

**Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – digitalizacja
i nieinwazyjne badanie dziedzictwa kulturowego *in situ*.**

**Publikacja okolicznościowa związana z konferencją „Cyfryzacja w naukach o przeszłości
i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń”,
Warszawa 24 listopada 2015 r.**

**Digitalisation in sciences concerning the past and monument
protection – digitalisation and non-invasive research of cultural
heritage *in situ*.**

**Occasional publication related to the conference “Digitalisation in sciences concerning
the past and monument protection – analysis of potential and threats”,
Warsaw 24 November 2015**

**Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie
zabytków – digitalizacja i nieinwazyjne badanie
dziedzictwa kulturowego *in situ*.**

**Publikacja okolicznościowa związana z konferencją „Cyfryzacja
w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału
i zagrożeń”, Warszawa 24 listopada 2015 r.**

redakcja

Rafał Zapłata

Warszawa 2015

© Wydawnictwo Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Ilustracje © Autorzy tekstów i/lub właściciele, instytucje przywoływane w tekstach

Publikacja powstała w ramach projektu naukowego pt. „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń na wybranych przykładach”, realizowanego w Uniwersytecie Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie w ramach budżetu na realizację strategii rozwoju uczelni. DZIEDZINA „B” – NAUKA I ROZWÓJ - (3) „Człowiek w cyberprzestrzeni – możliwości, zagrożenia i wyzwania”. Wykonawca: Wydział Nauk Historycznych i Społecznych UKSW oraz interdyscyplinarny zespół specjalistów z UKSW (jednostka prowadząca projekt: Instytut Historii Sztuki WNHIS UKSW). Kierownik projektu: Rafał Zapłata.

Redakcja naukowa: Rafał Zapłata

Korekta językowa: Monika Wilczyńska

Skład: Stanisław Tuchołka

Tłumaczenie abstraktów i korekta językowa (ang.): Violetta Marzec

Projekt i opracowanie okładki: Rafał Zapłata

Recenzja wydawnicza: prof. nzw. dr hab. Jakub Lewicki

Wydanie pierwsze

ISBN 978-83-8090-049-3 (wersja drukowana)

ISBN 978-83-8090-050-9 (wersja elektroniczna)

Wydawca: Wydawnictwo Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Druk: PrintGraf s.c., 05-220 Zielonka k/Warszawy, ul. Prymasa S. Wyszyńskiego 24

SPIS TREŚCI

TABLE OF CONTENTS

Słowo wstępne <i>Preface</i> Rafał Zapłata	11
ROZDZIAŁ I Rafał Zapłata Zastosowanie naziemnego skanowania laserowego w dokumentacji zabytkowych fundamentów ratusza w Radomiu <i>The use of terrestrial laser scanning in the documentation of historical foundations of the town hall in Radom</i>	17
ROZDZIAŁ II Jacek Krawiec, Klaudia Gergot, Rafał Zapłata Hybrydowo i mobilnie - system laserowy łączący w sobie stacjonarny oraz kinematyczny sposób rejestracji danych a dobra kultury <i>Hybrid and mobile - laser system combining a stationary and kinematic data capture and cultural property</i>	43
ROZDZIAŁ III Rafał Zapłata Koncepcja wsparcia nieinwazyjnego badania zabytków na terenach leśnych w Polsce – system typu Personal Laser Scanning <i>The concept of support for the non-invasive research of monuments in forest areas in Poland - Personal Laser Scanning system</i>	55
ROZDZIAŁ IV Rafał Zapłata, Jan Niedzielko, Łukasz Sławik Lotnicze zobrazowania hiperspektralne w ochronie dziedzictwa kulturowego. Potencjalne obszary zastosowań w Polsce <i>Aerial hyperspectral imaging in the protection of cultural heritage. The potential of the applications in Poland</i>	77

ROZDZIAŁ V

Rafał Zapłata, Emilien Leonhardt

Dobra kultury i środowiska - nowe możliwości w dokumentacji i diagnostyce podczas badań terenowych – idea terenowego laboratorium

Cultural property and environmental protection - new possibilities the non-invasive diagnostic and documentation during field research - the idea of field laboratory

..... 91

ROZDZIAŁ VI

Dorota Zawieska, Jakub Markiewicz

Podwyższyć umiejętności i kompetencje – „Akademia Geomatyki Praktycznej” a dziedzictwo kulturowe

Increasing skills and competences - "Academy of Practical Geomatics" and the Cultural Heritage

..... 109

Abstrakty rozdziałów w języku angielskim

Abstracts of the chapters

..... 129

ANEKS

ANNEX

Program konferencji „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń”, Warszawa 24 listopada 2015 r.

Programme of the Conference „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń”, Warszawa 24 listopada 2015 r.

..... 137

Fotorelacja z konferencji oraz wydarzeń i wystaw towarzyszących

Photorelation - conference and accompanying events and exhibitions

Rafał Zapłata

..... 143

SŁOWO WSTĘPNE

Wprowadzenie

Współcześnie, w dobie szybko rozwijających oraz intensywnie rozpowszechniających się nowych technologii, w tym technik związanych z cyfryzacją czy digitalizacją dziedzictwa kulturowego, na środowiskach zaangażowanych w te procesy spoczywa obowiązek, ale też rodzi się potrzeba nieustannej, bieżącej dyskusji nad nowymi rozwiązaniami, ich możliwościami, skutkami, i zagrożeniami. Obserwując i analizując zjawiska związane z dobrami kultury, dziedzictwem kulturowym, w ostatnich latach niezbywalnym elementem współczesnych procesów stają się nowe technologie, nowe media i ich produkty, nowe praktyki czy wytwarzane formy obcowania z dobrami kultury. Efektem zmian, jakie nastąpiły pod wpływem ICT (ang. *Information and Communication Technologies*) we współczesnej kulturze jest m.in. kształtowanie się społeczeństwa - społeczeństw informacyjnych. W Polsce, podobnie jak w innych krajach, digitalizacja dokonuje się etapowo, przy jednoczesnym „wzbogacaniu się” o nowe elementy, które w pewnym sensie uniemożliwiają kształtowanie szczegółowych strategii dla przyszłych działań, kreśląc niepewną, nieprzewidywalną sytuację. Znakiem naszych czasów jest szybka zmiana, w tym zmiana technologiczna, która niemalże z dnia na dzień wprowadza często przełomowe rozwiązania, o niewyobrażalnych i nieprzewidywalnych skutkach oraz efektach. Wyrazem koniecznych działań w powyższych tematach są liczne inicjatywy, w tym projekt naukowy, zorganizowana konferencja czy w końcu poniższa publikacja.

O projekcie „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń na wybranych przykładach” - Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Projekt naukowy pt. „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń na wybranych przykładach”, realizowany był w roku 2015 w ramach budżetu na realizację strategii rozwoju uczelni – dziedzina „B” – „Nauka i rozwój” pt. „Człowiek w cyberprzestrzeni – możliwości, zagrożenia i wyzwania”, a jego wykonawcą był Wydział Nauk Historycznych i Społecznych, Instytut Historii Sztuki. Projekt realizowany był przez interdyscyplinarny zespół specjalistów, a także studentów UKSW. Grupą inicjującą współpracę, a zarazem uczestnikami projektu byli przede wszystkim: prof. UKSW dr hab. Jakub Lewicki (Wydział Nauk Historycznych i Społecznych); prof. dr hab. Franciszek Seredyński (Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Szkoła Nauk Ścisłych); ks. prof. UKSW dr hab. Waldemar Gliński (Wydział Nauk Historycznych i Społecznych); dr hab. Jacek Tomczyk (Wydział Filozofii Chrześcijańskiej); dr Bartłomiej Gutowski (Wydział Nauk Historycznych i Społecznych); dr Małgorzata Wrześniak (Wydział Nauk Historycznych i Społecznych) oraz dr Rafał Zapłata - kierownik projektu (Wydział Nauk Historycznych i Społecznych).

Podjęcie badań nad cyberkulturą i jej wytworami stanowi obecnie wyzwanie, a zarazem wymóg współczesności, któremu muszą sprostać ośrodki, chcące utrzymać się w czołówce naukowo-badawczej. Interdyscyplinarny zespół badawczy zaplanował działania mające na celu podjęcie prac naukowo-badawczych w zakresie analizy i omówienia wybranych zjawisk związanych z tzw. cyberkulturą, a w szczególności z cyfrowymi wytworami, do których należy zaliczyć m.in. dzieła sztuki (wytwory tzw. *digital art*), jak również przetwarzane do postaci cyfrowej dziedzictwo kulturowe, a więc cyfrowe odwzorowania zabytków, które powstają w ramach nowoczesnych praktyk muzealnych czy dokumentacyjno-badawczych. Wytwory cyfrowe, a więc powstałe w wyniku stosowania narzędzi elektronicznych - narzędzi IT, autorzy projektu pojmują szeroko. W krąg zainteresowań włączone zatem były również cyfrowe odwzorowania dóbr środowiska, które obecnie są efektem przetwarzania zasobów naturalnych do postaci cyfrowej. Oddzielnym zagadnieniem, równie ważnym, były cyfrowe odwzorowania ciała człowieka, w tym szczątków ludzkich, które powstają w kontekście prac badawczych i dokumentacyjnych, takich dyscyplin jak: archeologia, antropologia fizyczna, ale i historia sztuki, która bada m.in. najnowsze środki wyrazu, dotyczące elektronicznych przetworzeń ludzkiej cielesności. Kluczowe dla określenia potencjału, ale i zagrożeń cyberprzestrzeni - wynikających z powstawania cyberwytworów, było m.in. odniesienie się do zjawiska ich odbioru, które wiązać należy z dominacją obrazu w dobie cyfryzacji, jak również zjawiska cielesnego zanurzenia (ang. *body immersion*), które wyznaczają zasadnicze sposoby współczesnego obcowania z wytworami cyfrowymi, stanowiąc zarazem współczesne formy pośredniego prezentowania i poznawania rzeczywistości. Prace badawcze były prowadzone poprzez analizę i omówienie wybranych przykładów szeroko rozumianej cyberkultury, którą rozpatrywano z perspektywy nauk o przeszłości oraz dyscyplin zajmujących się ochroną dóbr kultury i środowiska.

Wymiernymi efektami realizowanego projektu są m.in. prezentacje konferencyjne, wydarzenia, które niejako zamykało podjęte prace w 2015 r. (patrz niżej), a także przygotowywana publikacja naukowa (monografia). Dodatkowo organizatorzy projektu, jak i konferencji przygotowali niniejszą publikację, stanowiącą kolejny rezultat podjętych, interdyscyplinarnych działań.

O konferencji „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń”

Konferencja naukowa "Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – potencjał i zagrożenia" odbyła się w dniu 24 listopada 2015 r. w Warszawie. Organizatorem wydarzenia był Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, Wydział Nauk Historycznych i Społecznych oraz Instytut Historii Sztuki. Konferencja odbyła się pod honorowym patronatem Jego Magnificencji Rektora UKSW w Warszawie Ks. prof. dra hab. Stanisława Dziekońskiego, Narodowego Instytutu Dziedzictwa, Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów oraz Fundacji HEREDITAS. Inicjatywa uzyskała wsparcie finansowe ze strony sponsorów: JYFEL Corporation SARL (HIROX Europe), Leica Geosystems Sp. z o.o., MGGP Aero Sp. z o. o., GISPRO Sp z o.o. oraz Laser-3D Jacek Krawiec. Patronat medialny nad konferencją objęły „Spotkania z Zabytkami”, „Ochrona Zabytków”, „Geodeta”, „Historia i Media”, „Renowacje i Zabytki”, „Zabytek.co”, „Wiedza i Edukacja”. Za współpracę, pomoc i zaangażowanie, redakcja w imieniu organizatorów konferencji pragnie w tym miejscu wszystkim osobom i instytucjom serdecznie podziękować.

Inicjatywa skierowana była do szerokiego grona odbiorców, w tym do specjalistów oraz środowisk związanych m.in. z (1) historią, historią sztuki, konserwatorstwem, muzealnictwem, archeologią, historią architektury, ochroną i zarządzaniem dobrami kultury, ale także do specjalistów i osób z pogranicza (2) nauk technicznych i informatycznych. Inicjatywa wpisywała się w szereg współczesnych wydarzeń i działań, które podejmują problematykę cyfryzacji, widząc przede wszystkim potrzebę nieustannego i bieżącego analizowania zjawisk oraz procesów społeczno-kulturowych, które z dnia na dzień, w wyniku m.in. szybkiego postępu technologicznego, powstających ogromnych zasobów danych itp., doprowadzają do natychmiastowych zmian w nauce, edukacji. Analiza cyfryzacji – digitalizacji w odniesieniu do zabytków nie może odbywać się jedynie poprzez ukierunkowanie zainteresowań w stronę samej technologii i technik przetwarzania obiektów. Zjawisko to wymaga również analizy skutków samego procesu digitalizacji, jak i jego wytworów, zwłaszcza tych nieprzewidywanych, a także analizy ukierunkowanej na widzenie cyberwytworów z perspektywy odbiorcy. W związku z powyższym konferencja objęła również dyskusję nie tylko nad potencjałem, ale i nad zagrożeniami, jakie pojawiły się lub też mogą pojawić się w odniesieniu do zjawiska cyfryzacji. Wykluczenie cyfrowe, analfabetyzm cyfrowy, nadmiar danych, braki sprzętowe i podobne zjawiska towarzyszą i niestety będą towarzyszyły społeczeństwu oraz środowiskom naukowo-konserwatorskim, wyznaczając swego rodzaju dysproporcje w cyberpartycypacji czy też cyberaktywności jednostek, jak i całych społeczności. Cyfryzacja pojmowana była (i jest) przez organizatorów konferencji szeroko, m.in. jako proces różnorodnego przetwarzania zasobów analogowych do wersji cyfrowej, jako proces tworzenia danych cyfrowych o zabytkach, a także jako określone zjawisko społeczno-kulturowe, które obejmuje również powstające zmiany w sposobie prezentowania dóbr kultury, ale i wartościowania zabytków, ich odbioru, czy w końcu ich doświadczania przez społeczeństwo, jak i specjalistów. Podjęcie dyskusji oraz badań nad cyberkulturą i jej wytworami stanowi obecnie wyzwanie, a zarazem wymóg współczesności. Organizatorzy konferencji, wychodząc naprzeciw współczesnym wyzwaniom, a zarazem starając się dołączyć kolejne głosy w dyskusji nad tytułowym zagadnieniem, zaproponowali spotkanie (w formie konferencyjnej), którego celem było m.in.: wymiana poglądów i doświadczeń, a także wiedzy odnoszących się do szeroko rozumianej cyfryzacji, czy też digitalizacji. Równoległym celem konferencji była próba stworzenia platformy do debaty nad ww. problematyką, wraz z integracją przedstawicieli różnorodnych środowisk naukowych, konserwatorskich czy przedstawicieli sektora prywatnego oraz producentów i dystrybutorów technologii powiązanych z tzw. cyfryzacją. Organizatorzy konferencji swą inicjatywą zaprosili do podjęcia dyskusji z uwzględnieniem dwóch niżej zarysowanych perspektyw, korelowanych z naukami o przeszłości i ochroną oraz prezentacją zabytków, w szczególności z obiektami zabytkowymi *in situ* – (1) potencjał oraz (2) zagrożenia nowych technologii w ochronie, badaniach, zarządzaniu i promocji zabytków. Wydarzenie miało również za zadanie przybliżyć i zaprezentować przedsięwzięcia oraz rozwiązania, będące swego rodzaju przykładem dobrych praktyk (<http://www.ihs.uksw.edu.pl/node/342>).

Monografia pt. „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – digitalizacja i nieinwazyjne badanie dziedzictwa kulturowego *in situ*. Publikacja okolicznościowa związana z konferencją „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń”, Warszawa 24 listopada 2015 r.”

Przedkładana Czytelnikowi publikacja jest zbiorem tekstów, które powstały, jako publikacja okolicznościowa, w odniesieniu do ww. konferencji, stanowiąc m.in. towarzyszący głos w dyskusji nad zagadnieniami poruszonymi i omawianymi podczas tego wydarzenia. Książka adresowana jest do wszystkich zainteresowanych problematyką ochrony dóbr kultury i środowiska, a zwłaszcza nieinwazyjnego badania dziedzictwa kulturowego *in situ*, z zastosowaniem innowacyjnych technik, a często i niestandardowych oraz pionierskich rozwiązań. Całość stanowi pierwszą tego typu publikację w Polsce, będącą zespołowym i autorskim zestawieniem wielu nowoczesnych technologii w działaniach na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego. Publikacja składa się z sześciu rozdziałów oraz aneksu. Zamieszczone teksty wzbogacono o liczne ilustracje, które prezentują określone technologie, koncepcje ich zastoso-

wania w odniesieniu do ochrony zabytków w Polsce, jak również są próbą ukazania potrzeb i pewnych mankamentów związanych z tytułowymi zagadnieniami. Monografia w zamyśle Autorów, może być dobrym punktem wyjścia do zaznajomienia się z licznymi wyzwaniem, problemami, ale i możliwościami, jakie wiązać należy ze współczesnymi działaniami konserwatorsko-badawczymi. Celem publikacji było m.in. omówienie wielu zagadnień dotyczących nowoczesnych technologii w ochronie dóbr kultury, zwłaszcza tych, które stopniowo są wdrażane w Polsce do prac związanych z dziedzictwem kulturowym. Podjęcie dyskusji w tym temacie wydaje się być wyjściem naprzeciw oczekiwaniom środowiskowym, jak również próbą zwrócenia uwagi na rosnący potencjał nowych technologii, a tym samym otwierające się nowe pola badawczo-konserwatorskie. Całość, w tym poszczególne rozdziały, to prezentacja określonych koncepcji, związanych z zastosowaniem nowoczesnych, nieinwazyjnych metod w ochronie dziedzictwa kulturowego w Polsce. Monografia jest również kolejnym przykładem rozwijającej się w Polsce, ale i na świecie, współpracy między specjalistami z zakresu m.in. fotogrametrii, teledetekcji, a środowiskiem działającym na rzecz ochrony zabytków.

Pierwszy rozdział zatytułowany „Zastosowanie naziemnego skanowania laserowego w dokumentacji zabytkowych fundamentów ratusza w Radomiu” autorstwa Rafała Zapłaty, skupiony jest wokół wybranych zagadnień związanych z naziemnym skanowaniem laserowym. Tekst omawia pewne aspekty zastosowania tytułowej technologii podczas badań archeologiczno-architektonicznych. Przykładowym obiektem, dla którego wykonano pomiary i przetworzenia danych przestrzennych, jest zabytkowy ratusz w Radomiu, woj. mazowieckie. Zachowane fragmenty (fundamenty) najprawdopodobniej są pozostałościami przebudowanego gotyckiego ratusza, którego powstanie datuje się na XIV/XV w.. Ratusz radomski tworzył zamkniętą czworoboczną (prostokątną) konstrukcję, prawdopodobnie trój-kondygnacyjną, zwieńczoną dwuspadzistym dachem. Całość tekstu ukierunkowana jest w stronę omówienia wybranych zagadnień metodycznych, związanych z pracami terenowymi przy obiektach zabytkowych *in situ*. Prace były wykonywane w ramach badań prowadzonych w 2014 r. przez Sp. z o. o. Rewitalizacja z Radomia oraz przy współpracy z mgr. inż. Karolem Chedą z Leica Geosystems. Uzupełniającym elementem wykonywanych prac w Radomiu, były działania na rzecz rozwoju metodyki dokumentacyjno-badawczej podczas prac archeologiczno-architektonicznych. W tym temacie, wiodącym zagadnieniem dla omawianego rozdziału stały się m.in. warunki panujące podczas pomiaru w terenie, dostępność obiektu (powierzchni zabytkowych) oraz ich wpływ na jakość produktów końcowych. Tekst ten należy traktować jako publikację stanowiącą głos w dyskusji nad stosowaniem naziemnego skanowania laserowego w ochronie zabytków *in situ* w Polsce, a także jako przykład działań terenowych, które doprowadziły do powstania zbioru zaleceń metodycznych oraz licznych uwag, związanych z wykonywaniem nowoczesnej dokumentacji zabytków.

Kolejny rozdział – drugi - zatytułowany „Hybrydowo i mobilnie - system laserowy łączący w sobie stacjonarny oraz kinematyczny sposób rejestracji danych a dobra kultury”, którego autorami są Jacek Krawiec, Klaudia Gergot oraz Rafał Zapłata, ukierunkowany jest w stronę potencjału hybrydowego i mobilnego systemu laserowego, ukierunkowanego na działania związane z ochroną i inwentaryzacją dziedzictwa kulturowego w Polsce. Charakterystyka tytułowej technologii przedstawiana jest na przykładzie systemu RIEGL VMX Mobile Mapping System, który oferuje wysoce dokładne, skalibrowane dane pomiarowe (skaningowe) oraz obrazowe, co w połączeniu z odpowiednim oprogramowaniem, obsługującym mobilne skanowanie laserowe, odpowiada najwyższym standardom, dotyczącym dokładności oraz wyrazistości rejestrowanych danych. Rozdział jest m.in. określeniem potencjalnych obszarów zastosowania tytułowej technologii na rzecz ochrony dóbr kultury, w szczególności w strefie przybrzeżnej, na obszarach o wysokim zagrożeniu osuwiskowym, czy też powodziowym, jak i obszarach miejskich. Poza przekrojową prezentacją ww. systemu, tekst zawiera wskazania co do sposobu zastosowania technologii, jak i określonych obszarów. Całość zamykają postulaty badawcze, wskazujące m.in. na konieczność podjęcia szerszych i dalszych działań z zastosowaniem omawianej technologii w kontekście ochrony dziedzictwa kulturowego w Polsce.

Trzeci rozdział, zatytułowany „Koncepcja wsparcia nieinwazyjnego badania zabytków na terenach leśnych w Polsce – system typu Personal Laser Scanning” autorstwa Rafała Zapłaty, jest przede wszystkim prezentacją określonej koncepcji, a także potencjału, jaki dostrzega autor w odniesieniu do technologii mobilnych typu *Personal Laser Scanning* (PLS), w odniesieniu do działań na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego. Zasadniczym celem publikacji jest ukazanie potencjału technologii, w kontekście poprawy jakości danych np. pozyskiwanych w technologii ALS oraz w ramach projektu ISOK w Polsce, przede wszystkim dla obszarów zalesionych. Tytułowa technologia, prezentowana na przykładzie urządzenia *Leica Pegasus:Backpack*, ukazywana jest w charakterze narzędzia komplementarnego, wobec technologii i danych ALS (ALS-ISOK), co dla potrzeb niniejszej publikacji mieści się w tzw. ogólnej koncepcji mobilnego systemu inwentaryzacji zabytków na terenach leśnych (z ukierunkowaniem działań na obszary zalesione w Polsce). Całość zamyka m.in. postulat dotyczący włączenia w szerszym zakresie, niż jedynie testowym, technologii mobilnego skanowania laserowego na terenach leśnych w Polsce, celem poprawy jakości danych, służących rozpoznawaniu i badaniu dziedzictwa kulturowego.

Rozdział zatytułowany „Lotnicze zobrazowania hiperspektralne w ochronie dziedzictwa kulturowego. Potencjalne obszary zastosowań w Polsce” (czwarty), którego autorami są Rafał Zapłata, Jan Niedzielko i Łukasz Sławik

poświęcony jest prezentacji lotniczego obrazowania hiperspektralnego, w odniesieniu do potencjalnych działań na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego. Celem tekstu jest przede wszystkim zwrócenie uwagi na potencjalne obszary zastosowania tytułowej technologii w badaniu i inwentaryzacji dóbr kultury takich, jak historyczne założenia zieleni, zabytki archeologiczne czy archeologiczno-architektoniczne, dostrzegając w tych działaniach m.in. szansę na integrację danych hiperspektralnych z np. danymi ALS-ISOK, które obejmują obecnie znaczną część Polski. Przykładowa prezentacja zastosowania tytułowej technologii odnosi się głównie do pomiarów wykonanych na terenie Białegostoku, przy wykorzystaniu skanera HySpex VNIR-1800 oraz HySpex SWIR-384 przez Sp. z o. o. MGGP Aero. Całość zamykają postulaty badawcze oraz zestawienie potencjalnych obszarów zastosowania lotniczego obrazowania hiperspektralnego.

Rozdział piąty, zatytułowany „Dobra kultury i środowiska - nowe możliwości w dokumentacji i diagnostyce podczas badań terenowych – idea terenowego laboratorium” autorstwa Rafała Zapłaty i Emiliena Leonhardta jest swego rodzaju prezentacją idei mobilnego laboratorium, które bazuje (przykładowo) na cyfrowym, trójwymiarowym mikro- i makroskopowym systemie Hirox Europe. Tytułowe *terenowe laboratorium* jest traktowane jako zarys szerszej koncepcji, która może dokonać redefinicji działań w zakresie analizowania i dokumentowania wielu obiektów zabytkowych, podczas badań terenowych *in situ*. Tekst ma charakter prezentacyjno-przeglądowy i stanowi m.in. wynik dotychczas przeprowadzonych studiów oraz pomiarów testowych w zakresie zastosowania nowoczesnego, nieinwazyjnego systemu inspekcji, badania i pomiarów obiektów zabytkowych, a także szczątków kostnych. Prezentowany materiał jest zestawieniem informacji nt. zastosowania ww. systemu, ze szczególnym ukierunkowaniem na analizę i dokumentację podczas prac terenowych zabytków *in situ*. Całość stanowi przekrojowe zestawienie przykładów i możliwości stosowania omawianej technologii, z ukierunkowaniem na ochronę dóbr kultury i środowiska w Polsce. Tekst wypełnia przywołanie przykładowych zastosowań systemu oraz potencjalnych obszarów wykorzystania technologii, w kontekście działań na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego.

