroorganizmów. Istotne jest również podkreślenie warunków wykonywania pomiarów, a zwłaszcza pory roku, która ma ścisły związek z rozwojem i występowaniem niektórych mikroorganizmów oraz procesów fizyko-chemicznych.



Ryc. 3.24. Iłża, fragment ruin zamku górnego. Porównanie fragmentu lica muru (po lewej) barwne zdjęcie cyfrowe oraz (po prawej) obraz intensywności odbicia wiązki lasera. Różnice wartości intensywności dla cegieł wynikające z istniejących wykwitów soli, zawilgocenia oraz zróżnicowania powierzchniowego (ubytki – uszkodzenia mechaniczne). (oprac. fotogram. Politechnika Warszawska)

Wykazano również, że (4) zróżnicowana intensywność odbicia wiązki lasera wynika z występujących na powierzchni rezultatów rozwoju mikroorganizmów, doprowadzając do diametralnych zmian w rejestracji powierzchni tego samego surowca. W wyniku pomiarów na powierzchniach objętych rozwojem mikroorganizmów, poza detekcją powierzchni zniszczonej i powierzchnią dobrze zachowaną, niezanieczyszczoną, dokonano rozróżnienia w skali makro, pomiędzy poszczególnymi rodzajami mikroorganizmów. W wyniku pomiaru wykazano zróżnicowanie intensywności odbicia wiązki lasera od powierzchni o pokryciu stanowiącym efekt rozwoju następujących mikroorganizmów, które podzielono na cztery zasadnicze grupy:

- grupa 1 – mchy: Pędzlik dachowy *Tortula ruralis*;
- grupa 2 – porosty: Amyłka oliwkowa *Lecidella elaeochroma*; Czarenka skupiona *Trapelia coarctata*; Jaskrawiec murowy *Caloplaca caxicola*; Jaskrawiec



Ryc. 3.25. Ilża, fragment ruin zamku górnego. Fragment kamieniarki renesansowej z piaskowca (po lewej) – powierzchnia pokryta glonami (*Pierwotek Desmococcus* sp.) oraz fragment muru jednej z piwnic zamkowych (po prawej) pokryty sinicami (*Cyanobacteria* indet.) (za Skrzyński 2012 / fot. R. Wilczyński). Na dole – fragment elewacji pokrytej mchami: *Misecznica biaława* *Lecanora albescens*; *Czarenka skupiona* *Trapelia coarctata*; *Jaskrawiec murowy* *Caloplaca caxicola*; *Jaskrawiec zwodniczy* *Caloplaca decipiens*; *Liszajecznik złocisty* *Candelariella aurella*; *Orzast czarniawy* *Phaeophyscia nigricans*. (za Skrzyński 2012 / fot. R. Zapłata)

zwodniczy *Caloplaca decipiens*; Liszajecznik ziarnisty *Candelariella xanthostigma*; Liszajecznik złocisty *Candelariella aurella*; Misecznica biaława *Lecanora albescens*; Orzast czarniawy *Phaeophyscia nigricans*;

– grupa 3 – glony: Pierwotek *Desmococcus* sp.;

– grupa 4 – sinice: *Cyanobacteria* indet..⁸⁷

Pomiary na zamku w Iłży⁸⁸ najogólniej potwierdziły zróżnicowanie odbicia wiązki lasera, zależne od barwy czy faktury powierzchni (pokrycia powierzchni), jakie powstały w wyniku procesów rozwoju porostów, glonów czy mchów na powierzchniach zabytkowych (przykładowe powierzchnie i zróżnicowanie pomiaru intensywności – ryc. 3.25).

Zróżnicowanie radiometryczne – kontrastowe (tonalne) obrazów intensywności odbicia wiązki lasera odnotowano również w odniesieniu do powierzchni zmienionych w wyniku następujących procesów korozyjnych: zasolenia wapienia, zawilgocenia, procesów mechanicznych.



Ryc. 3.26. Iłża, fragment muru jednej z piwnic zamkowych – obraz intensywności odbicia wiązki lasera. Powierzchnia występowania mikroorganizmów – jaśniejszy odcień. (oprac. fotogram. Politechnika Warszawska)

⁸⁷ Skrzyński G., 2013, *Wyniki oznaczeń taksonomicznych flory porastającej ruiny murów zamku biskupów krakowskich w Iłży (woj. mazowieckie)*, Warszawa [maszynopis w archiwum UKSW].

⁸⁸ Wołejko E., 2012, *Deterioracja naturalnych kamienie budowlanych przez mikroorganizmy*, „Budownictwo i Inżynieria Środowiskowa”, 3, s. 153-158.

Przedstawione rezultaty i wnioski potwierdzają (w odniesieniu do ruin zamku w Ilży) wyjściowe założenie oraz stawianą tezę, że bezdotykowy pomiar przestrzenny na podstawie skanowania obiektów zabytkowych w terenie, poprzez rejestrację intensywności odbicia wiązki lasera, umożliwia pozyskanie dodatkowych danych o mierzonym obiekcie, pozwalając na uzupełniającą analizę i interpretację (diagnozę) substancji zabytkowej ruin zamku w Ilży już na etapie wizualnej oceny wygenerowanych obrazów intensywności, weryfikując jednocześnie rezultaty analiz towarzyszących działaniom przy obiekcie (np. występowanie powierzchni przekształconych w wyniku procesów naturalnych). Segmentacja powierzchniowa na bazie detekcji zróżnicowania intensywności odbicia wiązki lasera, w połączeniu z analizą dokumentacji konserwatorskiej – wizją lokalną obiektu, a także dokumentacją fotograficzną (w tym bliską podczerwienią) i analizami specjalistycznymi, stwarza możliwość pełniejszego, bezdotkowego i kartometrycznego opisu obiektu zabytkowego. Tego typu pomiary mogą być również źródłem informacji na temat stanu zachowania np. trudno dostępnych powierzchni zabytkowych.

III seria pomiarów – próbki materiałów nieskonsolidowanych

Kolejnym pomiarem, jaki wykonano w celu oceny przydatności rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera w badaniach archeologiczno-architektonicznych, jest przykładowy pomiar testowych jednostek stratyfikacji – pomiar materiału luźnego, nieskonsolidowanego lub słabo spojonego, a także wymieszanego oraz częściowo spojonego (np. glina)⁸⁹. W pierwszej kolejności wykonano pomiary na pojedynczych – oddzielonych próbkach testowych, które stanowiły pogrupowany zestaw rozrzuconego na powierzchni płaskiej osadu, o lekko zróżnicowanym ułożeniu wysokościowym, z czym też mamy do czynienia np. podczas eksploracji stratygraficznej warstw kulturowych. Wszystkie pomiary wykonano w tych samych warunkach odległościowych i kątowych, różnicując pomiar pod kątem wilgotności (próbki suche oraz wilgotne). Pomiary wykonano dwoma rodzajami urządzeń – skanerem Z+F (fazowym) oraz skanerem Leica (impulsowym). Dla skanera Z+F wykonano dodatkowe pomiary przy zróżnicowanej rozdzielczości skanowania (*high power* i *low power*). Próby stanowił materiał osadowy, który różnił się barwą, ziarnistością oraz ogólnym składem fizyko-chemicznym (Tab. 4). Próbkę osadów skanowane były z rozdzielczością *UltraHigh* 1.6 mm na 10 m (dwa rodzaje skanowania *low* i *high power*).

⁸⁹ Przygotowane próby stanowiły materiał zebrany z różnych miejsc w m.in. okolicach Ilży / Radomia, nie będąc materiałem zabytkowym, ani też materiałem występującym przy obiektach zabytkowych.

Próbki wilgotne skanowano w następujących warunkach: odległość od skanera 2.9 – 4 m; kąt pionowy: 53,3 – 65,8 stopnia; azymut (kąt poziomy): 1701 – 225 stopnia. Próbki przesuszone skanowano natomiast w warunkach: odległość od skanera 3.6 – 5 m; kąt pionowy: 61 – 70 stopnia; azymut (kąt poziomy): 69 – 175 stopnia. Celem doświadczenia było sprawdzenie, zmierzenie i wykazanie różnic intensywności odbicia próbných materiałów, a zarazem wykazanie różnic radiometrycznych obrazów intensywności dla zróżnicowanych warunków wilgotnościowych. Pomiary wykonano dla osadów jednolicie osuszonych, które poddano dodatkowo procesowi osuszenia w warunkach naturalnych (wiatr i światło słoneczne), w celu symulowania warunków wysychania jednostek stratyfikacji, z jakimi możemy mieć do czynienia podczas prac terenowych. Następnie wykonano pomiar tak przygotowanych, przesuszonych próbek. Na kolejnym etapie nawilżono równomiernie wszystkie próby dla ujednolicenia stopnia wilgotności i wykonano kolejny pomiar. W ten sposób uzyskano dwa pomiary dla tych samych próbek przy zróżnicowanych warunkach wilgotnościowych, a zarazem dokonano rejestracji wszystkich próbek przy jednakowych parametrach i warunkach pomiaru (kąt, odległość i długość fali elektromagnetycznej). Rezultatem pomiarów były zróżnicowane przedziały radiometryczne dla poszczególnych prób, przy zróżnicowanej wilgotności, potwierdzające pewne (dodatkowe) możliwość TLS oraz zasadność uwzględniania przy analizie i interpretacji jednostek stratygraficznych wartości radiometrycznych, związanych z intensywnością odbicia wiązki lasera.

Nr próbki	Charakterystyka uziarnienia – makroskopowo wg BN-78/9180-11	Barwa
001/2013 NPRH/UKSW 11H11018480	Próbka składa się z osadów drobnoziarnistych oraz ostrokrawędzistych okruchów wapieni jurajskich. Osady drobnoziarniste to zwietrzelina wapieni z pojedynczymi ziarnami kwarcu i skaleni frakcji piaszczystej – osad naniesiony przez lodowiec zlodowacenia Odry (zlodowacenia środkowopolskie) – piasek gliniasty. Zwietrzałe okruchy wapieni jurajskich osiągają rozmiary 4-5 cm.	okruchy wapieni beżowe, matrix brązowo-beżowy
002/2013 NPRH/UKSW 11H11018480	Piasek gliniasty lekki; próbka zawiera znaczne ilości tlenków i wodorotlenków żelaza i manganu (prawdopodobnie 2-5%). Skład mineralny – ziarna piasku kwarcowego, minerały ilaste (zwietrzelina ilasta wapieni lub margli?)	rdzawo-brązowy
003/2013 NPRH/UKSW 11H11018480	II pylasty, ilasto –pylasta zwietrzelina wapieni jurajskich z pojedynczymi ziarnami drobnego piasku kwarcowego i skaleni	brunatno-brązowy
004/2013 NPRH/UKSW 11H11018480	Piasek drobnoziarnisty z pojedynczymi ostrokrawędzistymi okruchami skalnymi, frakcji żwirowej (piaskowca i wapieni) oraz z detrytusem roślinnym; próbka zawiera znaczne ilości tlenków i wodorotlenków Fe i Mn (5-8%)	rdzawy

005/2013 NPRH/UKSW 11H11018480	Pył ilasty/glina średnia pylasta z kawałkami korzeni roślin	brązowo- beżowy
006/2013 NPRH/UKSW 11H11018480	Piasek pylasty z detrytusem roślinnym, korzonkami roślin oraz dużą ilością węgla drzewnych; zawartość materii organicznej pow. 20%	czarno-szary
007/2013 NPRH/UKSW 11H11018480	Drobnoziarnisty piasek kwarcowy (eoliczny?)	szaro-beżowy
008/2013 NPRH/UKSW 11H11018480	(Mursz/torf) z pojedynczymi ziarnami drobnego piasku kwarcowego (eolicznego?)	ciemno brunatno- brązowy
009/2013 NPRH/UKSW 11H11018480	Piasek różnoziarnisty, głównie średnioziarnisty (kwarcowy) z pojedynczymi ziarnami frakcji żwirowej (kwarc i skałenie) z wytrąceniami tlenków i wodorotlenków Fe i Mn (całkowita zawartość prawdopodobnie około 1-5%).	żółto-beżowy

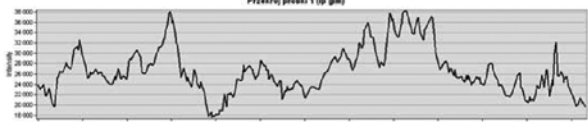
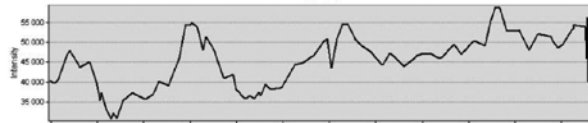
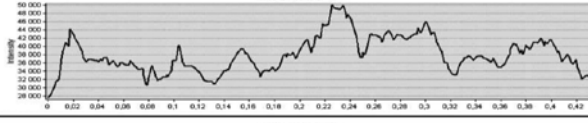
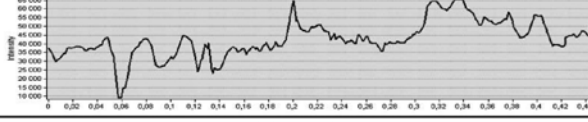
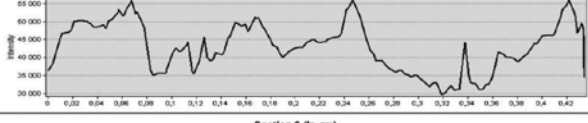
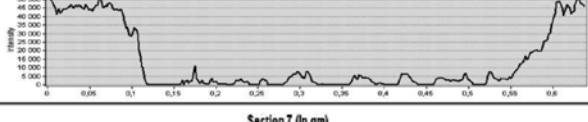
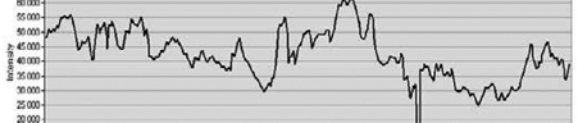
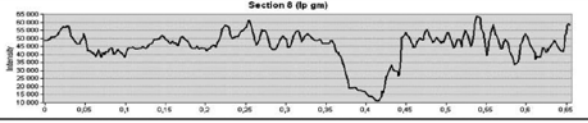
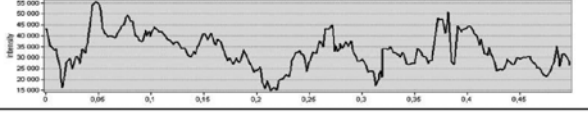
Tab. 4. Ogólne zestawienie wyników analizy makroskopowej próbek osadów (za Szwarczewski 2013)⁹⁰

Na podstawie wykonanych pomiarów potwierdzono, że:

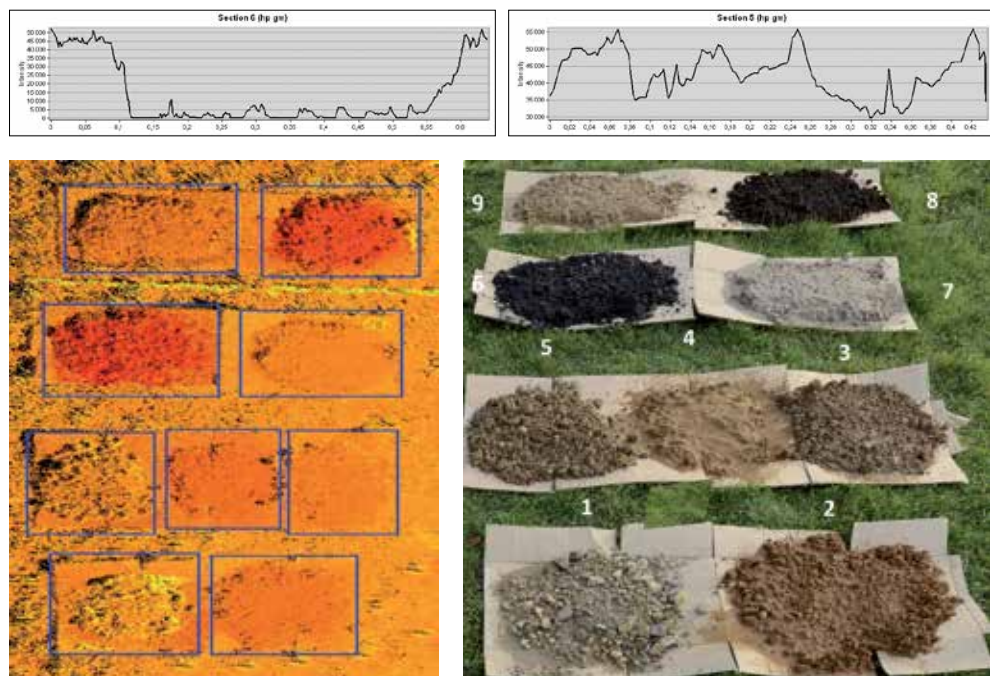
- zmiana wilgotności jednostek stratyfikacji (prób testowych osadów) wpływa na parametr intensywności odbicia dla wszystkich mierzonych osadów;
- zróżnicowanie osadów pod względem zawartości (składu, właściwości), zwłaszcza uziarnienia oraz barwy, wpływa znacząco na wartość parametru intensywności, a zarazem zróżnicowanie tych właściwości (jednostek) jest w pewnym zakresie uchwytne i odróżnialne (m.in. na bazie obserwacji kontrastu, granicznych wartości oraz średniej wartości) poprzez pomiar parametru intensywności.

W tabeli 5 przedstawiono zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla próbek osadów. Uzyskane rezultaty wykazują przede wszystkim zróżnicowanie pod względem wartości wyrażonych w określonym przedziale dla poszczególnych osadów. W wyniku pomiaru wyznaczono przedziały wartości, które pozwalają opisywać, a zarazem różnicować pod względem omawianego parametru poszczególne osady. Uzyskane wartości tym samym pozwalają budować uzupełniającą charakterystykę poszczególnych „jednostek”, a zarazem stwarzają możliwość ich dodatkowego wyróżniania poprzez wygenerowany kontrast.

⁹⁰ Szwarczewski P., 2013, *Wyniki analizy makroskopowej próbek osadów pobranych w okolicach Iłży*, Warszawa [maszynopis w archiwum UKSW].

Nr próbki	Przedział wartości intensywności odbicia wiązki lasera	Barwa
001/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		okruchy wapieni beżowe, matrix brązowo- beżowy
002/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		rdzawo-brązowy
003/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		brunatno- brązowy
004/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		rdzawy
005/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		brązowo- beżowy
006/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		czarno-szary
007/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		szaro-beżowy
008/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		ciemno brunatno- brązowy
009/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		żółto-beżowy

Tab. 5. Zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla próbek osadów (próbki wilgotne) – skaner Z+F / (low power)



Ryc. 3.27. U góry przykładowe histogramy intensywności odbicia wiązki lasera dla dwóch próbek osadów (Nr 005/2013 NPRH/UKSW 11H11018480 – wartość intensywności przedział ok. 30 000 – 55 000; Nr 006/2013 NPRH/UKSW 11H11018480 – wartość intensywności przedział ok. 10 – 10 000) (oprac. Politechnika Warszawska). Poniżej – próbki osadów (po prawej) oraz obraz intensywności odbicia wiązki lasera (RGB) dla próbek osadów (po lewej) – pomiar wykonany skanerem impulsowym Leica ScanStation C10 / opracowanie w oprogramowaniu Cyclone (pomiar Leica Geosystems / fot. R. Zapłata)

IV seria pomiarów – przykładowy profil

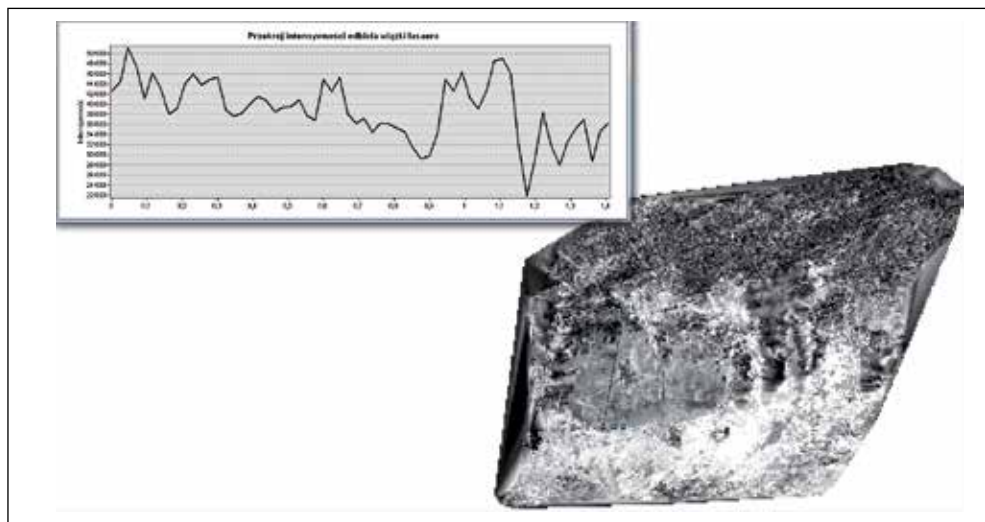
Aplikowanie analizy intensywności odbicia wiązki lasera do badań stratygraficznych, podobnie jak w przypadku zabytkowych struktur stojących (materiałów spojonych), również dla materiałów nieskonsolidowanych oraz warstwowych i niewarstwowych jednostek stratyfikacji, bazuje na zjawisku zróżnicowanego odbicia wiązki lasera od powierzchni mierzonej. W procesie tym znaczące jest przywołane wcześniej zjawisko rozpraszania, absorpcji i transmitowania światła. Jakość odbicia i rozpraszania zależna jest od rodzaju, właściwości i jakości substancji zabytkowej, w tym wypadku od warstwowej jednostki stratyfikacji. W związku z powyższym intensywność odbicia wiązki lasera jest zróżnicowana, m.in. z uwagi na barwę, ziarnistość czy skład warstwowej jednostki stratyfikacji, co też stanowi podstawę do uwzględniania odmienności omawianych wartości radiometrycznych obrazów intensywności, która może wskazywać na zróżnicowanie rejestrowanej

powierzchni. Przykładowo zdolność odbicia wiązki lasera będzie większa dla piasku, natomiast mniejsza dla piasku z dużą ilością materii organicznej (fragmentów roślinnych, które same charakteryzują się słabą zdolnością odbijania światła). Natomiast wartość pomiaru jednostki zawilgoconej będzie niższa niż wartość tej samej jednostki suchej. Przykładowy pomiar profilu (jednostek stratyfikacji *in situ*) materiału luźnego, nieskonsolidowanego lub słabo spojonego wykonano na st. 6 Iłża, woj. mazowieckie, na odsłoniętym, w wyniku procesów podepozycyjnych (osuwiskowych) profilu, zlokalizowanym na zboczu wzniesienia zamku górnego – stok NW. Pomiar przeprowadzono w zróżnicowanych warunkach wilgotnościowych, przy tej samej temperaturze oraz takich samych kątach i tej samej odległości.

Celem pomiaru była rejestracja wspomagająca proces interpretacyjny, zmierzający do wykazania zróżnicowania jednostek stratyfikacji w postaci odmiennych wartości radiometrycznych (czy też zróżnicowanych obrazów intensywności), a tym samym wykazanie zasadności analizowania i aplikowania do procesu interpretacyjnego intensywności odbicia wiązki lasera. Celem pośrednim pomiaru było natomiast wykazanie różnic radiometrycznych na obrazach intensywności, wynikających z odmiennych warunków wilgotnościowych, towarzyszących poszczególnym jednostkom stratyfikacji, które mogą rzutować na ocenę barwy oraz wyróżnianie analizowanych



Ryc. 3.28. Iłża, fragment ruin zamku górnego. Fragment profilu – widoczne jednostki stratyfikacji. (fot. R. Zapłata)



Ryc. 3.29. Iłża, fragment ruin zamku górnego. Obraz intensywności odbicia wiązki lasera dla przykładowego profilu. (oprac. fotogram. Politechnika Warszawska)

jednostek. Rezultatem wykonanych pomiarów *in situ* było zarejestrowanie zróżnicowanej intensywności odbicia, a także określenie (przybliżonej) wartości radiometrycznej dla oddzielających się jednostek. Przeprowadzony test oraz interpretacja wyników pomiaru wykazały, że zróżnicowanie wartości wynika z ziarnistości oraz koloru, a także wilgotności warstwowych jednostek stratyfikacji. Zwłaszcza wilgotność wydała się znacząca z punktu widzenia identyfikacji jednostek stratyfikacji, gdyż bezpośrednio rzuca pod uwagę podczas prac terenowych na ocenę barwy. Ogółem, na bazie pomiaru wydzielono kilka zasadniczych płaszczyzn, które częściowo pokrywają się z wyróżnionymi jednostkami stratyfikacji.

Opisane rezultaty i wnioski, odnoszące się do III i IV serii pomiarów, potwierdzają (w odniesieniu do jednostek stratyfikacji) wyjściowe założenie oraz stawianą tezę, że bezdotkowy pomiar przestrzenny na podstawie skanowania laserowego warstwowych jednostek stratyfikacji w terenie, poprzez rejestrację intensywności odbicia wiązki lasera, umożliwia pozyskanie dodatkowych danych, pozwalając na uzupełniającą analizę i interpretację substancji zabytkowej, która nie jest możliwa w takiej formie, w przypadku stosowania dotychczasowych metod identyfikacji. Tego typu rejestracja i analiza podczas badań archeologiczno-architektonicznych może znaleźć swoje zastosowanie przynajmniej w dwojakiej formie. Po pierwsze, co zostało podkreślone, może stanowić element komplementarny wobec pozostałych metod identyfikacji i opisu jednostek stratyfikacji. Po drugie, może

znaleźć zastosowanie w weryfikacji wykonanej eksploracji tzw. „warstwami naturalnymi”, m.in. poprzez rejestrację zróżnicowanych pomiarów intensywności, które mogą wskazywać na błędy w przeprowadzonej eksploracji (np. niedokończona eksploracja warstwy, która różni się pod względem ziarnistości w odniesieniu do niżej zalegającej warstwy).

V seria pomiarów – próbki drewniane

Celem zbadania użyteczności, a zarazem efektywności rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera w badaniach zabytkowej architektury, podjęto kolejne działania terenowe, ukierunkowane również na pomiar powierzchni drewnianych. W 2013 r. wykonano serię pomiarów testowych na kilku gatunkach drewna (dąb, sosna, modrzew, topola oraz brzoza). Próbki testowe przygotowano z uwzględnieniem odmiennego wykończenia ich powierzchni, wprowadzając dodatkowo ich zróżnicowanie wilgotnościowe. Odmienność pod względem gładkości (tekstury) powierzchni drewnianej, dotyczyła w pierwszej kolejności powierzchni chropowatej, uzyskanej w wyniku przecięcia drewna, natomiast w drugiej kolejności powierzchni gładkiej, będącej wynikiem jednorazowego polerowania. W efekcie uzyskano 4 rodzaje wartości dla poszczególnych gatunków drewna, odpowiadające powierzchni suchej, wilgotnej, polerowanej i chropowatej. Zróżnicowane wartości radiometryczne uzyskano również dla



Ryc. 3.30. Próbk
(suche) różnych
gatunków
drewna – zdjęcie
na górze i obraz
zróżnicowanej
intensywności
odbicia wiązki
lasera – na dole
(pomiar Leica
Geosystems /
oprac. R. Zapłata)



Ryc. 3.31. Próbki (nawilżone wodą) różnych gatunków drewna (góra) i obraz zróżnicowanej intensywności odbicia wiązki lasera (dół) (pomiar Leica Geosystems / oprac. R. Zapłata)

poszczególnych gatunków drewna. I tak powierzchnia każdego mierzonego gatunku drewna (sucha, wilgotna, „surowa” i wypolerowana) wykazała inne wartości omawianego parametru. Omawiane testy i ich wyniki ilustrują ryc. 3.30-3.33.

VI seria pomiarów – ściana drewnianego budynku

Z uwagi na brak występowania elementów drewnianych (które nie zachowały się przy omawianym obiekcie), analizy wykonano dla drewnianego spichlerza, którego rezultaty obrazuje zróżnicowanie powierzchniowe wynikające m.in. ze stanu zachowania obiektu oraz zastosowanego gatunku drewna. Skanowany spichlerz to kilkudziesięcioletnia budowla drewniana, o konstrukcji zrębowej, z murowaną, wapienną podmurówką oraz cementową dachówką. Jest to jednokondygnacyjny budynek gospodarczy, wzniesiony na planie prostokąta, znajdujący się na prywatnej posesji w Iłży. Powierzchnia obiektu jest dość jednorodna. Przykładowy obraz intensywności odbicia ściany zachodniej spichlerza pozwala m.in. zaobserwować

zróznicowanie powierzchniowe, które należy wiązać ze zróznicowanym stanem zachowania budulca. Prace pomiarowe przy omawianym spichlerzu wykonano dla odmiennych warunków. W pierwszej kolejności wykonano pomiar dla powierzchni suchej, a następnie dla powierzchni częściowo nawilżonej, rejestrując wyraźną różnicę uzyskanych wartości, co ilustruje rycina 3.33. Pomiar terenowy tym samym potwierdził odmienną rejestrację intensywności dla powierzchni suchej i wilgotnej.



Ryc. 3.32. Iłża – spichlerz drewniany. Widok od strony zachodniej (fot. R. Zapłata)

I tak, w odniesieniu do obiektów drewnianych (architektury drewnianej lub drewnianych detali architektonicznych), uwzględniając właściwości drewna oraz procesy zachodzące przy tych obiektach (wraz z np. zabiegami konserwatorskimi), zróznicowanie powierzchniowe rejestrowanej intensywności odbicia wiązki lasera może być efektem np. występowania różnych gatunków drewna (wykorzystanym jako budulec), odmiennego stanu zachowania drewna użytego do budowy i przebudowy, zróznicowania pokrycia powierzchni drewna (zarówno w wyniku działań celowych w przeszłości, np. malowania, a także w wyniku działania procesów destrukcyjnych np. działania mikroorganizmów, jak również w wyniku współczesnych prac konserwatorskich np. stosowania środków zabezpieczających). Najogólniej, brak jednolitości będzie wskazaniem efektów

jedno- lub wieloczynnikowych procesów, jakie doprowadziły do powstania kontrastów obserwowanych na obrazach intensywności. Zastosowanie TLS wraz z rejestracją odbicia wiązki lasera pozwala na klasyfikację powierzchni obiektu, ze wskazaniem miejsc, które można również wiązać (pośrednio) z zachodzącymi procesami wewnątrz substancji zabytkowej, a które ujawniają się np. w postaci nierównomiernego stopnia wchłaniania wody.



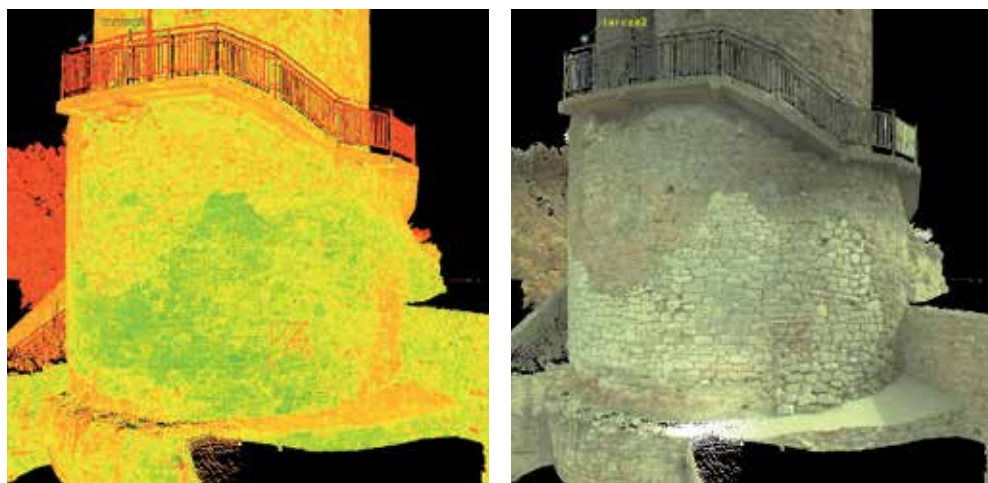
Ryc. 3.33. Iłża – fragment spichlerza drewnianego z pomiarem intensywności odbicia wiązki lasera dla powierzchni suchej oraz mokrej (oprac. R. Zapłata)

W odniesieniu do zabytkowego drewna i pomiaru intensywności odbicia wiązki lasera, poza w/w czynnikami mającymi wpływ na omawiany parametr, należy uwzględnić dodatkowe elementy, rzutujące na zjawisko transmitowania, emitowania i odbijania światła. Zatem znaczący wydaje się skład chemiczny drewna, jego budowa oraz właściwości fizyczne. Dodatkowo istotne w procesie pomiarów TLS są rozwijające się na powierzchni drewna mikroorganizmy, które z jednej strony wpływają na różnicowanie pomiaru, a z drugiej są rejestrowane w postaci odmiennych wartości. Zatem, obecność na powierzchni grzybów, czy pleśni może być przyczyną zróżnicowanego pomiaru intensywności odbicia wiązki lasera, ale też powstałe zróżnicowanie wartości jest podstawą do wstępnej detekcji i klasyfikacji w/w procesów destrukcyjnych, co może być szczególnie wartościowe w analizie i obserwacji miejsc trudnodostępnych. Jak widać, właściwości różnorodnych surowców (powierzchni) rzutują na odmienną wartość intensywności odbicia wiązki lasera, co też umożliwia zastosowanie odwrotnego wnioskowania – analizowania na podstawie wyniku pomiaru powierzchni mierzonej. Należy jednak dodać, że na obecnym etapie badań, analiza obrazów intensywności pozwala jedynie w ogólnym stopniu wnioskować na podstawie pomiarów o powierzchniach zabytkowych, dając jedynie przybliżony

obraz zróżnicowania, bez możliwości określania bezpośredniej przyczyny powstającego kontrastu. Zatem wynik pomiaru winien być traktowany jako punkt wyjścia do dalszych prac analityczno-diagnostycznych.⁹¹

Wymiernym efektem w/w pomiarów przy substancji zabytkowej – ruinie zamku w Iłży jest kartometryczna detekcja i inwentaryzacja powierzchni obiektu, zróżnicowana ze względu na budulec (cegła, wapień, spoinowanie), jak również ze względu na wartości parametru intensywności odbicia wiązki lasera (przykład – ryc. 3.34).

Dostrzegając zalety TLS, a zwłaszcza rejestracji intensywności odbi-

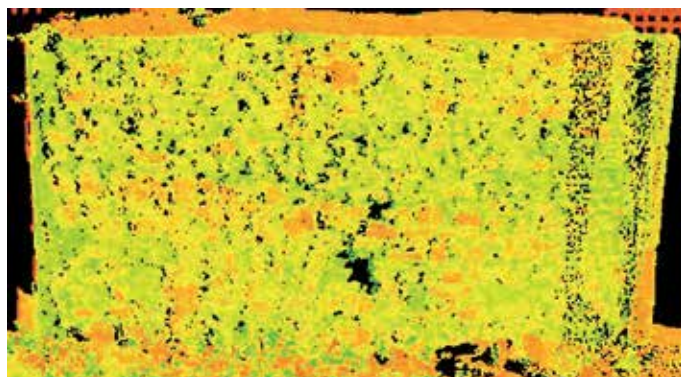


Ryc. 3.34. Iłża – ruina zamku. Obraz intensywności dla dolnych partii wieży zamkowej, ukazujący zróżnicowanie parametru dla piaskowca silnie zniszczonego (ciemniejsze pomarańczowo-żółte barwy) oraz piaskowca z gładszą powierzchnią (odcienie zieleni). Po prawej ortofotografia fragmentu wieży (pomiar Leica Geosystems / oprac. R. Zapłata)

cia wiązki lasera, warto również wskazać potencjalne pola zastosowania omawianej metody np. przy wykonywaniu dokumentacji powykonawczej. Rejestracja intensywności odbicia wiązki lasera może znaleźć swoje zastosowanie w odniesieniu do analizy stanu zachowania substancji zabytkowej poddanej np. zabiegom konserwacyjnym. W wyniku stosowania różnorodnych środków ochrony (np. oleistych, solnych, rozpuszczalnikowych), środków konserwujących lub impregnujących, a także w związku z wypełnianiem ubytków w obiektach zabytkowych,

⁹¹ Zapłata R., 2013, *Analiza i dokumentacja drewna zabytkowego z użyciem technologii skanowania – Laser scanning in the analysis and documentation of historic wood*, [in:] *Drewno zabytkowe: badania i konserwacja w XXI wieku. Heritage wood: research and conservation in the 21st century*, red. R. Pasieczny, Warszawa, s. 77-78 / 184 [prezentacja konferencyjna / materiał konferencyjny] – <http://www.nimoz.pl/pobierz/718.html>

powierzchnia obiektu ma często zróżnicowany i niejednorodny charakter. Poza tym potencjalny brak (dokładnej) dokumentacji z wcześniejszych prac konserwatorskich, dotyczącej zastosowania preparatów w konkretnych miejscach, rodzi konieczność szukania rozwiązań, które umożliwią (a przynajmniej będą wspierały) rozpoznanie oraz dodatkowe monitorowanie zmian powierzchniowych. W takich sytuacjach rozwiązaniem może być TLS, wraz z rejestracją intensywności odbicia wiązki lasera, która pozwala na dokumentację i dodatkową analizę zróżnicowania powierzchniowego – dokumentację stanu zachowania obiektu, stwarzając podstawy do pośredniego wnioskowania o procesach zachodzących w substancji zabytkowej. W odniesieniu do ruiny zamku w Iłży wykonano również testowe pomiary geometrii i powierzchni fragmentów obiektu po wykonaniu prac konserwatorsko-zabezpieczających, jakie prowadzono w 2012 r.. Na podstawie pozyskanych danych potwierdzono np. ogólne – rysujące się zróżnicowanie rejestracji współczynnika intensywności pomiędzy substancją zabytkową, a współczesnym budulcem – materiałem. Zwłaszcza ciemniejsza brawa, najprawdopodobniej wynikająca z zachodzących procesów przy substancji zabytkowej, była przyczyną



Ryc. 3.35. Iłża – ruina zamku. Przykład możliwości analizowania prac – dokumentacja powykonawcza. Zarówno na zdjęciu, jak i na wizualizacji obrazu intensywności odbicia wiązki lasera, widoczne wyraźne różnice z surowców tworzących obecnie ścianę (pomiar Leica Geosystems. fot./oprac. R. Zapłata)

odnotowanych różnic radiometrycznych (ryc. 3.35). Pomiar nadbudowanych elementów pozwala również (w formie dokumentacji powykonawczej) analizować i oceniać równowagę muru, a zarazem potencjalne odchylenia, co też kieruje nas w stronę wykorzystania trzeciego wymiaru TLS w odniesieniu do ruiny zamku w Iłży.

3.3.3. Pomiar przestrzenny – 3D ruiny zamku w Iłży – wybrane rezultaty badań

Zasadniczy pomiar przestrzenny wykonany na substancji zabytkowej – ruinach zamku w Iłży, stwarza możliwość generowania modelu 3D obiektu, stając się podstawą tworzenia dokumentacji w formie m.in. wektorowej oraz ortofotoplanów powierzchni obiektu. Dla niektórych fragmentów pomiar stał się punktem wyjścia do oceny zagrożenia oraz stanu bezpieczeństwa obiektu, co miało szczególne znaczenie dla sklepienia jednej z piwnic na zamku górnym. Dokładny pomiar przestrzenny umożliwił również detekcję i inwentaryzację zniszczeń obiektu, jak również weryfikację dokładności dotychczasowej inwentaryzacji. Należy dodać, że wymiernym rezultatem wykonywanych pomiarów ruin zamku w Iłży jest ich wartość jako zasobu archiwalnego, stanowiące powód podjętych w 2012 r. prac zabezpieczająco-konserwatorskich, w wyniku których dokonywana jest zmiana geometrii oraz niektórych powierzchni obiektu. Tym samym wykonany pomiar jest jedynym tak dokładnym zapisem obiektu, przed podjętym procesem



Ryc. 3.36. Iłża, fragment ruin zamku górnego – ortofoto ściany E piwnicy zamkowej – porównaj z ryc. 2.19 (oprac. fotogram. Politechnika Warszawska)

zabezpieczająco-konserwatorskim. Jakiegokolwiek odtworzenie i analiza substancji przed opisanymi pracami są obecnie możliwe (dla części obiektu) na podstawie danych pochodzących z naziemnego skanowania laserowego. W wyniku pomiarów geometrii obiektu zabytkowego stworzono podstawy systemu, który umożliwia generowanie profili, rzutów, modeli wektorowych itd., poza tym dokładny pomiar, zgodnie z założeniami, doprowadził do detekcji i inwentaryzacji uszkodzeń substancji zabytkowej, czego wymownym przykładem są wspomniane ubytki sklepień piwnic zamku górnego, szczeliny oraz spękania murów (szerzej dalej).

Kolejnym zagadnieniem, jakie rysuje się w kontekście prac TLS przy ruinie zamku w Iłży, jest naziemny pomiar laserowy powierzchni terenu oraz otoczenia obiektów zabytkowych. Pomiary nakierowane na otoczenie, a nie tylko na obiekt, stanowią element licznych działań w takich dziedzinach jak np. gleboznawstwo, leśnictwo, geografia, geologia⁹². Również w badaniach dziedzictwa kulturowego pomiar zyskuje stopniowo na znaczeniu, stanowiąc obok skanowania lotniczego i skanowania mobilnego, metodę pozyskującą dane nt. przestrzeni historycznej⁹³. W odniesieniu do przeprowadzonych badań przy ruinach zamku w Iłży, dokonano również rejestracji otoczenia w celu zadokumentowania przestrzennego zabytkowego ukształtowania terenu, weryfikacji pomiaru ALS i integracji danych z różnych źródeł, a także w celu klasyfikacji pokrycia terenu dla najbliższego otoczenia zabytku. Tego typu pomiar należy zaliczyć do pomiarów bliskiego oraz średniego i dalekiego zasięgu, który m.in. umożliwia generowanie obrazów intensywności dla terenu w celu wychwycenia kontrastów mogących stanowić rezultat procesów zachodzących pod powierzchnią gruntu. Pozyskane dane przestrzenne o otoczeniu, to również materiał wyjściowy do przyszłych analiz np. procesów zapadliskowych, jakie mogą zachodzić przy obiektach zabytkowych.⁹⁴ Rezultat naziemnego skanowania laserowego i interpretację wyników tego typu pomiarów (otoczenia zabytków) należy rozpatrywać szerzej, w kontekście danych ALS, co też znajduje szersze omówienie w dalszej części pracy (rozdział 5).

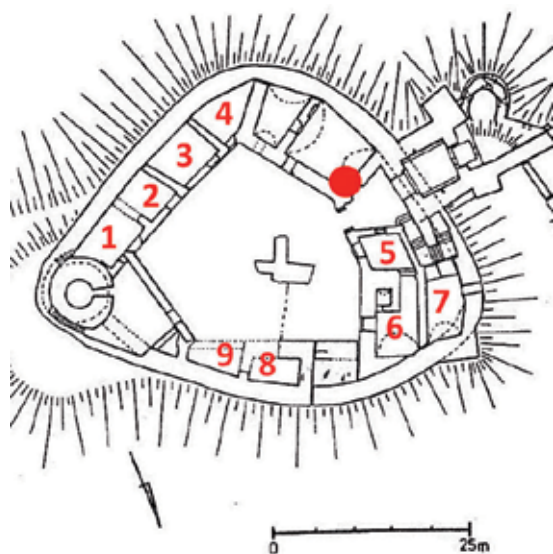
⁹² Niemiec M., Jóźków G., Borkowski A., 2009, *Monitorowanie zmian ukształtowania powierzchni terenu spowodowanych erozją wodną z wykorzystaniem naziemnego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 20, s. 333-342; Będkowski K., Mikrut S., *Skanowanie laserowe jako źródło informacji przestrzennych dotyczących lasów* – http://home.agh.edu.pl/~zfiit/publikacje_pliki/Bedkowski_Mikrut_2006.pdf

⁹³ Rączkowski W., 2008, *Antropogeniczne formy krajobrazowe powstałe w pradziejach i wczesnym średniowieczu w dorzeczu środkowej Wieprzy*, „Landform Analysis”, vol. 7, s. 143-153.

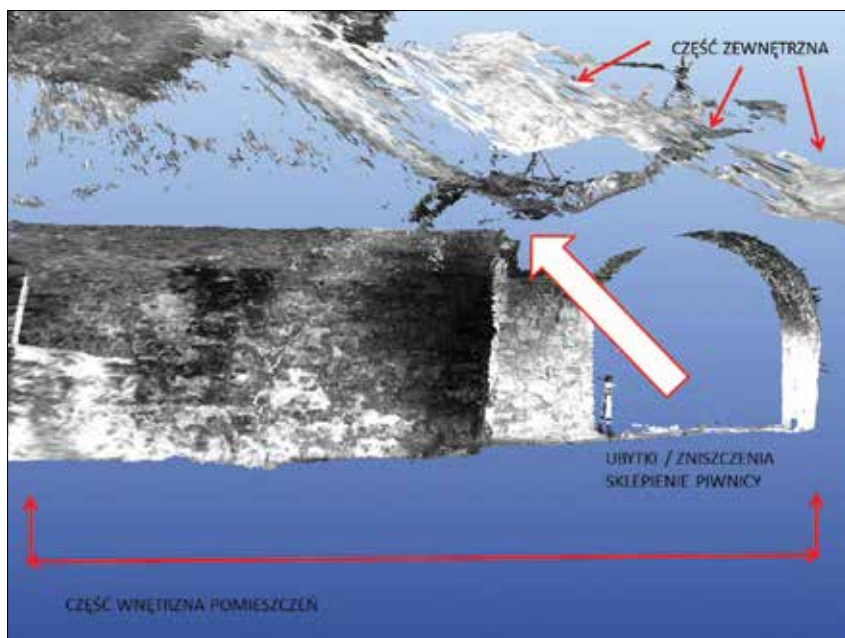
⁹⁴ Kujawski E., Yongjing T., 2002, *O potrzebie badań osiadania wysokich budowli zabytkowych i ich elementów*, „Kwartalnik Architektury i urbanistyki”, t. XLVII, z. 4/2002, s. 423-427.

Dane pochodzące z naziemnego skanowania laserowego oraz fotogrametrii bliskiego zasięgu, w tym dane o intensywności odbicia wiązki lasera, stanowią podstawę systemu geoinformacyjnego (dokumentacyjnego) ruin zamku w Iłży, w ramach którego wyróżniamy następujące elementy składowe: 1) przestrzenną chmurę punktów (przykładowa wizualizacja modelu 3D – Ryc. 2.11); 2) ortofotoplany powierzchni zabytkowych (przykład – ryc. 2.4, 2.5); 3) wektorowe modele powierzchni; 4) opracowania kreskowe (rzuty, przekroje, widoki elewacji) (ryc. 2.12 oraz ryc. 3.40 i 3.45 – przykładowe pomiary inwentaryzacyjno-diagnostyczne); 5) modele hipsometryczne; 7) modele 3D (przykład fragmentu bramy wjazdowej – model mesh – ryc. 2.10).

Wymownym przykładem omawianego zastosowania TLS i przetworzonych danych w analizie stanu zachowania ruiny zamku w Iłży, jest m.in. wykonanie pomiarów, które: (1) wskazują istniejące odchylenia od pionu murów piwnic zamkowych (ryc. 3.45); (2) pozwalają zlokalizować i dookreślić powstałe ubytki, a zarazem zagrożenia dla obiektów kubaturowych (miąższość warstw w miejscu zniszczenia sklepienia dochodzi miejscami jedynie do ok. 30 cm – ryc. 3.40) oraz (3) umożliwiają oszacowanie grubości warstw zalegających nad piwnicami (ryc. 3.40 i 3.45). Określona na podstawie pomiaru i modelowania 3D grubość warstw zalegających nad piwnicami, wraz ze sklepieniem (od ok. 30 cm do ponad 2,5 m), może stanowić podstawę do oszacowania koniecznych zabiegów oraz pracochłonności działań związanych z przyszłym odsłanianiem oraz zabezpieczaniem tej części obiektu.



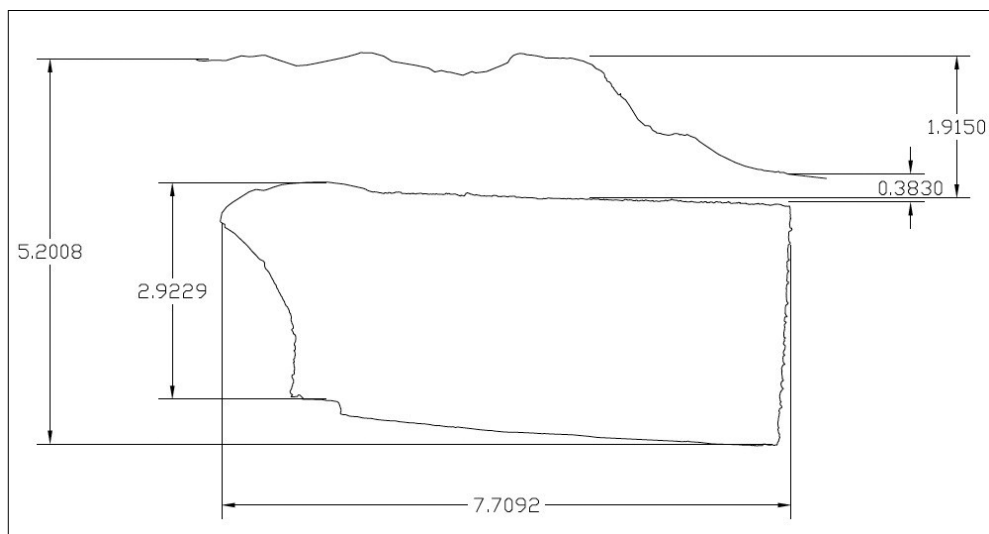
Ryc. 3.37. Miejsce powstających ubytków w sklepieniu piwnicy zamku górnego. Numeracja przyjęta dla potrzeb poniższej pracy (za J. Lewicki 1997 z uzupeł. R. Zapłata)



Ryc. 3.38. Wizualizacja przekroju modelu piwnic zamkowych. Widoczne zwiężenie w miejscu ubytków sklepienia (pomiar i oprac. Politechnika Warszawska / uzup. R. Zapłata)



Ryc. 3.39. Widok na mur zewnętrzny dziedzińca zamkowego – ściana piwnicy. Widok od strony E (fot. R. Zapłata)



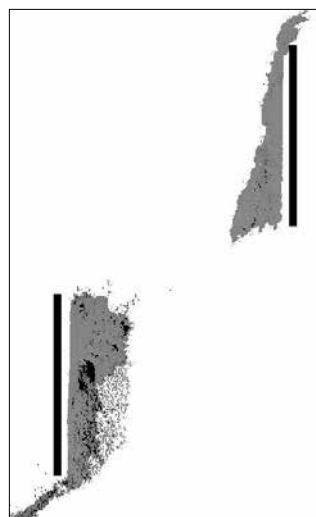
Ryc. 3.40. Przekrój przez piwnicę zamku górnego – pomiar na bazie TLS. Widoczne zwężenie warstw przy sklepieniu piwnicy (pomiar i wektoryzacja: Politechnika Warszawska / uzupełn. R. Zapłata)



Ryc. 3.41. Iłża, fragment ruin zamku górnego – sklepienie piwnicy. Widoczne ubytki – destrukcja spoinowań i cegieł (fot. R. Zapłata)



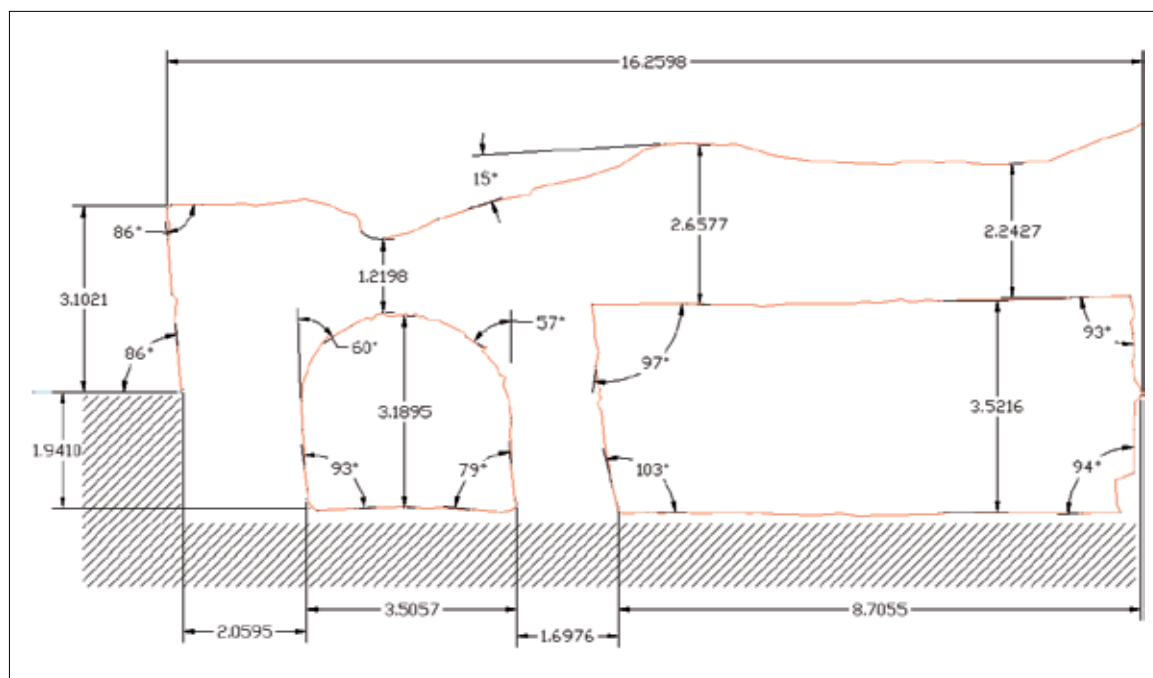
Ryc. 3.42. Schematyczny przykład analizy geometrii i równowagi architektury zabytkowej na bazie TLS (pomiar Leica Geosystems / oprac. R. Zapłata)



Ryc. 3.43. Iłża, ruina zamku. Analiza na bazie danych TLS geometrii i równowagi poszczególnych elementów założenia. Zdjęcie od strony W (po lewej) – basteja ze strzelnicami kluczowymi umieszczona przy bramie wjazdowej (XVI w.) oraz fragment zniszczonego czworobocznego elementu bramy wjazdowej prowadzącej na zamek górny (XV w.) (drugi plan). Fot. R. Zapłata. (po prawej) Przekrój od strony S przez w/w obiekty – modele (chmura punktów) ze schematycznym pionem (pomiar Leica Geosystems / oprac. R. Zapłata)



Ryc. 3.44. Iłża – zamek górny. Widok na część zewnętrzną piwnic zamkowych – widok od strony E. Zarys przekroju (ciągła czarna linia) – dot. w/w ryc. 3.43 (fot. R. Zapłata)



Ryc. 3.45. Iłża – zamek górny. Przekrój podłużny piwnic. Widoczne kilku- a nawet kilkunastostopniowe różnice kątów – potencjalne odchylenia muru oraz ściany wewnętrznej w kierunku NW. Widok od strony W (pomiar i wektoryzacja Politechnika Warszawska / oprac. R. Zapłata)

Kolejny wymierny rezultat zastosowania TLS w odniesieniu do ruiny zamku w Iłży, to określanie równowagi i symetrii – odchyłeń poszczególnych jego elementów od pionu. Badanie pionowości zabytkowych płaszczyzn konstrukcyjnych ilustruje ryc. 3.42, a także 3.42, ukazująca schematyczną wizualizację pionu w zestawieniu ze ścianą – murem wieży zamkowej, oraz ryc. 3.45 prezentująca, na bazie pomiarów kątów, potencjalne odchylenia murów i ścian piwnic zamku górnego.⁹⁵

3.4. Podsumowanie

Podsumowując powyższe rozważania, odnieśmy się w pierwszej kolejności do samego obiektu zabytkowego i jego uzupełniającej charakterystyki, w kontekście stosowanej technologii, prezentując wynikające wnioski. Występowanie i rejestracja zróżnicowania powierzchniowego substancji zabytkowej, w formie dokumentacji kartometrycznej, które związane są z procesami mechanicznymi, rozwojem mikroorganizmów oraz procesami fizyko-chemicznymi przy ruinach zamku w Iłży były i są również możliwe poprzez zastosowanie TLS. Poszczególne fragmenty obiektu wykazują zróżnicowanie intensywności odbicia wiązki lasera, wynikające ze wspomnianych czynników, co potwierdza możliwość włączenia do analizy substancji zabytkowej omawianego parametru w celu uzupełniającej interpretacji oraz rejestracji miejsc występowania wymienionych zjawisk. Dla przykładu – w odniesieniu do wykwitów soli, intensywność odbicia wiązki lasera jest większa dla powierzchni zasolonej niż dla powierzchni cegły niepoddanej takim zmianom. Intensywność odbicia wiązki lasera od poszczególnych rodzajów glonów i porostów, wykazuje zróżnicowanie przez co w sposób niezaprzeczalny potwierdza tezę o wpływie mikroorganizmów na jakość pomiaru, a zarazem możliwości rejestracji zmienionej powierzchni zabytków, powstałej pod wpływem tych procesów. Zaobserwowano również zróżnicowanie obrazów intensywności dla tej samej powierzchni zabytkowej, przy różnorodnym stopniu zwilgocenia. Przeprowadzone pomiary potwierdzają zatem obserwowane zjawisko odmiennej rejestracji intensywności z powodu wilgoci, co stwarza możliwość np. wsparcia procesu rozpoznawania zmian zachodzących w substancji zabytkowej ze względu na tę cechę. Również pomiar jednostek stratyfikacji wykazał zróżnicowanie,

⁹⁵ Bojarowski K., Gościewski D., 2012, *Ocena elementów konstrukcyjnych obiektów budowlanych z wykorzystaniem numerycznego modelowania powierzchni*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska”, z. 59, (1/12/II), Nr 283, s. 51-60.

które należy wiązać z odmiennym stopniem wilgotności, granulacją oraz barwą warstw. Potwierdzeniem tej obserwacji są wyniki testów przeprowadzone również na próbkach materiału niespojonego – osadów, które w świetle pomiarów intensywności odbicia wiązki lasera wykazują zróżnicowanie, zarówno ze względu na naturalne właściwości, jak również ze względu na odmienne warunki – wilgotność. Uwzględnienie tego m.in. parametru, jako wspomagającego, umożliwiło rejestrację i rozróżnianie elementów konstrukcji, zwłaszcza tych wykazujących słabszą kontrastowość widoczną na obrazach cyfrowych.

Wykonany pomiar przestrzenny i jego rezultaty skłaniają do określenia kilku postulatów badawczo-konserwatorskich dla analizowanego obiektu zabytkowego – ruiny zamku w Iłży. Do najważniejszych należy zaliczyć:

- konieczność podjęcia natychmiastowych działań przy sklepieniach piwnicznych, które, jak wykazała dokumentacja, są zagrożone zawaleniem sklepień;
- wykorzystanie dokładnego pomiaru nawarstwień nad piwnicami w pracach i przygotowaniach do ich usuwania
- eliminacja skutków zachodzących procesów fizyko-chemicznych i działania mikroorganizmów, wraz z zahamowaniem dalszego ich rozwoju;
- udrożnienie dróg spływu wód deszczowych, jakie gromadzą się przy murach zamku górnego;
- monitorowanie statyki i równowagi murów zamku, zwłaszcza piwnic zamku górnego oraz wieży zamkowej;
- wykonanie wirtualnej rekonstrukcji bryły z różnych okresów funkcjonowania obiektu na bazie danych TLS.

Podsumowując zagadnienia TLS w kontekście prac przy ruinie zamku w Iłży, jak również odnosząc się do literatury przedmiotu, trzeba też zaznaczyć kilka słabych stron omawianej technologii:

- TLS wraz z dokumentacją fotograficzną nie pozwala na całkowite rejestrowanie powierzchni zabytkowej, co w wypadku ruiny zamku w Iłży dobitnie ilustruje pomiar i stan murów (np. ryc. 3.25). Szczegóły i zniszczenia nadające elementom obiektu złożoną formę nie mogą być całkowicie i wszędzie zarejestrowane (trudny dostęp);
- efektem dokumentacji TLS może być niejednorodność pomiaru, co skutkuje niejednorodnością generowania modelu przestrzennego obiektów;⁹⁶
- mankamentem omawianej metody, zwłaszcza rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera jest forma i gęstość pokrycia powierzchni pomiarem.

96 Bojarowski K., Gościowski D., 2012.

Obraz intensywności odbicia to najogólniej obraz składający się z punktowych odbić – pochodnych owalnych plamek światła lasera, które oddalone są od siebie nierównomiernie, stanowiąc rezultat kilkumilimetrowej średnicy plamki lasera (zróżnicowanej w zależności od odległości położenia urządzenia względem powierzchni mierzonej). Taki obraz jest nieciągły, a więc z przerwami w rejestracji powierzchni zabytkowych;

- wartości radiometryczne (obrazy intensywności) dla tych samych oraz sąsiadujących powierzchni zabytkowych, w ramach poszczególnych skanów (stanowisk skanera), nie mogą być podstawą zestawiania uzyskiwanych wartości;

- z uwagi na w/w jakość pomiaru (nieciągłość, niedokładność, a także stopień ogólności odróżniania zróżnicowania powierzchniowego) zachodzi konieczność wspierania rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera innymi metodami – np. dokumentacją fotograficzną, rejestracją powierzchni w bliskiej podczerwieni;

- z uwagi na dokładność i możliwości urządzeń TLS, średnicę plamki lasera, definiowany błąd pomiaru urządzeń, a także gęstość pomiaru, technologia naziemnego skanowania laserowego, oparta na omawianych urządzeniach, w sposób ograniczony może być podstawą do rejestracji wszystkich zmian i deformacji architektury zabytkowej (np. cienkich, milimetrowych i węższych spękań).

- niestety z uwagi na stan zaawansowania wdrażania technologii cyfrowych w Polsce, a zwłaszcza w urzędach konserwatorskich (np. wyposażenie w odpowiedni sprzęt i oprogramowanie), będących głównymi instytucjami przyjmującymi i przechowującymi dokumentację inwentaryzacyjną zabytków architektury, powstające opracowania cyfrowe stanowią często zasób danych, którego edytowanie i analizowanie jest niemożliwe;

- mimo podkreślanej dokładności i tego, że TLS wraz z fotogrametrią należą do najlepszych obecnie technik rejestracji geometrii obiektów, należy podkreślić raz jeszcze, że taka digitalizacja obiektów wiąże się z utratą lub zniekształceniem pewnych informacji o mierzonych powierzchniach, czego przyczyną może być rodzaj stosowanego urządzenia TLS, oprogramowanie czy w końcu złożoność geometrii obiektu.

Pośród postulatów badawczych w zakresie stosowania TLS, generowanych i przetwarzanych danych, a także zaleceń dotyczących pomiarów przy obiektach architektury zabytkowej (wynikających m.in. z referowanych i przeprowadzonych badań) warto wymienić:

- dalsze badania nad rejestracją intensywności odbicia wiązki lasera, wraz z kalibracją omawianego parametru;
- prace nad powiązaniem danych z różnych pomiarów (wymusza to m.in.

specyfika prac archeologiczno-architektonicznych, które przy wielu obiektach prowadzone są w znacznych odstępach czasowych – nawet kilkuletnich);

- konieczność stosowania danych TLS jako podstawy w generowaniu modeli cyfrowych obiektów zabytkowych – przy ich rekonstrukcjach;
- wykonywanie pomiarów o różnorodnych porach roku, co może doprowadzać do pozyskania odmiennych danych, w zależności od potrzeb skanowania (rejestracja i lokalizacja np. rozwijających się mikroorganizmów czy rejestracja „czystej” powierzchni);
- przy obiektach złożonych, o utrudnionym dostępie do powierzchni, zaleca się stosowanie dwóch rodzajów urządzeń pomiarowych – impulsowych i fazowych;
- z uwagi na jakość i specyfikę danych TLS, a także zintegrowaną z urządzeniami kamerę, wydaje się niezbędnym i koniecznym pomiar z uzupełniającą, niezależną dokumentacją obrazową, o wysokiej rozdzielczości⁹⁷;
- z uwagi na gęstość pokrycia powierzchni pomiarem TLS, przy wektoryzacji (wykreślaniu konturów) elementów i detali zabytków, wskazane jest zintegrowanie danych z ortofotobrazami powierzchni, które poprawi jakość dokumentacji inwentaryzacyjno-rysunkowej;
- wskazane jest opracowanie i stosowanie uniwersalnych punktów pomiarowych (np. tarcz) dla prac opartych na różnych urządzeniach;
- zaleca się określenie i wyznaczenie stabilnych oraz trwałych punktów pomiarowych przy obiektach architektury zabytkowej, do których będzie możliwe dowiązanie się podczas ponownych pomiarów, a także tych, które uwzględnią odsłanianie w przyszłości kolejne elementy zabytku oraz pomiarów powykonawczych (wspomniane wyżej prace archeologiczno-architektoniczne czy też prace konserwatorsko-remontowe);
- z uwagi na czasochłonność i koszty prac kameralnych, zaleca się wykonywanie skanów o mniejszym stopniu dokładności i szczegółowości dla powierzchni przebudowanych, zmienionych m.in. w wyniku samowolnych prac uzupełniających, bez konsultacji konserwatorskiej;
- określanie i przygotowanie punktów kontrolnych (osnowy kontrolnej) oraz elementów szczególnych umożliwiających w przyszłości monitorowanie (monitoring geodezyjny) obiektu pod kątem statyki i przemieszczeń;
- każda wygenerowana chmura punktów (zwłaszcza ta, która jest przygotowana na bazie zastosowania narzędzi automatycznej klasyfikacji, interpolacji itp.) winna być poddana ocenie i kontroli osoby przygotowującej produkt końcowy, a także obróbce (przynajmniej częściowej) manualnej;

⁹⁷ Zapłata R., Zawieska D., Markiewicz J., 2013.

– w związku z coraz powszechniejszym stosowaniem TLS pojawia się konieczność opracowania i wdrożenia standardów w zakresie powstających dokumentacji, gdzie winny znaleźć się m.in. wytyczne na temat warunków i parametrów wykonywania pomiarów.

Potencjał, a zwłaszcza nieinwazyjność i szybkość pomiaru w terenie, skłania również do wyrażenia innego postulatu, mianowicie jak najszybszego skanowania obiektów zabytkowych zagrożonych, będących w stanie ruiny. Takie podejście umożliwi zarejestrowanie brył zagrożonych obiektów, które najprawdopodobniej (ze względu na brak środków) ulegną bezpowrotnemu zniszczeniu, wraz z dokumentacją obrazową. Ponieważ w procesie TLS i opracowania danych, drugi z tych elementów jest najbardziej czasochłonnym oraz najdroższy, proponuje się wykonanie skanów i dokumentacji fotograficznej, sprowadzając koszty takich działań do minimum. Opracowanie pozyskanych danych, po ich odpowiedniej archiwizacji, w tej sytuacji należy przełożyć na okres pozyskania odpowiednich środków. Takie rozwiązanie może zapewnić przynajmniej zapis obecnego stanu obiektów, z możliwością jego odtworzenia w przyszłości. Mankamentem takiego rozwiązania jest jednak brak możliwości zweryfikowania i oceny jakości wykonanych pomiarów, co dokonuje się właśnie na etapie opracowywania danych, a co też może skutkować np. niemożliwością uzupełnienia tzw. martwych pól. Mimo tej niedogodności, takie rozwiązanie na rzecz ochrony niszczących bezpowrotnie zabytków architektury drewnianej czy murowanej wydaje się jednak wartym rozpatrzenia.

Pomiar TLS i stan ruiny zamku w Iłży (współczesne elementy i uzupełnienia, wprowadzone bez konsultacji konserwatorskich) wskazują również na konieczność wyraźnego zaznaczania w dokumentacji cyfrowej autentyzmu budowli – materiału czy formy (pomiar TLS jest automatyczny i samo urządzenie nie dokonuje selekcji powierzchni). Wskazanie tych elementów podnosi wartość samej dokumentacji i jej wiarygodność oraz kompletność. Formy cyfrowe obiektów zabytkowych, przy zaniechaniu dokumentowania współczesnych uzupełnień i rekonstrukcji, mogą doprowadzić do zepchnięcia na dalszy plan tego, co istotne – ich autentyzmu formy, która winna znaleźć się na pierwszym planie. Tylko wówczas taka dokumentacja ma pełną wartość analityczną i naukową. Należy jednak dodać, że jeśli na początkowym etapie prac pomiarowych lub w trakcie, zostanie zaniechane określenie elementów autentycznych architektury zabytkowej, wówczas należy uzupełnić te informacje, wprowadzając stosowne modyfikacje do zasobu cyfrowego. Ważne jest, aby przyszły odbiorca dokumentacji cyfrowej mógł jednoznacznie odczytać z jej zawartości (nie tylko sam autor lub zespół), które z elementów są autentyczne, a które nie. Dodajmy jednocześnie, że

odpowiedni zapis geometrii obiektu, z punktu widzenia analizy autentyzmu obiektu, w przyszłości może być podstawą do analizowania np. odstępstw rekonstrukcyjnych od autentycznego zarysu, przebiegu czy formy obiektu, stanowiąc jedyną rejestrację tej cechy i wartości zabytku. Stąd też na wykonawcach takich pomiarów spoczywa ogromna odpowiedzialność za jakość generowanego zasobu, który może być uznany jako replika obiektu, przynajmniej w odniesieniu do jego formy i kształtu bryły (przynajmniej w odniesieniu do obecnej technologii TLS, dla której dokładna i szczegółowa rejestracja niektórych powierzchni i detali może być niemożliwa).



Ryc. 3.46. Ilża, zamek dolny, środkowa basteja ze strzelnicą kluczową i fragment muru kurtynowego (XVI w.), wapieni łączony zaprawą wapienno-piaskową, widoczne pozostałości tynku z późniejszych okresów związanych z remontami zamku (fot. R. Zapłata - RZ/LK)



Ryc. 3.47. Ilża, zamek – zachodnie zbocze wzgórza zamkowego (okres wiosenny) (fot. R. Zapłata - RZ)



Ryc. 3.48. Ilża, zamek górny – silnie skorodowany fragment muru ceglanego (fot. R. Zapłata - RZ)



Ryc. 3.49. Ilza, zamek górny – fragment ściany zachodnio-północnej pomieszczenia – skarbcza wg lustracji z 1644 r.; wapień łączony zaprawą wapienno-piaskową, w układzie warstwowym, widoczne pozostałości tynku z późniejszych okresów związanych z remontami zamku (fot. R. Zapłata – RZ)



Ryc. 3.50. Ilza, zamek górny – widok na część północną dziedzińca (fot. R. Zapłata – RZ)



Ryc. 3.51. Iłża, zamek górny – ściana północna pomieszczenia nr 4. Widoczne liczne, luźno zalegające fragmenty kamieniarki renesansowej z piaskowca (fot. R. Zapłata – RZ)



Ryc. 3.52. Iłża, zamek górny – widok na mur obwodowy w części południowej (pomieszczenie 4) (fot. R. Zapłata – RZ)



Ryc. 3.53. Ilża, zamek górny – fragment kamieniarki (węgar boczny) w otworze komunikacyjnym skarbca wg lustracji z 1644 r. (fot. R. Zapłata – RZ)



Ryc. 3.54. Ilża, zamek górny – widok od zachodu na silnie skorodowaną elewację muru obwodowego (fot. R. Zapłata – RZ)



Ryc. 3.55. Iłża, zamek górny, ściana pomieszczenie nr 4 (wg Lechowicza, 2009), smolarni (wg lustracji z 1644 roku), rejterady (wg lustracji z 1789 roku) w części południowej założenia, wzniesiona z kamienia wapiennego i cegły, spojonych zaprawą wapienno-piaskową (XVI w.), z widocznym zamurowanym przejściem do następnego pomieszczenia, widok od zachodu (fot. R. Zapłata – RZ)



Ryc. 3.56. Iłża, zamek dolny – wnętrze piwnicy sklepionej kolebkowo.
Fot. R. Zapłata



Ryc. 3.57. Ilża – fragment muru kurtynowego (prawa strona) i filaru mostowego (lewa strona), z widocznymi elementami przebudowy – rekonstrukcji (filar mostu) (fot. R. Zapłata – RZ)

4.

Lotnicze skanowanie laserowe

4.1. Wprowadzenie

Celem poniższego rozdziału jest omówienie wybranych zagadnień Lotniczego Skanowania Laserowego (akronim ALS od ang. *Airborne Laser Scanning*), z ukierunkowaniem na badania dziedzictwa kulturowego, a zarazem zaprezentowanie przykładów zastosowania w/w metody w badaniach zabytkowych obiektów nieruchomych. Poza tym celem jest również omówienie przetwarzania geodanych oraz pomiarów ALS, w których poza rejestracją przestrzenną, uwzględniono także tzw. czwarty wymiar – intensywność odbicia wiązki lasera. Elementem nawiązującym do wcześniejszych rozdziałów oraz głównego zagadnienia pracy, jest uwypuklenie laserowego pomiaru przestrzennego oraz współczynnika odbicia wiązki lasera, jako elementu wspierającego proces dokumentacyjny i interpretacyjny w detekcji zasobów dziedzictwa kulturowego, wraz z oszacowaniem ich stanu zachowania.

Omawiane i przywoływane w kolejnym rozdziale przykłady dziedzictwa kulturowego odnoszą się przede wszystkim do zabytkowych założeń, a także dziedzictwa przemysłowego (postindustrialnego), które stanowią wybrane elementy historycznej przestrzeni okolic, jak i samego miasta Iłża oraz miejscowości Sieredzice i Pakosław w pow. radomskim, woj. mazowieckim. Dobrane przykłady mają również na celu ukazanie potencjału omawianych metod nieinwazyjnych, jak i ich rezultatów w gospodarce przestrzennej – planowaniu przestrzennym. Technologia lotniczego skanowania laserowego jest prezentowana na podstawie literatury przedmiotu, a także w oparciu o przeprowadzone badania i pomiary substancji zabytkowej oraz wybranych przestrzeni historycznych. Rozdział składa się z trzech zasadniczych elementów: (1) zagadnień teoretycznych związanych z ALS; (2) zagadnień praktycznych, w formie przywoływanych przykładów z literatury przedmiotu oraz (3) krótkiego podsumowania, zestawiającego najistotniejsze zagadnienia lotniczego skanowania laserowego wraz z zaleceniami.

Lotnicze skanowanie laserowe, najogólniej stanowi kolejną propozycję włączenia do badań i dokumentacji dziedzictwa kulturowego technik laserowych, tym razem z pułapu lotniczego. ALS w środowiskach naukowych w pierwszej kolejności zyskał uznanie jako metoda wykonywania pomiaru przestrzennego, zwłaszcza powierzchni terenu, co też stało się podstawą wszczęcia szeregu badań i rozpoznawania zasobów dziedzictwa kulturowego oraz weryfikacji znanych wcześniej obiektów. Dokładność przestrzenna rzędu kilkunastu centymetrów umożliwiła (XYZ) m.in. rozpoznanie (szerzej dalej) nieruchomych obiektów zabytkowych, które przede

wszystkim miały zachowaną własną rzeźbę terenową (przynajmniej w formie szczątkowej). Tak wysoka dokładność pomiaru przestrzennego i z nim związane produkty pochodne, takie jak chmura punktów, NMPT czy NMT¹, stały się podstawą do przetwarzania danych, rozpoznawania potencjalnych obiektów zabytkowych oraz ich dokumentowania.

Oddzielnym zagadnieniem rozdziału, a zarazem kolejnym dostrzeżonym przez badaczy aspektem ALS, jest detekcja i analiza zabytków, na bazie tzw. czwartego wymiaru, a więc uzupełniająca forma rozpoznawania i weryfikacji dziedzictwa kulturowego – archeologicznego i architektonicznego. Analiza dotyczy rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera, jako uzupełniającego narzędzia rozpoznawania i inwentaryzowania obiektów zabytkowych, pozostałości minionych zjawisk osadniczych – ich materialnych śladów, np. reliktyw szlaków komunikacji.