Rozdział ostatni – szósty – zatytułowany „Podwyższyć umiejętności i kompetencje – „Akademia Geomatyki Praktycznej” a dziedzictwo kulturowe, którego autorami są Dorota Zawieska i Jakub Markiewicz, jest swego rodzaju dopełnieniem idei prezentacji innowacyjnych technik w ochronie dziedzictwa kulturowego, zwłaszcza w Polsce, gdyż dotyczy problematyki umiejętności i kompetencji w zakresie nowych technologii (geomatyki, teledetekcji czy fotogrametrii). Autorzy dokonali w tekście, z odwołaniem się do przykładu „Akademia Geomatyki Praktycznej”, przedstawienia wybranych - zasadniczych problemów związanych z przygotowaniem specjalistów do prac pomiarowych z nowoczesnymi urządzeniami, jak i opracowania danych. Głos w dyskusji nad m.in. stosowaniem urządzeń geodezyjno-fotogrametrycznych, należy uznać za niezwykle cenny i ważny, a zarazem potrzebny w dobie szybko zmieniających się urządzeń, gromadzenie ogromnych ilości danych i opracowań. Prezentowana idea, jak piszą autorzy tekstu. „kształcenia uzupełniającego wiedzę, zdobywaną podczas studiów kierunkowych, związanych z ochroną zabytków”, wydaje się nie tylko trafną i optymalną formułą, która wychodzi naprzeciw współczesnym potrzebom, ale i niezbędną współcześnie.

Ze strony redakcji kieruję w tym miejscu serdeczne podziękowania Autorom poszczególnych tekstów, jak również wszystkim osobom zaangażowanym w proces wydawniczy, za wykonaną pracę, wkład, jak i współpracę w przygotowanie niniejszej publikacji.

Rafał Zapłata

ROZDZIAŁ I



Zastosowanie naziemnego skanowania laserowego w dokumentacji zabytkowych fundamentów ratusza w Radomiu

The use of terrestrial laser scanning in the documentation of historical foundations of the town hall in Radom

Rafał Zapłata

Zakład Konserwacji Zabytków i Ochrony Krajobrazu, Instytut Historii Sztuki,
Wydział Nauk Historycznych i Społecznych, Uniwersytet Kardynała Stefana
Wyszyńskiego w Warszawie
rafalzaplata@poczta.onet.pl

Słowa klucze: zabytkowa architektura, badania archeologiczno-architektoniczne, skanowanie naziemne (laserowe), inwentaryzacja, ratusz, Radom

Key words: historic architecture, archaeological and architectural investigations, terrestrial scanning (laser), inventorization, town hall, Radom

Abstrakt: Tekst omawia zagadnienia związane z zastosowaniem technologii naziemnego skanowania laserowego podczas badań archeologiczno-architektonicznych. Przykładowym obiektem, dla którego wykonano pomiary i przetworzenie danych przestrzennych, jest zabytkowy ratusz w Radomiu, woj. mazowieckie. Całość ukierunkowana jest w stronę omówienia wybranych zagadnień metodycznych, związanych z pracami terenowymi przy obiekcie *in situ*. Prace były wykonywane w ramach badań prowadzonych w 2014 r. przez Sp. z o. o. Rewitalizacja z Radomia oraz przy współpracy z mgr. inż. Karolem Chedą z Leica Geosystems. Zachowane fragmenty (fundamenty) najprawdopodobniej są pozostałościami przebudowanego gotyckiego ratusza, którego powstanie datuje się na XIV/XV w.. Ratusz radomski tworzył zamkniętą czworoboczną (prostokątną) konstrukcję, prawdopodobnie trójkondygnacyjną, zwieńczoną dwuspadzistym dachem.

WPROWADZENIE¹

Pośród współczesnych technik pomiarowych stosowanych w inwentaryzacji i badaniach dziedzictwa kulturowego, bez wątpienia należy wymienić skanowanie laserowe, które oferuje ogromny potencjał, rewolucjonizując od dłuższego czasu wiele działań w ochronie zabytków. Technika ta wpisuje się w szereg metod nieinwazyjnych, kreśląc nowy wymiar prac pomiarowo-analitycznych przy zabytkach, które w związku z powyższym wymagają przeformułowania, czy też dopracowania dotychczasowej metodyki prac terenowych. Sięgając do literatury przedmiotu, jak i doświadczeń zdobytych podczas licznych badań, w tym prac przy zabytkowych fundamentach ratusza w Radomiu, warto zaprezentować przekrojowo ich przebieg oraz charakter, przedstawiając jednocześnie kilka spostrzeżeń oraz uwag w temacie nieinwazyjnych pomiarów laserowych zabytków *in situ*. Skłania do tego m.in. fakt, że stosowanie naziemnych skanerów laserowych – TLS (akronim od ang. *Terrestrial Laser Scanning*) w badaniach archeologiczno-architektonicznych, nadal jest nietypowym (niestandardowym) działaniem, które posiada wiele zalet.

Poniższy tekst dotyczy zagadnień związanych z pracami dokumentacyjnymi TLS jakie przeprowadzono w lipcu 2014 r. przy ruinach gotycko-renesansowego ratusza w Radomiu. Podjęte działania w zakresie wykonania pomiaru naziemnym skanerem laserowym były pierwszą i jedyną jak dotąd, taką formą rejestracji informacji o geometrii tego obiektu, wraz z wykonaniem fotograficznej dokumentacji cyfrowej. Parce pomiarowe wykonano na zlecenie Spółki z o. o. Rewitalizacja z Radomia, w ramach prowadzonych badań archeologiczno-architektonicznych pod kierownictwem mgr. Grzegorza Bralczyka.

Dodatkowym elementem wykonywanych prac, były działania na rzecz rozwoju metodyki dokumentacyjno-badawczej podczas prac archeologiczno-architektonicznych. W tym temacie wiodącym zagadnieniem są m.in. warunki panujące podczas pomiaru w terenie, dostępność obiektu (powierzchni zabytkowych) oraz ich wpływ na jakość produktów końcowych. W polskiej literaturze przedmiotu spotykamy nieliczne publikacje na temat zastosowania podczas badań archeologiczno-architektonicznych² naziemnych skanerów laserowych, które należą do urządzeń charakteryzujących się nieinwazyjnością, wysoką dokładnością i szybkością zbierania danych. Wyraźny brak publikacji w polskich środowiskach obserwujemy m.in. w odniesieniu do wytycznych, standardów i zaleceń stosowania TLS w badaniach archeologiczno-architektonicznych³. Starając się zatem kolejny raz poruszyć i zaprezentować zagadnienie nowoczesnej dokumentacji zabytkowej architektury, warto również przedstawić kilka zagadnień dotyczących wykonanych prac, wraz z omówieniem pojawiających się problemów i wyzwań metodycznych. Obecność tego typu urządzeń w pracach archeologiczno-architektonicznych jest rzadkością, czego powodem są bez wątpienia koszty, zarówno zakupu jak i wypożyczenia tego typu sprzętu, ale także umiejętności obsługi nowoczesnych urządzeń. Przeprowadzone prace z zastosowaniem urządzenia TLS Leica P10⁴ w Radomiu, w specyficznych warunkach (wykopaliskowych), poza wygenerowanym zbiorem danych, pozwolił na określenie zbioru zaleceń i uwag w zakresie zastosowania skanerów laserowych (impulsowych, ale i fazowych) w inwentaryzacji oraz badaniu dziedzictwa archeologiczno-architektonicznego w Polsce.

¹ Tekst przygotowano w 2015 r. przede wszystkim na podstawie materiału z 2014 r., opracowania wyników naziemnego skanowania laserowego oraz danych przekazanych przez Leica Geosystems - <http://www.leica-geosystems.pl/pl>

Podziękowania za konsultację w zakresie TLS kieruję w stronę Pana mgr. inż. Karola Chedy z Leica Geosystems. Kolejne podziękowania za możliwość wykonania niestandardowych pomiarów podczas badań archeologiczno-architektonicznych oraz zgodę na publikację kieruję w stronę Sp. z o. o. Rewitalizacja z Radomia - <http://www.cms.rewitalizacja-radom.pl>

² 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, Wideń, s. 513-521; Zapłata R., *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa 2013; Golembnik A., *Rola nowych technik dokumentacyjno-pomiarowych w interdyscyplinarnych działaniach badawczo-konserwatorskich*, *Wiadomości Konserwatorskie*, 40/2014, 2014, s. 83-93.

³ Np. Falkowski P., Parzyński Z., Uchański J., *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.

⁴ http://www.leica-geosystems.pl/pl/Leica-ScanStation-C10_79411.htm

Należy podkreślić, że pomiar wykonano w odniesieniu do obiektu, który po rozpoznaniu i z dokumentowaniu, został zabezpieczony i zasypany. Dlatego też niezwykle cennym jest wygenerowany zbiór danych przestrzennych, stanowiący m.in. podstawę dla potencjalnej rekonstrukcji czy przyszłego ekspozowania tego obiektu np. w postaci wizualizacji cyfrowej.

NAZIEMNE SKANOWANIE W DOKUMENTACJI ZABYTKOWEJ ARCHITEKTURY

Naziemne skanowanie laserowe to metoda nieinwazyjna, bezdotykowa, w której mierzony obiekt jest poddawany (częściowo) kontrolowanemu działaniu czynnika zewnętrznego, w tym wypadku fali elektromagnetycznej, jaką jest światło lasera. Główną zaletą naziemnego skanowania laserowego jest możliwość wykonywania dokładnych, bezdotykowych i bezinwazyjnych pomiarów geometrii obiektów zabytkowych oraz jednostek stratyfikacji. Quasi-ciągły pomiar, bazujący na punktowej rejestracji powierzchni zabytkowej (tzw. chmura punktów), umożliwia uzyskanie przestrzennego odwzorowania obiektu, które ma zarazem wartość dokumentacyjną, jak i analityczną (diagnostyczną).⁵

Naziemne skanowanie laserowe jest jedną z technik wchodzących w skład fotogrametrycznych systemów pomiarowych, wśród których należy wymienić przede wszystkim 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 grupie metod aktywnych wyróżniamy: (1) metody prążkowe (interferometria holograficzna i płamkowa); (2) metodę triangulacji laserowej; (3) metodę przelotu wiązki; (4) metodę oświetleniem strukturalnym⁶. Ogólnie dostępnymi narzędziami, które stanowią przykłady wykorzystywania w/w metod są: (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)⁷. Innym kryterium podziału skanowania laserowego jest zasięg pomiarowy urządzeń, co pozwala wyróżnić – urządzenia bliskiego, średniego i dalekiego zasięgu.⁸ Naziemne skanowanie laserowe umożliwia w ramach pomiaru przestrzennego uzyskiwanie informacji o geometrii obiektu/powierzchni mierzonej o dużej rozdzielczość przestrzennej oraz niskiej niepewność pomiaru. Kolejny podział omawianych urządzeń wprowadza zasada pomiaru – technologia pomiaru: (1) impulsowa, (2) fazowa i (3) triangulacja optyczna, które wprowadzają podział wg odległości oraz dokładności skanowania⁹.

Skanowanie laserowe najogólniej polega na emitowaniu przez urządzenie (skaner) specyficznego rodzaju promieniowania elektromagnetycznego¹⁰ i wyznaczeniu przestrzennego położenia elementów wektorowych opisujących geometrię mierzonego obiektu oraz przypisaniu im wartości radiometrycznych

⁵ Szerzej na temat TLS w inwentaryzacji zabytków poza cytowaną literaturą m.in. (tam dalsze publikacje): Boroń A., Rzońca A., Wróbel A., *Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków*, Rocznik Geomatyki, t. V, z. 8, 2007, s. 129-140; Mitka B., *Możliwości zastosowania naziemnych skanerów laserowych w procesie dokumentacji i modelowania obiektów zabytkowych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 17b, 2007, 525-534; Jones D. M. (red.) *3D Laser Scanning for Heritage (second edition). Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture*. Swindon, 2011.

⁶ *Zalecenia dotyczące planowania i realizacji projektów digitalizacyjnych w muzealnictwie*, Zespół ekspertów powołany przez Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów: Eryk Bunsch, Piotr Jamski, Tomasz Kalota, Lidia Karecka, Marcin Kłos, dr Jacek Marciniak, dr Cezary Mazurek, dr hab. Robert Sitnik, Marcin Szala, Marcin Werla, dr Tomasz Zaucha ze strony NIMOZ: Anna Kuśmidrowicz-Król, Redakcja: Daniela Galas, Warszawa 2011: Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów - http://digitalizacja.nimoz.pl/uploads/zalaczniki/Zalecenia_planowanie_i_realizacja_projektow_digitalizacyjnych_NIMOZ_2011.pdf

⁷ 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

⁸ Dorninger P., Nothegger C., 2010, *Automated Processing of Terrestrial Mid-Range Laser Scanner Data for Restoration Documentation at Millimeter Scale*, pp. 604 - http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_197862.pdf

⁹ Toś C., Wolski B., Zielina L., 2010, *Tachimetry skanujące. Aplikacje technologii skanowania w budowie szczegółowych modeli obiektów inżynierskich*, Kraków.

¹⁰ 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: English Heritage; Barański M., 2008, *Określenie cech interpretacyjnych promieni wiązki skanującej w naziemnym skanerze w funkcji rejestrowanego obiektu*, Warszawa [maszynopis pracy magisterskiej – archiwum Politechniki Warszawskiej].

w skali szarości, sztucznej palety barw lub barw naturalnych w postaci składowych RGB. Rejestrowane przez skaner wartości to zbiór punktów o współrzędnych przestrzennych XYZ tworzący tzw. chmurę czy też chmury punktów. Skanowanie laserowe określa się również terminem tzw. inżynierii odwrotnej (ang. *reverse engineering*)¹¹, gdzie zachodzi odwrotny proces w zakresie powstawania dokumentacji geometrycznej obiektu, w porównaniu z tradycyjną metodą projektowania. Mierząc rzeczywisty – istniejący już obiekt otrzymujemy, model przestrzenny np. zabytkowego obiektu architektonicznego. Proces skanowania laserowego dostarcza zasadniczo czterech rodzajów danych: (1) pomiar przestrzenny – model geometryczny obiektu w postaci chmury punktów (XYZ), (2) wartość RGB, (3) rejestracja odbić promienia lasera oraz (4) parametr intensywności (wartość radiometryczną – podawaną w skali szarości w jednostkach niemianowanych).

Procedura naziemnego skanowania laserowego, poza samym pomiarem zabytków wykonywanym zazwyczaj w terenie, wiąże się również z procesem obróbki i przetwarzania pozyskanych danych. W tzw. „post-processingu” (w trakcie prac kameralnych) dane poddawane są rejestracji i przetworzeniu, na które składają się przede wszystkim: eksport danych ze skanera; konwersja danych binarnych skanera do tzw. chmury punktów; kontrola wizualna skanów oraz oczyszczanie surowych danych z tzw. szumów; rejestracja danych – proces orientacji, dopasowania i łączenia skanów¹². Pozyskane i przetworzone dane TLS wykorzystuje się na dalszych etapach m.in. do¹³: (1) analizy, segmentacji i klasyfikacji powierzchni zabytkowych; (2) detekcji i dokumentacji zniszczeń zabytków; (3) analiz pomiarowych oraz morfologicznych obiektów; (4) monitorowania zmian zachodzących na powierzchni zabytkowej oraz obserwacji zmian geometrii obiektów (deformacje konstrukcji, stabilność obiektów); (5) modelowania. Opracowane i przetworzone produkty pomiarów fotogrametrycznych mogą być również podstawą w: (1) tworzeniu dokumentacji inwentaryzacyjnej; (2) projektowaniu konserwatorskim; (3) rekonstrukcji obiektów; (4) popularyzowaniu dziedzictwa kulturowego, czy też (5) elementem w nowoczesnym zarządzaniu zasobami kulturowymi¹⁴.

Zasadniczym efektem naziemnego skanowania laserowego i opracowania pozyskanych danych dla zabytków architektury są: (1) informacja przestrzenna o geometrii obiektu zabytkowego - chmura punktów RGB wraz z zarejestrowaną wartością intensywności odbicia powracającej wiązki lasera; (2) ortofotoplan obiektu oraz (3) dokumentacja wektorowa (rysunki 2D - rzuty, przekroje, modele), będąca częścią dokumentacji inwentaryzacyjnej zabytkowej architektury.

Należy również zaznaczyć, że zgodnie z funkcjonującymi w literaturze przedmiotu zaleceniami¹⁵, pomiary TLS przy obiektach architektonicznych winny być uzupełniane, integrowane z równoległe pozyskiwaną dokumentacją fotogrametryczną (obrazową), co również uczyniono w odniesieniu do prac w Radomiu¹⁶. Z uwagi na zakres problemowy tekstu, to zagadnienie jest tutaj jedynie sygnalizowane,

¹¹ Wylężoł M., 2006, *Inżynieria odwrotna w doskonaleniu konstrukcji*, „Modelowanie Inżynierskie”, 32, s. 485-490.

¹² 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.

¹³ 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.

¹⁴ Przykładowe publikacje: Bil J., *Modelowanie 3D w projektowaniu konserwatorskim*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 31, 2012, 104-109; Boroń A., Rzońca A., Wróbel A., *Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków*, Rocznik Geomatyki, t. V, z. 8, 2007, s. 129-140;

¹⁵ Np. Markiewicz J., Dorota Z., Kowalczyk M., Zapłata R., 2014, *Utilisation of laser scanning for inventory of an architectural object using the example of ruins of the Krakow Bishops' Castle in Ilża, Poland*, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing Conference Proceedings V. III, Photogrammetry and Remote Sensing, Cartography and GIS, International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM, vol. III, 2014, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, s. 391-396; Markiewicz J., Zawieska D., 2014, *Terrestrial scanning or digital images in inventory of monumental objects? - Case study*, “The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing”, vol. XL-5, s. 395-400; Markiewicz J. S., Kowalczyk M., Podlasiak P., Bakula K., Zawieska D., Bujakiweicz A., Andrzejewska E., 2013, *Analiza wpływu rozdzielczości danych źródłowych na jakość produktów fotogrametrycznych obiektu architektury*, (w:) *Measurement technologies in surveying. Geodezyjne technologie pomiarowe*, red. Z. Kurczyński Warszawa, s. 69-84.

¹⁶ Zapłata R., 2014, *Sprawozdanie z przeprowadzonych prac dokumentacyjnych wraz z zaleceniami w zakresie korzystania z pozyskanych danych oraz opis wyników naziemnych pomiarów laserowych z uwzględnieniem specyfiki obiektów zabytkowych i archeologiczno-architektonicznych - ruiny gotycko-renesansowego ratusz w Radomiu*, [maszynopis w archiwum Sp. z o. o. Rewitalizacja], Radom.

i prezentowane głównie z uwagi na generowanie tzw. chmury punktów na bazie zdjęć, stanowiącej uzupełniający zasób danych przestrzennych (szerzej dalej).

WYBRANE ZAGADNIENIA METODYCZNE - POMIARY TLS PODCZAS BADAŃ ARCHEOLOGICZNO-ARCHITEKTONICZNYCH

Dokładność pomiarów w zakresie dokumentacji z badań archeologiczno-architektonicznych, a zwłaszcza inwentaryzacji architektonicznej w Polsce określają zasadniczo dwa dokumenty (poza samą *Ustawą z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami (Dz.U. 2003 nr 162 poz. 1568, tekst ujednolicony)*): (1) *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) oraz (2) *Wytyczne Techniczne G-3.4* pt.: „Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury”, 1981, GUGiK, Warszawa. Według „Wytycznych technicznych” ściany murowane oraz mury kamienne w stanie ruiny należy dokumentować z dokładnością 2-5 cm (ściana murowana) oraz 3-10 cm (mur kamienny). W/w dokumenty nie precyzują dokładności dokumentacji fundamentów (murowanych), zatem należy przyjąć, że dokładność identyfikacji tego typu obiektów winna być zbliżona do dokładności dokumentacji muru kamiennego w stanie ruiny (3-10 cm).¹⁷ Warto jednak zaznaczyć, że z uwagi na możliwości technologiczne, obecnie winna być oczekiwana wyższa dokładność przy tworzeniu takiej dokumentacji, co też powinno mieć swoje odzwierciedlenie w przyszłości np. w zmianie wytycznych.

Najogólniej wpływ na jakość pomiarów inwentaryzacyjnych, ma (1) sama technologia, (2) obowiązujące wytyczne, zasady itp., (3) potrzeby oraz wyznaczane cele generowania danych, (4) jak również warunki, w jakich wykonywany jest pomiar w terenie. Inwentaryzacja obiektów zachowanych, wyeksponowanych, takich jak np. zabytki w stanie dobrym lub nawet w stanie trwałej ruiny, wykonywana jest często bez konieczności prowadzenia dodatkowych prac, doprowadzających do uczynienia obiektu lub jego fragmentów (powierzchni), co sprzyja zarówno tradycyjnym pracom inwentaryzacyjnym¹⁸, jak i z użyciem TLS. Specyfika badań archeologiczno-architektonicznych kreśli nieco odmienną sytuację i warunki wykonywania prac pomiarowych przy zabytkach, niż to ma miejsce podczas inwentaryzacji obiektów zabytkowych, niewymagających prac ziemnych. Konieczność eksploracji i eksponowania substancji zabytkowej, a także równoległa dokumentacja w specyficznych warunkach terenowych, przyczyniają się do wprowadzania rozwiązań, które umożliwią włączenie do badań potencjału omawianej technologii. Jak się okazuje, zarówno warunki terenowe, jak i specyfika obiektów zabytkowych, mają znaczący wpływ na to, czy w sposób najefektywniejszy wykorzystujemy potencjał jaki niesie TLS.

W związku z przeprowadzonymi pracami dokumentacyjnymi w terenie, a także literaturą przedmiotu, warto również rozpatrywać zagadnienie jakości produktów związanych z naziemnym skanowaniem laserowym zabytkowej architektury, z punktu widzenia (1) obowiązujących wytycznych,(2) zapotrzebowania zlecającego pomiary czy wykonawcy prac dokumentacyjnych oraz (3) sprzętu pomiarowego (4), a w szczególności warunków panujących w terenie¹⁹. W większości sytuacji, współcześnie produkowany sprzęt skanujący gwarantuje uzyskanie oczekiwanej (zgodnie z ww. obowiązującymi wytycznymi) jakości inwentaryzacji architektonicznej w stanie ruiny. Wpływ na jakość pomiaru mają również decyzje wykonawców inwentaryzacji, które odnoszą się m.in. do określenia parametrów technicznych oraz doboru urządzeń. Warto w tym miejscu nadmienić, że np. dokładność

¹⁷ Wytyczne Techniczne G-3.4 pt.: „Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury”, 1981, GUGiK, Warszawa, s. 33.

¹⁸ Brykowska M. *Metody pomiarów i badań zabytków architektury*, Warszawa, 2003; Brykowska M., 2015, *Badania historyczno-architektoniczne do prac konserwatorskich*, (w:) *Badania architektoniczne. Historia i perspektywy rozwoju*, red. M. Arszczyński, M. Prarat, U. Schaaf, B. Zimnowoda-Krajewska, Toruń, s. 87-107.

¹⁹ Np.: 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, 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; Zapłata 2013 – [tam obszerniejsza literatura].

pomiaru inwentaryzacyjnego może być słabsza (nieodpowiednia), ze względu na zbyt dużą, a tym samym nieodpowiednią odległość między urządzeniem skanującym a obiektem pomiaru. Również zastosowanie nieodpowiedniego urządzenia może być przyczyną nieoczekiwanych błędów pomiarowych – np. zastosowanie przy dużych odległościach skanera, który jest urządzeniem bliskiego czy średniego zasięgu. W tych sytuacjach urządzenia mogą generować nieodpowiednią jakość danych przestrzennych. Inną sytuacją dotyczącą nieodpowiedniej jakości dokumentacji inwentaryzacyjnej jest często (na etapie tzw. *postprocessingu*) błędne i złe scalanie skanów, wynikające np. z nieodpowiedniego rozstawienia i/lub braku odpowiedniej ilości punktów kontrolnych (np. tarcz HDS).

Zagadnieniem związanym z jakością wykonywanej dokumentacji oraz jej końcową postacią są wspomniane wyżej panujące podczas prac terenowych warunki i sytuacja w miejscu pomiaru. Szereg zakłóceń wprowadzają np. niesprzyjające warunki atmosferyczne, niskie temperatury czy opady deszczu. W związku z powyższym prace, skupiające się na pomiarze zabytkowych, wyeksponowanych elementów *in situ*, należy planować i prowadzić w optymalnych warunkach, co też miało miejsce w odniesieniu do prac przy zabytkowych fundamentach ratusza w Radomiu. Taka specyficzna sytuacja oczywiście odnosi się do pomiaru jednorazowego (np. w końcowej fazie prac terenowych), który wykonywany jest po finalnym odsłonięciu całej konstrukcji lub jej części, w ramach zaplanowanego wykopu. W związku z metodyką prac badawczych oraz specyfiką substancji zabytkowej, a zwłaszcza odsłanianych warstw kulturowych – jednostek stratyfikacji, aby doprowadzić do powstania pełnej dokumentacji z badań archeologiczno-architektonicznych, należy pomiary wykonywać równolegle z postępującymi pracami i odsłanianymi jednostkami. Niestety obecność urządzeń TLS podczas trwania badań terenowych jest nadal rzadkością, zatem w wielu sytuacjach wydaje się być cennym dokumentowanie obiektu przynajmniej w końcowej fazie badań – po całkowitym jego wyeksponowaniu. Jak wskazuje praktyka, przynajmniej w Polsce, w wielu sytuacjach sięganie po TLS sprowadza się właśnie do pomiaru jednorazowego, który dokumentuje przede wszystkim obiekt po wyeksplorowaniu, w końcowej fazie prowadzonych badań, co zasadniczo prowadzi do skupienia uwagi na elementach murowanych czy drewnianych.

Dodatkowego wyjaśnienia wymaga również sytuacja jaka istnieje w miejscu pomiaru, a zwłaszcza dostępność skanowanego obiektu. Możliwość ustawienia urządzenia skanującego w licznych miejscach, celem pozyskania kompletnej i jednolitej informacji przestrzennej o skanowanym obiekcie, jest najlepszym rozwiązaniem dla tego typu prac. Niestety szereg obiektów zabytkowej architektury charakteryzuje zróżnicowany, a często też utrudniony (częściowy) dostęp. Jedną z przyczyn jest (1) usytuowanie obiektów w miejscach trudno dostępnych – wzniesienia, strome zbocza itd., co utrudnia wykonanie pomiarów z określonej (optymalnej) odległości. Wówczas można posłkować się budową rusztowań lub innymi urządzeniami, które bez zakłócania stabilności TLS pozwolą na zniwelowanie utrudnień. Innym rozwiązaniem może być wykorzystanie skanerów dalekiego zasięgu. Kolejną przyczyną, która może utrudniać wykonywanie pomiarów powierzchni zabytkowych w podobnych (zbliżonych) warunkach, jest (2) powiązanie - przyleganie zabytków architektury do innych obiektów (np. budynków). Przykładem może być trwałe przebudowanie otoczenia, które np. w wyniku dobudowania do obiektu zabytkowego innego budynku, może całkowicie lub częściowo uniemożliwić pomiar powierzchni zabytkowej. Jeszcze inną sytuacją, wprowadzającą utrudnienia w pomiarze powierzchni zabytkowej, z którą spotykamy się w odniesieniu do fundamentów ratusza w Radomiu, jest niepełne odsłonięcie zabytkowego obiektu. Sytuacja ta odnosi się głównie do zabytków architektury murowanej, których część lub całość jest odsłaniana w wyniku badań archeologicznych (wykopaliskowych). Innym przykładem jest odgruzowywanie obiektów, nie będące częścią prac wykopaliskowych. Z oczywistych przyczyn zabytki architektury murowanej, zwłaszcza najniższe położone ich elementy *in situ*, podczas prac archeologiczno-architektonicznych nie są w pełni odsłaniane, przede wszystkim z uwagi na przepisy budowlane (bezpieczeństwo, nienaruszanie statyki obiektu itd.), jak również z uwagi na pozostawianie w stanie nienaruszonym obiektu, w miejscu jego powstania i rozpoznania. Powierzchnia, która jest najrzadziej odsłaniana, to powierzchnia fundamentu (spód fundamentu), przylegająca bezpośrednio do podłoża gruntowego. Istnieją sytuacje, kiedy dokonuje się odsłaniania spodu fundamentu, m.in. wówczas, gdy fragmenty konstrukcji lub jej całość poddawane są przemieszczaniu, czy też w wyniku różnorodnych działań i procesów w przeszłości, na skutek których całość lub część obiektu została przemieszczona, oddzielona od reszty konstrukcji itd.. W większości sytuacji jednak wyżej omawiana część fundamentu nie

jest odsłaniana, pozostając poza procesem skanowania laserowego. Również częściowe odsłanianie pozostałych powierzchni fundamentu, jest często zabiegiem celowym, ograniczającym pomiar poszczególnych partii obiektu zabytkowego. Z taką sytuacją spotykamy się także w odniesieniu do fundamentu ratusza w Radomiu, który w wyniku prac archeologicznych został odsłonięty częściowo. Również wspomniana wyżej dostępność do obiektu – jego odsłoniętych elementów (w wykopach archeologicznych), jest znacząca i rzutująca na możliwość wykonywania pomiarów wszystkich powierzchni. Zasadniczym utrudnieniem w jednorodnym i całkowitym pomiarze powierzchni jest głębokość i szerokość wykopu, a także panujące w nim warunki np. ciągłe zalewanie wykopu wodą. W wypadku nieoczekiwanego zalewania wykopu i braku możliwości całkowitego odprowadzenia wody, 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 skłania do rezygnacji z planowania stanowiska skanera w danym miejscu – wewnątrz wykopu lub też zmusza do budowania dodatkowych konstrukcji, niestety podnosząc koszty i wydłużając czas wykonywania pomiaru. Poza tym duże zawilgocenie w wykopie, czy też zalanie 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, czego efektem jest brak rejestracji jakichkolwiek danych. Wspomnianymi już elementami, które mają bezpośrednie przełożenie na pomiar zabytków w wykopie są (1) głębokość i (2) szerokość. W głębokich wykopach, zasadniczym utrudnieniem jest m.in. kąt pod jakim należy wykonywać pomiar np. z krawędzi (brzegu) wykopu – im większa głębokość, tym większy kąt skanowania, co w niektórych sytuacjach (przy niektórych urządzeniach) może uniemożliwiać wykonywanie pomiaru. Natomiast jeszcze bardziej istotnym elementem w wykonywaniu pomiarów stacjonarnym skanerem laserowym w wykopie, jest jego szerokość, a co jest z tym związane, odległość między ścianą wykopu a obiektem zabytkowym np. fundamentem. Tego typu utrudnienie w pomiarach występowało również podczas prac przy fundamentach ratusza w Radomiu. Głębokość zalegania niższych, odsłoniętych partii zabytkowych fundamentów (np. ok. 160 cm), wraz z bardzo małą odległością pomiędzy pionową (zewnętrzną) powierzchnią fundamentu a ścianą wykopu (ok. 40 cm), spowodowały, że umiejscowienie urządzenia skanującego w niektórych partiach wykopu było utrudnione czy wręcz niemożliwe. Również niemożliwe było takie usytuowanie skanera na zewnątrz wykopu, co umożliwiłoby wykonanie pomiaru całej, odsłoniętej powierzchni fundamentu. Niestabilny grunt przy krawędzi wykopu, zalegająca hałda, a także wspomniane głębokość i szerokość wykopu, w niektórych miejscach uniemożliwiły wykonanie pełnej rejestracji geometrii obiektu za pomocą TLS. Jedynym rozwiązaniem w tego typu sytuacji jest poszerzenie wykopu, co w odniesieniu do badań przy fundamentach ratusza w Radomiu, z jednej strony było niemożliwe, gdyż wykraczałoby poza decyzję konserwatorską, z drugiej strony generowałoby dodatkowe koszty. Oddzielnym zagadnieniem pomiaru i dokumentacji cyfrowej na bazie naziemnego skanowania laserowego, a związanym z jakością produktów wynikowych, jest rejestracja silnie pofałdowanych, zniszczonych oraz mających bardzo zróżnicowaną geometrię powierzchni zabytkowych. Dotyczy to przede wszystkim elementów konstrukcji poszczególnych fundamentów, zwłaszcza rozdrobnionych skał, rozbitych cegieł, zniszczonych zapraw i spoinowań, czy w końcu kamieni narzutowych (eratycznych). Kształtujące powierzchnię zewnętrzną fundamentu ww. elementy, a zwłaszcza kamienie, o silnie pofałdowanym i zróżnicowanym kształcie, stanowią jeden z przykładów generujących konieczność wykonywania bardzo wielu skanów, celem uzyskania pełnego i jednolitego pokrycia obiektu pomiarem. Innym praktykowanym rozwiązaniem jest określenie i wykonanie przyjętej ilości skanów, które pozwolą na spełnienie zasadniczego warunku, mianowicie uzyskanie dokładności zgodnej z wytycznymi inwentaryzacji architektonicznej (dokumentacji archeologicznej), która pozwoli zidentyfikować i zadokumentować obiekt - kształt i jego elementy składowe, m.in. w postaci rysunku wektorowego. Wyjaśnijmy, że wykonanie jednolitych skanów całej powierzchni, pod względem gęstości chmury punktów, na przyjętej jednostce powierzchni (np. 10 cm²) oraz ich opracowanie zależy również od przeznaczonych na ten cel środków finansowych.

Powstającą dokumentację pomiarową skanerem laserowym można, a nawet należy uzupełnić dokumentacją fotograficzną, wykonaną z niezależnego urządzenia, z innych stanowisk, co pozwoli na częściowe lub całkowite uzupełnienie brakujących danych przestrzennych. Pozyskany zasób obrazów cyfrowych jest zbiorem danych, który przy zastosowaniu odpowiednich procedur i narzędzi, może

dostarczyć dokładnych i niezależnych danych o geometrii obiektu zabytkowego. W odniesieniu do pomiarów przy reliktach zabytkowego ratusza w Radomiu, zaplanowano i wykonano dokumentację obrazową (fotogrametryczną), która m.in. posłużyła do generowania informacji przestrzennej z obrazu, np. w odniesieniu do miejsc, w których niemożliwym było wykonanie pomiaru TLS. Oczywiście należy pamiętać, że dokumentacja fotograficzna również nie zawsze gwarantuje rejestrację całej powierzchni (każdego fragmentu) obiektu (o czym może decydować np. dostępność), co też dodatkowo skłania do integrowania tych dwóch metod. Jednak z uwagi na gabaryty, jak i konieczność stabilizacji urządzeń typu TLS, sięganie po dokumentację uzupełniającą - fotograficzną (cyfrową), zwłaszcza dla miejsc trudnodostępnych, wydaje się oczywiste. Innym sposobem na uzupełnianie pomiarów TLS (wypełnianie tzw. martwych pól), jest stosowanie miejscowo skanerów przenośnych (ręcznych) – skanerów oświetlenia strukturalnego. Z uwagi na zakres tematyczny artykułu i zasadniczy wątek, jakim jest TLS, w zakresie pomiarów uzupełniających (powstałych na bazie fotografii cyfrowej czy skanowania światłem strukturalnym), odsyłam do przykładowej literatury przedmiotu²⁰.

Dodatkowym elementem, wprowadzającym do procesu wizualizacji, ale i do interpretacji oraz analizy skanowanych powierzchni zabytkowych, jest informacja o intensywności odbicia powracającej wiązki lasera.²¹ U podstaw pomiaru odbijanej wiązki lasera od powierzchni mierzonej leży zasada, dotycząca interakcji ciał/obiektów z impulsami elektromagnetycznymi (radiacją/promieniowaniem elektromagnetycznym), w wyniku której promieniowanie elektromagnetyczne jest transmitujące, absorbowane (pochłanianie fali elektromagnetycznej) lub odbijane. W tym procesie promieniowanie elektromagnetyczne, które jest odbijane od powierzchni (np. zabytkowej), może być rejestrowane oraz mierzone.²² Wartość radiometryczna określana jako intensywność (ang. *intensity*) jest definiowana 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.²³ Natężenie promieniowania powracającego do instrumentu (skanera) zależy od warunków pomiaru (odległość, kąt padania promienia i samego natężenia światła wysyłanego), jak i wielu czynników, w tym od sposobu rozpraszania wiązki lasera od powierzchni, co wiąże się z właściwościami tej powierzchni takimi jak: temperatura, wilgotność, barwa, tekstura czy 'kształt'.²⁴ Rejestrowana przez skanery omawiana wartość radiometryczna (podawana

²⁰ Np. Sitnik R. 2010, *Odwzorowanie kształtu obiektów trójwymiarowych z wykorzystaniem oświetlenia strukturalnego*, Warszawa (tam dalsza literatura).

²¹ Szerzej na ten temat m.in. (tam dalsza literatura): 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; 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; 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; 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>; 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, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, s. 41-54; Kędzierski M., Zapłata R., Fryśkowska 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., 2013, *Wybrane zagadnienia skanowania naziemnego architektury zabytkowej – przykład ruiny zamku w Ilży*, „Radomskie Studia Humanistyczne”, z. 1, s. 255-271; Zapłata R., 2013, *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa.

²² Franceschi M., 2009, *Application of terrestrial laser scanner to cyclostratigraphy*, Padova, pp. Viii-ix, 77-78 - <http://paduaresearch.cab.unipd.it/1659/1/FRANCESCHI.pdf>

²³ 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

²⁴ Szerzej na ten temat np.: Voegtle 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; 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,

w jednostkach niemianowanych), pozwala m.in. na dodatkową, uzupełniającą analizę mierzonych powierzchni, w tym klasyfikację powierzchni. Praktycznym przykładem zastosowania informacji intensywności odbicia wiązki lasera jest np. wsparcie analizy stratygraficznej w badaniach archeologicznych i dodatkowa wizualizacja profili czy warstw kulturowych. Taki przykład ilustruje rycina 7, na której zestawiono profil z wykopu 1/2014 w Radomiu ze zdjęciem. Inne zastosowania to uzupełniająca analiza, segmentacja czy klasyfikacja powierzchni zabytkowych np. murów zabytkowych. Przykładem może być rozpoznawanie rysujących się na powierzchni zmian (różnic) radiometrycznych obiektów zabytkowych, które są efektem np. wzrostu wilgoci czy powstających procesów fizykochemicznych, a także rozwoju mikroorganizmów. Analiza tzw. czwartego wymiaru w odniesieniu do prac w Radomiu, pozwoliła na dodatkowe wyróżnienie jednostek stratygrafii, potwierdzając tym samym potencjał i użyteczność tej analizy.

Omawiając zagadnienia problemowe i metodyczne w zakresie stosowania TLS w warunkach terenowych, warto również odnieść się do wspomnianego parametru intensywności odbicia powracającej wiązki lasera. Ponieważ wpływ na rejestrację tzw. czwartego wymiaru ma wiele czynników, w tym wilgotność mierzonej powierzchni, planowanie pomiarów winno uwzględniać optymalną sytuację podczas prac. Zróżnicowanie wilgotnościowe np. profilu wykopu czy powierzchni zabytkowych, wynikające z naturalnego procesu wysychania, bez wątplenia wpływa na różnice w rejestracji omawianej wartości radiometrycznej. W związku z powyższym wskazane wydaje się np. osuszanie niektórych powierzchni lub też utrzymywanie takich warunków, które zapobiegą powstawaniu różnic wilgotnościowych. Przy jednolitej, zbliżonej wilgotności zostaną wówczas zarejestrowane różnice w pomiarze intensywności, które mogą wynikać np. z barwy lub faktury powierzchni. Warto również odnotować, że zróżnicowana wilgotność może być pochodną składu, struktury itp. danej jednostki stratyfikacji czy substancji zabytkowej (np. drewno, cegła), co w efekcie będzie miało wpływ na rejestrowaną wartość radiometryczną, która pozwoli w dodatkowy sposób przeanalizować odsłaniane powierzchnie zabytkowe. Rejestracja i analiza intensywności odbicia powracającej wiązki lasera w badaniach zabytków przynajmniej w Polsce ma zazwyczaj charakter eksperymentalny czy testowy, a samo zagadnienie wymaga dalszych prac badawczych. Mając jednak na uwadze potencjał czwartego wymiaru, jak również dostrzegając płynące z niego korzyści (w formie uzupełniających danych), warto uwzględnić podczas prac pomiarowych ww. wskazania, starając się doprowadzić do jak optymalnej sytuacji, celem rejestracji omawianego parametru.

HISTORYCZNY RATUSZ W RADOMIU – OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU²⁵

Zachowane fragmenty najprawdopodobniej są pozostałościami przebudowanego gotyckiego (neogotyckiego) ratusza, którego powstanie datuje się na XIV/XV w.. Relikty tworzą kamienie narzutowe (oraz miejscami cegły) łączone zaprawą piaskowo-wapienną. Przy zachowanej konstrukcji zlokalizowano również fragmenty drewnianych belek. Dokumentowany obiekt znajduje się pod współczesną powierzchnią użytkową rynku w Radomiu. Zabytkowe ruiny ratusza zorientowane są dłuższym bokiem na linii E-W (z delikatnym ukierunkowaniem od W w stronę N). Fundament ratusza zalega na głębokości ok. 1-2 m. Obiekt ten znany jest m.in. z powstałego w 1808 r. widoku radomskiego rynku, miejscowego autorstwa miejscowego aptekarza Samuela Hoppena, a także opisu ratusza z 1970 r., czy widoku rynku autorstwa Alojzego Misierowicza z 1858 r.²⁶ Dotychczasowych informacji, zwłaszcza na temat hipotetycznej bryły, dostarczały prace nad rekonstrukcją Wojciecha Kalinowskiego. Sytuację diametralnie zmieniły badania archeologiczno-architektoniczne przeprowadzone w 2014 r., umożliwiając rozpoznanie fragmentarycznie zachowanych fundamentów ratusza. Analiza rysunku Samuela Hoppena, przedstawiającego ratusz po odbudowie z 1790 r., pozwala dostrzec „dwa gotyckie okna ostrołukowe,

s. 839-848; Zapłata R., 2013, *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa.

²⁵ Na podstawie niżej wymienionych publikacji, konsultacji oraz materiałów udostępnionych przez Sp. z o. o. Rewitalizacja.

²⁶ Barczyk G., J. Marciniak-Barczyk, 2014, *Radomskie Nowe Miasto w świetle badań archeologiczno-architektonicznych*, „Renowacje i zabytki”, nr 1 (46) 2014, s. 50-59.

znajdujące się w zachodniej ścianie ratusza, wskazujące ze względu na swoją formę na wygląd tej części ratusza w XIV lub na przełomie XIV i XV wieku. Na początku XVI wieku wykonana została renesansowa przebudowa ratusza, o której świadczy widoczny na wspomnianym rysunku zachodni szczyt budynku. Składał się on z sześciu półkoli spiętrzonych w trzech pasach i u dołu zakończony fryzem złożonym z półkolistych wnęk.²⁷ Ratusz uległ zniszczeniu w połowie XVII w., w wyniku najazdu szwedzkiego oraz kolejny raz w XVIII w.. W 1818 r. ratusz został poddany rozbiórce.

Ratusz powstał na terenie prostokątnego rynku (obecne wymiary ok. 85x100 m) w ramach Nowego Miasta Radom, zajmującego obszar ok. 9-10 ha, otoczonego murami miejskimi o obwodzie ok. 1200 m. Stan fundamentów po ich odsłonięciu, należy uznać za wystarczający, aby móc przynajmniej określić kształt, zasięg i wielkość obiektu. Niestety liczne prace ziemne w przeszłości, w tym naruszające bezpośrednio substancję zabytkowego fundamentu, spowodowały, że w wielu miejscach nie zachował się cały ich zarys. Zabytkowe fundamenty w kilkunastu miejscach przecinają elementy miejskiej infrastruktury technicznej, włącznie z betonową studnią, której budowa w części NW całkowicie zniszczyła przebieg fundamentu. Ratusz radomski tworzył zamkniętą czworoboczną (prostokątną) konstrukcję, prawdopodobnie trójkondygnacyjną, zwieńczoną dwuspadzistym dachem. Zachowany fundament wskazuje na wewnętrzny podział obiektu, który tworzyły trzy większe pomieszczenia od strony W oraz jedno mniejsze (węższe) od strony E. Zachowane fragmenty ratusza mają wymiary – dłuższy bok ok. 21,0 m, krótszy bok ok. 11,0 m. Pomieszczenia wewnętrzne – części zachowane, które rozdzielają wewnątrz usytuowane fundamenty, mają wymiary: (1) pomieszczenie w części zachodniej/zewnętrznej ok. 7,8 m x 3,9 m; (2) pomieszczenie w części środkowo-zachodniej ok. 7,8 m x 4,0 m; (3) pomieszczenie środkowo-wschodnie ok. 8,2 m x 5,0 m; (4) pomieszczenie w części wschodniej/zewnętrznej (część frontowa budynku z wejściem do budynku) ok 8,2 m x 1,6 m. Rozpoznane i dokumentowane fundamenty charakteryzuje szerokość od ok. 1,0 m do ok. 1,5 m. Zachowana wysokość fundamentów jest zróżnicowana – od kilku centymetrów (miejscami występują jedynie śladowe przebarwienia w warstwie kulturowej, świadczące o przebiegu fundamentu) do kilkudziesięciu centymetrów. W trakcie badań archeologiczno-architektonicznych nie odsłonięto zabytkowych fundamentów na całej wysokości, pozostawiając wewnątrz obiektu zalegające i niewyeksplorowane warstwy kulturowe.

Prace wykopaliskowe były prowadzone w sezonie letnim 2014 r.. Same badania wpisywały się w koncepcję planów rewitalizacji Rynku, wraz z odtworzeniem dawnej bryły ratusza w ramach planowanej rewitalizacji Miasta Kazimierzowskiego. Z dawnego ratusza zachowały się głównie fundamenty, które z uwagi na panujące warunki w wykopie, zostały odsłonięte częściowo (prace utrudniały m.in. wody gruntowe, system korzeniowy rosnącej w tym miejscu wierzby). Podczas badań odkryto również zabytki ruchome, w tym fragmenty średniowiecznych i nowożytnych naczyń ceramicznych, szklanych, jak również kafli piecowych oraz zabytkowe monety z II poł. XVII i XVIII w..

Dokumentację z badań prowadzono w sposób tradycyjny, natomiast w końcowej fazie badań zastosowano TLS, m.in. celem uzyskania dokładnej geometrii obiektu, wraz z jego najbliższym otoczeniem.

ZABYTKOWE FUNDAMENTY – POZYSKANIE DANYCH

Zasadnicze prace terenowe poprzedziły prace przygotowawcze, które obejmowały kilka zasadniczych elementów. (1) Pierwszym było określenie celu, zakresu oraz dokładności opracowania fotogrametrycznego zabytkowych fundamentów ratusza w Radomiu. Cel i zakres prac pomiarowych określono, uwzględniając oczekiwaną dokładność pomiaru, jaką można uzyskać przy minimalnej ilości stanowisk (kilku stanowisk), i przy zakładanej odległości położenia skanera od powierzchni mierzonej od kilku do 30 metrów (maksymalną odległość pomiaru określał również teren prowadzonych prac badawczych i dostępność do powierzchni mierzonych). Wygenerowane na podstawie TLS dane, miały posłużyć jako podstawa utworzenia rysunku wektorowego zabytkowych fundamentów ratusza w Radomiu oraz ortofotoplanu tworzonych m.in. z chmury punktów. Zasadniczym celem prac było

²⁷ <http://www.cms.rewitalizacja-radom.pl/>

w sposób jak najszybszy (w ciągu jednego dnia) wykonać pomiar umożliwiający zapis geometrii obiektu zabytkowego, będący podstawą przyszłych prac dokumentacyjnych, analitycznych, projektowych czy rekonstrukcyjnych. (2) Kolejny element prac przygotowawczych to wizja lokalna obiektu, wykopu oraz otoczenia. Podczas oględzin obiektu dookreślono zakres prac oraz możliwości jak najpełniejszego pokrycia chmurą punktów (dla kilku stanowisk skanera) powierzchni obiektu. Z uwagi na panujące w wykopie warunki, zwłaszcza jego wąskie partie w części wschodniej, jak również występującą w nim wysoką wilgotność (miejscami stojąca woda), określono ograniczenia w zakresie pełnego pokrycia chmurą punktów powierzchni zabytkowych fundamentów. W części centralnej wykopu, przed i w trakcie pomiaru, zalegały warstwy kulturowe, które przysłaniały również część powierzchni zabytkowych fundamentów. Dodatkowym utrudnieniem w skanowaniu całej powierzchni były znajdujące się bezpośrednio przy zabytkowych fundamentach korzenie drzewa, elementy instalacji metalowych czy betonowych. Wizja lokalna oraz panujące warunki sprawiły, że wskazane do pomiaru powierzchnie będą skanowane z poziomu współczesnego poziomu użytkowego rynku w Radomiu. Podczas wizji lokalnej ustalono stopień i zakres oczyszczenia i przygotowania obiektu do pomiarów przez przedstawicieli wykonawcy archeologiczno-architektonicznych badań terenowych. (3) Następnym elementem przygotowań było zdefiniowanie procesu technologicznego, które zawierało: (a) zaprojektowanie stanowisk skanera – określono 5 stanowisk, z których planowano wykonać pomiar fundamentów, wraz z wykopem; (b) zaprojektowanie procesu technologicznego obróbki pozyskanych danych [szerzej dalej]; (c) określenie wytycznych produktów finalnych opracowania danych TLS. (4) Ostatnim elementem przygotowań było określenie charakteru i formatu produktów wynikowych [szerzej dalej].

Przedmiotem pomiarów były relikty fundamentów ratusza w Radomiu, a także (dodatkowo) wybrane profile wykopu archeologicznego. Naziemne skanowanie laserowe wykonano skanerem impulsowym Leica C10, przy następujących wytycznych technicznych²⁸: (1) pomiar wykonywany będzie skanerem impulsowym (Leica Scan Station C10); (2) preferowane parametry urządzenia i dokładność pojedynczych pomiarów: (a) dokładność pojedynczego pomiaru: położenie 6 mm, odległość 4 mm, kąt poziomy / pionowy 60 mikro-radianów; (b) dokładność modelowanej powierzchni 2 mm; (c) długość fali lasera - 532 nm (zielony); (d) rozdzielczość skanowania – rozmiar plamki skanowania od 0-50 m / 4,5 mm (kryterium FWHH); (3) skanowanie laserowe przy zachowaniu następujących warunków: (a) pomiar fundamentów z kilku stanowisk; (b) równoległa rejestracja obrazu za pośrednictwem kamery zintegrowanej ze skanerem (4 megapikseli); (c) predefiniowany układ odstepu punktów (przy 10 m) – min. 5 mm; (4) rejestracja intensywności odbicia powracającej wiązki lasera.²⁹

Ogólnie warunki panujące podczas pomiarów i sytuacja przy zabytkowych fundamentach w dniu wykonywania naziemnych pomiarów laserowych były sprzyjające. Odnotowano zróżnicowaną wilgotność powierzchni mierzonych, zarówno zabytkowych fundamentów, jak i warstw kulturowych. W trakcie prac panowało stałe zachmurzenie, nie odnotowano opadów deszczu, a wilgotność w wykopie (jedynie miejscami, z uwagi na występującą wodę) przyczyniła się do powstania, w niektórych miejscach tzw. martwych pól lub pomiaru odbicia powracającej wiązki lasera o bardzo niskiej intensywności. Celem jednoliczenia stopnia zawilgocenia profili, dokonano (dodatkowego) częściowego i czasowego zroszenia powierzchni.