4.2. Lotnicze skanowanie laserowe – zasada działania

Badania nad dziedzictwem kulturowym, krajobrazem kulturowym czy przestrzenią historyczną, w swej historii stopniowo poszerzały swój warsztat narzędziowy o coraz to nowsze metody, które zarówno poprawiały ich jakość, jak i ich zakres. Zdaniem Nicola Masiniego, Rosy Coluzzi i Rosy Lasaponary obecnie na wydajność i poprawę metod teledetekcyjnych w badaniach dziedzictwa kulturowego, w tym dziedzictwa archeologicznego, znacząco wpływają: 1) rejestracja wysokorozdzielczych



Ryc. 4.1. Samolot oraz zestaw do pomiarów lotniczych – LIDAR [Źródło MGGP Aero]

¹ Kurczyński Z., Gotlib D., Olszewski R., Kaczyński R., Butowtt J., Uchański J., 2007, *Numeryczny Model Terenu – podstawy, budowa i zastosowanie*, (w:) *Systemy informacji geograficznej w praktyce (studium zastosowań)*, Kunza M. (red.), Toruń, s. 59-109.

multispektralnych obrazów satelitarnych (ang. *Very High Resolution* – akronim *VHR*) oraz 2) lotnicze skanowanie laserowe².

Lotnicze skanowanie laserowe, to metoda polegająca na pomiarze czasu powrotu promienia laserowego, a następnie określeniu odległości pomiędzy sensorem, a innymi obiektami w przestrzeni. Na podstawie bardzo precyzyjnie obliczonej chwilowej pozycji aparatury rejestrującej, możliwe jest określenie pozycji skanowanych obiektów z dużą (sięgającą kilkunastu centymetrów) dokładnością³. Współczesne skanery laserowe umożliwiają wykonywanie setek tysięcy pomiarów na sekundę i pracę na znacznych obszarach, sięgających tysięcy kilometrów kwadratowych. Skanowanie laserowe to metoda w znacznym stopniu niezależna od warunków atmosferycznych i oświetleniowych, dająca możliwość wykonywania dokładnych pomiarów dla obszarów zacienionych, a także nasłonecznionych. ALS charakteryzuje się przede wszystkim wysoką wydajnością pomiaru przestrzennego obszarów zalesionych⁴.

Lotnicze skanowanie laserowe, również określane mianem lotniczego LiDARu (akronim od ang. *Light Detection and Ranging*) stanowi jedną z tych metod, które dokonują pomiaru określonej powierzchni terenu, pozyskując również dane na temat pewnych „warunków”, jakie towarzyszą zabytkom. Zaletą omawianej metody jest nieinwazyjność, szybkość oraz dokładność, która w połączeniu z innymi danymi teledetekcyjnymi, stanowi zastaw narzędziowy współczesnych badań dziedzictwa kulturowego, a także krajobrazu kulturowego. Lotniczy LiDAR, określany również mianem radaru laserowego lub optycznego, to zintegrowany system, który współtworzą: emiter (urządzenie generujące wiązkę promieniowania laserowego) oraz odbiornik. System ten, w połączeniu z rejestracją optycznych zobrazowań teledetekcyjnych, stanowi podstawę do budowania współczesnej dokumentacji materialnego dziedzictwa kulturowego, będąc rozwinięciem szeregu metod nieinwazyjnych. Zasada działania skanera laserowego (zbliżona do technologii TSL) polega najogólniej na pomiarze odległości urządzenia od

² Masini N., Coluzzi R., Lasaponara R., 2011, *On the airborne lidar contribution in archaeology: from site identification to landscape investigation*, (w:) *Laser scanning, theory and applications*, (red.) C. C. Wang, s. 263-290 – <http://www.intechopen.com/books/laser-scanning-theory-and-applications/on-the-airborne-lidar-contribution-in-archaeology-from-site-identification-to-landscape-investigation>.

³ Wężyk P., 2006, *Wprowadzenie do technologii skanowania laserowego w leśnictwie*, „Rocznik Geomatyki”, t. IV, z. 4, s. 119-132; Będkowski K., Wężyk P., 2010, *Lotniczy skanowanie laserowe*, (w:) *Geomatyka w Lasach Państwowych, cz. I: Podstawy*, (red.) K. Okla, Warszawa, s. 326-343; Marmol U., *Lotniczy skanowanie laserowe. Postawy* [prezentacja on-line] – http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/Dydaktyka/TellnzSrMaterSt/Podstawy_lotniczy_IS.pdf.

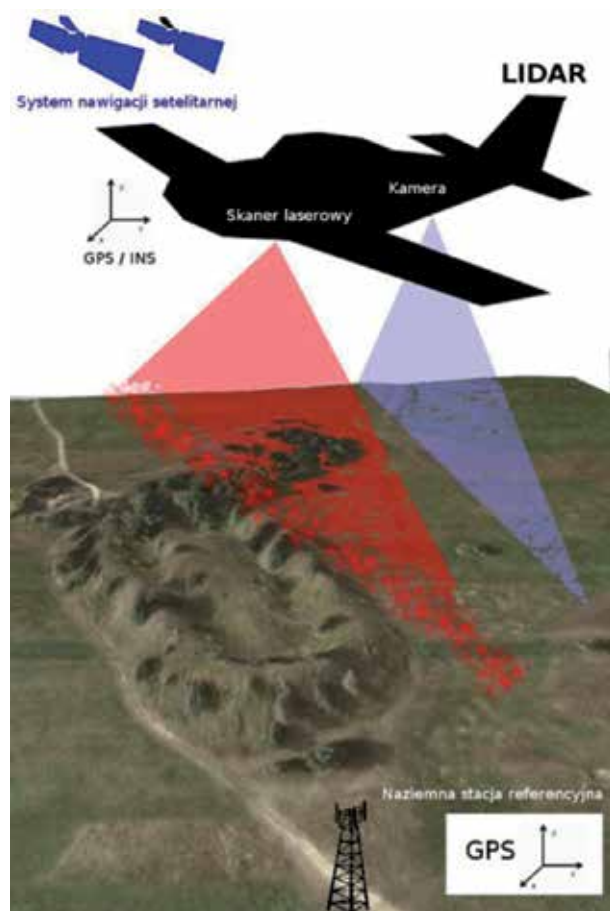
⁴ Będkowski K., Brach M., Stereńczak K., 2008, *Numeryczny model terenu obszaru zalesionego utworzony na podstawie skanowania laserowego i jego dokładności*, „Rocznik Geomatyki”, t. VI, z. 8, s. 49-53.

badanego – mierzonego obiektu. Realizowane jest to przez pomiar i rejestrację czasu, jaki upływa od momentu wysłania impulsu laserowego do jego powrotu do detektora, po uprzednim odbiciu od powierzchni mierzonego obiektu. Znana wartość prędkości rozchodzenia się fali elektromagnetycznej oraz pomierzony dokładnie czas pozwalają na obliczenie odległości obiektu od skanera. Dodatkowe urządzenie zwane IMU (ang. *Inertial Measurement Unit*) rejestruje jednocześnie kąty, pod jakimi wysyłana jest wiązka laserowa. Pomierzone elementy w procesie rejestracji, takie jak czas powrotu i kąt wychylenia wiązki, pozwalają na wyznaczenie współrzędnych przestrzennych XYZ pomierzonych punktów w układzie lokalnym skanera. Następnie, na podstawie równocześnie rejestrowanych danych o pozycji skanera w układzie odniesienia (system GNSS – ang. *Global Navigation Satellite Systems* – bazujący na satelitach GPS, GLONASS, a w przyszłości Galileo), możliwe jest wpasowanie i przeliczenie współrzędnych wszystkich punktów do układu docelowego, np. Państwowego Układu Współrzędnych Geodezyjnych 2000 lub 1992. Pozyskane dane określane są jako chmura punktów (ang. *points cloud*)⁵. Pomiar określonego terenu wykonywane są w ramach nalogów, które rejestrują powierzchnię tzw. szeregami – pasami o określonej (zadanej) szerokości (ryc. ____). W trakcie nalogu pasy te nachodzą na siebie (ma to związek wytycznymi w zakresie dalszego opracowywania danych), co też powoduje, że gęstość punktów w tych miejscach jest zdecydowanie większa, zwłaszcza dla tych obszarów, dla których wykonano również krycie poprzeczne między szeregami. Uzyskany rezultat pomiarów ALS to quasi-ciągła reprezentacja powierzchni terenu oraz obiektów.

Elementami wpływającymi na jakość danych ALS są również typy sensorów wysyłających wiązki laserowe, które w zróżnicowany sposób dokonują pomiaru powierzchni (o określonych przestrzennych wzorach). W literaturze przedmiotu wyróżnia się: (1) lustro oscylujące (wzór – sinusoida w kształcie „Z”), (2) wirujący poligon (wzór – linie równoległe), (3) lustro obrotowe (wzór – kształt elipsoidalny), (4) nadajnik światłowodowy – włókniasty (wzór – linie równoległe).⁶ Poza tym znaczenie w pomiarach ALS odgrywa długość fali (szerzej dalej), która zazwyczaj dotyczy zakresu 900 nm, 1050 nm czy 1540 nm. Dla skanowania batymetrycznego długość fali to

5 Wężyk P., 2006, s. 120; Wężyk P., Tompański P., 2012, *Przykłady modelowania 2.5D oraz 3D w aplikacjach środowiskowych w oparciu o dane z lotniczego skanowania laserowego*, (w:) GIS – teledetekcja środowiska, (red.) Z. Zwoliński, Poznań, s. 115-130. Szerzej o lotniczym skanowaniu laserowym m.in.: Heritage G. L., Large A. R. G., 2009, *Laser Scanning for the Environmental Sciences*; Będkowski K., Wężyk P., 2010.

6 Stereńczak K., 2010, *Technologia lotniczego skanowania laserowego jako źródło danych w półautomatycznej inwentaryzacji lasu*, „SYLWAN”, 154 (2), s. 88-99.



Ryc. 4.2. Schemat ilustrujący zasadę pomiaru (ALS), wraz z przykładową szerokością pomiaru powierzchni terenu (tzw. szereg) oraz elementy systemu LIDAR (za Sławik, Zapłata 2011)

zakres 533 nm.⁷ Kolejne elementy wpływające na jakość pomiaru XYZ, ale i rejestrację współczynnika odbicia (szerzej dalej) jest kąt i odległość skanowania, a także średnica plamki (ang. *footprint*).⁸

Zasadnicza zaleta lotniczego skanowania laserowego, to dokładny pomiar umożliwiający generowanie Numerycznego Modelu Terenu oraz Numerycznego Modelu Powierzchni Terenu⁹, które znajdują szerokie zastosowanie w różnorodnych dziedzinach gospodarki, sektorze przemysłowym,

7 Dudzińska-Nowak J., Wężyk P., 2006, *Możliwości wykorzystania technologii LiDAR w badaniach strefy brzegowej. Zintegrowane zarządzanie obszarami przybrzeżnymi w Polsce – stan obecny i perspektywy. Brzeg morski zrównoważony*, (red.) K. Furmańczyk, Szczecin, s. 47-59 (49).

8 Stereńczak K., 2010, s. 93.

9 Hejnowska B., Borowiec N., Badurska M., 2008, *Przetwarzanie lotniczych danych lidarowych dla potrzeb generowania NMT i NMPT*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 18, s. 151-162 – http://fotogrametria.agh.edu.pl/wiki/pub/Publikacje/WebHome/V18_Hejm_Bor_Bad.pdf

wojskowym czy wielu dyscyplinach naukowych, w tym w leśnictwie¹⁰, naukach o środowisku i Ziemi, a także badaniach dziedzictwa kulturowego¹¹. Popularność oraz wyjątkowość ALS zawdzięcza przede wszystkim możliwości dokonywania pomiarów na terenach zalesionych oraz pokrytych szatą roślinną, których tradycyjna penetracja jest utrudniona, a z perspektywy omawianej metody znacznie efektywniejsza, z pewnymi różnicami w pomiarze dla odmiennego środowiska roślinnego (np. las liściasty a iglasty) czy pory roku (np. okres letni – listny a okres jesienno-zimowy – bezlistny).

Ocenia się, że w porze zimowej (w okresach bezlistnych) „przez szatę roślinną”, a zwłaszcza korony drzew, w lesie liściastym dociera do powierzchni gruntu około 35% impulsów laserowych, natomiast w lesie szpilkowym/iglastym ponad 60%. W porze letniej penetracja jest słabsza i wynosi odpowiednio 25%-40% dla lasu szpilkowego oraz 20-25% dla lasu liściastego¹². Taka jednak penetracja oraz pozyskana liczba (i jakość) danych stanowi wystarczającą podstawę do generowania NMT (akronim od Numerycznego Modelu Terenu)¹³, a więc do budowania reprezentacji powierzchni terenu na obszarach leśnych, który służy m.in. rozpoznawaniu obiektów zabytkowych (archeologicznych). Jest to unikatowa cecha, która tym samym może stanowić dopełnienie informacji o zasobach dziedzictwa kulturowego na obszarach słabiorozpoznanych. Warto dodać, że powierzchnia terenu Polski w ok. 30% pokryta jest lasami, które stanowią obszar znajdujący się poza zasięgiem rozpoznania dziedzictwa historycznego i archeologicznego za pomocą wielu tradycyjnych – nieinwazyjnych metod stosowanych w badaniach.¹⁴

Lotnicze skanowanie laserowe stanowi technikę, która oferuje dokładne, nieinwazyjne i bezdotykowe pomiary, a zarazem prospekcję terenową dużych obszarów, umożliwiając tym samym inwentaryzację

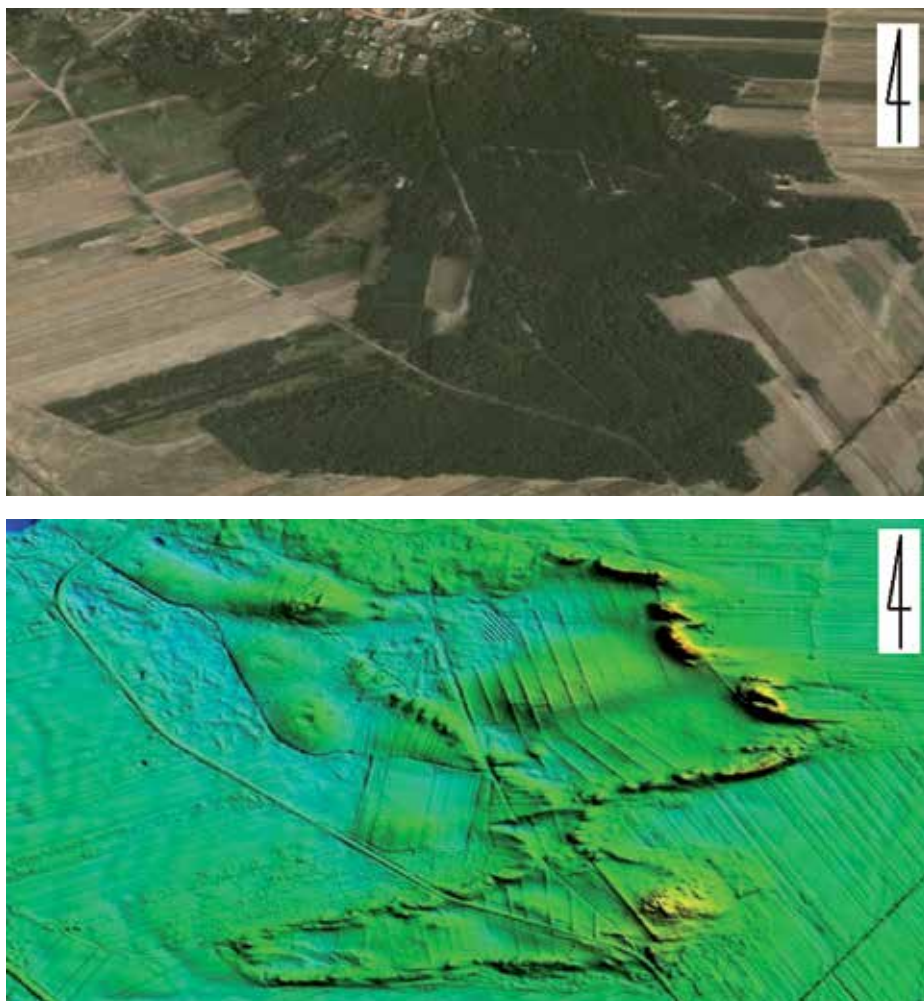
¹⁰ Zawila-Niedźwiecki T., Stereńczak K., Bałazy R., Wencel A., Strzeński P., Zasada M., 2008, *LIDAR w leśnictwie*, „Teledetekcja środowiska”, t. 39, s. 59-66; Marmol U., 2009, *Wykrywanie pojedynczych drzew na podstawie zintegrowanych danych lidarowych i fotogrametrycznych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 19, s. 279-286; Wężyk P., 2008, *Modelowanie chmury punktów ze skanowania laserowego w obszarze korony drzew*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 18, s. 685-695; Zarzecka M., Będkowski K., 2012, *Analiza przestrzennej zmienności wybranych cech budowy pionowej drzewostanu na podstawie danych lotniczego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 501-508.

¹¹ Jędrzychowski I., 2007b, *Lotnicze skanowanie laserowe w Polsce*, „Polski Przegląd Kartograficzny”, t. 39, nr 2, s. 159-163.

¹² Wężyk P., 2006, s. 128; Będkowski K., Stereńczak K., 2010, *Porównanie numerycznych modeli terenu obszarów leśnych generowanych z wykorzystaniem danych skanowania laserowego (LIDAR) uzyskanych w okresie wiosennym i letnim*, „Rocznik Geomatyki”, t. VIII, z. 7 (43), s. 11-20.

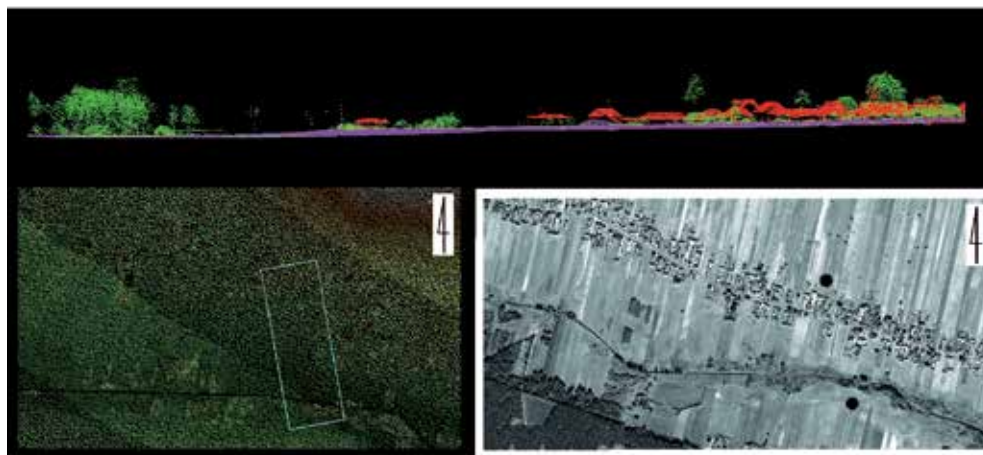
¹³ Będkowski K., 2010, *Numeryczny Model Terenu (NMT)*, (w:) *Geomatyka w Lasach Państwowych*, cz. I: Podstawy, Okla K. (red.), Warszawa, s. 199-212.

¹⁴ *Raport o stanie lasów w Polsce 2011*, czerwiec 2012, Warszawa, s. 7.

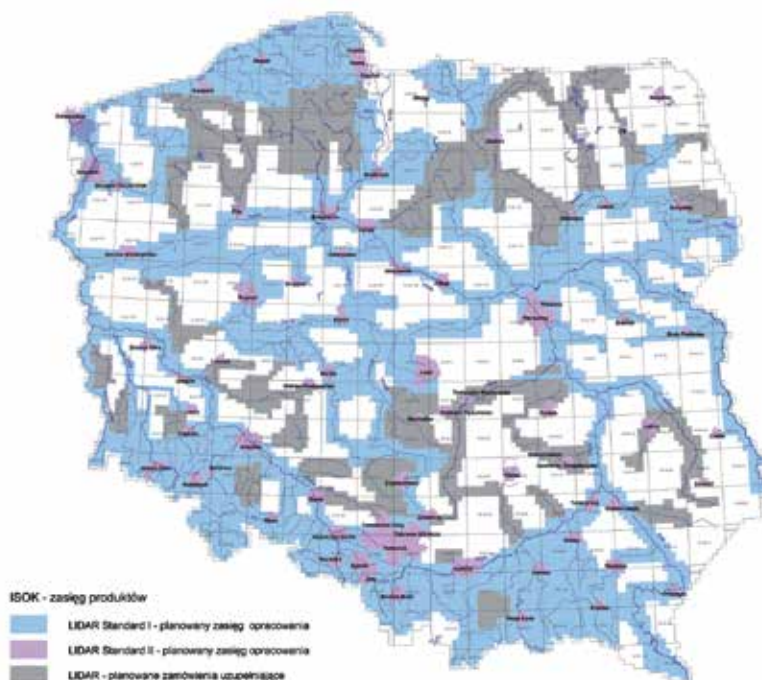


Ryc. 4.3. Zdjęcie lotnicze przykładowego obszaru zalesionego (u góry) oraz wygenerowany Numeryczny Model Terenu (na dole) na bazie pomiarów ALS (Źródło MGGP Aero)

obiektów zabytkowych, przy jednoczesnym dokumentowaniu kontekstu występowania zabytków, wraz z rejestracją parametru intensywności odbicia wiązki lasera. ALS w badaniu dziedzictwa kulturowego początkowo wiązało się z konwencjonalnymi pomiarami (początkowe etapy zastosowania), które stopniowo wzbogacano o rejestrację i analizy intensywności odbicia wiązki lasera, wraz z opcją „full-waveform”. Dotyczy to zastosowania dwóch rodzajów systemów: 1) opartych na skanerach konwencjonalnych (ang. *conventional scanners* lub ang. *discrete echo scanners*) oraz



Ryc. 4.4. Przekrój przez chmurę punktów wygenerowaną na bazie pomiarów ALS dla terenu częściowo odsłoniętego, pokrytego roślinnością krzewiastą oraz dla terenu zalesionego – (na dole po prawej) fragment panchromatycznego, wysokorozdzielczego obrazu satelitarnego (WorldView2) z 2011 r. (pomiar MGGP Aero / obraz. SmallGIS/ UKSW / oprac. R. Zapłata) © DigitalGlobe/European Space Imaging. Dystrybutor SmallGIS (prawy, dolny obraz)



Ryc. 4.5. Mapa zasięgu produktów ALS w ramach projektu ISOK – zasięg na rok 2012 (prawdopodobny pomiar ALS obejmie większość terenu Polski). Źródło: <http://www.gugik.gov.pl/projekty/isok>

tw. 2) *full-waveform scanners*¹⁵. Omawiając modernizację systemów LiDAR należy wspomnieć o tzw. *high resolution LiDAR*, a więc systemie wysokiej rozdzielczości o zasięgu do ok. 300 m z pułapu powietrznego i dokładnością skanowania poniżej 1 cm, znajdującym szerokie zastosowanie m.in. na obszarach zurbanizowanych¹⁶.

Poza pomiarami wykonywanymi na zlecenie w ramach poszczególnych projektów naukowych, obecnie w zasięgu badań na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego znalazły się dane m.in. z projektu ISOK („Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami”¹⁷), stanowiąc kolejną szansę pozyskiwania i przetwarzania danych.¹⁸

4.3. Analiza i przetwarzanie danych ALS

Przechodząc do zagadnienia analiz danych generowanych na podstawie ALS, należy zwrócić uwagę na kilka zasadniczych elementów tego procesu, z ukierunkowaniem na badania dziedzictwa kulturowego. W pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę na zagadnienie celów, jakie stawiane są aplikowaniu skanowania laserowego do badań dziedzictwa kulturowego, zwłaszcza archeologicznego, jak również architektonicznego, czy historycznej przestrzeni urbanistycznej. ALS (również MLS) z uwagi na jakość i dokładność pomiaru z powodzeniem stosowany jest przede wszyst-

¹⁵ Doneus M., Briese C., 2006, *Digital terrain modeling for archaeological interpretation within forested areas using full-waveform laser scanning*, (w:) *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2006)*, (red.) M. Ioannides, D. Arnold, F. Niccolucci, K. Mania, s. 155-162 – http://luftbildarchiv.univie.ac.at/uploads/media/doneus_briese_155-162; Doneus M., Briese C., 2006, *Full-waveform airborne laser scanning as a tool for archaeological reconnaissance*, (w:) *From space to place. Proceedings of the 2nd International Workshop on Remote Sensing in Archaeology*, CNR, Rome, Italy, 4-7 December. *British Archaeological Reports, International Series 1568*, (red.) S. Campana, M. Forte, Oxford, s. 99-105 – http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/2006/Doneus_Briese_ROME.pdf; Masini N., Coluzzi R., Lasaponara R., 2011, s. 264.

¹⁶ Rottensteiner F., Briese C., 2002, *A new method for building extraction in urban areas from high-resolution lidar data*, „*International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*”, vol. XXXIV, part 3A, s. 295-301 – <http://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/part3/papers/paper082.pdf>

¹⁷ <http://isok.imgw.pl>; Kurczyński Z., 2012, *Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego a dyrektywa powodziowa*, „*Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*”, vol. 23, s. 209-217 – <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/wroclaw-2012/Kurczynski.pdf>; Jarząbek J., Kurczyński Z., Woźniak P., 2011, *Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami*, „*Geodeta*”, nr 5 (192), s. 12-17; *Rozporządzenie Ministra Środowiska, Ministra Infrastruktury oraz Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie opracowania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego* (projekt z dnia 2.09.2011, <http://www.mos.gov.pl>).

¹⁸ GUGIK, 2011, *Warunki techniczne na wykonanie lotniczego skaningu laserowego (LiDAR) oraz opracowanie produktów pochodnych*. Załącznik nr 1 do SIWZ – *Warunki techniczne*, Warszawa.

kim w działaniach odnoszących się do obszarów miejskich¹⁹, a także założeń zieleni, realizując tym samym zasadniczy cel tego typu prac, mianowicie pomiar inwentaryzacyjny, którego produktem końcowym mogą być m.in. (1) szkice orientacyjne czy mapy terenu, a obecnie (2) dane dla systemów geoinformatycznych (systemów informacji przestrzennej) stosowane np. w planowaniu przestrzennym²⁰. Kolejne stawiane zadanie przed ALS to monitorowanie zmian zachodzących w przestrzeni urbanistycznej czy otoczeniu terenów zabudowanych. Poza tym aplikacja geodanych ALS do działań urbanistycznych to możliwość wykonywania szeregu analiz systemowych, związanych również z przestrzenią i obiektami historycznymi (np. analizy zagrożeń, ochrony czy analizy potencjalnych lokalizacji obiektów)²¹. Natomiast w odniesieniu do dziedzictwa archeologicznego, ale także architektonicznego i industrialnego, za pośrednictwem danych ALS mamy możliwość realizacji kilku celów, które należy umiejscowić w ramach następujących działań: (1) dokumentacyjno-inwentaryzacyjnych, dziedzictwa kulturowego, (2) prospekcyjno-detekcyjnych zabytków *in situ*, (3) monitorujących zasoby kulturowe, a także (4) analitycznych (w odniesieniu do substancji zabytkowej oraz warunków ich występowania, np. procesy osuwiskowe). ALS i szeroko rozumiana geoinformacja, w sposób wyraźny zmieniają politykę konserwatorsko-badawczą i urbanistyczną, a różnorodne, współczesne procesy doprowadzają do powstawania niespotykanych dotąd przedsięwzięć, jak np. generowanie zasobów cyfrowych, które niezależnie od działań konserwatorskich, rejestrują szereg nieznanych obiektów zabytkowych (np. wspomniany projekt ISOK). Tym samym można stwierdzić, że działania naukowo-badawcze (np. kwerendy archiwalne), w zaistniałej sytuacji muszą wyjść poza ramy tradycyjnego rozpoznania i uwzględniać inne zasoby, mogące wnieść wiele informacji na temat zabytków i historycznych układów przestrzennych. Sam pomiar przestrzenny, a zwłaszcza jego rezultat, stanowi element Systemów Informacji Geograficznej, a więc narzędzia, które z powodzeniem znajduje swoje szerokie zastosowanie w badaniach zabytków. Z uwagi na zakres tematyczny pracy i ze względu na szereg

¹⁹ Jędrzychowski I., 2007a, *Lotnicze skanowanie laserowe Krakowa*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 17a, s. 339-345 – http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/WebHome/PD_M_Bucior_2006.pdf

²⁰ Jaśkiewicz M., Szczepańska E., Barański J. A., Bigaj L., Antosiewicz T., Jędrzychowski I., Burnóg J., 2009, *Możliwości lokalizacji obiektów wysokościowych w aspekcie ochrony panoramy miasta Krakowa – analiza*, Kraków, s. 13-14 – <http://www.bip.krakow.pl/zalaczniki/dokumenty/n/70343>; Bujakowski K., Pyka K., 2010, *Sześć „Karkowskich Spotkań z INSPIRE” – próba podsumowania*, „Roczniki Geomatyki”, t. VIII, z. 8 (44), s. 7-22.

²¹ Jaśkiewicz M., Szczepańska E., Barański J. A., Bigaj L., Antosiewicz T., Jędrzychowski I., Burnóg J., 2009.

istniejących publikacji w tym zakresie, odsyłam do literatury przedmiotu²², celem uzupełnienia podstawowych zagadnień w tym temacie.

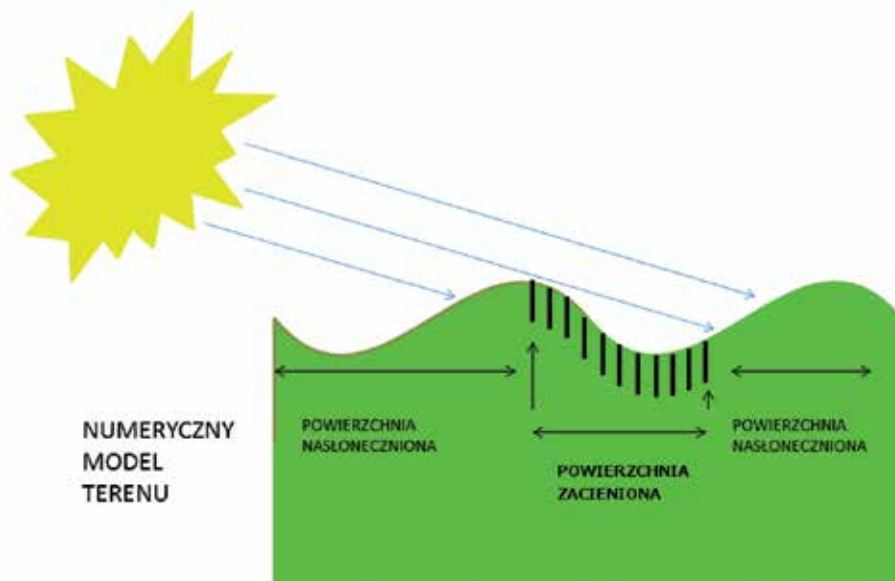
4.3.1. Pomiary przestrzenne 3D

Wygenerowane na bazie lotniczego pomiaru laserowego dane teledetekcyjne, w postaci chmury punktów, stanowią podstawę dalszych procedur przetwarzania i analizowania zgromadzonego zasobu cyfrowego. Zanim jednak nastąpi etap analizy i wtórnego przetwarzania zasobu cyfrowego, ma miejsce etap opracowania – podstawowego przetwarzania danych.²³

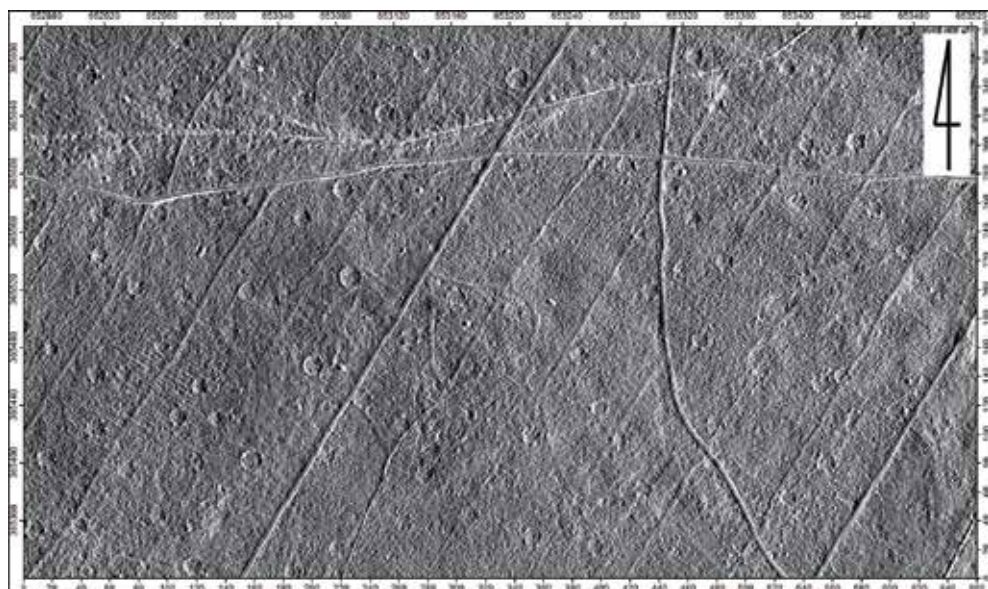
Wynik pomiarów przestrzennych w postaci chmury stanowi zbiór danych, które umożliwiają analizę i identyfikację zasobów kulturowych bezpośrednio na samych punktach XYZ (np. analiza przekroju czy rozkładu chmury punktów). Analiza zasobu cyfrowego możliwa jest również poprzez wizualizację powierzchni terenu, opartą na wzmacnianiu obrazu (np. rozciąganie kontrastu – ang. *contrast stretching*). Powszechnym podejściem do danych wysokościowych jest wizualizacja przetworzonych pomiarów do postaci NMT i interpretacja obrazu, uzupełniana dodatkową weryfikacją terenową, co stanowi dość powszechny model postępowania w badaniach

²² Wybrane pozycje w zakresie GIS: *Geomatyka w Lasach Państwowych*, cz. I: Podstawy, Okla K. (red.), Warszawa; *Geographical Information Systems and Landscape Archaeology*, "GIS field survey data", 1999, [eds.] M. Gillings, D. Mattingly, J. van Dalen, Oxford; Gaździcki J., 1990, *System informacji przestrzennej*, Warszawa; Kistowski M., Iwańska M., 1997, *Systemy Informacji Geograficznej. Podstawy techniczne i metodyczne. Przegląd pakietów oprogramowania i zastosowań w badaniach środowiska przyrodniczego*, Poznań; Magnuszewski A., 1999, *GIS w geografii fizycznej*, Warszawa; Taylor P. J., Johnston R. J., 1995, *Geographic Information Systems and Geography*, [in:] *Ground Truth. The Social Implications of Geographic Informations Systems*, [ed.] J. Pickles, New York-London, pp. 51-67; Urbański J., 1997, *Zrozumieć GIS. Analiza informacji przestrzennej*, Warszawa; GIS – platforma integracyjna geografii, 2009, (red.) Z. Zwoliński, Poznań; Gotlib D., Iwaniak A., Olszewski R., 2007, *GIS. Obszary zastosowań*, PWN, Warszawa; Longley P., Goodchild M., Maguire D. Rhind D., 2006, *GIS. Teoria i praktyka*, PWN, Warszawa; Zapłata R., 2011, *GIS – Systemy Informacji Geograficznej w archeologii – ogólna charakterystyka wybranych zagadnień i rys historyczny (etap początkowy)*, (w:) *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego – wybrane zagadnienia*, (red.) R. Zapłata, Lublin, s. 280-313.

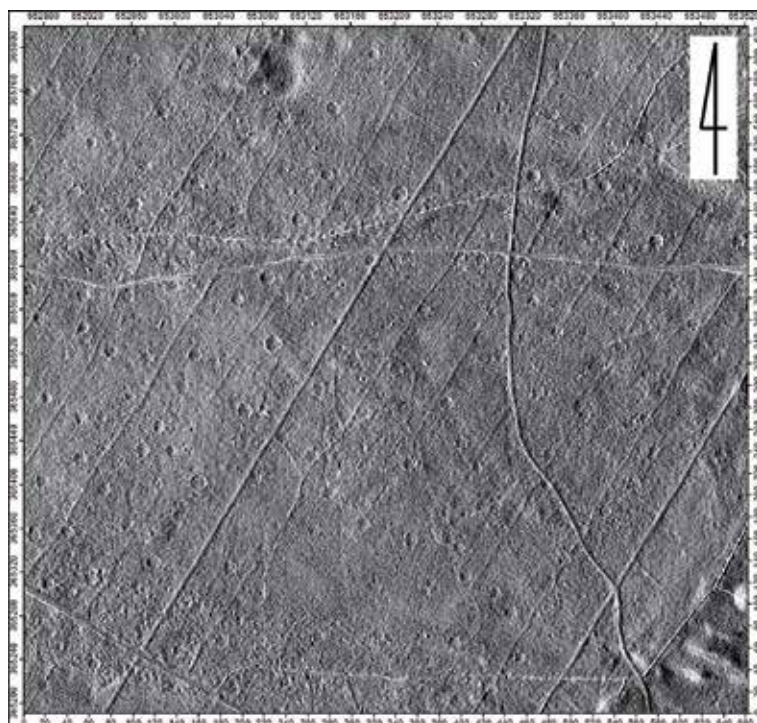
²³ Wprowadzająca w problematykę literatura: Borowiec N., 2009, *Generowanie trójwymiarowego modelowania budynku na podstawie danych lidarowych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 20, s. 47-56; Borowiecki I., 2009, *Zastosowanie lotniczego skanowania laserowego dla celów opracowania NMT (ocena dokładności pomiarów lidarowych)*, „Geodezja, Kartografia i Aerofotoznimania”, z. 71, s. 211-218 – <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/6956/1/2.PDF> [dostęp 20.04.2013]; Fryškowska A., Kędziński M., 2010, *Wybrane aspekty integracji danych naziemnego i lotniczego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 21, s. 97-107; Różycki S., 2007, *Trójwymiarowe modele miast – tworzenie i zastosowania*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 20, s. 709-716; Bucior M., Borowiec N., Jędrzychowski I., Pyka K., 2006, *Wykrywanie budynków na podstawie lotniczego skanowania laserowego*, „Roczniki Geomatyki”, t. IV, z. 3, s. 57-70 – <http://ptip.org.pl/download/files/RG2006z3-Bucior-inni.pdf>; Jarzabek-Rychard M., 2012, *Automatyczna budowa wektorowych modeli 3D budynków na podstawie danych Lotniczego Skanowania Laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 25, s. 99-109 – http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/archiwum_vol_24/jarzabek_m.pdf



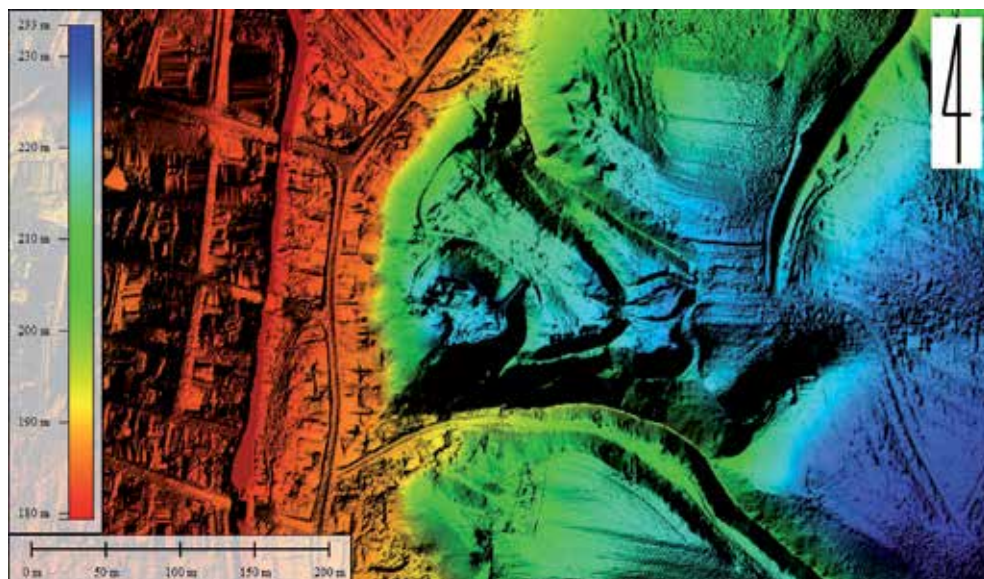
Ryc. 4.6. Schemat ilustrujący zasadę działania funkcji *hills shading* – cieniowanie zboczy (oprac. R. Zapłata)



Ryc. 4.7. Wizualizacja rezultatu funkcji cieniowania zboczy dla Numerycznego Modelu Terenu wygenerowanego na podstawie pomiarów ALS – azymut 90° / kąt padania promieni słońca 45° – widoczne owalne pozostałości zabytkowych mielerzy oraz dróg leśnych (za Zapłata, Borowski (w druku))



Ryc. 4.8.
Wizualizacja
rezultatu funkcji
cieniowania
zboczy dla
Numerycznego
Modelu Terenu
wygenerowanego
na podstawie
pomiarów ALS
- azymut 270°
/ kąt padania
promieni
słońca 45°
- widoczne owalne
pozostałości
zabytkowych
mielarzy oraz
dróg leśnych
(za Zapłata,
Borowski
(w druku))



Ryc. 4.9. Iłża – wzgórze zamkowe – Numeryczny Model Terenu (pomiar MGGP Aero /
oprac. R. Zapłata)

zasobów kulturowych. Interpretacja danych przestrzennych opiera się m.in. na wizualizacji 3D (2,5D), umożliwiając rozpoznawanie potencjalnych struktur przestrzennych i elementów przeszłego krajobrazu, stanowiąc jedynie element złożonego procesu analityczno-dokumentacyjnego (szerzej dalej).

4.3.2. Czwarty wymiar ALS - intensywność odbicia wiązki lasera

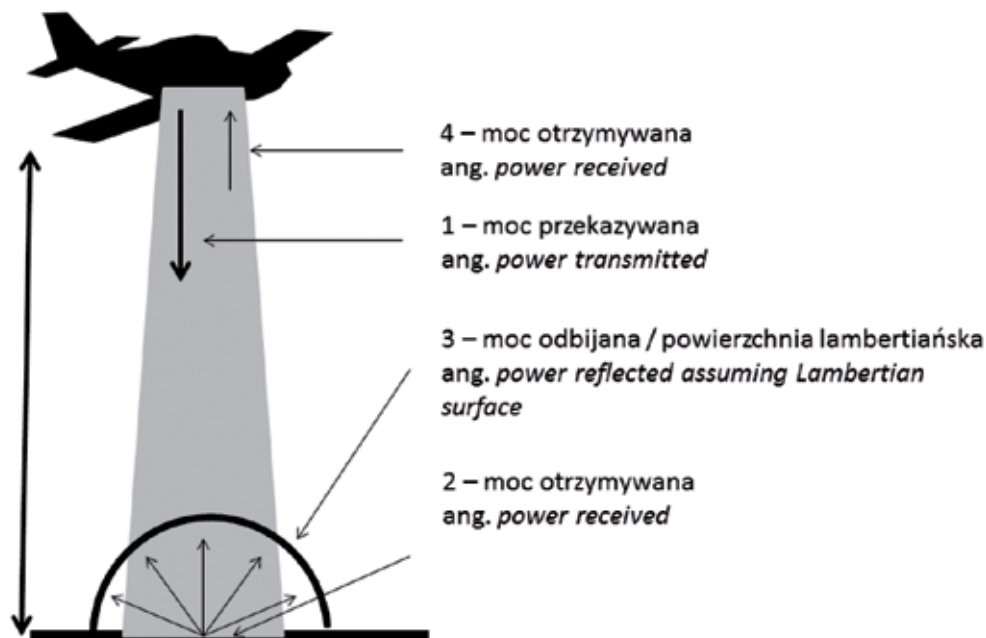
Poza wymiarem przestrzennym, dane lotniczego skanowania laserowego stanowią zasób zawierający m.in. zarejestrowaną wartość odbicia powracającej wiązki lasera od powierzchni terenu – elementów pokrycia terenu, takich jak np. korona drzew, uprawy rolnicze, powierzchnia budynków czy gleba. Z punktu widzenia rozpoznawania, inwentaryzowania i analizowania zasobów dziedzictwa kulturowego w/w parametr stanowi dodatkowy element wspomagający proces interpretacyjny, co też postaramy się omówić i uzasadnić w dalszej części pracy. Intensywność odbicia wiązki lasera określana jest jako współczynnik, czy też wartość energii, odbitej od powierzchni mierzonej (wyrażana w postaci wartości liczbowej – jednostka niemianowana), najogólniej wiąże się z zetknięciem – interakcją wysyłanego sygnału urządzenia z różnorodnymi powierzchniami – obiektami, które z uwagi na rodzaj tekstury i inne właściwości, stwarzają odmienne warunki odbijania się światła.²⁴ Rejestracja i analiza pomiaru intensywności odbicia, umożliwia przede wszystkim (na ogólnym poziomie) rozróżnienie i klasyfikację pokrycia terenu oraz jego powierzchni (wilgoć, temperatura itd.). Poza powierzchnią mierzonego (skanowanego) obiektu, czynnikami mającymi wpływ na wartość intensywności odbicia, są również kąt padania promienia, długość fali oraz odległość pomiędzy emitерem a obiektem mierzonym²⁵.

Omawiane zagadnienie, a więc zjawisko odbijania światła od powierzchni terenu ma już swoje liczne zastosowania zwłaszcza w teledetekcji satelitarnej, a także naziemnej (zjawisko omówiono w rozdziale 2 i 3). W odniesieniu do technologii ALS mamy do czynienia z techniką aktywną, natomiast w odniesieniu do np. zobrażeń satelitarnych będziemy mówili o technice pasywnej (z wyłączeniem danych radarowych i laserowych z pułapu

²⁴ Warchoł A., 2009, *Wykorzystanie wskaźnika intensywności odbicia w procesie pozyskiwania sieci drogowej z danych lidarowych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 20, s. 433-444; Warchoł A., 2010, *Aplikacja współczynnika intensywności do klasyfikacji pokrycia terenu na obszarach rolniczych*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich”, nr 6, s. 59-66.

²⁵ Boyd D. S., Hill R. A., 2007, *Validation of airborne LiDAR intensity values from a forested landscape using hmap data: preliminary analyses*, „IAPRS”, vol. XXXVI, part 3 / W52, s. 71-76 – http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W52/final_papers/Boyd_2007.pdf.

satelitarnego). W literaturze przedmiotu zjawisko odbicia promieniowania światła (promieniowania słonecznego) określane jest jako albedo, i odnosi się m.in. do odbicia spektralnego od powierzchni gleby czy roślinności²⁶. Najogólniej albedo wg J. Wojkowskiego i Z. Caputy jest „liczbową charakterystyką określającą zdolność powierzchni do odbijania promieniowania słonecznego i wyrażone jest stosunkiem promieniowania słonecznego odbitego ($K\uparrow$) do padającego ($K\downarrow$). Może ono przyjmować wartości od 0 (co oznacza brak odbicia) do 1 (całe padające promieniowanie jest odbijane) albo być wyrażone w % (wartość niemianowana). Słowo „albedo” pochodzi z łaciny (białość), opisuje jak jasny jest dany obiekt i jest oznaczane jako α . Termin ten został wprowadzony do optyki przez J.H. Lamberta (Lambert 1760)”²⁷.



Ryc. 4.10. Schemat interakcji światła z podłożem – energia wysyłana, pochłaniana i odbierana (oprac. R. Zapłata na podstawie Bednjanec 2011, Shan and Toth 2008)

²⁶ Piekarczyk J., 2009, *Właściwości spektralne nieużytków porolnych i odłogów na podstawie danych naizemnych, lotniczych i satelitarnych*, Poznań; Cierniewski J., 2009, *Laboratoryjne pomiary kierunkowego odbicia spektralnego od powierzchni gleby przy zmieniającej się ich szorstkości i oświetleniu*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 19, s. 71-80.

²⁷ Wojkowski J., Caputa Z., 2009, *Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie albedo na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*, „Prądnik. Parce Muzeum Szafera”, 19, s. 153-168.

Zasadniczym argumentem na rzecz uwzględniania i analizowania intensywności odbicia wiązki lasera przy ALS, jest możliwość rejestracji różnic napowierzchniowych, stanowiących rezultat zachodzących procesów (przeszłych i współczesnych), które doprowadziły np. do zmian wegetacyjnych oraz różnic wilgotnościowych, skutkując odmiennością absorbowania, transmitowania czy odbijania wiązki lasera. Znacząca wydaje się przede wszystkim rejestracja i analiza odbicia wiązki lasera od występującej na danym terenie roślinności, która wskazywać może wyraźne różnice wegetacyjne dla tych samych upraw (gatunków roślin), które mogą być związane z anomaliami glebowymi, mając swoje źródło w zalegających tam obiektach nieruchomych, w tym zabytkowych. Intensywność odbicia wiązki lasera odnosi się natomiast do części powracającej energii wysyłanego światła (powraca do urządzenia mierzącego jedynie częściowo), która jest emitowana, i w wyniku licznych czynników, rozpraszana a także odbijana²⁸.

Literatura przedmiotu zjawisko intensywności odbicia wiązki lasera rozpatruje w kontekście tzw. współczynnika odbicia (refleksyjności, refleksyjności – ang. *reflectivity*), który jest definiowany jako stosunek promieniowania rozproszonego od powierzchni podłoża lub obiektu do światła padającego na te powierzchnie²⁹. Różnorodne materiały – obiekty (powierzchnie) charakteryzują się zróżnicowanym współczynnikiem odbicia, co ilustruje poniższa tabela.

Material	Współczynnik odbicia (%)
drewno (sosna, czysta, sucha)	94
śnieg	80-90
biały mur kamienny	85
wapień	75
drzewo liściaste	60
drzewo iglaste	30
piasek (suchy)	57
piasek (mokry)	41
piasek plażowy / otwarty obszar pustyni	50

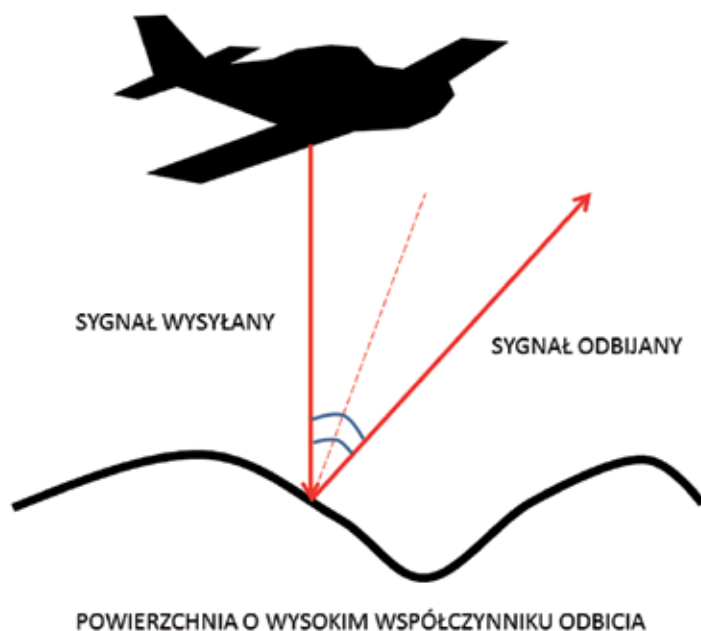
²⁸ Tabaka S., *Klasyfikacja odbicia światła od materiałów stosowanych na odbłyśniki* – http://przemyslawtabaka.info/materialy/czynniki_osw/publikacja1.pdf

²⁹ Bednjanec M., 2011, *Calibration of ALS Intensity Data*, Stockholm, s. 19-21.

palety drewniane (czyste)	25
gładki beton	24
asfalt z otoczkami	17
lawą	8
czarny neopren (kauczuk syntetyczny)	5

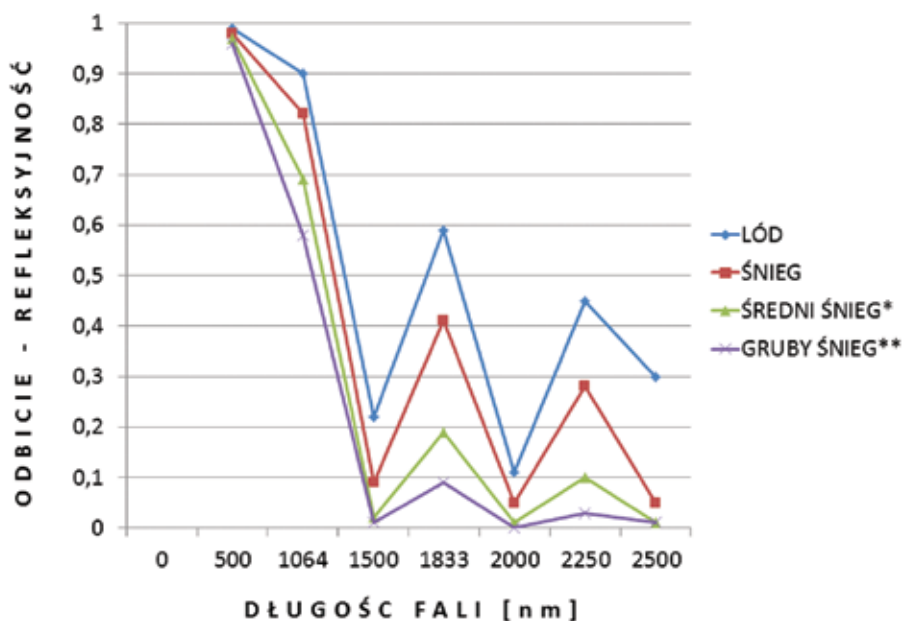
Tab. 4.1. Typowe współczynniki odbicia różnych materiałów dla 900 nm (za Bednjanec 2011³⁰)

Obok zjawiska pochłaniania, odbijania i przekazywania wiązki światła, zakłócenia dla ALS w rejestrowaniu natężenia powracającego wprowadza również atmosfera, a także kąt padania wiązki lasera na powierzchnię, jak również wysokość urządzenia nad powierzchnią mierzoną, (podczas pomiarów stanowi ona zróżnicowany ciąg odległości między emitерem a powierzchnią mierzoną). M.in. te elementy wpływają na zróżnicowane wartości współczynnika odbicia dla poszczególnych pasów tego samego nalotu.

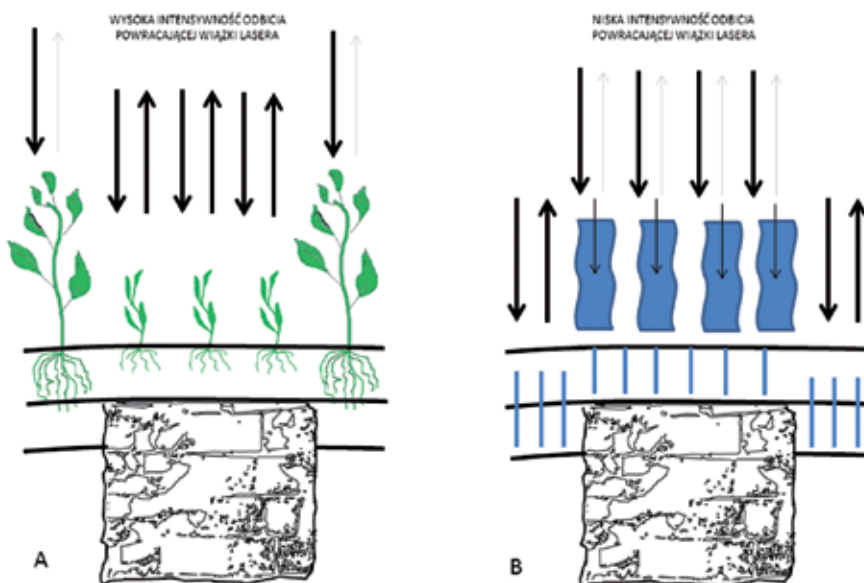


Ryc. 4.11. Schemat obrazujący możliwe zakłócenie w odbiorze (osłabieniu) sygnału powracającego dla powierzchni o wysokim współczynniku odbicia (oprac. R. Zapłata na podstawie Bednjanec 2011, Shan and Toth 2008)

³⁰ Bednjanec M., 2011, s. 20.



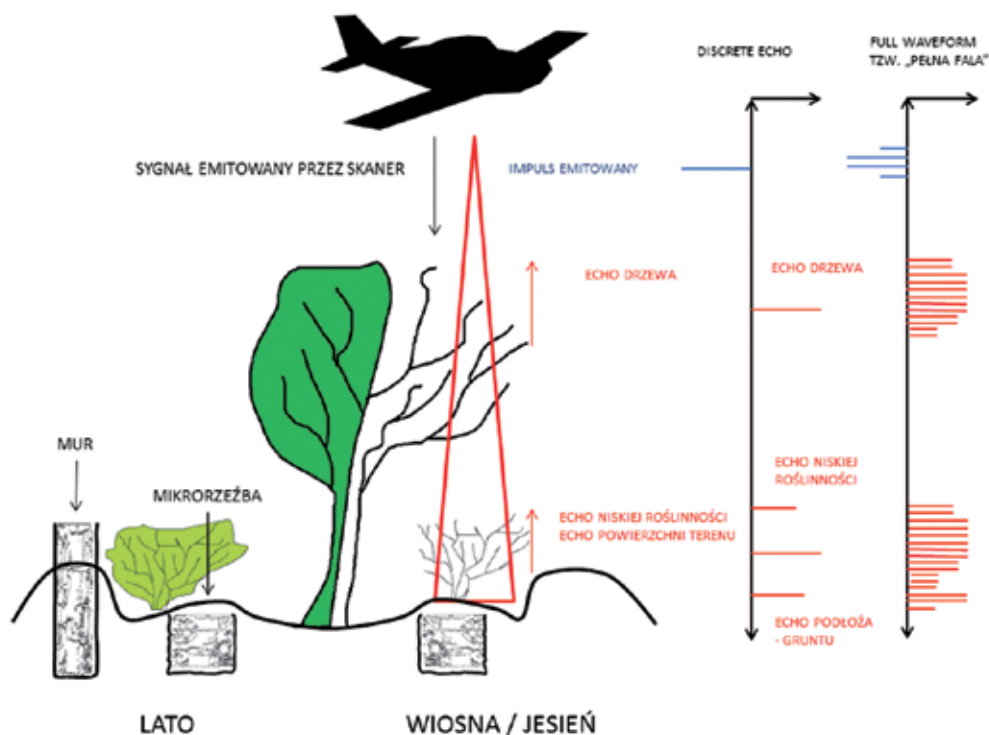
Ryc. 4.12. Współczynnik odbicia dla lodu i śniegu. Data ASTER spectra library (oprac. R. Zapłata wg Larsson et al. 2010 za Bednjanec 2011)



Ryc. 4.13. Model interakcji wiązki lasera z powierzchnią porośniętą roślinnością (po lewej) oraz z powierzchnią wilgotną (po prawej) (oprac. R. Zapłata)

Wpływ na wartość współczynnika odbicia ma również długość fali elektromagnetycznej³¹. W zależności od jej długości, uzyskujemy odmienne współczynniki odbicia, dla tych samych rodzajów powierzchni. Należy dodać, że każda z powierzchni, a zwłaszcza materia ożywiona (roślinność) charakteryzuje się całodobową, szczególnie zaś sezonową zmiennością jakości odbijania promieniowania, co wiąże się również z panującymi warunkami przy obiekcie mierzonym, takimi jak temperatura czy wilgotność.

Od czasu wprowadzenia pierwszych systemów lotniczego skanowania laserowego, rozwój urządzeń skierował się w stronę zwiększenia częstotliwości pracy przyrządów pomiarowych, a następnie wykorzystania tzw. fali ciągłej (ang. *Full Waveform*) dla pełnej analizy przebiegu odbić. Celem przedstawienia rejestracji wszystkich powracających odbić od powierzchni

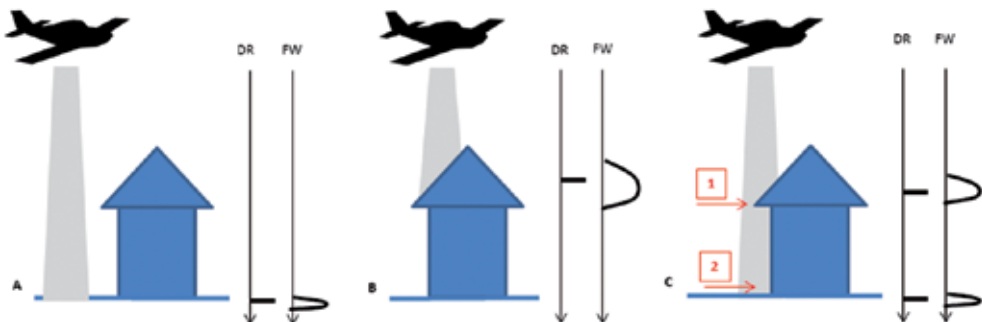


Ryc. 4.14. Schemat ilustrujący zasadę wykonywania pomiarów ALS – (po lewej) systemem konwencjonalnym oraz (po prawej) systemem *full-waveform* (oprac. R. Zapłata na podstawie Masini et al. 2011)

³¹ Clark R. N., Swayze G. A., Wise R., Livo K. E., Hoefen T. M., Kokaly R. F., Sutley S. J., 2003, *USGS Digital Spectral Library* – <http://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-395/ofr-03-395.html>; Bednjanec M., 2011, s. 21.

napotkanych przez laser omówmy zamieszczone w tekście ryciny ilustrujące analizowane zjawisko (ryc. 4.14, 4.15). Pierwsza z rycin (ryc. 4.14) prezentuje porównanie konwencjonalnego i tzw. *full-waveform* ALS, gdzie obserwujemy zasadniczą różnicę w postaci ilości rejestrowanych danych, stanowiących zapis napotkanych „przeszkód” – obiektów w trakcie skanowania (pomiaru na bazie jednego impulsu).

Druga rycina (ryc. 4.14) „przedstawia trzy różne sytuacje odbicia wiązki promienia od napotkanego obiektu. Na osi DR sygnał odbity od obiektu wraca do odbiornika i przedstawiany jest w sposób dyskretny (nie ma możliwości uzyskania informacji o kształcie odbitego echa). Wartości reprezentowane za pomocą osi FW odzwierciedlają kształt powracającego sygnału, dostarczając informacji o odbijanym obiekcie. Ta metoda, wykorzystywana w pracy lotniczych skanerów lotniczych, nazywana jest metodą *full-waveform*. W celu lepszego zrozumienia działania obu metod skanowania zostaną one opisane i wytłumaczone na podstawie rysunku (...). W pierwszej sytuacji (A) wiązka lasera natrafia na płaski teren, w wyniku czego, do odbiornika powraca tylko jedno odbicie, a kształt pełnej fali jest podobny do emitowanego sygnału (modelowego). Na rysunku drugim (B) została przedstawiona sytuacja, w której wiązka lasera, napotykając na dach, odbija się od niego. Analogicznie do poprzedniego przypadku forma fali dyskretnnej (odbicia plusowego) jest podobna do tej, która została opisana w punkcie (A). Kształt pełnej fali zależy od wykorzystywanego odbiornika, a w punkcie odbicia od dachu następuje ugięcie i zmiana kształtu fali (jej amplitudy). W przykładzie (C) wiązka lasera natrafia na róg dachu budynku, co powoduje zwielokrotnienie odbicia od krawędzi dachu i powierzchni terenu. Odbiornik, do którego powraca w postaci dyskretnnej,

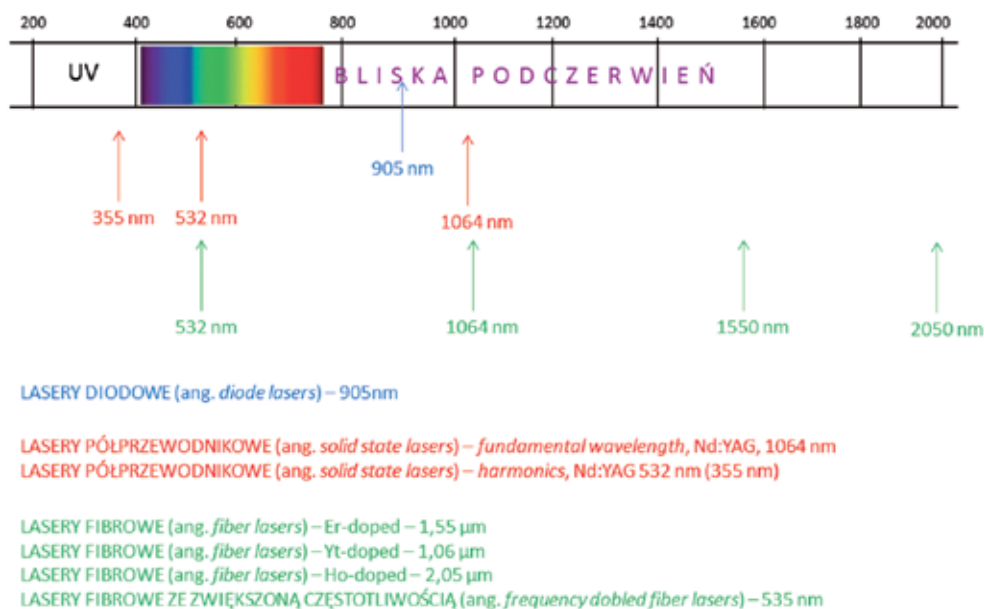


Ryc. 4.15. Zasada działania i pomiaru ALS – system *full-waveform* (oprac R. Zapłata za Markiewicz 2012)

rejestruje dwa odbicia. W przypadku rejestracji kształtu pełnej fali powstają dwa ugięcia (w miejscach odbicia), dzięki którym można zdefiniować od jakiego obiektu nastąpiło odbicie.”³²

Można stwierdzić, że w aspekcie szybkości pracy osiągnięto obecnie poziom zbliżający się do kresu wydajności współczesnych układów optoelektronicznych, sięgający 500 000 impulsów pomiarowych na sekundę.

Kolejnym, rozwijanym kierunkiem badań w zakresie ALS, jest dywersyfikacja źródeł impulsów laserowych oparta na równoległym wykorzystaniu więcej niż jednego lasera, albo też bazująca na wybraniu optymalnej długości fali. Chociaż w przemyśle wykorzystuje się wiele różnych zakresów spektralnych lasera, istnieje tylko kilka długości fali, w których lasery mają wystarczającą energię dla skanowania przez atmosferę.

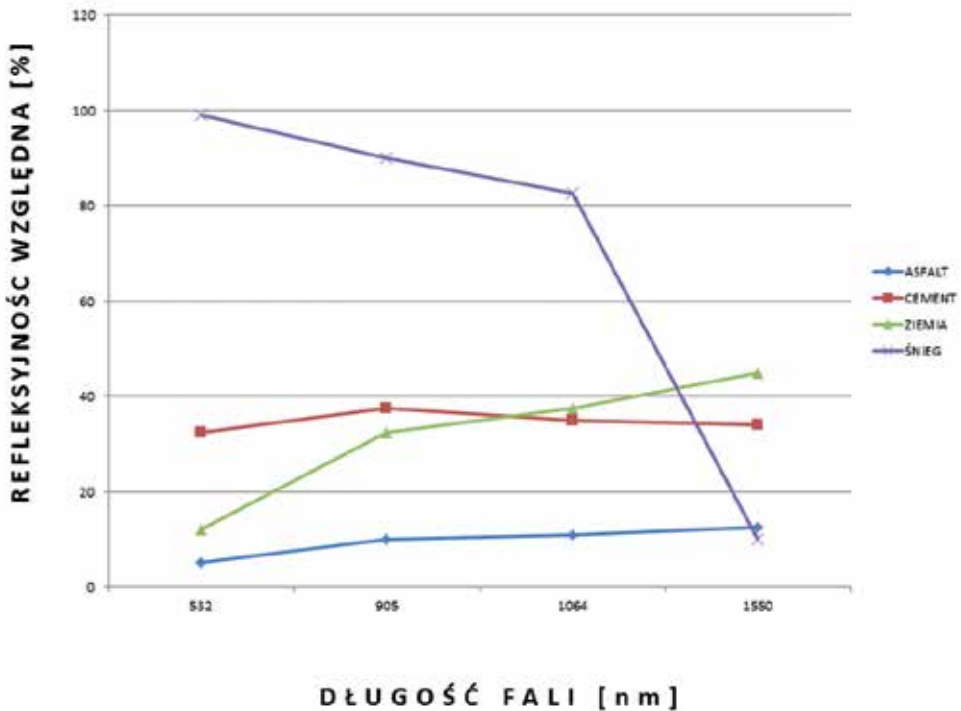


Ryc. 4.16. Długości fali elektromagnetycznej wykorzystywane w skanowaniu laserowym (na podstawie Pfennigbauer, Ullrich 2011 oprac. R. Zapłata)³³

³² Vosselman G., Maas, H-G., 2010. *Airborne and terrestrial laser scanning*, Dunbeath za Markiewicz J., 2012, *Integracja danych z różnych źródeł fotogrametrycznych przy budowie modelu 3D obiektu*, Warszawa [maszynopis pracy dyplomowej – archiwum Politechniki Warszawskiej], s. 17-18.

³³ RIEGL Laser Measurements System: Data sheets RIEGL VQ-580, RIEGL LMS-680i – <http://www.riegl.com/nc/products/airborne-scanning/> [dostęp 02.05.2013]

W przeszłości szeroko stosowane były szybkie impulsowe lasery diodowe o częstotliwości 905 nm. Dzisiejsze systemy w większości wykorzystują lasery ciała stałego o długości fali 1064 nm lub lasery oparte na rozwiązaniach światłowodowych, również o długości fali 1064 nm lub 1550 nm. Dodatkowe możliwości daje metoda wydzielenia dwukrotnie mniejszej długości fali z długości 1064 ciała stałego, pracujących niezależnie. Prowadzi to do bardzo użytecznej długości fali 532 nm, co odpowiada barwie jasnozielonej. Znanych jest więcej długości fal laserów światłowodowych wykorzystujących aktywne włókna z różnymi domieszkami takimi jak: Tl długość fali około 1470 nm, Prazeodym w ok. 1300 nm i Holm około 2 mikrometrów. Każda długość fali ma jednak swoje wady i zalety, występujące w zależności od współczynnika odbicia obiektu, promieniowania tła, stanu atmosfery. Oddzielną kwestią jest również bezpieczeństwo dla oczu. Istnieją pewne powierzchnie bardzo niekorzystne dla niektórych długości fal. Jednym z przykładów jest śnieg, który daje bardzo niewielkie odbicia w zakresie 1550 nm i bardzo duże w zakresie 532 nm.

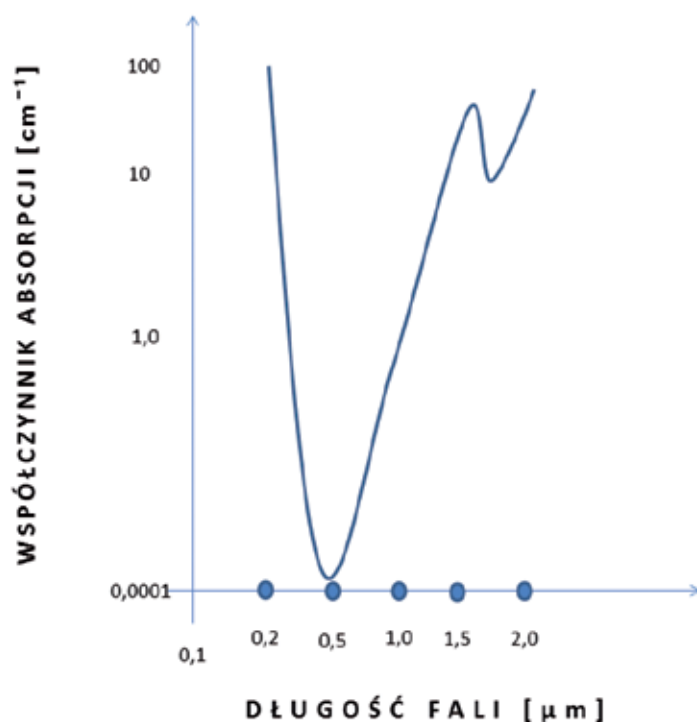


Ryc. 4.17. Odbicie w funkcji długości fali dla różnych materiałów. 532, 905, 1064 oraz 1550 nm – częstotliwości powszechnie stosowane w skanowaniu laserowym (oprac. R. Zapłata na podstawie Baldridge, Hook, Grove, i Rivera, 2008, speclib.jpl.nasa.gov)

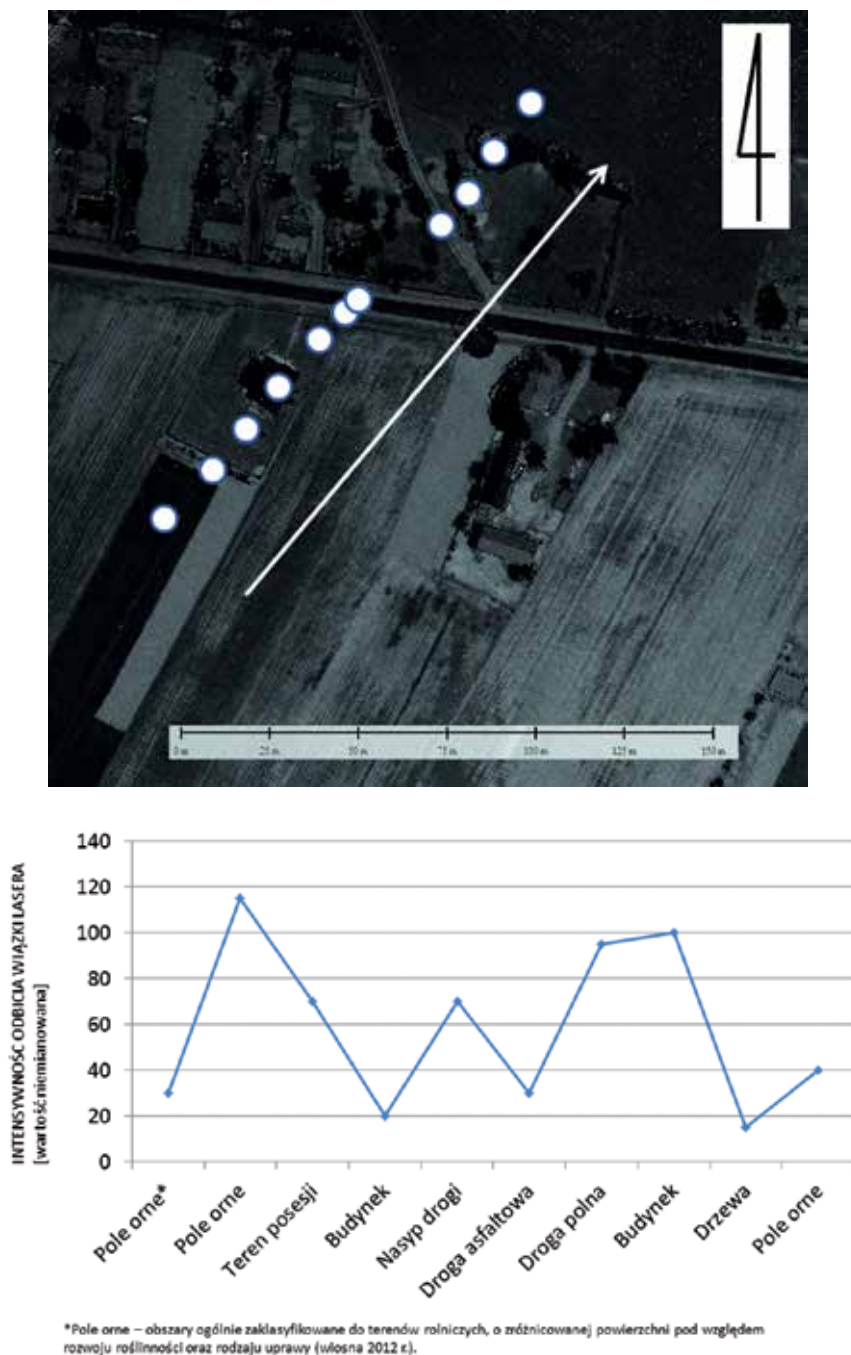
Interesujący jest również fakt, że rośliny wykazują znacznie większy współczynnik odbicia dla 1550 nm niż dla długości fali 532 nm. Rysunek na poprzedniej stronie pokazuje wyraźnie, że – w odniesieniu do odbicia od roślin – 1064 nm jest bardzo korzystną długością fali. Przy wyborze optymalnej długości fali musi być brany pod uwagę także widmowy wpływ natężenia oświetlenia słonecznego.