Pomiary referencyjne, a także pomiary terenowe oparte o technologię naziemnego skanowania laserowego wykonano w ciągu jednego dnia (kilka roboczo godzin), przy zaangażowaniu jednej osoby wykonującej pomiar i drugiej wspierającej oraz koordynującej pracami. Pomiar zasadniczy poprzedziły prace związane z pomiarem referencyjnym celem nadania georeferencji chmurze punktów. Pomiary te wykonano za pośrednictwem tachimetru Leica TS09 plus oraz instrumentów pomiarowych GPS/GNSS Leica VIVA GS12 (w trybie statycznym). Na potrzeby pomiaru wyznaczono 5 stanowisk pomiarowych, z których zarejestrowano łącznie 5 skanów.

Przed pomiarem rozstawiono tarcze *High Definition Survey* (dalej HDS), które skanowano celem łączenia wszystkich wykonanych skanów na etapie prac kameralnych. Błąd wpasowania punktów wyniósł

²⁸ Zapłata R., 2014, *Wytyczne techniczne w zakresie wykonania naziemnego skanowania laserowego fundamentów zabytkowego ratusza w Radomiu* [maszynopis w archiwum Sp. z o.o. Rewitalizacja].

²⁹ Leica Geosystems - <http://www.leica-geosystems.pl/pl>

maks. 15 mm, natomiast błąd wpasowania tarcz wyniósł maks. 3 mm. Uzyskana średnia odległość między sąsiadującymi punktami na powierzchni mierzonej wyniosła 3-5 mm. Wykonany pomiar wygenerował ok. 25 mln punktów w ramach wszystkich 5 skanów, które również objęły pomiarem najbliższe otoczenie.

Równolegle dokonano rejestracji powierzchni kamerą cyfrową zintegrowaną ze skanerem. Poza rejestracją geometrii obiektu, dokonano również automatycznego zapisu intensywności odbicia powracającej wiązki lasera (ang. *intensity*). Dane zarchiwizowano po wykonaniu pomiarów w terenie i przekazano do dalszej obróbki, w ramach prac kameralnych. W ramach omawianych prac terenowych wykonano dwojakiego rodzaju dokumentację fotograficzną – kamerą cyfrową zintegrowaną ze skanerem laserowym Leica C10 oraz kamerą cyfrową (aparatem). Dokumentację fotograficzną aparatem fotograficznym wykonano z przyjęciem następujących parametrów: obiektyw stało ogniskowy Nikor; format zdjęć JPG oraz RAW; wymiary: 7360 x 4912 pikseli; rozdzielczość (poziom/pion): 300 dpi; głębia w bitach: 24; odwzorowanie kolorów: sRGB. Sporządzono inwentarz fotografii, z roboczo wprowadzonymi podziałem i oznaczeniami dla poszczególnych fragmentów powierzchni i obiektów zabytkowych.

OPRACOWANIE POZYSKANYCH DANYCH – ZABYTKOWE FUNDAMENTY

Kolejny etap prac związanych z pomiarami TLS przy zabytkowych fundamentach ratusza w Radomiu obejmował opracowanie danych, które wykonano wg następujących, ogólnych wytycznych, które określają następujące zapisy³⁰: (1) zawartość informacyjna danych z naziemnego skanowania laserowego - informacje na temat geometrii skanowanego obiektu, kształtu, długości, szerokości, wysokości i objętości; (2) produkty pochodne naziemnych pomiarów fotogrametrycznych: (a) sklasyfikowana i scalona chmura punktów; (b) dokumentacja obrazowa pozyskana z kamery zintegrowanej ze skanerem (5 megapikseli); (c) warstwa wektorowa z ogólnym obrysem ścian odsłoniętych fundamentów; (d) ortofotomapa; (3) format wygenerowanych i przekazywanych danych: (a) format dla danych pozyskanych za pośrednictwem urzędnika Leica HDS; (b) format po przetworzeniach XYZ, PTS, DXF, DWG; (c) format po przetworzeniach (wizualizacja danych) COE, JPEG, TIFF.

Pomiary poddano opracowaniu w oprogramowaniu Leica Cyclone 9.0. W pierwszej fazie dokonano wstępnego opracowania danych – łącząc i rejestrując dane, czyli wzajemnie orientując poszczególne skany z pomiarów terenowych. Na kolejnym etapie dokonano filtracji, klasyfikacji chmur punktów i ich scalenia, uzyskując połączony model w postaci jednolitej chmury punktów całego obiektu (fundamentów ratusza w Radomiu wraz z kontekstem (wykop – powierzchnie warstw kulturowych).

Następnie wygenerowano ortofotomapy oraz warstwy wektorowe z ogólnym obrysem przebiegu odsłoniętych fundamentów. W programie Agisoft PhotoScan wygenerowano dodatkowo model przestrzenny inwentaryzowanego obiektu, w oparciu o cyfrową dokumentację fotograficzną.

W wyniku obróbki i przetworzeń danych TLS wygenerowano następujące, zasadnicze produkty:

1. Ortofotoplan wykopu wraz z zabytkowym fundamentem - GEOTIFF/JPG.
2. Ortofotoplan zabytkowego fundamentu - GEOTIFF/JPG.
3. Rysunek wektorowy z konturem dla zabytkowego fundamentu / DWG/DXF/TIFF/JPG.
4. Wizualizacje intensywności odbić wiązki laser.
5. Modele 3D (RGB) z całkowitą oraz „zmniejszoną” chmurą punktów – XYZ/PTS/DXF/COE

Tak pozyskane i przygotowane dane z naziemnego skanowania laserowego zabytkowych fundamentów ratusza w Radomiu mogą posłużyć np. do: (1) generowania modeli warstwowych zeskanowanych powierzchni i obiektów; (2) generowania modeli hipsometrycznych zeskanowanych powierzchni i obiektów; (3) tworzenia modeli 3D; (4) generowania ortofotoplanów powierzchni i obiektów (np. poprzez połączenie danych TLS z fotograficzną dokumentacją cyfrową); (5) tworzenia rekonstrukcji i wizualizacji fotorealistycznych bryły zabytkowego ratusza; (6) uzupełniającej analizy stratygrafii oraz analizie powierzchni fundamentów na bazie zarejestrowanej intensywności odbicia wiązki lasera; (7) tworzenia przekrojów, rzutów i modeli szkieletowych obiektu; (8) wyeksponowania replik *in situ* zabytkowych fragmentów ratusza.

³⁰ Zapłata R., 2014, *Wytyczne techniczne przygotowania produktów pochodnych naziemnych pomiarów laserowych zabytkowych fundamentów ratusza miejskiego w Radomiu* [maszynopis w archiwum Sp. z o. o. Rewitalizacja]

PODSUMOWANIE

Przed wszystkim należy podkreślić, że wykonane pomiary laserowe zabytkowych fundamentów ratusza w Radomiu, są niestandardowym rozwiązaniem, doprowadzającym do pozyskania i wygenerowania dodatkowego, a zarazem dokładnego zasobu danych przestrzennych i obrazowych. Przeprowadzone prace potwierdzają możliwość wykonywania szybkiego, dokładnego i nieinwazyjnego pomiaru obiektu w ramach badań archeologiczno-architektonicznych. Wykonane prace wpisują się w szereg tego typu przedsięwzięć, jakie zrealizowano w naszym kraju, w odniesieniu do zabytkowej architektury.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że naziemne pomiary laserowe zabytkowych fundamentów ratusza w Radomiu, stanowią jeden z nadal nielicznych przykładów takiej dokumentacji podczas badań archeologiczno-architektonicznych. W Polsce potencjał naziemnego skanowania laserowego doceniło już wiele osób i instytucji, wpisując na stałe tego typu technologie do swoich działań oraz licznych prac terenowych. Pośród unikatowych obiektów odkrytych i badanych archeologicznie, dla których wykonano naziemne skanowanie laserowe, obok radomskiego ratusza należą m.in.: (1) relikty wczesnośredniowiecznego, piastowskiego, architektonicznego zespołu pałacowo-sakralnego na Ostrowie Lednickim, woj. wielkopolskie³¹; (2) relikty palatium wczesnośredniowiecznego na Ostrowie Tumskim w Poznaniu, woj. wielkopolskie³²; (3) relikty zamku średniowiecznego w Chęcinach, woj. świętokrzyskie³³; (4) relikty pałacu fortecznego w Krzyżtoporze, woj. świętokrzyskie³⁴.

Podsumowując, należy stwierdzić, że metodyka badawcza podczas prac terenowych (archeologiczno-architektonicznych) przy reliktach architektury wymaga określenia zakresu działań, które nie były konieczne podczas tradycyjnych pomiarów. Z uwagi na specyfikę obiektów, jak i panujące warunki terenowe, zakres metodyczny winien być każdorazowo określany, z przyjęciem pewnych ogólnych założeń i zaleceń, które funkcjonują w literaturze przedmiotu, jak i tych przywołanych w powyższym tekście. Wydaje się, że w przyszłości cennym będzie obszerniejsze, a zarazem bardziej szczegółowe opracowanie zaleceń w zakresie pomiarów TLS przy zabytkach *in situ*, uwzględniające m.in. obowiązujące zasady w Polsce, co może przyczynić się do upowszechnienia stosowania omawianej technologii, jak i zwiększyć świadomość jej potencjału w środowiskach naukowo-konserwatorskich oraz w społeczeństwie.

BIBLIOGRAFIA:

- 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 30.11.2015]
- 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, Wideń, s. 513-521.

³¹ <http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news,400850,cyfrowo-zadokumentowano-grod-na-ostrowie-lednickim.html>; *Digitalizacja zabytków*, [w:] *Raport roczny Narodowego instytutu dziedzictwa*, 2011, s. 36-41, Warszawa – <http://www.nid.pl/upload/iblock/654/654a66106b442aeb0c0df7d0367b5b8c.pdf>;

³² Kócka-Krenz H., 2011, *Kaplica wczesnośredniowiecznej rezydencji książęcej w Poznaniu*, „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 7-A/2011, z. 23, r. 108, s. 143-158 – http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i2/i6/i0/i9/r12609/KockaKrenzH_KaplicaWczesnosredniowiecznej.pdf

³³ <http://geoforum.pl/?page=news&id=16036&link=zeskanowali-fragment-ruin-sredniowiecznej-warowni&menu=46816,46853>

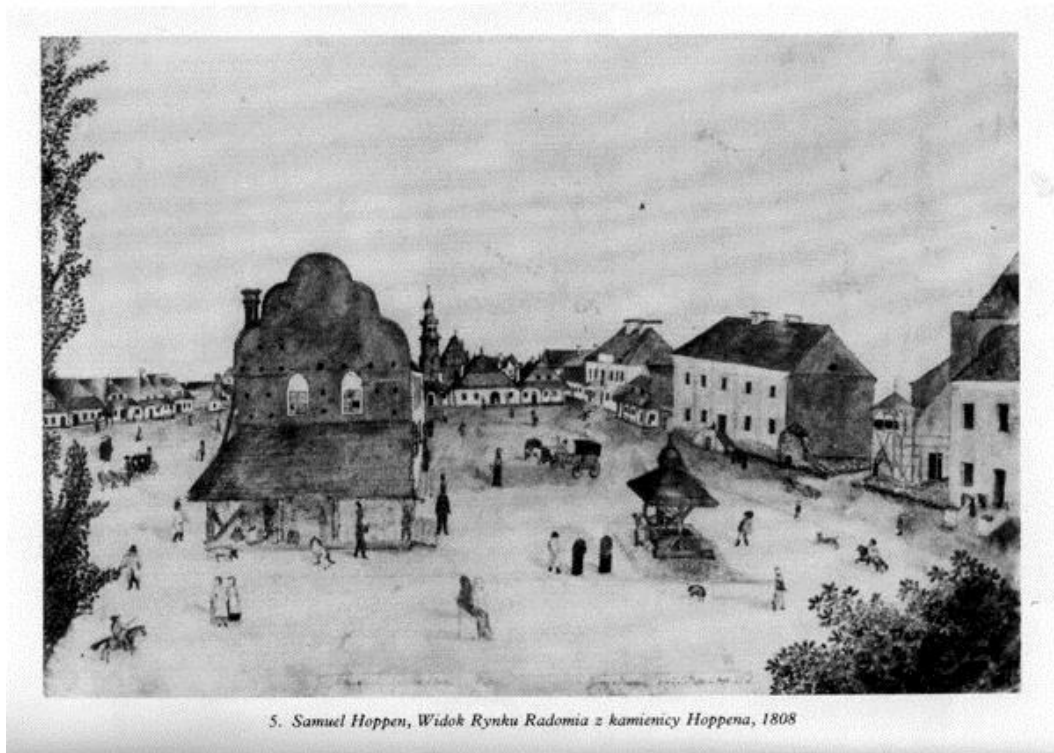
³⁴ http://www.golembnik.pl/metodyka_krzyz.html

- Barański M., 2008, *Określenie cech interpretacyjnych promieni wiązki skanującej w naziemnym skanerze w funkcji rejestrowanego obiektu*, Warszawa [maszynopis pracy magisterskiej – archiwum Politechniki Warszawskiej].
- 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 30.11.2015]
- Barczyk G., J. Marciniak-Barczyk, 2014, *Radomskie Nowe Miasto w świetle badań archeologiczno-architektonicznych*, „Renowacje i zabytki”, nr 1 (46) 2014, s. 50-59.
- Boroń A., Rzońca A., Wróbel A., *Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków*, Rocznik Geomatyki, t. V, z. 8, 2007, s. 129-140.
- Brykowska M. *Metody pomiarów i badań zabytków architektury*, Warszawa, 2003.
- Brykowska M., 2015, *Badania historyczno-architektoniczne do prac konserwatorskich*, (w:) *Badania architektoniczne. Historia i perspektywy rozwoju*, red. M. Arszyński, M. Prarat, U. Schaaf, B. Zimnowoda-Krajewska, Toruń, s. 87-107.
- Bil J., *Modelowanie 3D w projektowaniu konserwatorskim*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 31, 2012, 104-109.
- Digitalizacja zabytków*, [w:] *Raport roczny Narodowego instytutu dziedzictwa*, 2011, s. 36-41, Warszawa - <http://www.nid.pl/upload/iblock/654/654a66106b442aeb0c0df7d0367b5b8c.pdf> [dostęp 30.11.2015]
- Dorninger P., Nothegger C., 2010, *Automated Processing of Terrestrial Mid-Range Laser Scanner Data for Restoration Documentation at Millimeter Scale*, pp. 604 - http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_197862.pdf [dostęp 30.11.2015]
- 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.
- Falkowski P., Parzyński Z., Uchański J., *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.
- Franceschi M., 2009, *Application of terrestrial laser scanner to cyclostratigraphy*, Padova, pp. Viii-ix, 77-78 - <http://paduaresearch.cab.unipd.it/1659/1/FRANCESCHI.pdf> [dostęp 30.11.2015]
- Gołębniak A., *Rola nowych technik dokumentacyjno-pomiarowych w interdyscyplinarnych działaniach badawczo-konserwatorskich*, Wiadomości Konserwatorskie, 40/2014, 2014, s. 83-93.
- Jones D. M. (red.) *3D Laser Scanning for Heritage (second edition). Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture*. Swindon, 2011.
- Kędzierski M., Zapłata R., Fryśkowska 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.
- 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 [dostęp 30.11.2015]
- 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.
- Kóćka-Krenz H., 2011, *Kaplica wczesnośredniowiecznej rezydencji książęcej w Poznaniu*, „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 7-A/2011, z. 23, r. 108, s. 143-158 - https://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i2/i6/i0/i9/r12609/KockaKrenzH_KaplicaWczesnosredniowiecznej.pdf [dostęp 30.11.2015]
- Markiewicz J., 2012, *Integracja danych z różnych źródeł fotogrametrycznych przy budowie modelu 3D obiektu*, Warszawa [maszynopis pracy dyplomowej – archiwum Politechniki Warszawskiej].
- Markiewicz J., Zawieska D., 2014, *Terrestrial scanning or digital images in inventory of monumental objects?*

- Case study, "The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing", vol. XL-5, s. 395-400.
- Markiewicz J., Dorota Z., Kowalczyk M., Zapłata R., [2014], *Utilisation of laser scanning for inventory of an architectural object using the example of ruins of the Krakow Bishops' Castle in Iłża, Poland*, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing Conference Proceedings V. III, Photogrammetry and Remote Sensing, Cartography and GIS, International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM, vol. III, 2014, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, s. 391-396.
- Markiewicz J. S., Kowalczyk M., Podlasiak P., Bakuła K., Zawieska D., Bujakiweicz A., Andrzejewska E., 2013, *Analiza wpływu rozdzielczości danych źródłowych na jakość produktów fotogrametrycznych obiektu architektury*, (w:) *Measurement technologies in surveying. Geodezyjne technologie pomiarowe*, red. Z. Kurczyński Warszawa, s. 69-84.
- Mitka B., *Możliwości zastosowania naziemnych skanerów laserowych w procesie dokumentacji i modelowania obiektów zabytkowych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol.17b, 2007, 525-534.
- 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].
- 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.
- 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.
- Pragacz E. P., 2012, *Wtórne przetwarzanie danych z naziemnego skaningu laserowego dla potrzeb inwentaryzacji architektury*, Warszawa [maszynopis pracy dyplomowej – archiwum Politechniki Warszawskiej].
- 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.
- Sitnik R. 2010, *Odwzorowanie kształtu obiektów trójwymiarowych z wykorzystaniem oświetlenia strukturalnego*, Warszawa.
- Toś C., Wolski B., Zielina L., 2010, *Tachimetry skanujące. Aplikacje technologii skanowania w budowie szczegółowych modeli obiektów inżynierskich*, Kraków.
- Voegtle 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 30.11.2015]
- Wylęzoł M., 2006, *Inżynieria odwrotna w doskonaleniu konstrukcji*, „Modelowanie Inżynierskie”, 32, s. 485-490.
- Wytyczne Techniczne G-3.4 pt.: „Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury”, 1981, GUGiK, Warszawa.
- 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. Wyczałek, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, s. 41-54.
- Zalecenia dotyczące planowania i realizacji projektów digitalizacyjnych w muzealnictwie*, Zespół ekspertów powołany przez Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów: Eryk Bunsch, Piotr Jamski, Tomasz Kalota, Lidia Karecka, Marcin Kłós, dr Jacek Marciniak, dr Cezary Mazurek, dr hab. Robert Sitnik, Marcin Szala, Marcin Werla, dr Tomasz Zaucha ze strony NIMOZ: Anna Kuśmidrowicz-Król, Redakcja: Daniela Galas, Warszawa 2011: Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów - http://digitalizacja.nimoz.pl/uploads/zalaczniki/Zalecenia_planowanie_i_realizacja_projektow_digitalizacyjnych_NIMOZ_2011.pdf [dostęp 30.11.2015]

- Zapłata R., 2013, *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa.
- Zapłata R., 2013, *Wybrane zagadnienia skanowania naziemnego architektury zabytkowej – przykład ruiny zamku w Hłży*, „Radomskie Studia Humanistyczne”, z. 1, s. 255-271.
- Zapłata R., 2014, *Sprawozdanie z przeprowadzonych prac dokumentacyjnych wraz z zaleceniami w zakresie korzystania z pozyskanych danych oraz opis wyników naziemnych pomiarów laserowych z uwzględnieniem specyfiki obiektów zabytkowych i archeologiczno-architektonicznych - ruiny gotycko-renesansowego ratusz w Radomiu*, [maszynopis w archiwum Sp. z o. o. Rewitalizacja], Radom.
- Zapłata R., 2014, *Wytyczne techniczne w zakresie wykonania naziemnego skanowania laserowego fundamentów zabytkowego ratusza w Radomiu* [maszynopis w archiwum Sp. z o o. Rewitalizacja].
- Zapłata R., 2014, *Wytyczne techniczne przygotowania produktów pochodnych naziemnych pomiarów laserowych zabytkowych fundamentów ratusza miejskiego w Radomiu* [maszynopis w archiwum Sp. z o. o. Rewitalizacja].

RYCINY



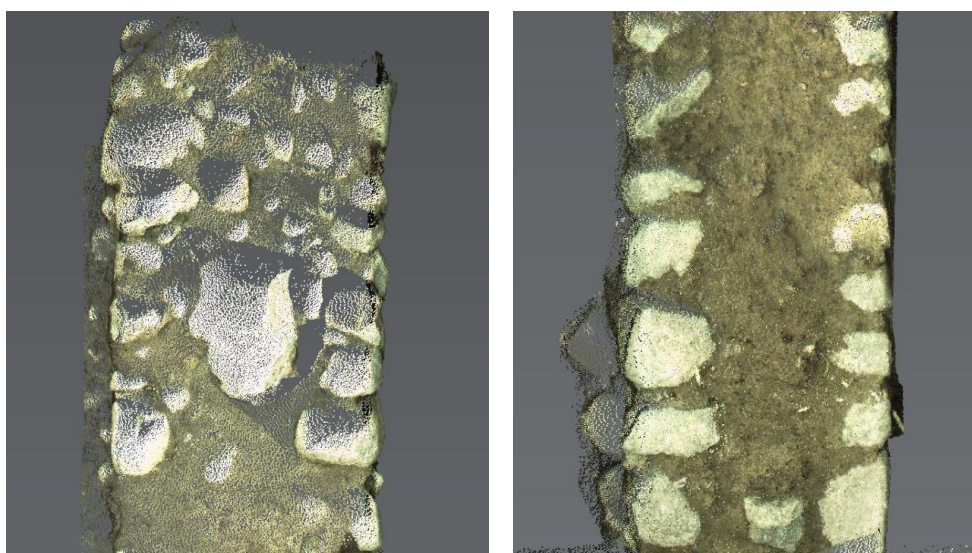
Ryc. 1. Radom – widok rynku w Radomiu autorstwa Samuela Hoppena z 1808 r.. (Źródło: <http://www.cms.rewitalizacja-radom.pl/>)



Ryc. 2. Radom – wykop 1/2014 – fundamenty zabytkowego ratusza. Skaner impulsowy Leica C10 podczas pomiaru w terenie (po lewej) oraz tarcza HDS. Foto. R. Zapłata.



Ryc. 3. Radom - wykop I/2014 - zabytkowe fundamenty ratusza. Foto. R. Zapłata



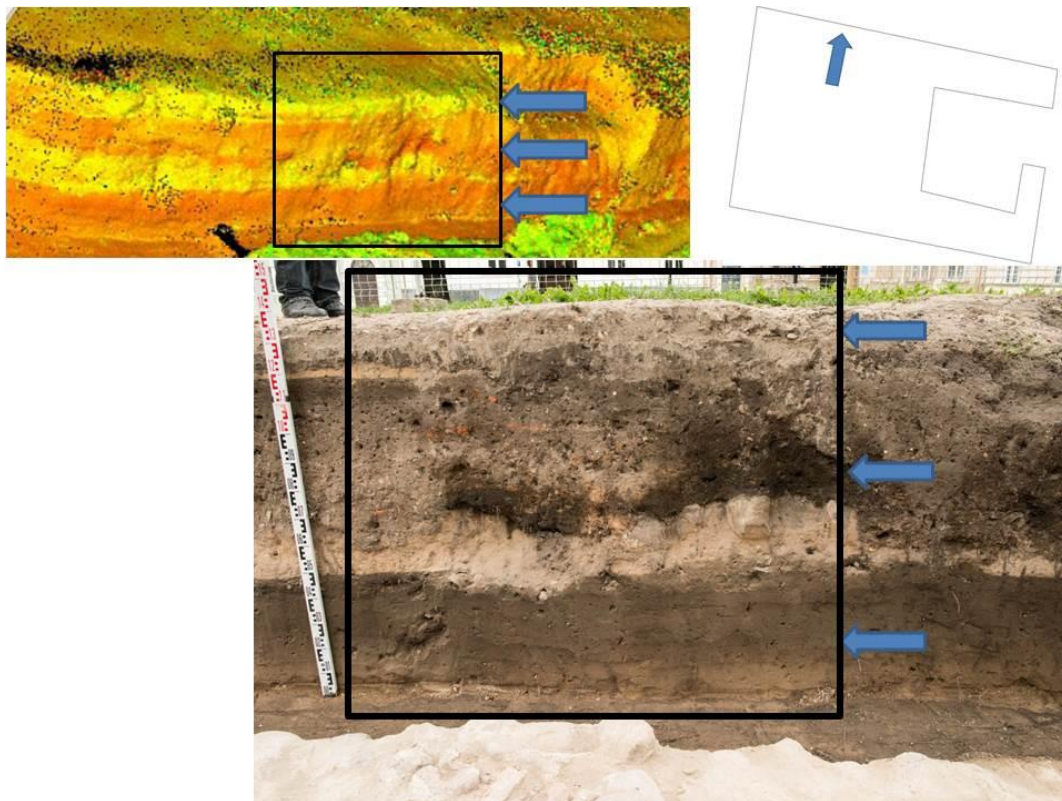
Ryc. 4. Radom - wykop I/2014 - zabytkowe fundamenty ratusza. Przykłady zróżnicowanego pokrycia powierzchni pomiarem. Po lewej mniejsza gęstość punktów na powierzchni, po prawej większa gęstość punktów na powierzchni fundamentu. Źródło: Leica Geosystems / Oprac. R. Zapłata



Ryc. 5. Radom - wykop I/2014 - zabytkowe fundamenty ratusza. Wizualizacja modelu 3D fragmentu zabytkowego fundamentu wygenerowanego ze zdjęć cyfrowych. Źródło: Leica Geosystems. / Oprogramowanie Agissoft



Ryc. 6. Radom - wykop I/2014 - zabytkowe fundamenty ratusza. Wizualizacja modelu 3D fragmentu zabytkowego fundamentu wygenerowanego ze zdjęć cyfrowych (po lewej chmura punktów). Źródło: Leica Geosystems. Foto. R. Zapłata / Oprogramowanie Agissoft



Ryc. 7. Radom – wykop I/2014 – zabytkowe fundamenty ratusza. Wizualizacja intensywności odbicia od jednostek stratyfikacji powracającej wiązki lasera (u góry) – zdjęcie profilu (u dołu). Fragment profilu N / część W. Źródło: Leica Geosystems / K. Cheda. Foto. R. Zapłata.