Maksimum promieniowania słonecznego przypada na około 500 nm. W związku z tym lasery pracujące przy krótszych długościach fali są bardziej podatne na wzrost szumów spowodowanych przez światło słoneczne. Innym czynnikiem, który należy uwzględnić, jest przenikalność atmosferyczna (ang. *atmospheric transmission*). W odniesieniu do tego zjawiska np. częstotliwość 1550 nm jest pożądaną długością fali, zwłaszcza w niekorzystnych warunkach atmosferycznych w stosunku do krótszych długości fali.

Kolejnym zagadnieniem, które należy przywołać jest tłumienie sygnałów laserowych (sygnał w zakresie światła czerwonego) w wodzie, co ma



Ryc. 4.18. Widmowe natężenie promieniowania dla kąta padania Słońca 60° na poziomie morza (oprac. R. Zapłata za Wolfe 1978)



Ryc. 4.19. Wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla różnych powierzchni (u góry) obraz intensywności z rozplanowaniem punktów pomiarowych i kierunkiem określającym kolejność opisu wartości na wykresie (u dołu) (oprac. R. Zapłata)

kluczowe znaczenie dla zastosowań w hydrografii. Sytuację zmienia stosowanie sygnału w zakresie światła zielonego.³⁴

Minimalny współczynnik absorpcji wody, a więc minimalne tłumienie występuje dla częstotliwości około 450 nm. Na głębokości 10 m, zielony laser impulsowy pracujący na 532 nm, będzie osłabiony tylko o około 4 dB, natomiast częstotliwość 1064 nm jest prawie całkowicie pochłaniana po 10 cm głębokości, a dla częstotliwości 1550 nm impuls zanika po zaledwie około 1 mm. Oprócz absorpcji impulsów laserowych, skanery laserowe wiążą się również ze zjawiskiem załamania i (co jest najbardziej problematyczne dla skanerów laserowych hydrograficznych) poważnego rozproszenia impulsu. Dla przykładu skaner laserowy Riegl LMS-Q-680i pracuje z laserem o częstotliwości 1550 nm i jak wynika z wykonanych pomiarów, jest to częstotliwość optymalna, przy wykorzystaniu takiego parametru technicznego w skanowaniu topograficznym.³⁵

W związku z powyższym, na bazie obserwacji i wyników pomiarów, rejestracji i pomiaru intensywności odbicia wiązki lasera w ALS, możliwe jest włączenie do procesu analitycznego i interpretacyjnego omawianego parametru, który pozwala m.in. (przynajmniej w ogólnym zakresie) wspierać proces rozpoznawania obiektów zabytkowych. Najogólniej, zróżnicowanie intensywności odbicia powracającej wiązki lasera obserwujemy w oparciu o wartość (jednostka niemianowana) wyrażaną np. w procentach lub formie wizualnej, na bazie obrazowania wyników pomiarów, poprzez analizę kontrastu. Należy zaznaczyć, że metoda ta przede wszystkim stanowi element wspierający procesy interpretacyjne, wymagający weryfikacji w oparciu o inne metody, a także prospekcję terenową. Wymaga również uwzględnienia m.in. wymienionych powyższej czynników, wpływających na uzyskiwaną wartość współczynnika odbicia wiązki światła.

Podsumowując pokrótce zagadnienie intensywności odbicia wiązki lasera, należy podkreślić, że aplikacja omawianego parametru do badań, zwłaszcza do badań dziedzictwa kulturowego, znajduje się obecnie na etapie testów i wdrożeń. Od co najmniej kilku lat trwają badania eksperymentalne nad zjawiskiem pomiaru intensywności powracającego promienia światła, kalibracji tego parametru, z licznymi pozytywnymi wynikami, wskazując na rodzący się potencjał dla tego parametru, który obecnie pozwala już na wspomagającą interpretację w detekcji zasobów kulturowych, a z pewnością na uzupełniającą klasyfikację zróżnicowanej powierzchni badanego

³⁴ Dudzińska-Nowak J., 2007, *Przydatność skanowania laserowego do badań strefy brzegowej południowego Bałtyku*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 179-187 (181-2).

³⁵ *Oceanography from space: Proceedings*, 1965, Ewing G. C. (red.), Woods Hole MA.

terenu³⁶. Warto nadmienić, że obrazy intensywności (podobnie jak w technologii TLS) są nieciągłe.

Tak pojmowany czwarty wymiar stanowi wraz z pomiarem przestrzennym pewien całościowy system, umożliwiający kartometryczną rejestrację danych, generowanie modelu wysokościowego terenu z możliwością identyfikacji i klasyfikacji elementów pokrycia terenu oraz podłoża.

4.3.3. Przetwarzanie i analiza geodanych

Pomiar przestrzenny w ramach ALS jest jednym z elementów początkowych etapów prac, które w następnej kolejności poddawane są procesowi obróbki i przetwarzania, zwłaszcza pod kątem detekcji obiektów zabytkowych. Procedura przetwarzania stanowi zatem etap prac kameralnych, które umożliwiają dalszą szczegółową prospekcję za pomocą narzędzi geoinformatycznych. Możemy wyróżnić dwa zasadnicze etapy przetwarzania danych: (1) etap przygotowania produktu fotogrametrycznego, (2) etap przetwarzania danych na potrzeby badań, analiz, inwentaryzacji oraz modelowania dziedzictwa kulturowego.

Etap analizy i przetwarzania danych wiąże się z różnorodnymi sposobami rozpoznawania i klasyfikacji powierzchni terenu, w tym dziedzictwa kulturowego. Możemy mówić o operacjach – analizach chmury punktów i/lub NMT (również NMPT), a także pracy na wygenerowanym obrazie – zwizualizowanych danych. Poza tym możemy rozpoznawać i wskazywać potencjalne obiekty nieruchome w sposób nadzorowany i nienadzorowany, jak również w sposób automatyczny i półautomatyczny. Zasadniczą kwestią jest klasyfikacja chmury punktów, a także interpolacja, które są podstawą generowania NMT, a więc powszechnych przetworzeń chmur punktów w procesie badawczym. Warto jednak podkreślić, że zastosowanie różnych programów, czy też różnych algorytmów do interpolacji, generalizacji i wygładzania, może doprowadzić do znaczących różnic w generowanych NMT (różnice – błędy mogą dochodzić do kilkudziesięciu centymetrów).³⁷

Kolejna kwestia, istotna z uwagi na wskazywanie i rozpoznawanie potencjalnych obiektów zabytkowych, to wspomniana analiza danych, w oparciu o różnorodne formy wizualizacji. W ramach analizowania danych,

³⁶ Pesci A., Teza G., 2008, *Effects of surface irregularities on intensity data from laser scanning: An experimental approach*, „Annals of Geophysics”, vol. 51, no. 5/6, s. 839-848.

³⁷ Stereńczak K., 2009, *Lotniczy skanowanie laserowe (LIDAR) w badaniach na rzecz ochrony przyrody*, „Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej”, R. 11, z. 2 (21), s. 135-143 (91) – http://cepl.sggw.waw.pl/wydawnictwa/sim21_pdf/131_sim21.pdf

fotogrametrycznych wyróżniamy m.in. techniki wizualizacji NMT i wtórnego przetwarzania danych, a tym samym techniki umożliwiające rozpoznawanie zasobów dziedzictwa kulturowego, które wspierane są narzędziami geoinformatycznymi (np. filtrami morfologicznymi), dając m.in. możliwość zróżnicowanego wydzielania potencjalnych obiektów oraz przestrzennych układów zabytkowych³⁸. Do najczęściej spotykanych w literaturze przedmiotu analiz i technik przetwarzania danych ALS zaliczane są:

(1) analiza cieniowania zboczy (ang. *shaded relief*), w tym wielokierunkowego cieniowania zboczy (ang. *hill-shading from multiple directions*), polegająca zasadniczo na symulacji padania promieni światła (o określonym – przyjmowanym azymucie i wysokości) na wygenerowany NMT³⁹;

(2) przetwarzanie danych na bazie lokalnego modelu rzeźby terenu – *Local Relief Model*⁴⁰ (akronim LRM), które zasadniczo charakteryzuje się wyodrębnianiem obiektów o małych różnicach wysokościowych, przy jednoczesnym wyłączaniu z analizy większych form terenowych. Przetworzenie typu LRM dokonuje się filtrami dolnoprzepustowymi, analizując model różnicowy⁴¹;

(3) Analiza składowych głównych (ang. *Principal Component Analysis*)⁴² – „Metoda PCA umożliwia kompresję najbardziej przydatnych, w późniejszym w procesie klasyfikacji informacji zawartych w obrazie, przez utworzenie zmiennych nazywanych składowymi głównymi (Principal Components).

³⁸ Mlekuż D., 2012, *Messy landscapes: lidar and the practices of landscaping*, (w:) *Interpreting archaeological topography – airborne laser scanning. 3D data and ground observation*, Opitz R., Cowley R. (red.), Oxford (Occasional publications of the aerial archaeology research group, no. 5), s. 90-101 – http://www.academia.edu/2550191/Messy_landscapes_lidar_and_the_practices_of_landscaping.

³⁹ Hesse R., 2010a, *Extraction of archaeological features from high-resolution LIDAR data*, (w:) *14th International Congress „Cultural Heritage and New Technologies“ Vienna, 2009*, Vienna, s. 636-642 – http://www.academia.edu/1045403/Extraction_of_archaeological_features_from_high-resolution_LIDAR_data; Kokał J., Oštir K., Zakšek K., 2012 – [http://www.google.pl/url?sa=t&rct=j&q=global%20radiation%20\(sv%20lidar%20archaeology&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fiaps.zrc-sazu.si%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FKokalj_visualizations_www.pptx&ei=izuRUeqmOYXx4QT74YG4Ag&usq=AFQjCNHk1Q3p2ZK1rE1WXRqABTmg2yN2cQ&bvm=bv.46340616,d.bGE](http://www.google.pl/url?sa=t&rct=j&q=global%20radiation%20(sv%20lidar%20archaeology&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fiaps.zrc-sazu.si%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FKokalj_visualizations_www.pptx&ei=izuRUeqmOYXx4QT74YG4Ag&usq=AFQjCNHk1Q3p2ZK1rE1WXRqABTmg2yN2cQ&bvm=bv.46340616,d.bGE); Loisios D., Tzelepis N., Nakos B., 2007, *A methodology for creating Analytical hill-shading by combining different lighting directions*, (w:) *Proceedings of the 23rd International Cartographic Conference, Moscow, August 2007*, Moscow – http://www.mountaincartography.org/publications/papers/ica_cmc_sessions/5_Moscow_Session_Mountain_Carto/moscow_loisios.pdf.

⁴⁰ Hesse R., 2010a.

⁴¹ Hesse R., 2010c, *LiDAR-derived Local Relief Models – a new tool for archaeological prospection*, „Archaeological Prospection”, vol. 17, issue 2, s. 67-72.

⁴² Zagajewski B., Jarocińska A., Olesiuk D., 2008, *Metody i techniki badań geoinformatycznych*, Warszawa – http://www.telegeo.wgsw.uw.edu.pl/bz/Zagajewski_Jarocinska_Olesiuk_cpo.pdf; Ciurysek K., Drodz M., 2013, *Analiza składowych głównych*, Lublin – http://przeklej.net/download.php?file_id=49159; Laudański Z., Mańkowski D. R., Flaszka M., 2012, *Eksploracyjna analiza czynnikowa w badaniach struktur zespołu zmiennych obserwowanych*, „Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin”, nr 263, s. 75-89 – <http://members.upcpoczta.pl/d.mankowski3/files/B-1-16.pdf>; Hesse R., 2010c; Devereux B. J., Amable G. S., Crow P., 2008, *Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection*, „Antiquity”, vol. 82, s. 470-479.

Wyznaczenie w procesie PCA głównych składowych polega na wyznaczeniu nowej osi głównej układu współrzędnych spektralnych, wzdłuż największej wariancji danych, przez rzutowanie wartości pikseli obrazu w przestrzeni wielowymiarowej. Następnie wyznaczane są prostopadłe osie do pierwszej, także według maksymalnej wariancji (najistotniejszej statystycznie informacji). W ten sposób powstają nowe kanały zawierające wzajemnie nieskorelowane dane⁴³;

(4) indeks pozycji topograficznej (ang. *Topographic Position Index* – akronim TPI), który zaliczany jest do metod usuwających trend (ang. *Trend Removal*). Celem wyeksponowania małych deniwelacji terenu tworzony jest model różnicowy dokładnego NMT i jego uogólnienia⁴⁴.

Poza w/w sposobami przetwarzania danych ALS wyróżniamy szereg innych, do których zaliczamy: (1) przetwarzanie danych NMT, celem generowania warstw, wspieraną pół- lub automatyczną klasyfikacją/detekcją (ang. *contour generation options*); (2) analizę nachylenia zbocza lub fragmentu obiektu zabytkowego, w celu detekcji miejsc/obiektów o określonych parametrach nachylenia stoku (ang. *slope*); (3) ekspozycję (ang. *aspect*); (4) przetwarzanie powierzchni NMT na bazie symulacji rozpraszanego oświetlenia – współczynnika widoku nieba (ang. *anisotropic diffuse illumination / anisotropic sky brightness, Sky-View Factor*)⁴⁵; (5) analizę chmury punktów i powstałych martwych pół; (6) analizę wzmocnionego spadku (ang. *slope severity*)⁴⁶; (7) analizę chmury punktów i NMPT w odniesieniu do roślinności, którą można korelować z charakterystycznymi wypełniskami, czy rodzajem podłoża; analizę (symulację) zalewania terenu (symulacja wyróżnika zalewowego); (8) klasyfikację i detekcję obiektów na podstawie kontrastu – różnicy intensywności odbicia wiązki lasera (szerzej dalej); (9) kombinację LRM

⁴³ Zagajewski B., Jarocińska A., Olesiuk D., 2008, s. 71.

⁴⁴ Weiss A. D., 2001, *Topographic position and landforms analysis* – http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf

⁴⁵ Hesse R., 2012, *Detecting former field systems with airborne LIDAR – an overview of current methods*, [poster] – http://www.academia.edu/1941481/Detecting_former_field_systems_with_airborne_LIDAR_-_an_overview_of_current_methods; Zakšek K., Oštir K., Kokalj Ž., 2011, *Sky-view factors as a relief visualization technique*, „Remote Sensing”, 3, s. 398–415; Kokalj Ž., Zakšek K., Oštir K., 2010, *Archaeological application of an advanced visualisation technique based on diffuse illumination*, (w:) 30th EARSeL Symposium: Remote Sensing for Science, Education and Culture, (red.) R. Rainer, Paris, s. 113–120; Zakšek, K., Oštir, K., Pehani P., Kokalj, Ž., Polert E., 2012, *Hill-shading based on anisotropic diffuse illumination*, „GIS Ostrava 2012 – Surface models for geosciences”, January 23– 25, 2012, Ostrava – http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2012/sbornik/papers/zaksek.pdf; Štutlar B., 2011, *The use of lidar-derived relief models in archaeological topography. The Kobarid region (Slovenia) case study*, „Arheološki Vestnik”, 62, s. 393–432 – http://www.academia.edu/1280992/The_use_of_lidar-derived_relief_models_in_archaeological_topography._The_Kobarid_region_Slovenia_case_study

⁴⁶ Challis K., Forlin P., Kinney M., 2011, *A generic toolkit for the visualization of archaeological features on airborne LiDAR elevation data*, „Archaeological Prospection”, vol. 18, issue 4, s. 279–289.

z *slope*⁴⁷; (10) przetwarzanie danych w oparciu o filtry górnoprzepustowe np. filtr Laplace'a (ang. *Laplacian filter*)⁴⁸, czy (11) ekstrakcję linii strukturalnych i punktów istotnych (ang. *surface specific points, critical points*)⁴⁹. W/w analizy umożliwiają wieloaspektową detekcję obszarów, w celu rozpoznawania zasobów dziedzictwa kulturowego, które jest identyfikowane w oparciu o: kształt, wielkość, fakturę, kontekst, sąsiedztwo oraz rozmieszczenie przestrzenne. Najogólniej, filtry przetwarzania danych ALS, stosowane są celem obliczania nowych wartości pojedynczych punktów przy uwzględnieniu wartości punktów z otoczenia, co skutkuje różnorodnymi sposobami uwytkulania i wizualizacji szeregu form naturalnych oraz antropogenicznych.

Poza w/w przykładami wspierania procesu klasyfikacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa kulturowego, literatura przedmiotu proponuje również rozwiązania półautomatycznej detekcji zabytkowych obiektów nieruchomych na bazie danych ALS, włączając do procesu badawczego narzędzia umożliwiające szerokopłaszczyznową i wieloelementową prospekcję, opartą na korelacyjnym wyszukiwaniu rozpoznanych struktur (obiektów). Przykładem takiego podejścia są m.in. badania Konstantinosa Perakisa, który zaproponował półautomatyczną detekcję kurhanów na terenach zalesionych, m.in. celem wypracowania systematycznego kartografowania zasobów dziedzictwa kulturowego w Norwegii. Najogólniej metoda polega na wyszukiwaniu określonych struktur wg znanych i przyjętych parametrów, a także ich korelowaniu, celem automatycznej detekcji struktur zbliżonych do wzorcowych⁵⁰. Włączenie automatyzacji do procesu detekcji, przede wszystkim jako narzędzia wspierającego, a nie wiodącego w rozpoznawaniu potencjalnych struktur i zabytkowych układów przestrzennych, jest ciekawą propozycją, o dużym potencjale, zwłaszcza dla terenów, na których występują liczne obiekty zabytkowe o podobnych cechach (np. obiekty pokopalniane, militarne czy ogólnie przemysłowe – szerzej dalej).

Bazując na zjawisku braku rejestracji odbić od powierzchni zawilgoconych, można w niektórych przypadkach również wnioskować

⁴⁷ Doneus M., Doneus N., Briesch Ch., Pregesbauer M., Mandlbürger G., Verhoeven G., 2013, *Airborne laser bathymetry – detecting and recording submerged archaeological sites from the air*, „Journal of Archaeological Science”, vol. 40, issue 4, s. 2136-2151 – <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440312005420>

⁴⁸ Hesse R., 2012.

⁴⁹ Olszewski R., *Generalizacja informacji wysokościowej w bazie danych obiektów topograficznych* – <http://www.geoinformatica.agh.edu.pl/pdfy/Seminarium/Referat2.pdf>. Przekrojowa prezentacja omawianych technik np. *Lidar DEM visualisation* – <http://www.archaeolandscapes.eu/index.php/ro/interretare/topografie/207.html> [dostęp 02.05.2013]

⁵⁰ Perakis K., 2012, *Semi-automatic detection of burial mounds in forested areas*, „Advances in Geosciences”, s. 1-12 – http://publications.nr.no/1338295017/Trier-Zortea-Larsen_EARSeL_2012_paper.pdf [dostęp 02.05.2013].

o występowaniu specyficznej sytuacji, która wesprze wskazywanie obecności obiektów zabytkowych. Wyróżniki wilgotnościowe, bo w taki sposób można by określić omawiane zjawisko, pozwalają przynajmniej w sposób pośredni analizować występowanie obniżień terenu, kształty czy przewyższenia niektórych fragmentów obiektów nieruchomych.

Pomiary lotniczego skanowania laserowego stanowią również istotny element w kompleksowym i wieloźródłowym podejściu do badania dziedzictwa kulturowego, co należy rozumieć tutaj jako integrację danych pozyskanych z różnorodnych urządzeń oraz ze zróżnicowanego pułapu pomiaru: naziemnego, lotniczego i satelitarnego. Przykładem łączenia danych satelitarnych z danymi LIDAR jest m.in. wzmocnienie procesu klasyfikacji obiektowej wielospektralnych ortofotomap lotniczych⁵¹.

4.4. ALS na rzecz dziedzictwa kulturowego – rys historyczny

Celem zarysowania krótkiej, ale jakże już bogatej historii zastosowania ALS w badaniach dziedzictwa kulturowego, warto przybliżyć wybrane przykłady użycia omawianej technologii. Wykorzystanie ALS w badaniach dziedzictwa kulturowego sięga początków XXI wieku, stanowiąc metodę stopniowo coraz szerzej aplikowaną do projektów naukowo-badawczych i konserwatorskich, a zarazem narzędzie rozwijane przez producentów – dostarczające danych, które wraz z rozwojem technik geoinformatycznych poszerza swój potencjał. Jednym z pierwszych pionierskich, projektów, w ramach którego zastosowano system LiDAR do badania dziedzictwa kulturowego (archeologicznego) były badania w latach 1984-85 Thomasa Servera z NASA w okolicach wulkanu Mount Arenal⁵².

W skali światowej, nowatorskich prac z ALS w badaniach dziedzictwa archeologicznego doczekaliśmy się na początku XXI wieku. Przykładem zastosowania lotniczego skanowania laserowego w archeologii, a zarazem znakomitym poligonem doświadczalnym, okazały się badania Stonehenge w Anglii, prowadzone przy współpracy Environment Agency i English Heritage oraz współudziale R. H. Bewley'a (English Heritage),

⁵¹ Wężyk P., Mlost J., Pierzchalski M., Wójtowicz-Nowakowska A., Szwed P., 2012, *Wzmocnienie procesu klasyfikacji obiektowej wielospektralnych ortofotomap lotniczych danymi z lotniczego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 467-476.

⁵² Renfrew C., Bahn P., 2002, *Archeologia. Teorie. Praktyka. Metody*, Warszawa, s. 82; Štutlar B., 2011.

S. P. Crutchley'a (English Heritage), a także C. A. Shella z Departamentu Archeologii (University of Cambridge)⁵³.

Od 2007 r. realizowano pionierskie prace nad poszukiwaniem i dokumentacją starożytnego (germańsko-retyckiego) limesu w Niemczech. Wykonawcą tego projektu był bawarski urząd konserwatorski przy współpracy z firmą ArcTron. Od 2009 r. prowadzono badania starożytnego miasta Majów Caracol w Belize. Kolejny przykład to prace podjęte m. in. przez National Science Foundation's National Center for Airborne Laser Mapping (NCALM), University of California, Berkeley, University of Florida (obecnie University of Houston) oraz Arlen F. Chase z Departamentu Antropologii (University of Central Florida, Orlando, Florida, USA) i Williama E. Cartera z Instytutu Archeologii (National Institute of Culture and History, Belmopan, Belize). Innym przykładem są badania wsparte przez NASA Grant NNX08AM11G oraz UCF-UF Space Research Initiative (Chase, Chase, Weishampe i in. 2011). Należy też wspomnieć o projektach „Whitam Valley”⁵⁴ i „Forest of Dean”, realizowanych pod szyldem English Heritage⁵⁵.

Początkowo technologia pozwalała na pomiary powierzchni ziemi na terenach niezalesionych – np. Stonehenge⁵⁶, a dopiero z czasem jej rozwój dopuścił objęcie przedmiotem badań terenów zalesionych, a nawet dżungli. Pośród pionierskich projektów stosujących ALS w badaniu dziedzictwa kulturowego w pierwszej dekadzie XXI w., należy wymienić liczne badania środowisk archeologicznych, które odsyłają do prac w Niemczech, Słowenii⁵⁷, Holandii, Wielkiej Brytanii, Grecji, Irlandii, Czechach, Belgii, Austrii, Włoszech czy USA.⁵⁸

Oddzielnym zagadnieniem, z uwagi na wyznaczony w pracy podział, są badania nad intensywnością odbicia wiązki lasera, również w odniesieniu do badań archeologicznych, których podjął się zespół w składzie Carey Ch. J., Challis K., Kinsey M., Howard A., publikując wyniki badań w pracy z 2008, *Analysis of the Effectiveness of Airborne Lidar Intensity for Predicting*

⁵³ Bewley R. H., Crutchley S., Shell C. A., 2005, *New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site*, „Antiquity”, vol. 79, no. 305, s. 636–647; Chase A. F., Chase D. Z., Weishampel J. F., Drake J. B., Shrestha R. L., Slatton K. C., Awe J. J., Carter W. E., 2011, *Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize*, „Journal of Archaeological Science”, vol. 38, issue 2, s. 387–398 – <http://www.caracol.org/include/files/chase/JASarticle.pdf>; Crutchley S., Crow P., 2009, *The Light Fantastic: using airborne laser scanning in archaeological survey*, Swindon – <http://www.english-heritage.org.uk/publications/light-fantastic/>, s. 28.

⁵⁴ Crutchley S., Crow P., 2009, s. 28–30.

⁵⁵ Crutchley S., Crow P., 2009.

⁵⁶ Bewley R. H., Crutchley S., Shell C. A., 2005.

⁵⁷ Štutlar B., 2011.

⁵⁸ Masini N., Coluzzi R., Lasaponara R., 2011.

Organic Preservation Potential of Waterlogged Deposits, i wskazując przede wszystkim na potencjał uwzględniania omawianego parametru, a zarazem ograniczoną użyteczność zastosowania w badaniach dziedzictwa kulturowego, ale wspierającą i komplemetraną wraz z fotografacją lotniczą i ALS⁵⁹

Kolejne zagadnienie to przywołane wcześniej tzw. pełne odbicie – *full waveform*, które również znalazło zastosowanie w badaniach dziedzictwa kulturowego (archeologicznego), czego przykładem są m.in. prace M. Doneus'a i C. Briese⁶⁰.

Poszczególne projekty, rozwijające i wdrażające ALS do badań dziedzictwa kulturowego, przyczyniały się również do rozwoju samych narzędzi geoinformatycznych w analizowaniu danych LIDAR. Warto w tym miejscu jedynie przywołać autorów kilku pozycji, które wpisały do badań archeologicznych wspomniane wyżej filtry wtórnego przetwarzania danych. Na uwagę zasługują zwłaszcza badania i publikacje Ž. Kokalja, K. Zakšeka, i K. Oštira, w zakresie symulacji rozpraszanego oświetlenia (ang. *diffuse illumination*)⁶¹; R. Hesse'a w zakresie modeli rzeźby terenu (ang. *lokal relief models*)⁶². Ten projekt oraz wspomniane wcześniej badania nad współczynnikiem odbicia, a także szereg innych, wyznaczyły nową jakość w pracach z danymi ALS, rozwijając przede wszystkim zagadnienia stosowanych narzędzi geoinformatycznych, co nie jest charakterystyczne dla większości projektów realizowanych dotychczas w Polsce (szerzej poniżej). Przywoływane projekty skupiły uwagę m.in. na jakości danych, konieczności krytycznego podejścia do ich interpretacji, zwłaszcza tych, które są efektem automatycznych klasyfikacji.

Badanie dziedzictwa kulturowego w środowiskach polskich naukowców i ośrodków badawczych za pośrednictwem technologii laserowego skanowania lotniczego obecne jest praktycznie od 2008 roku. Podjęto wówczas pierwsze w skali kraju działania w zakresie wykonywania pomiarów i analizy oraz interpretacji danych LIDARowych, w związku z rozpoznaniem i inwentaryzacją dziedzictwa archeologicznego. Od strony teoretycznej, a zarazem praktycznej, potencjał technologii lotniczego skanowania laserowego w badaniach archeologicznych zaprezentowano m.in. podczas spotkań

⁵⁹ Carey Ch. J., Challis K., Kincey M., Howard A., 2008, *Analysis of the effectiveness of airborne lidar intensity for predicting organic preservation potential of waterlogged deposits*, Birmingham – http://ads.ahds.ac.uk/catalogue/adsdata/arch-827-1/dissemination/pdf/PN4782_Stage1_Report_complete_text.pdf

⁶⁰ Doneus M., Briese C., 2006; Doneus M., Briese C., 2006b; Doneus M., Briese C., Fera M., Janner M., 2008, *Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning*, „Journal of Archaeological Science”, vol. 35, s. 882-893.

⁶¹ Kokalj Ž., Zakšek K., Oštir K., 2010.

⁶² Hesse R., 2010c.

w ramach tzw. NATO Advanced Workshop, zorganizowanych w Lesznie w 2000 r. przez Instytut Prahistorii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu razem z English Heritage⁶³. Nowatorskie zastosowanie ALS / LIDARu w polskiej archeologii należy wiązać z pracami z 2008 r. w rejonie Piły (woj. wielkopolskie) – projekt sfinansowany ze środków Ministerstwa Kultury i Sztuki, Priorytet IV Ochrona Zabytków Archeologicznych i Wielkopolskiego Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków. Inicjatorem projektu z ramienia leszczyńskiej delegatury Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków był Jacek Nowakowski⁶⁴. W roku 2009 przeprowadzono natomiast konsultacje i wstępne rozpoznanie (analiza i interpretacja) dziedzictwa kulturowego na podstawie danych pozyskanych w oparciu o lotnicze skanowanie laserowe na terenach woj. wielkopolskiego i łódzkiego – działania zainicjowane wspólnie z Uniwersytetem Kardynała Stefana Wyszyńskiego oraz firmą MGGP Aero Sp. z o. o.. Rok 2010 to kolejna inicjatywa, związana z analizą danych ALS w ramach badań własnych, realizowana przez autora niniejszej publikacji, przy współpracy z MGGP Aero⁶⁵. Kolejnych, liczniejszych badań z zastosowaniem systemu LIDAR doczekała się archeologia polska w roku 2011, m. in. w wyniku badań realizowanych w ramach programu Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego „Ochrona zabytków archeologicznych”. Realizowane projekty zaowocowały nieinwazyjnym rozpoznaniem: a) obszaru Puszczy Marszałkowskiej oraz Lasu Miejskiego w okolicach Kętrzyna, woj. warmińsko-mazurskie⁶⁶, b) terenu powiatu nowosolskiego i jego pogranicza w woj. lubuskim⁶⁷, c) obszaru w powiecie ostrowieckim, woj. świętokrzyskie, w tym terenu rezerwatu archeologicznego „Krzemionki” – Nadleśnictwo Ostrowiec Świętokrzyski⁶⁸. Kolejny rok – 2012 to już intensywniejsze działania w polskiej nauce, szerzej włączające w zasób metod badawczych lotnicze skanowanie laserowe.

⁶³ Bewley R.H., W. Rączkowski W. (red.), 2002, *Aerial Archaeology. Developing Future Practice*, Amsterdam; Holden N., Horne P., Bewley R. H., 2002, *High resolution digital airborne mapping and Archaeology*, (w:) *Aerial archaeology: Developing future practice*, (red.) R. Bewley, W. Rączkowski, Amsterdam (NATO Series 1, vol. 337), s. 173-180; Holden N., 2000, *Environment Agency (UK): the use of LIDAR for archaeology*, [referat].

⁶⁴ Nowakowski J., 2010, *Airborne Laser Scanning (ALS) w polskiej archeologii. Próby, doświadczenia, wyniki* [referat wygłoszony na konferencji XIX Konferencja Sprawozdawcza. Badania archeologiczne na Nizinie Wielkopolsko-Kujawskiej w latach 2008-2009, Poznań].

⁶⁵ Sławik Ł., Zapłata R., 2010, *LIDAR w badaniach archeologicznych* [prezentacja na konferencji pt. *Metody geofizyczne w archeologii polskiej*, Warszawa]

⁶⁶ Badania Muzeum im. Wojciecha Kętrzyńskiego w Kętrzynie *Nowe metody weryfikacyjnych badań AZP obszarów leśnych* – <http://www.muzeum.ketrzyn.pl/autoinstalator/wordpress/?p=554> [dostęp 14.07.2012].

⁶⁷ Badania SNAP Oddział Lubuski *Kompleksowe, niedestrukcyjne rozpoznanie zasobów archeologicznych Starożytności w woj. lubuskim* – <http://www.snap.zgora.pl/projekty-2.htm> [dostęp 14.07.2012].

⁶⁸ Badania UKSW – projekt pt. „Badania pradziejowych kopalń krzemienia z użyciem ALS”.

Rok 2012 przyniósł kolejne realizacje naukowo-badawcze wspierające się ALS, do których należy zaliczyć przede wszystkim projekty w ramach programu MKDN „Ochrona zabytków archeologicznych”: „Modelowe badania nieinwazyjne obszarów leśnych – Las Krotoszyn” (wykonawca Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu); „Nowe metody identyfikacji i weryfikacji stanowisk na Suwalszczyźnie” (wykonawca Państwowe Muzeum Archeologiczne w Warszawie)⁶⁹; „Niedestrukcyjne, kompleksowe rozpoznanie zasobów archeologicznych dorzecza Wela na Garbie Lubawskim” (wykonawca Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie); „Nieinwazyjne badania kompleksu megalitycznego w Muszkowicach” (wykonawca Uniwersytet Wrocławski); projekt w ramach programu Narodowego Centrum Nauki, dotyczący badań nieinwazyjnych okolic Sławna i Polanowa na Pomorzu Środkowym pt. „Przeszłe krajobrazy w kontekście danych przestrzennych. Współczesne technologie i możliwości interpretacyjne archeologii w studiach mikroregionu wczesnośredniowiecznego grodziska we Wrześnicy” (wykonawca Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu); projekt Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. „Archeokrajobrazy Europy” (wykonawca Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu); projekt finansowany przez Fundację im. A. Pasek pt. „Archeologia w lesie. Wykorzystanie GIS i LiDAR w prospekcji archeologicznej na terenie gminy Polanów” (wykonawca Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu); projekt pt. „ArchaeoLandscapes Europe (współwykonawca Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu)⁷⁰. Również w ramach Narodowego Programu Rozwoju Humanistyki podjęto od 2012 r. działania z zastosowaniem ALS – projekt UKSW (szersza charakterystyka dalej). Kolejny rok – 2013, to dalsze działania z aplikacją ALS do badań archeologicznych, pośród których warto wymienić projekty MKDN: „Nowoczesne metody badań systemów obronnych zachodniej Jaćwieży” (wykonawca Państwowe Muzeum Archeologiczne w Warszawie); „Kompleksowe niedestrukcyjne rozpoznanie archeologiczne wschodniego pogranicza dawnej Pomezanii” (wykonawca Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie); „Nieinwazyjne badania archeologiczne Kotliny Chodelskiej przy zastosowaniu lotniczego skanowania laserowego (LIDAR)” (wykonawca Stowarzyszenie Naukowe Archeologów Polskich Oddział w Warszawie); „Inwentaryzacja pradziejowych kopalń krzemienia w różnych warunkach środowiskowych” (wykonawca Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie); „Badania

⁶⁹ LiDAR na Suwalszczyźnie – <http://www.pma.pl/PROJ-NID/proj-2012-notka.htm>. [dostęp 02.05.2013]

⁷⁰ <http://www.archaeolandscapes.eu/>

nieinwazyjne archeologicznego krajobrazu Podlasia (dolina Nurca)” (wykonawca Stowarzyszenie Starożytników)⁷¹.

Ostatnie lata zaowocowały również zastosowaniem w badaniach i inwentaryzowaniu obiektów i przestrzeni zabytkowych danych ISOK⁷², co stanowi kolejny krok w stronę powszechniejszego i bardziej dostępnego zastosowania technologii lotniczego skanowania laserowego. Pośród przykładów należy wymienić m.in. badania i projekty naukowców z Politechniki Wrocławskiej czy Politechniki Warszawskiej, jak również liczne prace w zakresie zastosowania danych ISOK w inwentaryzacji, połączonej z modelowaniem murowanych obiektów zabytkowych, m.in. przez naukowców z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W tym miejscu warto przywołać przykłady badań na danych ISOK, odnoszące się do zabytkowych obiektów militarnych⁷³ i założeń historycznych (do jakich zaliczamy m.in. zamki średniowieczne), czy też architektury zabytkowej⁷⁴, dokumentowanej na bazie ALS. Jednym z przedsięwzięć sięgających po dane skanowania laserowego i ISOK jest projekt „Wykorzystanie danych z lotniczego skanowania laserowego LiDAR do badań nad zamkami i siedzibami obronnymi Księstwa Nyskiego”, realizowany w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, „Rozwój potencjału dydaktyczno-naukowego młodej kadry akademickiej Politechniki Wrocławskiej”⁷⁵. Innym przykładem zastosowania danych ISOK są wyniki badań zespołu Politechniki Warszawskiej, w których dokonano m.in. analizy wykorzystania pomiarów w ochronie zabytkowej architektury militarnej w Polsce⁷⁶. Inwentaryzacji i modelowania 3D zabytkowej fortyfikacji podjęto się na Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie⁷⁷.

Kolejnym zagadnieniem zbliżonym do w/w projektów dotyczących architektury zabytkowej, są m.in. działania środowisk naukowych

⁷¹ Źródło: Narodowy Instytut Dziedzictwa / Warszawa.

⁷² Szerzej na temat ISOK – np. Kurczyński Z., 2012.

⁷³ Zawieska D., Ostrowski W., Antoszewski M., [w druku], *Wykorzystanie danych lotniczego skanowania laserowego w metodyce badawczej zespołów fortyfikacji nowszej w Polsce*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 25 – referat wygłoszony na XVIII Ogólnopolskim Sympozjum Naukowym „Nowe wyzwania dla fotogrametrii, teledetekcji i kartografii Kazimierz Dolny, w obliczu współczesnych systemów geoinformacji” 19-21 września 2012 r.

⁷⁴ Borowiec N., 2009; Borkowski A., Jóźków G., 2012, *Ocena dokładności modelu 3D zbudowanego na podstawie danych skanowaniu laserowego – przykład zamku Piastów Śląskich w Brzegu*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 37-47; Jarząbek-Rychard M., 2012.

⁷⁵ Legut-Pintal M., 2012, *LiDAR w badaniach nad średniowiecznymi fortyfikacjami i siedzibami obronnymi. Przykład założeń obronnych księstwa biskupów wrocławskich* – http://www.academia.edu/3102476/LiDAR_w_badaniach_nad_sredniowiecznymi_fortyfikacjami_i_siedzibami_obronnymi._Przyklad_zalozen_obronnych_ksiestwa_biskupow_wroclawskich

⁷⁶ Zawieska D., Ostrowski W., Antoszewski M., [w druku].

⁷⁷ Wójcik J., 2013, *Inwentaryzacja i modelowanie 3D elementów Twierdzy Kraków na podstawie danych skanowania laserowego*, [praca dyplomowa] – <http://geo.ur.krakow.pl/download/pobierz.php?file=prace/wojcik.pdf>

z Politechniki Warszawskiej, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu oraz Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, mające na celu integrację danych NSL z ALS, a także inwentaryzowanie i modelowanie obiektów zabytkowych, na bazie pomiarów lotniczych. Przykładami są: prace pomiarowe przy zamku Piastów Śląskich w Brzegu⁷⁸ czy zabytkowych i murowanych założeń militarnych⁷⁹.

Charakter przywołanych projektów, zwłaszcza w Polsce, jest zróżnicowany. Część projektów bezpośrednio związanych z dziedzictwem kulturowym, czy też realizowanych w środowiskach archeologów i historyków architektury, dotyczy „podstawowego” zastosowania ALS w badaniach, mianowicie rozpoznawania zasobów kulturowych, ich weryfikacji oraz inwentaryzacji. Niektóre z nich sięgają dalej, starając się poszerzyć zagadnienia metodyczne w zakresie wykorzystywania ALS, wzorując się na licznych projektach europejskich, czego przykładem są badania referowane w poniższej pracy. Natomiast większość projektów i badań realizowanych przez środowisko specjalistów w zakresie fotogrametrii, teledetekcji i geodezji, kładzie zasadniczy nacisk na aspekt narzędziowy, zagadnienia pozyskiwania i opracowania geodanych, nie tracąc jednak z pola widzenia detekcji, jak i samej dokumentacji zasobów kulturowych. Jak już zostało to zasygnalizowane, większość badań realizowanych w kraju nakierowanych jest przede wszystkim na poszerzanie bazy źródłowej, w oparciu o wygenerowany Numeryczny Model Terenu, przy zastosowaniu funkcji cieniowania zboczy. Natomiast niektóre z projektów, poza w/w celem, podejmują działania w zakresie poszerzania wiedzy na temat procesów pozyskiwania, a zwłaszcza przetwarzania geodanych, wraz z ich obróbką na bazie rozbudowanych narzędzi geoinformatycznych. Wygenerowana chmura punktów przechodzi proces wielostopniowego przetwarzania, które na pewnych etapach dotyczy klasyfikacji zbioru, a dalej jego interpretacji, doprowadzając do powstania produktów pochodnych. I właśnie natura tych danych, a zarazem ich struktura stanowią punkt zainteresowania niektórych podejść, celem podkreślenia zależności pomiędzy wynikiem detekcji a samym procesem przetwarzania, w którym występuje również element subiektywny. Pewien dyskomfort w omówieniu rezultatów dotychczasowych wyników badań, stwarza brak publikacji naukowych. Dodajmy, że literatura przedmiotu dostarcza licznych przykładów badań, które wychodzą poza analizę wygenerowanego przez specjalistów zasobu cyfrowego, podejmując studia na rzecz śledzenia i analizowania

⁷⁸ Borkowski A., Józków G., 2012.

⁷⁹ Zawieska D., Ostrowski W., Antoszewski M., [w druku].

całego procesu – od momentu pozyskiwania danych do czasu generowania produktu końcowego, wraz z interpretacją. Podkreślimy w tym miejscu, że detekcja i inwentaryzacja zasobów kulturowych w oparciu o NMT i funkcję cieniowania zboczy, stanowi jedynie podstawową analizę geodanych, która w licznych sytuacjach nie wyczerpuje całego potencjału danych i narzędzi geoinformatycznych, ani też nie pozwala na rzetelne i całkowite opracowanie danych. Również praca z danymi źródłowymi (chmura punktów), a nie jedynie z NMT, musi znaleźć swoje miejsce w procesie postępowania badawczego, m.in. z uwagi na możliwość błędnych klasyfikacji pomiarów, które wynikają z automatycznej procedury opracowania zbiorów danych lub też z nieodpowiedniego klasyfikowania przez wykonawcę opracowania. W zestawieniu z niektórymi projektami europejskimi, rodzime projekty należy w większości zaklasyfikować do działań na poziomie podstawowej analizy zasobu, bez stosowania rozbudowanych narzędzi geoinformatycznych, co stopniowo ulega zmianie.

Mimo niektórych przywołanych mankamentów, należy wyraźnie podkreślić, że zastosowanie ALS w badaniach i analizach zasobów kulturowych, bez wątpienia przyniosło i przynosi nową wiedzę w zakresie występowania obiektów zabytkowych, w szczególności na terenach zalesionych. ALS w pewnym sensie przełamuje barierę niedostępności dla prospekcji archeologicznej i inwentaryzacji obiektów zabytkowych, która w licznych sytuacjach, opierając się na dotychczasowych metodach, była bezradna, rozpoznając jedynie niewielką część całego zasobu, jaki znajduje się na obszarach zalesionych. Technologia lotniczego skanowania laserowego to również metoda zmieniająca podejście do sposobu rozpoznawania i dokumentowania zasobów. Najogólniej to jeden z elementów umożliwiających przejście od tradycyjnej mapy i bezpośredniego pomiaru w terenie, do systemu geoinformatycznego, wraz z dokładną lokalizacją.

Omawiając polskie projekty warto również przywołać zagadnienie zastosowania danych ALS na pograniczu urbanistyki i planowania przestrzennego. W tych dyscyplinach i dziedzinach dane ALS służą przede wszystkim procesom ukierunkowanym na modelowanie, wspierające współczesną gospodarkę przestrzenną, ale także i w analizie i monitorowaniu przestrzeni miejskich. Cenne wydają się cyfrowe wizualizacje przestrzenne⁸⁰, dla których podstawą mogą być pomiary i dane ALS, a także włączenie tego

⁸⁰ Przykładowe publikacje w tym temacie: Kamińska W., Kamiński K., 2011, *Cyfrowe wizualizacje urbanistyczne – możliwości zastosowań*, „Człowiek i Środowisko”, 35 (1-2), s. 53-72; Klejnberg H., 2010, *Zastosowanie trójwymiarowych wizualizacji planów zagospodarowania przestrzennego w konsultacjach społecznych*, „Człowiek i Środowisko”, 34 (1-2), s. 27-42;

typu danych np. do studium lokalizacji obiektów wysokich⁸¹. Dane ALS to również potencjał w analizie zmian obszarów miejskich i zabudowy.⁸²

Przywołane przykłady badań stanowią wymowne, a zarazem przekrojowe zestawienie aplikowania ALS do badań dziedzictwa kulturowego, które na przestrzeni kilkunastu lat umożliwiło wypracowanie podstawowej metodyki badawczej, w zakresie rozpoznawania i inwentaryzowania dóbr kultury, w tym zabytków, począwszy od najstarszych epok prehistorycznych, aż po czasy współczesne.

4.5. Lotnicze skanowanie laserowe w badaniu dziedzictwa kulturowego – prospekcja i inwentaryzacja

Zastosowania ALS w badaniach dziedzictwa kulturowego opieramy na kilku zasadniczych elementach, które odnoszą się do prac poprzedzających pomiar terenowy, zasadniczych pomiarów, prac kameralnych⁸³ oraz etapu interpretacyjnego. Dodajmy jednak, że proces interpretacji pozyskanych pomiarów rozpoczyna się już na etapie klasyfikacji – przetwarzania danych. Do zasadniczych etapów nieinwazyjnego rozpoznawania dziedzictwa kulturowego na bazie ALS zaliczamy:

- zdefiniowanie merytorycznych aspektów projektu: cele, uzasadnienie i rezultaty projektów; wybór parametrów technicznych; określenie obszaru rozpoznania; określenie platformy sprzętowej i dobór oprogramowania (wykonawca oraz odbiorca produktu); poprzedzające prace pomiarowe, a zarazem równoległe przebiegające – kwerenda archiwalna, biblioteczna oraz internetowa, a także kwerenda zasobów cyfrowych;
- określenie sposobu realizacji zadania – współpraca (podział czynności w całym procesie tworzenia i interpretowania zasobów cyfrowych) – przygotowanie i zaplanowanie nalogów: warunki pogodowe, plan trasy przelotu,

⁸¹ Piskorski M., 2008, *Studium lokalizacji obiektów wysokościowych w Gdańsku*, „Urbanista” nr 6/2008, s. 16-19.

⁸² Przykładowe publikacje w tym temacie: Vögtle, T., Steinle, E., 2004, *Detection and recognition of changes in building geometry derived from multitemporal laser scanning data*, „International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Istanbul, Turkey, Vol. XXXV, Part B2, s. 428-433; Rutzinger M., Rüf B., Höfle B., Vetter M., 2010, *Change detection of building footprints from airborne laser scanning acquired in short time intervals*, „ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5-7”, 2010, „International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Vol. XXXVIII, Part 7B, (red.) W. Wagner, B. Székely, B., s. 475-480.

⁸³ Pfeifer N., Brise Ch., 2007, *Geometrical aspects of airborne laser scanning and terrestrial laser scanning*, „IAPRS”, vol. XXXVI, part 3 / W52, s. 311-319.

warunki środowiskowe (dna zbiorników wodnych – specyfika pomiaru oraz środowiska), wysokość lotu, kalkulacja kosztów, powołanie zespołu wykonawców;

- pomiary zasadnicze – lotnicze skanowanie laserowe;
- *postprocessing* i filtracja – obróbka pomiarów (tzw. chmury punktów) – przetworzenie danych źródłowych;
- przetwarzanie, analiza i interpretacja danych;
- weryfikacja terenowa wraz z weryfikacją rozpoznanych obiektów zabytkowych, w oparciu o inne metody nieinwazyjnego (i inwazyjnego) badania zasobów kulturowych⁸⁴;
- powtórne przetwarzanie danych źródłowych, na bazie weryfikacji terenowej.

Dodatkowe – kolejne elementy procedury pozyskiwania i przetwarzania danych ALS należy również wiązać z włączeniem do prac badawczych analizy kalibrowanych danych o intensywności odbicia wiązki lasera. Taka sytuacja wymusza podjęcie dodatkowych działań, jak również określenie szczegółowych parametrów pomiarów. Istotnym elementem jest np. równoległe (do pomiarów ALS) wykonywanie pomiarów naziemnych, celem korelowania danych, a tym samym określania wartości radiometrycznej powierzchni, którą mierzymy z pominięciem zróżnicowanej wysokości oraz kąta padania wiązki lasera, co charakteryzuje pomiar ALS. W Polsce do tej pory nie przeprowadzono tego typu badań, które uwzględniałyby kalibrację danych ALS dla potrzeb badania i dokumentowania zabytków.

Pośród zagadnień metodycznych, istotnym wydaje się sam proces wykonywania pomiarów, na który składają się decyzje w zakresie (1) terminu (dokładniej pory roku) wykonywania prac, (2) obszaru wykonywania rejestracji oraz (3) parametrów pomiarów (jakości), a także (4) sposobu wykonywania lub pozyskiwania pomiarów. Ostatnie zagadnienie odsyła do wyboru sposobu pozyskiwania lub integracji danych, które mogą być generowane na zlecenie konkretnego projektu badawczego lub też zostaną zakupione, jako zasób danych pozyskanych w innym celu, a stanowiący potencjał poznawczo-inwentyzacyjny z perspektywy badań dziedzictwa kulturowego. Z uwagi na specyfikę urządzeń pomiarowych, jak również ze względu na panujące warunki wegetacyjne, preferowanym okresem wykonywania pomiarów są wiosna oraz jesień⁸⁵. Niesprzyjające dla powodzenia,

⁸⁴ Sławik Ł., Zapłata R., 2011, *LIDAR w archeologii – zagadnienia wprowadzające*, (w:) *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego – wybrane zagadnienia*, Zapłata R. (red.), Lublin, s. 207-232 (215-216) – <http://wiedzaiedukacja.eu/archives/55353>

⁸⁵ Będkowski K., Stereńczak K., 2010, *Porównanie*.

a zwłaszcza jakości pomiaru są niskie temperatury, mgły oraz wysoka wilgotność. Pomiar powierzchni terenu, w odniesieniu do laserów światła czerwonego, niemożliwy jest dla obszarów pokrytych śniegiem oraz terenów podmokłych, czy zalanych wodą. W zakresie pomiaru dna zbiorników wodnych (również terenów zalanych) sytuację zmienia, zyskujący coraz większe powodzenie, wspomniany już pomiar laserowy światłem zielonym – używany w skanerach batymetrycznych.⁸⁶ Zagadnienie związane z obszarem wykonywania pomiarów należy rozpatrywać przy uwzględnieniu aspektów prawnych oraz wykonanych już wcześniej nalotów ALS. Zasadniczo teren pomiaru zależy od pytań badawczych i konieczności podejmowania działań prospekcyjnych na danym terenie, jednak z uwagi na dotychczasowe działania, w Polsce np. zakres zlecanych pomiarów ogranicza się stopniowo do terenów, które nie zostały zeskanowane np. w ramach projektu ISOK, a także tych, dla których jakość danych uzyskana w ramach tego projektu wydaje się niewystarczająca dla potrzeb badań zabytków. Oddzielnym zagadnieniem są regulacje prawne dotyczące zgody na wykonywanie pomiarów, a raczej nalotów nad terenami wojskowymi, co regulują odpowiednie przepisy. Malejące koszty, a zarazem potrzeba przeprowadzania powtórnych pomiarów, w celu monitorowania czy pozyskania lepszej jakości danych, ostatecznie decydują o wyborze obszaru, na którym ma zostać wykonany nalot pomiarowy. Równie decydującym argumentem na rzecz sporządzania pomiarów na poszczególnych obszarach jest stan rozpoznania zasobów kulturowych, który najmniej zadawalający jest dla terenów zalesionych. Dodatkowym elementem określającym obszar powierzchni skanowanej, jest technologia, w jakiej wykonywane są pomiary, co odsyła do przywołanego wcześniej skanowania światłem zielonym, które stwarza dodatkowe możliwości, przy jednoczesnym wzroście kosztów. Kolejne zagadnienie to jakość realizowanych pomiarów – jakość w zakresie przestrzennym oraz radiometrycznym. Rozdzielczość przestrzenna (terenowa) wpływa bezpośrednio na jakość produktów pochodnych np. NMT, którą reguluje m.in. gęstość pomiaru przypadająca na określoną jednostkę mierzonej powierzchni (np. m²). Kolejny element to rejestracja echa oraz intensywności odbicia wiązki lasera. Możliwość rejestracji wszystkich powracających odbić (ang. *full-waveform*) świadczy o ciągłej poprawie jakości wykonywanych pomiarów i powstających, nowych możliwościach analityczno-interpretacyjnych⁸⁷. Ostatnie zagadnienie (wspomniane wcześniej) dotyczy

⁸⁶ Banic J., Cunningham G., 1998, *Airborne laser bathymetry: A tool for the next millennium*, „EEZ Technology”, 3, s. 75-80 – http://www.jalbtcx.org/downloads/Publications/32Banic_Cunningham_98.pdf

⁸⁷ Doneus M., Briese C., 2006b; Doneus M., Brise Ch., 2006a; Bednjanec M., 2011.

wyboru wykonawcy pomiarów, czy raczej decyzji w zakresie zlecenia skanowania lub też zakupu pozyskanych danych, w ramach innych działań. Wspomniany wcześniej projekt ISOK, stanowi przykład zasobu, który zdecydowanie obniża koszty nieinwazyjnej prospekcji, jednak wprowadza pewne ograniczenia, np. nie mamy wpływu na określenie gęstości przestrzennej wykonywanego pomiaru. Poza tym nie zawsze w ramach ISOK pozyskiwane są równoległe zdjęcia terenu, co może dodatkowo obniżać jakość danych, eliminując tym samym możliwość wykonywania równoległej analizy powierzchni terenu, w oparciu o dwa źródła obrazowania. Brak równoległe pozyskiwanych pomiarów laserowych i zdjęć, może doprowadzić do nadinterpretacji i błędów w określaniu zadokumentowanych zjawisk i obiektów (szerzej dalej – przykłady).

Kolejny, wspomniany etap prac to działania kameralne – prace związane z przetwarzaniem danych, ich obróbką, na które składa się najogólniej:

- wstępne przetworzenie i łączenie poszczególnych skanów laserowych (ang. *matching*) oraz nadanie georeferencji (nadanie każdemu z punktów z wygenerowanej chmury punktów informacji o czasie jego pozyskania (*Time Stamp*), współrzędnych X, Y, Z, kolejności odbicia, kącie wysłania impulsu, intensywności odbicia, numerze szeregu (skanu) i jego kierunku⁸⁸;
- filtracja danych – chmury punktów;
- przygotowanie produktu końcowego (np. NMPT, NMT), w tym przeprowadzanie interpolacji.

Jak już zostało zasygnalizowane, na etapie obróbki danych, istnieje przynajmniej konieczność konsultowania opracowania danych z przedstawicielem dyscypliny zainteresowanej analizą pozyskanego zasobu. Automatyczna klasyfikacja i stosowane rozwiązania na tym etapie mają istotny wpływ na jakość produktu końcowego, a tym samym na jakość planowanej prospekcji.

Zasadniczy etap (z punktu widzenia badań dziedzictwa kulturowego) to proces analizy i interpretacji danych (rozpoznawanie obiektów zabytkowych, klasyfikacja powierzchni terenu oraz jego pokrycia itd.) wspierany technikami – aplikacjami geoinformatycznymi.

Bezdotykowy pomiar, kartometryczność produktów końcowych i ortofotografia, bazujące na systemach określanych mianem LIDAR, to składowe narzędzia, które stosowane są w różnorodnych dziedzinach gospodarki i przemysłu oraz licznych dyscyplinach naukowych. Pomiar przestrzenny bazujący na systemach LIDAR, zyskał szczególne uznanie wśród

⁸⁸ Będkowski K., Wężyk P., 2010; Twardowski M., Marmol U., 2012, *Wizualizacja i przetwarzanie chmury punktów lotniczego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 457-466 – http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/archiwum_vol_23/Twardowski%20Marmol.pdf.

archeologów, wnosząc do badań kolejną metodę nieinwazyjnego rozpoznawania dziedzictwa, w szczególności na terenach zalesionych. Również badania nad krajobrazem kulturowym i przestrzenią historyczną zyskały nowe narzędzie inwentaryzacji i analizy dziedzictwa kulturowego. Skanowanie lotnicze z roku na rok zyskuje również uznanie w zakresie działań na rzecz inwentaryzacji i modelowania architektury zabytkowej, zarówno na terenach zurbanizowanych, jak i na obszarach otwartych. Takie zintegrowane działania na rzecz ochrony dóbr kultury i środowiska włączają w zakres swoich działań ALS, które oferuje znaczący potencjał inwentaryzacyjno-poznawczy, bez ingerencji w substancję zabytkową oraz zasoby naturalne, dostarczając danych dla potrzeb gospodarki przestrzennej, urbanistyki czy planowania przestrzennego.

ALS, a zwłaszcza MLS – skanowanie mobilne, zyskuje również (sygnalizowane wcześniej) znaczenie w inwentaryzacji murowanych obiektów zabytkowych, a w szczególności w dostarczaniu danych dla wektorowych i trójwymiarowych modeli 3D zabytkowych budynków, zarówno obszarów zurbanizowanych, jak i pozostałych terenów, jako metoda szybkiej, szerokopłaszczyznowej (np. obszary miejskie) i kartometrycznej dokumentacji zasobów architektury zabytkowej⁸⁹. Przykładem stosowania inwentaryzacji murowanych obiektów są m.in. prace przy architekturze obronnej – fortyfikacji (na bazie pomiarów ISOK)⁹⁰, kompleksowa rejestracja i pomiar przestrzeni miejskich⁹¹, wraz z kartometryczną inwentaryzacją obiektów zabytkowych, a także inwentaryzacja pojedynczych obiektów, czego przykładem są pomiary Zamku Piastów Śląskich⁹², czy ruin zamku w Iłży⁹³.

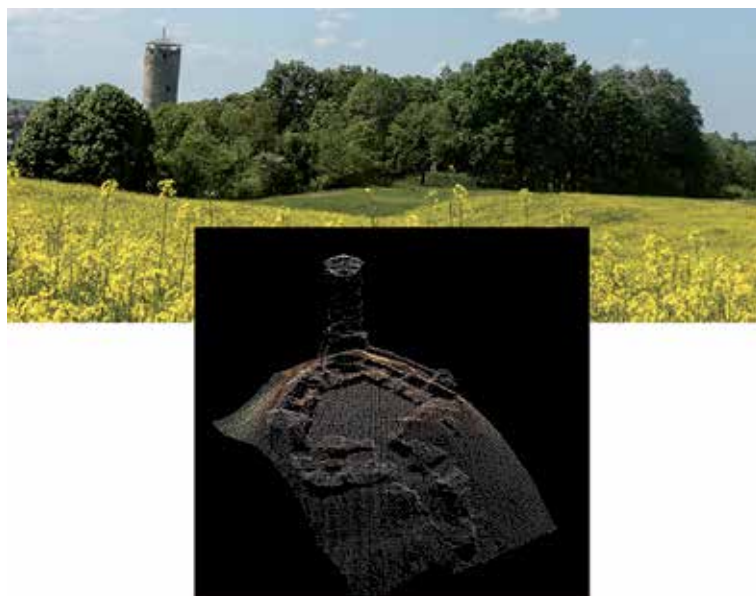
⁸⁹ Borowiec N., 2009; Borowiecki I., 2006, *Zastosowanie*; Fryškowska A., Kędzierski M., 2010; Olek M. K., 2010, *Wykorzystanie map ewidencyjnych w modelowaniu budynków z lotniczego skanowania laserowego*, Kraków [praca dyplomowa – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie] – http://fotogrametria.agh.edu.pl/wiki/pub/PraceMagisterskie/WebHome/Praca_dyplomowa_Olek.pdf

⁹⁰ Zawieska D., Ostrowski W., Antoszewski M., [w druku].

⁹¹ Różycki S., 2007; Borowiecki I., 2009, *Zastosowanie*; Borowiec N., 2009; Marmol U., 2009, *Integracja danych lidarowych i fotogrametrycznych w procesie automatycznego wykrywania obiektów*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 20, s. 275-284; Olek M. K., 2010; Fryškowska A., Kędzierski M., 2010; Jarząbek-Rychard M., 2012; Markiewicz J. S., 2012, *Aspekty integracji danych fotogrametrycznych dla generowania 3D modeli wybranych obiektów przestrzeni miejskiej*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 25, s. 199-209; Jędrzychowski I., 2007a.

⁹² Borkowski A., Józko A., 2012 Jędrzychowski I., 2007a.

⁹³ Kędzierski M., Zapłata R., Fryškowska A., Wilińska M., Deliś P., 2012, *Metody teledetekcyjne i fotogrametryczne w ochronie, konserwacji i inwentaryzacji zamków w ruinie*, (w:) *Zamki w ruinie – zasady postępowania konserwatorskiego*, (red.) B. Szmygin, P. Molski, Warszawa-Lublin, s. 147-158; Zapłata R., [w druku/c], *Zastosowanie fotogrametrii oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa archeologiczno-architektonicznego – zarys projektu na przykładzie ruin zamku w Iłży*, (w:) *Cyfrowe spotkania z zabytkami*, t. 4, Seidel-Grzesińska A., Stanica-Brzezicka K. (red.), Wrocław.



Ryc. 4.20. Ruina zamku w Ilży. Zdjęcie poglądowe (powyżej) oraz wizualizacja chmury punktów (modelu 3D) na bazie pomiarów ALS dla zamku górnego.

Odrębnym zagadnieniem jest wspomniane już lotnicze skanowanie akwenów wodnych (na bazie promieniowania w paśmie koloru zielonego – batymetrii laserowej), stanowiące kolejny element modernizacji warsztatu badawczego, w zakresie nieinwazyjnej prospekcji i inwentaryzacji podwodnego dziedzictwa kulturowego⁹⁴. Najogólniej, skaner światła zielonego umożliwia pomiar oraz rejestrację powierzchni dna zbiorników wodnych, a tym samym detekcję zasobów dziedzictwa kulturowego, czego przykładem są m.in. pilotażowe badania na Adriatyku – na północnym wybrzeżu Chorwacji, gdzie dokonano m.in. rozpoznania rzymskich założeń murowanych⁹⁵.

Obok prospekcji, na podstawie pomiaru i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego, dane lotniczego skanowania laserowego stanowią zasób wspierający procesy monitorowania i ochrony zarówno obiektów zabytkowych, jak i przestrzeni historycznej, służąc m.in. analizie kontekstowej zespołów zabytkowych oraz ich otoczenia. Badania przestrzeni historycznej, bezpośrednio związanej z obiektem czy zespołem zabytkowym,

⁹⁴ Dudzińska-Nowak J., Wężyk P., 2006, s. 47-59; Dudzińska-Nowak J., 2007; Doneus M., Doneus N., Briese Ch., Pregebauer M., Mandlbürger G., Verhoeven G., 2013.

⁹⁵ Doneus M., Doneus N., Briese Ch., Pregebauer M., Mandlbürger G., Verhoeven G., 2013.

odsyłają m.in. do analizy sieci komunikacyjnej, czy rozpoznawania i inwentaryzacji elementów całości historycznego założenia, których pozostałości nie przetrwały do dzisiaj, w postaci odsłoniętych i wyeksponowanych fragmentów na powierzchni terenu. Obok możliwości analitycznych zjawisk z przeszłości, wysokorozdzielcze dane teledetekcyjne sprzyjają monitorowaniu ciągłych procesów stokowych i osuwiskowych⁹⁶. Przykładem jest projekt Państwowego Instytutu Geologicznego – „System Osłony Przeciwosuwiskowej” (SOPO – <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>), którego celem jest rozpoznawanie i dokumentowanie osuwisk.⁹⁷ Generowane dane to zatem podstawa modelowania i symulacji zjawisk, które mogą stanowić i stanowią realne zagrożenie dla zasobów kulturowych, a także człowieka.

Zagadnieniem o specyficznym charakterze jest wspominana już detekcja (w oparciu o ALS) zasobów zabytkowych na terenach leśnych. W historii badań dziedzictwa kulturowego odnotowujemy liczne działania na styku środowiska leśników, historyków wojskowości, badaczy dziedzictwa przemysłowego czy archeologii, które miały różnorodny charakter, poczynając od małych projektów nieinwazyjnych, inicjowanych przez archeologów współpracujących z leśnikami (np. Wrześnica, woj. zachodniopomorskie (wcześniej słupskie) – Nadleśnictwo Sławno), poprzez badania inwazyjne – wykopaliskowe (np. Puszcza Białowieża – Nadleśnictwo Białowieża, Browsk i Hajnówka) oraz większe projekty naukowo-konserwatorskie na terenach leśnych, po istotne dla obu środowisk działania instytucjonalne, czego najlepszym przykładem jest współpraca pomiędzy Państwowym Gospodarstwem Leśnym Lasy Państwowe a Narodowym Instytutem Dziedzictwa⁹⁸. Dostrzeganie dziedzictwa kulturowego przez leśników stanowi nieodłączny element współczesnej gospodarki leśnej (Planów Urządzania Lasu), którą w ostatnich latach wspierają nowoczesne

⁹⁶ Graniczny M., Kamiński M., Piątkowska A., Surała M., 2012, *Wykorzystanie lotniczego skanowania laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańcicy (gmina Lanckorona), Pogórze Wielickie, Karpaty zewnętrzne*, „Przegląd Geologiczny”, vol. 60, nr 2, s. 89-94 – http://www.pgi.gov.pl/pl/dokumenty-in/cat_view/218-publicacje/216-przegld-geologiczny/284-2012/291-luty.html?start=25; Wojciechowski T., Borkowski A., Perski Z., Wójcik A., 2012, *Dane lotniczego skanowania laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne)*, „Przegląd Geologiczny”, vol. 60, nr 2, s. 95-102 – https://www.pgi.gov.pl/en/dokumenty-in/doc_view/714-dane-lotniczego-skanowania.html; Stewarski E., Piwowarski W., 2007, *Geotechniczne i geofizyczne badania dla oceny stateczności skarp*, „Geoinżynieria”, 3 (14), s. 36-38.

⁹⁷ Grabowski D., Marciniec P., Mrozek T., Nescieruk p., Rączkowski W., Wójcik A., Zimnal Z., 2008, *Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000*, Warszawa.; <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO/>

⁹⁸ Komunikat medialny „NID podpisał porozumienie o współpracy z Państwowym Gospodarstwem Leśnym Lasy Państwowe” – <http://www.nid.pl/idm,146,idn,1594,4-iii-2011-nid-podpisał-porozumienie-o-wspolpracy-z-panstwowym-gospodarstwem-lesnym-lasy-panstwowe.html>

technologie cyfrowe, a zwłaszcza geomatyka, kształtując wspólne, a zarazem współczesne działania na rzecz ochrony zasobów kulturowych – przyrodniczych i zabytkowych. Las w świadomości badaczy i konserwatorów rysuje się z pewnością jako specyficzna forma ochrony dziedzictwa archeologicznego i historycznego, które wspólnymi wysiłkami możemy dzisiaj lepiej rozpoznać, dokumentować, badać oraz chronić. W oparciu o liczne przesłanki można zaryzykować twierdzenie, iż w kontekście zastosowania szeroko pojętej geomatyki sięgającej m.in. po dane z lotniczego skanowania laserowego (ALS / LIDAR), przed środowiskiem naukowców, a także i leśników, rysuje się znakomita możliwość rozpoznania zasobów kulturowych na niespotykaną dotąd skalę przy zastosowaniu nowoczesnych metod nieinwazyjnych, z uwzględnieniem „ochronnej” roli środowisk leśnych.

Rozpoznawanie, inwentaryzacja i ochrona dziedzictwa kulturowego na terenach leśnych stanowi część historii działań wielu pokoleń naukowców oraz konserwatorów w Polsce i na świecie. Na uwagę zasługują przede wszystkim nieinwazyjne prace inwentaryzacyjne, badania powierzchniowe, badania zabytków architektury oraz badania wykopaliskowe (w tym badania archeologiczno-architektoniczne), które zapisały się znacząco w rozpoznawaniu zabytków archeologicznych na terenach leśnych, przynosząc wiele istotnych wyników na rzecz rozpoznania i zadokumentowania obiektów zabytkowych na terenach leśnych. Przykład to wybrane obiekty zabytkowe znajdujące się na obszarach leśnych, należące do jednych z najbardziej znanych w Polsce: kręgi kamienne i kurhany z I-III w. n.e. w Odrach k. Czerska (woj. pomorskie); neolityczne (ok. 3500-2500 p.n.e.) oraz z epoki brązu (3. tys. – 2. tys. p.n.e.) kopalnie krzemienia pasiastego w Krzemionkach Opatowskich (woj. świętokrzyskie); cmentarzyska megalityczne w Wietrzychowicach oraz Sarnowie z 4 tys. p.n.e. (woj. kujawsko-pomorskie); cmentarzysko kurhanowe z wczesnego średniowiecza w Puszczy Białowieskiej (woj. podlaskie); cmentarzyska kurhanowe z epoki brązu (1000-700 p.n.e.) w Siemierowicach, Oskowie i Uniradach (woj. pomorskie) czy zespół wczesnośredniowieczny (cmentarzysko kurhanowe, osady oraz grodzisko) Bardy-Świelubie (woj. zachodniopomorskie). Zasób zabytków na terenach leśnych wypełnia również dziedzictwo przemysłowe i architektoniczne. Przywołajmy jedynie wybrane przykłady obiektów, które uświadamiają wartość i znaczenie tego typu zasobów zabytkowych na terenach leśnych: ruiny kamiennego zamku książęcego w Wleńskim Grodku (woj. dolnośląskie); XVIII-wieczna Twierdza Srebrnogórska (woj. dolnośląskie); XIX-wieczny Pałac w Białowieży (woj. podlaskie); ruina średniowiecznego zamku murowanego w Rogowcu (woj. dolnośląskie); średniowieczny zamek Chojnik w Sobieszowie (woj. dolnośląskie); ruina średniowiecznego zamku

w Dzięgielowie (woj. śląskie); ruina murowanej strażnicy w Suliszowicach (woj. śląskie); ruina zamku w Ostrężniku (woj. śląskie); ruina murowanego zamku Pieniny w Krościenku (woj. małopolskie); ruina średniowiecznego zamku w Bochothnicy (woj. lubelskie).

Obszary zalesione to tereny o specyficznym charakterze ochrony oraz zarządzania, co nie pozostaje bez znaczenia dla zachowania dziedzictwa archeologiczno-architektonicznego, a zarazem dla sposobu prowadzenia prac archeologicznych. Wymownym przykładem są obszary szczególnie chronione, np. parki narodowe czy rezerваты, w odniesieniu do których obowiązują zaostrzone przepisy związane z prawem o ochronie przyrody, wyznaczające dodatkowe elementy w prowadzeniu badań archeologicznych⁹⁹. W związku z powyższym na szczególną uwagę zasługują inne formy nieinwazyjnego rozpoznawania dziedzictwa historycznego i archeologicznego, do których należy zaliczyć przede wszystkim lotnicze skanowanie laserowe. Dziedzictwo kulturowe na terenach zalesionych to bez wątpienia ogromny zbiór rozpoznanych, a także nierozpoznanych obiektów zabytkowych, jakie przetrwały do dzisiaj m.in. dzięki ochronnej roli lasu, który w znacznym stopniu uniemożliwił i zahamował ekspansywną oraz ekstensywną działalność człowieka, doprowadzającą do częściowego czy też całkowitego zniszczenia zabytków archeologicznych na terenach rolniczych i przemysłowych. Specyfika terenów leśnych, a zwłaszcza ich „nietykalność” doprowadziły do sytuacji „nienaruszania” m.in. dziedzictwa archeologicznego, oczywiście poza działalnością czynników naturalnych i procesów przyrodniczych. Te okoliczności spowodowały zachowanie licznych obiektów, stwarzając realną szansę na rozpoznanie oraz dalszą ochronę dziedzictwa historycznego i archeologicznego na terenach leśnych m.in. przy zastosowaniu LIDARu.

W związku z rozwojem Systemów Informacji Geograficznej dla terenów leśnych, a tym samym wdrażaniem geomatyki w Lasach Państwowych, obecność archeologa, konserwatora czy historyka architektury w procesie geomatyzacji oraz planowaniu przestrzennym wydaje się niezbędną, celem tworzenia informacji dotyczącej zabytków. Dane pozyskane za pośrednictwem LIDARu stanowią w wielu sytuacjach przetworzony już zasób cyfrowy, np. w ramach SILP (Systemu Informatycznego Lasów Państwowych)¹⁰⁰,

⁹⁹ Krasnodębski D., Olczak H., [w druku], *Badania archeologiczne na terenie polskiej części Puszczy Białowiejskiej – stan obecny, problemy i perspektywy*.

¹⁰⁰ Zarządzenie nr 34 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych, z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie zdefiniowania standardu leśnej mapy numerycznej dla poziomu nadleśnictwa oraz wdrażania systemu informacji przestrzennej w nadleśnictwach; Wężyk P., Szostak M., Tompański P., 2010, *Aktualizacja baz danych SILP oraz Leśnej Mapy Numerycznej w oparciu o dane lotniczego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 21, s. 437-446.

który stwarza możliwość analizy i dokumentacji zasobów przyrodniczych (leśnych) oraz zasobów archeologicznych. Na podstawie danych pochodzących z lotniczego skanowania laserowego – NMT oraz NMPT, możliwe stają się uzupełniające opisy taksacyjne lasów, a także opisy zawartości obszarów leśnych, w odniesieniu do narzędzi geomatyki, które docelowo wspierają współczesne procesy gospodarki leśnej¹⁰¹. System Informacji Przestrzennej dla terenów leśnych to również przydatne narzędzie dla przedstawicieli systemu ochrony zabytków w Polsce. Informacja np. o gatunku czy cechach roślinności, to potencjalne informacje w określeniu kontekstu, w jakim występują obiekty zabytkowe, a dalej podłoża, które może być powiązane z wypełniskami obiektów zabytkowych¹⁰². Kolejny przykład to dane dotyczące występujących na terenach leśnych osuwisk, które stanowią realne zagrożenie dla przyrody i dziedzictwa kulturowego. Informacje tego typu to również argument na rzecz wspólnych działań związanych z monitorowaniem obszarów leśnych. Inną formą eksploatawania zasobów cyfrowych jest stosowanie geodanych na rzecz zadania związanego z turystycznym udostępnianiem lasów, a wraz z nimi obiektów zabytkowych. Natomiast przykład sięgania po geodane z informacją o zasobach zabytkowych, a więc wynikami interpretacji np. archeologa, czy też generowanie „archeologicznych” warstw tematycznych (warstw pochodnych związanych z posiadanym zasobem geodanych) w SILP z pewnością stanowi element, który należy uwzględnić przy opracowaniu planów urządzania lasów i w gospodarce leśnej.

Również na terenach zalesionych ALS wpisuje się w szereg inicjatyw, umożliwiających nie tylko detekcję zabytków, ale i budynków oraz obiektów powstałych samowolnie.¹⁰³ Takie zastosowanie danych ALS wpisuje omawianą technologię do szeregu działań z zakresu analizy i rejestrowania samowoli budowlanej.¹⁰⁴

¹⁰¹ Będkowski K., Stereńczak K., 2008, *Przestrzenny rozkład punktów odbić impulsów skanera laserowego a wybrane cechy drzewostanu*, „Rocznik Geomatyki”, t. VI, z. 8, s. 55–60.

¹⁰² Szerzej na temat badań w zakresie analizy cech roślinności na bazie danych lidarowych – np. Tompalski P., 2012, *Wykorzystanie wskaźników przestrzennych 3D w analizach cech roślinności miejskiej na podstawie danych z lotniczego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 443–456.

¹⁰³ Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. prawo budowlane. Dz.U. 1994 nr 89, poz. 414; Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. 2002 nr 75, poz. 690.

¹⁰⁴ Stereńczak K., Ciesielski M., Zalewska K., 2012, *Detekcja budynków na terenach o dużej lesistości na przykładzie Parku Narodowego Gór Stołowych*, „Roczniki geomatyki”, t. X, z. 5 (55), s. 67–78.

4.6. Podsumowanie

Podsumowując dotychczasowe rozważania w zakresie ALS, warto zaprezentować ogólne wnioski dotyczące omawianej technologii, a zwłaszcza dostrzegane ograniczenia i zalety, jak również możliwości i perspektywy w badaniu dziedzictwa. ALS stosowany jest zarówno na obszarach odsłoniętych, jak i na terenach zalesionych. Rozpoznanie zasobów dziedzictwa kulturowego na obszarach otwartych stwarza możliwość detekcji obiektów zabytkowych na bazie zachowanej rzeźby wysokościowej, jak również w oparciu o pomiar intensywności odbicia wiązki lasera. Na terenach zalesionych zastosowanie ALS jest wyjątkowo efektywne, zwłaszcza w wyniku dokładnego pomiaru przestrzennego, natomiast w znikomym stopniu możliwa jest rejestracja i detekcja obiektów, na bazie intensywności.

Do niewątpliwych zalet ALS należy zliczyć bezinwazyjność, znaczącą niezależność od warunków atmosferycznych, pełną automatyzację pomiaru przestrzennego oraz dużą dokładność. W odniesieniu do obszarów słabo rozpoznanych pod względem zasobów dziedzictwa kulturowego, którymi są przede wszystkim obszary zalesione, ALS posiada zasadniczą zaletę, jaką jest możliwość rejestracji powierzchni terenu, z dokładnością umożliwiającą detekcję i inwentaryzację obiektów zabytkowych, mających własną, czytelną formę terenową, która rejestrowana jest nawet z dokładnością rzędu kilku centymetrów. Zagadnieniem jedynie sygnalizowanym w pracy, a stanowiącym niewątpliwą zaletę ALS jest możliwość integracji danych LiDARowych, czy też włączenie ich do procesu analitycznego, związanego z innymi zasobami teledetekcyjnymi (obrazami satelitarnymi czy zdjęciami lotniczymi), celem poprawy jakości danych i wzmocnienia np. klasyfikacji obiektowej¹⁰⁵. Kolejną zaletą jest możliwość uzupełniającej prospekcji terenowej i rozpoznawania obiektów, a zarazem dodatkowej klasyfikacji powierzchni terenu w oparciu o tzw. „czwarty wymiar” – współczynnik odbicia wiązki lasera, który stanowi podstawę wnioskowania pośredniego oraz element wspierający czy weryfikujący występowanie zasobów dziedzictwa kulturowego. Innymi słowy, detekcja nieruchomych obiektów zabytkowych (m.in. na bazie przywołanej literatury przedmiotu oraz przeprowadzonych i zaprezentowanych badań) związana na przykład z takimi właściwościami, jak wilgotność: roślinność, barwa mogą być pośrednio szacowane (w stopniu ogólnym) i określane na podstawie parametru intensywności odbicia wiązki lasera, przy spełnieniu określonych warunków interpretacji pomiarów.

Do pewnych ograniczeń omawianej technologii należy zaliczyć wysokie

¹⁰⁵ Wężyk P., Mlost J., Pierchalski M., Wójtowicz-Nowakowska A., Szwed P., 2012.

koszty pozyskiwania danych (wyjątkiem są dane powstałe w ramach projektu ISOK) oraz ich obróbki, konieczność przeprowadzania złożonej procedury przetwarzania danych źródłowych, a także ograniczenia związane z porą roku, w której można wykonywać naloty. Poza tym technologia ALS zмага się z dokładnością pozyskiwanych danych, czego źródła należy upatrywać w: nieprawidłowej kalibracji GPS, IMU oraz samego skanera; ograniczonej dokładności wyznaczania toru lotu; topografii terenu; błędnych odbiciach wiązki lasera; korekcji transformacyjnej pomiędzy układem elipsoidalnym a układem lokalnym; korekcji ze względu na geoidę¹⁰⁶. Swego rodzaju ograniczeniem pomiarów ALS jest brak rejestracji powierzchni zbiorników wodnych, w tym obszarów podmokłych, co jednak w niektórych sytuacjach może wskazywać na obniżenie terenu i być podstawą do interpretacji powstających stref gromadzenia się wody. W tym miejscu należy również podkreślić słabą stronę danych ISOK, które posiadają duży potencjał poznawczy, jednak z uwagi na automatyzację klasyfikacji i zróżnicowane generowanie NMT (np. zastosowanie różnorodnych algorytmów w interpolacji), dla potrzeb badań nad zabytkami, stanowią materiał wymagający dokładnej oceny jakości danych, a często zasób wymagający ponownego przetworzenia. Z uwagi na zróżnicowanie wysokościowe, kąta padania promienia lasera i w końcu zróżnicowaną długość fali elektromagnetycznej zestawianie i porównywanie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla całego obszaru (wszystkich szeregów) obecnie jest niemożliwe. Takie podejście wymaga korekcji radiometrycznej, złożonych procedur przetwarzania danych, a przede wszystkim dalszych badań.

W związku z powyższym analiza i interpretacja powierzchni terenu na bazie parametru intensywności, jak już wspomniano, może mieć charakter wspomagający detekcję zasobów kulturowych, bazując na wizualnej ocenie kontrastów na wygenerowanych obrazach, a także na różnicach porównywalnych wartości w ramach poszczególnych szeregów. Należy również pamiętać, że intensywność odbicia wiązki lasera jest zróżnicowana z uwagi na panujące warunki podczas pomiaru, parametry techniczne urządzeń oraz warunki techniczne nalotu, a także z uwagi na zmienne – okresowe warunki środowiskowe (np. roślinne – wegetacyjne). W związku z powyższym, zestawienia rezultatów z różnoczasowych pomiarów, też należy zaliczyć do mankamentów omawianej metody. Słabą stroną rejestracji i analizy intensywności odbicia wiązki lasera jest brak możliwości porównywania

¹⁰⁶ Markiewicz J., 2012 za Vosselman G., Maas, H-G., 2010; Fuksa K., 2010, *Przyczyny błędów lotniczego skaningu laserowego i sposoby podniesienia dokładności chmury punktów*, Kraków [wersja elektroniczna pracy dyplomowej – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie] – http://twiki.fo-togrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/WebHome/Krzysztof_Fuksa.pdf.

wyników pomiarów pomiędzy poszczególnymi szeregami nalotów, z uwagi na silnie i intensywnie pofałdowany teren, o dużych i zróżnicowanych zmianach wysokościowych. Kolejny mankament to niemożność dokonywania porównań pomiędzy różnorodnymi nalotami (z różnych okresów), co jest zrozumiałe, z uwagi na inną porę roku, inną uprawę, czy odmienne warunki atmosferyczne panujące podczas nalotów. Dodatkowo, potencjalne porównania współczynnika intensywności osłabia zmienność parametrów pomiaru oraz nalotu. Niedostateczną przy pomiarze intensywności, czy też raczej słabą stroną w zakresie jakości pomiaru (rejestracji), jest m.in. dokładność przestrzenna – rejestracja oparta na średnicy plamki lasera, jaka pokrywa powierzchnię mierzoną oraz przestrzenny rozkład punktów odbić impulsów lasera¹⁰⁷. Pomiar intensywności charakteryzuje się zatem dużym stopniem ogólności rejestracji powierzchni, co pozwala na detekcję pewnej grupy struktur powierzchniowych, przy jednoczesnej wysokiej skuteczności detekcji niektórych powierzchni. Innym mankamentem jest brak wystarczających obecnie badań porównawczych nad zastosowaniem omawianego parametru, co raczej należy traktować jako postulat badawczy na przyszłość w zakresie rozwoju i dalszego wdrażania metod nieinwazyjnych. Kolejną drobną słabością ALS jest pewne uzależnienie od warunków pogodowych, niskich chmur, deszczu czy mgły, co doprowadza do rozbijania i pochłaniania promieni lasera.¹⁰⁸

Omawiane technologie skanowania laserowego, zwłaszcza rejestrację powracającej wiązki lasera, obecnie należy rozpatrywać jako zapowiedź, czy też pierwszy etap, nowego kierunku w detekcji, a także jako narzędzie o rysującym się potencjale badawczym, które już wkracza w etap rozbudowanych możliwości rozpoznawania i analizy terenu na bazie wielospektralnych głowic laserowych. Detekcja wielospektralna, oparta na w/w głowicy wykorzystującej trzy długości fal promieniowania elektromagnetycznego (850 nm, 905 nm, 1550 nm), gdzie możliwy jest pomiar odległości od obiektów, jak również dokonanie analizy porównawczej natężenia powracającego sygnału optycznego echa dla poszczególnych długości fal oraz oszacowania ich wzajemnych relacji¹⁰⁹. Mimo omówionych mankamentów, należy wyraźnie podkreślić, za przywoływaną w tekście literaturą przedmiotu oraz

¹⁰⁷ Będkowski K., Stereńczak K., 2008.

¹⁰⁸ Stereńczak K., 2010, s. 91.

¹⁰⁹ Mierczyk Z., Zygmunt M., Drozd T., Gawlikowski A., Gietka A., Jakubaszek M., Kaszczuk M., Knyśak P., Młodzianko A., Muzal M., Ostrowski R., Piotrowski W., Wojtanowski J., 2013, *Wielospektralna głowica laserowa do rozpoznawania i analizy elementów terenu z przeznaczeniem do zastosowania na platformach bezzałogowych*, (w:) *Abstract book. The 2nd International Conference on: „Measurement Technologies in Surveying” 23-25 May 2013, Warsaw – Józefosław.*

w odniesieniu do przeprowadzonych badań, że rejestracja i analiza intensywności odbicia wiązki lasera stanowi przynajmniej element uzupełniający nieinwazyjną prospekcję i dokumentację zasobów dziedzictwa kulturowego¹¹⁰. Natomiast pomiar przestrzenny na bazie ALS jest obecnie jedyną technologią umożliwiającą taki poziom detekcji i dokumentacji powierzchni terenu. Warto podkreślić, że rezultaty pomiarów ALS nie są danymi, które umożliwiają jednoznaczną i ostateczną identyfikację zabytków. Innymi słowy, niemalże wszystkie analizy danych ALS wymagają weryfikacji terenowej, gdyż bazowanie jedynie na pomiarze przestrzennym, nawet dokładnie (manualnie) przetworzonym, nie gwarantuje jednoznacznego i trafnego określenia rozpoznawanych struktur, co przypomina sytuację z interpretacją zdjęć lotniczych w badaniu dziedzictwa kulturowego – archeologicznego¹¹¹.

Postulatem, który warto wysunąć, jest włączenie do prac dokumentacyjnych, rozpoznawczych i analitycznych m.in. współczynnika odbicia, pozytywanego na bazie ALS. Postuluje się zatem m.in. włączenie np. do Karty Ewidencji Zabytku Archeologicznego cech spektralnych – radiometrycznych, w postaci dodatkowych informacji lub też modyfikację KEZA, celem uwzględniania elementów pożytecznych z punktu widzenia działań na rzecz ochrony i dokumentacji dziedzictwa archeologicznego oraz historycznego. Postulat włączenia na stałe do badań archeologicznych charakterystyk spektralnych – radiometrycznych powierzchni i pokrycia, a więc włączenia do opisu zabytku archeologicznego – stanowiska archeologicznego omawianych cech np. w formie uzupełnionej / rozbudowanej / zmodyfikowanej czy dodatkowej / nowej KEZA. W/w cechy to również kolejny krok w stronę pełniejszego wykorzystania zasobu cyfrowego – danych LIDAR. Kolejnym postulatem w zakresie stosowania ALS jest podejmowanie działań transdyscyplinarnych, na pograniczu badania i ochrony dóbr kultury oraz środowiska. Z jednej strony przyczyna praktyczna, obniżenie kosztów przy pozyskiwaniu i przetwarzaniu danych, z drugiej strony konieczność współpracy specjalistów w/w obszarów tematycznych, a zarazem ściśle powiązanie zasobów kulturowych z sytuacją środowiskową, która często stanowi bezpośrednią lub pośrednią oznakę występowania oraz stanu zachowania zasobów zalegających pod powierzchnią terenu. Zwłaszcza zagadnienie charakterystyk spektralnych¹¹² czy parametr intensywności odbicia, stanowią elementy bezpośrednio związane z metodami teledetekcyjnymi, łączącymi dyscypliny.

¹¹⁰ Carey Ch. J., Challis K., Kincey M., Howard A., 2008.

¹¹¹ Maciejewski K., 2005, *Wrózenie z fusów? Dylematy fotografującego obiekty archeologiczne*, (w:) *Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii*, (red.) J. Nowakowski, A. Prinke, W. Rączkowski, s. 157-163.

¹¹² Piekarczyk J., 2009.

Pośród zaleceń należy wymienić przede wszystkim konieczność prowadzenia analiz danych ALS w sposób zintegrowany z danymi różnocoasowymi, pochodzącymi z innych źródeł. Celem jak najefektywniejszego wykorzystywania wygenerowanego zasobu cyfrowego, warto zalecić stosowanie proponowanych w niniejszej pracy oraz przywoływanej literaturze przedmiotu analiz i filtrów morfologicznych, zwiększających detekcję zasobów dziedzictwa kulturowego.

Warto zwrócić uwagę na istotne z punktu widzenia dziedzictwa kulturowego zagrożenia jakości pozyskiwanych, posiadanych i generowanych danych. Znacząca wydaje się przede wszystkim gęstość wykonywanych pomiarów, w odniesieniu do powierzchni terenu czy zabudowy. Chmura punktów, jako produkt końcowy wykonanych pomiarów, stanowi zbiór danych, które nie zawsze odpowiadają liczbie wykonanych – wysłanych pomiarów, gdyż nie wszystkie docierają do powierzchni terenu. Wielokrotnie, zwłaszcza na terenach leśnych, pomiar o gęstości 4 lub 6 pkt na m², w efekcie końcowym przynosi pokrycie powierzchni terenu pomiarem o gęstości jedynie 1 pkt / m². Stąd zalecane jest wykonywanie pomiarów z jak największą gęstością i jak największym pokryciem pomiędzy szeregi. Ważna jest również pora roku oraz warunki przyrodnicze, takie jak zwarcie i typ lasu. Z punktu widzenia prospekcji obiektów zabytkowych najwartościowsze są dane pozyskiwane w okresie bezlistnym, zatem podobnie jak w archeologii lotniczej, wskazane jest planowanie i wykonywanie nalołów lidarowych wiosną oraz jesienią¹¹³. Poza zalecanymi porami roku w zakresie wykonywania pomiarów LIDARowych, również ważne i zalecane są powtórne naloły, m.in. z uwagi na: panujące warunki, jakość pozyskiwanych danych, czy też kierunek nalołu i kierunek wysłania wiązki lasera.¹¹⁴

¹¹³ Crutchley S., Crow P., 2009; Rączkowski W., 2002, *Archeologia lotnicza – metoda wobec teorii*, Poznań; Nowakowski J., Prinke A., Rączkowski W., (red.), 2005, *Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii*, Poznań; Będkowski K., Stereńczak K., 2010.

¹¹⁴ Crutchley S., Crow P., 2009.

5. Przykłady detekcji i analizy dziedzictwa kulturowego w świetle ALS

5.1. Wprowadzenie

Dziedzictwo kulturowe to zasób, który tworzą m.in. zabytki archeologiczne, historyczne elementy i układy przestrzenne, czy też zabytki architektury. Zbiór ten stanowi nieodłączny element procesów związanych z gospodarką i planowaniem przestrzennym, których jednym z zadań jest jego ochrona. Zakres jednak zachowania dziedzictwa kulturowego, a tym samym jego obecność w planowaniu przestrzennym uzależnione są od kilku elementów, do których bez wątpienia należy zaliczyć stopień i jakość rozpoznawania zabytków. Wśród współczesnych narzędzi detekcji, inwentaryzowania i analizowania znajduje się szerokorozumiana geoinformacja, którą w zakresie pozyskiwania danych zasila m.in. omawiana technologia ALS. Ta nieinwazyjna metoda stanowi obecnie jedno z najefektywniejszych narzędzi w prospekcji zabytków archeologicznych, reliktyw obiektów architektonicznych czy przemysłowych, co też zostało omówione i wykazane w poprzednim rozdziale. Generowane na podstawie ALS dane z powodzeniem mogą być częścią prac związanych właśnie z planowaniem przestrzennym w różnorodnej formie. Po pierwsze pomiary (1) ALS mogą być podstawą detekcji i inwentaryzacji zasobów zabytkowych – archeologicznych, które w związku z dostrzeganą skutecznością omawianej metody, przyczyniają się do rozpoznawania obiektów zabytkowych, zwłaszcza na terenach leśnych. To z kolei może być podstawą do działań na rzecz rozwijania polityki przestrzennej, powiązanej z ochroną zasobów naturalnych – lasów. Dane ALS tym samym mogą stać się integralnym elementem postulowanych w literaturze przedmiotu systemów informacyjnych jako postawy planowania przestrzennego, w kontekście obszarów leśnych. Jak pisze E. Stępień „[s]ystem informacyjny ułatwiać powinien współpracę, poszukiwanie kompromisów i integrację stanowisk specjalistów co do celów, zakresu, intensywności i konsekwencji realizacji zadań leśnictwa i gospodarki przestrzennej oraz ich synchronizacji w kontekście celów ogólnego rozwoju gospodarczego danego regionu”.¹ Po drugie (2) dane ALS, wraz z szeregiem innych zasobów teledetekcyjnych, i w połączeniu z geoinformacją, mogą być narzędziem w procesie odpowiedzialnego planowania przestrzennego, które pozwoli dokonywać dodatkowej waloryzacji i analizy historycznych układów przestrzennych. Po trzecie (3) dane ALS i geoinformacja mogą być skutecznym narzędziem w analizowaniu przeszłych relacji przestrzennych, z ukierunkowaniem na ich zachowanie i ochronę – np. panoram i sylwet

¹ Stępień E., 2005, *Leśnictwo a gospodarka przestrzenna*, (w:) *Ochrona środowiska w gospodarce przestrzennej*, (red.) L. Ryszkowski, A. Kędziora, Poznań, s. 127-144 (137).

miast. Cyfrowy zasób, wraz z omawianą technologią, to również istotny element w modelowaniu, analizie i monitorowaniu stanu zachowania historycznych założeń i obiektów zabytkowych.

Celem omówienia zastosowania technologii ALS w ww. sferach (dziedzinach), w poniższym rozdziale zostaną zaprezentowane przykłady efektywnego wykorzystania ALS i generowanych danych, co podkreśli potencjał metody, a także zilustruje rezultaty jej zastosowania oraz możliwe pola eksploatacji w przyszłości. Poniższy rozdział ma charakter egzemplifikacji w odniesieniu do rozdziału 4, w którym poza samą technologią ALS, w połączeniu z narzędziami geoinformacji, zwrócono uwagę na: (1) kwestię detekcji, analizy i dokumentacji zabytków w oparciu o dane ALS, (2) rozpoznanie i analizę zasobów zabytkowych w odniesieniu do współczynnika odbicia światła lasera, a także (3) modelowanie i symulację zjawisk przestrzennych. Ww. zagadnienia odnieśmy do kilku rodzajów obiektów: zabytkowych mielerzy z okolic Sereczic, historycznych elementów miasta i okolic Iłży oraz wzgórza i ruiny zamku w Iłży.

Badania dziedzictwa kulturowego należą do tych działań, których wyniki wpływają lub mogą wpływać na kształt „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy”, przyczyniając się do kształtowania oczekiwanej i jak najlepszej polityki przestrzennej. W związku z powyższym, aby uzyskiwać oczekiwane i najoptymalniejsze efekty gospodarki przestrzennej, w skali regionu czy kraju, należy sięgać po nowe i nieinwazyjne technologie, które usprawnią system, wnosząc nową informację o zabytkach. Technologie cyfrowe, poza specyficzną formą zapisu danych i informacji o zabytkach, stanowią obecnie zestaw narzędziowy, który zdecydowanie poprawia stan rozpoznania i ewidencjonowania dziedzictwa kulturowego, a także specyficzny sposób przewidywania potencjalnych skutków planowanych przedsięwzięć. Ta dwójka co najmniej forma poprawy sytuacji przejawia się w postaci (1) detekcji nieznanych zabytków, a także (2) nowej formy analizowania obiektów zabytkowych i ich kontekstu – otoczenia.

Przykładowe i wybrane obiekty, będące pozostałościami po produkcji węgla drzewnego w przeszłości, obok relikwów kopalń i miejsc eksploatacji surowców naturalnych, stanowią zasób, który w świetle dotychczasowych wyników badań z zastosowaniem ALS, jest zbiorem obiektów licznie rozpoznawanych, co nie może nie być dostrzeżone w polityce przestrzennej. Tego typu odkrycia powodują, że już nie pojedyncze, małoobszarowe stanowiska i obiekty pojawiają się coraz częściej na mapie kraju, ale liczące setki, a nawet tysiące obiektów skupiska, występujące na znacznych powierzchniach. Taka sytuacja zmusza do zmiany strategii w zakresie badania dziedzictwa

kulturowego, ale i w kwestii gospodarowania obszarami, na których odnajdywane są zabytki, zwłaszcza tereny zalesione. Sięgnięcie po przykład obiektów rozpoznanych w okolicach Seredzic ma m.in. na celu uwypuklenie skali znalezisk oraz rodzących się problemów. Tak licznie rozpoznawane obiekty antropogeniczne z przeszłości potwierdzają również inne projekty, sięgające po ALS, co też wskazuje na problem o zasięgu ponadregionalnym w skali kraju.

W ramach projektu naukowego pt. „Zastosowanie skanowania laserowego oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Opracowanie nieinwazyjnych, cyfrowych metod dokumentacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego” podjęto działania związane z wykonaniem lotniczego skanowania laserowego. Prace oparto na zleceniu dla Sp. z o. o. MGGP Aero, która wiosną 2012 r. wykonała nalot i pomiary laserowe, dokonując w następnej kolejności przetworzenia danych oraz chmury punktów i opracowania pozyskanego zasobu. Rezultatem końcowym prac były dane w postaci chmury punktów (format danych LAS), numeryczny model terenu (NMT) oraz numeryczny model pokrycia terenu (NMPT).

Pomiary wykonano w oparciu o następujące parametry techniczne:

1) Skanowanie laserowe: gęstość próbkowania – 6 punktów na m² oraz 12 punktów na m² (okolice miasta Iłża oraz wzgórza zamkowego);

2) Dokładność pomiaru wysokości ΔZ : $\leq \pm 0,15$ m; rejestracja odbicia w trybie ciągłym, odczytana dla 4 ech; podstawowa klasyfikacja chmury punktów; format zapisu danych: plik LAS;

3) Dane wysokościowe: a) Numeryczny Model Terenu – NMT: zapisany w formacie GRID ASCII i rozdzielczości 0,5 m, w odwzorowaniu PUWG 1992; dokładność wysokości ΔZ : $\leq \pm 0,25$ m; b) Numeryczny Model Pokrycia Terenu – NMPT: zapisany w formacie GRID ASCII i rozdzielczości 0,5 m, w odwzorowaniu PUWG 1992; dokładność wysokości ΔZ : $\leq \pm 0,25$ m;

4) Długość fali – 1550 nm

Pomiary teledetekcyjne LIDAR zostały wykonane w oparciu o system Lite Mapper 68000i niemieckiej firmy IGI mbH. Cztery zasadnicze komponenty systemu to:

1) Skaner Riegl (model LMS-Q680i – urządzenie to jest pierwszym użytkowanym modelem w Europie) wykorzystujący pomiar fali ciągłej (Full Wave Form) z funkcją Multi-Time-Around, umożliwiającą pozyskiwanie danych z wyższego pułapu lotu (w zależności od skanowanej powierzchni – do 3000m. AGL). Urządzenie próbuje teren z prędkością do 400 tys. punktów na sekundę, skanując przy tym do 200 linii na sekundę. Zakładana przez producenta dokładność pomiaru odległości wynosi do 0.02 m. Punktowa

dokładność pozioma pomiaru dla obiektów powierzchniowych otrzymywana przez MGGP Aero wynosi do 0,1 m, a pionowa do 0,04 m;

2) System GPS/INS nowej generacji (w tym Inertial Measurement Unit – IMU-IIe);

3) System AEROCtrl firmy IGI mbH do zarządzania pracą wyżej wymienionych komponentów.

Pomiary wykonano na określonym obszarze, w ramach całościowego terenu badań, który objął powierzchnię 65 km² – ogólne informacje i koordynaty powierzchni terenu pomiarów:

WEST LONGITUDE=21° 04' 43.8122" E

NORTH LATITUDE=51° 13' 45.1503" N

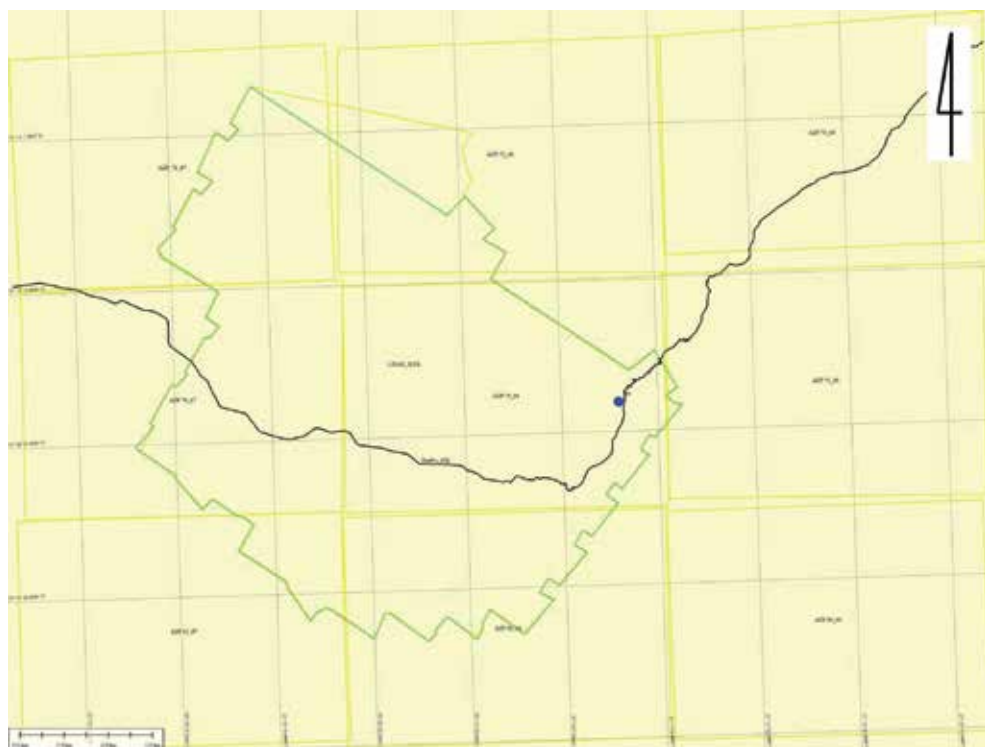
EAST LONGITUDE=21° 15' 39.7344" E

SOUTH LATITUDE=51° 06' 46.8064" N

PROJ_DESC=Poland 1992/19 / WGS84 / meters

PROJ_DATUM=WGS84

PROJ_UNITS=meters.



Ryc. 5.1. Zasięg obszaru poddanego pomiarom ALS w ok. Ilży i Sieradzu, woj. mazowieckie – na tle obszarów AZP. Teren obejmujący wzgórze oraz ruiny zamku w Ilży, wraz z zespołem zabytkowych mielerzy znajdujących się na terenie zalesionym (oprac. R. Zapłata)

Tak określony pomiar wykonano zarówno dla terenu zalesionego (RDLP Radom, Nadleśnictwo Marcule, Obręb Marcule, Leśnictwo Sieredzice i Leśnictwo Polany), wraz z niewielkimi powierzchniami terenu, które są zadrzewione lub trwale porośnięte roślinnością krzewiastą (np. wzgórze zamkowe – Ilża stan. 6, tereny podmokłe w okolicach miejscowości Pakosław), jak również dla obszarów otwartych, zwłaszcza terenów rolniczych, a także obszarów zabudowanych. Tereny zalesione to przede wszystkim dwa kompleksy – las mieszany i las iglasty.

Wykonywane analizy wygenerowanego zasobu, zwłaszcza procedura wtórnego przetwarzania danych, zostały sporządzone w oparciu o następujące oprogramowanie: Global Mapper 14, ArcGIS ESRI oraz SAGA.² Prace poprzedzono przygotowaniem produktów z pomiaru, które oparto m.in. na oprogramowaniu Terrasolid (MGGP Aero). Zasób cyfrowy analizowano dwustopniowo – analiza w oparciu o NMT i funkcję cieniowania zboczy oraz analiza z zastosowaniem przetwarzania danych za pośrednictwem filtrów morfologicznych. Kolejnym elementem procesu badawczego była weryfikacja spostrzeżeń na bazie zasobu cyfrowego z: (1) materiałem źródłowym, w tym archiwalnymi materiałami kartograficznymi³; (2) rezultatami terenowej prospekcji powierzchniowej; (3) wysokorozdzielczymi zobrazowaniami satelitarnymi.

Ostatni etap to inwentaryzacja rozpoznanego i zweryfikowanego zasobu kulturowego.

² Isenburg M., 2011, *LAStools: converting, filtering, viewing, gridding, and compressing LIDAR data* – <http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/>; Twardowski M., Marmol U., 2012, *Wizualizacja i przetwarzanie chmury punktów lotniczego skaningu laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 457-466.

³ Mapa Karola de Perthées’a z 1971 r., skala 1:225 000 (woj. mazowieckie / 2. redakcja 1971 r.); Carte von West-Gallizien: welche auf allerhöchsten Befehl Seiner Kaiserlich Oesterreichischen und Königlich Apostolischen Majestät in den Jahren von 1801 bis 1804 unter der Direction des demahligen General Majors, und General Quartiermeisters Anton Mayer von Heldensfeld [...] durch den Kaiserl. Königl. Generalquartiermeisterstaab militärisch aufgenommen worden... / gezeichnet, und gestochen von Hieronimus Benedicti – arkusz 8; Topograficzna Karta Królestwa Polskiego – Mapa Kwatermistrzostwa = Carte topographique du Royaume de Pologne. Topografičeskaja karta Carstva Pol’skago sostavlenaja i gravirovannaja v 1:26 000. dolju nastojaščej veličiny. Ego Veličestvu Gosudarju Imperatoru Vseja Ros-sii Nikolaju 1-mu vspoddannejše podnosit glavno-komandujuščij dejstvjujuščuju armiju knjaz’ varša-vskij graf Paskevič Erivanskij namestnik Carstva Pol’skago (1. wyd. 1839-1843), mapa ze zbiorów IGI-PZ PAN skala 1: 126 000 – Kol. IV, Sek. VI; „Karte des westlichen Rußlands”, mapa w skali 1:100 000, oparta na mapach rosyjskich (1:21 000, 1:42 000, 1:84 000 i czasem 1:126 000) z przełomu XIX i XX w., wydawana w arkuszach indywidualnych (467 map) oraz zbiorczych, Tomaszów – Ilza. Wydawca – Königlich Preußischen Landesaufnahme (Kartogr. Abteilung des Stellvertretenden Generalstabes der Armee) – H 37 Ilża (1:100 000 Karte des Westlichen Russlands) – 1915 [Archiwum Map Wojskowego Instytutu Geograficznego 1919-1939].

5.2. Dziedzictwo archeologiczno-przemysłowe – zespół mielerzy z okolic Seredzic

Integralną częścią krajobrazu kulturowego jest spuścizna po minionych działaniach związanych z rozwijającym się przemysłem⁴, po którym do dzisiaj pozostały mniej lub bardziej uchwytnie pozostałości. Ruiny budynków fabrycznych stanowią bez wątpienia rozpoznawany element krajobrazu kulturowego, jednak obok wyraźnie eksponujących się w naszym otoczeniu zabytków, istnieją relikty równie istotne i znaczące dla całości procesu przemysłowego, które nie mogły przetrwać do dzisiaj w okazalszej formie. W związku z przeprowadzonymi badaniami i rozpoznaniem, właśnie te mniej trwałe oraz bardziej narażone na zanik i zapomnienie obiekty będą stanowiły kluczowy element w omówieniu metody lotniczego skanowania laserowego w badaniach dziedzictwa kulturowego. Choć sam termin dziedzictwo przemysłowe wydaje się dość rozległy, w pracy jest on rozpatrywany w ograniczonym zakresie, odnosząc się do miejsc wytwarzania surowców energetycznych, mianowicie mielerzy, których znaczenie jakie odegrały w dziejach przemysłu, nie jest chyba proporcjonalne do stopnia ich rozpoznania i ochrony.

Zespół zabytkowych mielerzy zlokalizowany został w okolicy miejscowości Seredzice w województwie mazowieckim, powiat radomski, gmina Iłża (miejscowości otaczające zespół obiektów nieruchomych to Seredzice / Seredzice-Zawodzie / Krzewa / Trębowiec / Trębowiec Duży / Tychów Nowy / Krzewa / Jasieniec Iłżecki / Nowa Białka) i znajduje się na terenie następujących obszarów AZP: 79-67, 79-68, 80-67, 80-68. Badany obszar wchodzi w zakres Przedgórze Iłżeckiego, częściowo obejmując dolinę Iłżanki (część zachodnia całego kompleksu leśnego – okolice Krzewy i Seredzic-Zawodzia). Obszar leśny, na którym występują omawiane obiekty, to przede wszystkim las iglasty, w nieznacznym stopniu las mieszany. Dominującym gatunkiem jest tu sosna zwyczajna – pospolita (*Pinus sylvestris* L.). Obiekty zabytkowe znajdują się na terenie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych Radom, Nadleśnictwo Marcule, Obręb Seredzice oraz Obręb Polany (częściowo). Chronologię wybranych obiektów związaną z nowożytnością, określono na bazie datowania względnego, które oparto m.in. na materiałach historycznych oraz występujących na powierzchni obiektów (wrośniętych w ich strukturę) drzew, których wiek po ścięciu określono na ok. 100 lat, co stanowi w tym wypadku *terminus ant quem*. Zatem obiekty powstały przed

⁴ Kołodziej J., 2011, *Rewitalizacja dziedzictwa przemysłowego*, Bydgoszcz-Warszawa – https://www.mrr.gov.pl/aktualnosci/fundusze_europejskie_2007_2013/Documents/30_kd_20012012a.pdf#page=121

zasadzeniem w/w ściętych drzew, a zarazem przed nasadzeniem (wzrostem) obecnego drzewostanu, który należy określić jako kilkunasto-, a miejscami kilkudziesięcioletni las.⁵ Omawiane obiekty należy rozpatrywać na styku kilku dyscyplin, zwłaszcza historii, historii przemysłu oraz archeologii. Analizowane obiekty wpisują się w historię przemysłu na terenach dawnej Polski, zwłaszcza na terenach związanych ze Staropolskim Okręgiem Przemysłowym, natomiast aspekt archeologiczny w/w reliktywów poprzemysłowych należy wiązać z ich specyficzną, ziemną formą, która wyznacza ich charakter jako nieruchomych zabytków archeologicznych.

Wstępna chronologia, jak również literatura przedmiotu, wskazują, że rozpatrywane skupisko obiektów należy wiązać z funkcjonującym na tych terenach Staropolskim Okręgiem Przemysłowym. Był to najstarszy w Polsce zespół ośrodków przemysłowych, które funkcjonowały w dorzeczu rzeki Kamiennej, w obrębie Gór Świętokrzyskich, Płaskowyżu Suchedniowskiego, Garbu Gielniowskiego i Przedgórza Ilżeckiego, w województwach: świętokrzyskim, mazowieckim, łódzkim. Do głównych ośrodków Staropolskiego Okręgu Przemysłowego zaliczane są: Radom, Kielce Starachowice, Ostrowiec Świętokrzyski i Skarżysko Kamienna. Staropolski Okręg Przemysłowy rozwijał się od XV w. do połowy XIX w., będąc największym producentem żelaza na ziemiach polskich. Na terenach działania okręgu w XVI w. funkcjonowało ponad 60 kuźnic. Rozwój i powiększenie zasobów Staropolskiego Okręgu Przemysłowego należy wiązać z XVIII w. (w 1782 r. funkcjonowało 27 wielkich pieców hutniczych z ogólnej liczby 34 istniejących w Polsce).⁶

5.2.1. Badania i ogólna charakterystyka obiektów zabytkowych – okolice Sieradzi

Stan rozpoznania omawianych obiektów archeologicznych na wybranym obszarze do czasu podjęcia badań był znikomy i niezadowalający. Zabytki te znane są przede wszystkim z literatury przedmiotu, która wychodzi od przekazów źródłowych – historycznych⁷. Natomiast rozpoznanie terenowe,

⁵ Informacje uzyskane w konsultacji z Nadleśnictwem Marcule.

⁶ Zieliński J., 1965, *Staropolskie Zagłębie Przemysłowe*, Wrocław; Guldón Z., 2001, *Staropolski Okręg Przemysłowy*, (w:) *Staropolski Okręg Przemysłowy*, (red.) P. Pierściński, Kielce, s. 32-35; Guldón Z., Kaczor J., 1994, *Górnictwo i hutnictwo w Staropolskim Okręgu Przemysłowym w drugiej połowie XVIII wieku*, Kielce; Łoboda L., 2001, *Staropolski Okręg Przemysłowy w XVI-XVII wieku*, (w:) *Region świętokrzyski. Mit czy rzeczywistość?* (red.) J. Wijaczki, Kielce, s. 159-180.

⁷ Gacki J., 1854, *Wiadomość historyczna o biskupich niegdyś dobrach, zamku i mieście Ilży, Ilża*; Bartosik J., 1979, *Ilża. Monografia rozwoju społeczno-gospodarczego miasta*, „Biuletyn Kwartalny Radomskiego Towarzystwa Naukowego”, t. XVI, z. 3, Radom; Kacprzak P., 2012, *Nadleśnictwo Marcule. Historia lasów, gospodarki i administracji leśnej*, Marcule..

m.in. wynikające z braku odpowiednich narzędzi badawczych oraz specyfiki i stopnia zachowania obiektów nieruchomych, nie doprowadziło dotychczas do odkrycia omawianych obiektów na badanym terenie⁸. Niestety, nie trwałość pozostałości obiektów, warunki zalegania i procesy podepozycyjne, doprowadziły do znaczącego zaniku reliktów na terenach otwartych (rolniczych), natomiast na terenach zalesionych spowodowały sytuację utrudniającą, czy wręcz uniemożliwiającą miejscami ich rozpoznawanie. Dodajmy, że tego typu obiekty o krótkotrwałym funkcjonowaniu były niemalże całkowicie „demonutowane” (zgodnie ze swoim przeznaczeniem) przez użytkowników, co powodowało zachowanie jedynie resztek stosu oraz wyraźnie zabarwionej wierzchniej warstwy gruntu, wraz z dookoła występującymi zagłębieniami oraz samym kształtem i własną rzeźbą wysokościową. Działalność człowieka, zwłaszcza rolnicza, w niektórych miejscach występowania pozostałości mielerzy, doprowadziła do stopniowej niwelacji i zaniku pozostałości mielerzy. Natomiast na terenach zalesionych, gdzie mamy do czynienia z wtórnym rozwojem drzewostanu, zachowały się resztki mielerzy, jednak z utrudnioną możliwością ich detekcji, którą powoduje roślinność oraz ściółka leśna, co w efekcie końcowym doprowadza do znikomej ekspozycji obiektów. Dzisiaj jedynie w małym stopniu możemy rozpoznawać tego typu zabytki na bazie fotografii lotniczej i obrazów satelitarnych na terenach odsłoniętych (np. po wycince istniejącego drzewostanu i orce pod nasadzenia w lesie). Natomiast prospekcja tych obiektów na terenach leśnych wydaje się w małym stopniu możliwa, m.in. z uwagi na niewyraźne, słabo widoczne, miejscowe deniwelacje terenu (np. kilkunastocentymetrowe różnice wysokościowe zagłębień dookólnych), które są pozostałością terenową po omawianych obiektach. Jedynie zmiana perspektywy i sposobu rejestracji powierzchni terenu umożliwia ich detekcję, co gwarantuje obecnie w pewnym stopniu technologia skanowania laserowego, zwłaszcza lotniczego.

Badania skupione wokół detekcji i rozpoznania zabytkowych mielerzy przeprowadzono w kilku blokach: kwerenda archiwalna materiałów źródłowych (1); prospekcja powierzchniowa (2) oraz laserowe skanowanie lotnicze (3).⁹ Kwerenda archiwalna umożliwiła identyfikację oraz interpretację

⁸ Bujakowski W., 1990, *Sprawozdanie z badań przeprowadzonych na obszarze 80-68 w ramach Archeologicznego Zdjęcia Polski*, Radom [maszynopis w archiwum WUOZ/Radom]; Wysocki J., 2000, *Sprawozdanie z archeologicznych badań powierzchniowych AZP obszaru 79-67 woj. Mazowieckie, woj. Świętokrzyskie* [maszynopis – archiwum Narodowego Instytutu dziedzictwa w Warszawie];

⁹ Zapłata R., (marzec) 2013 r., *Sprawozdanie częściowe z prac wykonanych w 2012 r. w ramach projektu naukowego pt. „Zastosowanie skaningu laserowego oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Opracowanie nieinwazyjnych, cyfrowych metod dokumentacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego”*. Weryfikacyjne badania powierzchniowe na obszarach AZP: AZP: 78-67, 78-68, 78-69; 79-67, 79-68, 79-69; 80-68, 80-69, Warszawa [maszynopis w archiwum WUOZ oraz UKSW].

rozpoznanych obiektów nieruchomych, wskazując jedynie ogólnie miejsce występowania w przeszłości mielerzy. Rozpoznanie i dokumentacja omawianego zespołu obiektów nieruchomych odnosi się zasadniczo do jednego z kompleksów leśnych Nadleśnictwa Marcule – Obręb Seredzice (oraz Obręb Polany), na których przeprowadzono badania powierzchniowe. Obszar prospekcyjny to w większości teren trudno dostępny, z wyjątkiem miejsc związanych z wyrębem lasu i orką, a także z nasadzeniami. Ok. 90% powierzchni stanowi las, a ok. 10% to powierzchnie zrębu leśnego. Zasadniczym utrudnieniem w obserwacji terenu była roślinność oraz ściółka leśna, uniemożliwiająca powierzchniowe rozpoznawanie obiektów. Badania powierzchniowe przeprowadzono dwuetapowo: (1) badania weryfikujące dotychczasowe wyniki badań na tych terenach, które poprzedzały analizę i interpretację pomiarów ALS oraz (2) badania weryfikujące rozpoznanie potencjalnych obiektów na podstawie ALS. Rozpoznany zbiór obiektów nieruchomych (pozostałości mielerzy) nie był odnotowany w ewidencji Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków w Warszawie (delegatura w Radomiu), w związku z powyższym dokonana była jedynie weryfikacja obiektów znanych ze źródeł pisanych oraz ogólnej literatury. Dotychczasowe działania archeologiczne, w formie badań powierzchniowych, nie doprowadziły do rozpoznania omawianych obiektów. Nieinwazyjne prace terenowe z roku 2000 umożliwiły rozpoznanie na obrzeżach badanego kompleksu leśnego jednego stanowiska – Seredzice st. 22 (AZP 79-67/8). Pozostałe badania powierzchniowe przeprowadzone na tych terenach w ramach badań AZP, nie przyczyniły się do rozpoznania nieruchomych obiektów zabytkowych na obszarze zaleśnionym.

Występowanie w okolicach Seredzic tego typu obiektów w przeszłości potwierdzają również lokalne nazwy miejscowe, m.in. Jasieniec-Maziarze, znajdujące się ok. 1 km na południowy-wschód od omawianego kompleksu leśnego, czy też Maziarze Nowe, Maziarze Stare¹⁰, które położone są ok. 5 km na wschód od skraju obszaru Leśnictwa Seredzice. Nazwy miejscowości należy wiązać z poświadczaną w literaturze przedmiotu działalnością w okolicach Iłży maziarzy (a także smolarzy i diegiarzy) – osób zajmujących się najogólniej przetwórstwem i obróbką drewna (m.in. wypał smoły), w tym również kurzaczy węgla.¹¹ Wg J. Bartosika działający w okolicach Iłży kurzacze węgla mieli zasilać w XVIII w. surowcem fabrykę brocką, jak również zakłady przemysłowe nad rzeką Kamienną aż do pierwszej

¹⁰ Bartosik J., 1979, *Iłża. Monografia rozwoju społeczno-gospodarczego miasta*, „Biuletyn Kwartalny radomskiego Towarzystwa Naukowego”, T. XVI, z. 3, s. 42.

¹¹ Bartosik J., 1979, s. 31.

wojny światowej.¹² Brody (kuźnica Bród w kluczu ilżeckim) należą do jednego z najstarszych ośrodków przemysłowych w Polsce, a ich udokumentowana w źródłach pisanych metryka sięga 19 stycznia 1624 roku.¹³ W zakresie szerszej charakterystyki zawodów leśnych, odsyłam do literatury przedmiotu, w której działania związane z przetwórstwem drewna doczekały się wnikliwszego omówienia, m.in. w pracach Zygmunta Kubraka¹⁴, Jacka Olędzkiego¹⁵, Stanisława Goluba¹⁶ czy Kazimierza Moszyńskiego¹⁷, a także publikacjach zbiorowych¹⁸. Na temat procesu przeszłej eksploatacji lasu w kontekście smolarstwa, maziarstwa czy diegciarstwa, a także o minionej produkcji węgla drzewnego i zagadnień z nim związanych, dowiadujemy się również z opracowań Jana Brody¹⁹, Henryka Josta²⁰ czy Stefana Łysiaka²¹. W świetle literatury przedmiotu oraz badań historyków, zagadnienie mielerzy oraz produkcji węgla drzewnego rozpatrywane jest przede wszystkim w kontekście hutnictwa żelaza, co też skłania do analizowania odkrytych obiektów jako dziedzictwa przemysłowego.²² Historyczne hutnictwo oraz przemysł bazowały na naturalnych źródłach energii, do których niewątpliwie zaliczamy przetworzone zasoby leśne, a więc węgiel drzewny, który powstawał głównie w obiektach określanych jako mielerze. Przekazy pisane, a także literatura przedmiotu podkreślają ogromne znaczenie tego źródła energii, co jednocześnie wskazuje na rozmiar i długotrwałość takiej formy przetwarzania surowców naturalnych.²³

W skali Polski, a także i Europy, odnotowujemy liczne przykłady rozpoznania mielerzy jako obiektów preindustrialnych i industrialnych na

¹² Bartosik J., 1979, s. 31, 42-43; Gacki J., 1854.

¹³ <http://www.brody.info.pl/historia/99-brody-dzieje-przemyslu.html>

¹⁴ Kubrak Z., 1988, *Smolarstwo w puszczy Solskiej w okresie gospodarki folwarczno-pańszczyźnianej (XVI-XIX w.)*, „Rocznik Przemyski”, t. XXIV-XXV, s. 181-194.

¹⁵ Olędzki J., 1959, *Materiały do tradycyjnych zajęć pozarolniczych*, „Etnografia Polska”, t. 2.

¹⁶ Golub S., 2000, *Pozostałości dawnego smolarstwa – Siedliszcze Kolonia, Gmina Gubienka*, „Zeszyty Muzealne Pojezierza Łączycko-Włodawskiego we Włodawie”, t. 10, Włodawa.

¹⁷ Moszyński K., 1967, *Kultura ludowa Słowian*, t. 1, Warszawa.

¹⁸ Brzeziński W., Piotrowski W. (red.), 1997, *Proceedings of the First International Symposium on Wood Tar and Pitch*, Warszawa; Kowalenko W., Labuda G., Lehr-Spławski T. (red.), 1961, *Słownik Starożytności Słowiańskich*, t. II, [hasło: Gospodarka leśna], Warszawa-Kraków-Gdańsk, 132-133.

¹⁹ Broda J., 1960, *Santarze na Podbeskidziach*, „Zaranie Śląskie”, R. 23, z. 2.

²⁰ Jost H., 1971, *O wypalaniu węgla drzewnego*, „Wierchy”, R. 40.

²¹ Łysiak S., 1961, *Wypał węgla drzewnego na Górnym Śląsku w świetle badań etnograficznych*, „Zaranie Śląskie”, R. 24, z. 1, s. 99-106.

²² Zientara B., 1954, *Dzieje małopolskiego hutnictwa żelaznego XIV-XVII wiek*, Warszawa, s. 17; Piaskowski J., 1959, *Metalurgia w końcu XVIII wieku w świetle dzieła Krzysztofa Kluka*, „Rzeczy kopalnych osobliwie zdolniejszych szukanie, poznanie i zażywanie”, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki”, 4/2, s. 271-303.

²³ Wikiera M., 1996, *Kuźnice i huty starostwa Radoszyce w XV-XIX w.*, s. 22-24.

podstawie badań historycznych²⁴, jak również badań powierzchniowych, a także badań wykopaliskowych²⁵, a w ostatnich latach na podstawie lotniczego skanowania laserowego²⁶. O funkcjonowaniu mielerzy w starożytności dowiadujemy się m.in. z przekazów źródłowych. Pisał już o nich Teofrast z Eresos w „Historii Roślin” z IV wieku p. n. e., a także Pliniusz Starszy w „Historii naturalnej” w początkach naszej ery.²⁷ Literatura przedmiotu w odniesieniu do terenów Polski rozpatruje mielerze w kontekście funkcjonowania pradziejowego oraz historycznego hutnictwa żelaza, a dalej rozwoju przemysłu. Istnienie obiektów znajduje potwierdzenie w badaniach historycznych, jak również badaniach archeologicznych, czego przykładem są m.in. publikacje autorstwa K. Bielenina²⁸, poświęcone zjawisku hutnictwa na naszych ziemiach, zwłaszcza na obszarach Staropolskiego Okręgu Przemysłowego. Informacji na temat konstrukcji tego typu obiektów, poza źródłami historycznymi (szerzej dalej), dostarczają badania archeologiczne, w świetle których mielerze to obiekty o konstrukcji naziemnej, często z elementami zagłębionymi dookoła konstrukcji, o kształcie okrągłym (regularnym) w planie, o zróżnicowanej wielkości (średnice od kilku do kilkudziesięciu metrów – przeciętna średnica to kilkanaście metrów), z bardzo charakterystyczną warstwą spalenizny, zawierającą liczne drobne węgle drzewne²⁹. Literatura przedmiotu wskazuje na funkcjonowanie przynajmniej dwóch typów mielerzy: typ naziemny oraz typ tzw. jamowy³⁰.

²⁴ Zientara B., 1954.

²⁵ Radwan M., 1959, *Interpretacja odsłoniętych mielerzy świętokrzyskich*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej”, r. 7, nr 3, s. 373-376; Bielenin K., 1962, *Ancient centre of iron metalurgy in the region of Góry Świętokrzyskie (Świętokrzyskie Mountains)*, „Archeologia Polona”, IV, s. 221-234; Lisdorf J., 2011, *Köhler über der Kohle. Ausgrabung von Holzkohlemeiler am Tagebau Jänschwalde*, „Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier-Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg”, z. 8, s. 213-223; Kałagate S., Osypiński P., Stachowiak P., 2012, *Relikty późnonowżytnego mielerza odkryte na stanowisku nr 4 w Wilkowie, gm. Świdnica, pow. zielonogórski, woj. lubuskie*, „Archeologia Środkowego Nadodrza”, t. IX, s. 241-249.

²⁶ Ludemann, T., 2013, *Airborne laser scanning of historical wood charcoal production sites – a new tool of kiln site anthracology at the landscape level*, „SAGVNTVM EXTRA”, 13, s. 247-252 – https://www.sapac.es/charcoal/saguntum/extra13/se13_247.pdf – szersza literatura przedmiotu na temat metody oraz detekcji mielerzy na bazie ALS została przedstawiona w rozdziale 4.

²⁷ Radwan M., 1959, s. 473-474.

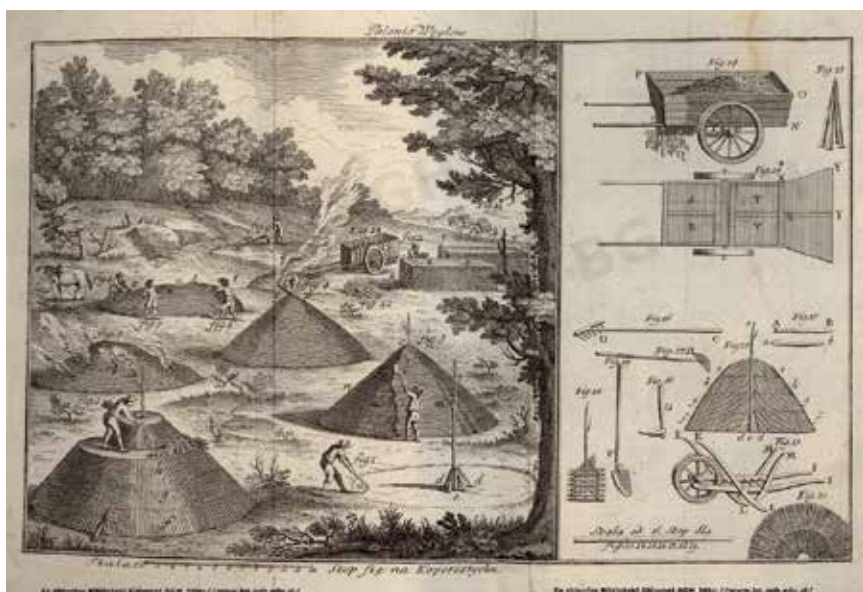
²⁸ Bielenin K., 1957, *Z badań nad starożytną produkcją żelaza w Małopolsce*, „Sprawozdania Archeologiczne”, vol. III, s. 91-106; Bielenin K., 1957, *Starożytne piece hutnicze w Zagłębiu Staropolskim*, „Z Otchłani Wieków”, vol. XXIV; Bielenin K., 1959, *Starożytne mielerze świętokrzyskie hutnictwa żelaza*, „KHKM”, vol. VII, s. 463-472.

²⁹ Bielenin K., 1962; Kałagate S., Osypiński P., Stachowiak P., 2012; Rösler, H., Bönisch, E., Schopper, F., Raab, T., Raab, A., 2012. *Pre-industrial charcoal production in southern Brandenburg and its impact on the environment*, (w:) *Landscape Archaeology between Art and Science*, (red.) S. Kluiwing, E. Guttman-Bond, Amsterdam, s. 167-178.

³⁰ Kałagate S., Osypiński P., Stachowiak P., 2012, s. 247; Virthinghoff-Reiesch A. von, 1961, *Der Oberlausitzer Wald*, Hannover, s. 474.

5.2.2. Mielerze w świetle wybranych przekazów źródłowych

Omawiane obiekty, zazwyczaj o konstrukcji owalnej, z dookołnymi zagłębieniami, umożliwiały na bazie nieskomplikowanego, ale czasochłonnego procesu pozyskanie surowca energetycznego, w oparciu o lokalne zasoby naturalne. W celu wyprodukowania węgla drzewnego układano w formie półowalnej kopuły drzewo, które następnie przykrywano ziemią, gliną czy darnią. Średnica takich obiektów wynosiła zazwyczaj od kilku do kilkunastu metrów, dochodząc do wysokości ok. 3 m. Proces wypału węgla drzewnego trwał zazwyczaj kilka dni. Po jego zakończeniu nakrycie kopuły usuwano, a wyprodukowany surowiec wybierano i transportowano z miejsc produkcji. Pozostałość, jak można wnioskować w oparciu o archiwalne materiały na temat produkcji czy archiwalną fotografię, stanowiła warstwa popiołu z licznymi, drobnymi fragmentami węgla drzewnego. Zatem uchwytnie relikty to szczątkowo zachowane w wyniku procesów podpepozycyjnych dookołne zagłębienia oraz węgle drzewne. W celu przybliżenia samego procesu wytwarzania węgla drzewnego, a zarazem konstrukcji omawianych obiektów, stanowiących podstawę do identyfikacji dokonanych odkryć, warto zaprezentować krótką ich charakterystykę, odwołując się m.in. do literatury przedmiotu oraz źródeł historycznych.



Ryc. 5.2. Ilustracja „Palenie Węglów” (na końcu książki Duhamel du Monceau, 1769, *Sposob Robienia Węglów czyli Sztuka Węglarska* – źródło: <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty4/0488/>)

Jednym ze źródeł na temat produkcji węgla drzewnego jest wydana w 1769 roku praca Duhamela de Monceau (w anonimowym tłumaczeniu na język polski) „Sposob Robienia Węglow czyli Sztuka Węglarska / w Języku Francuskim przez Pana Duhamel Du Monceau Napisana; Tłumaczenia Niemieckiego notami pomnożona, a teraz dla przysłużenia się Narodowi, staraniem i kosztem I. W. Imc. Pana Jacka Małachowskiego [...] na Oyczysty ięzyk przełożona, i do druku Podana”.³¹ Stanowi ona źródło wiedzy w zakresie produkcji węgla drzewnego, a tym samym podstawę do zrozumienia procesu technologicznego. Inną pozycją na temat mielerzy jest dzieło z lat 1781-82 autorstwa ks. Krzysztofa Kluka, w którym autor podejmuje tematykę paliwa w hutnictwie XVIII w., co w następujący sposób przedstawia Jerzy Piaskowski:

„Główne zastosowanie jako paliwo w hutnictwie XVIII w. posiadał nadal węgiel drzewny. Według Kluka najlepsze miały być węgle uzyskane z drewna dębowego, bukowego i sosnowego, dobrze wysuszonego (przez cały rok), przy czym w mielerzach „kładzione do wypalania drzewo lepsze daie węgle, iak stawiane” (II, s. 301).

K. Kluk pomija opis kurzenia węgla stwierdzając, że jest on ogólnie znany (...). Zaznacza jedynie, że mielerze powinny być ustawiane na terenie suchym i osłoniętym od wiatru. Węgiel powinien być równomiernie i dostatecznie wypalony, ponadto dobry węgiel miał być „lekki, gładki, w ogniu nie dymiący” (II, s. 301).

K. Kluk zaleca kurzenie węgla z torfu. Wprawdzie „każda sztuka” torfu „upalona na węgiel niknie do czwartej części” (I, s. 233), jednak uzyskane węgle równają się najlepszym Węglom z drewna bukowego i mogą być używane nie tylko przez kowali, lecz także do wytapiania metali, a zwłaszcza miedzi.”³²

Informacji w zakresie konstrukcji mielerzy dostarczają źródła pisane, m.in. prace historyków XIX-wiecznych, w tym Hieronima Łabęckiego, który tak pisał o procesie wypału:

„Drzewo bite w *sążnie* (toises, Klafter), następnie ułożone w *stosy* lub *milerze* (tas et meules, Haufen und Meiler) na wyrównanej podstawie czyli *kotlinie* (sol aplani, faulde, Meilerstaette) i pokryte *splawiną* (branchage, Zweige), oraz *piaskiem z miałem* (fraisil, Gestübe), albo *darniną* (gazon, Rasen) co zowią *oponą* (enveloppr, couverture, Deckung), *zwęglane* bywa (carbonisé,

³¹ Duhamel du Monceau, 1769, *Sposob Robienia Węglow czyli Sztuka Węglarska / w Języku Francuskim przez Pana Duhamel Du Monceau Napisana; Tłumaczenia Niemieckiego notami pomnożona, a teraz dla przysłużenia się Narodowi, staraniem i kosztem I. W. Imc. Pana Jacka Małachowskiego [...] na Oyczysty ięzyk przełożona, i do druku Podana* – <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty4/0488/>

³² Piaskowski J., 1959, s. 278.

verkohlt) i w stanie *węgla* (charbon, Kohle) użyte w hutach. W *milerzach* ustawia się drzewo już to *prostopadle* już *poziomo* (meules droites et couchées, stehende und ligende Meiler). (...) Najlepsza pora do bicia sążni zaczyna się i w jesieni, a zwęglanie milerzy zaczyna się w lecie.

Robotnicy bijący sążnie zowią się *sążniarze* (bucherons, Klasterschlaeger), zwęglający zaś *węglarzami* (charbonniers, Koehler).

Węgla kamienne albo w stanie naturalnym, albo też zwęglone, czyli tak zwany *koks* (coak, coke), brane do hut bywają. Zwęglanie to, czyli *koksowanie* (carbonisation de la houille ou cokage, koxen) dzieje się albo w *stosach* (tas, haufen) albo w *milerzach* (meules, Meiler) okrągłych (...), piramidalnych, przedłużonych (...) i t. p. ustawionych na wyrównanej kotlinie i obłożonych miałem węgla kamiennego, czyli *gistą* (menue houille, Loesche); często zamiast ciągów zostawianych w układaniu węgla kamiennych, stoi w środku milerza kominek z cegły lub blachy z dziurami z boku. Po kilku dniach gorenia gasi się wodą. Koksuje się też w *piecach spiekowych* (fours de cokage, Backhofen).³³

Inny autor, Józef H. Osiński, w pracy „Opisanie polskich żelaza fabryk” z 1782 roku, tak opisuje kurzaczy i ich pracę:

„Byk, stos drzewa różnie grubego i drugiego, w trzy kondygnacye na storc ustawionego obrazowanego; Byk jest w prawdzie popodobny do mielerza, różni się jednak od niego 1. że Kurzacze układają mielerz z siągów w miarę rąbanych, łupanych i suchych, byk zaś składają z kłoców nie łupanych, które siągami przekładają ; 2. Kurzacze składają mielerz z wyznaczonej liczby siągów, i ustanowioną miarę węgla z niego oddają, byk zaś, według woli, układają mniejszy albo większy, przeto nie można im przepisać, aby z niego tyle w szczególności węgla oddawali. (...) ”

„Czeluście, dziury które zostawiają między darnią , albo razami, któremi mielerz okrywają, aby wiatr wewnątrz wchodził i ogień podżegał”.³⁴

„Kurz węgli, zowią węgle drobnuchne, albo proch na który węgle są starte.

Kurzacz, Mayster węgle palący; ten ieżeli iest biegły w swej sztuce, z mielerza mającego w sobie siągów 36. wydaie węgla kosztów 19; w niektórych Fabrykach wyciągają po nim, aby wyrażoną węgla miarę wydawał, i podług wydatku płacę bierze, to iest : gdy mniej węgla wyda, proporcjonalnie odtrącaią mu od miary, gdy więcej wyda dopłacaią mu; w innych

³³ Łabęcki H., 1841, *Górnictwo w Polsce. Opis kopalnictwa i hutnictwa polskiego, pod względem technicznym, historyczno statystycznym i prawnym*. Drukarnia J. Kaczanowskiego, Warszawa, t. 1, s. 1-538; t. 2, 1-551 (s. 54) – <http://hina.temat.org.pl/f=DE;hid=A8174;r=5;p=02050004.1> lub http://www.historia-gornictwa.pwr.wroc.pl/wp-content/uploads/35Wojcik-Hieronim_Labecki.pdf

³⁴ Osiński J. H., 1782, *Opisanie polskich żelaza fabryk*, s. 72.

fabrykach takowego regularnemu niezachowuią. *Kurzowanie*, opsypowanie mielerza piaskiem drobnym, albo z kurzem węgla zmieszanym”.³⁵

„Mielerz, Stos z drzewa naksztalt stogu porządnie ułożony, z takowego drzewa węgle kurzą; Mielerz układaia albo z siedmiu dziesiąt dwóch, albo z trzydziestu sześciu siągów. Jeżeli siągi są suche i miary dobrej, kurzacz (iako się powiedziało) z trzydziestu sześciu siągów, wydawać powinien 19. koszów węgla; Siągi z rachowane oddaia kurzaczowi, ten więc doglądać powinien, aby zwożący ie, na bok drzewa nie zrzucał, lecz na miejsce, na którym mielerz ma zakładać, zwoził.”³⁶

„Raz, sztuka ziemi mchem lub trawą obrosley, którą kurzacz mielerz powierzu obkłada, aby ogień nie palił się płomieniem, lecz aby powoli drzewo przenikał i w węgiel odmieniał. *Razowanie*, Mielerza darni obkładanie.”³⁷

Zamykając przekrojowe zestawienie wybranych informacji na temat produkcji węgla drzewnego i mielerzy, podkreślmy raz jeszcze znaczenie tego źródła energii dla rozwijającego się przemysłu, dla którego jak pisze Jerzy Piaskowski „(p)odstawowym paliwem i reduktorem był w hutnictwie XVIII wieku nadal węgiel drzewny”.³⁸

5.2.3. Mielerze i ALS

Zasadnicza prospekcja dla poniższego rozdziału dotyczy obszaru zaleśnionego, obrazując kolejny przykład możliwości stosowania danych ALS w rozpoznawaniu dziedzictwa kulturowego, którego odkrycie zostało już zasygnalizowane wcześniej. Tereny leśne, podobnie jak większość tego typu obszarów w Polsce, stanowią przestrzeń słabo lub w nikłym stopniu rozpoznane, co też zmienia technologia skanowania laserowego, w oparciu o którą dokonano wskazania ponad 1000 potencjalnych mielerzy – obiektów zabytkowych, związanych z obszarem funkcjonowania Staropolskiego Okręgu Przemysłowego. Rozpoznanie tak licznych obiektów dokonano (jedynie) w oparciu o podstawowe analizy i wizualizacje geoinformacyjne, bazujące na NMT oraz cieniowaniu zboczy, weryfikując i uzupełniając detekcję zastosowaniem narzędzi wtórnego przetwarzania geodanych, w tym m.in. filtrów morfologicznych.³⁹ Takie podejście umożliwiło

³⁵ Osiński J. H., 1782, s. 73.

³⁶ Osiński J. H., 1782, s. 79.

³⁷ Osiński J. H., 1782, s. 82.

³⁸ Piaskowski J., 1959, s. 300.

³⁹ Kolejne etapy prac uwzględniają zastosowanie automatyzacji w procesie detekcji obiektów na bazie danych ALS, a także włączenie innych danych, co może wpłynąć zmianę ilości rozpoznanych zabytków.

określenie charakterystycznego kształtu, mikrorzeźby, średnicy oraz cech dodatkowych (dookolne zagłębienia), co podkreśla znaczenie i potencjał ALS w badaniach dziedzictwa kulturowego. Na uwagę zasługują przede wszystkim szczątkowo zachowane pozostałości obiektów, a zwłaszcza wysokość i głębokość rowów dookolnych, mające rozpiętość od ok. 15 do ok. 40 cm. Omawiane obiekty to skupisko ponad 1000 obiektów zlokalizowanych przede wszystkim na terenie Leśnictwa Seredzice, woj. mazowieckie na następujących obszarach AZP: 79-67, 79-68, 80-67, 80-68 – obszar otoczony miejscowościami: SEREDZICE / Seredzice-Zawodzie / Krzewa / Trębowiec / Trębowiec Duży / Tychów Nowy / Krzewa / Jasieniec Ilżecki / Nowa Białka. Badany obszar wchodzi w zakres Przedgórze Ilżeckiego, częściowo obejmując dolinę Ilżanki (część W całego kompleksu leśnego – okolice miejscowości Krzewy i Seredzice-Zawodzie). Obszar leśny to przede wszystkim las iglasty, w nieznacznym stopniu mieszany. Dominujący gatunek to sosna zwyczajna / pospolita (*Pinus sylvestris* L.).

Rozpoznanie obiektów poprzedziła kwerenda archiwalna, która nakierowała na identyfikację oraz interpretację rozpoznawanych obiektów nieruchomych, wskazując jedynie ogólnie miejsce występowania w przeszłości mielerzy⁴⁰. Badania nieinwazyjne z zastosowaniem ALS przeprowadzono w Europie, uzyskując pozytywne wyniki rozpoznania dziedzictwa przemysłowego, stosując przede wszystkim rozpoznanie na bazie podstawowych narzędzi geoinformatycznych – analiza obrazowa NMT w wyniku zastosowania funkcji cieniowania zboczy⁴¹, a także filtrów morfologicznych⁴².

Obiekty częściowo zweryfikowano poprzez badania powierzchniowe, które potwierdziły znikomą widoczność i bardzo słabą rozpoznawalność tego typu struktur na obszarach leśnych. Zasadniczy problem w identyfikacji obiektów (mielerzy) w terenie stanowiła znikoma widoczność na terenie występowania – brak wyraźnej ekspozycji szczątkowo zachowanej własnej rzeźby terenowej, jak również pokrycie terenu (obektów) roślinnością i ściółką leśną, co utrudniało identyfikację miejsc produkcji węgla drzewnego,

⁴⁰ Uzupełniająca część ilustracyjna – patrz ANEKS. Zapłata R., kwiecień 2013, *Sprawozdanie cząstkowe z badań nieinwazyjnych przeprowadzonych w III/IV kwartale 2012 r. oraz I kwartale 2013 r. na terenie Leśnictwa Seredzice oraz Polany (część S). Projekt naukowy pt. „Zastosowanie skanowania laserowego oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Opracowanie nieinwazyjnych, cyfrowych metod dokumentacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego”*, Warszawa [archiwum UKSW / WUOZ Radom].

⁴¹ Ludemann T., 2011, *Scanning the historical and scientific significance of charcoal production – local scale, high resolution kiln site anthracology at the landscape level*, SAGVNTVM EXTRA 11: 23–24 – <http://ojs.uv.es/index.php/saguntumextra/article/view/1546/920>; Ludemann, T., 2013.

⁴² Hesse R., 2010c, *Charcoal burning platforms in the southern Black Forest: from LIDAR point cloud to spatial patterns of resource use* [poster] – http://www.academia.edu/3306260/Charcoal_burning_platforms_in_the_southern_Black_Forest_from_LIDAR_point_cloud_to_spatial_patterns_of_resource_use



Ryc. 5.3. Pozostałości zabytkowych mielerzy w ok. Seredzic, na ternach zalesionych. Zagłębienia dookolne –widoczne w terenie w okresie topnienia śniegu (fot. R. Zapłata)

od strony charakterystycznych, ciemnych przebarwień. Większość obiektów w terenie jest identyfikowana na podstawie dokładnej lokalizacji różnic wysokościowych, w zestawieniu z kontekstem obiektu. Natomiast w odniesieniu do obszarów zrębów leśnych odnotowano dodatkową cechę umożliwiającą identyfikację obiektu, a także określenie jego funkcji, mianowicie występowanie na powierzchni terenu fragmentów węgli drzewnych oraz odznaczającej się warstwy ciemnobrunatnej spalenizny, o regularnym, owalnym kształcie.

Tego typu obserwacja jest w zasadzie niemożliwa na obszarach zalesionych, z uwagi na występowanie ściółki leśnej oraz niskiej roślinności. Średnica rozpoznawanych obiektów wynosi ok. 10-12 m. Tak rozpoznane obiekty nieruchome, w zestawieniu z charakterystyką miejsc produkcji węgla drzewnego, w oparciu o literaturę przedmiotu i analizy źródeł pisanych, należy interpretować jako mielerze, które wiążą się (co zostało już podkreślone) z powszechnie występującą formą produkcji surowca energetycznego na terenach Polski oraz Europy, zwłaszcza w okresie rozwoju i intensyfikacji przemysłu hutniczego.

Rozpoznane obiekty chronologicznie powiązano z funkcjonującym Staropolskim Okręgiem Przemysłowym – w przybliżeniu na okres XVI-XIX w., nie wykluczając możliwości funkcjonowania wypału węgla



Ryc. 5.4. Seredzice – fragment pozostałości milerza. Widoczna warstwa spalenizny z fragmentami drobnych węgli drzewnych zalegających na powierzchni terenu – obszar poddany orce pod nasadzenia (fot. R. Zapłata)

drzewnego w okresie średniowiecza (późnego średniowiecza), w XX w. czy też w okresach wcześniejszych. W ramach badań i identyfikacji obiektów dokonano weryfikacji powierzchniowej obiektów należących do rozpoznanego kompleksu, jak również miejscowo weryfikacji na bazie obrazów satelitarnych, co sygnalizowano w poprzednim podrozdziale. Terenowe rozpoznanie umożliwiło m.in. określenie stanu zachowania obiektów, wraz z określeniem ogólnych wniosków na temat rozwoju skupisk roślinnych (roślinność niska – krzewista) na miejscach produkcji węgla drzewnego, wynikających najprawdopodobniej z odmiennych (i sprzyjających) warunków glebowych dla poszczególnych gatunków. Prospekcja terenowa, z uwagi na wyjątkową sytuację, w licznych przypadkach (orka pod nasadzenia) umożliwiła dokumentację i rozpoznanie zasadniczej warstwy zabytkowej obiektów, którą stanowi warstwa spalenizny, wymieszanej z ciemnobrunatną próchnicą, z fragmentami rozdrobnionych węgla drzewnych.

Rozpoznanie tego typu obiektów stanowi potwierdzenie efektywności stosowanej metody w detekcji tej formy dziedzictwa przemysłowego, co potwierdza literatura przedmiotu⁴³. Zwłaszcza skala rozpoznania, ilość

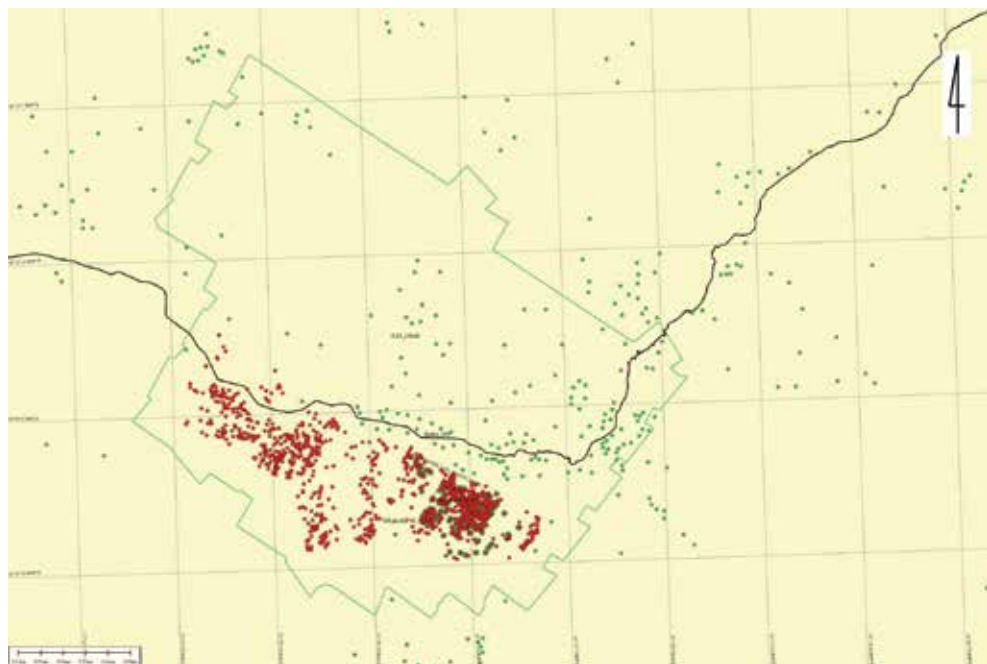
⁴³ Hesse R., 2010c; Ludemann T., 2011; Ludemann, T., 2013; Rösler, H., Bönisch, E., Schopper, F., Raab, T., Raab, A., 2012.

obiektów oraz szczerunkowo zachowana rzeźba, która w znikomym stopniu obserwowana jest w terenie, świadczą o zaletach ALS w zgłębianiu i dokumentowaniu zasobów kulturowych (postindustrialnych) na terenach zalesionych.

Uwzględniając przywołane wcześniej funkcje poszerzające możliwości analityczne zasobu cyfrowego, powstałego na bazie ALS, dokonano odkrycia kolejnych obiektów (mielerzy), weryfikując jednocześnie wcześniejsze obserwacje. I tak „*Sky-View Factor*” umożliwił weryfikację rozpoznanych obiektów, detekcję nowych, a zarazem poprawę czytelności kształtu obiektów, tym samym stwarzając podstawy do dokładniejszej dokumentacji i inwentaryzacji zasobów dziedzictwa kulturowego.

Laplacian filter czy PCA to kolejne narzędzia geoinformatyczne, które uczyniły obiekty, a także umożliwiły detekcję słabiej zachowanych form, zwiększając dokładność dokumentacji zachowanych konstrukcji oraz ilość rozpoznanych obiektów.