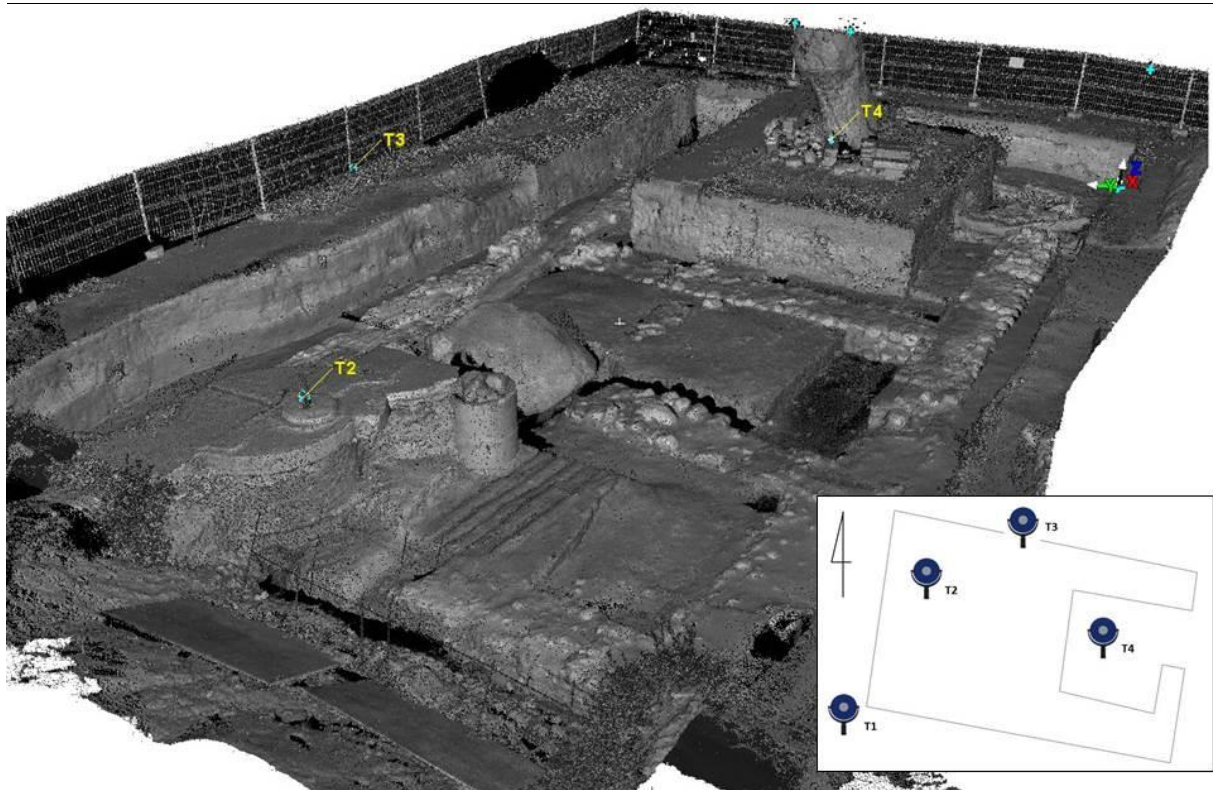
Ryc. 8. Radom - wykop I/2014. Tablica informacyjna badań terenowych. Foto. R. Zapłata



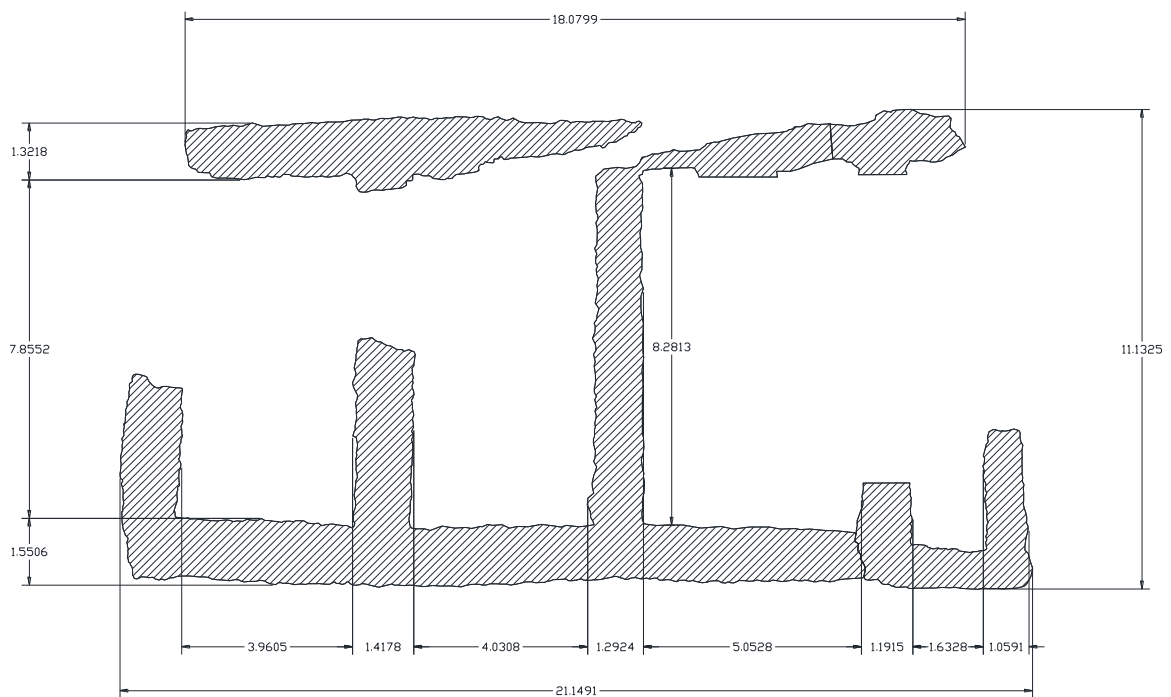
Ryc. 9. Radom – badania fundamentów zabytkowego ratusza w Radomiu. Zdjęcia poglądowe z pomiarów TLS. Fot. R. Zapłata.



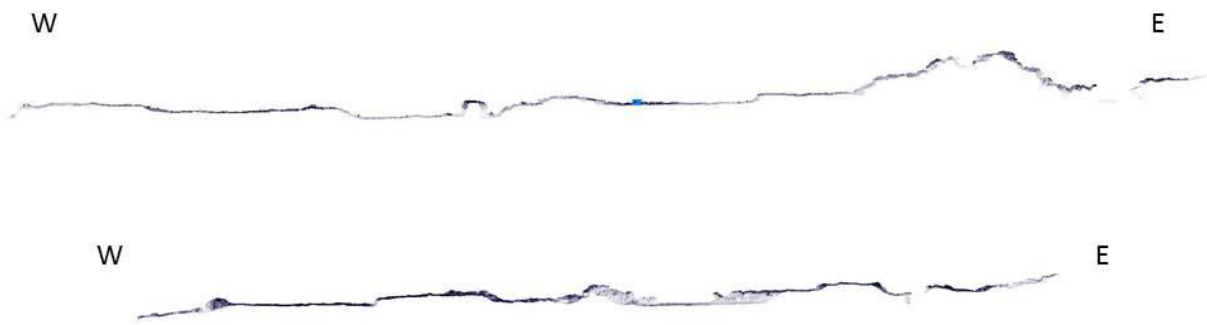
Ryc. 10. Radom - wykop I/2014 - zabytkowe fundamenty ratusza. Pomiary referencyjne tachimetrem i urządzeniami GSP/GNSS. Fot. R. Zapłata



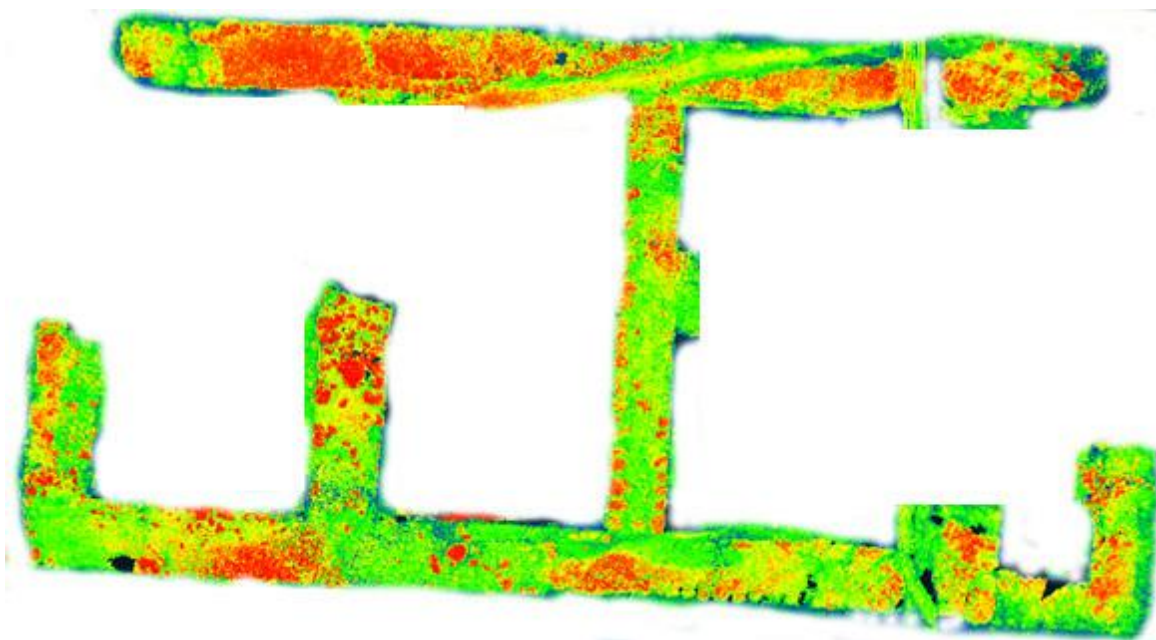
Ryc. 11. Radom - wykop I/2014 - zabytkowe fundamenty ratusza. Rozmieszczenie 4 tarcz HDS. Źródło. Leica Geosystems / K. Cheda. / Oprogramowanie: Cyclone



Ryc. 12. Radom - wykop I/2014 - zabytkowe fundamenty ratusza. Obrys zabytkowych fundamentów. Źródło: Leica Geosystems / Oprac. K. Cheda i R. Zapłata / Oprogramowanie: AutoCAD



Ryc. 13. Radom - wykop I/2014 - zabytkowe fundamenty ratusza. Przykładowe przekroje dla fundamentów ratusza: (u góry) przekrój dłuższego fundamentu N, (u dołu) przekrój dłuższego fundamentu S. Źródło: Leica Geosystems / oprac. K. Cheda / Oprogramowanie: Cyclone



Ryc. 14. Radom - wykop I/2014 - zabytkowe fundamenty ratusza. Wizualizacja modelu hipsometrycznego fundamentu. Źródło: Leica Geosystems / Oprogramowanie: Cloud Compare

ROZDZIAŁ II



Hybrydowo i mobilnie - system laserowy łączący w sobie stacjonarny oraz kinematyczny sposób rejestracji danych a dobra kultury

Hybrid and mobile - laser system combining
a stationary and kinematic data capture
and cultural property

Jacek Krawiec*, Klaudia Gergont *, Rafał Zapłata**

*Laser-3D Jacek Krawiec, Królowej Jadwigi 194D lok. 2, 30-212 Kraków
info@laser-3d.pl

** Zakład Konserwacji Zabytków i Ochrony Krajobrazu, Instytut Historii Sztuki,
Wydział Nauk Historycznych i Społecznych, Uniwersytet Kardynała Stefana
Wyszyńskiego w Warszawie
rafalzaplata@poczta.onet.pl

Słowa klucze: hybrydowy i mobilny system laserowy, dobra kultury,

Key words: hybrid and mobile laser system, cultural property

Abstrakt: Tekst prezentuje potencjał hybrydowego i mobilnego systemu laserowego, z ukierunkowaniem na działania związane z ochroną i inwentaryzacją dziedzictwa kulturowego w Polsce. Charakterystyka tytułowej technologii przedstawiana jest na przykładzie RIEGL VMX Mobile Mapping System, który oferuje wysoce dokładne, skalibrowane dane pomiarowe (skaningowe) oraz obrazowe, co w połączeniu z odpowiednim oprogramowaniem, obsługującym mobilne skanowanie laserowe, odpowiada najwyższym standardom, dotyczącym dokładności oraz wyrazistości rejestrowanych danych. Publikacja ukierunkowana jest na określenie potencjalnych obszarów zastosowania technologii na rzecz ochrony dóbr kultury, w szczególności w strefie przybrzeżnej, na obszarach o wysokim zagrożeniu osuwiskowym, czy też powodziowym, jak i obszarach miejskich.

WPROWADZENIE

W ostatnich latach dostrzegamy prężny rozwój mobilnego skanowania laserowego (akronim MLS – od ang. *Mobile Laser Scanning*), które stopniowo wspiera różnorodne działania. Specyfika tego typu skanowania kieruje jego zastosowanie w stronę szczególnych sytuacji, pozwalając zarazem budować nowe obszary zastosowania w określonych branżach i dyscyplinach naukowych. Technologia ta wkracza również do działań związanych z ochroną dóbr kultury i środowiska, sytuując się pomiędzy technikami skanowania naziemnego i lotniczego, które zyskały już uznanie w wielu środowiskach.

W poniższym tekście zostanie zaprezentowany potencjał samej technologii, z odniesieniem do przykładowego systemu hybrydowo-mobilnego, w działaniach na rzecz dziedzictwa kulturowego. Swego rodzaju koncepcja zostanie zastosowana do sytuacji w Polsce, celem zobrazowania specyfiki tego typu systemów, jak i nowych możliwości w modernizacji metodyki ochrony i monitorowania dóbr kultury i środowiska. Dedykowanym systemem mobilnym jest RIEGL VMX Mobile Mapping System³⁵, oferujący wysoce dokładne, skalibrowane dane pomiarowe (skaningowe) oraz obrazowe, co w połączeniu z odpowiednim oprogramowaniem, obsługującym mobilne skanowanie laserowe, odpowiada najwyższym standardom, dotyczącym dokładności oraz wyrazistości rejestrowanych danych.

Na wstępie można by zadać sobie pytanie: czy i jak możemy wykorzystać potencjał systemów mobilnych w ochronie dóbr kultury i środowiska, a zwłaszcza w ochronie dziedzictwa kulturowego?

DOBRA KULTURY NA TERENACH ZAGROŻONYCH

Ochrona oraz monitorowanie dóbr kultury i środowiska bazują m.in. na różnorodnych systemach pomiarowych, teledetekcyjnych, zarówno naziemnych, lotniczych, jak i satelitarnych. Każdy z nich oferuje zróżnicowane, ale i wysokiej jakości dane, które np. wspierają działania inwentaryzacyjne dziedzictwa kulturowego oraz zasobów środowiskowych. Interesujące nas przede wszystkim dobra kultury, stanowią zróżnicowany zasób, w skład którego w dużym stopniu wchodzi obiekty znajdujące się *in situ*, jak np. zabytkowa architektura, dziedzictwo archeologiczne czy postindustrialne. Obiekty te występują zarówno na terenach miejskich, jak i na terenach nieurbanizowanych (np. leśnych, rolniczych). Wiele z nich zlokalizowane jest dość często w trudno dostępnych miejscach, jak i na terenach stanowiących dla nich zagrożenie (np. strefy osuwiskowe³⁶, powodziowe³⁷, pogórnice³⁸ itp.).

Monitorowanie sytuacji, a tym samym obiektów zabytkowych na terenach osuwiskowych czy powodziowych, stanowi wyzwanie, z którym specjaliści zmagają się od pokoleń. Poprawę tej sytuacji dostrzeżono m.in. poprzez uwzględnienie w obserwacji technologii teledetekcyjnych i laserowych.³⁹ Zobrazowania satelitarne, lotnicze skanowania laserowe, zdjęcia lotnicze, a w końcu mobilne skanowanie laserowe wzbogaciły i wzbogacają niewątpliwie działania na rzecz rejestracji i przeciwdziałania – przewidywania zagrożeń dla dziedzictwa kulturowego. Z pułapu naziemnego stosowano w ostatnich latach m.in. TLS, jednak w wielu sytuacjach, zwłaszcza ze względu na metodykę postępowania podczas wykonywanych pomiarów, technologia ta nie była na tyle optymalna, aby uzyskać powszechne stosowania. Poten-

³⁵ <http://www.riegl.com>

³⁶ Krzyk P., 2015, *Uwarunkowania geologiczno-inżynierskie i geotechniczne w planowaniu przestrzennym z uwzględnieniem obszarów osuwiskowych*, Kraków; Zapłata R., 2015, *Osuwiska jako zagrożenie dla dziedzictwa kulturowego* - prezentacja podczas konferencji naukowej "O!SUWISKO", Wieliczka, 19-22.05.2015 r. [archiwum UKSW].

³⁷ Sałaciński K., 1998, *Straty w dobrach kultury w czasie powodzi: uwagi, spostrzeżenia i wnioski*, "Ochrona Zabytków", nr 51/1, s. 57-62; Bednarczyk S., Jarzębińska T., Mackiewicz S., Wołoszyn E., 2006, *Vademecum ochrony przeciwpowodziowej*, Gdańsk - http://www.kzgw.gov.pl/files/file/Edukacja/Vademecum_ochrony_przeciwpowodziowej.pdf [dostęp 10.12.2015].

³⁸ Kwiatek J., 2000, *Obiekty budowlane na terenach górniczych*, Katowice.

³⁹ M.in. na ten temat: Ziętara T., Bajgier M., Lis J., 1990, *Rola zdjęć lotniczych w badaniach osuwisk w Beskidzie Śląskim*. „Teledetekcja Środowiska”, t. 20, s. 93-104; Grabowski D., 2008, *System Ochrony Przeciwośuwiskowej SOPO*, „Przegląd Geologiczny”, t. 56/7, s. 537-538; Wężyk P. (red.), 2014, *Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR*. Warszawa - <http://szkolenialidar.gugik.gov.pl/> [dostęp 10.12.2015]; Małka A. 2015, *Modelowanie podatności osuwiskowej z zastosowaniem metody indeksowej i wysokorozdzielczych danych z lotniczego skaningu laserowego (LIDAR) na obszarze Gdańska*, „Przegląd Geologiczny”, vol. 63/5, s. 301-311.

cyjnym rozwiązaniem, dla pozyskiwania wysokiej jakości danych przestrzennych (np. związanych z procesami osuwiskowymi), stało się włączenie do prac mobilnego skanowania laserowego.

HYBRYDOWY I MOBILNY POTENCJAŁ

Naziemne skanowanie możemy podzielić na dwie zasadnicze grupy: stacjonarne i mobilne skanowanie laserowe. Odsyłając czytelnika do licznych publikacji na temat skanowania laserowego, zwłaszcza naziemnego, z ukierunkowaniem na dobra kultury i środowiska (patrz przywoływana, przykładowa literatura)⁴⁰, warto ze względu na problematykę tekstu, ale i rzadsze stosowanie tych rozwiązań (niż TLS), skupić większą uwagę na specyfice i ogólnej charakterystyce mobilnego skanowania laserowego. Zasadniczo technologia polega na połączeniu urządzeń pomiarowych (skanerów) z platformą poruszającą się w terenie. Jako mobilna platforma posłużyć może zarówno zwykły samochód, pojazd terenowy, wszelkie pojazdy torowe, jak również łodzie oraz statki. Ten rodzaj skanowania, czy też rodzaj systemu pozyskiwania danych (system pomiarów kinematycznych), charakteryzuje również hybrydyczność, czyli łączenie ze skanerami różnego rodzaju kamer i urządzeń pomiarowych. Charakteryzując przekrojowo systemy mobilne, warto również podkreślić, że obecnie mamy do dyspozycji dwa zasadnicze ich typy: (1) z urządzeniami skanującymi naziemnymi (adoptowane do tego typu rozwiązań) oraz (2) z urządzeniami dedykowanymi do tego rodzaju pracy (mobilnej). Zarówno pierwsze, jak i drugie mają określone zalety, np. posiadacze naziemnych skanerów laserowych mogą ten potencjał, przy zastosowaniu odpowiednich rozwiązań, wykorzystać przy skanowaniu mobilnym, budując tym samym na własne potrzeby dwojakiego rodzaju rozwiązanie (naziemne i mobilne). Drugie rozwiązanie, oparte na urządzeniach dedykowanych pomiarom mobilnym, charakteryzuje m.in. integracja urządzeń, które nie wymagają od posiadającego działań nakierowanych na kompletowanie systemu.⁴¹

Z uwagi na próbę wykazania potencjalnych sposobów zastosowania systemu mobilnego, który razem ma być widziany jako swego rodzaju uzupełnienie naziemnych pomiarów laserowych, jak i rozwiązaniem dającym możliwość wykonywania dwóch rodzajów skanowania, odnieśmy się do przykładowego rozwiązania hybrydowo-mobilnego. Mając do dyspozycji skaner laserowy 3D do użytku stacjonarnego lub też mając na uwadze chęć zastosowania nabywanego skanera nie tylko w obszarze pomiarów stacjonarnych, warto rozważyć opcje zastosowania naziemnego skanera do prac mobilnych (Ryc. 1). Takie rozwiązanie oferowane jest m.in. dzięki systemowi RIEGL VMZ „Hybrid Mobile Laser Mapping“ (Ryc. 2).

System ten jest kombinacją naziemnego skanera 3D firmy RIEGL VZ-400, VZ-1000 lub VZ-2000 z w pełni zintegrowaną jednostką IMU/GNSS, umożliwiającą zastosowanie skanera w obrębie mobilnego (kinematycznego) zbierania danych. Również najnowszy skaner RIEGL VZ-400i, którego prezentacja odbyła się na targach Intergeo w Stuttgartcie we wrześniu 2015 roku, posiada opcje zintegrowania z systemem VMZ. W tym celu skaner wyposażono w specjalny adapter, który pozostaje zamontowany do instrumentu również w trakcie stacjonarnego użytkowania. Przy użyciu adaptera i śruby mocującej skaner montowany jest do jednostki IMU/GNSS i natychmiast jest gotowy do pracy. Kilka prostych chwytów, bez konieczności użycia specjalistycznych narzędzi, pozwala na zdemontowanie skanera ze statywu i zamonto-

⁴⁰ M.in.: 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_ISPRS06.pdf [dostęp 10.12.2015]; Mitka B., *Możliwości zastosowania naziemnych skanerów laserowych w procesie dokumentacji i modelowania obiektów zabytkowych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 17b, 2007, 525-534; Vosselman G., Maas, H-G., 2010, *Airborne and terrestrial laser scanning*, Dunbeath; 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 30.11.2015]; 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; 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*, „Widomości Konserwatorskie”, 32, s. 82-88; Zapłata R., 2013, *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa; Markiewicz J., Zawieska D., 2014, *Terrestrial scanning or digital images in inventory of monumental objects? - Case study*, "The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing", vol. XL-5, s. 395-400;

⁴¹ Mikruta S, Głowienka E. (red.), 2015, *Fotogrametria i skaning laserowy w modelowaniu 3D*, Rzeszów – (tam obszerniejsza charakterystyka mobilnych systemów laserowych oraz szersza literatura przedmiotu).

wanie na mobilną platformę (i z powrotem). Odpowiednie bolce jednostki IMU/GNSS idealnie pasują do adaptera, gwarantując również, przy wielokrotnym przepinaniu systemu ze stacjonarnego na mobilny, stałość współrzędnych systemu skanera 3D względem jednostki IMU/GNSS, tym samym zachowana jest wysoce dokładna kalibracja systemu (ang. *Calibration of Bore-sight Misalignment*). Na pojeździe montowany jest stabilny uchwyt nośny, pasujący do standardowych bagażników dachowych. W zależności od tego, czy system będzie używany w pozycji pionowej, czy poziomej, na ramie bagażnika należy zamontować odpowiednie mocowanie, tłumiące drgania. System składający się ze skanera 3D, adaptera oraz jednostki IMU/GNSS zostanie następnie przymocowany do platformy przy użyciu śrub mocujących (Ryc. 4). Obok skalibrowanej i zsynchronizowanej z GPS kamery NIKON DSLR, która poprzez uchwyt na skanerze zintegrowana jest z systemem, istnieje możliwość zastosowania innej kamery, przykładowo *Pointgrey Ladybug*, w celu wykonywania zdjęć. System – skaner, kamera oraz jednostka IMU/GNSS zaopatrywana jest w energię, przy pomocy klasycznego akumulatora samochodowego. Sterowanie systemem oraz pozyskiwanie danych (chmura punktów 3D oraz skalibrowane zdjęcia cyfrowe) odbywa się przy użyciu laptopa (Ryc. 3). Poprzez zastosowanie pakietów oprogramowania firmy RIEGL dla naziemnych oraz mobilnych skanerów laserowych, można w pełni wykorzystać możliwości instrumentu pomiarowego. Efektywny oraz łatwy w obsłudze *workflow*, zarówno w pozyskiwaniu danych, jak i ich późniejszej obróbce, stanowi zaletę ww. rozwiązania.