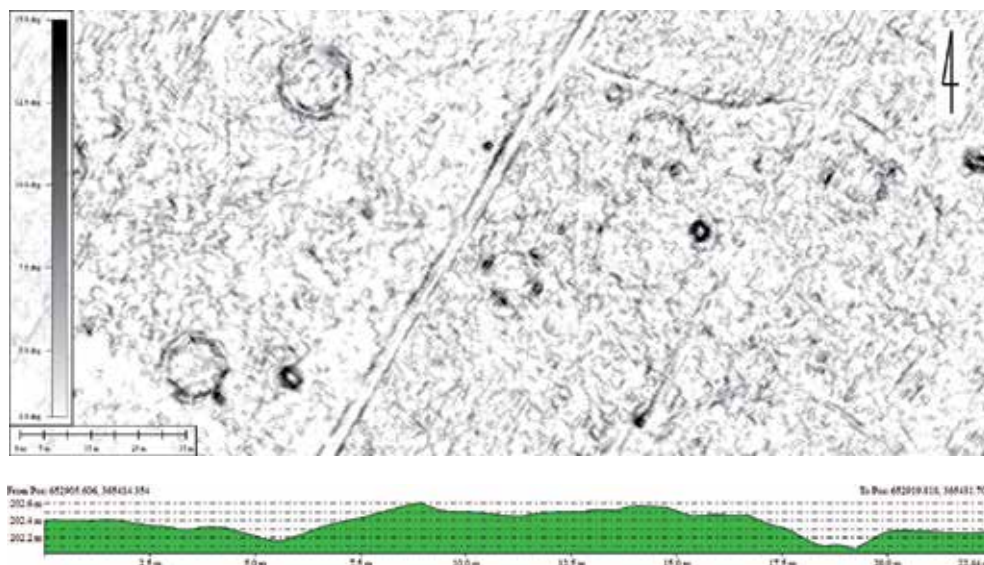
Detekcję obiektów oparto na wspomnianej funkcji wielokierunkowego cieniowania zboczy NMT, która umożliwiła pełniejsze rozpoznanie zasobu. Analizę przeprowadzono dla zróżnicowanych parametrów przetwarzania



Ryc. 5.5. Seredzice. Lokalizacja ponad 1000 mielerzy (czerwony) na tle obszaru skanowania (zielona linia) oraz na tle dotychczas znanych stanowisk archeologicznych (kolor zielony) (oprac. R. Zapłata)



Ryc. 5.6. Seredzice. Zdjęcie pozostałości mielerza. Widoczne nieznaczne wypiętrzenie części centralnej obiektu, z dookólnymi zagłębieniami oznaczonymi tyczkami geodezyjnymi (fot. R. Zapłata)

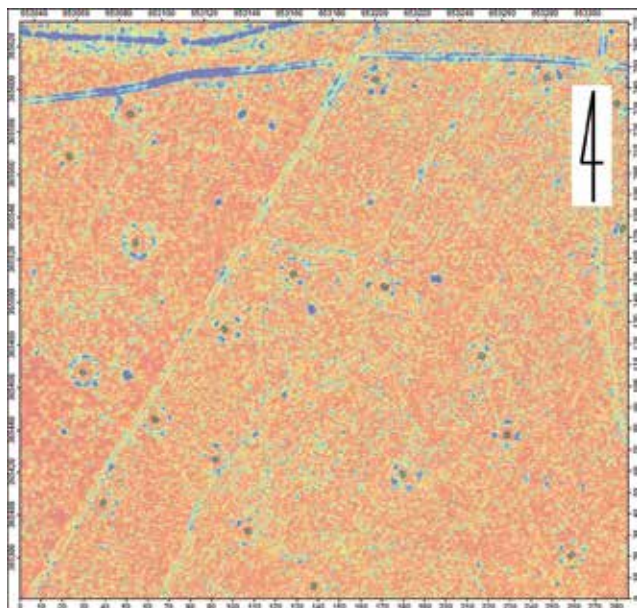


Ryc. 5.7. Seredzice. Wizualizacja Numerycznego Modelu Terenu z funkcją cieniowania zbczy. Widoczne owalne pozostałości zabytkowych mielerzy. Przekrój przez przykładowy obiekt na podstawie pomiarów ALS (oprac. R. Zapłata)

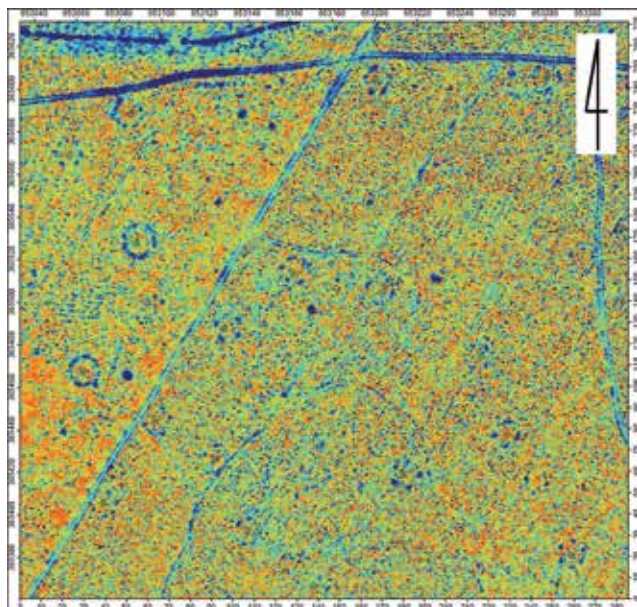
NMT (obrazu), uwzględniając zmienny azymut oraz zróżnicowane, zenitalne promieniowanie słoneczne (np. 30°, 45° czy 60°). W efekcie uzyskano obrazy uwypuklające kształt oraz elementy składające się na obiekty.

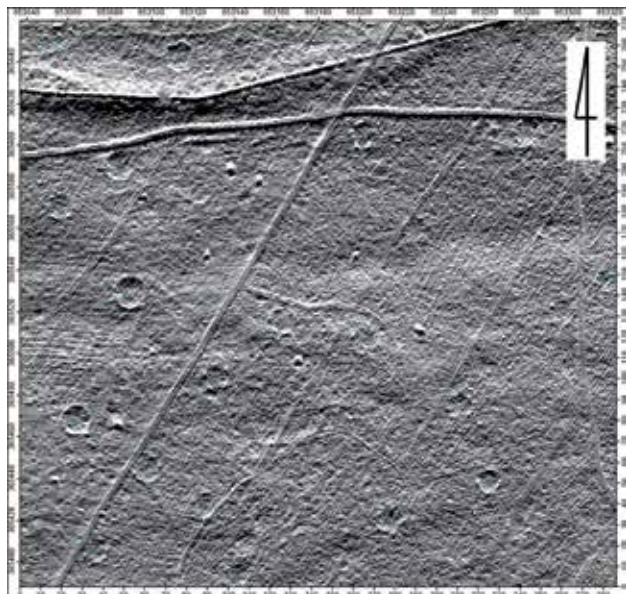
Również parametr intensywności odbicia wiązki lasera (analiza kontrastu na obrazach intensywności) umożliwił potwierdzenie istniejących struk-

Ryc. 5.8. Siedzice.
Wizualizacja fragmentu
obszaru badań zabytkowymi
mielerzami – na podstawie
pomiarów ALS, NMT oraz
przetworzenie danych
w oparciu o *Sky View Factor*
(oprac. R. Zapłata)



Ryc. 5.9. Siedzice.
Wizualizacja fragmentu
obszaru badań zabytkowymi
mielerzami – na podstawie
pomiarów ALS, NMT oraz
przetworzenie danych
w oparciu o *Laplacian Filter*
(oprac. R. Zapłata)





Ryc. 5.10. Seredzice.
Wizualizacja fragmentu
obszaru badań z zabytkowymi
mielerzami – na podstawie
pomiarów ALS, NMT oraz
przetworzenie danych
w oparciu o funkcję
cieniowania zboczy (ang.
hillsheading) (oprac. R. Zapłata)

tur zaobserwowanych na wysokorozdzielczych obrazach satelitarnych⁴⁴, a zarazem dookreślił występowanie obiektów na terenie poddanym intensywnej orce pod nasadzenia – obiektów, które są słabo rejestrowane (czytelne) na bazie pomiaru przestrzennego (NMT).

⁴⁴ Wielospektralny wysokorozdzielczy obraz satelitarny – „scena satelitarna WV2 zarejestrowana została 12 marca 2012 roku. Ogólne informacje i koordynaty powierzchni objętej obrazem:

UPPER LEFT X=650424.189

UPPER LEFT Y=375753.885

LOWER RIGHT X=663820.228

LOWER RIGHT Y=364003.923

WEST LONGITUDE=21° 09' 0.5908" E

NORTH LATITUDE=51° 13' 43.1053" N

EAST LONGITUDE=21° 20' 48.6239" E

SOUTH LATITUDE=51° 07' 9.6566" N

PROJ_DESC=Poland 1992/19 / WGS84 / meters

PROJ_DATUM=WGS84

PROJ_UNITS=metres

Panchromatyczny wysokorozdzielczy obraz satelitarny „scena satelitarna WV2 zarejestrowana została 12 marca 2012 roku. Ogólne informacje i koordynaty powierzchni objętej obrazem:

UPPER LEFT X=650424.189

UPPER LEFT Y=375753.885

LOWER RIGHT X=663820.228

LOWER RIGHT Y=364003.923

WEST LONGITUDE=21° 09' 0.5908" E

NORTH LATITUDE=51° 13' 43.1053" N

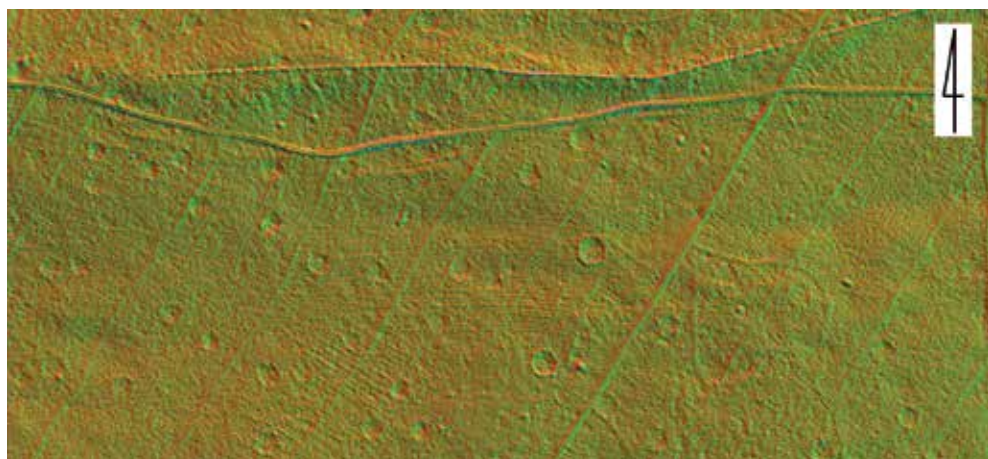
EAST LONGITUDE=21° 20' 48.6239" E

SOUTH LATITUDE=51° 07' 9.6566" N

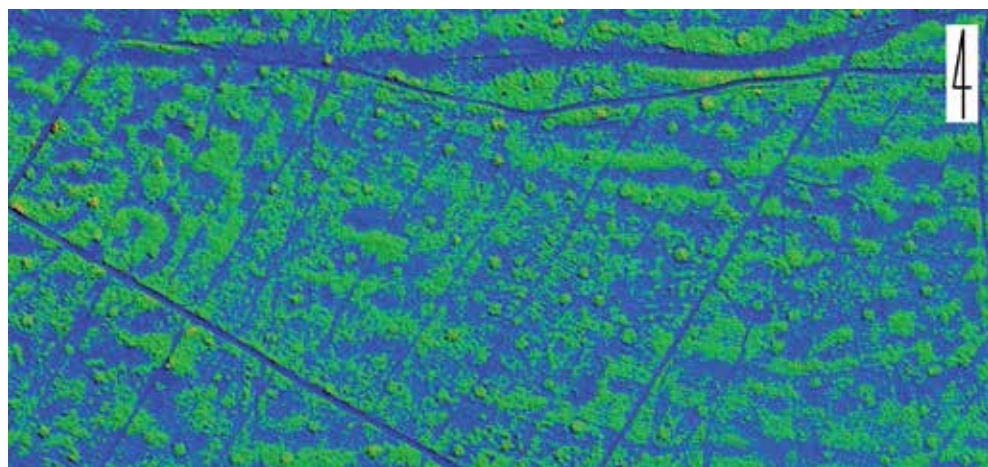
PROJ_DESC=Poland 1992/19 / WGS84 / meters

PROJ_DATUM=WGS84

PROJ_UNITS=metres

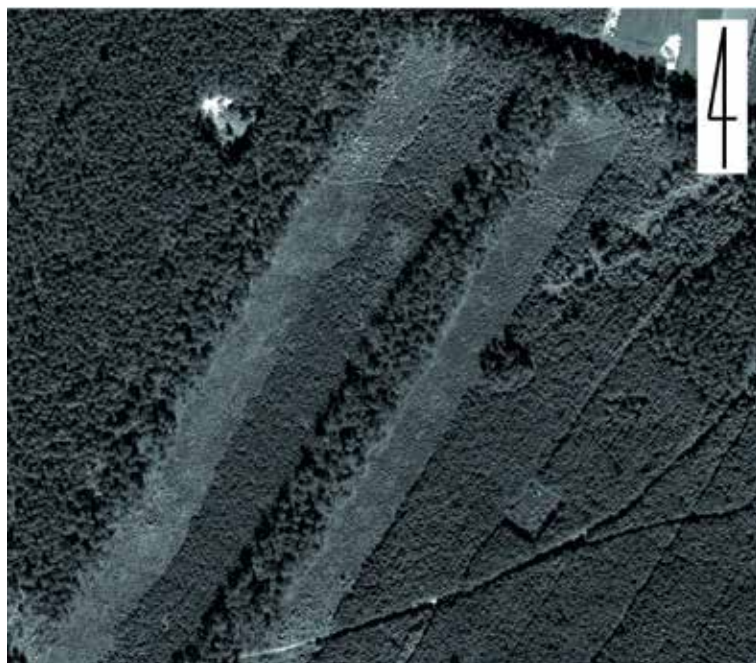


Ryc. 5.11. Seredzice. Wizualizacja fragmentu obszaru badań zabytkowymi mielerzami – na podstawie pomiarów ALS, NMT oraz przetworzenie danych w oparciu o *Local relief Model*.
(oprac. R. Zapłata)



Ryc. 5.12. Seredzice. Wizualizacja fragmentu obszaru badań zabytkowymi mielerzami – na podstawie pomiarów ALS, NMT oraz przetworzenie danych w oparciu o PCA (Za Zapłata, Borowski 2013)

Teren poddany analizie porównawczej, to obszar zrębu leśnego (Leśnictwo Seredzice), który stworzył wyjątkową sytuację, pozwalającą na rejestrację omawianego parametru, a zarazem testowanie metody. Fragment obszaru zalesionego od kilku lat stanowi obszar odsłonięty w wyniku wycinki i nasadzeń, co umożliwia przeprowadzenie badań



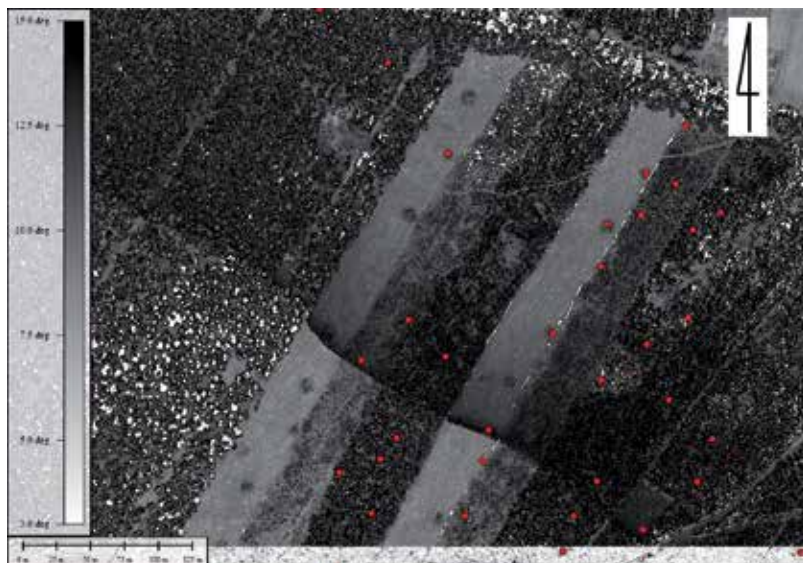
Ryc. 5.13.
Seredzice. Obraz satelitarny fragmentu terenu leśnego poddanego pomiarom ALS – fragment panchromatycznego, wysokorozdzielczego obrazu satelitarnego (WorldView2) z 2011 r. ilustrującego typową sytuację braku ekspozycyjności obiektów zabytkowych (porównaj ryc. 5.15) (źródło: SmallGIS/UKSW)



Ryc. 5.14.
Seredzice. Wizualizacja Numerycznego Modelu Terenu z funkcją cieniowania zboczy wygenerowana na podstawie danych ALS – widoczne owalne pozostałości zabytkowych milerzy (oprac. R. Zapłata)

powierzchniowych oraz rejestrację i analizę terenu w oparciu o zdjęcia lotnicze, a także obrazy satelitarne.

Widoczne owalne, ciemne powierzchnie na obrazach satelitarnych, będące pozostałościami milerzy, w odniesieniu do pomiaru ALS są rozpoznawalne w dwojakiej formie: (1) na podstawie modelu wysokościowego, a także na podstawie (2) zróżnicowania intensywności odbicia wiązki lasera – kontrastu.



Ryc. 5.15. Siedzice. Wybrany fragment obszaru skanowanego – nasadzenia – kontrast intensywności odbicia wiązki lasera dla rejestrowanej powierzchni, w tym zabytkowych mielerzy (ciemne, owalne obiekty). Dla obiektu zaznaczonego kolorem czerwonym brak kontrastu (znikomy), dla koloru białego (wyraźny kontrast / odnotowano natomiast znikomą formę przestrzenną 3D obiektu) (oprac. R. Zapłata)



Ryc. 5.16. Siedzice. Pozostałości mielerzy na ternach zalesionych – obszar wycinki leśnej po orce / nasadzenia (fot. R. Zapłata)⁴⁵

⁴⁵ Dokumentacja fotograficzna, satelitarna oraz ALS zostały wykonane w trzech różnych okresach.

Sygnalizowana w literaturze przedmiotu kompleksowa dokumentacja zabytków przemysłu i techniki, która obejmuje m.in. urządzenia i technologie, za pośrednictwem ALS ma szansę realizacji w sposób szerokokopłaszczynowy i nieinwazyjny, w odniesieniu do takich elementów procesu przemysłowego, jak obiekty związane z produkcją węgla drzewnego czy miejsca eksploatacji surowców naturalnych, które pozostają poza rozpoznaniem lub inwentaryzacją, np. na terenach leśnych⁴⁶. Istotnym aspektem zastosowania ALS w badaniu omawianego dziedzictwa przemysłowego, odnoszącym się do referowanych wcześniej celów digitalizacji, jest ochrona zasobu i jego zachowanie w formie dokumentacji cyfrowej. Skonstatujmy zatem, że stosowanie ALS w badaniu dziedzictwa kulturowego – przemysłowego, również jako część procesu digitalizacji, w doskonały sposób wpisuje się w potrzeby i oczekiwania, jakie określa Rekomendacja nr 20 (90) Rady Europy, która zaleciła:

- „podjąć działania pozwalające rozpoznawać, dokumentować i analizować w sposób naukowy to dziedzictwo;
- objąć je ochroną prawną i konserwacją stosownie do jego specyficznego charakteru;
- upowszechniać wiedzę o tym dziedzictwie i pobudzać zainteresowanie ze szczególnym naciskiem na turystykę;
- zbadać możliwości skoncentrowania wysiłków na zachowaniu i utrzymaniu pewnych wyjątkowych zespołów przemysłowych, stanowiących element wspólnego dziedzictwa historycznego Europy jako całości”⁴⁷.

5.3. Dziedzictwo architektoniczne i elementy krajobrazu – przykłady zastosowania ALS i geoinformacji

W poniższym podrozdziale zaprezentujemy przykładowe wyniki oraz możliwości zastosowania danych ALS przy analizach zabytkowej zabudowy, zwłaszcza ruiny zamku w Iłży, a także obszarze miejskim.

W ramach prac badawczych w okolicach Iłży i Seredzie uwzględniono (omówiony wcześniej) parametr intensywności odbicia wiązki lasera, celem weryfikacji jego przydatności w badaniach dziedzictwa kulturowego

⁴⁶ Maj Z., 2012, *Ochrona dziedzictwa przemysłowego w Polsce*, (w:) *Archeologia przemysłowa w Polsce*, Januszewski S. (red.), Wrocław, s. 41-56.

⁴⁷ Za Affelt W. J., 2008, *Dziedzictwo techniki w kontekście rozwoju zrównoważonego*, (w:) *Współczesne problemy teorii konserwatorskiej w Polsce*, Szmyglin B. (red.), Warszawa – Lublin, s. 7-16 (8).

omawianego regionu, jak również w związku z opracowywaniem metodyki badawczej skanowania lotniczego. Rejestracja danych ALS w ramach projektu została wykonana dla trzech zasadniczych terenów: (1) zalesionych, (2) rolniczych (pola uprawne, jak również obszary niezagospodarowane) oraz (3) zabudowanych, w tym obszar miasta Ilża, wraz ze wzgórzem zamkowym. Całość rozpoznania w oparciu o intensywność odbicia wiązki lasera potraktowano jako (1) element komplementarny w detekcji zasobów regionu obok zasadniczego ALS i weryfikacji powierzchniowej, wraz z wizją lokalną dla obiektu architektury murowanej, jak również jako (2) element uzupełniający ogólną klasyfikację powierzchni terenu. Analizy dokonano na niekalibrowanych obrazach intensywności.

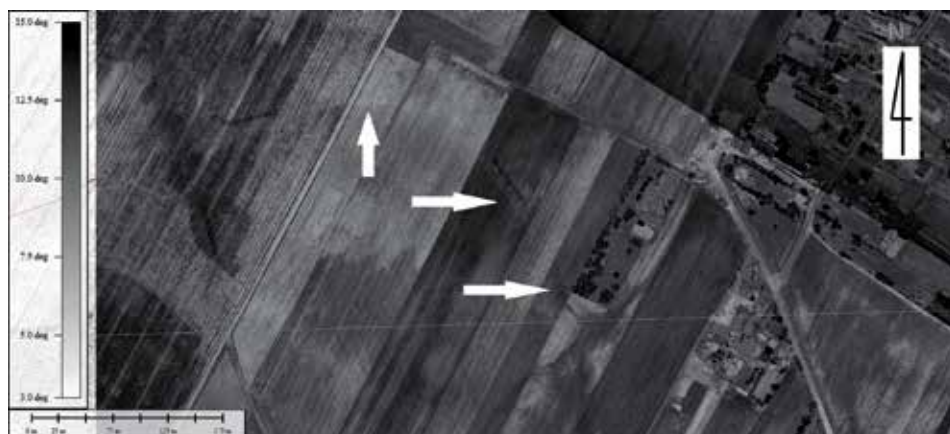
Efektom rejestracji intensywności jest m.in. powstały i zwizualizowany kontrast, który umożliwia klasyfikację zróżnicowania powierzchniowego, a zarazem identyfikację obiektów zabytkowych. Poprzez dowiązanie pomiarów do archiwalnych materiałów kartograficznych, pozytywnie zweryfikowano rozpoznane zasoby. Weryfikację użyteczności omawianego parametru w badaniach dziedzictwa kulturowego przeprowadzono poprzez zestawienie wyników z: (1) obserwacjami terenowymi; (2) rezultatami i interpretacjami zdjęć lotniczych; (3) wynikami i analizami pomiarów ALS; (4) kartograficznymi materiałami archiwalnymi; (5) wysokorozdzielczymi zobrazowaniami satelitarnymi. Analizę i interpretację rejestracji intensywności odbicia powracającej wiązki lasera oparto na zjawisku zróżnicowanego odbijania promieniowania światła od różnorodnych powierzchni (substancji), charakteryzujących się m.in.: stopniem złożoności składu oraz budowy, stanem ożywionym (roślinność) lub nieożywionym (skała). Pozytywną weryfikację zastosowania parametru intensywności odbicia wiązki lasera w ramach przeprowadzonych badań wskazują wyniki pomiarów i analiz, literatura przedmiotu⁴⁸ oraz poniższe, przekrojowe zestawienie przykładów obiektów rozpoznawanych w oparciu o współczynnik odbicia, w tym zabytkowej i całkowicie zniszczonej zabudowy oraz elementów układów ruralistycznych.

Pierwszy przykład odnieśmy do potencjału danych ALS w rozpoznawaniu i dokumentowaniu pozostałości sieci **historycznej komunikacji oraz zabudowy**, a więc obiektów, które zostały rozpoznane w okolicach Ilży, w miejscowości Pakosław. Na podstawie rejestracji i analizy intensywności odbicia wiązki lasera rozpoznano fragmenty dróg oraz nieistniejącej już zabudowy. Wyniki analiz skorelowano z materiałem archiwalnym oraz zweryfikowano

⁴⁸ Carey Ch. J., Challis K., Kincey M., Howard A., 2008, *Analysis of the effectiveness of airborne lidar intensity for predicting organic preservation potential of waterlogged deposits*, Birmingham – http://ads.ahds.ac.uk/catalogue/adsdata/arch-827-1/dissemination/pdf/PN4782_Stage1_Report_complete_text.pdf

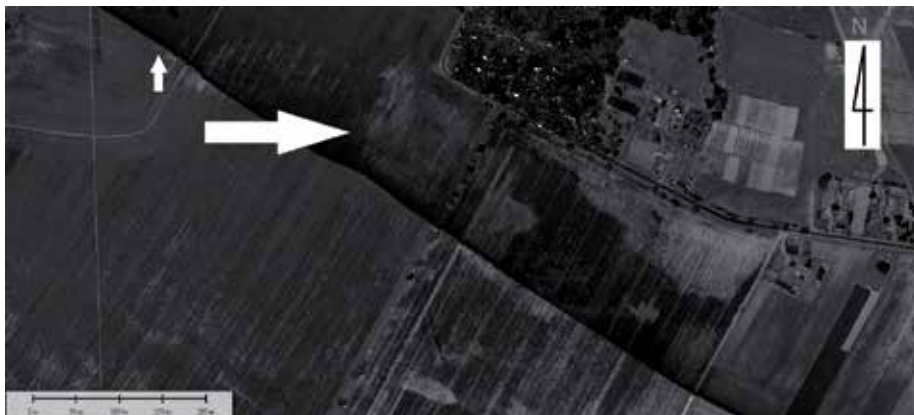
w terenie. Przykład kontrastu współczynnika odbicia pozostałości szlaków komunikacyjnych (dróg śródpolnych). Różnica wartości współczynnika odbicia pomiędzy obiektami zabytkowymi a otoczeniem to ok. 20 jednostek. Weryfikacji dokonano w oparciu o zdjęcia lotnicze / obrazy satelitarne (weryfikacja negatywna), prospekcję powierzchniową (weryfikacja negatywna) oraz archiwalne materiały kartograficzne (weryfikacja pozytywna). Detekcja pozostałości w/w obiektów potwierdza tym samym możliwości wskazywania potencjalnych obiektów zabytkowych na podstawie wyróżników wegetacyjnych czy glebowych, co też miało miejsce w odniesieniu do rozpoznanych obiektów. Wyraźny kontrast, a także różnice w wartości dla poszczególnych powierzchni w dość jednoznaczny sposób wskazują na anomalie. Rozpoznanie potwierdza również zastosowanie innych danych, w tym wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych.⁴⁹

Innym przykładem detekcji obiektów zabytkowych, na bazie intensywności odbicia wiązki lasera jest detekcja i inwentaryzacja m.in. **zabudowy mieszkalno-gospodarczej** z XIX/XX w., obecnie całkowicie zniwelowanej, zlokalizowanej na polach uprawnych. Weryfikacja na podstawie archiwalnych materiałów kartograficznych zdjęć lotniczych, obrazów satelitarnych oraz prospekcji powierzchniowej.

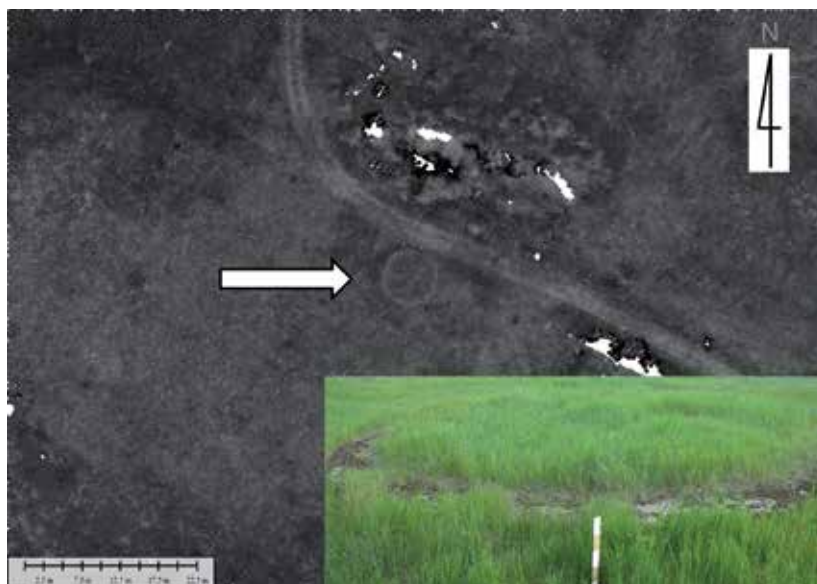


Ryc. 5.17. Wizualizacja szlaków komunikacyjnych – obraz wygenerowany na podstawie pomiaru ALS i rejestracji intensywności odbicia powracającej wiązki lasera – ok. Pakosławia, woj. mazowieckie. Wartość intensywności odbicia wiązki lasera dla środkowego punktu (przybliżona średnia wartość) – pozostałości drogi 67 / kontekst (otoczenie) 55 (pomiar MGGP Aero / oprac. R. Zapłata)

⁴⁹ Osińska-Skotak K., 2013, *Analiza przydatności metod przetwarzania obrazów satelitarnych w celu uwypuklenia informacji o obiektach dziedzictwa kulturowego*, Warszawa, [maszynopis i wersja elektroniczna w archiwum UKSW].



Ryc. 5.18. Wizualizacja fragmentu obszaru (teren rolniczy) z widocznymi pozostałościami zabudowy gospodarczej (odcień jaśniejszy) o kształcie czworobocznym (oznaczono dużą strzałką). Wartość intensywności odbicia wiązki lasera: dla powierzchni czworobocznej (obszar jaśniejszy) ok. 60-80/ kontekst (otoczenie) ok. 20/30. Małą strzałką oznaczono różnice związane z sąsiadującymi pasami pomiarów dwóch szeregów nalołów, które zostały zeskanowane przy innych parametrach pomiaru. Wizualizacja jest również przykładem pokrywania się dwóch szeregów nalołu ALS (ciemna linia poprzeczna - krawędź jednego z szeregów) (pomiar MGGP Aero / oprac. R. Zapłata)

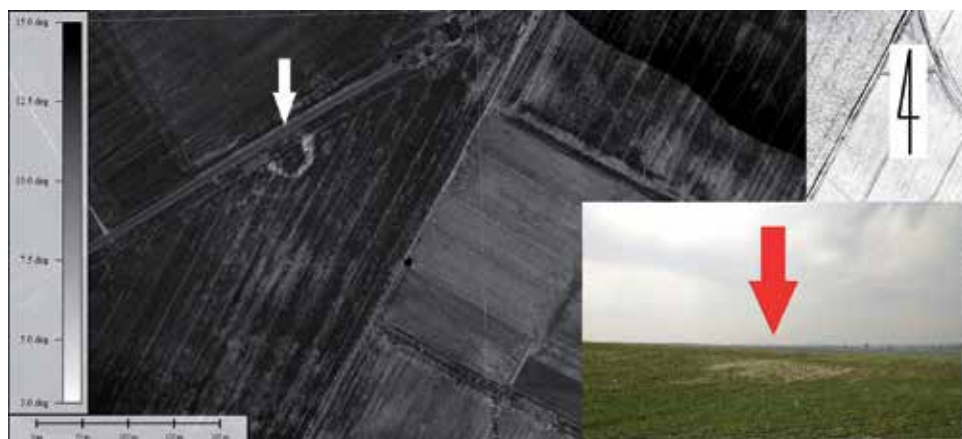


Ryc. 5.19. Wizualizacja XX-wiecznej, nieużytkowanej konstrukcji murowanej - obraz wygenerowany na podstawie pomiaru ALS i rejestracji intensywności odbicia powracającej wiązki lasera (wartości przedstawione za pośrednictwem zróżnicowania odcieni szarości) - odcień ciemniejszy odpowiada niskiej wartości intensywności odbicia wiązki lasera (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)

Kolejnym przykładem rozpoznawania i analizy obiektów antropogenicznych jest wskazanie, na podstawie współczynnika intensywności, różnego rodzaju konstrukcji i obiektów, zachowanych w szczątkowej i rozdrobnionej formie. Sytuację ilustruje przykład (gruz budowlany lub pozostałości obiektów murowanych) kontrastu współczynnika odbicia pozostałości obiektów murowanych (porzucona, z zachowanymi elementami przyziemia lub zniszczona konstrukcja), widocznych na zdjęciach lotniczych oraz w obrazach satelitarnych, a także dostrzegalnych na bazie prospekcji powierzchniowej. Wartość współczynnika odbicia dla relikwów obiektów murowanych wynosi około 90 jednostek – dla tła wartość wynosi około 70 jednostek. Weryfikacji dokonano na podstawie badań powierzchniowych, zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych.

Innym przykładem możliwości analizy przestrzennych obszarów jest rozpoznawanie lub potwierdzenie występowania struktur i obiektów naturalnych. Przede wszystkim formy geologiczne, jak również nieistniejące koryta rzek, są rozpoznawane na podstawie czwartego wymiaru. Jest to przykład (naturalne formy geologiczne) kontrastu współczynnika odbicia dla naturalnych form geologicznych, wykazujący zróżnicowanie pomiędzy powierzchniami rzędu 100 jednostek. Weryfikacji dokonano na podstawie badań powierzchniowych, zdjęć lotniczych, obrazów satelitarnych oraz map geologicznych.

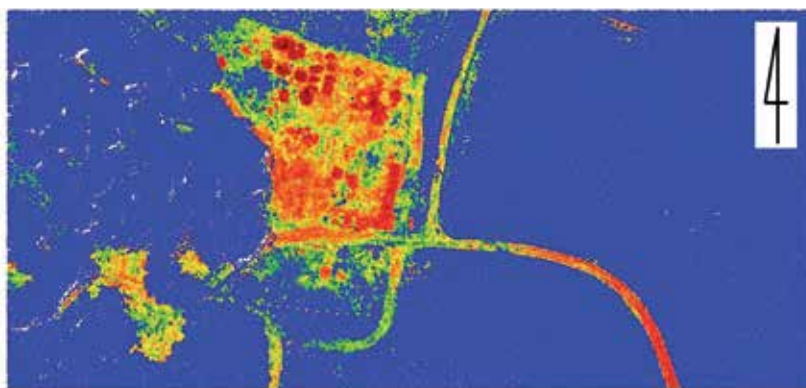
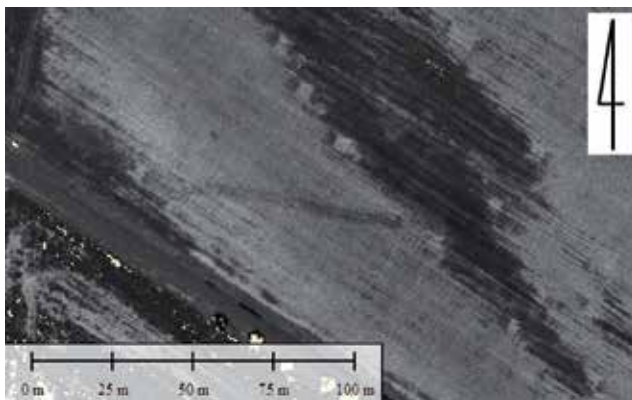
Analizę intensywności odbicia wiązki lasera zastosowano przede wszystkim do badania dziedzictwa kulturowego, celem detekcji różnic



Ryc. 5.20. Wizualizacja fragmentu terenu z zagęszczeniem rozdrobnionego wapienia.

Wartość intensywności odbicia wiązki lasera dla poszczególnych miejsc (przybliżona średnia wartość) – po lewej (jasny odcień) 140 / po prawej (ciemny odcień) 40. Skupisko związane najprawdopodobniej z działalnością człowieka (pomiar MGGP Aero / oprac. R. Zapłata)

Ryc. 5.21. Wizualizacja naturalnych form geologicznych – obraz wygenerowany na podstawie pomiaru ALS i rejestracji intensywności odbicia powracającej wiązki lasera (wartości przedstawione za pośrednictwem zróżnicowania odcieni szarości) – odcień ciemniejszy odpowiada niskiej wartości intensywności odbicia wiązki lasera (pomiar MGGP Aero / oprac. R. Zapłata)



Ryc. 5.22. Wizualizacja intensywności odbicia wiązki lasera dla terenu w okolicy wzgórza zamkowego w Iłży – widoczne przebarwienia odpowiadające zróżnicowanym wartościom pomiaru. Wynik zmian czasowych i nietrwałych zmian na powierzchni terenu (pomiar MGGP Aero / oprac. R. Zapłata)



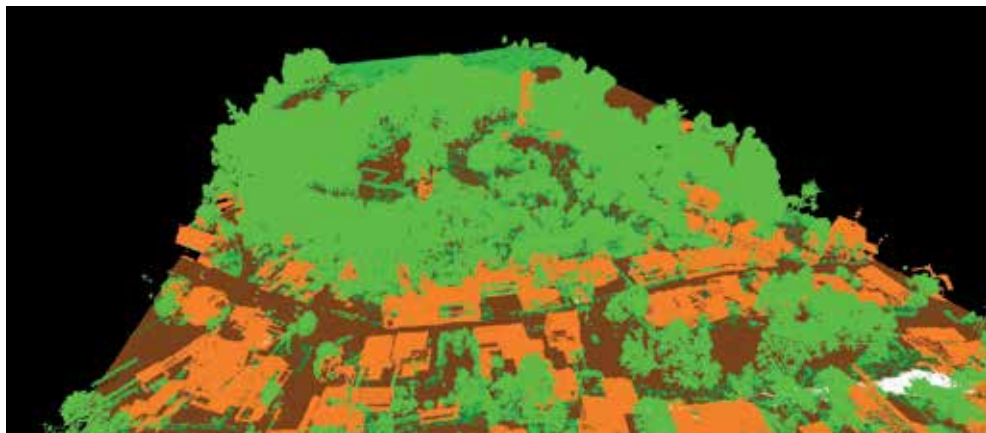
Ryc. 5.23. Wizualizacja fragmentu z gęsto występującym na powierzchni terenu rozdrobnionym wapieniem. Wartość intensywności odbicia wiązki lasera dla poszczególnych miejsc (przybliżona średnia wartość) – (jasny odcień) 140 / po prawej (ciemny odcień) 40 (pomiar MGGP Aero / oprac. R. Zapłata)

napowierzchniowych oraz ich identyfikacji. Przykładem takiej analizy jest detekcja obiektów murowanych – ruin zamku w Iłży, wraz z zalegającym na powierzchni (stan. 6) – na stokach wzgórza zamkowego, gruzem pochodzącym z rozbiórki i destrukcji zabytkowej architektury (gęste skupiska). Tym samym włączono do badań dziedzictwa kulturowego analizę intensywności, celem wykazania jej potencjału i wskazania rozpoznawania występowania oraz rozrzutu fragmentarycznie zachowanej substancji zabytkowej. Przywołany przykład potwierdził możliwość detekcji odsłoniętych obiektów zabytkowych, znajdujących się na terenie zadrzewionym, jak również możliwość przybliżonego rozpoznania zalegającego na powierzchni terenu gruzu. Średnie, uogólnione wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla trzech różnych powierzchni, w tym zabytkowego muru zamku w Iłży (jednostki niemianowane): roślinność wysoka około 15; mur z wapienia około 115; teren odsłonięty – roślinność niska, trawiasta około 80.

Sięgając po dane wysokościowe ALS w analizie obszarów miejskich i okolic, z uwzględnieniem historycznej zabudowy i zabytkowej architektury, mamy możliwość modelowania i symulowania pewnych zjawisk z przeszłości, jak również określonych skutków planowanych inwestycji (np. wprowadzenie wysokiej zabudowy i jej wpływ na czytelność zabytkowej architektury). Za przykład może posłużyć analiza – modelowanie korytarzy widokowych dla miasta Iłża, z ich ukierunkowaniem na wzgórze oraz ruiny zamku. Stosowanie narzędzi geoinformatycznych jest dobrym rozwiązaniem w sytuacjach zabudowy obszarów miejskich, co z powodzeniem



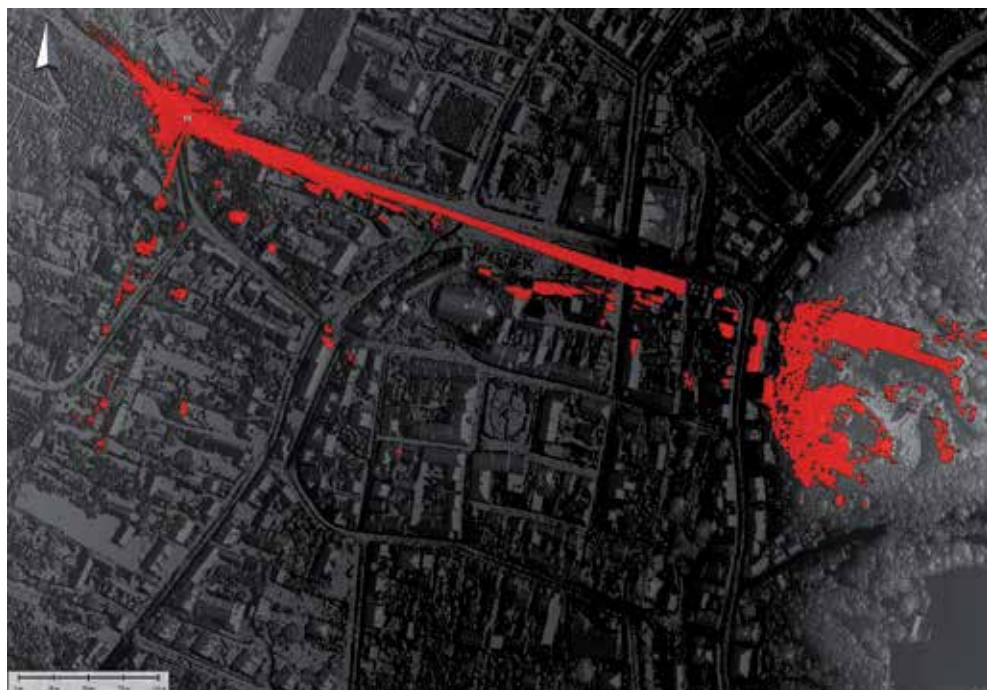
Ryc. 5.24. Wzgórze i ruina zamku w Iłży. Kontrast intensywności odbicia powracającej wiązki lasera dla fragmentu zabytkowego założenia murowanego – mur kurtynowy zamku w Iłży na tle roślinności wysokiej (lewa strona) oraz obszaru odsłoniętego – roślinność niska / trawiasta (prawa strona) (pomiar MGGP Aero / oprac. R. Zapłata)



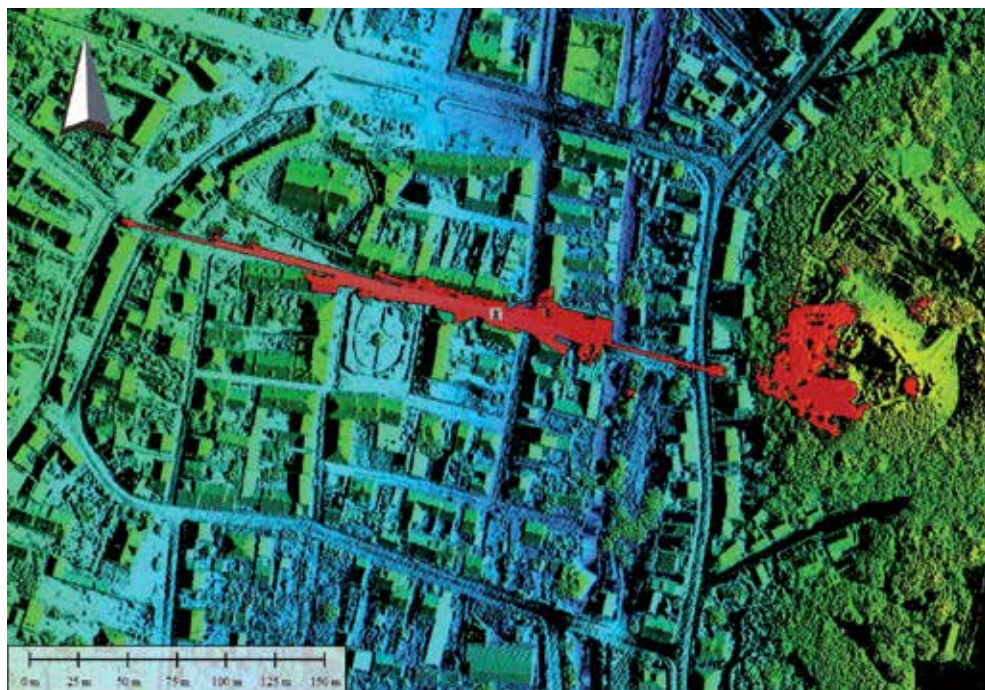
Ryc. 5.25. Wizualizacja chmury punktów dla wzgórza zamkowego oraz fragmentu miasta. Przykład całościowego pomiaru obszaru, wraz z inwentaryzacją zabudowy na bazie ALS (pomiar MGGP Aero / oprac. R. Zapłata)

pozwała na podjęcie działań mających na celu ochronę widoków i charakterystycznych panoram miast. Analiza korytarzy widokowych może być niezwykle cenna w procesach projektowania i zabudowy miasta, a zarazem ochrony i podtrzymywania walorów widokowych w kontekście rozwoju turystyki. Rezultatem tego typu symulacji i analiz może być waloryzacja miejsc – przestrzeni miejskich, które winny być wyłączone z zabudowy, m.in. z uwagi na zachowanie wyjątkowych wartości widokowych względem dominanty architektonicznej, jaką jest ruina zamku w Iłży.

Tereny zabudowane, w tym obszary miejskie, charakteryzuje również obecność założeń zieleni, których inwentaryzacja i monitorowanie oparte jest na tradycyjnych metodach oraz teledetekcji, w tym na lotniczym skanowaniu laserowym. Kolejnym zatem przykładem wykorzystywania danych ALS w odniesieniu do inwentaryzacji elementów przestrzeni jest dokumentacja historycznych **założeń zieleni**. Chmura punktów poddana przetworzeniom i segmentacji, umożliwia bezdotykowe rozpoznanie i dokumentację pojedynczych obiektów, co ilustruje przykład dla parku w Pakoślawiu w okolicach Iłży. Zatem ALS z powodzeniem sprawdza się również w analizie i dokumentacji krajobrazu kulturowego, gdzie dokonywane jest m.in. określanie wybranych cech taksacyjnych drzew – np. ich wysokości. Podobną sytuację odnajdujemy w odniesieniu do zadrzewienia wzgórza zamkowego w Iłży, co stanowi podstawę do monitorowania i określania przyrostu biomasy w przyszłości, a zarazem ocenę stopnia rozwoju roślinności samosiewnej, mogącej doprowadzić do dodatkowych zniszczeń substancji zabytkowej. Analizując zebrane dotychczas dane ALS, w zestawieniu z innymi



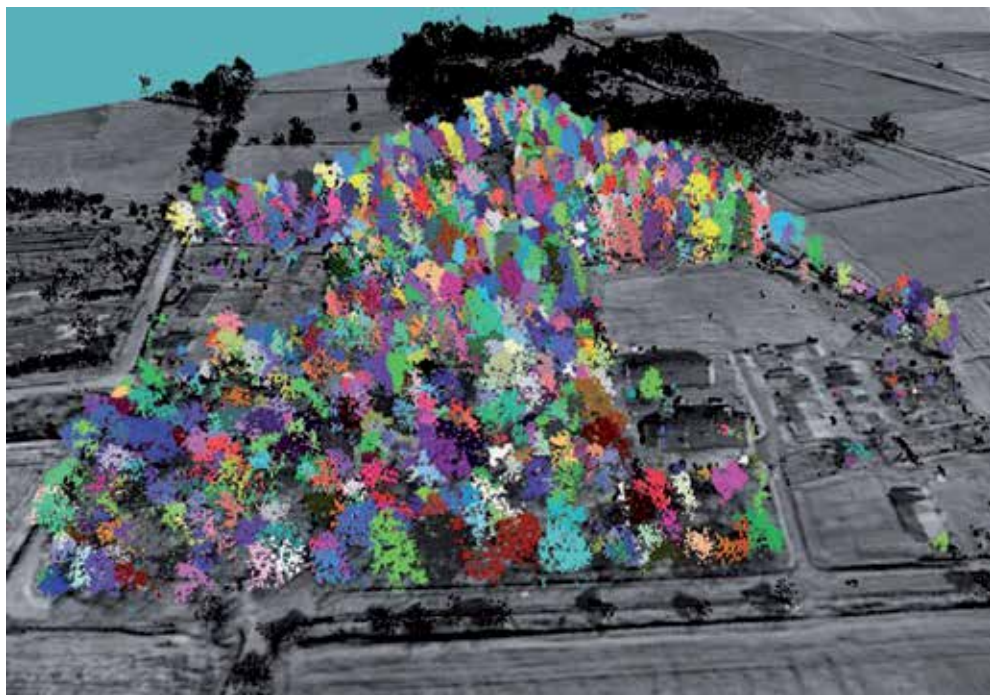
Ryc. 5.26. Wizualizacja korytarza widokowego w mieście Ilża (u góry) oraz zdjęcie z miejsca wykonywania analizy widoczności w kierunku wzgórza zamkowego od strony W (u dołu). Widok ze zbiegu ulic: Doktor Anki i Radomskiej. (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)



Ryc. 5.27. Wizualizacja korytarza widokowego w mieście Ilża (u góry) oraz zdjęcie z miejsca wykonywania analizy widoczności w kierunku zamkowego od strony W (u dołu).
Widok z ul. Mostowej (pomiar MGGP Aero / oprac./ fot. R. Zapłata)



Ryc. 5.28. Pakosław, woj. mazowieckie. Fragment zobrazowania satelitarnego – panchromatycznego z obrysem dawnego parku. (Źródło: SmallGIS. Oprac. R. Zapłata) © DigitalGlobe/ European Space Imaging. Dystrybutor SmallGIS



Ryc. 5.29. Pakosław, woj. mazowieckie. Wizualizacja klasyfikacji drzewostanu dawnego parku na podstawie danych ALS na tle zobrazowania satelitarnego (panchromatycznego). (Źródło danych: MGGP Aero / SmallGIS / oprac. MGGP Aero) © DigitalGlobe/ European Space Imaging. Dystrybutor SmallGIS (tło ryciny)

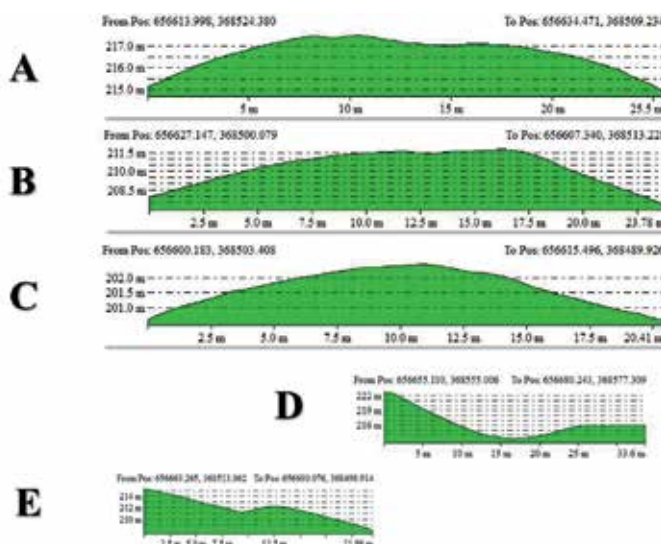
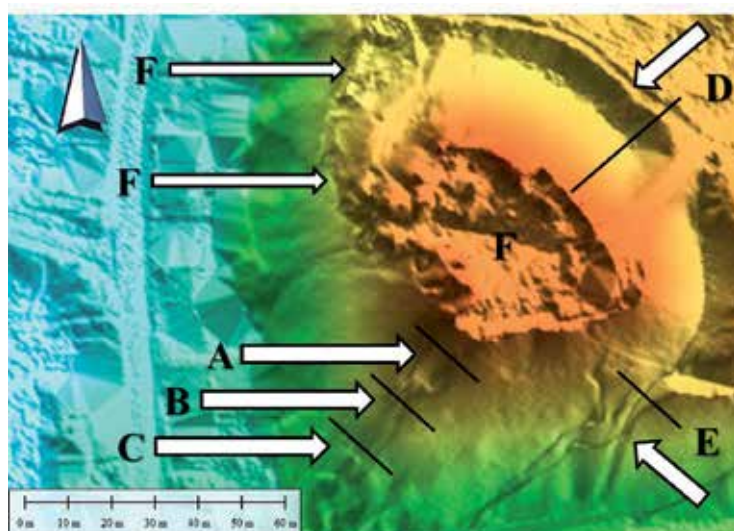
danymi teledetekcyjnymi, również archiwalnymi, obserwujemy w odniesieniu do wzgórza zamkowego stopniowy wzrost wegetacyjny, zwłaszcza stoku południowego wzniesienia.

Innym przykładem zastosowania danych wysokościowych ALS jest monitorowanie i analiza procesów stokowych, jakie zachodzą przy założeniach zabytkowych. Dokładny pomiar przestrzenny, a zarazem przetworzenia danych pozwalają na określenie najbardziej narażonych na procesy osuwiskowe miejsc przy wzgórzu zamkowym w Ilży, co ilustruje rycina 5.30. Uwagę zwracają m.in. miejsca o kilkudziesięciostopniowym nachyleniu, w których postępują procesy osuwiskowe. Tego typu analizy pozwalają monitorować przesunięcia luźno zalegających fragmentów konstrukcji na powierzchni zbocza. Realne jest również określanie masy gruzu, jaka ulega przemieszczeniu w wyznaczonych odstępach czasowych, co stanowi podstawę do prognozowania procesów np. miejsc deponowania się na stokach w przyszłości. Na bazie wykonanych pomiarów ALS m.in. wygenerowano i wskazano dla wzgórza zamkowego w Ilży miejsca o największym nachyleniu, stanowiące potencjalne obszary zagrożenia dla stoku oraz obiektu, a także pobliskiej zabudowy, co też ilustruje rycina 5.30 (zwłaszcza część W i S wzniesienia). Rezultaty tego typu pomiarów, na przykładzie reliktów założenia w Ilży, stanowią podstawę do określania miejsc newralgicznych, narażonych na rozwój procesów osuwiskowych. Dokładny model wysokościowy stanowi zatem podstawę dla analiz w badaniach konserwatorskich i prac zabezpieczających, nie tylko nakierowanych na pozostałości konstrukcji murowanej, ale również na bezpośrednie otoczenie obiektu.

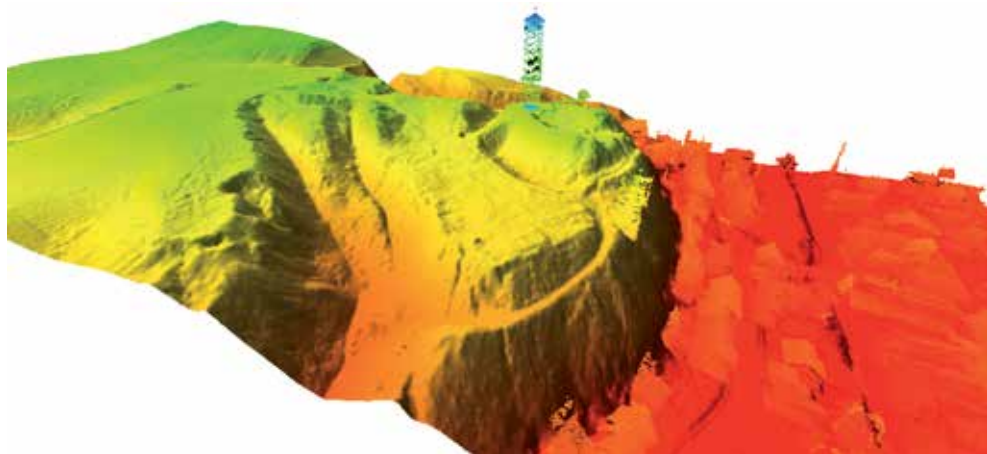
Ryc. 5.30. Mapa nachylenia terenu – wzgórza zamkowego w Ilży, wygenerowana na bazie pomiarów ALS oraz funkcji *slope*. Skala szarości – odcienie jaśniejsze wyrażają największe nachylenie terenu, a zarazem miejsca newralgiczne dla założenia (pomiar MGGP Aero / oprac. / fot. R. Zapłata)



Tego typu dane są również podstawą w wizualizacji wzniesienia, które zyskuje przybliżoną postać do tej, jaka istniała w okresie funkcjonowania obiektu. Obecnie teren w znacznym stopniu jest zadrzewiony, co utrudnia rozpoznawanie poszczególnych jego elementów. Sytuację zmienia model 3D, ukazujący rzeźbę wzniesienia, wraz z poszczególnymi jej detalami. Model 3D dla wzgórza zamkowego w Ilży okazał się również przydatny w lokalizacji i weryfikacji prawdopodobnego przebiegu muru, łączącego zamek górny z miastem. Liniowe wypiętrzenie, na linii NE-SW, które należy wiązać ze szczątkowo zachowanymi pozostałościami murowanej konstrukcji,



Ryc. 5.31. Ilża, wzgórze zamkowe. Wizualizacja modelu wysokościowego, cieniowanego z zaznaczonym wypiętrzeniem zbocza (A-C), najprawdopodobniej związanego z niezachowanym murem łączącym zamek z miastem (po lewej) oraz przekroje (po prawej): dla w/w wypiętrzenia A-C, fosy D i nierówności terenu E (pomiar MGGP Aero / oprac./ fot. R. Zapłata)



Ryc. 5.32. Wizualizacja Numerycznego Modelu Terenu wzgórza zamkowego oraz szkieletowy model przestrzenny ruin wieży zamku w Ilży, wygenerowane na podstawie pomiarów ALS (pomiar MGGP Aero / oprac./ fot. R. Zapłata)

pozwala wstępnie określić przebieg muru. Podobna sytuacja rysuje się na W zboczu stoku, gdzie rejestrujemy wypiętrzenia, będące prawdopodobnie pozostałościami niezachowanych murów biegnących od strony W.

Innym przykładem wykorzystania danych wysokościowych oraz modeli cyfrowych, jest analizowanie obiektu jak i otoczenia z zastosowaniem analizy widoczności. Dane ALS to również podstawa do analiz przestrzennych w skali regionalnej (mikro-regionalnej) na bazie systemów geoinformacyjnych, umożliwiających symulację niematerialnych zjawisk i relacji, jakie towarzyszyły człowiekowi w przeszłości. Tego typu podejścia do zabytkowych fortyfikacji obserwujemy w literaturze przedmiotu, która podkreśla sposób i przyczyny lokowania zamków w przeszłości.⁵⁰ Przykładem takiej analizy jest np. zastosowanie tzw. analizy widoczności (ang. *viewshed analysis*), która w oparciu o generowany model powierzchni terenu (wraz z elementami rekonstrukcji elementów minionego krajobrazu kulturowego), umożliwia śledzenie relacji i kształtowania przestrzeni człowieka, jaka powstawała w oparciu o istniejące obiekty, szlaki komunikacyjne wokół np. zamku w Ilży. Zamieszczona rycina ukazuje relacje wzrokowe z otoczeniem, jakie mogły potencjalnie charakteryzować obiekt w przeszłości. Jak się okazuje, mimo swych walorów widokowych, wieża zamkowa najprawdopodobniej nie umożliwiała obserwację całego terenu wokół wzniesienia. Wsparcie się na *viewshed analysis*

⁵⁰ McManama-Kearin L. K., 2013, *The Use of GIS in Determining the Role of visibility in the Siting of Early Anglo-Norman Stone Castles in Ireland*, Oxford.

pozwala, więc zwrócić uwagę na sposób funkcjonowania i istnienia poszczególnych *miejsc*, ich rodzącego się znaczenia w trakcie m.in. *przemieszczania się*, w trakcie bycia i działania w określonych *miejscach*, którego nie sposób zaobserwować z perspektywy dwuwymiarowej mapy. Symulacja pozwala wpisać w badania dziedzictwa architektonicznego analizę obiektu wraz z otoczeniem „z perspektywy” potencjalnego podmiotu działającego, w celu „rozumienia” zachodzących relacji przestrzennych. Podstawą do przeprowadzenia omawianej analizy jest cyfrowy model terenu/rzeźby terenu oraz wybrane *miejsca*, dla których określa się „obszary widoczności” – *field-of-view (viewshed)*⁵¹ – np. ciągi komunikacyjne wokół zamku, czy miejsca strategiczne dla określania obronności i bezpieczeństwa obiektu. Proces wyznaczania w/w obszarów w zasięgu wzroku, przywołując opis Jacka Urbańskiego przebiega w sposób następujący – „[z] miejsca obserwatora są wysyłane promienie do wszystkich trójkątów sieci TIN [w wypadku modelu rastrowego, do wszystkich rastrów – R. Z.]. Następnie określa się, czy przebieg promienia dla danego trójkąta odbywa się cały czas nad powierzchnią terenu. Jeżeli we wszystkich miejscach promień przebiega nad powierzchnią terenu, dany element będzie widoczny, jeżeli jakkolwiek jego punkt znalazł się pod powierzchnią terenu, element będzie niewidoczny”⁵².

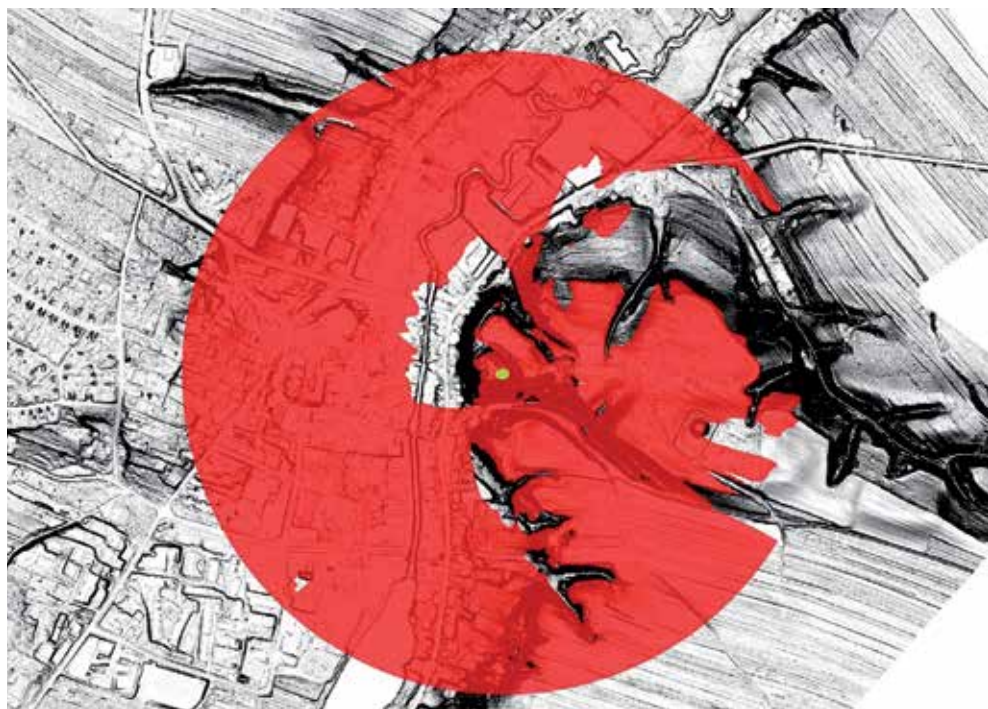
Pomiary ALS są również przydatne przy tworzeniu modeli cyfrowych miast, jak również ocenie zagrożeń powodziowych, co bezpośrednio wiąże się z główną ideą samego projektu ISOK. Na bazie wykonanego pomiaru ALS pozyskano i wygenerowano m.in. model 3D zabudowy miejskiej Ilży, wraz z otoczeniem. Przeprowadzona symulacja wskazuje np. obszar bezpośredniego zagrożenia powodziowego, który obejmuje m.in. część historyczną miasta. Dane ALS to również zasób umożliwiający analizowanie nasłonecznienia terenów miejskich czy powierzchni zabudowy (np. dachów)⁵³, a więc wskazanie obszarów i budynków poddanych np. w ciągu roku intensywniejszemu promieniowaniu.

Od strony dokumentacyjnej dane ALS stanowią podstawę do generowania map i planów, a także przekrojów zabudowy (np. ryc. 5.37). W dalszej perspektywie generowanie wirtualnych modeli miast może być podstawą dla analizy rozwoju wysokiej zabudowy i symulacji (wspomnianych już)

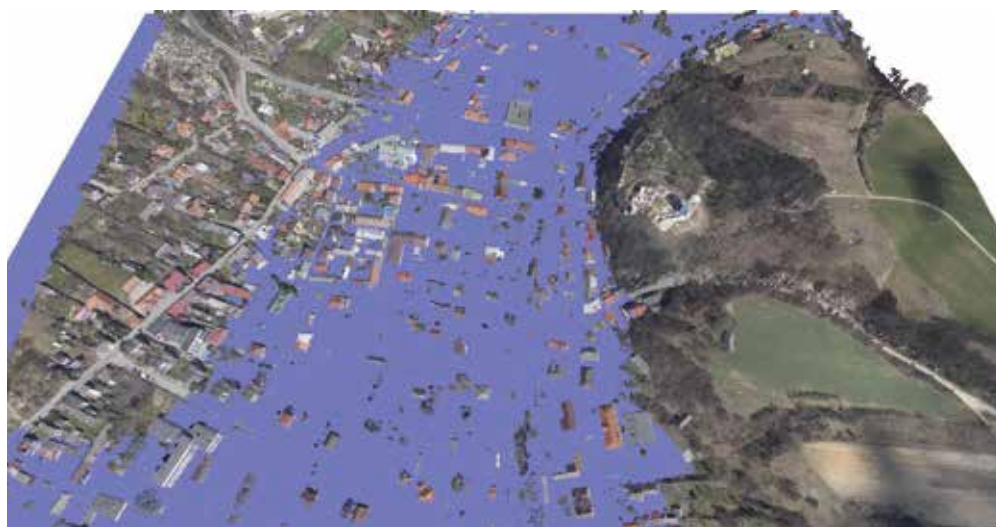
⁵¹ Wheatley D., Gillings M., 2000, *Vision, perception and GIS: developing enriched approaches to the study of archaeological visibility*, (w:) *Beyond the map. Archaeology and spatial technology*, Lock G. (red.), Amsterdam – Berlin – Oxford – Tokyo – Washington, s. 1-27 (4, s. 24).

⁵² Urbański J., 1997, *Zrozumieć GIS – Analiza informacji przestrzennej*, Warszawa, s. 107-8.

⁵³ Kassner R., Koppe W., Schüttenberg T., Bareth G., 2008, *Analysis of the Solar Potential of Roofs by Using Official LiDAR Data*, „Proceedings of the International Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences” (ISPRS Congress – Beijing, China. 3–11 July 2008), vol. XXXVII, s. 399–404.



Ryc. 5.33. Mapa widoczności z wieży zamkowej w Ilży. Analiza *viewshed* i wizualizacja wyników na podstawie pomiarów ALS (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)



Ryc. 5.34. Ilża – miasto. Symulacja zalania obszaru miejskiego na podstawie danych ALS (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)

potencjalnych zakłóceń widokowych – panoram. Taka perspektywa wpisuje się w szereg działań skupionych wokół technologii cyfrowych, ukierunkowanych na rozwój nowych metod analitycznych, w tym metod projektowania sylwet miast, czy zachowywania historycznych panoram.⁵⁴ Zastosowanie ALS to również podstawa dla uzupełniającej klasyfikacji pokrycia terenu, w szczególności przy uwzględnieniu danych dotyczących intensywności odbicia wiązki lasera.

Dodatkową zaletą generowanych modeli, jak np. wzgórza zamkowego, jest możliwość zaimplementowania takich obiektów cyfrowych do systemów **rzeczywistości rozszerzonej**, co należy traktować jako postulat na przyszłość, z ukierunkowaniem również na analizę potencjalnej zabudowy terenu, a także z uwzględnieniem potencjału promocyjno-marketingowego tego typu zasobu.

5.4. Podsumowanie

Omówiony przykład lotniczych i naziemnych pomiarów laserowych wzgórza oraz ruiny zamku w Iłży, jest najprawdopodobniej jednym z nielicznych podejść w kraju, które charakteryzuje tak obszerne i kompleksowe zastosowanie metod teledetekcji w dokumentacji i analizowaniu stanu zachowania całego założenia. Obok omówionych w pracy danych, analizę obiektu zabytkowego oraz obszaru uzupełniają wymieniane w pracy wieločasowe dane teledetekcyjne – m.in. fotograficzne czy satelitarne. Połączenie w pracach TLS i ALS, wraz z narzędziami geoinformacji oraz technikami fotogrametrii (z uwagi na charakter pracy nie omawiano szczegółowo wszystkich metod), z jednej strony jest propozycją kompleksowego podejścia w ochronie i analizowaniu zabytków architektury, z drugiej strony gwarantuje obecnie najwyższą jakość nieinwazyjnych prac badawczych i inwentaryzacyjnych.

Zestawiając omówione przykłady zastosowania ALS w badaniach dziedzictwa kulturowego, najogólniej należy stwierdzić, że prospekcja oparta na lotniczym, bezdotykowym pomiarze laserowym (ALS) umożliwia detekcję obiektów zabytkowych, a także bezdotkowy pomiar i modelowanie architektury zabytkowej (np. ruin zamku w Iłży). Wykazano, że ALS stanowi obecnie jedyną metodę mogącą w tak dokładny, nieinwazyjny

⁵⁴ Czyńska K., Rubinowicz P., 2005, *Komputerowe metody analizy kompozycji sylwet miejskich*, „Przestrzeń i Forma”, nr 2, s. 204-207; Jaśkiewicz M., Szczepańska E., Barański J. A., Bigaj L., Antosiewicz T., Jędrychowski I., Burnóg J., 2009, *Możliwości lokalizacji obiektów wysokościowych w aspekcie ochrony panoramy miasta Krakowa – analiza*, Kraków – <http://www.bip.krakow.pl/zalaczniki/dokumenty/n/70343>

i rozległy sposób wskazać i zadokumentować pozostałości znikomo zachowanych obiektów, takich jak mielerze na terenach zalesionych, przy wsparciu ze strony narzędzi wtórnego przetwarzania geodanych, w tym prezentowanych filtrów morfologicznych. Niewymagającym obszerniejszego wyjaśnienia, argumentem potwierdzającym wyjątkowość omawianej metody na terenach leśnych, jest fakt, że dotychczas stosowane metody nieinwazyjnej prospekcji nie sprawdzają się w takim zakresie i w takich warunkach. Zastosowanie ALS dla historycznych założeń architektonicznych umożliwiło m.in. szerokopłaszczyznową analizę kontekstu, a także stworzyło podstawy do analiz przestrzennych, w oparciu o wybrane narzędzie geoinformacyjne (np. analiza widoczności, korytarze widokowe).

W odniesieniu do analizowanych i omawianych obiektów zabytkowych – ruin zamku w Ilży wraz z otoczeniem oraz zabytkowych mielerzy, wskazane są dalsze prace i badania z uwzględnieniem potencjału ALS oraz geoinformacji. Co do zabytkowej architektury murowanej postuluje się integrację pożytkanych i przeanalizowanych danych z dostępnym zasobem teledetekcyjnym (wielospektralne, wysokorozdzielcze obrazy satelitarne), co umożliwi dodatkowe rozpoznanie stanu zachowania obiektu wraz z otoczeniem, jego uzupełniającą inwentaryzację (np. o charakterystyki spektralne). Poza tym rozpoznane elementy otoczenia obiektu należy zweryfikować w oparciu o badania geofizyczne, co pozwoli na wypracowanie rozbudowanej metodyki badania dziedzictwa architektonicznego i założeń tego typu, jak zamek w Ilży.

Dane ALS należy również zaliczyć do zasobu, który umożliwia bieżącą analizę i monitoring terenów, pod kątem niekontrolowanej działalności człowieka na terenach badanych. Zasób stanowi tym samym źródło do badań nad zabezpieczeniem obszarów, które są niszczone bezpowrotnie np. samowolą budowlaną⁵⁵, rabunkową eksploatacją, doprowadzającymi do niszczenia nie tylko dziedzictwa kulturowego, ale także i naturalnego. Wskazaniem wydaje się wykonanie w najbliższej przyszłości pomiarów mogących wygenerować dane do dalszych analiz nad procesami zachodzącymi na stokach wzniesienia, a tym samym dokonać bieżącego monitorowania obiektu.

W odniesieniu do kompleksu mielerzy postuluje się przede wszystkim stworzenie i realizację obszernego programu badań nad dziedzictwem przemysłowym w oparciu o ALS i geoinformację, zwłaszcza na terenach zalesionych oraz tych, na których rozwija się współczesna zabudowa, również przy wykorzystaniu danych ISOK. Dotychczasowe rozpoznanie oraz przewidywany (szacowany) rozmiar zjawiska, jakim była w przeszłości produkcja

⁵⁵ Stereńczak K., Ciesielski M., 2012, *Detekcja budynków na terenach o dużej lesistości na przykładzie Parku narodowego Gór Stołowych*, „Rocznik geomatyki”, t. X, z. 5 (55), s. 67-82.

węgla drzewnego, wskazują i uzasadniają m.in. podjęcie działań na rzecz wypracowania metodyki automatyzacji w procesie detekcji obiektów, zwłaszcza z uwagi na ich ilość oraz duży obszar występowania pozostałości mielerzy.⁵⁶ Kolejnym postulatem w zakresie rozpoznania takich obiektów jak mielerze, jest konieczność prowadzenia szerokopłaszczyznowego rozpoznania powierzchniowego terenów leśnych, gdyż jak wskazują liczne przykłady dotychczasowych badań, niektóre obiekty w wyniku silnej (całkowitej) niwelacji rzeźby wysokościowej, nie mogą być rejestrowane za pośrednictwem pomiaru przestrzennego ALS, wówczas jedyną możliwością jest rozpoznanie pozostałości w oparciu o widoczną warstwę spaleniowy, zwłaszcza na terenie poddanym orce. Takie działania włączają się również w procesy planowania przestrzennego, dopisując do zasobu danych informacje o zasobach zabytkowych.

Postulatem zamykającym powyższe rozważania, a odnoszącym się do dziedzictwa kulturowego regionu, w tym zabudowy zabytkowej, jest prowadzenie dalszych działań nad procesami modelowania i symulacji na bazie danych teledetekcyjnych i systemów przestrzennych, celem stworzenia bazy danych o obiektach oraz systemu waloryzacji przestrzeni, z ukierunkowaniem na wykorzystanie wyników tych prac w planowaniu przestrzennym. Tak określony kierunek prac jest już stopniowo realizowany, będąc przykładem przedsięwzięcia, które ma szansę na stworzenie przykładowej platformy skupiającej interdyscyplinarne działania wokół małych miast. Wirtualne modele zabytków z regionu, a także ruiny zamku w Ilży, jak i samego miasta, wpisują się w szereg współczesnych inicjatyw, które tworzą podstawy nowoczesnego studium kompozycyjnego, na rzecz badania i zachowania wartości kulturowych.

Podsumowując warto również zwrócić uwagę na fakt, że w dobie społeczeństwa informacyjnego, modele 3D oraz cyfrowe wizualizacje obiektów, miast i otoczenia mogą stanowić pożyteczny element dla działań oddolnych, wspierający również konsultacje społeczne w procesie planowania przestrzennego.⁵⁷ Zestawiając zagadnienia przywołane na wstępie tego rozdziału oraz przywołane przykłady wyników badań, podkreślimy również, że znaczące wydaje się zastosowanie ALS w analizie obszaru – regionu, ukierunkowane na sporządzanie miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. Zagadnienie to dotyczy ochrony dziedzictwa kulturowego,

⁵⁶ Bakula K., Ostrowski W., Zapłata R., 2013, *Automatyczna detekcja obiektów archeologicznych z danych ALS* – poster zaprezentowany na ogólnopolskim sympozjum geoinformatycznym „Geoinformatyka zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych”, Warszawa 11-13 września 2013 r., [archiwum UKSW].

⁵⁷ Morawiak M., 2012, *Potrzeba włączenia działań oddolnych w proces planowania miasta*, „Kwartalnik Architektury i urbanistyki”, t. LVII, z. 1/2012, s. 63-71.