Kombinacja stacjonarnych oraz mobilnych skanów znajduje swoje zastosowanie dla pomiarów kopalń odkrywkowych, wyrobisk, kamieniołomów oraz wysypisk. Równie często znajduje zastosowanie do nadzoru dużych placów budowy oraz mniejszych projektów z działu infrastruktury, a także zagospodarowania przestrzennego, jak i do precyzyjnych pomiarów koryt rzecznych. Dodatkowo warto podkreślić, że konstrukcja systemu ma charakter elastyczny (nie jest on zamknięty), co powoduje, że może być rozbudowywany o kolejne urządzenia rejestracji danych, jak np. kamery termalne itp. Analizując powyższe zalety systemu VMZ, należy mieć na uwadze, że system hybrydowy charakteryzuje się możliwością kombinacji naziemnego oraz mobilnego zastosowania pojedynczego skanera laserowego, nie może jednak być traktowany jako równorzędne zastępstwo dla specjalnie stworzonego do zastosowań mobilnych systemu, jak np. RIEGL VMX (z dwoma skanerami profilowymi 360°).⁴²

Technologia MLS, w porównaniu z TLS i MSL, posiada szereg zalet, jak i mankamentów, które skłaniają często do traktowania ww. sposobów rejestracji danych przestrzennych jako komplementarnych wobec siebie.⁴³

OCHRONA DÓBR KULTURY Z ZASTOSOWANIEM MOBILNYCH SYSTEMÓW

Systemy mobilnego skanowania laserowego, a zarazem systemy hybrydowo-mobilne zyskały zainteresowanie środowisk zajmujących się ochroną i inwentaryzacją dziedzictwa kulturowego na świecie. Liczne przykłady różnorodnych zastosowań świadczą o potencjale technologii, jak i rodzących się nowych obszarach zastosowań.⁴⁴ Dostrzegając przywołane cechy (zalety) przykładowego systemu oraz mając na uwadze ww. przekrojową charakterystykę dziedzictwa kulturowego, zwłaszcza na terenach

⁴² <http://www.riegl.com/>

⁴³ Na ten temat m.in.: Boulaassal H., Landes T., Grussenmeyer P., 2011, *Reconstruction of 3D vector models of buildings by combination of ALS, TLS and VLS data*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Vol. XXXVIII - 5/W16, 2011, ISPRS Trento 2011 Workshop, 2-4 March 2011, Trento, Italy - <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-5-W16/239/2011/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-239-2011.pdf> [dostęp 10.12.2015]; Pu S., Rutzinger M., Vosselman G., OudeElberink S., 2011. *Recognizing basic structures from mobile laser scanning data for road inventory studies*. „ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing”, vol. 66 (6 SUPPL.), s. S28-S39; Toschi I., Rodríguez-González P., Remondino F., Minto S., Orlandini S., Fuller A., 2015, *Accuracy evaluation of a mobile mapping system with advanced statistical methods*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, vol. XL-5/W5, s. 254-253 - <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W4/245/2015/isprsarchives-XL-5-W4-245-2015.pdf> [dostęp 10.12.2016];

⁴⁴ Np.: Buhur S., Kersten Th., Büyüksalih G., Jacobsen K., Baz I., Dursun S., Sag D., 2008, *3D City Modelling of Istanbul Historic Peninsula by Combination of Aerial Images and Terrestrial Laser Scanning Data*, „International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Archives”, vol. XXXVII, part B7, s. 1239-1246 - http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/7_pdf/6_WG-VII-6/33.pdf [dostęp 10.12.2015];

o dużym stopniu zagrożenia dla zabytków, warto zaprezentować kilka przykładów zastosowania MLS w Polsce.

Przede wszystkim możliwość wykonywania pomiarów z jednostek pływających oferuje wzbogacenie działań w strefie przybrzeżnej (np. nadmorskiej)⁴⁵, jak przy strefach brzegowych wód śródlądowych. Trudny dostęp do wielu miejsc skarp, nabrzeży, które stanowią otoczenie, a nawet miejsce występowania obiektów zabytkowych (np. ruina kościoła w Trzęsaczu, woj. zachodniopomorskie) powoduje, że tradycyjna forma wykonywania pomiarów i monitorowania najbliższego otoczenia obiektów jest niemożliwa. W takich sytuacjach MLS jest rozwiązaniem, które można postrzegać z dwóch perspektyw. Po pierwsze, system umożliwi pomiar dużych obszarów w sposób ciągły i szybki, z możliwością cyklicznego rejestrowania sytuacji, np. monitorowanie nabrzeża z platformy montowanej na samochodzie terenowym, pozwala na rejestrację danych w sposób ciągły, w krótkim okresie (bez konieczności przenoszenia stanowisk niezbędnych w TLS), natychmiast po następujących zmianach związanych z warunkami atmosferycznymi. Po drugie, tego rodzaju pomiar może odbywać się w miejscach, w których rozmieszczenie stanowisk pomiarowych TLS lub też pomiar z platformy samochodowej jest utrudniony czy niemożliwy. Wówczas zastosowanie platformy pływającej, wraz z systemem, umożliwi nie tylko pomiar, ale i cykliczne monitorowanie sytuacji, która może mieć charakter rozwojowy, np. w wyniku powodzi itp. W Polsce odnotowujemy liczne przykłady lokalizacji obiektów zabytkowych na terenach nabrzeżnych, gdzie zarówno procesy osuwiskowe, jak i zmieniający się stan wód, powodują bezpowrotne zniszczenia dziedzictwa kulturowego. Przykładem tego typu obiektów są m.in. grodziska znajdujące się niegdyś niedaleko rzeki lub jeziora (na cyplu, półwyspie itp.), a obecnie niszczone w wyniku działania procesów naturalnych, w częściowej formie odnotowywane właśnie na stoku nabrzeża (np. Wyszogród - grodzisko znajdujące się na lewym brzegu Wisły w Bydgoszczy, woj. kujawsko-pomorskie(Ryc. 5)).

Do tej pory w Polsce nie wykonano obszerniejszej (całościowej) i dokładnej inwentaryzacji nabrzeży strefy nadmorskiej oraz wód śródlądowych, opartej na skanowaniu laserowym, co bez wątpienia mogłoby wygenerować (generować cyklicznie) zasób danych, które z powodzeniem znalazłyby zastosowanie np. w rozpoznaniu stanu zachowania niektórych obiektów zabytkowych, monitorowaniu zachodzących procesów w miejscach ich występowania, i w końcu ich ochronie. Dysponujemy obecnie pomiarami ALS z projektu ISOK, które w znacznym stopniu sytuację poprawiają, jednak jest to zasób danych pochodzących z określonego czasu, jednorazowy, a do tego charakteryzujący się określoną jakością i pewnymi mankamentami⁴⁶. Znakomitą sytuacją, w której możliwe jest zinwentaryzowanie (okresowe) powierzchni terenu (a nawet koryt rzecznych), są okresy suszy m.in. w Polsce, kiedy to drastycznie spada poziom wód, a tym samym odsłaniane są obiekty dziedzictwa kulturowego, które większość roku znajdują się pod wodą⁴⁷. Możliwość wykonania pomiarów w krótkim czasie np. z jednostek pływających lub jeżdżących (oczywiście tam, gdzie poziom wód na to pozwala), stwarza szansę na ich rozpoznanie, a następnie ochronę. Poza tym, liczne obiekty znajdujące się na terenach trudnodostępnych, mogą uzyskać dokładną dokumentację, bez konieczności montowania urządzeń w niekorzystnych warunkach.

Kolejną grupą obiektów, dla których za pośrednictwem MLS możemy poprawić system ochrony i monitorowania, są zabytki znajdujące się w strefach zagrożenia osuwiskowego. Tutaj również swój wkład ma technologia ALS oraz zasób danych ISOK, jednak i w tej sytuacji dostrzegamy pewne mankamenty. Jednorazowość pomiaru daje jedynie odwzorowanie terenu dla określonego terminu, co w zasadzie nie umożliwia cyklicznego monitorowania zachodzących zmian i przewidywania zagrożeń. Rejestracja sytuacji związanych z powierzchniowymi ruchami masowymi technologią TLS jest możliwa i niezwykle cenna, jednak w wielu przypadkach, gdzie osuwiska występują na znacznych obszarach, a zarazem

⁴⁵ Dudzińska-Nowak J., 2007, *Przydatność skanowania laserowego do badań strefy brzegowej południowego Bałtyku*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 17a, s. 179-187.

⁴⁶ Czytaj szerzej np.: Jarząbek J., Kurczyński Z., Woźniak P., 2011, *Informatyczny System Ochrony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami*, „Geodeta”, nr 5 (192), s. 12-17; 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 10.12.2015].

⁴⁷ Np.: *Skarby z Wisły. Archeolodzy odkryli starożytne artefakty* – <http://warszawa.wyborcza.pl/warszawa/1,34862,18699459,skarby-z-wisly-archeolodzy-odkryli-starozytne-artefakty.html> [dostęp 10.12.2015];

mają charakter postępujący, oczekiwanym jest system pomiarów, który umożliwi w sposób szybki, ciągły i mobilny pomiar terenu. Osuwiska stanowią specyficzną grupę zagrożeń, które w odniesieniu do dziedzictwa kulturowego, zasługują na szczególną uwagę, stąd też koncepcję włączenia MLS do systemu ochrony zabytków w Polsce warto rozpatrywać z perspektywy „interdyscyplinarnej”, gdzie pożytek z generowanych danych może czerpać niejedna dyscyplina naukowa. Współpraca w tym zakresie geologów i specjalistów zajmujących się ochroną zabytków, jak i środowiskiem, może przyczynić się do powstania interdyscyplinarnych przedsięwzięć, obniżając zarazem koszty oraz pracochłonność dla takich pomiarów.

Potencjał MLS, wraz z TLS, w odniesieniu do przykładowego systemu, w kontekście działań na rzecz ochrony i monitorowania dziedzictwa kulturowego, warto również odnieść do sytuacji związanych z powodzią w Polsce. W wyniku tego typu ekstremalnych zjawisk naturalnych dochodzi m.in. do zniszczeń obiektów zabytkowych. Począwszy od zabytkowych obiektów, dobrze zachowanych (zabytki architektury, przemysłu itp.), zwłaszcza na terenach miejskich, przez obiekty w stanie ruiny, a skończywszy na obiektach archeologicznych, dostrzegamy liczne straty, powstające w wyniku powodzi. Niestety, trwałe zmiany związane z tego typu zjawiskami przyrodniczymi, doprowadzają m.in. do licznych zmian powierzchniowych, w odniesieniu do obiektów archeologicznych. Często słabo czytelna forma krajobrazowa ulega dalszemu procesowi niszczenia w wyniku działania wód powodziowych, czy też ulega zamazaniu wiele deniwelacji terenowych, świadczących o lokalizacji zabytków.⁴⁸ Wykonanie pomiarów MLS, zwłaszcza na dużych powierzchniach, krótko po opadnięciu wód powodziowych, może być kolejną, dobrą sytuacją do pozyskania danych i analizy określonej sytuacji.

PODSUMOWANIE

Zastosowanie MLS, obok TLS, jak i ALS, staje się stopniowo komplementarną, a zarazem niezależną technologią, która w odniesieniu do ww. przykładów i wielu innych, może być rozwiązaniem wnoszącym nową jakość prac oraz bezcenny zasób danych w ochronie dziedzictwa kulturowego w Polsce. Uzupełniający charakter danych stanowi sam w sobie zasób, który z powodzeniem może być wykorzystywany w formie komplementarnej, wobec danych ALS (ISOK), jak i danych TLS.

Warto podkreślić, że specyfika MLS skłania przede wszystkim do stosowania tej technologii w odniesieniu do sytuacji, w których (1) nie sprawdza się TLS oraz ALS lub też pomiary wykonane ww. technologiami wymagają uzupełnienia, (2) wymagana jest niskonakładowa (niskie koszty), natychmiastowa inwentaryzacja większego obszaru, (3) stromość zboczy oraz ich dostępność uniemożliwiają pełne wykorzystanie potencjału pułapów skanowania laserowego

Na koniec warto również zaznaczyć, że technologia MLS zyskała ogromne zainteresowanie w odniesieniu do rejestracji obszarów zabudowanych, miejskich, a w tym i obiektów zabytkowych, co z pewnością, przy rosnącym postępie technologicznym, przyczyni się do ich coraz powszechniejszego zastosowania.

Jako postulaty badawcze, związane z zastosowaniem MLS w ochronie dziedzictwa kulturowego, warto przede wszystkim ukierunkować działania w stronę zastosowania tej technologii w ww. sytuacjach. Niewątpliwą zaletą będzie również sięgnięcie do zasobów powstałych na bazie MLS lub też połączenie działań ze środowiskami, które dla własnych potrzeb sięgają po technikę mobilną. Cenne byłoby również stworzenie zestawienia obszarów, dla których w ramach różnorodnych przedsięwzięć wykonano pomiary laserowe, począwszy od projektu ISOK, przez pomiary TLS, skończywszy na MSL. Taka baza danych – instytucji, jednostek czy firm, które dysponują tego typu zasobem cyfrowym, byłaby niezwykle cenna w działaniach na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego w Polsce. Dane MLS warto również potraktować jako uzupełnienie pomiarów ALS-ISOK, które dla wielu obszarów z pewnością wymagają dodatkowych pomiarów, ze względu na jakość danych ALS.

⁴⁸ Na temat zmian rzeźby terenu w wyniku powodzi m.in.: Ziętara T. 2002, *Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby terenu oraz niszczeniu infrastruktury osadniczej w górnej części dorzecza Wisły*, (w:) *Geograficzne uwarunkowania rozwoju Małopolski*, (red.) Z. Górka, A. Jelonek, Kraków, s. 37-54.

BIBLIOGRAFIA

- 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 30.11.2015].
- Bednarczyk S., Jarzębińska T., Mackiewicz S., Wołoszyn E., 2006, *Vademecum ochrony przeciwpowodziowej*, Gdańsk – http://www.kzgw.gov.pl/files/file/Edukacja/Vademecum_ochrony_przeciwpowodziowej.pdf [dostęp 10.12.2015].
- Boulaassal H., Landes T., Grussenmeyer P., 2011, *Reconstruction of 3D vector models of buildings by combination of ALS, TLS and VLS data*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Vol. XXXVIII - 5/W16, 2011, ISPRS Trento 2011 Workshop, 2-4 March 2011, Trento, Italy – <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-5-W16/239/2011/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-239-2011.pdf> [dostęp 10.12.2015].
- Dudzińska-Nowak J., 2007, *Przydatność skanowania laserowego do badań strefy brzegowej południowego Bałtyku*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 17a, s. 179-187.
- Buhur S., Kersten Th., Büyüksalih G., Jacobsen K., Baz I., Dursun S., Sag D., 2008, *3D City Modelling of Istanbul Historic Peninsula by Combination of Aerial Images and Terrestrial Laser Scanning Data*, „International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Archives”, vol. XXXVII, part B7, s. 1239-1246 - http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/7_pdf/6_WG-VII-6/33.pdf [dostęp 10.12.2015].
- Grabowski D., 2008, *System Osłony Przeciwsuwiskowej SOPO*, „Przegląd Geologiczny”, t. 56/7, s. 537-538.
- 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, Drez, Germany - http://www.cyi.ac.cy/system/files/Guarnieri_et_al_ISPRSV06.pdf [dostęp 10.12.2015].
- Hyyppä J., Jaakkola A., Chen Y., Kukko A., Kaartinen H., Zhu L., Alho P., Hyyppä H., 2013, *Unconventional LIDAR Mapping from Air, Terrestrial and Mobile*, (w:) *Photogrammetric Week 2013*, (red.) D. Fritsch, s. 205-214 - <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo13/180Hyyppae.pdf> [dostęp 10.12.2015].
- Jarząbek J., Kurczyński Z., Woźniak P., 2011, *Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami*, „Geodeta”, nr 5 (192), s. 12-17.
- 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.
- 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*, „Widomości Konserwatorskie”, 32, s. 82-88.
- Krzyk P., 2015, *Uwarunkowania geologiczno-inżynierskie i geotechniczne w planowaniu przestrzennym z uwzględnieniem obszarów osuwiskowych*, Kraków.
- Kukko A., Kaartinen H., Hyyppä J., Chen Y., 2012, *Multiplatform Approach to Mobile Laser Scanning*, „Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Vol. XXXIX-B5, s. 483-488 - <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B5/483/2012/isprsarchives-XXXIX-B5-483-2012.pdf> [dostęp 10.12.2015].
- 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 10.12.2015].
- Kwiatkiewicz J., 2000, *Obiekty budowlane na terenach górniczych*, Katowice.
- Małka A. 2015, *Modelowanie podatności osuwiskowej z zastosowaniem metody indeksowej i wysokorozdzielczych danych z lotniczego skaningu laserowego (LIDAR) na obszarze Gdańska*, „Przegląd Geologiczny”, vol. 63/5, s. 301-311.
- Markiewicz J., Zawieska D., 2014, *Terrestrial scanning or digital images in inventory of monumental objects? - Case study*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing”, vol. XL-5, s. 395-400.

- Mikruta S, Głowienka E. (red.), 2015, *Fotogrametria i skaning laserowy w modelowaniu 3D*, Rzeszów.
- Mitka B., *Możliwości zastosowania naziemnych skanerów laserowych w procesie dokumentacji i modelowania obiektów zabytkowych*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 17b, 2007, 525-534.
- Norbert H., Petera M., Cefalua A., Kremerb J., 2008, *Mobile Lidar Mapping For Urban Data Capture*, "Digital Heritage - Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia", VSMM, Limassol, Cyprus, s. 92-100 – http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2008/Haala_etal_Streetmapper_Cyprus.pdf [dostęp 10.12.2015].
- Pu S., Rutzinger M., Vosselman G., OudeElberink S., 2011. *Recognizing basic structures from mobile laser scanning data for road inventory studies*. „ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing”, vol. 66 (6 SUPPL.), s. S28-S39.
- Sałaciński K., 1998, *Straty w dobrach kultury w czasie powodzi: uwagi, spostrzeżenia i wnioski*, "Ochrona Zabytków", nr 51/1, s. 57-62.
- Toschi I., Rodríguez-González P., Remondino F., Minto S., Orlandini S., Fuller A., 2015, *Accuracy evaluation of a mobile mapping system with advanced statistical methods*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, vol. XL-5/W\$, s. 254-253 - <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W4/245/2015/isprsarchives-XL-5-W4-245-2015.pdf> [dostęp 10.12.2016].
- Vosselman G., Maas, H-G., 2010. *Airborne and terrestrial laser scanning*, Dunbeath.
- Wachoł A., 2013, *Analiza dokładności przestrzennych danych z lotniczego, naziemnego i mobilnego skaningu laserowego jako wstęp do ich interpretacji*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 25, s. 255-260.
- Wężyk P. (red.), 2014, *Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR*. Warszawa - <http://szkolenialidar.gugik.gov.pl/> [dostęp 10.12.2015].
- Zapłata R., 2013, *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa.
- Zapłata R., 2015, *Osuwiska jako zagrożenie dla dziedzictwa kulturowego* - prezentacja podczas konferencji naukowej "O!SUWISKO", Wieliczka, 19-22.05.2015 r. [archiwum UKSW].
- Ziętara T. 2002, *Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby terenu oraz niszczeniu infrastruktury osadniczej w górnej części dorzecza Wisły*, (w:) *Geograficzne uwarunkowania rozwoju Małopolski*, (red.) Z. Górka, A. Jelonek, Kraków, s. 37-54.
- Ziętara T., Bajgier M., Lis J., 1990, *Rola zdjęć lotniczych w badaniach osuwisk w Beskidzie Śląskim*. „Teledetekcja Środowiska”, t. 20, s. 93-104.

RYCINY



Ryc. 1. RIEGL VMZ Mobile Laser Mapping System: Kombinacja stacjonarnego oraz mobilnego skanera laserowego znajduje szczególne zastosowanie w pomiarach kopalni odkrywkowych, wysypisk oraz kamieniołomów. Źródło: Jacek Krawiec Laser-3D/ RIEGL.



Ryc. 2. Skaner przymocowany do statywu w celu stacjonarnego zbierania danych (po lewej), a następnie dzięki kilku prostym chwytom zamontowany do pojazdu i gotowy do użycia mobilnego (po prawej). Źródło: Jacek Krawiec Laser-3D/ RIEGL.



Ryc. 3. Sterowanie systemem i pozyskiwanie danych za pomocą laptopa. Źródło: Jacek Krawiec Laser-3D/ RIEGL.



Ryc. 4. RIEGL VMZ – montaż poziomy (po lewej) oraz montaż pionowy (po prawej). Źródło: Jacek Krawiec Laser-3D/ RIEGL.



Ryc. 6. Przykład obiektu zabytkowego, częściowo znajdującego się na stromym zboczu – brzegu rzeki Wisły. Grodzisko w Bydgoszczy. Sytuacja dla potencjalnego zastosowania MLS z platformy pływającej. Fot. R. Zapłata.

ROZDZIAŁ III



Koncepcja wsparcia nieinwazyjnego badania zabytków na terenach leśnych w Polsce – system typu *Personal Laser Scanning*

The concept of support for the non-invasive research of monuments in forest areas in Poland - *Personal Laser Scanning* system

Rafał Zapłata

Zakład Konserwacji Zabytków i Ochrony Krajobrazu, Instytut Historii Sztuki,
Wydział Nauk Historycznych i Społecznych, Uniwersytet Kardynała Stefana
Wyszyńskiego w Warszawie
rafalzaplata@poczta.onet.pl

Słowa klucze: mobilne skanowanie laserowe (MLS), dziedzictwo kulturowe, LiDAR, obszary leśne, *Personal Laser Scanning* (PLS), skanowanie kinematyczne

Key words: mobile laser scanning (MLS), cultural heritage. LiDAR, forest areas, *Personal Laser Scanning* (PLS), kinematic laser scanning

Abstrakt: Tekst poświęcony jest prezentacji koncepcji pozyskiwania danych przestrzennych, głównie na terenach leśnych, z zastosowaniem mobilnej technologii, która została omówiona na przykładzie urządzenia Leica Pegasus:Backpack w badaniach i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Celem publikacji jest ukazanie potencjału technologii, w kontekście poprawy jakości danych np. pozyskiwanych w technologii ALS oraz w ramach projektu ISOK w Polsce, przede wszystkim dla obszarów zalesionych. Tekst składa się z kilku zasadniczych części: (1) wprowadzenia, (2) omówienia problematyki badania dziedzictwa kulturowego na obszarach zalesionych, (3) przekrojowej prezentacji technologii mobilnego skanowania - *Personal Laser Scanning* (PLS), (4) omówienia koncepcji zastosowania ww. technologii w badaniach i inwentaryzacji zabytków oraz (5) podsumowania.

WPROWADZENIE

W ostatnich latach w Polsce dostrzegamy ogromne i nadal rosnące zainteresowanie środowisk naukowo-konserwatorskich technologią LiDAR (akronim od ang. *Light Detection and Ranging*), która staje się, jeśli nie dominującą, to coraz powszechniejszą formą zapisu przestrzennego, odnoszącego się do zasobów kulturowych na obszarach zalesionych. Skanowanie przestrzenne, wraz z innymi technikami fotogrametrycznymi, zyskało uznanie wielu dyscyplin naukowych, wpisując się w procesy dokumentacyjne, począwszy od najmniejszych, ruchomych obiektów zabytkowych, stanowiących zbiory muzeów, a skończywszy na całych kompleksach zabytkowej zabudowy. Popularność technologii nie może dziwić, gdyż jest ona nieinwazyjna, szybka i bezdotykowa, a więc nie szkodzi zabytkom, a do tego jest niezwykle dokładna. Skanowanie laserowe, w odniesieniu do zabytków *in situ*, zwłaszcza archeologicznych⁴⁹, a także architektonicznych⁵⁰, militarnych⁵¹ czy przemysłowych⁵², zyskało szczególne uznanie i rozgłos w Polsce za sprawą technologii lotniczego skanowania laserowego - ALS (akronim od ang. *Airborne Laser Scanning*) oraz projektu ISOK (akronim od Informatyczny System Osłony Kraju - <http://www.isok.gov.pl/pl/>), dzięki któremu obecnie mamy dostęp do zasobu danych przestrzennych dla niemalże całego kraju. Kolejnym obliczem omawianej technologii, stosowanej na rzecz badania i ochrony zabytków, jest naziemne skanowanie laserowe (TLS – akronim od ang. *Terrestrial Laser Scanning*), stosowane przede wszystkim w odniesieniu do zabytkowej architektury (inventaryzacja, diagnostyka itp.) badań konserwatorsko-architektonicznych czy badań archeologicznych i archeologiczno-architektonicznych⁵³. W odniesieniu do muzeów oraz innych jednostek gromadzących dzieła sztuki, zabytki ruchome itd., obserwujemy natomiast rosnące zainteresowanie głównie skanowaniem w oparciu o światło strukturalne oraz inne metody bliskiego zasięgu oparte na przetwarzaniu zdjęć. W zależności od potrzeb i stawianych celów, rodzaje omawianej technologii przenikają się wzajemnie, tworząc część współczesnego zestawu narzędziowego środowisk naukowo-badawczych, muzealnych i konserwatorskich.

⁴⁹ Np. Zapłata R., Sławik Ł., 2010, *LIDAR zmienia archeologię*, "Geodeta", 10 (185), s. 42-44; Zapłata R., 2013, *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa; Bakuła K., Ostrowski W., Zapłata R., 2014, *Automatyzacja w procesie detekcji obiektów archeologicznych z danych ALS*, „Folia Praehistorica Posnaniensia”, t. XIX, s. 463-480; Banaszek Ł., 2015, *Przeszłe krajobrazy w chmurze punktów*, Poznań; Kiarszy G., 2015, *Trzy światy średniowiecza. Luxta castrum Sandouel*, Szczecin; Jaworski M., Wroniecki P., Kostyrko M., 2015, *Niewykorzystany zasób - wstępne uwagi o możliwościach zastosowania darmowych danych lotniczego skanowania laserowego w zarządzaniu dziedzictwem*, „Biografia archeologii”, nr 1/2015, s. 103-111 - http://biografiaarcheologii.pl/wp-content/uploads/czasopismo/biografia_archeologii_vol_1_2015.pdf [dostęp 10.12.2015]

⁵⁰ Np. 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 01.12.2015]; Zapłata R., 2013.