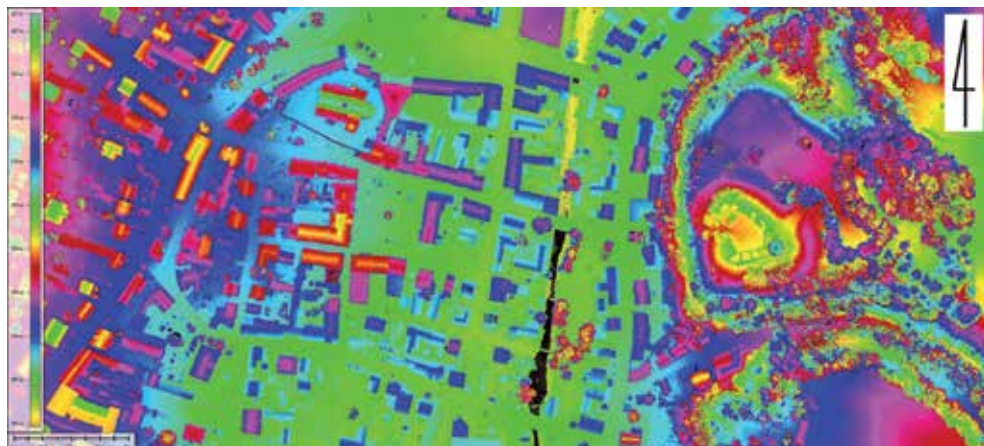
dla którego, jak pisze A. Cieślak „podstawowym problemem wydaje się być zbyt „powierzchniowa” (...) diagnoza stanu istniejącego przygotowywana na etapie „Studium””⁵⁸, a co w oparciu o literaturę przedmiotu oraz wyniki badań może ulec zmianie. Dokładna i nieinwazyjna detekcja wydaje się zatem szansą na poprawę tej sytuacji i wsparcie diagnozy istniejącego stanu zasobów zabytkowych. Zaprezentowany przykład rozpoznania zbioru obiektów związanych minioną działością człowieka, warto potraktować jako przyczynek do dyskusji nad sposobem i zakresem ochrony tych zabytków, w kontekście gospodarki przestrzennej i rozwijającej się zabudowy, która już częściowo pokrywa tereny związane z dawnym przetwórstwem surowców naturalnych. Prawdopodobnie stajemy w obliczu sytuacji, która zmusza do wartościowania zabytków i ich dostrzegania w planowaniu przestrzennym, respektując prawo do powstawania nowych obiektów. Jak pisze K. Zalaszińska „Właściwe planowanie powinno dążyć do zagwarantowania harmonii między tym co stare, a tym co nowe, w myśl zasady zrównoważonego rozwoju. Nie można przy tym tracić z pola widzenia faktu, że nie da się zachować wszystkiego – muszą powstawać nowe obiekty i rozwiązania architektoniczne, odpowiadające potrzebom współczesnego społeczeństwa. W planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym oraz ochronie dziedzictwa kultury chodzi więc o to, żeby zidentyfikować, a następnie zachować to, co najcenniejsze, a resztę zastąpić formami nowymi, przy zachowaniu odpowiedniej równowagi, tak aby nie powstrzymywać naturalnych procesów zachodzących w środowisku kulturowym.”⁵⁹ Taka też perspektywa powinna towarzyszyć analizie i waloryzacji licznie rozpoznawanych zabytków dzięki technologii ALS.

Dzisiejsze zasoby ALS, w tym dane ISOK oraz ich dostępność z powodzeniem i chyba sukcesem budują kolejne narzędzia, które zmieniają świadomość społeczną, a także możliwości analizowania najbliższego otoczenia. Taka sytuacja stwarza szanse na oczekiwaną i nową formę partycypacji społecznej⁶⁰ w działaniach na rzecz zmiany i rozwoju otoczenia czy regionu, które dostrzegają znaczenie i wartość dziedzictwa kulturowego.

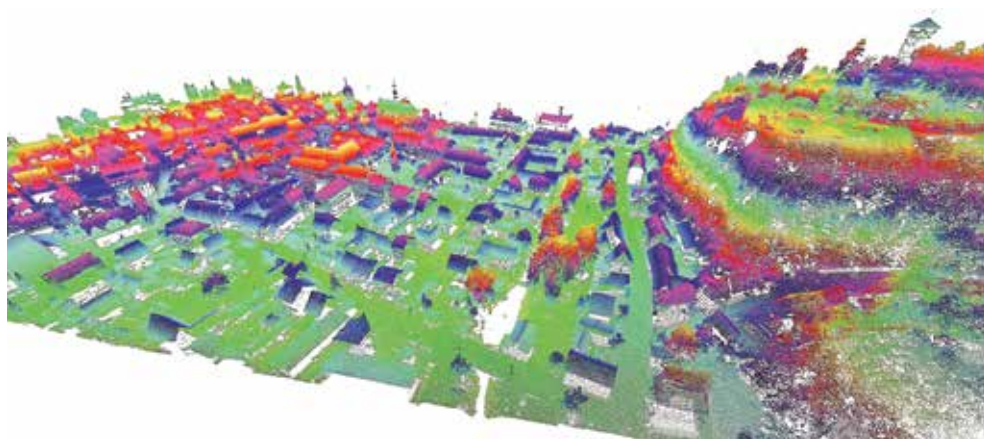
⁵⁸ Cieślak A., 2008, *Problematyka ochrony dziedzictwa kulturowego w planowaniu przestrzennym – możliwości, niedobory, potrzeby i tendencje*, (w:) *Współczesne problemy teorii konserwatorskiej w Polsce*, (red.) B. Szmygin, s. 25-33 (29).

⁵⁹ Zalaszińska K., 2010, *Dziedzictwo kulturowe w planowaniu przestrzennym*, (w:) *Wartości w planowaniu przestrzennym*, (red.) A. Fogel, Z. Cieślak, Warszawa, s. 83-115 (98).

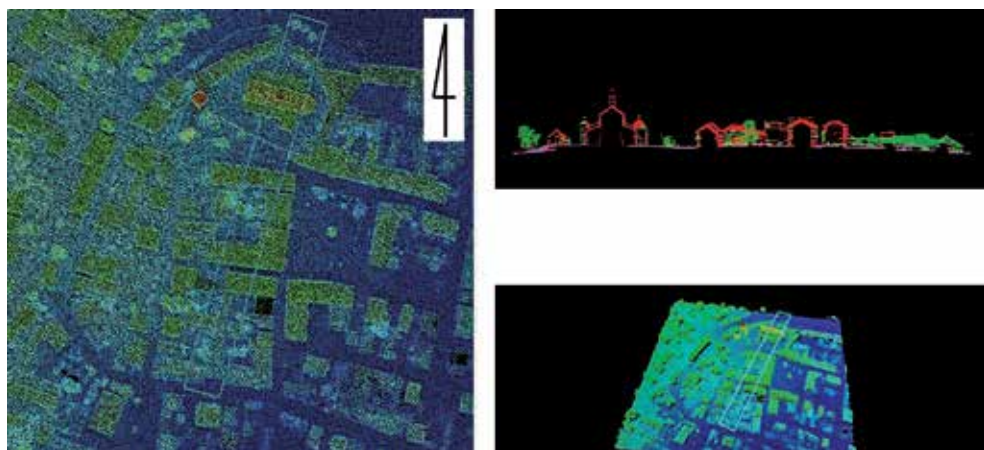
⁶⁰ Pawłowska K., 2010, *Partycypacja społeczna w planowaniu przestrzennym ze szczególnym uwzględnieniem ochrony dziedzictwa kulturowego*, (w:) *Wartości w planowaniu przestrzennym*, (red.) A. Fogel, Z. Cieślak, Warszawa, s. 147-184.



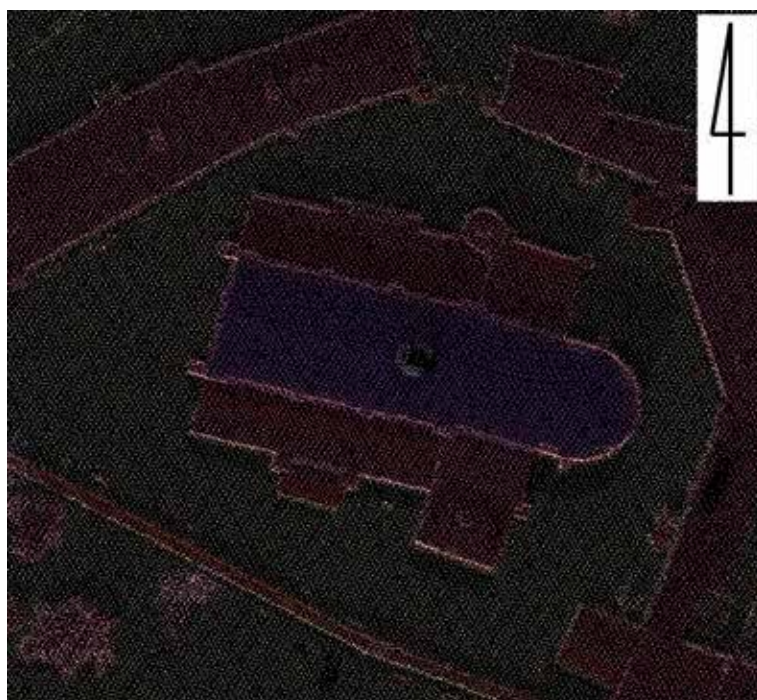
Ryc. 5.35. Ilza (miasto) – wizualizacja wyników pomiarów przestrzeni urbanistycznej na podstawie ALS (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)



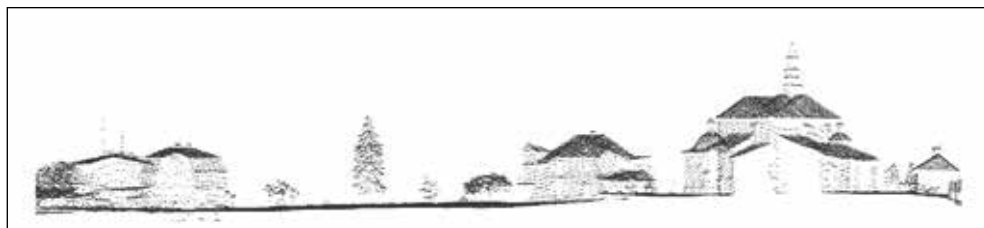
Ryc. 5.36. Ilza (miasto) – wizualizacja efektów pomiarów ALS terenów miejskich – wygenerowany uproszczony model 3D (widok aksonometryczny śródmieścia) (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)



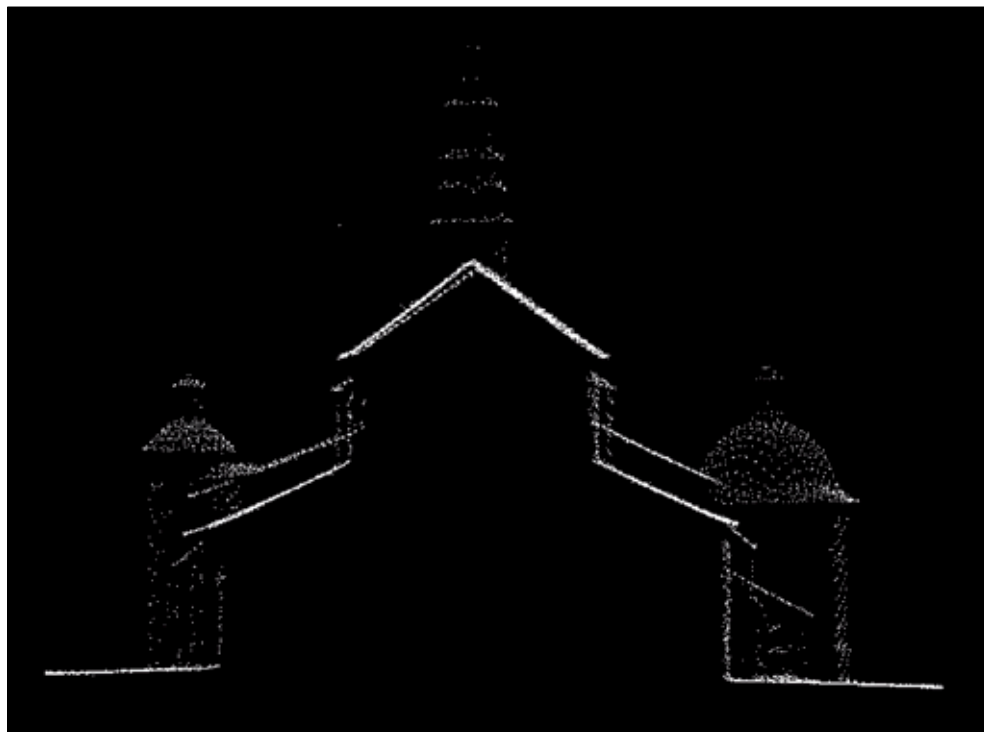
Ryc. 5.37. Ilża, miasto – rezultat pomiarów zabytkowej przestrzeni urbanistycznej, z przekrojem pionowym poprzecznym przez zabudowę w zachodniej części miasta (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)



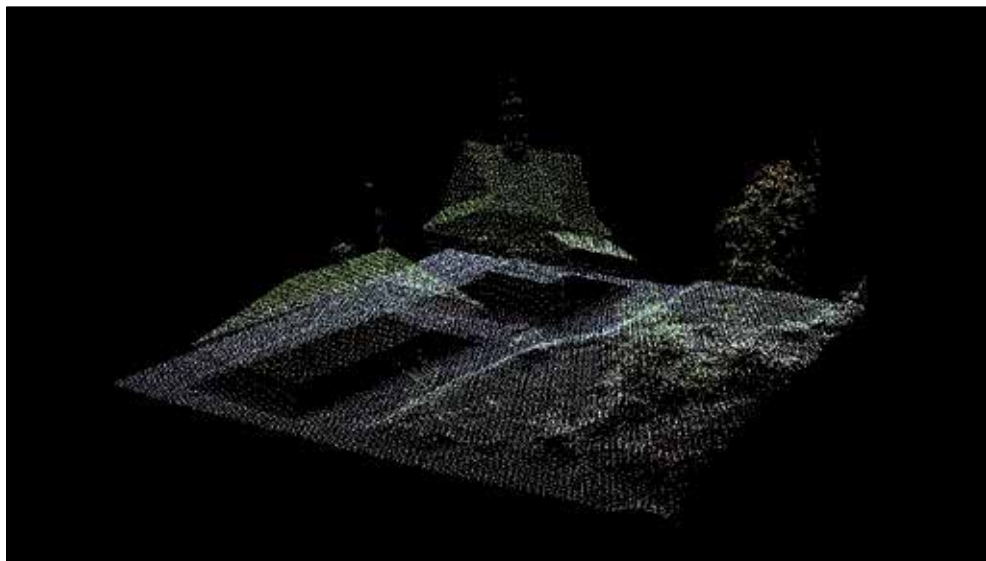
Ryc. 5.38. Ilża, miasto – przekrój pionowy, poprzeczny – po prawej stronie przekrój przez zabytkowy kościół farny Wniebowzięcia Najświętszej Marii Panny (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)



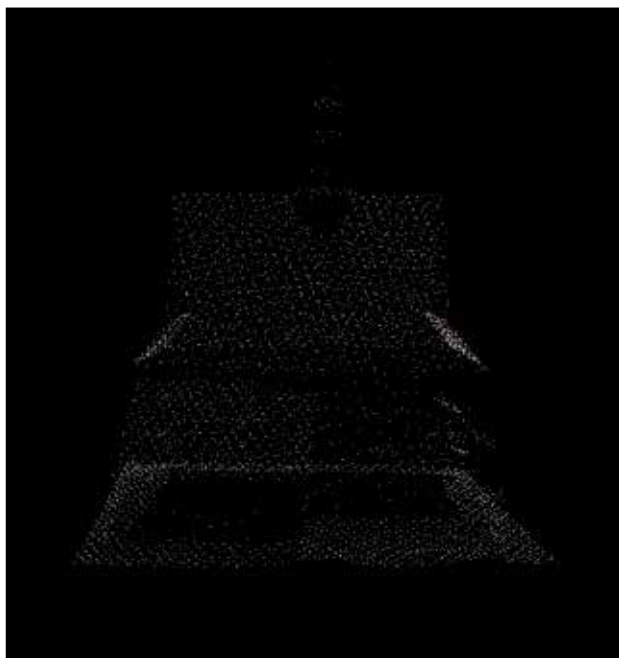
Ryc. 5.39. Ilża, miasto – plan zabytkowego kościoła farnego Wniebowzięcia Najświętszej Marii Panny wygenerowany na bazie ALS (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)



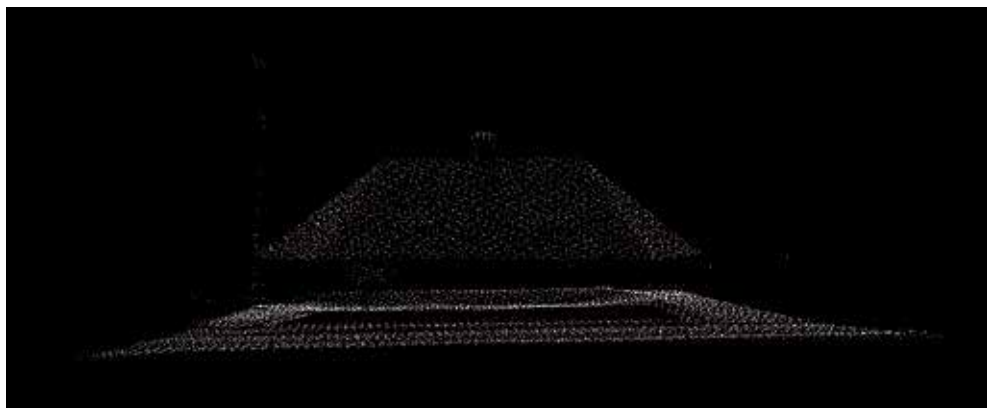
Ryc. 5.40. Ilża, miasto – przekrój pionowy, poprzeczny przez zabytkowy kościół farny Wniebowzięcia Najświętszej Marii Panny (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)



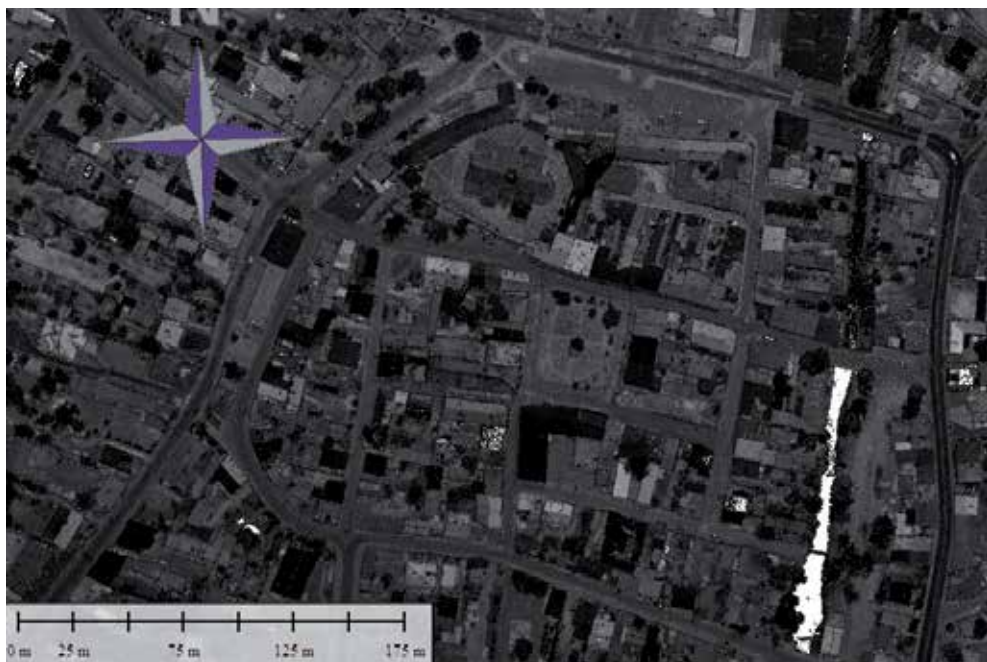
Ryc. 5.41. Ilża, miasto – uproszczony model zabytkowej architektury murowanej, wygenerowany na bazie pomiarów ALS (widok aksonometryczny): A – (po lewej) Muzeum Regionalne w Ilży (dawnej Budynek Szpitalny z 1754 r. znajdujący się w miejscu poprzedniego z XV wieku); B – po prawej zabytkowy kościół Św. Ducha z 1448 r., odbudowany w 1922 r., z łamanego kamienia. Odnowiony w roku 1967 oraz w roku 2011 (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)



Ryc. 5.42. Ilża, miasto – widok na uproszczony model 3D kościoła Św. Ducha (pomiar MGGP Aero / oprac./ fot. R. Zapłata)



Ryc. 5.43. Ilża, miasto – widok na uproszczony model 3D zabytkowego Budynku Szpitalnego (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)



Ryc. 5.44. Ilża, miasto – obraz intensywności odbicia wiązki lasera dla średnicy (pomiar MGGP Aero / oprac./fot. R. Zapłata)

Zakończenie

Zasadniczym celem pracy było zestawienie i omówienie aspektów naziemnego skanowania laserowego, jako metody nieinwazyjnej w badaniach archeologicznych i architektonicznych. Praca obejmowała dwa rodzaje skanowania obiektów zabytkowych *in situ* – naziemne skanowania laserowe oraz lotnicze skanowanie laserowe. Poza prezentacją metod, celem pracy było również omówienie metodyki postępowania badawczego, w szczególności podczas prac terenowych, ale także i w pewnym zakresie podczas prac kameralnych z zasobem cyfrowym. Kolejnym celem pracy było uwypuklenie niestandardowych rozwiązań, jakie niosą ze sobą technologie skanowania laserowego, wraz z nakreśleniem ich aspektów analitycznych w odniesieniu do substancji zabytkowej, zwłaszcza do oceny stanu zachowania i detekcji zróżnicowania powierzchniowego.

Aplikację i zastosowanie omawianych metod odniesiono do dwóch przykładów, stanowiących część dziedzictwa architektonicznego oraz dziedzictwa archeologiczno-przemysłowego. Pierwszy przykład to ruina zamku w Ilży – zabytkowy obiekt architektury murowanej, w odniesieniu do którego omówiono przede wszystkim technologię naziemnego skanowania laserowego, ale i lotniczego, z ukierunkowaniem na analizę otoczenia np. miasta czy najbliższej okolicy. Drugi przykład to zespół zabytkowych mielerzy z okolic Seredzic w woj. mazowieckim, który stanowił podstawę prezentacji i omówienia metody lotniczego skanowania laserowego, za pośrednictwem której odkryte zostały zabytkowe obiekty. Potencjał tej metody ukazywany był z ukierunkowaniem na działania, mogące poprawić prace z zakresu gospodarki przestrzennej, dostrzegającej zasoby dziedzictwa kulturowego.

Wątkiem przewodnim w pracy były dwa zasadnicze zagadnienia związane z technologią skanowania laserowego: (1) pomiar przestrzenny oraz (2) pomiar intensywności odbicia powracającej wiązki lasera. Omawiane metody przedstawiono na dwóch płaszczyznach, które najogólniej dotyczą: (1) bezdotykowego pomiaru w terenie obiektów zabytkowych *in situ* oraz (2) analizy i interpretacji generowanych zasobów cyfrowych dziedzictwa kulturowego. Praca swym zakresem bezpośrednio odnosiła się do zagadnień związanych z nieinwazyjną prospekcją oraz dokumentacją / inwentaryzacją, opartych na wybranych i sugerowanych narzędziach geoinformacyjnych. Zasadniczym zagadnieniem był pomiar obiektów zabytkowych *in situ*, który z całą pewnością stanowi podstawę do generowania nowej jakości prac i badań. Drugim elementem omawianym w pracy była wieloaspektowa analiza generowanych danych, która w procesie badawczym odgrywa również ważną rolę co sam pomiar.

W poszczególnych częściach pracy stopniowo była budowana całość, której konstrukcja miała na celu (1) wprowadzenie do zagadnienia metod

nieinwazyjnych w badaniach i dokumentacji, przy jednoczesnym ogólnym omówieniu zagadnień teledetekcji i fotogrametrii, a następnie (2) prezentację metod i obiektów zabytkowych, które w z jednej strony stanowiły przestrzeń próby dla wykonywanych pomiarów, a z drugiej były dziedzictwem dokumentowanym i badanym za pośrednictwem w/w metod. W drugiej części dokonano prezentacji praktycznego zastosowania potencjału skanowania laserowego, wraz z pozytywną weryfikacją proponowanych rozwiązań dokumentacyjno-analitycznych. Traktując techniki laserowe jako część procesu cyfryzacji dziedzictwa kulturowego (rozdział 1), w kontekście ogólnej charakterystyki metod nieinwazyjnych, w pierwszej części pracy omówiono przekrojowo zagadnienia teledetekcji, fotogrametrii i digitalizacji.

Kolejny rozdział – 2 poświęcony został zaprezentowaniu naziemnego skanowania laserowego. Tym samym TLS przedstawiono jako technikę wspierającą współczesne procesy inwentaryzacyjno-dokumentacyjne oraz analityczne. Nacisk położono m.in. na niestandardowe i nowatorskie rozwiązanie, mianowicie zastosowanie w ocenie stanu zachowania oraz detekcji powierzchni zabytkowej rejestracji intensywności odbicia powracającej wiązki lasera. O ile laserowy pomiar przestrzenny stał się już „standardowym” elementem licznych procesów inwentaryzacyjno-badawczych, o tyle prezentowana (na przykładzie dokumentacji zróżnicowanych powierzchni zabytkowych) technika rejestracji intensywności odbicia jest dopiero wdrażana do badań. Jednak już na tym etapie badań można uznać efektywność rejestracji omawianego parametru. Dokumentowane za pośrednictwem proponowanej metody zróżnicowanie poszczególnych powierzchni zabytkowych, (mimo kilku mankamentów) pozwala już obecnie na dokonywanie (kartometrycznej) uzupełniającej detekcji w procesie analizy i interpretacji powierzchni mierzonych. Dostrzeżony i pozytywnie zweryfikowany potencjał metody, a także postęp w zakresie rozwoju geodezyjnych (optycznych) technik pomiarowych, skłaniają do podjęcia dalszych działań w tym zakresie.

Na kolejnym etapie (rozdział 3) przedstawiono wybrane obiekty zabytkowe, które były przykładowym zasobem dziedzictwa architektonicznego i archeologiczno-przemysłowego, stanowiącym egzemplifikację zastosowania omawianych metod. Obiekty zostały przekrojowo omówione, celem zaprezentowania stanu zachowania, jak również ich specyfiki, co łącznie stało się argumentem na rzecz aplikowania do ich dokumentacji, diagnozowania oraz detekcji naziemnego i lotniczego skanowania laserowego. Najogólniej prezentacja miała na celu przedstawienie argumentów przekonywującego do aplikowania skanowania laserowego w pracach przy innych tego typu obiektach i terenach. W odniesieniu do ruiny zamku w Iłży

przede wszystkim zaprezentowano specyfikę dotychczasowych badań oraz ogólne wyniki, aby następnie w postaci proponowanych nieinwazyjnych działań, zainicjować i omówić (poniższą publikacją) kolejny etap, poszerzający dotychczasowe prace przy tego typu obiektach. Przypomnijmy, że omawiany zabytek architektury murowanej w Iłży doczekał się dotychczas różnorodnych działań naukowo-konserwatorskich, które dotyczyły prac inwentaryzacyjnych, badań archeologiczno-architektonicznych oraz prac konserwatorskich. Nie wykonano jednak do dzisiaj dokładnego pomiaru inwentaryzacyjnego, wraz z niestandardową analizą substancji zabytkowej. Sytuację zmieniły omawiane w książce prace z zastosowaniem naziemnego skanowania laserowego. Rozdział zamykają postulaty badawcze, zarówno dotyczące samej metody, jak i dokumentowanego obiektu, w świetle wykonanych prac.

W kolejnym, czwartym rozdziale kontynuowana była prezentacja bezdotykowych metod pomiaru przestrzennego, wraz z rejestracją intensywności odbicia wiązki lasera, tym razem z pułapu lotniczego. Podobnie jak w poprzedniej części, wiodący wątek pracy był rozpatrywany pod kątem przydatności metod do działań na rzecz badania i dokumentacji dziedzictwa kulturowego. W pierwszej kolejności dokonano charakterystyki lotniczego skanowania laserowego, a następnie omówiono wybrane przykłady badań, które same w sobie stanowią potwierdzenie skuteczności i efektywności skanowania lotniczego w badaniach dziedzictwa kulturowego oraz inwentaryzacji, włącznie z inwentaryzacją historycznych przestrzeni urbanistycznych. W dalszej części zaprezentowano praktyczne zastosowanie skanowania, wraz z możliwością przetwarzania danych na rzecz poprawy jakości dokumentacyjno-prospekcyjnej oraz na rzecz wykonywania analiz przestrzennych. Podkreślono również znaczenie rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera.

W odniesieniu do zabytków omawianych w rozdziale 5, charakterystyka obiektów miała na celu zaprezentowanie ich specyfiki, z podkreśleniem nikłego rozpoznania tego zasobu dziedzictwa przemysłowego (gospodarczego) za pośrednictwem tradycyjnych metod prospekcji terenowej. Przywołano również, w oparciu o źródła pisane, wybraną charakterystykę mielerzy, w celu zbudowania podstaw do identyfikacji i interpretacji odkrytych oraz zadokumentowanych obiektów zabytkowych. Ogólny wniosek z tych rozważań to wskazanie potrzeby włączenia do badań w/w obiektów skanowania laserowego – metody nieinwazyjnego rozpoznawania i dokumentowania, którą omówiono w rozdziale 4.

Najogólniej należy podsumować, że rejestrowany na podstawie przeprowadzonych eksperymentów, testów oraz pomiarów, parametr

intensywności odbicia wiązki lasera, a tym samym zróżnicowanie mierzonej wartości, jednoznacznie wskazują przydatność tej technologii w rozpoznawaniu i dokumentowaniu zróżnicowania powierzchni zabytkowych. Pewnym ograniczeniem omawianej metody jest z pewnością jej dokładność, a także analiza jakościowa uzyskiwanych wyników. Poza tym możliwość rozróżniania poszczególnych jednostek (powierzchni) nie jest jednolita. Innymi słowy detekcja i dokumentacja niektórych powierzchni umożliwia ich rozpoznanie i dokumentację w oparciu o parametr intensywności (np. zasolenia, różnego rodzaju skały). Podobnie sytuacja wygląda w odniesieniu do detekcji niektórych wypełnisk obiektów, gdzie intensywność odbicia wiązki lasera przynajmniej wskazuje zróżnicowanie powierzchniowe, które wspiera proces interpretacyjny. Działania takie jak rozróżnianie powierzchni zabytkowych, prospekcja obiektów zabytkowych czy uzupełniająca analiza jednostek stratyfikacji, zyskują nowe narzędzie w postaci laserowego skanowania naziemnego i lotniczego. Natomiast w odniesieniu do pomiaru przestrzennego opartego na technologii skanowania laserowego, zwłaszcza z pułapu lotniczego, badania dziedzictwa kulturowego zyskują narzędzie nieinwazyjnej prospekcji, przynoszącej niespotykane dotąd na taką skalę rozpoznanie i inwentaryzację obiektów zabytkowych, w szczególności na terenach zalesionych. Dodatkowym i równie ważnym aspektem omawianych metod jest generowany zasób cyfrowy, który w kontekście m.in. prezentowanych narzędzi geoinformatycznych, stanowi zbiór danych, ukierunkowanych na dalsze przetwarzanie i analizowanie.

Zamykając powyższe rozważania, proponuję odnieść się jeszcze do wybranych i omawianych obiektów zabytkowych, które w wyniku zastosowania i testowania prezentowanych metod zyskały nową jakość dokumentacyjną, a także zostały odkryte, co poniekąd jest realizacją celów nadrzędnych w ramach jakichkolwiek działań przy zabytkach. Ruina zamku w Ilży stanowi obecnie obiekt z dokładną, przestrzenną i fotogrametryczną rejestracją, która służy dalszym analizom substancji zabytkowej, a zarazem może być podstawą i punktem odniesienia dla dalszych działań przy zabytku architektury murowanej. Integralną częścią w/w dokumentacji, a zarazem wynikiem dokonywanych analiz jest detekcja ubytków, stanowiących poważne zagrożenie dla niektórych części założenia (np. piwnica na zamku górnym czy stok wzniesienia), jak również rejestracja powierzchni niszczonych procesami naturalnymi (mikroorganizmy czy zasolenia).

Podsumowując należy stwierdzić, że stawiany pracy cel został osiągnięty, czego wyrazem jest przede wszystkim zestawienie i omówienie wybranych zagadnień skanowania laserowego w badaniach

architektonicznych i archeologicznych, z uwypukleniem nowych i nie-standardowych zagadnień w działaniach sięgających po ten rodzaj metod nieinwazyjnych. Dodatkowo realizację stawianych celów uzasadnia pozytywna weryfikacja przydatności pomiarów laserowych na rzecz badania i dokumentacji dziedzictwa architektoniczno-archeologicznego, zarówno w zakresie detekcji terenów zalesionych znajdujących się w okolicy Seredzic, gdzie rozpoznano i zadokumentowano zespół mielerzy, jak również w zakresie dokumentacji ruin zamku w Ilży, gdzie dokonano m.in. szczegółowej rejestracji geometrii obiektu oraz uzupełniającej detekcji i klasyfikacji powierzchni zabytkowej.

Naziemne skanowanie laserowe jest obecnie najpopularniejszą metodą wykonywania bezdotykowych pomiarów obiektów architektury murowanej. Włączając do analiz substancji zabytkowej rejestrację intensywności odbicia, skanowanie naziemne staje się również narzędziem we współczesnej diagnostyce zabytków architektury murowanej. Natomiast lotnicze skanowanie laserowe stanowi jedną z nieinwazyjnych metod prospekcji dziedzictwa kulturowego, a zarazem staje się docenianym narzędziem w inwentaryzacji obiektów architektury, zabytkowych przestrzeni urbanistycznych czy krajobrazów kulturowych.

W Polsce od kilku lat stopniowo zyskują na znaczeniu omówione metody, których zastosowanie doprowadziło do wykonania licznych inwentaryzacji zabytków architektury, jak również do odkrycia i zainwentaryzowania wielu obiektów archeologicznych. Generowane za pomocą w/w metod zasoby cyfrowe z kolei stanowią krok w stronę modernizacji sposobu zarządzania, popularyzacji i badania dziedzictwa kulturowego, wprowadzając badania architektoniczne, archeologiczne czy konserwatorskie w wiek cyfryzacji. To epoka społeczeństwa informacyjnego, w którym dokumentacja cyfrowa, budowana m.in. na bazie geoinformacji i skanowania zyskuje uznanie i stopniową przewagę nad tradycyjnymi metodami pomiaru. Moim zdaniem omawiane technologie powinny na stałe znaleźć się w warsztacie specjalistów badających i dokumentujących zabytki, w formie standardowego rozwiązania dokumentacyjnego. Tak diametralna zmiana jednak wymaga czasu, który potrzebny jest na przeformułowanie systemu, a czasami na przekonanie środowiska do skuteczności i efektywności, jaka wiąże się z optycznymi urządzeniami geodezyjnymi.

Z całą pewnością należy stwierdzić, że naziemne skanowanie laserowe wprowadza nową jakość i nowy wymiar w zakresie: 1) wykonywania pomiarów przestrzennych i dokumentacji podczas prac terenowych; 2) detekcji zniszczeń, przemieszczeń i deformacji obiektów zabytkowych; 3) monitorowaniu zmian w substancji zabytkowej; 4) diagnostyki obiektów

zabytkowych. Natomiast skanowanie lotnicze modernizuje przede wszystkim detekcję zasobów kulturowych oraz ich inwentaryzację. Potencjał obu metod jest niezaprzeczalny w badaniach dziedzictwa kulturowego, warto jednak pamiętać o krytycznym podejściu do samych danych, jaki i procesu generowania zasobu cyfrowego, który wymaga aktywnego udziału ze strony badającego.

Bibliografia

D'Ayala D., Smars, 2003, *Minimum requirements for metric use of non-metric photographic documentation*, Bath - <http://www.english-heritage.org.uk/content/publications/publicationsNew/metric-use-of-non-metric-photographic-documentation/metricextraction1.pdf> [dostęp 11.12.2013]

Ackermann F., 1999, *Airborne laser scanning: present status and future expectations*, „ISPRS. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing”, 54, 2-3, s. 64-67 - <http://warnercnr.colostate.edu/~lefsky/isprs/1134.pdf>. [dostęp 02.05.2013]

Adamczyk J., Będkowski K., 2007, *Odwzorowanie wybranych obiektów krajobrazu w danych lotniczego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 17a, s. 1-9.

Affelt W., 2008, *Dziedzictwo techniki w kontekście rozwoju zrównoważonego*, (w:) *Współczesne problemy teorii konserwatorskiej w Polsce*, (red.) B. Szmygin, Warszawa-Lublin, s. 7-16

Affelt W., 2009, *Stocznia Gdańska – rewitalizacja pamięci czy obiektu*, (w:) *Dziedzictwo postindustrialne i jego kulturotwórcza rola*, (red.) Januszewski S., Warszawa, s. 27-77.

Agapiou A., Hadjimitsis D. G., Themstocleous K., 2010, *Geometric documentation of historical churches in Cyprus using laser scanner*, (w:) *EuroMed2010. 3rd International Conference dedicated on Digital Heritage*, (red.) M. Ioannides, D. Fellner, A. Georgopoulos, D. Hadjimitsis, Budapest, s. 1-6.

Arnese A., *Close-Range Photogrammetry. A Guide to Good Practice*, (red.) K. Niven - http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/Photogram_Toc [dostęp 11.12.2013]

Andrews D., Bedford J., Blake B., Bryan P., Cromwell T., Lea R., 2009, *Measured and Drawn – Techniques and practice for the metric survey of historic buildings* (second edition), (red.) J. Bedford, H. Papworth, Swindon: English Heritage - <http://www.english-heritage.org.uk/publications/measured-and-drawn/measured-and-drawn.pdf> [dostęp 02.05.2013]

Architektura i budownictwo epoki brązu i wczesnych okresów epoki żelaza w Europie Środkowej, 2006, (red.) B. Gediga, W. Piotrowski, Biskupin-Wrocław.

Argenziano P., Avella A., 2012, *Investigating on boundary. Integration approach to architectural rapid characterization*, (w:) *Less More Architecture Design Landscape. Le vie dei Mercanti. X Forum Internazionale di Studi*, (red.) C. Gambardella, Neapol, s. 700-709 - http://www.leviedeimercanti.it/2012/Ebook%20Less_More.pdf [dostęp 02.05.2013]

Armesto-González J., Riveiro-Rodríguez B., González-Aguilera D., Rivas-Brea M. T., 2010, *Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical buildings*, „Journal of Archaeological Science”, vol. 37, issue 12, s. 3037-3047 - <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440310002281>. [dostęp 02.05.2013]

Architecture and Order: Approaches to Social Space, 1997 (1994), M. P. Pearson, C. Richards (red.), London-New York.

Asanowicz A., 2006, Komputerowe narzędzia w rewitalizacji miasta, (w:) *Problemy rewitalizacji w gospodarce przestrzennej XXI wieku*, (red.) W. Czarnecki, Białystok, s. 97-102.

Asanowicz A., 2012, Systemy rzeczywistości wirtualnej w architekturze, „ARCHITECTURAE et ARTIBUS”, 4/2012, s. 5-12.

Bakuła K., Ostrowski W., Zapłata R., 2013, *Automatyczna detekcja obiektów archeologicznych z danych ALS* – poster zaprezentowany na ogólnopolskim sympozjum geoinformatycznym „Geoinformatyka zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych”, Warszawa 11-13 września 2013 r., [archiwum UKSW].

Baldrige A. M., Hook S. J., Grove C. I., Rivera G., 2009, *The ASTER spectral library version 2.0*, „Remote Sensing of Environment”, 113, s. 711-715 – <http://speclib.jpl.nasa.gov/downloads/2009-Baldrige.pdf>. [dostęp 02.05.2013]

Baliński M., Lipiński T., 1985, *Starożytna Polska pod względem historycznym, jeograficznym i statystycznym*, t. 2, s. 450-453, wyd.2, (wyd. I 1855, t. 2, s. 465-468), Warszawa.

Banaszek Ł., Rączkowski W., 2010, *Archeologia w lesie. O identyfikacji stanowisk archeologicznych w gminie Polanów (i nie tylko)*, (w:) *Historia i kultura Ziemi Sławieńskiej*, t. X: *Miasto i gmina Polanów*, (red.) W. Rączkowski, J. Sikora, Sławno-Polanów, s. 117-131.

Banic J., Cunningham G., 1998, *Airborne laser bathymetry: A tool for the next millennium*, „EEZ Technology”, 3, s. 75-80 – http://www.jalbtcx.org/downloads/Publications/32Banic_Cunningham_98.pdf [dostęp 11.12.2013]

Baranowski P., Czajkowski K., Gładki M., Morysiński T., Rzońca A., Szambelan R., 2005, *Polish experience with advanced digital heritage recording methodology, including 3D laser scanning, CAD and GIS application, as the most accurate and flexible response for archeology and conservation needs at Jan III Sobieski's residence in Wilanów (Warsaw)*. VI International Congress on Laser in the Conservation of Artworks, (w:) *Lasers in the Conservation of Artworks. LACONA VI Proceedings, Vienna, Austria, Sept. 21–25, 2005*, Series: Springer Proceedings in Physics, Vol. 116 (red.) J. Nimmrichter, W. Kautek, M. Schreiner, Widen, s. 513-521.

Barański M., 2008, *Określenie cech interpretacyjnych promieni wiązki skanującej w naziemnym skanerze w funkcji rejestrowanego obiektu*, Warszawa [mps pracy magisterskiej – archiwum Politechniki Warszawskiej]

Barber D., Mills J., Bryan P., 2001, *Laser scanning and photogrammetry: 21st century metrology*, „Proceedings of the Surveying and Documentation

of Historic Buildings - Monuments - Sites Traditional and Modern Methods, CIPA 2001 International Symposium", Potsdam - <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/5-C7/pdf/2001-08-db01.pdf> [dostęp 02.05.2013]

Barber D., Mills J., Bryan P., 2003, *Towards A Standard Specification for Terrestrial Laser Scanning of Cultural Heritage*, "International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 34, cz. 5/C15, s. 619 – 624.

Barber D., Mills J. (red.), 2011, *3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture* - http://www.english-heritage.org.uk/publications/3d-laser-scanning-heritage2/3D_Laser_Scanning_final_low-res.pdf [dostęp 02.05.2013].

Bernardinia F., Sgambatib A., Montagnari Kokeljic M., Zaccariac C., Michelid R., Fragiacomoe A., Tiussic C., Dreossif D., Tuniza C., De Ming A., 2013, *Airborne LiDAR application to karstic areas: the example of Trieste province (north-eastern Italy) from prehistoric sites to Roman forts*, „Journal of Archaeological Science”, vol. 40, issue 4, s. 2152-2160 – <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440312005547>. [dostęp 02.05.2013]

Basista A., Nowakowski A., 2012, *Jak czytać architekturę*, Kraków.

Baścik M., Dudek, 2009, *Generowanie ortofotoplanów w programie Pointools – zastosowanie skanera laserowego 3D. Creating cost-effective orthophotoplans with Pointools software – one innovative application of 3D laser scanning*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 26/2009, s. 738-740.

Bartosik J., 1979, *Itża. Monografia rozwoju społeczno-gospodarczego miasta*, „Biuletyn Kwartalny Radomskiego Towarzystwa Naukowego”, t. XVI, z. 3, Radom.

Bednjanec M., 2011, *Calibration of ALS Intensity Data*, Stockholm - http://www.lantmateriet.se/Global/Kartor%20och%20geografisk%20information/H%C3%B6jddata/Rapporter/Calibration_ALS_intensity_Data.pdf [dostęp 02.05.2013]

Bednarczyk A., 1987, *Ziemia itżecka w świetle badań historyczno-archeologicznych*, „Kronika Diecezji Sandomierskiej”, R. 80, nr 9-12, s. 281-286.

Bednarczyk A., 1976, *Zamek w Itży zdradza tajemnice*, „Słowo Ludu”, nr 159, Radom.

Bednarczyk A., Stanisławek B., Szymański J., 1979, *Itża. Monografia rozwoju społeczno-gospodarczego miasta. Rozwój w okresie XIII- XVIII w.*, „Biuletyn Kwartalny Radomskiego Towarzystwa Naukowego”, t. XVI (3), Radom.

Bednarczyk A., 1908, *Gawędy o itżeńskim zamku*, Itża.

Bednarczyk A., 1981, *Zamek w Itży*, Itża.

Bednarczyk A., 1981, *Itża*, Kraków.

Bednarczyk A., 1982, *Itża w świetle badań archeologicznych*, Itża.

Bednarczyk A., 1984, *Zamki w woj. radomskim*, Itża.

Bednarczyk A., 1987, *Ziemia łżecka w świetle badań historyczno-archeologicznych*, „Kronika Diecezji Sandomierskiej”, nr 80 (9-12), s. 281-286.

Bednarczyk A., 1988, *Tajemnice Łży*, „Zeszyty krajoznawcze”, Starachowice.

Bednarczyk A., 1995, *Dzieje zamku łżeckiego, Łża*.

Bednarczyk A., 1996, *Łża wczoraj i dziś*, Warszawa.

Bell T., Lock G., 2000, *Topographic and cultural influences on walking the Ridgeway in later prehistoric times*, (w:) *Beyond the map. Archaeology and spatial technology*, (red.) G. Lock, Amsterdam–Berlin–Oxford–Tokyo–Washington, s. 85-100.

Bender B., 1993, *Landscape – Meaning and action*, (w:) *Landscape: Politics and perspectives*, (red.) B. Bender, Oxford, s. 1-17.

Bendkowska-Kafel A., 2008, *Historyczna wiarygodność zabytku wirtualnego. Uwagi na marginesie postulatów Karty Londyńskiej*, (w:) *Nowoczesne metody gromadzenia i udostępniania wiedzy o zabytkach*, t. 1, *Cyfrowe spotkania z zabytkami*, (red.) A. Seidel-Grzesińska, K. Stanicka-Brzezicka, Wrocław, s. 35-47.

Bendkowska-Kafel A., 2009, *Zabytek wirtualny: kryteria oceny i rola Karty Łońdyńskiej*, (w:) *Informatyka w historii Sztuki. Stan i perspektywy rozwoju współczesnych metodologii*, t. 2., *Cyfrowe spotkania z zabytkami*, (red.) A. Seidel-Grzesińska, K. Stanicka-Brzezicka, Wrocław, s. 72-81.

Bendyk E., Filiciak M., Hofmokl J., Kulisiewicz T., Tarkowski A., 2007, *Kultura 2.0. Wyzwania cyfrowe przeszłości*, Warszawa.

Bennet R., 2011, *Archaeological Remote Sensing: Visualisation and analysis of grass-dominated environments using airborne laser scanning and digital spectra data*, Bournemouth - http://eprints.bournemouth.ac.uk/20459/1/Bennett%2C_Rebecca_PhD_Thesis_2011.pdf [dostęp 11.12.2013]

Bennett, R., Welham, K., Hill, R.A., and Ford, A., 2010, *Making the most of airborne remote sensing techniques for archaeological survey and interpretation*, (w:) *Remote sensing for archaeological heritage management, Proceedings of the 11th EAC Heritage Management Symposium, Reykjavik, Iceland, 25-27 March 2010*, (red.) D. C. Cowley, Brussel, s. 99-106.

Beraldin, J. A., 2004, *Integration of Laser Scanning and Close range Photogrammetry - the Last Decade and Beyond*, „International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Proceedings of the XXith ISPRS Congress, Commission VII, Istanbul, Turcja, 2004”, s. 972-983.

Bereza W., Karczmarczyk S., 2010, *Ekspertyza konstrukcyjno budowlana części murów Zamku Górnego piwnic przewidzianej do konserwacji i zabezpieczenia*, Kraków 2010.

Berełkowski R., 2012, *System wartości zabytkowej a ruina*, (w:) *Zamki w ruinie – zasady postępowania konserwatorskiego*, (red.) B. Szmygin, P. Molski, Warszawa–Lublin, s. 37-48.

Bernasik J., Mikrut S., 2003, *Fotogrametria inżynierska*, [skrypt akademicki udostępniony na stronach internetowych Ośrodka Edukacji Niestacjonarnej AGH], Kraków 2003, http://oen.dydaktyka.agh.edu.pl/dydaktyka/obliczenia_inzynierskie/a_fotogrametria/index.pdf [dostęp 02.05.2013]

Bewley R. H., Crutchley S., Shell C. A., 2005, *New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site*, „Antiquity”, vol. 79, no. 305, s. 636–647.

Bewley R.H., W. Rączkowski W. (red.), 2002, *Aerial Archaeology. Developing Future Practice*, Amsterdam.

Będkowski K., 2010, *Numeryczny Model Terenu (NMT)*, (w:) *Geomatyka w Lasach Państwowych*, cz. I: Podstawy, (red.) K. Okła, Warszawa, s. 199–212.

Będkowski K., Mikrut S., 2006, *Skanowanie laserowe jako źródło informacji przestrzennych dotyczących lasów* - http://home.agh.edu.pl/~zfiit/publikacje_pliki/Bedkowski_Mikrut_2006.pdf [dostęp 02.05.2013]

Będkowski K., Brach M., Stereńczak K., 2008, *Numeryczny model terenu obszaru zalesionego utworzony na podstawie skanowania laserowego i jego dokładności*, „Rocznik Geomatyki”, t. VI, z. 8, s. 49–53.

Będkowski K., Stereńczak K., 2008, *Przestrzenny rozkład punktów odbić impulsów skanera laserowego a wybrane cechy drzewostanu*, „Rocznik Geomatyki”, t. VI, z. 8, s. 55–60.

Będkowski K., Stereńczak K., 2010, *Porównanie numerycznych modeli terenu obszarów leśnych generowanych z wykorzystaniem danych skaningu laserowego (LIDAR) uzyskanych w okresie wiosennym i letnim*, „Rocznik Geomatyki”, t. VIII, z. 7 (43), s. 11–20.

Będkowski K., Wężyk P., 2010, *Lotniczy skanowanie laserowe*, (w:) *Geomatyka w Lasach Państwowych*, cz. I: Podstawy, (red.) K. Okła, Warszawa, s. 326–343.

Białobłocki T., Moroz J., Nowina Konopka M., Zacher L. W., 2006, *Społeczeństwo informacyjne. Istota, problemy, wyzwania*, Warszawa.

Bielenin K., 1957, *Z badań nad starożytną produkcją żelaza w Małopolsce*, „Sprawozdania Archeologiczne”, vol. III, s. 91–106.

Bielenin K., 1958, *Starożytne piece hutnicze w Zagłębiu Staropolskim*, „Z Otchłani Wieków”, vol. XXIV, z. 2, s. 86–93,

Bielenin K., 1959, *Starożytne mielerze świętokrzyskie hutnictwa żelaza*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej”, vol. VII, s. 463–472.

Bielenin K., 1962, *Ancient centre of iron metalurgy in the region of Góry Świętokrzyskie (Świętokrzyskie Mountains)*, „Archaeologia Polona”, IV, s. 221–234.

Bielenin K., 1992, *Starożytne górnictwo i hutnictwo żelaza w Górach Świętokrzyskich*, Kielce.

Bil J., 2012, *Modelowanie 3D w projektowaniu konserwatorskim*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 31, s. 104-109.

Boehler W., Heinz G., M., Marbs A., 2001, *The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage*, “Proceedings of XVIII CIPA International Symposium, Potsdam, Germany” - <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/potsdam/2001-11-wb01.pdf> [dostęp 11.12.2013]

Boehner J., Antonic O., 2009, *Land-surface parameters specific to topoclimatology*, (w:) *Geomorphometry – concepts, software, applications. Developments in Soil Science*, vol. 33, (red.) T. Hengl, H. Reuter, Amsterdam, s. 195-226.

Boehler, W., Bordas Vincet M., Marbs A., 2003, *Investigating laser scanner-accuracy*, (w:) “Proceedings of XIX CIPA International Symposium, Antalya, Turkey” - http://hds.leica-geosystems.com/hds/en/Investigating_Accuracy_Mintz_White_Paper.pdf [dostęp 01.12.2013]

Bofinger J., Kurz S., Schmidt S., 2006, *Ancient maps – modern data sets: Different investigative techniques in the landscapes of the Early Iron Age Princely Hill Fort Heuneburg, Baden-Wuerttemberg*, (w:) *From space to place. Proceedings of the 2nd International Workshop on Remote Sensing in Archaeology*, CNR, Rome, Italy, 4-7 December. *British Archaeological Reports, International Series 1568*, (red.) S. Campana, M. Forte, Oxford, s. 87-92.

Bogdanowski J., 2002, *Architektura obronna w krajobrazie Polski*, Warszawa- Kraków.

Bojarowski K., Gościowski D., 2008, *Organizacja pomiaru skanerem laserowym*, „Czasopismo Techniczne”, z. 2-Ś/2008, s. 29-36.

Bojarowski K., Gościowski D., 2012, *Ocena elementów konstrukcyjnych obiektów budowlanych z wykorzystaniem numerycznego modelowania powierzchni*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska”, z. 59, (1/12/II), Nr 283, s. 51-60.

Boliński P., 2008, *Zastosowanie narzędzi cyfrowych w dokumentacji konserwatorskiej w ramach dydaktyki Wydziału konserwacji i Restauracji dzieł Sztuki Akademii Sztuk Pięknych w Krakowie*, „Biuletyn Informacyjny Konserwatorów Dzieł Sztuki”, t. 19, nr 1-4 (72-75), s. 58-63.

Bonali E., Pesci A., Casula G., Boschi E., 2013, *Deformation of ancient buildings inferred by Terrestrial Laser Scanning methodology: the Cantalovo church case study (Northern Italy)*, „Archeometry” [preprint] - <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/arc.12028/abstract>. [dostęp 02.05.2013]

Booths S., 2002, *Measured Building Surveys*, The Building Conservation Directory - <http://www.buildingconservation.com/articles/measuredb-surveys/measuredb-surveys.htm> [dostęp 11.12.2013]

Borkowski A., Józków G., 2012, *Ocena dokładności modelu 3D zbudowanego na podstawie danych skaningu laserowego – przykład zamku Piastów Śląskich w*

Brzegu, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 37-47.

Borkowski W., Michniak R., 1992, *Prahisteryczne pole eksploatacyjne (wybierkowe) w Krzemionkach*, (w:) *Materiały krzemionkowskie. Studia nad gospodarką surowcami krzemiennymi w pradziejach*, 1, (red.) J. Jaskanis, Warszawa, s. 11-36.

Borkowski A., Tymków P., 2007, *Wykorzystanie danych lotniczego skaningu laserowego i zdjęć lotniczych do klasyfikacji pokrycia terenu*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 17a, s. 93-103.

Boroń A., Rzońca A., Wróbel A., 2007, *Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków*, „Rocznik Geomatyki”, t. V, z. 8, s. 129-140.

Boroń A., Borowiec M., Wróbel A., 2006, *Kompleksowa, cyfrowa dokumentacja fotogrametryczna Wzgórza Zamkowego w Rabsztynie k. Olkusza*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 14 - http://home.agh.edu.pl/~zfiit/publikacje_pliki/Boron_Borowiec_Wrobel_2004a.pdf [dostęp 02.05.2013]

Boroń A., Borowiec M., Wróbel A., 2009, *Rozwój cyfrowej technologii inwentaryzacji obiektów zabytkowych na przykładzie doświadczeń Zakładu Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 19, s. 11-22.

Boroń A., Borowiec M., Jachimski J., Wróbel A., 2004, *Fotogrametryczna inwentaryzacja zabytkowych murów budowli z czasów starożytnego Egiptu*, „Teledetekcja Środowiska”, 33, s. 1251-32.

Borowiecki I., 2009, *Zastosowanie lotniczego skaningu laserowego dla celów opracowania NMT (ocena dokładności pomiarów lidarowych)*, „Geodezja, Kartografija i Aerofotoznimannia”, z. 71, s. 211-218 - <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/6956/1/2.PDF> [dostęp 20.04.2013].

Borowiecki I., Ślusarski M., 2010, *Lotniczy skaningu laserowy LiDAR miasta Krakowa (ocena dokładnościowa)*, „Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich”, Nr 3/2010, s. 127-137.

Boyd D.S., Hill R. A., 2007, *Validation of airborne LiDAR intensity values from a forested landscape using hymap data: preliminary analyses*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, vol. XXXVI, part 3 / W52, s. 71-76 - http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W52/final_papers/Boyd_2007.pdf [dostęp 11.12.2013]

Broch H., 1998, *James Joyce i współczesność. Mowa wygłoszona z okazji 50 urodzin Joyce'a*, tłum. R. Turczyn, (w:) *Kilka uwag o kiczu i inne eseje*. H. Broch, Warszawa, s. 23-24.

Broda J., 1960, *Santarze na Podbeskidziach*, „Zaranie Śląskie”, R. 23, z. 2.

Bryan P., Blake B., Bedford J., Barber D., Mills J., Andrews D., 2009, *Metric Survey. Specifications for Cultural Heritage*, (red.) D. Andrews - <http://>

www.english-heritage.org.uk/publications/metric-survey-specification/metric-survey-specific-for-cultural-heritage.pdf [dostęp 02.05.2013]

Brykowska M., 1981, *Dokumentacja do prac konserwatorskich*, „Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Budownictwo”, z. 70, Warszawa, s. 135-154.

Brykowska, M. 1988, *Badania zabytków architektury*, „Rocznik PP PKZ”, 1, s. 21-40.

Brykowska M. 1996a, *Badania historyczno-architektoniczne elewacji budowli zabytkowych*, „Wiadomości Konserwatorskie woj. Krakowskiego”, 5, s. 77-90.

Brykowska M., 1996b, *Badania zabytków architektury: teoria, praktyka, organizacja*, (w:) *Ochrona i Konserwacja dóbr kultury w Polsce 1944-1989. Uwarunkowania polityczne i społeczne*, t.1, (red.) A. Tomaszewski, Warszawa, s. 150-166.

Brykowska M., 2003, *Metody pomiarów i badań zabytków architektury*, Warszawa.

Brykowska M., 2007, *Dokumentacja naukowa niezbędna dla ochrony i konserwacji zabytków architektury*, „Rocznik Geomatyki”, t. 7, z. 8, s. 115-132.

Brzeziński W., Piotrowski W. (red.), 1997, *Proceedings of the First International Symposium on Wood Tar and Pitch*, Warszawa.

Bucior M., Borowiec N., Jędrychowski I., Pyka K., 2006, *Wykrywanie budynków na podstawie lotniczego skanowania laserowego*, „Roczniki Geomatyki”, t. IV, z. 3, s. 57-70 – <http://ptip.org.pl/download/files/RG2006z3-Buciorinni.pdf> [dostęp 11.12.2013]

Budziszewski J., Zapłata R., 2011, *Raport końcowy z wykonania zadania w ramach PROGRAMU DZIEDZICTWO KULTUROWE priorytet 5 Ochrona zabytków archeologicznych ze środków Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego Zadanie pn. Badania pradziejowych kopalń krzemienia z użyciem LIDAR zostało wykonane w okresie od 01.01.2011 r. do 31.12.2011 r. zgodnie z umową nr 01163/11/FPK/NID, zawartą w dniu 13.05.2011 r., pomiędzy Ministrem Kultury i Dziedzictwa Narodowego a Uniwersytetem Kardynała Stefana Wyszyńskiego*, [mps w archiwum UKSW], Warszawa.

Budziszewski J., Wysocki J., 2012, *Nowe możliwości detekcji materialnych śladów historii terenów leśnych - lotnicze skanowanie laserowe (LiDAR)* [prezentacja], VI Konferencja pt. Geomatyka w Lasach Państwowych, 18-20 września 2012 r., Rogów - http://www.geomatyka.lasy.gov.pl/c/document_library/get_file?uuid=9ffdba26-bb4e-4d25-af41-b94d97a13062&groupId=107840 [dostęp 11.12.2013]

Budziszewski J., Zapłata R., 2011, *LIDAR - nowe możliwości ochrony zabytków pradziejowego górnictwa krzemienia* [referat] – konferencja „Konserwacja zapobiegawcza środowiska”, 24 października 2011 r., Warszawa [wersja elektroniczna w archiwum UKSW].

Bujakiewicz A., Zawieska D., Kowalczyk M., 2003, *Trójwymiarowe*

modelowanie obiektu architektonicznego, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 13b, s. 325-337.

Bujakiewicz A., Kowalczyk M., Podlasiak P., Zawieska D., Andrzejewska D., 2006, *Fotogrametryczny pomiar powierzchni przetamań rzeźb archeologicznych w celu ich wzajemnego dopasowania*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 16, s. 97-109.

Bujakowski W., 1990, *Sprawozdanie z badań przeprowadzonych na obszarze 80-68 w ramach Archeologicznego Zdjęcia Polski*, Radom [mps w archiwum WUOZ/Radom].

Bujakowski K., Pyka K., 2010, Sześć „Karkowskich Spotkań z INSPIRE” – próba podsumowania, „Roczniki Geomatyki”, t. VIII, z. 8 (44), s. 7-22.

Bukal G., 2008, *Produkcja zabytków jako problem konserwatorski (przykład Gdańska)*, (w:) *Współczesne problemy teorii konserwatorskiej w Polsce*, (red.) B. Szmygin, Warszawa-Lublin, s. 17-24.

Bunsch E., Ceraficki P., Pyzik W., Sitnik R., Staszkievicz W., Szala M., Kuśmidrowicz-Król A., 2012, *Cyfrowe odwzorowania muzealiów, parametry techniczne, modelowe rozwiązania – raport z prac Grupy Ekspertów ds. Digitalizacji powołanej w ramach NIMOZ*, Warszawa - <http://www.nimoz.pl/pobierz/474.html> [dostęp 02.05.2013].

Bunsch E., Sitnik R., 2011, *Proces digitalizacji 3D. Od założeń do dokumentacji cyfrowej*, „Muzealnictwo”, 52, s. 48-53.

Burton D., Dunlap D. B., Wood L. J., Flaig P. P., 2011, *Lidar Intensity as a Remote Sensor of Rock Properties*, „Journal of Sedimentary Research”, vol. 81, no. 5, s. 339-347.

Cabeza Gonzales M., Soler Estrela A., Manez Pitarch J., Saez Riauelme B., Garfella Rubio J., Pitarch Roig A. M., 2012, *Geometric and constructive study of the Mediterranean Gothic Architecture with virtual models: Church of San Francisco in Morella*, (w:) *Less More Architecture Design Landscape*, (red.) C. Gambardella, Neapol, s. 242-250 - http://www.leviedeimercanti.it/2012/Ebook%20Less_More.pdf [dostęp 02.05.2013]

Cabrelles M., Gálceras S., Navarro S., Lerma J.L., Akasheh T., Haddad N., 2009, *Integration of 3d laser scanning, photogrammetry and thermography to record architectural monuments*, (w:) *Proceedings of the 22nd CIPA Symposium. Kyoto, Japan* - <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/KYOTO/74.pdf> [dostęp 11.12.2013]

Campana S., Sordini M., Bianchi G., Fichera G. A., Lai L., 2012, *3D recording and total archaeology: from landscapes to historical buildings*, „International Journal of Heritage in the Digital Era”, vol. 1, nr 3, s. 444-460 - http://www.academia.edu/3121283/3D_Recording_and_Total_Archaeology_From_Landscapes_to_Historical_Buildings [dostęp 02.05.2013]

Cantofanti M., Brusaporci S., 2012, Architectural 3D modeling in historical buildings knowledge and restoration processes, (w:) *Less More Architecture Design Landscape*, (red.) C. Gambardella, Neapol, s. 331-340 - http://www.leviedeimercanti.it/2012/Ebook%20Less_More.pdf [dostęp 02.05.2013]

Carey Ch. J., Challis K., Kinsey M., Howard A., 2008, *Analysis of the effectiveness of airborne lidar intensity for predicting organic preservation potential of waterlogged deposits*, Birmingham - http://ads.ahds.ac.uk/catalogue/ads-data/arch-827-1/dissemination/pdf/PN4782_Stage1_Report_complete_text.pdf [dostęp 02.05.2013]

Challis K., *Extracting information from lidar intensity images*, Birmingham - <http://www.slideshare.net/kdchallis/the-role-of-lidar-intensity-data-in-interpreting-archaeological-landscapes> [dostęp 02.05.2013].

Challis K., 2006, *Airborne laser altimetry in alleviated landscapes*, "Archaeological Prospection", vol. 13, s. 103-127.

Challis K., Forlin P., Kinsey M., 2011, *A generic toolkit for the visualization of archaeological features on airborne LiDAR elevation data*, „Archaeological Prospection”, vol. 18, issue 4, s. 279-289.

Chase A. F., Chase D. Z., Weishampel J. F., Drake J. B., Shrestha R. L., Slatton K. C., Awe J. J., Carter W. E., 2011, *Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize*, „Journal of Archaeological Science”, vol. 38, issue 2, s. 387-398 - <http://www.caracol.org/include/files/chase/JASarticle.pdf>. [dostęp 02.05.2013]

Chądzyński J.N., 1856, *Historyczno-statystyczne opisy miast starożytnych w Ziemi Sandomierskiej leżących*, t. 3, Warszawa.

Chodorowski, F., 1999, *Inwentaryzacja architektoniczna od Villarda de Honnecourt do komputerowego wspomagania*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Architektura”, z. 18, s. 79 - 103.

Chołuj Z., Głuszek I., 1997, *Program ochrony i zagospodarowania zespołu zamkowego w Iłży*, Radom, [mps w archiwum WOUZ w Radomiu].

Chrysostomou C. Z., Hadjimitsis D.G, Agapiou A., Lysandrou V., Themistocleous K., Demetriadou Chr., 2010, *Application of non-destructive techniques in assessing the quality of stone building materials in cultural heritage structures in Cyprus: use of ultrasonic and 3D laser scanning integrated approach for diagnostic tests* - http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/RELATED%20LITERATURE/EuroMed2010_SP_book.pdf [dostęp 02.05.2013]

Cierniewski J., 2009, *Laboratoryjne pomiary kierunkowego odbicia spektralnego od powierzchni gleby przy zmieniającej się ich szorstkości i oświetleniu*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 19, s. 71-80.

Cieślak A., 2008, *Problematyka ochrony dziedzictwa kulturowego w planowaniu*

przestrzennym - możliwości, niedobory, potrzeby i tendencje, (w:) *Współczesne problemy teorii konserwatorskiej w Polsce*, (red.) B. Szmygin, s. 25-33.

Cieślak-Kopyt M., Micke I., Skubicha E., Twardowski W., 2004, *Radomskie. Alfabet wykopalisk*, Radom.

Ciurysek K., Drozd M., 2013, *Analiza składowych głównych*, Lublin – http://przeklej.net/download.php?file_id=49159. [dostęp 02.05.2013]

Clark R. N., Swayze G. A., Wise R., Livo K. E., Hoefen T. M., Kokaly R. F., Sutley S. J., 2003, *USGS Digital Spectral Library* – <http://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-395/ofr-03-395.html>. [dostęp 02.05.2013]

Coluzzi R., Lanorte A., Lasaponara R., 2010, *On the LiDAR contribution for landscape archaeology and palaeoenvironmental studies: The case study of Bosco dell'Incoronata (Southern Italy)*, „Advances in Geosciences”, 24, s. 125-132 – <http://www.adv-geosci.net/24/125/2010/adgeo-24-125-2010.pdf>. [dostęp 02.05.2013]

Corns A., Fenwick J., Shaw R., 2008, *More than meets the eye*, „Archaeology Ireland”, vol. 22, no. 3, issue 85, s. 34-38.

Corns A., Shaw R., 2009, *High resolution 3-dimensional documentation of archaeological monuments & landscapes using airborne LiDAR*, „Journal of Cultural Heritage”, 10, suppl. 1, s. 72-77.

Cosgrove D., 1998 (1984), *Social formation and symbolic landscape*, Madison.

Cosgrove D., 1989, *Historical considerations of humanism*, (w:) *Remaking Human Geography*, (Section III: Directions), (red.) A. Kobayashi, S. Mackenzie, London-Sydney-Wellington, s. 189-205.

Crow P., Benham S., Devereux B. J., Amable G. S., 2007, *Woodland vegetation and its implications for archaeological survey using LiDAR*, „Forestry”, vol. 80, no. 3, s. 241-252 – <http://forestry.oxfordjournals.org/content/80/3/241.full.pdf>. [dostęp 02.05.2013]

Crutchley S., 2009, *Using LiDAR in archaeological contexts: The English heritage experience and lessons learned*, (w:) *Laser scanning for the environmental sciences*, (red.) G. Heritage, M. Charlton, A. Large, Chichester.

Crutchley S., Crow P., 2009, *The Light Fantastic: using airborne laser scanning in archaeological survey*, Swindon – <http://www.english-heritage.org.uk/publications/light-fantastic/>. [dostęp 02.05.2013]

Crutchley S., Crow P., 2010, *The Light Fantastic. Using airborne lidar in archaeological survey*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, vol. XXXVIII, part 7B: ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5-7, 2010, (red.) W. Wagner, B. Székely – http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part7/b/pdf/160_XXXVIII-part7B.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Cyfrowe odwzorowania muzealiów, parametry techniczne, modelowe

rozwiązania – raport z prac Grupy Ekspertów ds. Digitalizacji powołanej w ramach NIMOZ, 2011, Bunsch E., Ceraficki P., Pyzik W., Sitnik R., Staszkiwicz W., Szala M., Kuśmidrowicz-Król A., 2012, Warszawa - <http://www.nimoz.pl/pobierz/474.html> [dostęp 02.05.2013].

Czerner O., 1974, *Wartość autentyzmu w zabytkach*, „Ochrona Zabytków”, nr 3 (106), s. 180-183.

Czernik E., 2011, *Trendy w architekturze cyfrowej*, „Przestrzeń i FORMA”, nr 15, s. 155-162.

Czyńska K., 2007, *Metody kształtowania współczesnej sylwety miasta na przykładzie panoram Szczecina. Wykorzystanie wirtualnych modeli miast w monitoringu i symulacji panoram*, „Przestrzeń i FORMA”, nr 7-8, s. 215-224.

Czyńska K., Rubinowicz P., 2005, *Komputerowe metody analizy kompozycji sylwet miejskich*, „Przestrzeń i Forma”, nr 2, s. 204-207.

D'ayala, Smars P., 2003, *Architectural and Structural Modelling for the Conservation of Cathedrals* „Journal of Architectural Conservation”, 9, s. 51-72.

Darvil T., 1999, *The historic environment, historic landscapes, and space-time-action models in landscape archaeology*, (w:) *The Archaeology and Anthropology of Landscape. Shaping your Landscape*, (red.) P. J. Ucko, R. Layton, London-New York, s. 104-118.

Davis O., 2012, *Processing and working with LiDAR data in ArcGIS: A practical guide for archaeologists*, Aberystwyth - <http://www.rcahmw.gov.uk/media/259.pdf>. [dostęp 02.05.2013]

Dayczak-Domanasiewicz M., 1973, *Forma i zakres opracowania wstępnych badań historycznych i ikonograficznych*, „Materiały i Sprawozdania Konserwatorskie Województwa Krakowskiego”, s. 37-54.

Devereux B. J., Amable G. S., Crow P., 2008, *Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection*, „Antiquity”, vol. 82, s. 470-479.

Devereux B. J., Amable G. S., Crow P., Cliff A. D., 2005, *The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies*, „Antiquity”, vol. 79, 305, s. 648-660.

Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego – wybrane zagadnienia, 2011, Zapłata R. (red.), Lublin - <http://wiedzaiedukacja.eu/archives/55353> [dostęp 02.05.2013]

Dobrowolski Z., 2005, *Koncepcja społeczeństwa informacyjnego Daniela Bella*, (w:) *Od informacji naukowej do technologii społeczeństwa informacyjnego*. Seria „Nauka-Dydaktyka-Praktyka” nr 78, (red.) B. Sosińska-Kalata, M. Przastek-Samokowa M., , Warszawa, s. 87-106.

Domasłowski W. (red.), 1993, *Profilaktyczna konserwacja kamiennych obiektów zabytkowych*, Toruń.

Domasłowski W. (red.), 2011, *Zabytki kamienne i metalowe, ich niszczenie i*

konserwacja profilaktyczna, Toruń.

Dorninger P., Nothegger C., 2010, *Automated Processing of Terrestrial Mid-Range Laser Scanner Data for Restoration Documentation at Millimeter Scale* - http://www.stadtarchaeologie.at/?page_id=1322 [dostęp 02.05.2013]

Doneus M., Briese C., 2006a, *Digital terrain modeling for archaeological interpretation within forested areas using full-waveform laser scanning*, (w:) *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2006)*, (red.) M. Ioannides, D. Arnold, F. Niccolucci, K. Mania, s. 155-162 - http://luftbildarchiv.univie.ac.at/uploads/media/doneus_briese_155-162.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Doneus M., Briese C., 2006b, *Full-waveform airborne laser scanning as a tool for archaeological reconnaissance*, (w:) *From space to place. Proceedings of the 2nd International Workshop on Remote Sensing in Archaeology*, CNR, Rome, Italy, 4-7 December. *British Archaeological Reports, International Series* 1568, (red.) S. Campana, M. Forte, Oxford, s. 99-105 - http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/2006/Doneus_Briese_ROME.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Doneus M., Briese C., 2012, *Airborne Laser Scanning in forested areas – potential and limitations of an archaeological prospection technique*, (w:) *Remote sensing for archaeological heritage management. Proceedings of the 11th EAC Heritage Management Symposium, Reykjavík, Iceland, 25-27 March 2010*, (EAC Occasional Paper No. 5), (red.) D. C. Cowley, Brussels, s. 59-76.

Doneus M., Briese C., Fera M., Fornwagner U., Griebel M., Janner M., Zingerle M. A., 2007, *Documentation and analysis of archaeological sites using aerial reconnaissance and airborne laser scanning*, (w:) *AntiCIPAting the Future of the Cultural Past. Proceedings of the XXIst International Symposium CIPA*, (red.) A. Georgopoulos, Athens, s. 275-280.

Doneus M., Briese C., Fera M., Janner M., 2008, *Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning*, „*Journal of Archaeological Science*”, vol. 35, s. 882-893.

Doneus M., Doneus N., Briese Ch., Pregeßbauer M., Mandlbauer G., Verhoeven G., 2013, *Airborne laser bathymetry – detecting and recording submerged archaeological sites from the air*, „*Journal of Archaeological Science*”, vol. 40, issue 4, s. 2136-2151 - <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440312005420>. [dostęp 02.05.2013]

Dubik P., 2010, *Inwentaryzacja 3D zespołu obiektów zabytkowych na podstawie danych ze skaningu laserowego*, Kraków [praca dyplomowa - Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie] - http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/WebHome/PRACA_MAGISTERSKA.pdf [dostęp 11.12.2013]

Dudzińska-Nowak J., 2007, *Przydatność skanowania laserowego do badań strefy brzegowej południowego Bałtyku*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 179-187 – <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/dobczyce/vol17a/18.pdf> [dostęp 20.04.2013].

Dudzińska-Nowak J., Wężyk P., 2006, *Możliwości wykorzystania technologii LiDAR w badaniach strefy brzegowej*, (w:) *Zintegrowane zarządzanie obszarami przybrzeżnymi w Polsce – stan obecny i perspektywy*. Brzeg morski zrównoważony, (red.) K. Furmańczyk, Szczecin, s. 47-59.

Dufraisie A., 2012, *Firewood and woodland management in their social, economic and ecological dimension. New perspectives*, (w:) *Wood and charcoal. Evidence for human and natural History*, (red.) E. Badal, Y. Carrinón, M. Macias, M. Ntinou, Valencia, s. 65-73.

Dzienis P., Łukaszewicz A., 2011, *Przygotowanie danych CAD w procesie inżynierii odwrótnej w rzeźbiarstwie*, „Postępy Nauki i Techniki”, nr 7, s. 133-140.

Dziubek, 2009, *Skaner 3D na bazie strukturalnego oświetlenia*, Warszawa [praca magisterska – Uniwersytet Wrocławski] – <http://www.ii.uni.wroc.pl/~anl/MGR/dziubek.pdf> [dostęp 02.05.2013]

El-Hakim S., Beraldin J., A., Picard M., 2002, *Detailed 3D reconstruction of monuments using multiple techniques*, ISPRS-CIPA Workshop, Corfu, Greece, s. 13-18 – <http://www.3dphotomodeling.org/CIPA-Corfu2002.pdf> [dostęp 02.05.2013]

Engström T., Johansson M., 2009, *The use of terrestrial laser scanning in archaeology. Evaluation of a Swedish project, with two examples*, „Journal of Nordic Archaeological Science”, 16, s. 3-13.

Evans T. L. and Daly P. (red.), 2006, *Digital Archaeology. Bridging method and theory*, London – New York.

Falkowski P., Parzyński Z., Uchański J., 2009, *Przygotowawcze prace projektowe modelowego opracowania standardu technicznego inwentaryzacji obiektów architektonicznych przy użyciu technologii naziemnego skaningu laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 19, 2009, s. 111-121.

Fellman J., 1972, *Pomiary zamków obronnych w Polsce. Metody geodezyjne inwentaryzacji powierzchniowej*, „Studia Zespołu Badań nad Polskim Średniowieczem UW i PW”, t. V, Warszawa.

Fernandez J. J., San Jose J., Martinez J., Garcia L. A., Matcos D., Gracia J., 2012, *Study of efficiency for heritage documentation from image and rangebased information. Case study: San Martín Church, Segovia*, (w:) *Less More Architecture Design Landscape*, (red.) C. Gambardella, Neapol, s. 412-420 – http://www.leviedeimercanti.it/2012/Ebook%20Less_More.pdf [dostęp 02.05.2013]

Fijałkowska E., Fijałkowski J., 1973, *Surowce skalne użyte przy budowie zamku w Iłży*, „Zeszyty Przyrodnicze Muzeum Świętokrzyskiego w Kielcach”, nr 1, s. 1-22.

Fiorini A., Urcia A., Archetti V., 2011, *The Digital 3D Survey as Standard Documentation of the Archaeological Stratigraphy* - - http://www.academia.edu/1431725/The_Digital_3D_Survey_as_Standard_Documentation_of_the_Archaeological_Stratigraphy [dostęp 02.05.2013]

Franceschi M., 2009, *Application of terrestrial laser scanner to cyclostratigraphy*, Padova [praca doktorska - Università degli Studi di Padova] - <http://paduaresearch.cab.unipd.it/1659/1/FRANCESCHI.pdf>. [dostęp 02.05.2013]

Franceschi M., Preto N., Hinnov L. A., Huang Ch., Rusciadelli G., 2011, *Terrestrial laser scanner imaging reveals astronomical forcing in the Early Cretaceous of the Tethys realm*, „Earth and Planetary Science Letters”, vol. 305, Issues 3-4, s. 359-370.

Frazik, J.T., 1969, *Analiza materiału, techniki i stratygrafii murów, jako metoda badawcza dzieł architektury zabytkowej*, „Biuletyn Historii Sztuki”, XXXI, 1, s. 121-123. Warszawa.

Frigo M., 2009, *Cultural property vs. Cultural heritage: “battle of concepts” in international law?*, „International Review of the Red Cross”, 86 (854), s. 367-378 - http://www.provincia.asti.it/hosting/moncalvo/pbc/frigo_ricr.pdf [dostęp 11.12.2013]

Frydarczyk B., 1999, *Pejzaż z ruinami*, (w:) *Przestrzeń, filozofia i architektura. Osiem rozmów o poznawaniu, produkowaniu i konsumowaniu przestrzeni*, (red.) E. Rewers, Poznań, s. 167-181.

Fryśkowska A., Kędzierski M., 2010, *Wybrane aspekty integracji danych naziemnego i lotniczego skaningu laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 21, s. 97-107.

Fuksa K., 2010, *Przyczyny błędów lotniczego skaningu laserowego i sposoby podniesienia dokładności chmury punktów*, Kraków [wersja elektroniczna pracy dyplomowej - Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie] - http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/WebHome/Krzysztof_Fuksa.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Gacki J., 1854, *Wiadomość historyczna o biskupich niegdyś dobrach, zamku i mieście Iłży, Iłża*.

Galicka I., Nawoik K., 1956, *Iłża. Baszta zamkowa* [mps przechowywany w archiwum WOUZ w Radomiu], Warszawa.

Genechen van B., Schueremans L., 2009, *Laserscanning for heritage dosumentation / Skanowanie laserem dla dokumentacji dziedzictwa kulturowego*, „Widomości Konserwatorskie”, 26, s. 727-737.

Gediga B., 2003, *Drewniana architektura wczesnośredniowiecznego grodu na Ostrówku w Opolu*, (w:) *Budownictwo i budowanie w przeszłości*, Łódź, s. 161-172.

Gianniou P., Georgopulos A., Tsakir M., Della K., 2000, *The documentation of the medieval entrance of the Rhodes fortification complex*, „XXI International CIPS Symposium, 01-06 October, Athens, Greece” - <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-C53/papers/FP066.pdf> [dostęp 11.12.2013]

Gillings M., Wheatley D., 2002, *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Applications of GIS*, London-New York.

Gładki M., Czajkowski K., 2004, *Zastosowanie cyfrowej fotogrametrii naziemnej w dokumentacji archeologicznej i architektonicznej*, „Monument. Studia i Materiały Krajowego Ośrodka Badań i Dokumentacji Zabytków”, Warszawa, s. 37 - 57.

Golub S., 2000, *Pozostałości dawnego smolarstwa – Siedliszczce Kolonia, Gmina Gubienka*, „Zeszyty Muzealne Pojezierza Łączycko-Włodawskiego we Włodawie”, t. 10, Włodawa.

Gołębniak A., 1998, *Zasady eksploracji i dokumentacji wielowarstwowych stanowisk archeologicznych w miastach*, (w:) *Ewidencja, eksploracja i dokumentacja w praktyce konserwatorstwa archeologicznego*, (red.) Z. Kobylński, seria *Zeszyty generalnego konserwatora zabytków*, Zeszyt I *Archeologia*, Warszawa, s. 73-104.

Gołębniak A., 2004, *Z definicją czy bez – czyli rzecz o warstwach i ich znaczeniu*, (w:) *Archeologia et historia Urbana*, (red.) R. Czaja, G. Nawrońska, M. Rębkowski, J. Tandecki, Elbląg, s. 363-367.

Gołębniak A., 2012, *Problemy i perspektywy współczesnej archeologii (przyczynek do dyskusji o metodyce badań stanowisk w obrębie miast zabytkowych)*, (w:) *Archeologia w obliczu wyzwań współczesności*. Radom: *Korzenie Miasta i regionu*, T. 3, Warszawa, s. 73-106.

Gołębniak A., Morysiński T., 2004, *Czas na nowe technologie*, „Ochrona Zabytków”, Nr 1/2, s. 93-103.

Gojda M., John J., 2013, *Archeologie a letecké laserové skenování krajiny – Archaeology and Airborne Laser Scanning of the Landscape*, Plzeň.

Diego Gonzalez-Aguilera, Pablo Rodriguez-Gonzalvez, Juan Mancera-Taboada, Angel Muñoz-Nieto, Jesus Herrero-Pascual, Javier Gomez-Lahoz and Inmaculada Picon-Cabrera, 2011, *Application of non-destructive techniques to the recording and modelling of paleolithic rock art* (w:) *Laser Scanning, Theory and Applications*, (red.) C. C. Wang - <http://www.intechopen.com/books/laser-scanning-theory-and-applications/application-of-non-destructive-techniques-to-the-recording-and-modelling-of-paleolithic-rock-art> [dostęp 02.05.2013]

Górecka A., 2006, *Analityczne opracowanie fotogrametryczne wybranego*

obiekty sakralnego, Warszawa [mps pracy dyplomowej – archiwum Politechniki Warszawskiej].

Grabowski D., Marciniec P., Mrozek T., Nescieruk p., Rączkowski W., Wójcik A., Zimnal Z., 2008, *Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000*, Warszawa.

Graniczny M., Kamiński M., Piątkowska A., Surąa M., 2012, *Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańcicy (gmina Lanckorona), Pogórze Wielickie, Karpaty zewnętrzne*, „Przegląd Geologiczny”, vol. 60, nr 2, s. 89-94 – http://www.pgi.gov.pl/pl/dokumenty-in/cat_view/218-publikacje/216-przegld-geologiczny/284-2012/291-luty.html?start=25. [dostęp 02.05.2013]

Grossman A., 2006, *Rzeczywista konstrukcyjne osady obronnej kultury łuczyciej w Biskupinie – standardy czy nowość?*, (w:) *Architektura i budownictwo epoki brązu i wczesnych okresów epoki żelaza w Europie Środkowej*, 2006, (red.) B. Gediga, W. Piotrowski, Biskupin-Wrocław, s. 91-123.

Grussenmeyer P., Hanke K., Streilein A., 2002, *Architectural photogrammetry*, (w:) *Digital Photogrammetry*, (red.) M. Kasser, Y. Egels, s. 300-339 – <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.124.1597&rep=rep1&type=pdf> [dostęp 02.05.2013]

Grussenmeyer P., Landes T., Voegtle T., Ringle K., 2008, *Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings*, “The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Vol. XXXVII. Part B5, Beijing.

Guarnieri A., Remondino F., Vettore A., 2006, *Digital photogrammetry and TLS data fusion applied to Cultural Heritage 3D modeling*, “International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI, part 5. ISPRS Commission V Symposium, Drezno, Germany – http://www.cyi.ac.cy/system/files/Guarnieri_et_al_ISPRSV06.pdf [dostęp 11.12.2013]

Guarnieri A., A. Vettore, F. Pirotti, M. Menenti, M. Marani, 2009, *Retrieval of small-relief marsh morphology from Terrestrial Laser Scanner, optimal spatial filtering, and laser return intensity*, “Geomorphology”, vol. 113, Issues 1-2, s. 12-20 – http://www.image.unipd.it/m.marani/publications/TLS%20geomorphology_final.pdf [dostęp 02.05.2013]

Guerquin B., 1984, *Zamki w Polsce*, Warszawa.

Guichard V., 2012, *An example of integrated management of an heritage site: Bibracte – Mont Beuvray (Burgundy, France)*, (w:) *Less More Architecture Design Landscape*, (red.) C. Gambardella, Neapol, s. 1120-1230 – http://www.levie-deimercanti.it/2012/Ebook%20Less_More.pdf [dostęp 02.05.2013]

Guldon Z., 2001, *Staropolski Okręg Przemysłowy*, (w:) *Staropolski Okręg Przemysłowy*, (red.) P. Pierściński, Kielce, s. 32-35

Guldon Z., Kaczor J., 1994, *Górnictwo i hutnictwo w Staropolskim Okręgu Przemysłowym w drugiej połowie XVIII wieku*, Kielce.

Harris E. C., 1989, *Zasady stratygrafii archeologicznej*, tłum. Z. Kobyliński, Warszawa.

Harris E.C., 1999, *Stratygrafia struktur stojących*, (w:) *Metodyka badań archeologiczno-architektonicznych*, (red.) Z. Kobyliński, s. 77-88. Warszawa.

Hantzschel J., Goldberg V., Bernhofer C., 2005, *GIS-based regionalisation of radiation, temperature and coupling measures in complex terrain for low mountain ranges*, „Meteorological Applications”, vol. 12, issue 1, s. 33-42.

Hanus K., 2012, *The LIDAR survey. Application in archaeology*, Kraków [praca licencjacka - Uniwersytet Jagielloński] - http://www.academia.edu/1976373/2012_Hanus_BA_thesis_The_LiDAR_survey._Application_in_archaeology._ [dostęp 31.05.2013].

Harvey H. M., 1999, *Obiekty architektoniczne jako relikty ustratyfikowane. „Badania wykopaliskowe” budynków King's Castle na Bermudach*, (w:) *Metodyka badań archeologiczno-architektonicznych*, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa, s. 107-160.

Heidegger M., 1977 (1952), *Budować, mieszkać, myśleć*, tłum. K. Michalski, (w:) *Budować, mieszkać, myśleć. Esseje wybrane*, tłum. K. Michalski, K. Pomian, M. J. Siemek, J. Tischner, K. Wolicki, Warszawa, s. 316-334.

Hejmowska B., Borowiec N., Badurska M., 2008, *Przetwarzanie lotniczych danych lidarowych dla potrzeb generowania NMT i NMPT*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 18, s. 151-162 - http://fotogrametria.agh.edu.pl/wiki/pub/Publikacje/WebHome/V18_Hejm_Bor_Bad.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Hermon S., Sugimoto G., Mara H., 2007, *The London Charter and its Applicability*, (w:) *VAST2007 - Future Technologies to Empower Heritage Professionals. The 8th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage Incorporating the 5th EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage. Short and Project Papers from VAST2007*, (red.) D. Arnold, A. Chalmers, F. Niccolucci, Budapest, s. 11-14.

Heritage G. L., Large A. R. G., 2009, *Laser Scanning for the Environmental Sciences*, Oxford.

Hesse R., 2010a, *Extraction of archaeological features from high-resolution LIDAR data*, (w:) *14th International Congress „Cultural Heritage and New Technologies” Vienna, 2009*, Vienna, s. 636-642 - http://www.academia.edu/1045403/Extraction_of_archaeological_features_from_high-resolution_LIDAR_data. [dostęp 02.05.2013]

Hesse R., 2010b, *LiDAR-derived Local Relief Models - a new tool for*

archaeological prospection, „Archaeological Prospection”, vol. 17, issue 2, s. 67-72.

Hesse R., 2010c, *Charcoal burning platforms in the southern Black Forest: from LIDAR point cloud to spatial patterns of resource use* [poster] - http://www.academia.edu/3306260/Charcoal_burning_platforms_in_the_southern_Black_Forest_from_LIDAR_point_cloud_to_spatial_patterns_of_resource_use [dostęp 02.05.2013]

Hesse R., 2012, *Detecting former field systems with airborne LIDAR – an overview of current methods*, [poster] - http://www.academia.edu/1941481/Detecting_former_field_systems_with_airborne_LIDAR_-_an_overview_of_current_methods [dostęp 02.05.2013]

Holden N., 2000, *Environment Agency (UK): the use of LIDAR for archaeology*, [referat] - <http://archeo.amu.edu.pl/leszno/abstracts.htm#gojda> [dostęp 11.12.2013]

Holden N., Horne P., Bewley R. H., 2002, *High resolution digital airborne mapping and Archaeology*, (w:) *Aerial archaeology: Developing future practice*, (red.) R. Bewley, W. Raczkowski, Amsterdam (NATO Series 1, vol. 337), s. 173-180.

Hudzik J. P., 1999, *Architektura jako metafora filozofii*, (w:) *Przestrzeń, filozofia i architektura. Osiem rozmów o poznawaniu, produkowaniu i konsumowaniu przestrzeni*, (red.) E. Rewers, Poznań, s. 15-33.

The Infrared Handbook, 1978, Wolfe W., Zissis G. (red.), Washington.

Ioannides M., Hadzilacos G., 2003, *Standardization: A Necessity for the Documentation & Archiving in Cultural Heritage*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences” (CIPA 2003 XIXth Int. Symp., Antalya, Turkey), vol. XXXIV-5/C15, s. 1682-1777.

Isenburg M., 2011, *LAStools: converting, filtering, viewing, gridding, and compressing LIDAR data* - <http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/>. [dostęp 02.05.2013]

Jaakkola A., Kaasalainen S., Hyyppä J., Niittymäki H., Akujärvi A., 2008, *Intensity Calibration and Imaging with SwissRanger SR-3000 Range Camera*, „International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 37, ss. 155-160.

Jachimski J., 1997, *Fotogrametryczna inwentaryzacja obiektów zabytkowych*, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 7, s. 53-60.

Jachimski J., Mierzwa W., Mularz S., Pyka K., 1999, *Cyfrowa fotogrametria i teledetekcja w Polsce*, „Geoinformatica Polonica”, 1, s. 11-36.

Jacobs G., 2004, *What kinds of Projects Benefit Most?*, „Professional Surveyor Magazine” - http://hds.leica-geosystems.com/hds/en/What_kinds_of_projects_benefit.pdf [dostęp 11.12.2013]

- Jałowicki B., 1988, *Spółeczne wytwarzanie przestrzeni*, Warszawa.
- Januszkiewicz K., 2010, *O projektowaniu architektury w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Wrocław.
- Jarząbek J., Kurczyński Z., Woźniak P., 2011, *Informatyczny System Ołony Kraju przed nadzwyczajnymi zagroženiami*, „Geodeta”, nr 5 (192), s. 12-17.
- Jarząbek-Rychard M., 2012, *Automatyczna budowa wektorowych modeli 3D budynków na podstawie danych Lotniczego Skaningu Laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 25, s. 99-109 – http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/archiwum_vol_24/jarzabek_m.pdf. [dostęp 02.05.2013]
- Jaskanis D. (red.), 1996, *Archeologiczne Zdjęcie Polski – metoda i doświadczenia. Próba oceny*, Warszawa.
- Jasieńko J., Matkowski Z., 2003, *Zasolenie i zawilgocenie murów ceglanych w obiektach zabytkowych - diagnostyka, metodyka badań, techniki rehabilitacji*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 14/2003, s. 43-48.
- Jasiewicz J., 2009, *Zastosowanie analiz geoinformacyjnych w badaniu dawnych procesów osadniczych*, (w:) *GIS – platforma integracyjna geografii*, (red.) Z. Zwoliński, Poznań, s. 175-195.
- Jaśkiewicz M., Szczepańska E., Barański J. A., Bigaj L., Antosiewicz T., Jędrychowski I., Burnóg J., 2009, *Możliwości lokalizacji obiektów wysokościo-owych w aspekcie ochrony panoramy miasta Krakowa – analiza*, Kraków – <http://www.bip.krakow.pl/zalaczniki/dokumenty/n/70343> [dostęp 02.05.2013]
- Jędrychowski I., 2007a, *Lotnicze skanowanie laserowe Krakowa*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 17a, s. 339-345 – http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/WebHome/PD_M_Bucior_2006.pdf. [dostęp 02.05.2013]
- Jędrychowski I., 2007b, *Lotnicze skanowanie laserowe w Polsce*, „Polski Przegląd Kartograficzny”, t. 39, nr 2, s. 159-163.
- Jędrychowski I. 2007c, *Numeryczny model zespołów urbanistycznych w Krakowie*, „Roczniki Geomatyki”, t. V, z. 8, s. 199-203.
- Johnston M., 2002, *Behind the Castle Gate: From the Middle Ages to the Renaissance*, Londyn.
- Jones D. M. (red.), 2011, *3D Laser Scanning for Heritage (second edition). Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture*, Swindon.
- Jost H., 1971, *O wypalaniu węgla drzewnego*, „Wierchy”, R. 40.
- Kaasalainen S., Jaakkola A., Kaasalainen M., Krooks A. , Kukko A., 2011, *Analysis of incidence angle and distance effects on terrestrial laser scanner intensity: Search for correction methods*. Remote Sensing, 3(10), s. 2207–2221 – http://www.academia.edu/413415/3D_MODELING_OF_A_ROMANESQUE_CHURCH_IN_TUSCANY_ARCHAEOLOGICAL_AIMS_

AND_GEOMATICS_TECHNIQUES [dostęp 02.05.2013]

Kaasalainen S., Vain A., Krooks A., Kukko A., 2009, *Topographic and Distance Effects in Laser Scanner Intensity Correction*, (w:) *Laser scanning 2009*, (red.) Bretar F., Pierrot-Deseilligny M., Vosselman G., vol. XXXVIII, Paris, s. 219-223.

Kacprzak P., 2012, *Nadleśnictwo Marcule. Historia lasów, gospodarki i administracji leśnej*, Marcule.

Kadłuczka A., *Ochrona zabytków architektury*, t. 1, *Zarys doktryn i teorii*, Kraków 2000.

Kajzer L., 1996, *Wstęp do archeologii historycznej w Polsce*, Łódź.

Kajzer L., 1999, *Archeologiczno-architektoniczne badania terenowe*, (w:) *Metodyka badań archeologiczno-architektonicznych*, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa, s. 23-52.

Kajzer L., Kołodziejski S., Salm J., 2012, *Leksykon zamków w Polsce*, Warszawa.

Kałagate S., Osypiński P., Stachowiak P., 2012, *Relikty późnonowozłotego miedziarza odkryte na stanowisku nr 4 w Wilkowie, gm. Świdnica, pow. zielonogórski, woj. lubuskie*, „Archeologia Środkowego Nadodrza”, t. IX, s. 241-249.

Kamermans H., 2000, *Land evaluation as predictive modelling: a deductive approach*, (w:) *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technology*, (red.) G. Lock, Amsterdam-Berlin-Oxford-Tokyo-Washington, s. 124-146.

Kamińska W., Kamiński K., 2011, *Cyfrowe wizualizacje urbanistyczne – możliwości zastosowań*, „Człowiek i Środowisko”, 35 (1-2), s. 53-72.

Kamiński W., Bojarowski K., Dumalski A., Mroczkowski K., Trystuła J., 2008, *Ocena możliwości wykorzystania skanera laserowego Scanstation firmy Leica w badaniu deformacji obiektów budowlanych*, „Czasopismo Techniczne. Środowisko”, z. 2-Ś/2008, s. 139-147.

Karczewski M., Koliński K., Walentynowicz J., 2011, *Wykorzystanie skanera 3D do analizy uszkodzeń silników spalinowych*, „Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej”, rok LII, nr 1 (184), s. 59-66.

Karta Londyńska - *The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage*, red. Hugh Denard, King's College London, 7 lutego 2009 - www.londoncharter.org - tłumaczenie na j. polski: http://historiasztuki.uni.wroc.pl/projekty_badawcze/doc/kart_londynska_PL.pdf [dostęp 02.05.2013]

Stereńczak K., Ciesielski M., 2012, *Detekcja Karta Krakowska 2000 - dziesięć lat później*, 2011, red. A. Kadłuczka, Kraków.

Każmierczyk, J., Rozpędowski J., Różycka E., Paprocki J., 1962. *Sprawozdanie z badań przeprowadzonych w roku 1962 przez Katedrę Historii Architektury Polskiej Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław [mps w archiwum MWKZ/Radom].

Kaźmierczyk J., 1969, *Z badań archeologicznych na grodzisku i zamku w Iłży*. Wrocław.

Kekeba A. D., 2008, *Establishing relationship between thermal radiation and intensity of 3D terrestrial laser scan for slope stability analysis*, - http://www.itc.nl/library/papers_2008/msc/aes/kekeba.pdf [dostęp 02.05.2013]

Kersten T. P., 2006, *Combination and Comparision of Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for the Generation of Virtual Models in Cultural Heritage Applications*, (w:) *The e-volution of Information Communication Technology in Cultural Heritage. Where Hi-Tech Touches the Past: Risks and Challenges for the 21st Century Project papers from the joint event CIPA / VAST / EG / EuroMed*, (red.) M. Ioannides, D. Arnold, F. Niccolucci, K. Mania, s. 207-214.

Kędzierski M., Walczykowski P., Fryškowska A., 2008, *Wybrane aspekty opracowania dokumentacji architektonicznej obiektów zabytkowych*, "Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji", vol. 18, s. 221-230.

Kędzierski M., Zapłata R., Fryškowska A., Wilińska M., Deliś P., 2012, *Metody teledetekcyjne i fotogrametryczne w ochronie, konserwacji i inwentaryzacji zamków w ruinie*, (w:) *Zamki w ruinie – zasady postępowania konserwatorskiego*, (red.) B. Szmygin, P. Molski, Warszawa-Lublin, s. 147-158.

Kępczyńska-Walczak A., 2008, *Technologie cyfrowe dla dziedzictwa kulturowego - model opracowania danych o zabytkach architektury*, (w:) *Nowoczesne metody gromadzenia i udostępniania wiedzy o zabytkach*, (red.) A. Seidel-Grzesińska, K. Stanicka-Brzezicka, Wrocław, s. 11-17.

Kępczyńska-Walczak A., 2011, Walczak M. B., *Nowoczesne technologie w dokumentacji i interpretacji dziedzictwa architektonicznego*, „Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarcie i Ochronie Środowiska”, nr 1, s. 4-6.

Kępczyńska-Walczak A., 2008, *Zastosowanie technologii cyfrowych w ewidencji zasobów dziedzictwa kulturowego*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki”, t. LIII, z. 2/2008, s. 66-75.

Kiryk F., 1994, *Rozwój urbanizacji Małopolski w XIII-XVI wieku*, Kielce.

Kisilowska H., 2000, *Prawne podstawy ochrony dziedzictwa kulturowego w ustawie o ochronie dóbr kultury*, (w:) *Problemy zarządzania dziedzictwem kulturowym*, (red.) K. Gutowskiej, Warszawa, s. 91-97.

Klak P., 2011, *Praktyka digitalizacyjna zabytków i muzealiów*, „Muzealnictwo”, 52, s. 54-60.

Klejnberg H., 2010, *Zastosowanie trójwymiarowych wizualizacji planów zagospodarowania przestrzennego w konsultacjach społecznych*, „Człowiek i Środowisko”, 34 (1-2), s. 27-42.

Kobyliński Z., 1998, *Minimalne wymogi konserwatorskie w zakresie metod eksploracji stanowisk archeologicznych i sporządzania ich podstawowej dokumentacji*,

(w:) *Ewidencja, eksploracja i dokumentacja w praktyce konserwatorstwa archeologicznego*, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa, s. 59-72.

Kobyliński Z., 2005, *Archeologia lotnicza w Polsce. Osiem dekad wzlotów i upadków*, Warszawa.

Kobyliński Z., 2009, *Własność dziedzictwa kulturowego*, Warszawa.

Kokalj Ž., Zakšek K., Oštir K., 2010, *Archaeological application of an advanced visualisation technique based on diffuse illumination*, (w:) 30th EARSeL Symposium: Remote Sensing for Science, Education and Culture, (red.) R. Rainer, Paris, s. 113-120.

Kołodziej J., 2011, *Rewitalizacja dziedzictwa przemysłowego*, Bydgoszcz-Warszawa - https://www.mrr.gov.pl/aktualnosci/fundusze_europejskie_2007_2013/Documents/30_kd_20012012a.pdf#page=121 [dostęp 11.12.2013]

Kondracki J., 2000, *Geografia regionalna Polski*, Warszawa.

Konopka M. (red.), 1981, *Zdjęcie archeologiczne Polski*, Warszawa.

Konopka M., Szmygin B., 2009, *Vademecum konserwatora zabytków*, cz. I, *Międzynarodowe prawo ochrony dziedzictwa kultury*, Warszawa - <http://www.icomos-poland.org/images/publikacje/VADEMECUM%20ICOMOS%20calosc.pdf> [dostęp 02.05.2013]

Konwencja o ochronie dziedzictwa architektonicznego Europy. Grenada, 3 października 1985 roku - European Treaty Series (ETS) / Série des traités européens (STE) Nr 121 - <http://www.zabytki-tonz.pl/pliki/konwencja%20o%20archit.pdf>

Konwencja ramowa Rady Europy w sprawie znaczenia dziedzictwa kulturowego dla społeczeństwa, 2005, Faro.

Konwencja w sprawie ochrony światowego dziedzictwa kulturalnego i naturalnego, przyjęta w Paryżu dnia 16 listopada 1972 r. przez Konferencję Generalną Organizacji Narodów Zjednoczonych dla Wychowania, Nauki i Kultury na jej siedemnastej sesji (Dz.U. z 1976 r. nr 32, poz. 190, załącznik) - http://www.unesco.pl/fileadmin/user_upload/pdf/Konwencja_o_ochronie_swiatowego_dziedzictwa.pdf

Kosakowski E., 1996, *Dokumentacja konserwatorska prac przy elewacjach – zastosowanie współczesnych metod programowania i prezentacji*, „Wiadomości Konserwatorskie Woj. Krakowskiego”, *Problemy konserwacji elewacji budowli zabytkowych*, 5, s. 105-117.

Kosiniak L., 2012, *Kwerenda archiwalna i biblioteczna (archeologiczno-architektoniczna - aspekt dokumentacyjny i konserwatorski) w zakresie podstawowego rozpoznania obiektu zabytkowego pod względem architektonicznym. Rozpoznanie architektoniczne i charakterystyka ruin zamku w Iłży*, Warszawa-Radom-Iłża, s. 57. [mps i wersja elektroniczna w archiwum UKSW].

Kościuk J., 2006, Wybrane problemy wykorzystania współczesnych technologii w dokumentacji remontowo-konserwatorskiej, (w:) *Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych*, (red.) J. Jasieńko, Wrocław, 123-39 - http://labscan3d.pwr.wroc.pl/images/stories/pdf/skanowanie_3D_REMO_2006.pdf [dostęp 02.05.2013]

Kościuk J., 2009a, *Skanowanie górnego tarasu świątyni Hatszepsut w Deir el-Bahari*, „Rapid Prototyping & Reverse Engineering”, Raport, s. 21-24.

Kościuk J., 2009b, *3D scanning and modeling of the upper terrace of the Hatshepsut Temple in Deir el-Bahari as an example of architectural heritage documentation for restoration purposes* (Skanowanie i modelowanie 3d górnego tarasu świątyni Hatszepsut w Deir el-Bahari jako przykład dokumentacji dla celów konserwatorskich), „Wiadomości Konserwatorskie”, 26, s. 705-17.

Kościuk J., 2013, *Modern 3D scanning in modeling, documentation and conservation of architectural heritage / Współczesne skanowanie laserowe 3D w modelowaniu, dokumentacji i konserwacji zabytków architektury*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 32, s. 82-88.

Kowalczyk M., 2012, *Badanie przemieszczenia obiektu względem kamery na podstawie analizy obrazów sekwencyjnych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 24, s. 165-175.

Kowalski W., Zalasinska K., 2011, *Prawo ochrony dziedzictwa kulturowego w Polsce - próba oceny i wnioski*, (w:) *System ochrony zabytków w Polsce - analiza, diagnoza, propozycje*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s. 17-34.

Krasnodębski D., Olczak H., [w druku], *Badania archeologiczne na terenie polskiej części Puszczy Białowieskiej – stan obecny, problemy i perspektywy*.

Krawczyk J., 2010, *Lasy Drugiej Rzeczypospolitej w dawnych zapisach prasowych. Wydarzenia zwykła i niezwykła*, Warszawa - http://www.google.pl/books?hl=pl&lr=lang_pl&id=pJ-yJfjb-wUC&oi=fnd&pg=PA3&dq=historia+lasu&ots=C2T0XyIxxY&sig=oRxguFUASaxmxhLCBc6iH8F7LkE&redir_esc=y#v=onepage&q=historia%20lasu&f=false [dostęp 11.12.2013]

Krystek M., 2011, *Petrografia surowców skalnych na zamku w Iłży i na zamku w Radomiu. Przyczynek do poznania surowców skalnych zamków w Iłży i Radomiu*, (w:) *Iłża miasto biskupów krakowskich na tle regionu. Materiały z sesji naukowej poświęconej dziejom regionu iłżeckiego pod tytułem „Przeszłość w służbie przyszłości”*, Iłża, s. 17-34.

Krystoń W., 2007, *Współczesny model turystyki*, „Cognoscimus”, nr 1 - http://usfiles.us.szc.pl/pliki/plik_1168680906.pdf [dostęp 31.01.2013]

Kubrak Z., 1988, *Smolarstwo w puszczy Solskiej w okresie gospodarki folwarczno-pańszczyźnianej (XVI-XIX w.)*, „Rocznik Przemyski, t. XXIV-XXV, s. 181-194.

Kujawski E., Yongjing T., 2002, *O potrzebie badań osiadania wysokich*

budowli zabytkowych i ich elementów, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki”, t. XLVII, z. 4/2002, s. 423-427.

Kunkel R., 2000, *Problemy zarządzania dziedzictwem kulturowym - dokumentacja*, (w:) *Problemy zarządzanie dziedzictwem kulturowym*, (red.) K. Gutowska, Warszawa, s. 129-134.

Kurczyński Z., 2012, *Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego a dyrektywa powodziowa*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 209-217 – <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/wroclaw-2012/Kurczynski.pdf>. [dostęp 02.05.2013]

Kurczyński Z., Bakuła K., [w druku], *Generowanie referencyjnego numerycznego modelu terenu o zasięgu krajowym w oparciu o lotnicze skanowanie laserowe w projekcie ISOK*, (w:) *Measurement technologies in surveying. Geodezyjne technologie pomiarowe*, (red.) Z. Kurczyński, s. 50-68.

Kurczyński Z., Gotlib D., Olszewski R., Kaczyński R., Butowtt J., Uchański J., 2007, *Numeryczny Model Terenu – podstawy, budowa i zastosowanie*, (w:) *Systemy informacji geograficznej w praktyce (studium zastosowań)*, (red.) M. Kunza, Toruń, s. 59-109.

Lamas J., Melero A., Zalama E., Gómez-Garcia-Bermejo J., 2010, *A 3D snake approach for extracting plans of heritage buildings*, “Proceedings of the 27th ISARC, Bratislava, Slovakia”, s. 524-533 – http://www.iaarc.org/publications/fulltext/A_3D_snake_approach_for_extracting_plans_of_heritage_buildings.pdf [dostęp 02.05.2013]

Lamorski R., 2008, *Tendencje stosowania narzędzi cyfrowych dla prezentacji i popularyzacji dziedzictwa kulturowego*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki”, t. LIII, z. 2/2008, s. 76-81.

Large A., Heritage G., 2009 *Laser Scanning for the Environmental Sciences*, Oxford.

Larsson H., Hallberg T., Elmqvist M., Gustafsson F., 2010, *Background and target analysis from a Ladar perspective – Reflectance and penetration properties*, Linköping.

Laudański Z., Mańkowski D. R., Flaszka M., 2012, *Eksploracyjna analiza czynnikowa w badaniach struktur zespołu zmiennych obserwowanych*, „Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin”, nr 263, s. 75-89 – <http://members.upcpoczta.pl/d.mankowski3/files/B-1-16.pdf>. [dostęp 02.05.2013]

Lechowicz Z., 2011, *Zamek górny w Iłży w świetle konserwatorskich badań architektoniczno-archeologicznych wykonanych w 2009 roku*, (w:) *Iłża miasto biskupów krakowskich na tle regionu. Materiały z sesji naukowej poświęconej dziejom regionu iłżeckiego pod tytułem „Przeszłość w służbie przyszłości”*, Iłża, s. 35-76.

Legut-Pintal M., 2012, *LIDAR w badaniach nad średniowiecznymi fortyfikacjami i siedzibami obronnymi. Przykład założeń obronnych księstwa biskupów*

wrocławskich – http://www.academia.edu/3102476/LiDAR_w_badaniach_nad_sredniowiecznymi_fortyfikacjami_i_siedzibami_obronnymi._Przyklad_zalozen_obronnych_ksiestwa_biskupow_wroclawskich [dostęp 02.04.2013].

Lemaire T., 1997, *Archaeology between the invention and the destruction of the landscape*, "Archaeological Dialogues", 4 (1), s. 5-21.

Lerma J. L., Seguí A. E., Navarro S., Haddad N., Cabrelles M., Akasheh T., 2011, *Integration of laser scanning and imagery for photorealistic 3D architectural documentation*, (w:) *Laser Scanning, Theory and Applications*, (red.) W. Chau-Chang – <http://www.intechopen.com/books/laser-scanning-theory-and-applications/integration-of-laser-scanning-and-imagery-for-photorealistic-3d-architectural-documentation> [dostęp 02.05.2013]

Letellier R., 2007, *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places. Guiding Principles*, Los Angeles – http://philipmarshall.net/Teaching/rwuhp175/Letellier_2008_Guiding_Principles_Getty_Guidance.pdf [dostęp 02.05.2013]

Lewicka M., 2012, *Kulturowe i społeczne wartości mazowieckich zamków w Liwie i Iłży*, (w:) *Zamki w ruinie– Zasady postępowania konserwatorskie*, (red.) B. Szmygin, P. Molski, Warszawa- Lublin.

Lewicki J., 1997, *Dzieje i architektura zamku w Iłży. Problematyka badawcza i konserwatorska*, (w:) *Siedziby biskupów krakowskich na terenie dawnego woj. sandomierskiego*, Kielce, s.56-86.

Lewicki, J., 2000, *Mur ceglany jako przedmiot badań architektonicznych*, „Ochrona Zabytków”, 53, s. 252-266, Warszawa.

Lewicki J., 2009, *Aktualne problemy konserwatorskie zamków biskupów krakowskich*, (w:) *Zamki, grody, ruiny. Waloryzacja i ochrona*, (red.) M. A. Lewicka, Warszawa-Białystok, s. 171-187.

Lisdorf J., 2011, *Köhler über der Kohle. Ausgrabung von Holzkohlemeiler am Tagebau Jänschwalde*, „Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier-Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg”, z. 8, s. 213-223.

Llobera M., 1996, *Exploring the topography of mind. GIS, social space and archaeology*, „Antiquity”, vol. 70, s. 612-622.

Llobera M., 2000, *Understanding movement: a pilot model towards the sociology of movement*, (w:) *Beyond the map. Archaeology and spatial technology*, (red.) G. Lock, Amsterdam–Berlin–Oxford–Tokyo–Washington, s. 5-84.

Lock G., Stančić Z. (red.), 1995, *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*, London.

Loedeman H., 1999, *Methods of Capturing Reality Can Be Improved*, „GIM International”, 13, s. 48-51.

Loedeman H., 2000, *Construction Surveyors Cut out by 3D-Scanning?*, "GIM International", 14, s. 6-9.

Loisios D., Tzelepis N., Nakos B., 2007, *A methodology for creating Analytical hill-shading by combining different lighting directions*, (w:) *Proceedings of the 23rd International Cartographic Conference, Moscow, August 2007*, Moscow – http://www.mountaincartography.org/publications/papers/ica_cmc_sessions/5_Moscow_Session_Mountain_Carto/moscow_loisios.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W., 2006, *GIS. Teoria i praktyka*, (red.) A. Magnuszewski, przeł. M. Lenartowicz, A. Magnuszewski, P. Werner, D. Woronko, Warszawa.

Ludemann T., 2011, *Scanning the historical and scientific significance of charcoal production – local scale, high resolution kiln site anthracology at the landscape level*, "SAGVNTVM EXTRA", 11, s. 23-24 – <http://ojs.uv.es/index.php/saguntumextra/article/view/1546/920> [dostęp 02.05.2013]

Ludemann, T., 2013, *Airborne laser scanning of historical wood charcoal production sites – a new tool of kiln site anthracology at the landscape level*, "SAGVNTVM EXTRA", 13, s. 247-252 – https://www.sapac.es/charcoal/saguntum/extra13/se13_247.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Łoboda L., 2001, *Staropolski Okręg Przemysłowy w XVI-XVII wieku*, (w:) *Region świętokrzyski. Mit czy rzeczywistość?*, (red.) J. Wijaczka, Kielce, s. 159-180.

Łukaszewicz J. W., 2010, *Badania konserwatorskie stanu zachowania zabytków architektonicznych, ceglanych murów i ruin*, (w:) *Trwała Ruina II. Problemy utrzymania i adaptacji. Ochrona, konserwacja i adaptacja zabytkowych murów*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s. 97-109.

Łysiak S., 1961, *Wypał węgla drzewnego na Górnym Śląsku w świetle badań etnograficznych*, „Zaranie Śląskie”, R. 24, z.1, s. 99-106.

Maciaszek J., 2008, *Skanowanie laserowe jako nowa technologia inwentaryzacji i wizualizacji zabytkowych komór solnych*, „Gospodarka Surowcami Mineralnymi”, t. 24, z. 3/2, s. 197-212.

Maciejewski K., 2005, *Wrózenie z fusów? Dylematy fotografującego obiekty archeologiczne*, (w:) *Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii*, (red.) J. Nowakowski, A. Prinke, W. Rączkowski, s. 157-163.

Madejski J. K., 2004, *Itża zapamiętana*, Radom.

Maj Z., 2012, *Ochrona dziedzictwa przemysłowego w Polsce*, (w:) *Archeologia Przemysłowa w Polsce*, (red.) S. Januszewski, Wrocław, s. 41-56.

Małachowicz E., (współpraca) Małachowicz M., 2007, *Konserwacja i rewitalizacja architektury w środowisku kulturowym*, Wrocław.

Małachowicz M., 2010, *Mury budowli zabytkowych*, (w:) *Trwała Ruina II*.

Problemy utrzymania i adaptacji. Ochrona, konserwacja i adaptacja zabytkowych murów, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s.11-120.

Marczak J., Koss A., 2009, *Fizyka we współczesnych badaniach i konserwacji dzieł sztuki*. „Wiadomości Konserwatorskie”, nr 26, s. 65-76.

Marczewska K., 2010, *Opracowanie ortofotografii obiektu architektonicznego na podstawie jego pomiaru laserowym skanerem naziemnym*, Warszawa [praca dyplomowa - archiwum Politechniki Warszawskiej]

Markiewicz J. S., 2012, *Aspekty integracji danych fotogrametrycznych dla generowania 3D modeli wybranych obiektów przestrzeni miejskiej*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, 24, s. 199-209.

Markiewicz J., 2012, *Integracja danych z różnych źródeł fotogrametrycznych przy budowie modelu 3D obiektu*, Warszawa [mps pracy dyplomowej - archiwum Politechniki Warszawskiej].

Marmol U., *Lotniczy skaning laserowy. Postawy* [prezentacja on-line] – http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/Dydaktyka/TelInzSrMaterSt/Podstawy_lotniczy_IS.pdf [dostęp 02.05.2013]

Marmol U., 2009a, *Integracja danych lidarowych i fotogrametrycznych w procesie automatycznego wykrywania obiektów*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 20, s. 275-284.

Marmol U., 2009b, *Wykrywanie pojedynczych drzew na podstawie zintegrowanych danych lidarowych i fotogrametrycznych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 19, s. 279-286.

Masini N., Coluzzi R., Lasaponara R., 2011, *On the airborne lidar contribution in archaeology: from site identification to landscape investigation*, (w:) *Laser scanning, theory and applications*, (red.) C. C. Wang, s. 263-290 – <http://www.intechopen.com/books/laser-scanning-theory-and-applications/on-the-airborne-lidar-contribution-in-archaeology-from-site-identification-to-landscape-investigatio>. [dostęp 02.05.2013]

McManama-Kearin L. K., 2013, *The Use of GIS in Determining the Role of visibility in the Siting of Early Anglo-Norman Stone Castles in Ireland*, Oxford.

McPherrona S., P., Hublina J. -J., 2009, *Structured light scanning for high-resolution documentation of in situ archaeological finds* - <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030544030800160X> [dostęp 02.05.2013]

Medeksza S., *Sprawozdanie z badań architektoniczno-archeologicznych prowadzonych na terenie zamku w Iłży w 1971-72*, Wrocław 1972.

Medeksza S., 1978, *Analiza architektoniczno-konserwatorska substancji zabytkowej zamku i podzamcza w Iłży*, [mps w archiwum. WUOZ w Radomiu], Wrocław.

Medeksza S., *Projekt konserwacji ruin zamku i podzamcza w Iłży faza II*

– etap I, projekt konserwacji przedbramia [projekt przechowywany w archiwum WUOZ w Radomiu], Wrocław 1976.

Medeksza S., *Projekt konserwacji ruin zamku i podzamcza w Iłży faza II – etap II, projekt konserwacji zamku górnego*, [projekt przechowywany w archiwum WUOZ w Radomiu], Wrocław 1976.

Mierczyk Z., Zygmunt M., Drozd T., Gawlikowski A., Gietka A., Jakubaszek M., Kaszczuk M., Knysak P., Młodzianko A., Muzal M., Ostrowski R., Piotrowski W., Wojtanowski J., 2013, *Wielospektralna głowica laserowa do rozpoznawania i analizy elementów terenu z przeznaczeniem do zastosowania na platformach bezzałogowych*, (w:) *Abstract book. The 2nd International Conference on: „Measurement Technologies in Surveying”* 23-25 may 2013, Warsaw–Józefosław.

Mierzwa W. Rzonca A., 2003, *Skanowanie powierzchni jako nowa metoda rejestracji i interpretacji szczegółów architektonicznych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 13, s. 427-434.

Mills J., Barber D., 2003. *An Addendum to the Metric Survey Specifications for English Heritage – the collection and archiving of point cloud data obtained by terrestrial laser scanning or other methods*. Version 11/12/2003 - <http://www.heritage3d.org/> [dostęp 02.05.2013].

Minta-Tworzowska D., 2000, *Świat archeologii w świetle źródeł archeologicznych*, „Acta historica et museologica Universitatis Silesianae Opaviensis”, 5, s. 49-60.

Minta-Tworzowska D., 2006, *Interdyscyplinarność badań naukowych a archeologia*, (w:) *Studia i materiały do dziejów Pałuk*, t. VI, XXV lat badań archeologiczno-architektonicznych w Łekneńskim kompleksie osadniczym, XXV lat badań archeologiczno-architektonicznych w Łekneńskim kompleksie osadniczym, XXV lat badań archeologiczno-architektonicznych w Łekneńskim kompleksie osadniczym, (red.) A. Wyrwa, Poznań, s. 17-27.

Minta-Tworzowska D., 2011, *Badania nad kulturą wizualną i ich wpływ na konstruowanie obrazów przeszłości przez archeologów*, (w:) *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego – wybrane zagadnienia*, (red.) R. Zapłata, Lublin, s. 315-334 – <http://wiedzaiedukacja.eu/archives/55353> [dostęp 02.05.2013]

Minta-Tworzowska D., 2011, *Człowiek i rzeczy w perspektywie archeologicznej (czyli rzeczy w perspektywie antropocentrycznej)*, (w:) *Współczesne oblicza przeszłości*, (red.) A. Marciniak, D. Minta-Tworzowska, M. Pawleta, Poznań, s. 39-61.

Misiewicz K., 1998, *Metody geofizyczne w planowaniu badań wykopaliskowych*, Warszawa.

Misiewicz K., 2006, *Geofizyka archeologiczna*, Warszawa.

Mitka B., 2007, *Możliwości zastosowania naziemnych skanerów laserowych*

w procesie dokumentacji i modelowania obiektów zabytkowych, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 17b, s. 525-534.

Mlekuż D., 2012, *Messy landscapes: lidar and the practices of landscaping*, (w:) *Interpreting archaeological topography – airborne laser scanning, 3D data and ground observation*, (red.) R. Opitz R., R. Cowley, Oxford (Occasional publications of the aerial archaeology research group, no. 5), s. 90-101 – http://www.academia.edu/2550191/Messy_landscapes_lidar_and_the_practices_of_landscaping [dostęp 11.12.2013]

Molski P., 2010, *Ochrona zabytkowych murów obronnych*, (w:) *Trwała Ruina II. Problemy utrzymania i adaptacji. Ochrona, konserwacja i adaptacja zabytkowych murów*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s. 121-128.

Molski P., 2011, *Waloryzacja dziedzictwa architektonicznego w systemie ochrony zabytków*, (w:) *System ochrony zabytków w Polsce - analiza, diagnoza, propozycje*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s. 55-60.

Morawiak M., 2012, *Potrzeba włączenia działań oddolnych w proces planowania miasta*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki”, t. LVII, z. 1/2012, s. 63-71

Moszyński K., 1967, *Kultura ludowa Słowian*, t. 1, Warszawa.

Myszczyński J., 2009, *Rola koks i żelaza w industrializacji świata*, „Wiedza i Edukacja” - <http://wiedzaiedukacja.eu/archives/18115>

Nicer T., Szmygin B., 2010, *Problemy nośności murów w trwałej ruinie*, w:] *Trwała Ruina II. Problemy utrzymania i adaptacji. Ochrona, konserwacja i adaptacja zabytkowych murów*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s. 129-154.

Niemiec M., Józków G., Borkowski A., 2009, *Monitorowanie zmian ukształtowania powierzchni terenu spowodowanych erozją wodną z wykorzystaniem naziemnego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 20, s. 333-342.

Nierychlewska A., 2002, *Budownictwo obronne powiatu radomskiego w okresie od XIII do XVIII wieku*, Radom.

The Nizhny Tagil Charter for the Industrial Heritage, July, 2003 - http://www.mnactec.cat/ticcih/industrial_heritage.htm [dostęp 02.05.2013 r.]

Norberg-Schulz Ch., 2000 (1971), *Bycie, przestrzeń i architektura*, tłum. B. Gadomska, Warszawa.

Nowak H., 2012, *Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie*, Wrocław.

Nowakowski J., 2010, *Airborne Laser Scanning (ALS) w polskiej archeologii. Próby, doświadczenia, wyniki* [referat wygłoszony na konferencji XIX Konferencja Sprawozdawcza. Badania archeologiczne na Nizinie Wielkopolsko-Kujawskiej w latach 2008-2009, Poznań].

Nowakowski J., Prinke A., Rączkowski W., (red.), 2005, *Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii*, Poznań.

- Nowakowski P., 2012, *Itża miasto kościelne*, Radom.
- Nyrek A., 1992, *Kultura użytkowania gruntów uprawnych, lasów i wód na Śląsku od XV do XX wieku*, „Acta Universitas Wratislaviensis”, no 1361, 177 s..
- Oceanography from space: Proceedings*, 1965, Ewing G. C. (red.), Woods Hole MA.
- Ochrona budynków przed korozją biologiczną*, 2001, (red.) J. Ważny i J. Karyś, Warszawa.
- Oke T. R., 2000, *Boundary layer climates*, New York.
- Olek M. K., 2010, *Wykorzystanie map ewidencyjnych w modelowaniu budynków z lotniczego skaningu laserowego*, Kraków [praca dyplomowa – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie] – http://fotogrametria.agh.edu.pl/wiki/pub/PraceMagisterskie/WebHome/Praca_dyplomowa_Olek.pdf [dostęp 20.04.2013].
- Ołędzki J., 1959, *Materiały do tradycyjnych zajęć pozarolniczych*, ‘Etnografia Polska’, t. 2.
- Olszewski R., *Generalizacja informacji wysokościowej w bazie danych obiektów topograficznych* – <http://www.geoinformatica.agh.edu.pl/pdfy/Seminarium/Referat2.pdf>. [dostęp 02.05.2013]
- Onsurez L., 2011, *The history and use of aerial and space-based remote sensing and ground based terrestrial laser scanning in archaeology*, California - <http://www.escholarship.org/uc/item/22c8c01v#page-1> [dostęp 02.05.2013]
- Osiński J. H., 1782, *Opisanie polskich żelaza fabryk*.
- Oštir K., 2007, *Remote sensing in archaeology – from optical to lidar*, Ljubljana – http://isa.univ-tours.fr/download/ET2007_Ostir2.pdf. [dostęp 02.05.2013]
- Paelke V., Filin S., Eggert D., Barnea S., 2010, *Adaptive LIDAR scanning of historic buildings supported by augmented reality user interface*, (w:) EuroMed2010. 3rd International Conference dedicated on Digital Heritage, (red.) M. Ioannides M., D. Fellner, A. Georgopoulos, D. Hadjimitsis, Budpaest, s. 65-70.
- Paradis-Grenouillet S., Servera Vives G., Allée Ph., Miras Y., Riera Mora S., Bal-Serin M-C., Julia R., 2011, *Forest management and territorial practices during the Early Middle Ages in the medium mountain of mont Lozère (France). A combined approach of charcoal and palynological analyses*, (w:) V International Meeting of charcoal analysis. The charcoal as cultural and biological heritage. Saguntum extra 11, (red.) E. Badal, Y. Carrion, E. Grau, M. Garcia, M. Ntinou, s. 115-116.
- Pawleta M., Igielska A., 2009, *Analiza dokładności wybranych modeli naziemnych skanerów laserowych firmy Zooler+Fröhlich GmbH*, Kraków [praca dyplomowa – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie] – <http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/>

WebHome/Pawleta_Igielska_praca_dyplomowa.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Pawleta M., 2011, *Zabawa w przeszłość. Współczesne formy popularyzowania oraz przekazywania wiedzy na temat odległej przeszłości*, (w:) *Sztuka dla dziecka - tradycja we współczesności*, (red.) G. Leszczyński, Poznań, s. 225-241.

Pawleta M., Zapłata R., 2011, *Obrazowanie przeszłości w świetle nowych mediów (technologii cyfrowych)*, (w:) *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego - wybrane zagadnienia*, (red.) R. Zapłata, Lublin, s. 335-358;

Pawleta M., Zapłata R., [w druku], *Nowomediałne kreacje przeszłości - przeszłość wizualnie zapośredniczona*, (w:) 4 tom serii „Cyfrowe spotkania z zabytkami”, red. A. Seidel-Grzesińska, K. Stanica-Brzezicka.

Pawlicki B.M., 2004, *Monitoring stanu zachowania obiektów zabytkowych przy wykorzystaniu współczesnych systemów informatycznych - Baza danych zabytków architektury dla celów konserwatorskich*, Kraków.

Pawłowska K., 2010, *Partycypacja społeczna w planowaniu przestrzennym ze szczególnym uwzględnieniem ochrony dziedzictwa kulturowego*, (w:) *Wartości w planowaniu przestrzennym*, (red.) A. Fogel, Z. Cieślak, Warszawa, s. 147-184.

Payn A., 2009, *Laser Scanning for Archaeology. A Guide to Good Practice*, (red.) K. Niven - http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/LaserScan_Toc [dostęp 02.05.2013]

Paysen A., 2012, *Charcoal research before modern anthropology*, (w:) *Wood and charcoal. Evidence for human and natural History*, (red.) E. Badal, Y. Carrinón, M. Macias, M. Ntinou, Valencia, s. 269-274.

Parcak S.H., 2009, *Satellite remote sensing for archaeology*, London.

Perakis K., 2012, *Semi-automatic detection of burial mounds in forested areas*, „Advances in Geosciences”, s. 1-12 - http://publications.nr.no/1338295017/Trier-Zortea-Larsen_EARSeL_2012_paper.pdf [dostęp 02.05.2013].

Pesci A., Teza G., 2008, *Effects of surface irregularities on intensity data from laser scanning: An experimental approach*, „Annals of Geophysics”, vol. 51, no. 5/6, s. 839-848.

Peters Ch., 2012, *Naziemne skanowanie laserowe i trójwymiarowa wizualizacja największej jaskini lodowej na świecie* - https://faro.blob.core.windows.net/sitefinity/case-studies-library/de_us_eisriesenwelt_ls_pl_12_2012.pdf?s-fvrsn=6 [dostęp 02.05.2013]

Pfeifer N., Brise Ch., 2007, *Geometrical aspects of airborne laser scanning and terrestrial laser scanning*, „IAPRS”, vol. XXXVI, part 3 / W52, s. 311-319.

Pfeifer N., Dorninger P., Haringb A., Fanb H., 2007, *Investigating terrestrial laser scanning intensity data: quality and functional relations*, (w:) *8th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques*, s. 328-337 Zurich - http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-geo_1932.pdf [dostęp 02.05.2013]

Pfeifer N., Dorninger P., Nothegger C., *Surveying Structures and Buildings*

with Laser Scanning – Future Areas of Application, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, TUV – [prezentacja] Internationaler Sanierungskongress, Wien 2007-06-21-2007-06-22, (w:) "International Property Management Congress", (2007).

Piaskowski J., 1959, *Metalurgia w końcu XVIII wieku w świetle dzieła Krzysztofa Kluka „Rzeczy kopalnych osobliwie zdalniejszych szukanie, poznanie i zażycie*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki”, 4/2, s. 271-303.

Piekarczyk J., 2009, *Właściwości spektralne nieużytków porolnych i odłogów na podstawie danych naziemnych, lotniczych i satelitarnych*, Poznań.

Pilecki R., 2012, *Zastosowanie naziemnego skanera laserowego*, „Czasopismo Techniczne”, 9-M, Z. 26, rok 109, s. 223-233 - http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i5/i7/i6/i4/r15764/PileckiR_ZastosowaniaNaziemnego.pdf [dostęp 02.05.2013]

Pierściński, P., Łutowicz, C., Guldon, Z., Mijas, H., Martyna, E., 2001, *Staropolski okręg przemysłowy*, Kielce.

Piskorski M., 2008, *Studium lokalizacji obiektów wysokościowych w Gdańsku*, „Urbanista” nr 6/2008, s. 16-19.

Płoszajski G. (red.), 2008, *Standardy w procesie digitalizacji obiektów dziedzictwa kulturowego*, Warszawa.

Pragacz E. P., 2012, *Wtórne przetwarzanie danych z naziemnego skaningu laserowego dla potrzeb inwentaryzacji architektury*, Warszawa [mps pracy dyplomowej – archiwum Politechniki Warszawskiej].

Przyborowska-Klimczak A., 2010, *Międzynarodowa współpraca w dziedzinie ochrony dziedzictwa kulturalnego*, (w:) *Prawna ochrona zabytków*, (red.) T. Gardowska, J. Sobczak, Toruń.

Pyka K., Rzonca A., 2006, *Badanie jakości radiometrycznej ortofotogramów sporządzonych na drodze integracji fotogrametrii bliskiego zasięgu i skaningu laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji „, vol. 16, s. 515-526.

Radwan M., 1959, *Interpretacja odsoniętych mielerzy świętokrzyskich*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej”, r. 7, nr 3, s. 373-376.

Raport o digitalizacji dóbr kultury oraz gromadzenia, przechowywania i udostępniania obiektów cyfrowych w Polsce 2009-2020, 2009, Warszawa - Ministerstwo Kultury i Dziedzictwa Narodowego - <http://www.kongreskultury.pl/library/File/RaportDigitalizacja/Program%20digitalizacji%202009-2020.pdf> [dostęp 02.05.2013].

Raport o stanie lasów w Polsce 2011, czerwiec 2012, Warszawa.

Rączkowski W., 2002, *Archeologia lotnicza – metoda wobec teorii*, Poznań.

Rączkowski W., 2008, *Antropogeniczne formy krajobrazowe powstałe w pradziejach i wczesnym średniowieczu w dorzeczu środkowej Wieprzy*, „Landform Analysis”, vol. 7, s. 143-153.

Rączkowski W., 2012, *Metody w archeologii*, (w:) *Przeszłość społeczna. Próba konceptualizacji*, (red.) S. Tabaczyński, A. Marciniak, D. Cyngot, A. Zalewska, Poznań, s. 325-365.

Remote sensing for archaeological heritage management, 2011, Cowley D. C. (red.), Brussels.

Renfrew C., Bahn P., 2002, *Archeologia. Teorie. Praktyka. Metody*, tłum. M. Kasprzycka, K. Lewartowski, R. Oracz, D. Stabrowska, Warszawa.

Reua De J., Pletsa G., Verhoevena G., De Smedtb P., Batsa M., Cherrettéc B., De Maeyerc W., Deconynckd J., Herremansa D., Lalood P., Van Meirvenneb M., De Clercq W., 2013, *Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage* - <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440312003949> [dostęp 02.05.2013]

RIEGL Laser Measurements System: Data sheets RIEGL VQ-580, RIEGL LMS-680i - <http://www.riegl.com/nc/products/airborne-scanning/> [dostęp 02.05.2013]

Riley M. A., Artz J. A., Whittaker W. E., Lillie R. M., Sorensen A. C., 2010, *Archaeological prospection for precontact burial mounds using light detection and ranging (LiDAR) in Scott and Crow Wing Counties, Minnesota, Iowa City* - <http://www.osa.admin.state.mn.us/documents/LiDARreportEdited.pdf> [dostęp 11.12.2013]

Rinaudo F., Bornaz L., Ardisson P., 2007, *3D High Accuracy Survey and Modelling for Cultural Heritage Documentation and Restoration*, (w:) *VAST2007 – Future Technologies to Empower Heritage Professionals. The 8th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage Incorporating the 5th EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage. Short and Project Papers from VAST2007*, (red.) D. Arnold, A. Chalmers, F. Niccolucci, Budapest, s. 19-23.

Rottensteiner F., Briese C., 2002, *A new method for building extraction in urban areas from high-resolution lidar data*, „International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, vol. XXXIV, part 3A, s. 295-301 - <http://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/part3/papers/paper082.pdf>. [dostęp 02.05.2013]

Rouba B. J., 2008a, *Autentyczność i integralność zabytków*, „Ochrona zabytków” nr 4, s. 37-57.

Rouba B.J. 2008b, *Teoria w praktyce polskiej ochrony, konserwacji i restauracji dziedzictwa kultury*, (w:) *Współczesne problemy teorii konserwatorskiej w Polsce*, (red.) B. Szmygin, Warszawa-Lublin, 101-120.

Różycki S., 2007, *Trójwymiarowe modele miast – tworzenie i zastosowania*, „Archiwum Fotogrametrii i Kartografii i Teledetekcji”, vol. 20, s. 709-716.

Różańska W., Słomska I., 1974, *Przydatność węgla drzewnych do starożytnego wytopu żelaza w świetle badań nad ich reaktywnością*, „Kwartalnik Historii

Nauki i Techniki", t. 19, z. 4, s. 724-736.

Róžański W., Słomska I., 1980, *Przydatność mieszanek węgla drzewnych do wytopu żelaza w starożytnych dymarkach z rejonu Gór Świętokrzyskich określana na podstawie badań ich reaktywności*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki”, t. 25, z. 2, s. 279-386.

Rösler H., 2007, *Engergiegewinnung mit Umweltfolgen: Holzkohlemeiler im Tagebau Jänschwalde*, „Archäologie in Berlin und Brandenburg”, s. 125-127.

Rösler, H., Bönisch, E., Schopper, F., Raab, T., Raab, A., 2012. *Pre-industrial charcoal production in southern Brandenburg and its impact on the environment*, (w:) *Landscape Archaeology between Art and Science*, (red.) S. Kluiving, E. Guttman-Bond, Amsterdam, s. 167-178.

Rutzinger M., Rüb B., Höfle B., Vetter M., 2010, *Change detection of building footprints from airborne laser scanning acquired in short time intervals*, „ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5-7”, 2010, „International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, (red.) W. Wagner, B. Székely, B., Vol. XXXVIII, Part 7B, s. 475-480.

Rybicka E., 2003, *Modernizowanie miasta. Zarys problematyki urbanistycznej w nowoczesnej literaturze polskiej*, Kraków.

Rychlik M., 2007, *Skanery 3d – wrota do wirtualnego świata*, „Design News Polska”, s. 36-40 - http://designnews.pl/download/DN4%2823%29_2007_b_website.pdf [dostęp 02.05.2013]

Rzonca A., 2013, *Integracja danych pozyskiwanych metodami fotogrametrycznymi i skanowania laserowego przy inwentaryzacji obiektów zabytkowych*, Kraków [wydanie elektroniczne].

Salm J., 2011, *Problematyka konserwatorska dawnego zamku biskupów krakowskich w Iłży*, (w:) *Iłża miasto biskupów krakowskich na tle regionu. Materiały z sesji naukowej poświęconej dziejom regionu iłżeckiego pod tytułem „Przeszłość w służbie przyszłości”*, Iłża, s. 127-140.

Salm J., Salm B., Szygendowski W., *Projekt konserwacji i adaptacji zamku górnego w Iłży*.

Samson B., Toruellas W., 2007, *Tutorial: Fiber lasers and their applications in defense*, Orlando.

Schulz T., Ingeand H., 2004, *Terrestrial Laser Scanning - Investigations and Applications for High Precision Scanning*, (w:) „Proceedings of the FIG Working Week, May 23-27, 2004, Athens, Greece”, s. 1-4.

Shan J., Toth C. K., 2008, *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing*, CRC Press.

Shaw R., Corns A., 2011, *High resolution LiDAR specifically for archaeology: are we fully exploiting this valuable resource?*, (w:) *Remote sensing for archaeological*

heritage management, (red.) D. C. Cowley, Brussels (EAC Occasional Paper No. 5), s. 77-86.

Shell C.A., 2005, *The Loughcrew Landscape Project*, „PAST. The Newsletter of the Prehistoric Society”, 51, s. 1-3.

Shell C.A., Roughley C.F., 2004, *Exploring the Loughcrew landscape: A new approach with airborne lidar*, „Archaeology Ireland”, vol. 18, no. 2, issue 68, s. 20-23.

Sitnik R., 2010, *Odwzorowanie kształtu obiektów trójwymiarowych z wykorzystaniem oświetlenia strukturalnego*, „Zeszyt „Mechanika””, nr 231, Warszawa.

Sitnik R., 2011, *Opis planowania procesu digitalizacji 3D, procedur postępowania podczas digitalizacji oraz tworzenia dokumentacji cyfrowej*, (red.), E. Bunsch, P. Jamski, T. Kalota, L. Karecka, M. Kłos, J. Marciniak, C. Mazurek, R. Sitnik, M. Szala, M. Werla, T. Zaucha, A. Kuśmidrowicz-Król, Galas D., (w:), *Zalecenia dotyczące planowania i realizacji projektów digitalizacyjnych w muzealnictwie – raport przygotowany przez zespół ekspertów powołany przy Narodowym Instytucie Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów*, s. 1-8 - <http://www.nimoz.pl/pobierz/472.html> [dostęp 02.05.2013].

Skrzyński G., 2013, *Wyniki oznaczeń taksonomicznych flory porastającej ruiny murów zamku biskupów krakowskich w Iłży (woj. mazowieckie)*, Warszawa [mps w archiwum UKSW].

Sławik Ł., Zapłata R., 2010, *LIDAR w badaniach archeologicznych* [prezentacja na konferencji *Metody geofizyczne w archeologii polskiej*, Warszawa].

Sławik Ł., Zapłata R., 2010, *LIDAR zmienia archeologię*, „Geodeta”, 10 (185), s. 42-44.

Sławik Ł., Zapłata R., 2011, *LIDAR – metodyka badań stanowisk archeologicznych*, (w:) *Środowisko i kultura*, t. 9: *Metody geoinformacyjne w badaniach archeologicznych*, (red.) J. Jasiewicz, M. Lutyńska, M. Rzeszewski, M. Szmyt, M. Makohonienko, Poznań, s. 87-8.

Sławik Ł., Zapłata R., 2011, *LIDAR w archeologii – zagadnienia wprowadzające*, (w:) *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego – wybrane zagadnienia*, (red.) R. Zapłata, Lublin, s. 207-232 - <http://wiedzaiedukacja.eu/archives/55353> [dostęp 02.05.2013]

Sławik Ł., Zapłata R., 2011, *Lotniczy skanowanie laserowe w badaniu i ochronie dziedzictwa archeologicznego*, (w:) *Środowisko i kultura*, t. 9: *Metody geoinformacyjne w badaniach archeologicznych*, (red.) J. Jasiewicz, M. Lutyńska, M. Rzeszewski, M. Szmyt, M. Makohonienko, Poznań, s. 89-90.

Soria-Medin A., Martínez J., Buffara-Antunes A. F., Arias P., González-Jorge H., 2011, *An approach to extracting façade features using the intensity value of terrestrial laser scanner with mathematical morphology*, “Proceedings of the

28th ISARC, Seoul, Korea", s. 552-557 - <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/S16-3.pdf> [dostęp 02.05.2013]

Staiger R., 2003, *Terrestrial Laser Scanning – Technology, Systems and Applications*, (w:) "TS12 Positioning and Measurement Technologies and Practices. 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003" - http://www.fig.net/pub/morocco/proceedings/ts12/ts12_3_staiger.pdf [dostęp 02.05.2013]

Stathopoulou E. K., Lerma J. L., Georgopoulos A., 2010, *Geometric documentation of the Almoina Door of the Cathedra of Valencia*, (w:) *EuroMed2010. 3rd International Conference dedicated on Digital Heritage*, (red.) M. Ioannides, D. Fellner, A. Georgopoulos, D. Hadjimitsis, Budapest, s. 60-64.

Stereńczak K., 2009, *Lotniczy skaniny laserowy (LIDAR) w badaniach na rzecz ochrony przyrody*, „Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej”, R. 11, z. 2 (21), s. 135-143 - http://cepl.sggw.waw.pl/wydawnictwa/sim21_pdf/131_sim21.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Stereńczak K., 2010, *Technologia lotniczego skanowania laserowego jako źródło danych w półautomatycznej inwentaryzacji lasu*, „SYLWAN”, 154 (2), s. 88-99.

Stereńczak K., Ciesielski M., Zalewska K., 2012, *Detekcja budynków na terenach o dużej lesistości na przykładzie Parku Narodowego Gór Stołowych*, „Roczniki geomatyki”, t. X, z. 5 (55), s. 67-78.

Stewarski E., Piwowarski W., 2007, *Geotechniczne i geofizyczne badania dla oceny stateczności skarp*, „Geoinżynieria”, 3 (14), s. 36-38.

Stepień E., 2005, *Leśnictwo a gospodarka przestrzenna*, (w:) *Ochrona środowiska w gospodarce przestrzennej*, (red.) L. Ryszkowski, A. Kędziora, Poznań, s. 127-144.

Stojakovic V., Tepavcevic B., 2009, *Optimal methods for 3D modeling of devastated architectural objects*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, vol. XXXVIII-5/W1 - http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/5-W1/pdf/stojakovic_tepavcevic.pdf [dostęp 02.05.2013].

Szadkowski A., Mehrburg A., Sochacka Ż., luty 2010, *Prosto z samochodu. Mobilne skanowanie laserowe obiektów liniowych*, „Geodeta”, Nr 2 (177), s. 10-15 - http://www.riegl.com/fileadmin/user_upload/Press/177-PROSTO_Z_SAMOCHODU.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Standardy w procesie digitalizacji obiektów dziedzictwa kulturowego, 2008, Płoszajski G. (red.), Warszawa.

Stępiński J., 2012, *Wpływ fosforu na mikrostrukturę starożytnych wyrobów żelaza*, [praca doktorska] - <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy2/10551/full10551.pdf>

Smojlik T., 2005, *Drzewo wielce użyteczne – historia lipy drobnolistnej (Tilia cordata) w Puszczy Białowieskiej*, „Rocznik Dendrologiczny”, Vol. 53, s. 55-64.

Szałygin J., 1997, *Karta Ewidencyjna Zabytków Architektury i Budownictwa – Ruina zamku biskupów krakowskich*, [archiwum Narodowy Instytut Dziedzictwa].

Szmygin B., 2000, *Kształtowanie koncepcji zabytku i doktryny konserwatorskiej w Polsce w XX wieku*, Lublin.

Szydłowski T., 1919, *Ruiny Polski: opis szkód wyrządzonych przez wojnę w dziedzinie zabytków sztuki na ziemiach Małopolski i Rusi Czerwonej z 227 rycinami i mapką orientacyjną*, Kraków.

Świerczyńska E., 2012, *Charakterystyka odbicia wiązki skanera laserowego od powierzchni lodowców* - <http://sympozjumpolarne2012.us.edu.pl/STRESZCZENIA%2034%20Sympozjum%20Polarne.pdf> [dostęp 02.05.2013]

Święcka E., 2011, *Czy zostaną tylko dokumentacje...?*, (w:) *System ochrony zabytków w Polsce - analiza, diagnoza, propozycje*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s. 106-109.

Štutlar B., 2011, *The use of lidar-derived relief models in archaeological topography. The Kobarid region (Slovenia) case study*, „Arheološki Vestnik“, 62, s. 393-432 – http://www.academia.edu/1280992/The_use_of_lidar-derived_relief_models_in_archaeological_topography._The_Kobarid_region_Slovenia_case_study. [dostep 02.05.2013]

Tabaczyński S., 1987, *Archeologia średniowiecza. Problemy, źródła, metody, cele badawcze*, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk-Łódź.

Tabaka S., *Klasyfikacja odbicia światła od materiałów stosowanych na odbłyśniki* - http://przemyslawtabaka.info/materialy/czynniki_osw/publikacja1.pdf [dostęp 11.12.2013]

Tabaka P., 2007, *Klasyfikacja odbicia światła od materiałów stosowanych na odbłyśniki*, Seminarium Polsko-Ukraińskie „Problemy Elektroenergetyki”, Łódź 11-12 czerwca 2007 r., s. 253-256 - http://przemyslawtabaka.info/materialy/czynniki_osw/publikacja1.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Tajchman, J., 2008a, *W sprawie konieczności ustanowienia standardów wykonywania projektów dotyczących prac planowanych w zabytkach architektury*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 24, s. 17 – 47.

Tajchman J., 2008b, *Podstawowe zagadnienia metody konserwacji i restauracji dziedzictwa architektonicznego w zakresie zabytkowych budowli*, (w:) *Współczesne problemy teorii konserwatorskiej w Polsce*, red. B. Szmygin, Warszawa-Lublin, s. 155-167.

Tajchman J., 2009, *Metoda konserwacji i restauracji dziedzictwa architektonicznego w zakresie zabytkowych budowli*, Toruń.

Tapete D., Casagli N., Luzi G., Fanti R, Gigli G., Leva D, 2013, *Integrating radar and laser-based remote sensing techniques for monitoring structural deformation of archaeological monuments*, „Journal of Archaeological Science”, 40,

s. 176-189.

Tobolczyk M., 2000, *Narodziny architektury*, Warszawa.

Thugutt J., 1914, *Przewodnik po Królestwie Polskim. Kieleckie i Radomskie*, Warszawa.

Tomaszewski A., 1999, *Historia architektury – badania zabytków architektury – konserwacja zabytków*, (w:) *Metodyka badań archeologiczno-architektonicznych*, (red.) Z. Kobyliński, Warszawa, s. 9-21.

Tomaszewski A., 2000, *Dziedzictwo i zarządzanie*, (w:) *Problemy zarządzania dziedzictwem kulturowym*, (red.) K. Gutowska, Warszawa, s. 7-11.

Tompalski P., 2012, *Wykorzystanie wskaźników przestrzennych 3D w analizach cech roślinności miejskiej na podstawie danych z lotniczego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 443-456.

Toś C., Wolski B., Zielina L., 2009, *Geodezyjny monitoring zabytkowej budowli ziemnej metodą skaningu laserowego*, „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2-B/2009, z. 9. r. 106, s. 347-354.

Toś C., Wolski B., Zielina L., 2010, *Tachimetry skanujące. Aplikacje technologii skanowania w budowie szczegółowych modeli obiektów inżynierskich*, Kraków.

Trier, O. D., Pilo, L. H., 2012, *Automatic detection of pit structures in airborne laser scanning data*, „Archaeological Prospection” 19, s. 103–21.

Trier Ø. D., Zortea M., 2012, *Semi-automatic detection of cultural heritage in LIDAR data*, (w:) *Proceedings of the 4th GEOBIA*, Rio de Janeiro, s. 123-128 – <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18/2012/05.17.16.52/doc/039.pdf>. [dostęp 02.05.2013]

Trochonowicz M., 2009, *Problematyka oceny stanu wilgotnościowego w obiektach adaptowanych do współczesnej funkcji*, (w:) *Adaptacja obiektów zabytkowych do współczesnych funkcji użytkowych*, (red.) B. Szmygin, Warszawa-Lublin, s. 159-172.

Trochonowicz M., 2010, *Obiekty murowe w ruinie. Wpływ czynników degradujących na ich zachowanie*, (w:) *Trwała Ruina II. Problemy utrzymania i adaptacji. Ochrona, konserwacja i adaptacja zabytkowych murów*, (red.) B. Szmygin, Lublin-Warszawa, s. 173-184.

Twardowski M., Marmol U., 2012, *Wizualizacja i przetwarzanie chmury punktów lotniczego skaningu laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 457-466 – http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/archiwum_vol_23/Twardowski%20Marmol.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Tyszczyk S., 2006, *Mechaniczny proces dokumentacji - zagrożenie czy szansa dla procesu interpretacji?* (w:) *Badania archeologiczne na Górnym Śląsku i ziemiach pogranicznych w latach 2003-2004*, Katowice, s. 259-273.

Tyszczyk S., 2007, *Techniki Multimedialne – Nowy rozdział sposobów*

dokumentacji zabytków, „Rocznik Muzeum Górnośląskiego w Bytomiu”, Archeologia, 17, s. 153-176 - <http://www.archeotyszczuk.republika.pl/techniki%20multimedialne.pdf> [dostęp 02.05.2013]

Uchański J., Falkowski p., Sörensen L., 2008, *Problematyka standaryzacji w dziedzinie inwentaryzacji obiektów architektonicznych technikami skaningu laserowego naziemnego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 18b, s. 633-641.

Uchański Ł., Soerensen L., 2011, *Technologiczne aspekty inwentaryzacji obiektów zabytkowych służącej do celów konserwatorskich przy użyciu naziemnego skaningu laserowego*, (w:) *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego - wybrane zagadnienia*, (red.) R. Zapłata, s. 233-246, Lublin - <http://wiedzaiedukacja.eu/archives/55353> [dostęp 02.05.2013]

Urbańczyk P., 1987 *Stratygrafia archeologiczna w świetle poglądów E.C. Harrisa*, „Przegląd Archeologiczny”, t. 34, s. 253-276.

Urbańczyk P., 1988 *Zastosowanie stratygraficznej analizy dokumentacji terenowej stanowiska wielowarstwowego do rekonstrukcji historii użytkowania Wzgórza Zamkowego w Czersku (na podstawie wyników badań z lat 1974-1983)*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej”, nr 4, s. 587-615.

Urbańczyk P., 2012, *Stratygrafia*, (w:) *Przeszłość społeczna. Próba konceptualizacji*, (red.) S. Tabaczyński, A. Marciniak, D. Cyngot, A. Zalewska, Poznań, s. 378-398.

Urbański J., 1997, *Zrozumieć GIS – Analiza informacji przestrzennej*, Warszawa.

Vatan M., Selbesoğlu M. O., Bayram B., 2009, *The use of 3D laser scanning technology in preservation of historical structures / Wykorzystanie technologii skanowania 3D w konserwacji obiektów zabytkowych*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 26, s. 659-669.