⁵¹ Np. Antoszewski M., Ostrowski W., 2013, *Lotniczy skaning laserowy (projekt ISOK) w ochronie zespołów fortyfikacji nowszej*, (red.) L. Narębski, (w:) *Fortyfikacje nowożytnie w Polsce – badania, realizacje, projekty. Zagospodarowanie do współczesnych funkcji*, s. 271-280; Zawieska D., Ostrowski W., Antoszewski M., 2013, *Wykorzystanie danych lotniczego skaningu laserowego w metodyce badawczej zespołów fortyfikacji nowszej w Polsce*, "Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji", vol. 25, s. 303-314 - http://ptfit.sgp.geodezja.org.pl/wydawnictwa/kazimierz-2013/27_Zawieska_Ostrowski_Antoszewski_303_314.pdf [dostęp 10.12.2015]; Zapłata R., 2015, *Historyczne założenia obronne, architektura militaris i LiDAR. Wybrane zagadnienia metodyczne z zakresu zastosowania skanowania laserowego w detekcji i inventaryzacji nowożytnych fortyfikacji*, „Studia GeoHistorica”, nr 3, s. 152-176.

⁵² Np. Zapłata R., 2013; Zapłata R., Szady B., Stereńczak K. (red.), 2014, *Laserowi Odkrywczy. Nieinwazyjne badanie i dokumentowanie obiektów archeologicznych i historycznych województwa świętokrzyskiego*, Stare Babice; Cembrzyński P., Legut-Pintal M., 2014, *Airborne laser scanning as a method of localisation and documentation of mining sites remains. Examples from Silesia*, "Acta rerum naturalium", vol. 16, s. 187-202.

⁵³ M.in.: 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; Zapłata R., 2013; Gołębniak A., 2014, *Rola nowych technik dokumentacyjno-pomiarowych w interdyscyplinarnych działaniach badawczo-konserwatorskich*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 40/2014, s. 83-93; Zapłata R., 2015, *Naziemne skanowanie laserowe w ochronie zabytków - potencjał i potrzeby*, (w:) *Przeszłość dla przyszłości*, t. 3, red. A. Kadłuczka, J. Czechowicz, Kraków, s. 101-114.

Z uwagi na temat przewodni tekstu, szczególną uwagę skierujemy m.in. w stronę lotniczego skanowania laserowego, a zwłaszcza danych z projektu ISOK, które z dużym entuzjazmem były i są włączane do projektów badawczych m.in. w archeologii, w szczególności na terenach leśnych. Niestety, jak pokazują liczne prace i pojawiające się publikacje (patrz dalej cytowana literatura), te dane obciążone są pewnymi mankamentami, co powoduje, że należy szukać kolejnych rozwiązań, które pozwolą na lepszą prospekcję terenów leśnych. Zagadnienie, które zostanie omówione w pierwszej kolejności, to właśnie obszary zalesione i znajdujące się na tych terenach zasoby zabytkowe, które z mniejszym lub większym powodzeniem są rozpoznawane od kilku już lat przy wykorzystaniu ALS. Kolejna część tekstu, to próba zarysowania koncepcji mobilnego systemu pozyskiwania danych, który na potrzeby niniejszego rozdziału będzie omówiony w odniesieniu do systemu mobilnego skanowania. Zatem w drugiej kolejności, dostrzegając pewne mankamenty ALS oraz danych ISOK, postaramy się skupić uwagę na technologii MSL - MMS (akronim od ang. *Mobile Mapping System*), a zwłaszcza na urządzeniach typu *backpack - Personal Laser Scanning* (szerzej dalej), traktowanych jako rozwiązanie komplementarne wobec dostępnych i/lub niezależnych w działaniach na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego, na terenach zalesionych w Polsce.

W poniższym tekście uwaga zwrócona jest przede wszystkim na potencjał technologii mobilnego pozyskiwania danych dla potrzeb badania i ochrony dziedzictwa kulturowego, w charakterze narzędzia komplementarnego, wobec technologii i danych ALS (ALS-ISOK), co dla potrzeb niniejszego tekstu mieści się w tzw. ogólnej koncepcji mobilnego systemu inwentaryzacji zabytków na terenach leśnych (z ukierunkowaniem działań na obszary zalesione w Polsce).

TERENY LEŚNE, DANE PRZESTRZENNE I ZABYTKI

Obszary leśne w Polsce to ponad 30% terenu, który charakteryzuje się słabszym rozpoznaniem zabytków, zwłaszcza archeologicznych, w porównaniu z pozostałymi obszarami, np. rolniczymi czy terenami zurbanizowanymi. Wynika to, a raczej wynikało, bezpośrednio z dostępności terenu, jego specyfiki, a zarazem niedostatku odpowiednich metod, które mogłyby poprawić sytuację. Z uwagi jednak na specyfikę terenów zalesionych, w porównaniu np. z obszarami rolniczymi, czy zurbanizowanymi, stopień rozpoznania zabytków jest często nieproporcjonalny do stopnia ich występowania. Obiekty archeologiczne, w tym i zabytkowe obiekty militarne (jak np. fortyfikacje polowe) czy obiekty przemysłowe (takie jak pozostałości dawnych miejsc eksploatacji surowców naturalnych czy relikty dawnego przetwórstwa surowców naturalnych), na terenach rolniczych zostały w wielu sytuacjach pozbawione (w wyniku uprawy rolnej) własnej formy krajobrazowej, jaka dla wielu z nich była cechą charakterystyczną. Sytuacja jest nieco odmienna dla terenów leśnych, zwłaszcza tych, które w przeszłości rzadko, a może wcale, nie były objęte uprawą rolną czy intensywną gospodarką leśną. Ta specyficzna, ochronna rola lasów bez wątpienia wpłynęła na stan zachowania wielu z nich, co obecnie, w dobie technologii LiDAR, sprzyja detekcji i dokumentowaniu tej grupy zabytków. Niestety własna forma krajobrazowa, bardzo często na terenach leśnych jest jedynym elementem, który pozwala wyróżniać i wskazywać występowania nieruchomości obiektów zabytkowych. Ściółka leśna, a także roślinność niska, stanowią zasadniczą barierę w prospekcji powierzchni i wielu obiektów archeologicznych, uniemożliwiając w licznych sytuacjach weryfikację wskazań oraz poszukiwanie zalegających na powierzchni gruntu, np. zabytków ruchomych czy pozostałości warstw kulturowych, co jest dość powszechne na terenach rolniczych. Mimo takiej sytuacji, niewątpliwą zaletą jest jednak zachowana własna forma krajobrazowa - różnica wysokościowa względem najbliższego otoczenia (nawet w szczątkowej formie), dająca możliwość obserwacji i identyfikacji obiektów na podstawie pomiarów ALS. Niestety, z uwagi na różnorodne czynniki, nawet zastosowanie technologii ALS w wielu sytuacjach nie prowadzi do rozpoznania obiektów z własną formą (*mikro-formą*) krajobrazową.

Przyczyną takiej sytuacji jest m.in. zróżnicowany zasób danych przestrzennych dla terenów leśnych, wynikający przede wszystkim ze specyfiki środowiska. Mowa tutaj głównie o danych ALS⁵⁴, a dalej danych ALS-ISOK. W odniesieniu do danych ALS-ISOK, trudności w identyfikacji obiektów zabytkowych

⁵⁴ Tutaj należy wymienić zarówno pomiary wykonywane z pokładu samolotów, helikopterów, jak i bezałogowych jednostek latających, choć te ostatnie charakteryzują się nowymi możliwościami, to jednak pozyskują dane w podobnych warunkach (z podobnej perspektywy) - zazwyczaj znad korony drzew.

należy również wiązać m.in. z produktami pochodnymi, powstałymi na bazie chmury punktów, którą pozyskiwano dla innych celów, niż rozpoznawanie obiektów zabytkowych (szerzej na temat ISOK m.in. publikacje w przypisie⁵⁵). W Polsce, jak i na świecie, obserwujemy zasadniczo dwa rodzaje danych ALS, które są włączane do procedury badawczej, związanej z poszukiwaniem i inwentaryzacją obiektów zabytkowych na terenach leśnych. Pierwsza grupa danych odnosi się do pomiarów wykonanych na potrzeby innych przedsięwzięć i projektów niż badania np. archeologiczne. Do tych danych z pewnością należy zaliczyć zasoby pozyskane w ramach projektu ISOK⁵⁶. Druga grupa danych to zasób, który jest lub może być pozyskiwany w ramach zleczanych przez archeologów, konserwatorów czy historyków architektury i przemysłu. Ten zasób charakteryzuje (a przynajmniej może charakteryzować) określona jakość wynikająca z uprzedniego ustalenia - zdefiniowania niektórych parametrów nalotów i pomiarów oraz przetworzeń geodanych, które uwzględnią specyfikę zasobów zabytkowych na terenach leśnych, jak i panujące tam warunki.

Dane pozyskane w ramach projektu ISOK, stanowią w porównaniu z wcześniejszą sytuacją (przed projektem ISOK), ogromny i niezwykle wartościowy zasób, dzięki któremu doprowadzono do tej pory do rozpoznania wielu nieznanych zabytków w Polsce⁵⁷. Niestety, zasób ten posiada kilka zasadniczych mankamentów, które w licznych sytuacjach uniemożliwiają wręcz prospekcję zabytków w oparciu o pozyskane dane przestrzenne, czy też powodują błędne interpretacje i wskazania potencjalnych obiektów zabytkowych, na etapie prac kameralnych z zasobem.⁵⁸ Sytuację należy wiązać przede wszystkim z brakiem w wielu miejscach danych przestrzennych dla najniższego poziomu pomiaru – tzw. klasa „grunt”. Brak ten najczęściej jest związany z gęstą szatą roślinną, gęstą koroną drzew czy obszarem zalany (podmokłym), dla którego wysoka wilgotność mogła uniemożliwić wykonanie pomiaru. Większość sytuacji związanych z brakiem danych – występowaniem tzw. martwych pól, należy wiązać z roślinnością (Ryc. 2). Wysokie drzewa liściaste, a nawet iglaste powodują, że do gruntu nie dociera wiązka lasera. Oczywiście ma to ścisły związek z okresami listnym i bezlistnym, które brane są pod uwagę przy jakichkolwiek pomiarach (z wyjątkiem np. tych, które ukierunkowane są na analizę drzewostanu, biomasy itd. - leśnictwo). Pomiary

⁵⁵ Jarzabek J., Kurczyński Z., Woźniak P., 2011, *Informatyczny System Ochrony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami*, „Geodeta”, nr 5 (192), s. 12-17; 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 10.12.2015]; Kurczyński Z., Bakuła K., 2013, *Generowanie referencyjnego numerycznego modelu terenu o zasięgu krajowym w oparciu o lotnicze skanowanie laserowe w projekcie ISOK*, (red.) Z. Kurczyński, (w:) *Measurement technologies in surveying. Geodezyjne technologie pomiarowe*, s. 59-68; Bakuła K., 2014, *Rola redukcji ilościowej danych wysokościowych pozyskanych z lotniczego skaningu laserowego w procesie tworzenia map zagrożenia powodziowego*, Warszawa [maszynopis pracy doktorskiej] – https://www.researchgate.net/publication/272791330_Rola_redukcji_ilosciowej_danych_wysokosciowych_pozyskanych_z_lotniczego_skaningu_laserowego_w_procesie_tworzenia_map_zagrozenia_powodziowego [dostęp 10.12.2015] – dalsza literatura nt. ISOK w ww. publikacjach.

⁵⁶ Szerzej na temat ISOK i danych ALS-ISOK patrz m.in. (tam dalsza literatura): Kurczyński Z., 2012; Kurczyński Z., Bakuła K., 2013; Bakuła K., 2014; Wężyk P. (red.), 2014, *Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR*. Warszawa – <http://szkolenialidar.gugik.gov.pl/> [dostęp 10.12.2015]. Na temat danych w odniesieniu do dziedzictwa archeologicznego m.in.: Zapłata R., 2013; Banaszek Ł., Rączkowski W., 2014, *Potencjał danych ALS w badaniach archeologicznych*, (red.) P. Wężyk, (w:) *Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR*. Warszawa, s. 192-200 – <http://szkolenialidar.gugik.gov.pl/> [dostęp 10.12.2015]; Banaszek Ł., 2014, *Lotniczy skaningu laserowy w polskiej archeologii. Czy w pełni wykorzystany jest potencjał prospekcyjny metody?*, „Folia Praehistorica Posnaniensia”, t. XIX, s. 207-251; Kiarszys G., Szalast G., 2014, *Archeologia w chmurze punktów. Porównanie rezultatów filtracji i klasyfikacji gruntu w projekcie ISOK, z wynikami opracowanymi w oprogramowaniu LA-Stools i Terrasolid*, „Folia Praehistorica Posnaniensia”, t. XIX, s. 267-292.

⁵⁷ Np. 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; Zapłata R., 2013; Banaszek Ł., 2014, 2015; Zapłata R., 2013; Zapłata R., Szady B., Stereńczak K. (red.), 2014.

⁵⁸ Na temat dokładności danych ALS-ISOK patrz również: Pawłuszek K., Ziaja M., Borkowski A., 2014, *Ocena dokładności wysokościowej danych lotniczego skaningu laserowego systemu ISOK na obszarze rzeki Widawy*, „Acta Scientiarum Polonorum. Geodesia et Descriptio Terrarum”, vol. 13, nr 3-4, s. 27-38.

w ramach projektu ISOK zasadniczo były wykonywane w okresie bezlistnym. Brak jednak danych dla niektórych powierzchni terenu – gruntu, wiąże się również z ww. sytuacjami, jak i z bardzo gęsto rosnącym młodym lasem (np. iglastym), a także nisko rosnącą, rozłożystą roślinnością w dolnych partiach lasu (Ryc. 3). Innym elementem, wpływającym (nawet w okresie wiosennym) na pozyskiwanie pomiaru dla kategorii „grunt” jest występowanie roślinności sezonowej, o krótkim okresie wegetacyjnym (np. tzw. aspekt wiosenny - fenologiczny)⁵⁹. Powstająca w ramach pomiarów chmura punktów, a tym samym model pokrycia terenu, a dalej model powierzchni terenu, jest również zróżnicowana ze względu na kąt skanowania, odległość itd.. Tego typu sytuacje także mają negatywny wpływ na jakość danych, a następnie na odwzorowywanie powierzchni terenu. Zróżnicowana, a przede wszystkim niska w wielu miejscach gęstość punktów oraz rozkład i ich (nie)regularność, to zasadnicze mankamenty, powodujące, że na wielu obszarach powstały lub powstają modele o niskiej wartości poznawczej – analitycznej np. dla badań archeologicznych. Często odległość między sąsiadującymi punktami wynosi więcej niż metr, a nawet kilka metrów, co dla obiektów, których deniwelacja, a zwłaszcza wielkość nie przekracza kilkudziesięciu centymetrów, jest jednoznaczne – obiekty te nie uzyskują jakiegokolwiek zapisu przestrzennego, jakiegokolwiek odwzorowania w modelu cyfrowym. Innym, równie ważnym problemem podkreślanym w literaturze przedmiotu, jest m.in. klasyfikacja chmury punktów i przetwarzanie danych, które doprowadzają do powstawania modeli o słabej wartości poznawczej, z perspektywy badania określonych kategorii zabytków⁶⁰. Z taką sytuacją spotykamy się w odniesieniu do danych ALS-ISOK, które często posiadają błędy w klasyfikacji chmury punktów, a także błędy związane z tworzeniem NMT, gdzie w zależności od przyjętych parametrów, zastosowanych algorytmów, automatycznych procedur, powstają istotne „przekłamania”, nie odwzorowujące (zgodnie z rzeczywistością) powierzchni terenu. Lepsza dokładność klasyfikacji możliwa jest np. w wyniku zastosowania manualnej klasyfikacji.

Specyfika sytuacji, zwłaszcza terenu – obszar zalesiony, pokryty wielosezonową, wielopartyjną i różnorodną (pod względem gatunkowym, ale i etapu rozwoju itd.) roślinnością (niska, średnia i wysoka), a także forma oraz specyfika stanu zachowania obiektów zabytkowych – przede wszystkim obiekty o charakterystycznych różnicach wysokościowych względem otoczenia, powodują, że warunki dla wykonywania pomiarów lotniczych (niski lub wysoki pułap – ponad koroną drzew) mają swe ograniczenia (Ryc. 4). Dodatkowym utrudnieniem dla tego typu pomiarów przestrzennych jest wspomniana specyfika obiektów zabytkowych, które zachowały na powierzchni terenu różnorodne formy, często jedynie częściowo eksponowane w postaci charakterystycznej deniwelacji terenu. Różnorodność ekspozycyjna – czytelność w terenie, jak i stan zachowania obiektów zabytkowych, wiążą się m.in. z pełnią niegdyś funkcją, procesami depozycyjnymi i podepozycyjnymi, jak i z substancją stanowiącą pierwotny ich budulec.

Mając świadomość takiej sytuacji, stajemy w obliczu szukania rozwiązań, które pozwolą poprawić jakość prowadzonych prac, a zarazem wyeliminować powstające luki, błędy itp. Jednym z możliwych zaleceń, w odniesieniu np. do danych ISOK, jest konieczność ponownego przetworzenia geodanych, czy też reklasyfikacji chmury punktów, a także odpowiedniego wizualizowania danych na potrzeby badania dziedzictwa kulturowego. Niestety, jak najdoskonalsze działania na etapie prac kameralnych – na etapie opracowania danych, nie wyeliminują brakujących pomiarów, tzw. martwych pól. Ta sytuacja może rodzić zatem kolejne zalecenie, mianowicie wykonywania ponownych pomiarów, dedykowanych badaniom np. archeologicznym. Dodajmy, również pomiarów sięgających po skanowanie z wykorzystaniem bezzałogowych jednostek latających, na niższym pułapie lotu, które charakteryzuje gęstsze skanowanie na powierzchni 1 m². O ile idea słuszna, to nadal wielce kosztowna, w odniesieniu do ponownych pomiarów ALS, a do tego nie gwarantująca dla wielu obszarów uzyskania pełnego odwzorowania powierzchni tere-

⁵⁹ Będkowski k., 2004, *Skanowanie laserowe i jego zastosowanie w leśnictwie*, "Rocznik Geomatyki", t. II, z. 4, s. 33-40; Śnieżek T., (red.), 2009, *Ocena stanu środowiska Stacji Bazowej ZMŚP Puszcza Borecka w roku hydrologicznym 2008*, Warszawa - http://www.ios.edu.pl/pol/zaklady/puszcza/raport%20zmsp_2008.pdf [dostęp 10.12.2015]

⁶⁰ Szerzej o mankamentach danych ALS-ISOK oraz generowanych produktach pochodnych zasobu ISOK w Polsce patrz m.in.: Zapłata R., 2013; Banaszek Ł., 2014; Zapłata R., Szady B., Stereńczak K. (red.), 2014; Banaszek Ł., 2015; Kiarszys G., Szalast G., 2014; Zapłata R., Ptak A., [w druku], *Dziedzictwo kulturowe w świetle danych ALS. Zasoby ISOK w badaniach rejonu Bobolic: metodyka, analiza i wyniki*, (w:) *Nieinwazyjne rozpoznanie zasobów dziedzictwa archeologicznego: potencjał i możliwości*, (red.) M. Pawleta, R. Zapłata, Lublin, s. 97-138.

nu, a tym samym satysfakcjonującego rezultatu. Skanowanie z wykorzystaniem bezzałogowych jednostek latających (powietrznych) - UAV (akronim od ang. *Unmanned Aerial Vehicle*)⁶¹ czy UAS (akronim od ang. *Unmanned Aerial Systems*)⁶² mimo dużej gęstości pomiaru, również w wielu sytuacjach nie jest w stanie „przebić się” przez gęstą roślinność. Dla wielu obszarów zatem barierą przy pomiarach ALS i ALS-UAV będzie dość często gęstość szaty roślinnej, korony drzew itp.

Pewnym rozwiązaniem jest skanowanie naziemne, które w oparciu o skanery geodezyjne, pozwala z większą dokładnością rejestrować powierzchnię terenu, a więc tę część obszaru zalesionego, która znajduje się pod koroną drzew. Podejście to zdecydowanie polepsza rejestrację najniższych partii lasu, zwłaszcza gruntu, jednak z uwagi na zasięg takiego skanowania – ograniczenia techniczne, a przede wszystkim warunki panujące w lesie (skuteczność metody uzależniona jest np. od gęstości zadrzewienia), powodują, że procedura ta jest o wiele bardziej czasochłonna. Łączenie poszczególnych skanów oraz przestawianie urządzeń stacjonarnych, powodują, że metoda ta nie zyskała większego uznania wśród specjalistów zajmujących się zabytkami na większych powierzchniach. Warto jednak dodać, że w wielu sytuacjach TLS winno zaistnieć na terenach leśnych, gdyż liczne z rozpoznanych obiektów mogą uzyskać „punktowe” odwzorowanie o dużej dokładności. Jak zatem można zaradzić tej sytuacji, aby poprawić jakość badania terenów leśnych pod kątem zasobów zabytkowych?

TECHNOLOGIE MOBILNE i LiDAR

Idea włączania do badań terenowych, zwłaszcza do badań powierzchniowych, w archeologii czy podczas wizji lokalnych obiektów zabytkowych urządzeń mobilnych, zyskuje z roku na rok coraz większe grono zainteresowanych. Powszechnym, a w pewnym sensie standardowym rozwiązaniem, staje się m.in. w Polsce stosowanie odbiorników GPS, systemów integrujących dokumentację fotograficzną z określeniem lokalizacji (współrzędnych geograficznych) czy palmtopów, smartfonów i tabletów.⁶³ Poszerzenia tak rysującego i zmieniającego się wraz z nowymi technologiami warsztatu badawczego należy zatem upatrywać również w bardziej rozbudowanych systemach, które z powodzeniem mogą zmodernizować prace terenowe. Dzieje się tak za sprawą postępu technologicznego („miniaturyzacji” wielu urządzeń), a więc działań mających na celu utrzymanie pozyskiwania wysokiej jakości danych, przy jednoczesnym ich integrowaniu i takim projektowaniu, które umożliwi ich zastosowanie w inny, niż dotychczasowy sposób.

W ostatnich latach coraz większe uznanie zyskuje wśród technologii LiDAR mobilne skanowanie laserowe - MLS (akronim od ang. *Mobile Laser Scanning*)⁶⁴. To technologia o dużej dokładności skanowania oraz wyjątkowo elastyczna, mogąca w różnorodny sposób być dostosowywana do pozyskiwania danych z pułapu naziemnego, co powoduje, że zdecydowanie przewyższa pod tym względem ALS. MLS (MMS) kojarzone jest przede wszystkim z umieszczaniem urządzeń pomiarowych na specjalnych platformach, które montowane są do jednostek lądowych – pojazdów jeżdżących (samochody, quady itp.) lub jednostek wodnych - pływających. Niestety, w odniesieniu do terenów leśnych, dostępność obszaru badań uniemożliwia często wykorzystanie ww. różnorodnych, wieloplatformowych rozwiązań. Brak możliwości dotarcia różnorodnymi pojazdami do wielu miejsc z góry skazuje na niepowodzenie taki system (np. zakaz ruchu pojazdów na obszarach chronionych, roślinność itp.).

⁶¹ Sawicki P., 2012, *Bezzałogowe aparaty latające UAV w fotogrametrii i teledetekcji - stan obecny i kierunki rozwoju*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 365-376.

⁶² Pfennigbauer M., Riegl U., Rieger P., Amon P., 2014, *UAS based laser scanning for forest inventory and precision farming*, (w:) *Proceedings of the International Workshop on Remote Sensing and GIS for Monitoring of Habitat Quality*. Vienna, 24–25 September 2014, (red.) N. Pfeifer, A. Zlinszky, Vienna, s. 25-29 - http://rsgis4hq.geo.tuwien.ac.at/fileadmin/editors/RSGIS4HQ/proceedings/RSGIS4HQ_Pfennigbauer.pdf [dostęp 10.12.2015]

⁶³ Sikora J., 2013, *Android, Locus i badania powierzchniowe* - <https://gunthera.wordpress.com/2013/11/08/android-locus-i-badania-powierzchniowe> [dostęp 10.12.2015]; Chyla J., Bryk M., 2013, *Zastosowanie technologii GIS w lokalizacji stanowisk archeologicznych podczas prosepckji terenowej*, "Rocznik Geomatyki", t. XII, z. 1 (63), s. 19-29.

⁶⁴ Szerzej na temat MLS np.: Mikruta S, Głownienka E. (red.), 2015, *Fotogrametria i skning laserowy w modelowaniu 3D*, Rzeszów oraz w Rozdziale II.

Mobilne skanowanie laserowe zyskało w ostatnich latach dodatkowe rozwiązania, które należy łączyć

z jego integracją z człowiekiem, jak i przemieszczaniem się człowieka, wyposażonego w urządzenia pomiarowe – rozbudowany system rejestracji otoczenia (pozyskiwanie obrazu, wraz z danymi przestrzennymi). Koncepcja ta, określana w literaturze przedmiotu również mianem *Personal Laser Scanning* (akronim PLS)⁶⁵, ma już swoją historię i wiąże się m.in. z próbami wykorzystania w takich systemach np. skanerów naziemnych (jak np. systemy *Hand-Held Mobile LiDAR* czy *Handheld 3D Range-Sensing System*)⁶⁶, w tym montowanych na odpowiednich platformach – plecakach (tzw. *backpacki*), celem wykonywania pomiarów otoczenia, dzięki przemieszczaniu się osoby noszącej zestaw.⁶⁷ Kolejną wersją tego typu systemów są urządzenia wyposażone w skanery i systemy optyczne, budowane z myślą o ich integracji i przeznaczeniu, takie jak Leica Pegasus:Backpack (Ryc. 1).

Tego typu rozwiązania (MLS, a zwłaszcza PLS) zyskały już uznanie w środowiskach naukowych różnych dyscyplin, sprawdzając się m.in. w inwentaryzacji terenów leśnych⁶⁸, a ich potencjał również został dostrzeżony w odniesieniu do badań dziedzictwa kulturowego⁶⁹.