Virtinghoff-Reiesch A. von, 1961, *Der Oberlausitzer Wald*, Hannover.

Voegtler T., Schwab I., Landes T., 2008, *Influences of different materials on the measurements of a terrestrial laser scanner (TLS)*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, vol. XXXVII. Part B5, s. 1061-1066 - http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5_pdf/182.pdf [dostęp 02.05.2013]

Vögtle, T., Steinle, E., 2004, *Detection and recognition of changes in building geometry derived from multitemporal laser scanning data*, „International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Istanbul, Turkey, Vol. XXXV, Part B2, s. 428-433.

Vosselman G., Maas, H-G., 2010. *Airborne and terrestrial laser scanning*, Dunbeath.

Waligórski T., 2009, *Pomiary w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie z wykorzystaniem skanowania laserowego 3D (Survey in the Bear Cave in Kletno with*

the use of the 3D laser scanner), „Wiadomości Konserwatorskie”, 26, s. 697-704.

Warchoń A., 2009, *Wykorzystanie wskaźnika intensywności odbicia w procesie pozyskiwania sieci drogowej z danych lidarowych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 20, s. 433-444.

Warchoń A., 2010, *Aplikacja współczynnika intensywności do klasyfikacji pokrycia terenu na obszarach rolniczych*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich”, nr 6, s. 59-66.

Warchoń A., 2012, *Analiza przestrzennego rozkładu współczynnika intensywności odbicia jako wstęp do jego normalizacji*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska”, z. 59, nr 1/II, s. 367-373.

Wawro K., 2011, *Inwentaryzacja architektoniczna ołtarza w kościele św. Idziego w Krakowie na podstawie danych z naziemnego skaningu laserowego*, Kraków [praca dyplomowa - Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie] - http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/WebHome/praca_mgr_Wawro.pdf [dostęp 02.05.2013]

Ważny J., Kurpik W., 2005, *Konserwacja drewna zabytkowego w Polsce. Historia i stan badań*, „Nauka”, nr 1, s. 101-121.

Wężyk P., 2006, *Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie*, „Rocznik Geomatyki”, t. IV, z. 4, s. 119-132.

Wężyk P., 2008, *Modelowanie chmury punktów ze skaningu laserowego w obszarze korony drzew*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 18, s. 685-695.

Wężyk P., Mlost J., Pierzchalski M., Wójtowicz-Nowakowska A., Szwed P., 2012, *Wzmocnienie procesu klasyfikacji obiektowej wielospektralnych ortofotomap lotniczych danymi z lotniczego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 467-476.

Wężyk P., Szostak M., Tompalski P., 2010, *Aktualizacja baz danych SILP oraz Leśnej Mapy Numerycznej w oparciu o dane lotniczego skaningu laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 21, s. 437-446.

Wężyk P., Tompalski P., 2012, *Przykłady modelowania 2.5D oraz 3D w aplikacjach środowiskowych w oparciu o dane z lotniczego skanowania laserowego*, (w:) GIS – teledetekcja środowiska, (red.) Z. Zwoliński, Poznań, s. 115.

Wheatley D., 1993, *Going over old ground: GIS, archaeological theory and the act of perception*, (w:) CAA92. *Computing the past: Computer applications and quantitative methods in archaeology*, 1992, (red.) J. Andersen T. Madsen, I. Scollar, Aarhus, s. 133-137.

Wheatley D., Gillings M., 2000, *Vision, perception and GIS: developing enrichen approaches to the study of archaeological visibility*, (w:) *Beyond the map*.

Archaeology and spatial technology, (red.) G. Lock, Amsterdam–Berlin–Oxford–Tokyo–Washington, s. 1-27.

Więcek B., Perkowski J., Wysocki M., 2010, *Zastosowanie termowizji do badań architektonicznych obiektów zabytkowych*, „Prace Instytutu Elektrotechniki”, z. 245, s. 31-40.

Wikiera M., 1996, *Kuźnice i huty starostwa Radoszyce w XV-XIX w.*, „Zeszyty Historyczne”.

Wilsona L., Rawlinsonb A., Mitchella D. S., Pritchardb D. K., McGregora H. C., 2011, *3D documentation of global historic sites: The “Scottish Ten” project and its applications for cultural heritage*, “Proceedings of 3D-ARCH Cobference - ISPRS Trento 2011 Workshop, 2-4 March 2011, Trento, Italy”, “The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Vol. XXXVIII-5/W16 - <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-5-W16/39/2011/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-39-2011.pdf> [dostęp 02.05.2013]

Wiśniewski, J., 1909-11, *Dekanat itżecki*, Radom.

Witakowski P., Kurczyński Z., Wójtowicz J., Kujawińska M., Dymny G., Gawęcki P., Woźniak M., 2009, *Bezdotykowe metody obserwacji i pomiarów obiektów budowlanych. Instrukcje, Wytyczne, Poradniki*, nr 443/2009, Warszawa.

Wojciechowski T., Borkowski A., Perski Z., Wójcik A., 2012, *Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne)*, „Przegląd Geologiczny”, vol. 60, nr 2, s. 95-102 – https://www.pgi.gov.pl/en/dokumenty-in/doc_view/714-dane-lotniczego-skaningu.html [dostęp 11.12.2013]

Wojkowski J., Caputa Z., 2009, *Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie albedo na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*, „Prądnik. Parce Muzeum Szafera”, 19, s. 153-168.

Wołejko E., 2012, *Deterioracja naturalnych kamienie budowlanych przez mikroorganizmy*, „Budownictwo i Inżynieria Środowiskowa”, 3, s. 153-158.

Wódz J., 1989, *Społeczna rola przestrzeni – wprowadzenie do rozważań socjologicznych nad przestrzenią*, (w:) *Przestrzeń znacząca. Studia socjologiczne*, (red.) J. Wódz, Katowice,, ss. 9-25.

Wójcik J., 2013, *Inwentaryzacja i modelowanie 3D elementów Twierdzy Kraków na podstawie danych skanowania laserowego*, [praca dyplomowa] - <http://geo.ur.krakow.pl/download/pobierz.php?file=prace/wojcik.pdf> [dostęp 02.05.2013]

Wrona S. K., 1986, *The profits of CAAD can be increased by an integrated participatory design approach*, (w:) *Computer-Aided Architectural Design Futures [CAAD Futures Conference Proceedings]*, s. 53-57 - <http://cumincaad>.

architexturez.net/system/files/pdf/82ab.content.pdf [dostęp 11.12.2013]

Wróbel M., Wysocki J., 2004, *Sprawozdanie z badań powierzchniowych na obszarze 79-68, Radom* [mps w archiwum WUOZ/Radom].

Wylęzoł M., 2006, *Inżynieria odwrotna w doskonaleniu konstrukcji*, „Modelowanie Inżynierskie”, 32, s. 485-490.

Wyrobisz A., 1987, *Źródła pisane w badaniach nad zabytkami architektury*, „Rocznik PP PKZ”, 1987, z. 1, s. 47-61.

Wysocka E., 2007, *Sztuka ruchomego obrazu. Ochrona, konserwacja i rekonstrukcja w dobie mediów cyfrowych*, „Ochrona Zabytków”, nr 3, s. 29.

Wysocki J., 2000, *Sprawozdanie z archeologicznych badań powierzchniowych AZP obszaru 79-67 woj. Mazowieckie, woj. Świętokrzyskie* [mps - archiwum Narodowego Instytutu dziedzictwa w Warszawie]

Wysokiński L., 2011, *Ocena stateczności skarp i zboczy. Zasady wyboru zabezpieczeń. Instrukcja*, Warszawa.

Wytyczne Techniczne G-3.4 pt.: „Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury”, 1981, GUGiK, Warszawa.

Zaczek-Peplinska J., Falaciński P., 2011 *Evaluation of possibilities to apply laser scanning for estimation of conditions of concrete*, „Report on Geodesy”, No. 1 (91), s. 539-546.

Zaczek-Peplinska J., Osińska-Skotak K., Gergont K., 2012, *Możliwości wykorzystania zmian intensywności odbicia promienia laserowego do oceny stanu konstrukcji betonowej*, (w:) *Inżynierskie zastosowania geodezji*, (red.) A. Plichta, I. Wyczalek, s. 41-54.

Zagajewski B., Jarocińska A., Olesiuk D., 2008, *Metody i techniki badań geoinformatycznych*, Warszawa – http://www.telegeo.wgsr.uw.edu.pl/bz/Zagajewski_Jarocinska_Olesiuk_cpo.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Zaimovic-Uzunovic N., Lemes S., 2010, *Influences of surface parameters on laser 3D scanning*, 10th International Symposium on Measurement and Quality Control 2010, September 5-9 – <http://www.am.unze.ba/papers/0026%20INFLUENCES%20OF%20SURFACE....pdf> [dostęp 02.05.2013]

Zakšek K., Oštir K., Kokalj Z., 2011, *Sky-view factors as a relief visualization technique*, „Remote Sensing”, 3, s. 398-415.

Zakšek, K., Oštir, K., Pehani P., Kokalj, Ž., Polert E., 2012, *Hill-shading based on anisotropic diffuse illumination*, „GIS Ostrava 2012 – Surface models for geosciences”, January 23- 25, 2012, Ostrava – http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2012/sbornik/papers/zaksek.pdf. [dostęp 02.05.2013]

Zalasińska K., 2010, *Dziedzictwo kulturowe w planowaniu przestrzennym*, (w:) *Wartości w planowaniu przestrzennym*, (red.) A. Fogel, Z. Cieślak, Warszawa, s. 83-115.

Zalecenia dotyczące planowania i realizacji projektów digitalizacyjnych w

muzealnictwie, 2011, red.] zespół ekspertów powołany przez Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów: E. Bunsch, P. Jamski, T. Kalota, L. Karecka, M. Kłos, J. Marciniak, C. Mazurek, R. Sitnik, M. Szala, M. Werla, T. Zaucha, A. Kuśmidrowicz-Król, D. Galas, Warszawa.

Zapłata R., 2006, *Archeologiczne studia nad przestrzenią. Zastosowanie Systemów Informacji Geograficznej w badaniach nad wczesnośredniowiecznym osadnictwem grodowym na Pomorzu* [mps rozprawy doktorskiej w archiwum UAM].

Zapłata R., 2010, *LIDAR w archeologii. Pilotażowy projekt zastosowania lotniczego skaningu laserowego w archeologii – wybrane tereny na obszarze woj. wielkopolskiego i łódzkiego*, [mps w archiwum Instytutu Archeologii UKSW], Warszawa.

Zapłata R., 2011a, *Opracowanie merytoryczne tematu: Metody komputerowe w archeologii: teoria i praktyka aplikacji komputerowych w badaniach archeologicznych*, [mps w archiwum UKSW], Warszawa.

Zapłata R., 2011b, *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego – wybrane zagadnienia. Wprowadzenie*, (w:) *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego. Wybrane zagadnienia*, (red.) R. Zapłata, Lublin, s. 8-40 - <http://wiedzaiedukacja.eu/archives/55353> [dostęp 02.05.2013]

Zapłata R., 2012a, *Sprawozdanie „Badania nieinwazyjne z zastosowaniem metod fotogrametrycznych i teledetekcyjnych – zamek w Iłży”*, Iłża/Warszawa [mps w archiwum MWKZ - Radom].

Zapłata R., 2012b, *Dokumentacja w archeologii*, (w:) *Przeszłość społeczna. Próba konceptualizacji*, (red.) S. Tabaczyński, A. Marciniak, D. Cyngot, A. Zalewska, Poznań, s. 426-444.

Zapłata R., (marzec) 2013 r., *Sprawozdanie cząstkowe z prac wykonanych w 2012 r. w ramach projektu naukowego pt. „Zastosowanie skaningu laserowego oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Opracowanie nieinwazyjnych, cyfrowych metod dokumentacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego”. Weryfikacyjne badania powierzchniowe na obszarach AZP: AZP: 78-67, 78-68, 78-69; 79-67, 79-68, 79-69; 80-68, 80-69*, Warszawa [mps w archiwum WUOZ oraz UKSW].

Zapłata R., [w druku/a], *Zastosowanie fotogrametrii oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa archeologiczno-architektonicznego – zarys projektu na przykładzie ruin zamku w Iłży*, (w:) 4 tom serii „Cyfrowe spotkania z zabytkami”, red. A. Seidel-Grzesińska, K. Stanica-Brzezicka, Wrocław.

Zapłata R., [w druku/b], *Wybrane zagadnienia skanowania naziemnego architektury zabytkowej – przykład ruiny zamku w Iłży*, „Radomskie Studia Humanistyczne”, z. 1.

Zapłata R., [w druku/c], *Zastosowanie fotogrametrii oraz teledetekcji*

w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa archeologiczno-architektonicznego – zarys projektu na przykładzie ruin zamku w Iłży, (w:) 4 tom serii „Cyfrowe spotkania z zabytkami”, (red.) A. Seidel-Grzesińska, K. Stanica-Brzezicka, Wrocław.

Zapłata R., 2013, *Analiza i dokumentacja drewna zabytkowego z użyciem technologii skanowania - Laser scanning in the analysis and documentation of historic wood*, (w:) *Drewno zabytkowe: badania i konserwacja w XXI wieku. Heritage wood: research and conservation in the 21st century*, (red.) R. Pasieczny, Warszawa, s. 77-78 / 184 [prezentacja konferencyjna / materiał konferencyjny] - <http://www.nimoz.pl/pobierz/718.html>

Zapłata R., Borowski M., [w druku], *GIS w archeologii – przykład prospekcji i inwentaryzacji dziedzictwa archeologiczno-przemysłowego*, „Roczniki Geomatyki”.

Zapłata R., Kędzierski M., Fryškowska A., Wilińska M., Deliś P., 2012, *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego i historycznego. Wybrane przykłady i zagadnienia zastosowania teledetekcji*, (w:) Radom: Korzenie Miasta i regionu, t. 3, (red.) A. Buko, D. Głowska, M. Trzeciński, Warszawa, s. 107-127.

Zapłata R., Kosiniak L., 2012, *Dokumentacja przebieg prac (uzupełniająca) oraz opracowanie wyników prac nieinwazyjnych (prac pomiarowo-powierzchniowych) pt. „Badania nieinwazyjne z zastosowaniem metod fotogrametrycznych i teledetekcyjnych – zamek w Iłży”*. Stan. 6, AZP 79-68/8. Nr rej. 96/A/81 z dn. 18.03.1981 r. 01.09.2011-31.12.2011 r., . [mps w archiwum UKSW], Warszawa. / Zapłata R., 2012, *SPRAWOZDANIE „Badania nieinwazyjne z zastosowaniem metod fotogrametrycznych i teledetekcyjnych – zamek w Iłży”* [mps w archiwum WMKZ - Radom], Iłża/Warszawa.

Zapłata R., Zawieska D., Markiewicz J., 2013, *Integracja danych naziemnego skaningu laserowego i obrazów cyfrowych w badaniach archeologiczno-architektonicznych*, [referat wygłoszony na międzynarodowej konferencji pt. „Measurement Technologies in Surveying”, 23-25 maja 2013 r.], Warszawa [wersja elektroniczna w archiwum UKSW].

Zarzecka M., Bedkowski K., 2012, *Analiza przestrzennej zmienności wybranych cech budowy pionowej drzewostanu na podstawie danych lotniczego skanowania laserowego*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 501-508.

Zawieska D., Ostrowski W., Antoszewski M., [w druku], *Wykorzystanie danych lotniczego skaningu laserowego w metodyce badawczej zespołów fortyfikacji nowszej w Polsce*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 25 [referat wygłoszony na XVIII Ogólnopolskim Sympozjum Naukowym „Nowe wyzwania dla fotogrametrii, teledetekcji i kartografii Kazimierz Dolny, w obliczu współczesnych systemów geoinformacji” 19-21 września

2012 r.].

Zawieska D., Andrzejewska E., Markiewicz J., Kowalczyk M., Ostrowski W., 2013, *Raport z wykonania skanowania naziemnego oraz cyfrowych zdjęć fotogrametrycznych ruin zamku w Iłży*, [archiwum UKSW], Warszawa.

Zawiła-Niedźwiecki T., Stereńczak K., Bałazy R., Wencel A., Strzeński P., Zasada M., 2008, *LIDAR w leśnictwie*, „Teledetekcja środowiska”, t. 39, s. 59-66.

Zeidler K., 2010, *Leksykon prawa ochrony zabytków. 100 podstawowych pojęć*, Warszawa.

Zieliński J., 1965, *Staropolskie Zagłębie Przemysłowe*, Wrocław.

Zientara B., 1954, *Dzieje małopolskiego hutnictwa żelaznego XIV-XVII wiek*, Warszawa.

Złonkiewicz Z., 2013, *Wstępna charakterystyka petrograficzna wybranych surowców skalnych ruin zamku w Iłży*, Kielce [mps w archiwum UKSW].

Zwoliński Z., 2009, *Rozwój myśli geoinformacyjnej*, (w:) *GIS platforma integracyjna geografii*, (red.) Z. Zwoliński, Poznań, s. 9-21.

Zwolski Cz. T., 2003, *Radom i region radomski*, Radom.

Żrodowski C., Kłos M., 2012, *Metodyka pracy ramieniem 3D*, Gdańsk - http://www.cmm.pl/upload/Files/cke/Metodyka_pracy_ramieniem_3D-raport.pdf - [dostęp 02.05.2013 r.]

Żuk L., 2005, *W poszukiwaniu salomonowego rozwiązania, czyli o tym, kto powinien interpretować zdjęcia lotnicze – słów kilka* (w:) *Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii*, Nowakowski J., Prinke A., Rączkowski W. (red.), s. 125-144.

Źródła:

Duhamel du Monceau, 1769, *Sposob Robienia Węglow czyli Sztuka Węglarska /w Języku Francuskim przez Pana Duhamel Du Monceau Napisana ; Tłumaczenia Niemieckiego notami pomnożona, a teraz dla przystużenia się Narodowi, staraniem i kosztem I. W. Imc. Pana Jacka Małachowskiego [...] na Oyczysty ięzyk przełożona, i do druku Podana* - <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty4/0488/>

Adolf Gurlt, 1883, *Górnictwo i hutnictwo. Krótki wykład historycznego i technicznego rozwoju górnictwa i hutnictwa*, przekład Wiomncenty Kosiński, Warszawa, s. 143-144 – oryg. A. Gurlt, 1877 (wyd. 2 / 1879), *Die Bergbau- und Hüttenkunde. Eine gedrängte Darstellung der geschichtlichen und kunstmässigen Entwicklung des Bergbaues und Hüttenwesens*.

Iłża- zamek i miasteczko w woj. sandomierskim, (w:) *Przyjaciół Ludu*, t.2, nr 45, 1835, s.355-357.

Lustracja Dawnego Klucza Iłżeckiego z 1789 roku. Zespół Dóbr Państwowych,

sygn. 4, Archiwum Państwowe w Radomiu.

Łabęcki H., 1841, *Górnictwo w Polsce. Opis kopalnictwa i hutnictwa polskiego, pod względem technicznym, historyczno statystycznym i prawnym*. Drukarnia J. Kaczanowskiego, Warszawa, t. 1, s. 1-538; t. 2, 1-551 (s. 54) - <http://hint.org.pl/f=DE;hid=A8174;r=5;p=02050004.1>; http://www.historia-gornictwa.pwr.wroc.pl/wp-content/uploads/35Wojcik-Hieronim_Labecki.pdf

Pałujański A., 1862, *Leśnictwo polskie*. Cz. VI. *Użytkowanie lasu*, Warszawa.

Szeweska A., 1816, *Sztuka węglenia drzewa doświadczeniem stwierdzona, przez Alojzego Szeweskę, c.k. naczelnego dozorcę lasów w Galicji, „Pamiętnik Lwowski”, t. 2, s. 97-116.*

Dokumenty i akty prawne

GUGiK, 2011, *Warunki techniczne na wykonanie lotniczego skaningu laserowego (LiDAR) oraz opracowanie produktów pochodnych*. Załącznik nr 1 do SIWZ – *Warunki techniczne*, Warszawa.

Karta w sprawie zachowania dziedzictwa cyfrowego – http://zg.pti.org.pl/sdsi/biblioteczka/karta_UNESCO.pdf [dostęp 02.05.2013]

Karta Londyńska - The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage, red. Hugh Denard, King's College London, 7 lutego 2009 - www.londoncharter.org – tłumaczenie na j. polski: http://historiasztuki.uni.wroc.pl/projekty_badawcze/doc/kart_londynska_PL.pdf [dostęp 13.05.2013]

Międzynarodowa Karta Konserwacji i Restauracji Zabytków i Miejsc Zabytkowych (Karta Wenecka), Wenecja 1964 - *Karta Wenecka* – http://www.ochrona.zabytki.lodz.pl/data/other/karta_wenecka.pdf [dostęp 02.05.2013]

Konwencja o ochronie dziedzictwa architektonicznego Europy – Grenada, 3 października 1985 roku. European Treaty Series (ETS)/Série des traités européens (STE) Nr 121 - <http://www.zabytki-tonz.pl/pliki/konwencja%20o%20archit.pdf> [dostęp 02.05.2013]

Rozporządzenie Ministra Kultury z dnia 27 lipca 2011 r. w sprawie prowadzenia prac konserwatorskich, robót budowlanych, badań konserwatorskich i architektonicznych, a także innych działań przy zabytku wpisanym do rejestru zabytków oraz badań archeologicznych i poszukiwań ukrytych lub porzuconych zabytków ruchomych (Dz. U. z dnia 27 lipca 2011 r. Nr 165, poz. 987).

Rozporządzenie Ministra Środowiska, Ministra Infrastruktury oraz Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie opracowania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego (projekt z dnia 2.09.2011, <http://www.mos.gov.pl>)

Standardy metodyczne i dokumentacyjne badań archeologicznych i opracowań

ich wyników. Wytyczne opracowane przez KOBiDZ w konsultacji z Kolegium Doradczym ds. archeologii przy Dyrektora KOBiDZ, „Kurier Konserwatorski”, nr 6, 2010, s. 40-49.

Ustawa z dnia 4 marca 2010 r. o infrastrukturze informacji przestrzennej. (Dz.U. 2010 nr 76, poz. 489).

Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. z 2003 r. Nr 80 poz. 717 z późn. zm.).

Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. O ochronie zabytków i opiece nad zabytkami (Dz. U. z 2003 r. Nr 162, poz. 1568).

Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz. U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414).

Standardy metodyczne i dokumentacyjne badań archeologicznych i opracowań ich wyników. Wytyczne opracowane przez KOBiDZ w konsultacji z Kolegium Doradczym ds. archeologii przy Dyrektora KOBiDZ, 2010, „Kurier Konserwatorski”, nr 6, s. 40-49 - http://www.nid.pl/UserFiles/File/Publikacje/Kurier%20Konserwatorski/KK-6_7.pdf [dostęp 02.05.2013]

Wskazówki dotyczące Ocen Oddziaływania na Dziedzictwo dla obiektów Światowego Dziedzictwa Kulturowego Publikacja Międzynarodowej Rady Ochrony Zabytków i Miejsc, ICOMOS styczeń 2011 r. - <http://www.icomos-poland.org/images/Magazyn/DokumentyDoktrynalne/Ocena%20Oddzia%C5%82ywania%20na%20Dziedzictwo.pdf> [dostęp 11.12.2013]

Zalecenia dla Wojewódzkich Konserwatorów Zabytków, pracowników ds. ochrony zabytków archeologicznych WUOZ oraz dla kierujących badaniami archeologicznymi w zakresie metod eksploracji stanowisk i sporządzania ich podstawowej dokumentacji, opracowane przez Radę Naukową Ośrodka Ochrony Dziedzictwa Kulturowego, Warszawa 2004.

Zarządzenie nr 34 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych, z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie zdefiniowania standardu leśnej mapy numerycznej dla poziomu nadleśnictwa oraz wdrażania systemu informacji przestrzennej w nadleśnictwach.

Zarządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 27 czerwca 1995 r. w sprawie uznania za rezerwat przyrody.

Zarządzenie Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 8 września 1994 r. w sprawie uznania za pomnik historii.

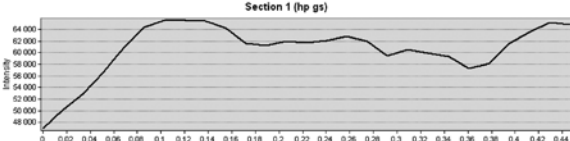
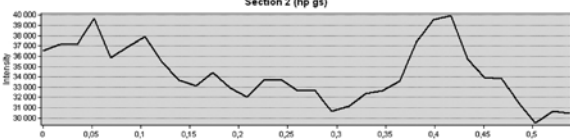
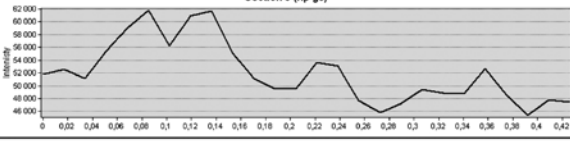
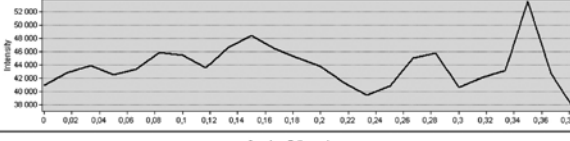
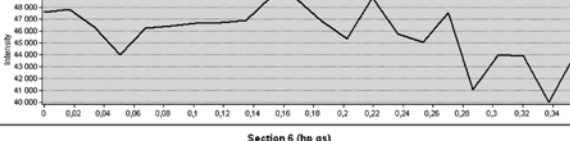
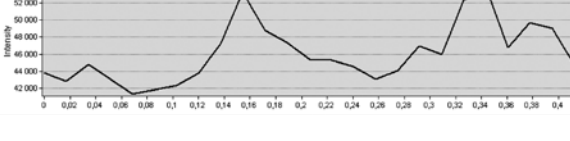
Aneks

Tab. A1. Ogólne zestawienie wyników analizy makroskopowej próbek osadów (Szwarczewski 2013)¹ oraz zdjęcia prób (próby suche i wilgotne)

Nr próbki	Charakterystyka uziarnienia – makroskopowo wg BN-78/9180-11	Barwa	Próbka sucha	Próbka mokra
001/2013 NPRH/UKS W 11H11018480	Próbka składa się z osadów drobnoziarnistych oraz ostrokrawędzistych okruchów wapieni jurajskich. Osady drobnoziarniste to zwietrzelina wapieni z pojedynczymi ziarnami kwarcu i skaleni frakcji piaszczystej - osad naniesiony przez lodowiec zlodowacenia Odry (zlodowacenia środkowopolskie) - piasek gliniasty. Zwietrzale okruchy wapieni jurajskich osiągają rozmiary 4-5 cm.	okruchy wapieni beżowe, matrix brązowo-beżowy		
002/2013 NPRH/UKS W 11H11018480	Piasek gliniasty lekki; próbka zawiera znaczne ilości tlenków i wodorotlenków żelaza i manganu (prawdopodobnie 2-5%). Skład mineralny - ziarna piasku kwarcowego, minerały ilaste (zwietrzelina ilasta wapieni lub margli?)	rdzawo-brązowy		
003/2013 NPRH/UKS W 11H11018480	Il pylasty, ilasto - pylasty zwietrzelina wapieni jurajskich z pojedynczymi ziarnami drobnego piasku kwarcowego i skaleni	brunatno-brązowy		
004/2013 NPRH/UKS W 11H11018480	Piasek drobnoziarnisty z pojedynczymi ostrokrawędzistymi okruchami skalnymi, frakcji żwirowej (piaskowca i wapieni) oraz z detrytusem roślinnym; próbka zawiera znaczne ilości tlenków i wodorotlenków Fe i Mn (5-8%)	rdzawy		
005/2013 NPRH/UKS W 11H11018480	Pyl ilasty/glina średnia pylasta z kawałkami korzeni roślin	brązowo-beżowy		
006/2013 NPRH/UKS W 11H11018480	Piasek pylasty z detrytusem roślinnym, korzonkami roślin oraz dużą ilością węgla drzewnego; zawartość materii organicznej powyżej 20%	czarno-szary		
007/2013 NPRH/UKS W 11H11018480	Drobnoziarnisty piasek kwarcowy (eoliczny?)	szaro-beżowy		
008/2013 NPRH/UKS W 11H11018480	(Mursz/torf) z pojedynczymi ziarnami drobnego piasku kwarcowego (eolicznego?)	ciemno-brunatno-brązowy		
009/2013 NPRH/UKS W 11H11018480	Piasek różnoziarnisty, głównie średnioziarnisty (kwarcowy) z pojedynczymi ziarnami frakcji żwirowej (kwarc i skaleni) z wytrąceniami tlenków i wodorotlenków Fe i Mn (całkowita zawartość prawdopodobnie około 1-5%).	żółto-beżowy		

¹ Szwarczewski P., 2013, Wyniki analizy makroskopowej próbek osadów pobranych w okolicach Ilży, Warszawa [maszynopis w archiwum UKSW].

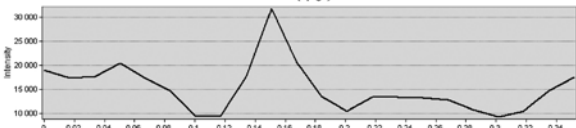
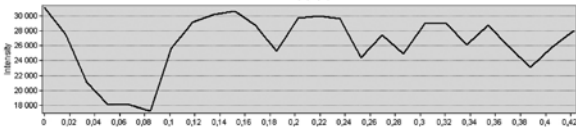
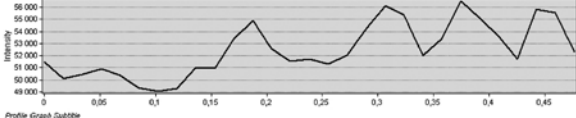
Tab. A2. Zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla próbek osadów (próbki suche) – skaner Z+F / (high power)²

Nr próbki	Profil intensywności odbicia wiązki lasera	Min. ³	Maks.	Średnia.	Przedział ⁴
001/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		48	66	57	58-64
002/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		30	40	35	31-36
003/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		46	62	54	46-54
004/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		38	52	45	40-46
005/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		40	49	44,5	45-48
006/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		42	54	48	44-50

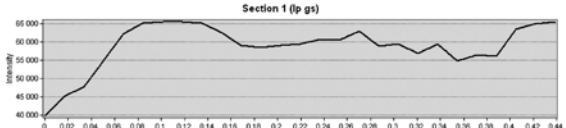
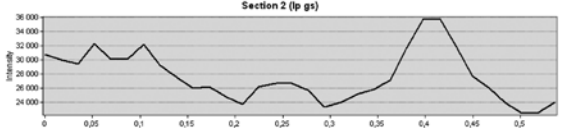
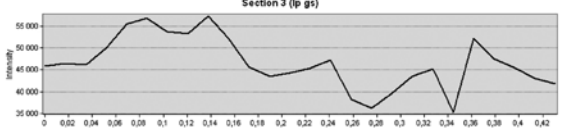
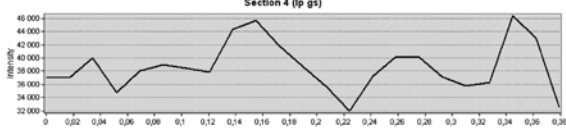
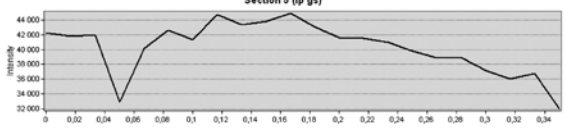
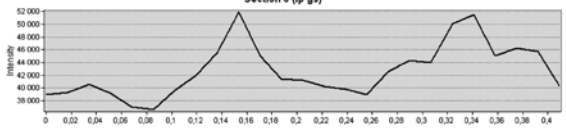
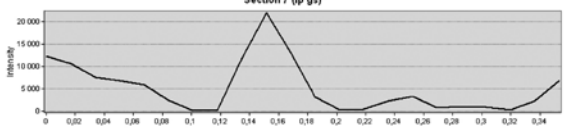
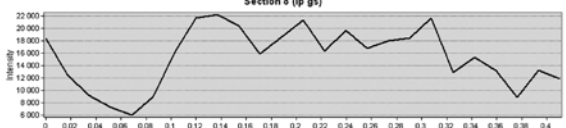
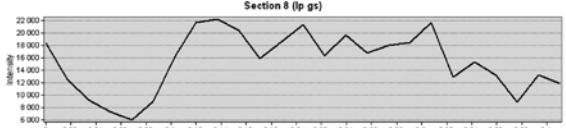
² Profile wartości odbicia wiązki lasera wykonane na minimalnej długości 36 cm

³ Wartości podawane w jednostkach niemianowanych (tysiące)

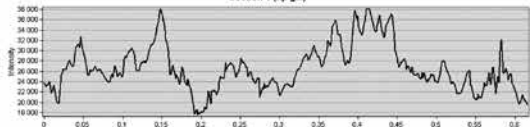
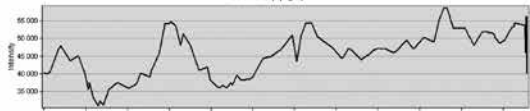
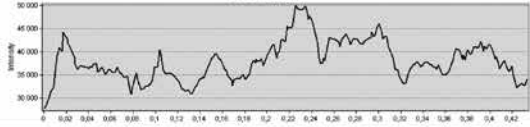
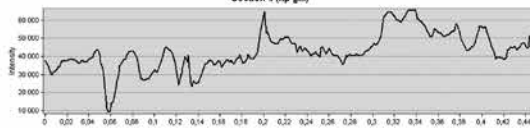
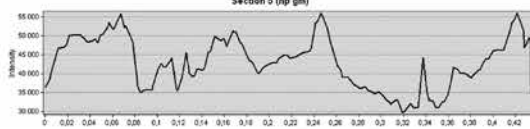
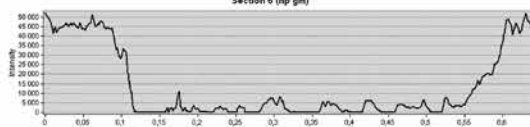
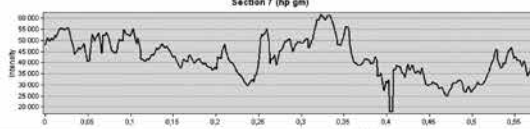
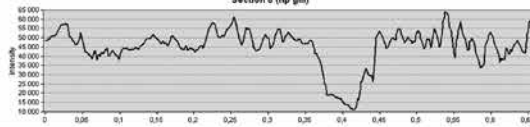
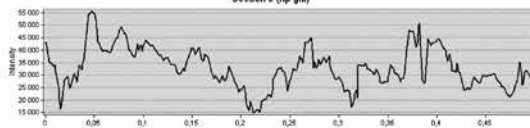
⁴ Średnia i przybliżona wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla przynajmniej 50% pomiaru (profil)

007/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480	Section 7 (hp gs) 	10	32	21	10-20
008/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480	Section 8 (hp gs) 	18	31	24,5	24-30
009/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480	Section 9 (hp gs)  Profile Graph Subtitle	49	56,5	52,75	51-56,5

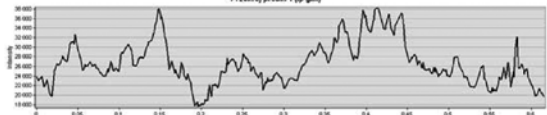
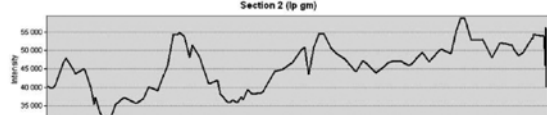
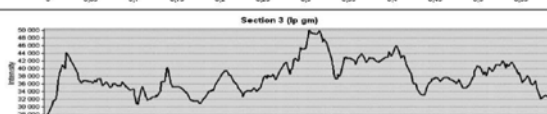
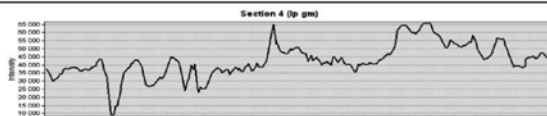
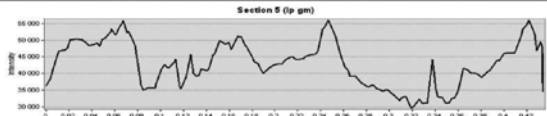
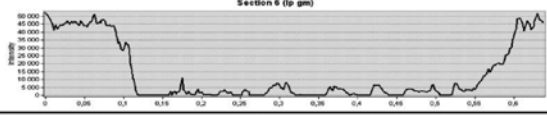
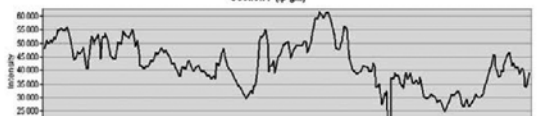
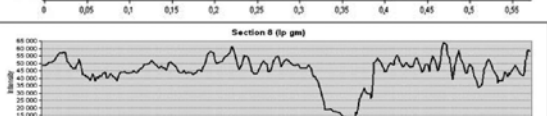
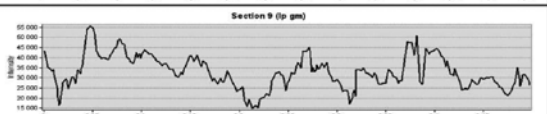
Tab. A3. Zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla próbek osadów (próbki suche) – skaner Z+F / (low power)

Nr próbki	Profil intensywności odbicia wiązki lasera	Min.	Maks.	Średnia.	Przedział
001/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		40	65	52,5	55-65
002/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		22	36	29	22-30
003/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		35	55	45	40-50
004/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		32	46	39	36-40
005/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		32	44	38	40-44
006/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		36	52	44	36-44
007/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		0,1	20	10,05	0,1-5
008/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		6	22	14	14-22
009/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		6	22	14	14-22

Tab. A4. Zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla próbek osadów (próbki wilgotne) – skaner Z+F / (high power)

Nr próbki	Profil intensywności odbicia wiązki lasera	Min.	Maks.	Średnia.	Przedział
001/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		18	38	28	20-32
002/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		30	60	45	45-55
003/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		27,5	50	38,75	35-45
004/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		10	60	35	20-50
005/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		30	55	42,5	35-50
006/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		0,1	55	27,55	0,1-10
007/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		17,5	62,5	40	30-55
008/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		10	65	37,5	35-60
009/2013 NPRH/U KSW 11H11018 480		15	55	35	25-45

Tab. A5. Zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla próbek osadów (próbki wilgotne) – skaner Z+F / (low power)

Nr próbki	Przedział wartości intensywności odbicia wiązki lasera	Barwa
001/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		okruchy wapieni beżowe, matrix brązowo- beżowy
002/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		rdzawo-brązowy
003/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		brunatno- brązowy
004/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		rdzawy
005/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		brązowo- beżowy
006/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		czarno-szary
007/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		szaro-beżowy
008/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		ciemno brunatno- brązowy
009/2013 NPRH/UKSW 11H11018480		żółto-beżowy

Tab. A6. Specyfikacja techniczna skanera Z+F Imager 5006 (za: <http://www.zf-laser.com/>; Pudło 2008; Wawro 2011¹)

Tryb pracy skanera	fazowy
Laserowy system pomiarowy	
Zasięg skanowania maksymalny/minimalny	79/0,4 m
Rozdzielczość skanowania	0.1 mm
Prędkość skanowania	≤ 1 016 027 pixel/sec.
Liniowy błąd dla odległości do 50 m	≤ 1 mm
Szumy pomiaru dla d = 10 m: - odbicie 10% (czarny) - odbicie 20% (ciemno szary) - odbicie 100% (biały)	1.2 mm rms 0.7 mm rms 0.4 mm rms
Szumy pomiaru dla d = 25 m: - odbicie 10% (czarny) - odbicie 20% (ciemno szary) - odbicie 100% (biały)	2.6 mm rms 1.5 mm rms 0.7 mm rms
Szumy pomiaru dla d = 50 m: - odbicie 10% (czarny) - odbicie 20% (ciemno szary) - odbicie 100% (biały)	6.8 mm rms 3.5 mm rms 1.8 mm rms

Laser

Laser	widoczny (światło czerwone)
Rozbieżność wiązki	0.22 mrad
Średnica wiązki dla odległości 1 m	3 mm
Klasa bezpieczeństwa lasera Moc promieniowania minimalna/maksymalna	3R (ISO EN 60825-1) 19/29 mW
Układ odchylania wiązki lasera	
Układ pionowy/poziomy	obrotowe lustro/korpus
Pole widzenia w pionie/w poziomie	310°/360°
Rozdzielczość w pionie/w poziomie	0.0018°/0.0018°
Dokładność w pionie/w poziomie	0.007° rms/0.007° rms
Szybkość skanowania pionowego max/przeciętna	≤ 50 obr./s / 25 obr./s

¹ http://twiki.fotogrametria.agh.edu.pl/pub/PraceMagisterskie/WebHome/praca_mgr_Wawro.pdf

Rozdzielczość

Rozdzielczości dostępne w Skanerze	Ilość pomierzonych punktów w jednej linii (poziomo, pionowo)	Czas skanowania
„Preview”	1 250	25 sec
„Middle”	5 000	1 min 40 sec
„High”	10 000	3 min 22 sec
„Super high”	20 000	6 min 44 sec
„Ultra high”	40 000	13 min 38 sec
Maksymalna do ustawienia	100 000	różnie

Inne

Pomiar przechyłu: - rozdzielczość - dokładność	1/1 000° 1/500°
Wymiana danych	Ethernet/USB 2.0/W-LAN
Przechowywanie danych	Internal HDD/USB HDD
Komunikacja	Bluetooth/Ethernet
Wbudowany interfejs	ekran 4-linijkowy, 6 klawiszy, system operacyjny Linux, dysk twardy 60 GB
Zasilanie: - napięcie wejściowe - pobór mocy	24V DC (skaner), 90-260V AC (jedn. zasilająca) 65 W
Czas pracy: - wymienne baterie wewnętrzne - zewnętrzny zestaw baterii	2.5 h 4 h
Warunki otoczenia: - temperatura pracy - temperatura przechowywania - wilgotność - oświetlenie	-10°C - +45°C -20°C - +50°C ograniczenie wysoką wilgotnością dowolne, od ciemności do światła dziennego
Oprogramowanie sterujące/biurowe	Z+F LaserControl/Z+F LaserControl, pakiet LFM, VSF, Geomagic Studio

Wymiary i waga

Wymiary skanera (szer. x dł. x wys.)	286 mm x 190 mm x 412 mm
Waga skanera	14 kg
Statyw: - wysokość - średnica - waga	ok. 80 cm – 140 cm ok. 120 cm 9 kg

Tab. A7. Specyfikacja techniczna skanera Leica ScanStation C10²

Dane ogólne	
Typ instrumentu	Kompaktowy, impulsowy, z kompensatorem dwuosiowym, bardzo szybki skaner laserowy, charakteryzujący się wysoką dokładnością, dużym zasięgiem i szerokim polem widzenia; zintegrowany aparat cyfrowy i pionownik laserowy
Interfejs użytkownika	Wbudowany kontroler, notebook lub tablet PC
Pamięć	Wbudowany dysk twardy lub komputer PC
Aparat cyfrowy	Zintegrowany aparat cyfrowy o wysokiej rozdzielczości z zoomem, automatyczne ustawianie ostrości
Dokładność skanera	
Dokładność pojedynczego pomiaru	
Położenie* Odległość* Kąt (poziomy / pionowy) Dokładność modelowanej powierzchni**/szum	6 mm 4 mm 60 mikro-radianów / 60 mikro-radianów (12" / 12") 2 mm
Skanowanie tarcz***	Odchylenie standardowe – 2mm
Kompensator dwuosiowy	Możliwość wł./wyl., rozdzielczość 1", zakres dynamiczny +/- 5', dokładność 1.5"
Skaner laserowy	
Typ	Impulsowy, układ własny
Kolor	Zielony, długość fali = 532nm
Klasa skanera	3R (IEC 60825-1)
Zasięg	300 m przy 90% albedo; 134 m przy 18% albedo, (minimalny zasięg 0.1 m)
Szybkość skanowania	Do 50,000 pkt/s, szybkość maksymalna, chwilowa
Rozdzielczość skanowania	Od 0 – 50 m: 4.5 mm (kryterium FWHH);
Rozmiar plamki lasera	7 mm (kryterium Gaussa)

² http://www.leica-geosystems.pl/downloads123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochures/Leica_ScanStation_C10_Brochure_pl.pdf

Odstęp punktów	Dobierany poziomy i pionowy, minimalny odstęp < 1mm, w całym zakresie, pojedyncze punkty
Pole widzenia W poziomie w pionie Celowanie / orientacja	360° (maksymalnie) 270° (maksymalnie) Wolne od paralaksy, zintegrowany aparat z zomem
Optyka skanująca	Lustro obracające się w pionie lub obracająca się w poziomie platforma skanera; Lustro Smart X-Mirror™ automatycznie obraca się skracając czas skanowania
Pojemność pamięci	80 GB (wbudowany dysk twardy)
Komunikacja	Dynamic Internet Protocol (IP) Address, Ethernet
Zintegrowany kolorowy aparat cyfrowy / kamera z zoomem	Pojedynczy obraz 17° x 17°: 1920 x 1920 pikseli (4 megapiksele) Pełna sfera 360° x 270°: 230 obrazów; przesyłanie wideo z zoomem, automatyczne dostosowanie do otaczającego światła
Wbudowany wyświetlacz	Kolorowy graficzny ekran dotykowy, QVGA (320 x 240 pikseli), w zestawie rysik
Libella	Zewnętrzna libella, libella elektroniczna widoczna na ekranie skanera lub w programie Cyclone
Transfer danych	Ethernet lub port USB 2.0
Pionownik laserowy	Klasa lasera: 2 (IEC 60825-1) Dokładność centrowania: 1.5 mm z wysokości 1.5 m średnica plamki lasera: 2.5 mm z wysokości 1.5 m Możliwość włączenia / wyłączenia
Zasilanie	Prąd stały 15 V, Prąd zmienny 90 – 260 V
Zasilacz	Prąd stały 15 V, Prąd zmienny 90 – 260 V
Zużycie energii	Wewnętrzna: litowo – jonowa; Zewnętrzna: litowo – jonowa
Tryb baterii	Wewnętrzne: 2; Zewnętrzny: 1 (jednoczesne użycie, podłączane zasilania w czasie pracy)
Port zasilania	Bateria wewnętrzna: >3.5 h (2 baterie), Bateria zewnętrzna: >6 h (temp. pokojowa)
Środowisko pracy	

Temp. pracy	0° C do 40° C
Temp. przechowywania	-25° C do +65° C
Oświetlenie	Praca w pełnym słońcu jak i w kompletnych ciemnościach
Wilgoć	Bez kondensacji
Pył / wilgoć	IP54 (IEC 60529)
Wymiary, waga	
Skaner Wymiary (D ³ . x Szer. x Wys.) Waga	238 mm x 358 mm x 395 mm / 13 kg (bez baterii)
Bateria (wewnętrzna) Wymiary (D ³ . x Szer. x Wys.) Waga	40 mm x 72 mm x 77 mm / 0.4 kg
Bateria (zewnętrzna) Wymiary (Dł. x Szer. x Wys.) Waga	95 mm x 248 mm x 60 mm / 1.9 kg
Zasilacz na prąd zmienny Wymiary (Dł. x Szer. x Wys.) Waga	85 mm x 170 mm x 41 mm / 0.9 kg

* Zasięg 1 – 50 m, jeden sigma

** W zależności od metodologii modelowania powierzchni

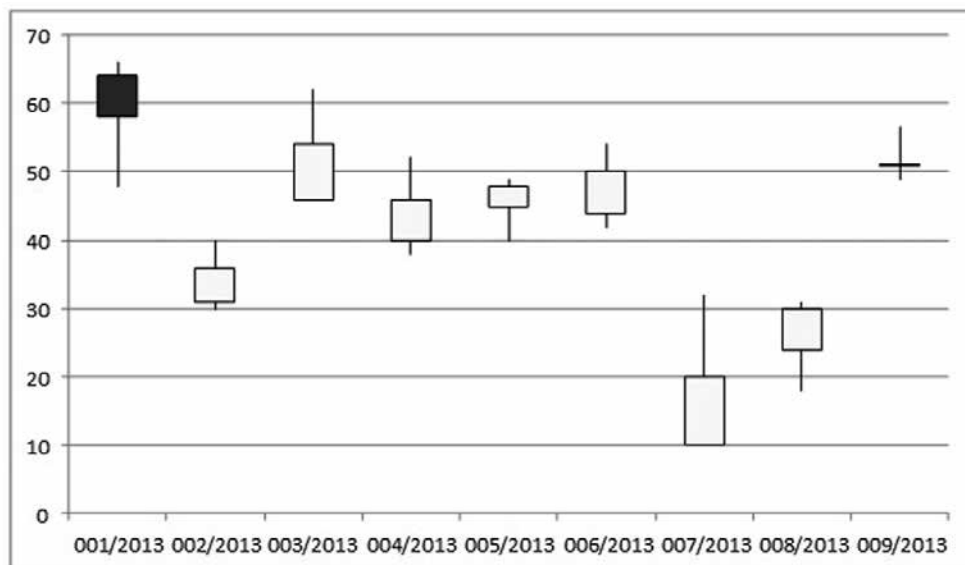
*** Automatyczne wpasowanie na płaskie tarcze HDS

Parametry techniczne wykonywanych pomiarów naziemnych:

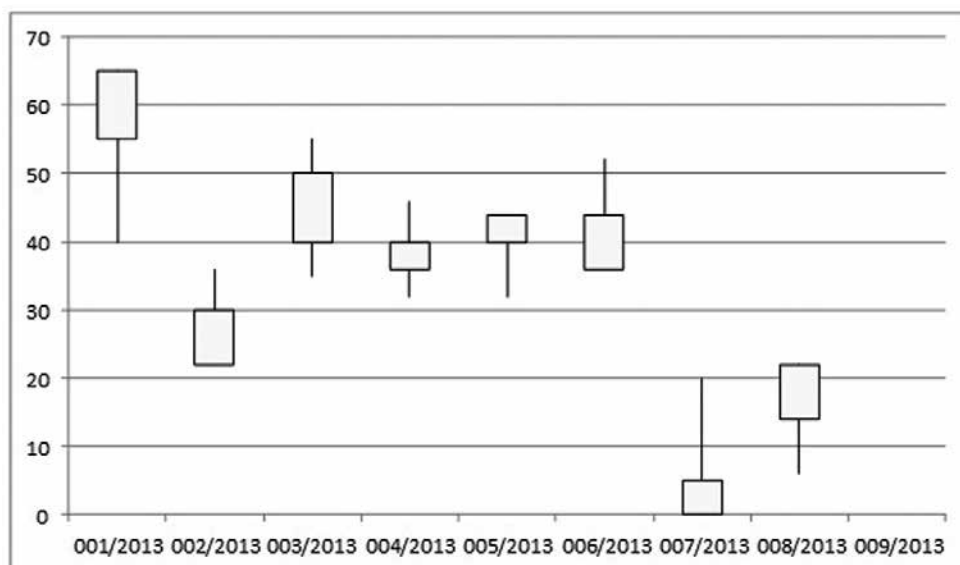
- dla zrekonstruowanych (odtworzonych) fragmentów obiektów rozdzielczość skanowania na poziomie 6 mm dla odległości skanowania 10 m. (*tryb pomiaru high*);
- dla elementów zabytkowych (w tym również posadzki, fragmentów kamieniarki, wybranych detali oraz niektórych powierzchni zabytkowych) rozdzielczość skanowania 6 mm dla odległości skanowania 10 m. Stanowiska wokół obiektu rozmieszczone w odległości od 2 ÷ 5 m. Dodatkowo każdy fragment skanowany na dwóch różnych wysokościach

skanera z uwzględnieniem co najmniej 20% pokrycia obszarów pozyskiwanych z sąsiednich stanowisk skanera. Docelowa i zakładana rozdzielczość wynikowej chmury punktów 1÷2 mm;

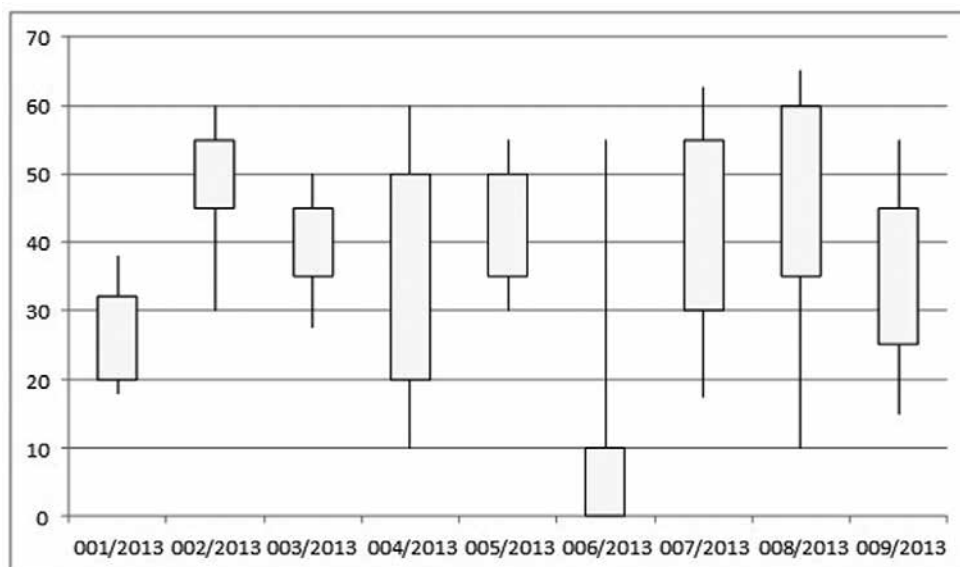
- pomieszczenia piwniczne na zamku górnym – powierzchnia skanowana z rozdzielczością 3 mm dla odległości 10 m (*typ pomiaru super high*). Każda komnata mierzona z 4 stanowisk skanera na dwóch różnych wysokościach, a odległość (maksymalna) od ścian powinna odpowiednio wynosić 3 ÷ 5 m dla poszczególnych pomieszczeń. Docelowa i planowana wynikowa chmura punktów o gęstości 1mm;
- skanowania próbek (osadów, przekrojów, surowców oraz skał) o różnej strukturze i powierzchni z odległości 2÷3 m z rozdzielczością 1mm (*typ pomiaru super high*).



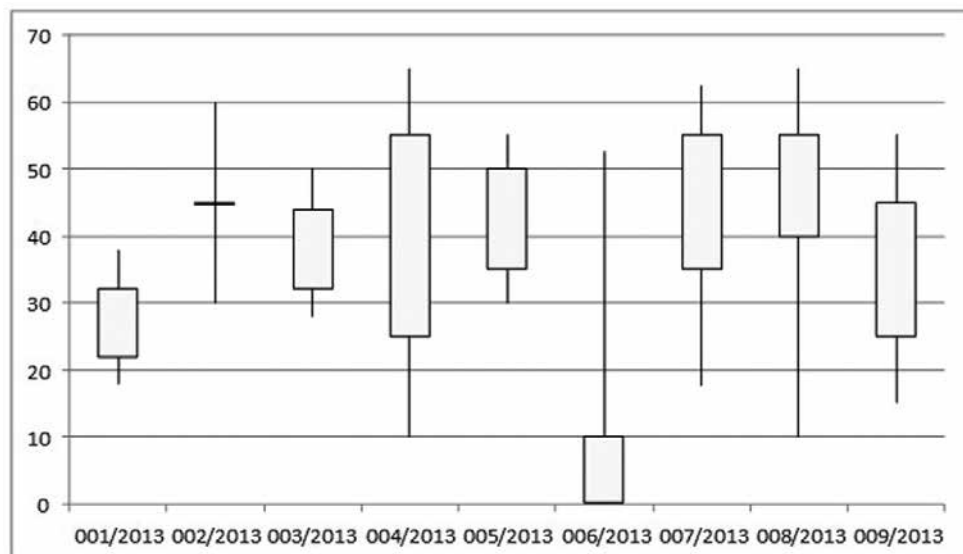
Ryc. A1. Zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla dziewięciu przykładowych próbek osadów (próbki suche) – skaner Z+F / (*high power*)



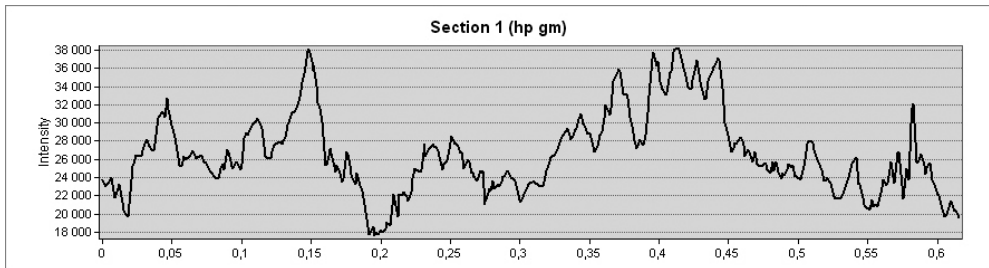
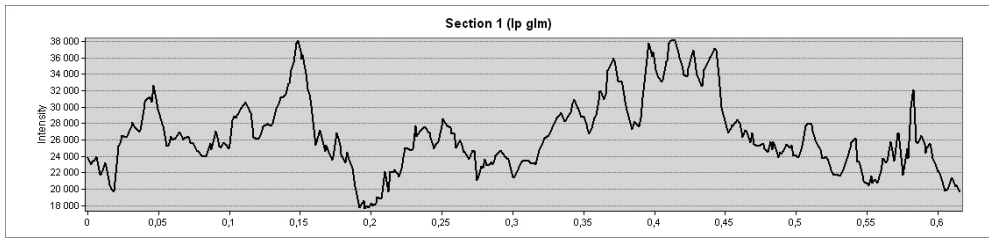
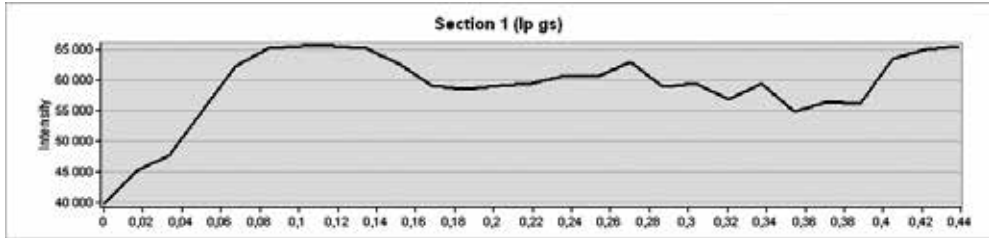
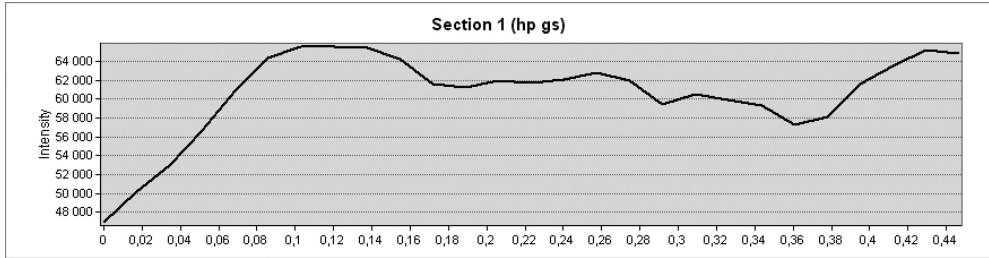
Ryc. A2. Zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla dziewięciu przykładowych próbek osadów (próbki suche) – skaner Z+F / (*low power*)



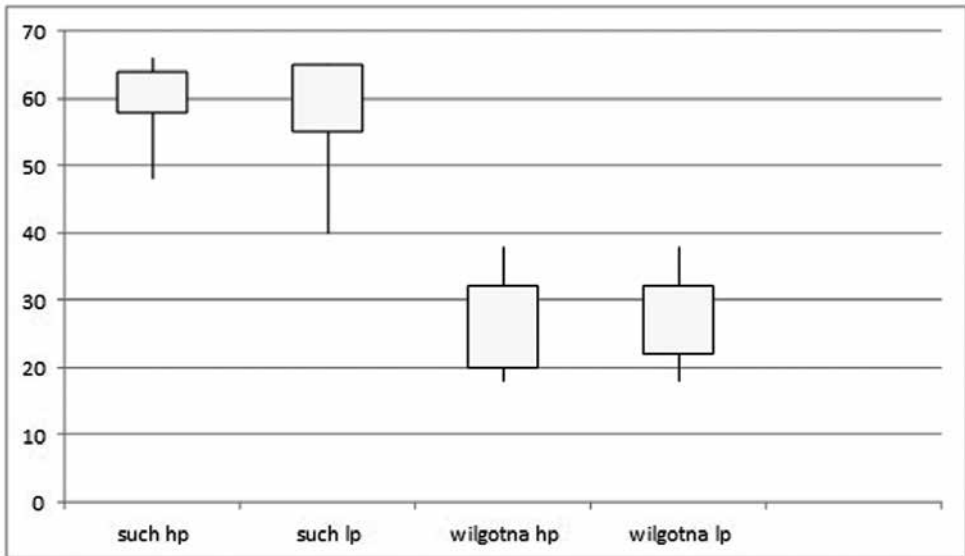
Ryc. A3. Zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla dziewięciu przykładowych próbek osadów (próbki wilgotne) – skaner Z+F / (*high power*)



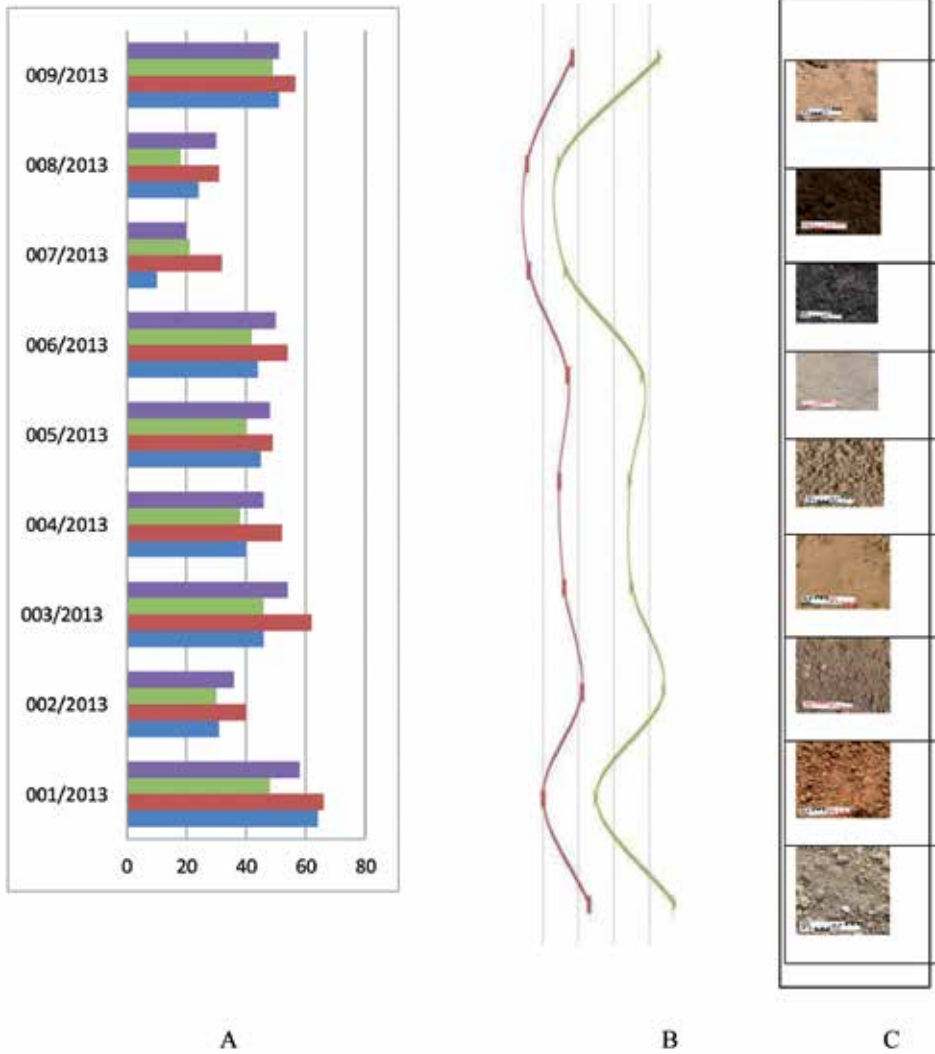
Ryc. A4. Zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla dziewięciu przykładowych próbek osadów (próbki wilgotne) – skaner Z+F / (*low power*)



Ryc. A5. Zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla jednej próbki 001/2013 NPRH/UKSW 11H11018480 – skaner Z+F (sucha / high power), (sucha / low power), (wilgotna / high power), (wilgotna / low power)



Ryc. A6. Zestawienie wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla jednej próbki 001/2013 NPRH/UKSW 11H11018480 – skaner Z+F (sucha / high power), (sucha / low power), (wilgotna / high power), (wilgotna / low power)



Ryc. A7. Wykresy wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla poszczególnych suchych próbek osadów: (A) z wyszczególnieniem minimalnej i maksymalnej wartości (dwie środkowe kolumny), przedział wartości przeważających (kolumny skrajne); (B) krzywa obrazująca intensywność odbicia dla poszczególnych prób z podziałem na wartość maksymalną i minimalną; (C) zdjęcia próbek.

Summary

Title: Non-invasive methods in studying and documenting cultural heritage – aspects of laser scanning in archaeological and architectural research.
Author: Rafał Zapłata

When applying new technological solutions to archaeological and architectural research and to activities regarding broadly defined cultural heritage, a term including cultural landscape and historical space, we must first answer questions about the purpose of and the arguments for expanding our toolbox. The progress in documenting is driven by, among other factors, the need to measure historic sites as precisely as possible and in a non-invasive manner. Terrestrial and airborne scanning technologies, which guarantee a high quality of data generation and recording as well as quick and contactless measurements, have become an answer to this need of architectural historians, archaeologists, art historians and restorers in the past few decades. Technological development, apart from ensuring constant modifications of the equipment, which responds to needs of cultural heritage preservation efforts, here exemplified as the need to map the geometry of historical sites as precisely as possible, is also a source of inspirations to expand the catalogue of research questions and the documentation, analysis and research potential. For instance, laser scanning technology has become an impulse in cultural heritage studies to generate new research positions that contributed to new breakthroughs, thus helping expand the source database, and has allowed a new analytical quality to be incorporated into the research process of the historical matter. In Poland, restoration studies, especially archaeological and architectural ones that utilize terrestrial and airborne laser scanning techniques and make use of the laser beam reflection intensity value and advanced data processing tools, are currently in the phase of development and clarification of, among other aspects, methodological bases. This paper is a case in point.

The spatial measurement techniques available today, including those that utilize laser-scanning technology, have become a staple of documentation and record-taking works, allowing troves of accurate data to be obtained. The data comprises on the one hand geometrical maps of historical sites and on the other a resource facilitating analytical work on the object, etc., including non-destructive modelling and simulation of various phenomena, non-invasive reconstruction and visualisation of historical sites, and a modified approach to cultural heritage management (as a digital resource) and promotion and popularization efforts which would be impossible to undertake without these tools.

This paper aims at comparing and describing the aspects of laser scanning as a non-invasive method in archaeological and architectural research.

It covers two kinds of scanning done on historical objects *in situ* – terrestrial and airborne laser scanning. Apart from presenting the methods, the paper also aims at discussing the methodology of the research process, in particular during field work, but also to some extent during in-house studies on the digital resource. Another aim of this paper is to highlight non-standard solutions that laser scanning technologies have to offer, including a brief discussion of their analytical aspects for historical sites, especially the capacity to evaluate the site's condition and to map their surface diversity.

The application of these methods is illustrated with two examples, one belonging to the architectural heritage and the other to the archaeological and industrial heritage category. Castle ruins in Ilża – a historical architectural masonry object – comprises the first example and served mostly to illustrate the terrestrial laser scanning technology. The other object is a group of historical charcoal piles from the vicinity of the Masovian village of Seredzice, which served mostly as an illustration of the airborne laser scanning method, which had enabled the discovery of these historical sites in the first place.

The paper is divided into several main parts, including: introduction, five chapters ((1) - „Non-invasive methods of research and documentation of cultural heritage” (2) „Terrestrial laser scanning” (3) „The historic architecture - castle ruins in Ilża and TLS” (4) „Airborne laser scanning” (5) „Examples of detection and analysis of cultural heritage in the light of ALS”), conclusion, summary, bibliography and an annex. They form an integral whole, with a common focus on the laser scanning technology and the laser beam reflection intensity parameter value.

The introduction presents introductory comments, basic concepts, aims and scope of the work and an outline of the main concepts of cultural heritage.

Chapter One is devoted to non-invasive methods used in *in situ* studies of cultural heritage, with a particular emphasis on remote sensing. These methods have gained recognition in the cultural heritage preservation field as complementary to a series of other non-invasive methods used so far. They are reckoned to have a high research potential in studying cultural landscape and historical spaces, i.e. can be used to register and document more than just single sites and give insight into the context of the studied objects.

Chapter Two focuses on the TLS (*Terrestrial Laser Scanning*) technology used in archaeological and architectural field work. Methods for registering and analysing the radiometric parameter of the historical material during field work are also presented here. This method is mostly of complementary,

non-standard character in research and documentation work concerning cultural heritage.

Chapter Three discusses use of the TLS, taking as an example the castle ruins in Ilża and test objects. This chapter contains the cross-sectional history of the castle, as well as its studies, indicating the current state of destruction of the ruins. The second part of this chapter presents the results of undertaken measurements and analyses, together with the complementary characteristics of the object, created on a base of use of the TLS.

Chapter Four describes the ALS (*Airborne Laser Scanning*, often referred to as LIDAR – *Light Detection and Ranging*) technique applications in studying cultural heritage. This chapter, apart from providing examples of surface surveys of cultural heritage sites, presents practical applications of the laser beam reflection phenomenon, an element expanding the capacities of the described technology.

The Fifth chapter discusses examples of detection and analysis of cultural heritage, based on the use of the ALS and geoinformation. Attention has been especially focused on the remains of the historic charcoal piles from the vicinity of the Masovian village of Seredzice in Masovian Voivodeship, architectural heritage (castle ruins in Ilża) and elements of the cultural landscape of the surrounding area of Ilża in Masovian Voivodeship. This chapter shows the potential of ALS and selected GIS tools, and also basic results of the detection and analyses of the above mentioned objects.

The conclusion includes a summary, final conclusions and proposals for further research on application of terrestrial laser scanning in cultural heritage studies.

The leading topic of the paper is laser scanning technology, both terrestrial and airborne, seen as a non-invasive method for surveying and documenting cultural heritage *in situ*. This method generates a data resource allowing a diversified analysis of the historical material to be carried out, with particular emphasis on registering the laser beam reflection intensity parameter value. The paper focuses on two main issues related to laser scanning technology: (1) spatial measurement and (2) laser beam reflection intensity measurement. The laser beam reflection intensity is understood here as a ratio of radiation reflected towards the emitter to radiation emitted, for a beam with a particular wavelength and with the beam falling at a certain angle at the surface of the scanned object. This phenomenon is governed by the rule concerning the interactions between bodies/objects and electromagnetic impulses, which cause electromagnetic radiation to be transmitted, absorbed (electromagnetic wave absorption) or reflected. The electromagnetic radiation reflected by a surface is precisely the type that can be registered

and measured. It needs to be added here that reflection intensity is a parameter that can be included in surveying and documenting cultural resources at the terrestrial measurement level (e.g. for masonry architecture objects) and airborne measurement (e.g. for archaeological objects), which is one of the reasons why these laser scanning technologies have been presented jointly here. Generally speaking, laser scanning methodology, together with the registration of laser beam reflection intensity, is about recording this parameter and transforming it to create a visible image (intensity image). This method can be used for, among other things (1) detection and documentation of archaeological objects (airborne laser scanning) and for (2) detection and supplementary documentation of stratification units or surface diversity of historical architectural sites (terrestrial laser scanning).

The methods are presented on two levels, which, generally speaking, concern: (1) contactless *in situ* measurement of historical objects (2) analysis and interpretation of the generated digital cultural heritage resources. This paper's scope directly touches the issues of non-invasive surveying and documentation/record-taking, based on selected and suggested geoinformatics tools. The main issue at hand is the *in situ* measurement of historical objects, which can with all certainty be deemed to provide a basis for generating new quality of works and research projects. The second element described in the paper is the multi-aspect analysis of the generated data which, in the research process, plays a role as important as the measurement itself. The tools for secondary processing and analysing of geodata are a part of the geoinformatics toolbox facilitating the surveying, documenting and cross-verifying of detections, on the basis of airborne measurements. The most prominent among these tools are: (1) hill-shading and shaded relief analysis, including analysing hill-shading from multiple directions; (2) numerical terrain model surface processing analysis based on calculations of visible sky (sky view factor – SVF); (3) principal component analysis; (4) Laplacian filter data processing.

The research projects described yielded concrete results other than the study of laser scanning-related issues, namely: (1) detailed mapping of the object geometry and supplementary detection and classification of historical surface of the medieval castle ruins in Ilża (Masovian Voyvodeship) with terrestrial laser scanning, and (2) surveying and recording of over a thousand of historical charcoal piles near Seredzice (Masovian Voyvodeship).

It needs to be stated with certainty that terrestrial laser scanning introduces a new quality and a new dimension to: 1) spatial measurements and documentation of field work; 2) detecting displacements and deformations in historical objects; 3) monitoring changes in the historical material;

3) historical object diagnostics. Airborne scanning, on the other hand, is mostly an improvement in detecting and recording cultural resources. Both methods have undeniable potential applications in studying archaeological and architectural heritage. It is worth noting, however, that both data itself and the process for generating a digital resource, which requires active participation by the researcher, need to be approached critically.

Translated by Biuro Tłumaczeń Luna / Rafał Zapłata

Rafał Zapłata – adiunkt Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie – Wydział Nauk Historycznych i Społecznych, pracownik Katedry Konserwacji Zabytków Instytutu Historii Sztuki, absolwent Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Uczestnik archeologiczno-architektonicznym badań terenowych m.in. w: Poznaniu – Kolegiata św. Marii Magdaleny; Budziszowie Wielkim, woj. dolnośląskie (osada wielokulturowe); Poznaniu przy kościele Świętego Wojciecha na Wzgórzu Świętego Wojciecha; Radomiu, woj. mazowieckie (grodzisko wczesnośredniowieczne oraz cmentarzysko z XVIII/XIX w.); Domasławiu, woj. dolnośląskie (cmentarzysko z wczesnej epoki żelaza oraz osada wielokulturowa); Królikowo/Sudwa – Olsztyńku, woj. warmińsko-mazurskie (niemiecki obóz jeniecki z II Wojny Światowej, Stalag B1 Hohenstien); Smoleńsku (Rosja); Nowej Wsi, woj. mazowieckie; Ilży, woj. mazowieckie (ruina zamku biskupów krakowskich z XIV w.). Autor licznych publikacji, kierownik projektów naukowych oraz badań z zakresu digitalizacji i metod nieinwazyjnych w badaniach dziedzictwa kulturowego (archeologiczno-architektonicznego). Propagator oraz inicjator działań związanych z cyfryzacją zabytków.

[M]onografia (...) z uwagi na podejmowaną tematykę, stanowi pozycję niewątpliwie cenną i oczekiwaną przez środowisko, zwłaszcza w odniesieniu do badań na rzecz dziedzictwa kulturowego. Znaczące wydaje się przede wszystkim podjęcie się przez Autora przedstawienia zagadnień z pogranicza dyscyplin, które nie doczekał się jeszcze zwartego omówienia w literaturze polskiej. (...) Tematyka, jak i sama praca są nowatorskim przedsięwzięciem, którego realizacja dokonywała się w sferze zagadnień nowych, a zarazem niezbędnych w warsztacie badawczym współczesnego archeologa, konserwatora, historyka sztuki czy architektury. Praca dotyczy ważnego zagadnienia, jakim jest stosowanie technologii skanowania w badaniu i dokumentacji zasobów kulturowych, będąc jednocześnie miejscami oryginalnym, pilotażowym, a nawet eksperymentalnym przedsięwzięciem. Należy liczyć, że publikacja stanie się inspiracją do dalszych działań i dyskusji nad omawianymi metodami, jak również wpłynie na ich upowszechnienie.

fragment recenzji wydawniczej
Prof. UKSW dr hab. Zbigniew Bania



Fundacja
HEREDITAS