Podstawy koncepcji mobilnego skanowania na terenach leśnych omówimy na przykładzie systemu do skanowania / pomiaru kinematycznego (pomiar kinematyczny w czasie rzeczywistym - ang. *Real-Time Kinematic* – akronim RTK)⁷⁰ - urządzenia Leica Pegasus:Backpack⁷¹, które najogólniej charakteryzuje⁷²:

Camera Sensor

Number of cameras: 5

CCD size: 2046 x 2046

Pixel size: 5.5 x 5.5 microns

Maximum frame rate 8 fps x camera, equal to 160 M pixels x second

⁶⁵ *Personal Laser Scanning* (w swobodnym tłumaczeniu można określić jako „Spersonalizowane Skanowanie Laserowe”) m.in. za: Hyyppä J., Jaakkola A., Chen Y., Kukko A., Kaartinen H., Zhu L., Alho P., Hyyppä H., 2013, *Unconventional LIDAR Mapping from Air, Terrestrial and Mobile*, (w:) *Photogrammetric Week 2013*, (red.) D. Fritsch, s. 205-214 - <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo13/180Hyyppae.pdf> [dostęp 10.12.2015] – tam też definicja i wyjaśnienie pojęć „ubiquitous mapping”, „personal laser scanning”.

⁶⁶ Bosse M., Zlot R., Flick P., 2012, *Zebedee: Design of a Spring-Mounted 3-D Range Sensor with Application to Mobile Mapping*, „IEEE Transactions on Robotics”, vol.28, no.5, pp.1104-1119; Thomson, C., Apostolopoulos, G., Backes, D., and Boehm, J., 2013, *Mobile Laser Scanning for Indoor Modelling*, „ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.”, II-5/W2, s. 289-293 - <http://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5-W2/289/2013/isprsannals-II-5-W2-289-2013.pdf> [dostęp: 10.12.2015]; Ryding J., Williams E., Smith M. J., Eichhorn M. P., 2015, *Assessing Handheld Mobile Laser Scanners for Forest Surveys*, „Remote Sensing”, vol. 7 (1), s. 1095-1111 - <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/1/1095/htm> [dostęp 10.12.2015].

⁶⁷ Szerzej m.in.: Liang X., Kukko A., Kaartinen H., Hyyppä J., Yu X., Jaakkola A., Wang Y., 2014, *Possibilities of a Personal Laser Scanning System for Forest Mapping and Ecosystem Services*, „Sensors”, vol. 14, s. 1228-1248.

⁶⁸ Np. Liang X. et al., 2014.

⁶⁹ Np. Buhur S., Kersten Th., Büyüksalih G., Jacobsen K., Baz I., Dursun S., Sagir D., 2008, *3D City Modelling of Istanbul Historic Peninsula by Combination of Aerial Images and Terrestrial Laser Scanning Data*, „The international archives of the photogrammetry, remote sensing, and spatial information sciences”, vol. XXXVII (Part B7), s. 1239-1246 - http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/7_pdf/6_WG-VII-6/33.pdf [dostęp 10.12.2015]; Norbert H., Petera M., Cefalua A., Kremerb J., 2008, *Mobile Lidar Mapping For Urban Data Capture*, „Digital Heritage - Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia”, VSMM, Limassol, Cyprus, s. 92-100 - http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2008/Haala_etal_Streetmapper_Cyprus.pdf [dostęp 10.12.2015].

⁷⁰ Pająk K., Cieško A., Oszczak S., 2006, *Tworzenie NMT za pomocą GPS RTK/OTF*, „Rocznik Geomatyki”, t. IV, z. 3, s. 171-176; Wesołowski S., Siedlecki J., Grądzik K., 2008, *O technologii pomiarów GPS RTK (Real Time Kinematic)* - <http://www.geodezja-szczecin.org.pl/images/2008-04-29/GPS%20RTK%20opracowanie.pdf> [dostęp 10.12.2015]

⁷¹ http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-PegasusBackpack_106730.htm

⁷² Z uwagi na charakter tekstu, zagadnienia techniczne urządzenia, jak i samej technologii przetwarzania danych prezentowane są jedynie w sposób ogólny, a zainteresowanych odsyłam m.in. do przywoływanej w tekście literatury przedmiotu.

Lens: 6.0 mm focal
Coverage: 360° x 200°

Scanner

Type Dual Velodyne VLP-16
FOV horizontal / vertical 360° / 30° ($\pm 15^\circ$) per scanner
Channels 16
Acquisition 600,000 pts/sec
Frequency 10 Hz
Range Usable range: 50 m

Control Unit

Multi-core industrial PC, low power consumption, 1 TB SSD hard disk with USB3 interface. Ethernet, and wireless connections available. Service support available through remote interface.

Battery System Performance

Typical operating time 3 hrs, up to 6 hrs with optional batteries
Time to full charge 3 hrs
Batteries 4 batteries (optional 8)
Battery life time extension Batteries are hot-swappable
(no shut down needed)
DC output 14.8 V
Amp hours 23.2 Ah
Weight 1.6 kg for 4 batteries

GNSS/IMU/SPAN Sensor

Includes triple band – L-Band, SBAS, and QZSS for GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou constellations, single and dual antenna support, wheel sensor input, tactical grade – no ITAR restrictions, low noise FOG IMU.
Frequency 200 Hz
MTBF 35,000 hrs
Gyro bias in-run stability (\pm deg/hr) 0.75
Gyro bias offset (deg/hr) 0.75
Gyro angular rand. walk (deg/ $\sqrt{\text{hr}}$) 0.1
Gyro scale factor (ppm) 300
Gyro range (\pm deg/s) 450
Accelerometer bias (mg) 1
Accelerometer scale factor (ppm) 300
Accelerometer range (\pm g) 5
Position accuracy after 10 sec
of outage duration 0.020 m RMS horizontal, 0.020 m RMS vertical,
0.008 degrees RMS pitch/roll, 0.013 degrees
RMS heading.

Environmental

Operating temperature 0° C to + 40° C, non-condensing
IP protection level Please refer to scanner documentation.
Storage temperature – 20° C to + 50° C, non-condensing

Productivity

Data produced per project (compressed) 1 GB every minute of walking

Accuracy

Relative accuracy 3 cm – 5 cm for outdoor and indoor
Absolute position accuracy outdoor 5 cm
Absolute position accuracy indoor
(SLAM based without

control points) 5 cm to 50 cm for 10 minutes walking, minimum 3 loop closures or double passes conditions

Export Options

Images JPEG and ASCII for photogrammetric parameters

Point cloud Binary LAS 1.2. X,Y,Z, intensity, RGB values.

Colourisation by camera pictures.

Hexagon Point Format.

E57, 2D/3D DXF, PTS, DWG, DGN

Trajectory NMEA, KMZ

Sensor Platform

Frame material Carbon fiber

Cover material High resistance industrial textile

Weight 11.5 kg without batteries

Weight with case 20 kg

Size 73 x 27 x 31 cm

Size with case 107 x 61 x 69 cm.⁷³

Leica Pegasus:Backpack jest przenośną platformą wyposażoną w różne sensory, która rejestruje rzeczywistość, łącząc kamery i profilery Lidar. Zaprojektowana jest na bazie lekkiej obudowy wykonanej z włókna węglowego o wysoce ergonomicznym kształcie. Pegasus:Backpack umożliwia wydajne inwentaryzowanie pomieszczeń oraz otoczenia na zewnątrz z dużą dokładnością. Urządzenie zostało zaprojektowane do szybkiego i systematycznego skanowania terenu, jako rozwiązanie przenośne. Za pośrednictwem technologii SLAM (umożliwiającej jednoczesne określenie położenia i *mapping*), a także dzięki precyzyjnemu modułowi IMU, omawiane rozwiązanie zapewnia dokładne wyznaczenie położenia w sytuacji, gdy brak jest sygnału z satelitów GNSS. Zasadnicze cechy urządzenia to: tzw. *mapping* w pomieszczeniach i na zewnątrz z wykorzystaniem jednego prostego rozwiązania – bez względu na położenie; łączy ze sobą zdjęcia i chmury punktów; w pełni skalibrowany widok i skanowanie całej sfery; rozpoczęcie skanowania za pomocą zdarzenia zewnętrznego oraz znaczniki czasu dla dodatkowych sensorów; wyposażenie w czujnik światła do automatycznego regulowania jasności i kontroli kolorów wykonywanych zdjęć; wyposażenie w oprogramowanie umożliwiające dostęp do Esri® ArcGIS Desktop; skanowanie i edycję przestrzenną obiektów 3D na zdjęciach i / lub na chmurach punktów; ekonomiczne podejście do danych - równowaga między ilością i jakością danych, dzięki planowaniu projektu i jego obróbce; superlekką, ergonomiczną ramą z włókna węglowego umożliwiającą intensywne i długotrwałe użytkowanie; prezentacja zebranych danych w czasie rzeczywistym na tablecie; do 6 godzin pracy z opcjonalnym zestawem baterii.⁷⁴ Za pośrednictwem tego typu urządzenia istnieje możliwość wykonywania pomiarów przestrzennych na zewnątrz i wewnątrz pomieszczeń (ang. *Indoor Mobile Mapping Systems* – akronim IMMS), łączenia zdjęć z chmurą punktów, przechwytywania i edycji obiektów 3D (z obrazów i/lub chmury punktów) – przechwytywanie i obserwacja danych w czasie rzeczywistym (więcej informacji – patrz <http://www.leica-geosystems.pl/>).

Omawiany system charakteryzuje m.in. odejście od tendencji sięgającej po montowanie (ciężkich) skanerów geodezyjnych (naziemnych) na specjalnie przygotowanych platformach – nośnikach / stelażach, czyniąc wielofunkcyjne (wielosensorowe) urządzenie praktycznym i poręcznym do pracy w terenie, w warunkach leśnych. Tego typu system umożliwia pozyskiwanie danych w terenie, przy jednoczesnym wykonywaniu prac, które charakteryzują np. dotychczasową prospekcję powierzchniową w ramach nieinwazyjnych badań archeologicznych.

⁷³ http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-PegasusBackpack_106730.htm

⁷⁴ Źródło: Leica Geosystems Polska

KONCEPCJA WSPARCIA NIEINWAZYJNYCH BADAŃ ZABYTKÓW NA TERENACH LEŚNYCH

W oparciu o wyżej przedstawione rozwiązanie, uwzględniając zarazem literaturę przedmiotu w zakresie stosowania urządzeń mobilnych (w tym tzw. *backpack MLS*)⁷⁵, spróbujemy poniżej zarysować koncepcję zastosowania technologii mobilnej w badaniach i inwentaryzacji zabytków, kreśląc tym samym propozycję poprawy jakości geodanych dla terenów leśnych pozyskanych na bazie ALS-ISOK, a także propozycję szerszego wsparcia nieinwazyjnego badania zabytków w Polsce. Warto dodać, że łączenie tego typu rozwiązań z działaniami na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego (zwłaszcza archeologicznego) w Polsce, znajduje swoje uzasadnienie m.in. w potrzebach związanych z poprawą warsztatu badawczego, jak i poszukiwaniem nowych rozwiązań, które umożliwią pozyskiwanie jak największej ilości danych, tworzenie jak najobszerniejszej dokumentacji itp. Przypomnijmy, że tradycyjne podejście związane z prospekcją powierzchniową, bazuje m.in. na obserwacji terenowej, wspierając się opisem, dokumentacją fotograficzną czy pomiarem. W związku z powyższym niezwykle cennym elementem staje się wielofunkcyjne urządzenie, które co najmniej wzbogaca dotychczasową dokumentację o dane z rejestracji, za pośrednictwem kilku kamer i skanera.

Koncepcja mobilnego systemu inwentaryzacji zabytków na terenach leśnych (z ukierunkowaniem działań na obszary zalesione w Polsce), a dalej koncepcja poprawy jakości geodanych, oparta jest na kilku zasadniczych argumentach. Po pierwsze (1), co jest chyba najważniejszym argumentem na rzecz budowy tytułowej koncepcji, system mobilny, jak już wspomniano, umożliwia pomiar w pomieszczeniach zamkniętych, a zarazem w terenie otwartym, co pozwala na wykonanie pomiarów również w terenie zalesionym. Możliwość pomiaru przestrzeni – otoczenia znajdującego się pod okapem drzew (pod koroną drzew), definiuje system jako dający lepszą perspektywę pomiaru najniższych partii w lasach. Dodatkowo powyższy argument wspiera dokładność pomiaru oraz błąd pomiaru, w wyniku których uzyskujemy nieporównywalnie lepszą jakość danych niż przy rejestracji ALS, danych o większej szczegółowości przestrzennej (większej gęstości, zarazem większym pokryciu pomiarem otoczenia, w tym gruntu) – np. jakość zbliżoną do pomiarów TLS, zwłaszcza gdy sięgamy po rozwiązania bazujące na systemie wyposażonym w skanery naziemne / geodezyjne. Dodatkowym atutem (2) tego typu systemów jest obrazowa rejestracja otoczenia, co pozwala na wykonanie dokumentacji, wspierającej przyszłą analizę geodanych. Kolejnym argumentem (3), ściśle związanym z praktyką badawczą archeologów, jest to, że system jest zintegrowany z człowiekiem. Taka perspektywa stwarza możliwość bieżącej korekty czy kontroli w procesie przetwarzania danych, zwłaszcza w odniesieniu do sytuacji związanych z klasyfikacją chmury punktów. To w znacznym stopniu zmienia dotychczasową praktykę badawczą (m.in. pracy z danymi ALS), rozwiązując w pewien sposób problem klasyfikacji i reklasyfikacji danych na etapie prac kameralnych. Badający i weryfikujący teren, zwłaszcza leśny, na którym dokonano wskazań potencjalnych obiektów zabytkowych (na bazie danych ALS-ISOK), i tak zobligowany jest samodzielnie lub zespołowo dokonać prospekcji całego terenu. Przy takich rozwiązaniach technologicznych procedura ta może odbywać się dwutorowo – bezpośrednio w terenie, a także podczas prac kameralnych. W związku z powyższym konieczność przejścia całego terenu, w dość prosty sposób łączy się z dotychczasową i niezbędną praktyką badawczą postępowania w terenie.

Tak rysujący się ogólnie system odnieśmy jeszcze do danych ALS-ISOK. Wykonywane pomiary MLS i/lub MMS – PLS mogą przede wszystkim uzupełnić wygenerowaną chmurę punktów, poprawić ich dokładność, a zarazem klasyfikację i generowanie produktów pochodnych takich jak NMT, czy przetwo-

⁷⁵ Czytaj również nt. MLS: Briese C., Zach G., Verhoeven G., Ressel C., Ullrich A., Studnicka N., Doneus M., 2012, *Analysis of mobile laser scanning data and multi-view image reconstruction*, (w:) *Proceedings of the XXII ISPRS Congress, Vol. XXXIX- B5. Imaging a Sustainable Future. Melbourne, Australia, 25.08.-01.09.2012*. ISPRS, „ISPRS Archives”, vol. XXXIX, (red.) M. R. Shortis, J. Mills, s. 163–168 <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B5/163/2012/isprsarchives-XXXIX-B5-163-2012.pdf> [dostęp 10.12.2015]; Kukko A., Kaartinen H., Hyypä J., Chen Y., 2012, *Multiplatform Approach to Mobile Laser Scanning*, „Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Vol. XXXIX-B5, s. 483-488 - <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B5/483/2012/isprsarchives-XXXIX-B5-483-2012.pdf> [dostęp 10.12.2015].

zenia będące podstawą rozpoznawania / wskazywania potencjalnych obiektów zabytkowych. Przypomnijmy, że dane ALS-ISOK charakteryzują następujące parametry (Tab. 1).

Tab. 1. Podstawowe parametry ALS w ramach ISOK (za Kurczyński, Bakuła 2013)⁷⁶

Parametr	Standard I	Standard II
Gęstość chmury punktów (w pojedynczym pasie obrazowania)	≥ 4 pkt/m ²	≥ 12 pkt/ m ² (2 niezależne naloty, każdy o gęstości ≥ 6 pkt/m ²)
Równomierność gęstości punktów	stosunek średniej odległości punktów w linii do odległości linii w przedziale 1:1.5÷1.5:1	
Kąt poprzeczny skanowania	≤ ±25 ^o (dla obszarów niezalesionych dopuszcza się ≤ ±30 ^o)	≤ ±25 ^o
Pokrycie poprzeczne między szeregami	≥ 20%	≥ 20%
Minimalna szerokość pasa pokrycia	≥ 100 m	≥ 100 m
Maksymalna długość pojedynczego szeregu	≤ 50 km	≤ 50 km
Szeregi poprzeczne w bloku ALS	minimum 2 szeregi poprzeczne	dwa niezależne poprzeczne naloty, zbędne dodatkowe szeregi poprzeczne
Dokładność wysokościowa (błąd średni) punktów ALS laserowych po wyrównaniu (na płaskich utwardzonych nawierzchniach)	m _h ≤ 0,15 m	m _h ≤ 0,10 m
Rejestracja wielokrotnych odbić (ech sygnału)	4 odbicia	4 odbicia
Rejestracja intensywności odbitych sygnałów	tak	tak
Rejestracja skanowanego pasa terenu średnioformatową kamerą cyfrową	synchroniczna ze skanowaniem (dopuszcza się rejestrację fotograficzną w innym terminie niż skanowanie ALS)	synchroniczna ze skanowaniem
Termin wykonania nalotów skanerowych	od połowy października do końca kwietnia	cały rok

W związku z powyższym, przy uwzględnieniu potencjału technologii MLS i/lub MMS - PLS, rysuje się przede wszystkim możliwość poprawy jakości geodanych dla terenów leśnych, z ukierunkowaniem na działania na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego w formie:

- 1) pozyskania uzupełniających geodanych na obszarach o dużej gęstości szaty roślinnej (np. korony drzew), gdzie nie dokonano pomiaru (tzw. martwe pola, mała gęstość pokrycia itp.);
- 2) pozyskania uzupełniających danych – danych obrazowych (równoczesnych z danymi przestrzennymi);
- 3) powstania zasobu danych, umożliwiającego w wielu sytuacjach poprawę klasyfikacji i/lub reklasyfikację chmury punktów pochodzącej z pomiarów ALS-ISOK;
- 4) pozyskania dodatkowych geodanych o dużej (większej) gęstości (ilości) pkt/m²;
- 5) korelowania danych przestrzennych i miejsc lokalizacji obiektów zabytkowych z tzw. wyróżnikami roślinnymi;

⁷⁶ Kurczyński Z., Bakuła K., 2013, *The Selection of Aerial Laser Scanning Parameters for Countrywide Digital Elevation Model Creation*, 13th SGEM GeoConference on Informatics, Geoinformatics And Remote Sensing, "SGEM2013 Conference Proceedings", vol. 2, s. 695-702.

- 6) pozyskania geodanych powierzchni, dla których warunki podczas nalotu - terenowe (np. znaczny spadek terenu, powierzchnie naturalnie osłonięte itp.) oraz parametry nalotu (np. kąt skanowania) uniemożliwiły lub utrudniły pomiar.

Zestawiając powyższe uwagi, a zarazem uwzględniając parametry techniczne przykładowego urządzenia i wytyczne, można zaproponować (w ramach kreślenia metodyki postępowania terenowego / badawczego) w ogólnym zakresie, procedurę pozyskiwania danych przestrzennych (i obrazowych) na terenach leśnych podczas badania i inwentaryzacji zabytków, z zastosowaniem mobilnego systemu skanowania. Od strony metodycznej system – przedstawiane rozwiązanie, wymusza zatem określony zakres działań, które można zintegrować z funkcjonującymi w środowisku zasadami prowadzenia prospekcji powierzchniowej na terenach leśnych⁷⁷. I tak, z uwagi na zasięg urządzenia (zasięg pomiaru) koniecznym jest przejście terenu, dla którego odstęp pomiędzy kolejnymi trajektoriami nalotu będzie mniejszy niż 50 m, z uwagi na zasięg pomiaru. Zatem teren musi być objęty dość regularnym marszem – takim, który umożliwi częściowe pokrycie się powierzchni skanowanych. Należy zatem zakładać: przejście z (1) określoną prędkością, co gwarantuje wysoką jakość pomiaru; a także (2) wyznaczenie tras przejścia rozmieszczonych od siebie określoną odległością – pasy o szerokości umożliwiającej pokrycie pomiarów (szeregów); (3) bieżące interpretowanie danych, wraz z bieżącą ich klasyfikacją oraz wskazywaniem potencjalnych obiektów zabytkowych; (4) równoległe pozyskiwanie zdjęć (z czym nie zawsze się spotykamy w odniesieniu do danych ALS-ISOK), ułatwiające np. przyszłą, gabinetową korelację określonych miejsc z konkretnymi gatunkami roślin. Z uwagi na system łączenia GPS - GNSS, zaleca się prowadzenie prospekcji w okresach bezlistnych! To zalecenie odsyła do pewnych ograniczeń, jakie związane są z omawianym rozwiązaniem, do których m.in. należy zaliczyć: prawdopodobieństwo zaniku (przerywania) sygnału GNSS w środowisku leśnym, co może być rozwiązywane np. oparciem pomiaru o naziemne stacje referencyjne (terenowe punkty kontrolne); błędy pomiarowe technologii MLS / MMS sygnalizowane w literaturze przedmiotu⁷⁸, czy też wysokie koszty urządzeń. Tak ogólnie określona metodyka, wymagająca oczywiście jej szczegółowego dopracowania - dostosowania do konkretnych obszarów i warunków, może stanowić element modyfikujący dotychczasowe prace terenowe, związane z dziedzictwem kulturowym na obszarach leśnych w Polsce.

PODSUMOWANIE

Podsumowując warto podkreślić, że zarysowana koncepcja mobilnego systemu inwentaryzacji zabytków na terenach leśnych (z ukierunkowaniem działań na obszary zalesione w Polsce i dostępne dane ISOK), stanowić może komplementarny element szerszych – przyszłych, nieinwazyjnych działań w zakresie rozpoznawania, badania czy monitorowania zasobów zabytkowych. Sama koncepcja mobilnego systemu inwentaryzacji zabytków na terenach leśnych dotyczy najogólniej włączenia urządzeń mobilnych (takich jak wyżej przywołane) do działań, które uzupełnią inne systemy generowania danych (jak np. ALS) i/lub pozwolą pozyskać i tworzyć niezależny zasób danych. Zarówno środowiska konserwatorsko-badawcze, związane z ochroną dziedzictwa kulturowego, jak i środowiska leśników, osób związanych z ochroną środowiska, mogą efektywnie korzystać z tego samego zasobu generowanego w ramach mobilnych pomiarów. Ta swego rodzaju „interdyscyplinarność” z pewnością pozytywnie wpłynie na obustronne działania.

Proponowana koncepcja mobilnego systemu może być również rozwiązaniem wprowadzającym nową jakość prac terenowych, wymagającą przeformułowania dotychczasowej metodyki badawczej, która jednocześnie nie zmusza do odrzucenia obowiązujących założeń prospekcyjnych. Metodyka badań po-

⁷⁷ Oczywiście określenie poszczególnych parametrów prac terenowych jest w poniższym tekście przykładowe i odnosi się do omawianego urządzenia, ukazując newralgiczne elementy, które należy brać pod uwagę w odniesieniu do tego typu urządzeń – systemów.

⁷⁸ Warchoł A., 2013, *Analiza dokładności przestrzennych danych z lotniczego, naziemnego i mobilnego skaningu laserowego jako wstęp do ich interpretacji*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 25, s. 255-260.

wierzchniowych na terenach leśnych może zatem uwzględniać dotychczasowe praktyki, które wzbogacone o prezentowany system mobilny, poprawią efektywność prac, dostarczając dodatkowych danych. Paradoksalnie, wiele systemów pozyskiwania danych przestrzennych, jakże cennych dla prac związanych z ochroną dziedzictwa kulturowego, „zepchnęło” na dalszy plan badacza, oferując narzędzia zautomatyzowanego pozyskiwania danych. Niestety ta sytuacja doprowadziła do pewnej „luki”, jaką jest brak możliwości kontrolowania i weryfikacji poprawności np. klasyfikacji wszystkich danych. Dlatego też zwrócenie uwagi na potencjał urządzeń typu *backpack*, w pewnym sensie przywraca obecność badającego w procesie badawczym, na etapie pozyskiwania danych w terenie. Takie podejście, co prawda powoduje wolniejsze pozyskiwanie danych dla dużych obszarów, jednak zdecydowanie poprawia ich jakość, a co najważniejsze, umożliwia rejestrację i obserwację otoczenia (równolegle - w czasie rzeczywistym), stwarzając szansę na szerszą kontrolę badającego w procesie obróbki i klasyfikacji geodanych.

Podsumowując, warto w charakterze postulatu badawczego wskazać przede wszystkim włączenie w szerszym zakresie, niż jedynie testowym, zastosowania MLS na terenach leśnych w Polsce, celem poprawy jakości danych, służących rozpoznawaniu i badaniu dziedzictwa kulturowego. Technologie mobilne z pewnością czeka dalszy, intensywny rozwój, który z jednej strony zmierza w stronę poprawy jakości pozyskiwanych danych, jak i poprawy – wzbogacenia ilości i rodzajów sensorów, stanowiących integralne elementy takich systemów. W związku z powyższym warto również ukierunkować przyszłe działania na rzecz bieżącego włączania nowych rozwiązań do prac terenowych, a także aktywnego udziału w rozwoju tego typu systemów (np. ich prototypowych rozwiązań), w elementy wspierające badanie dziedzictwa kulturowego.

Autor pragnie podziękować Panu Waldemarowi Kubiszowi z Leica Geosystems Polska oraz Panu Jakubowi Markiewiczowi z Politechniki Warszawskiej za przekazane informacje i udzielone konsultacje.

Praca naukowa finansowana w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Narodowy Program Rozwoju Humanistyki” w latach 2012–2016.



NARODOWY PROGRAM
ROZWOJU HUMANISTYKI

BIBLIOGRAFIA

- Antoszewski M., Ostrowski W., 2013, *Lotniczy skaniny laserowy (projekt ISOK) w ochronie zespołów fortyfikacji nowszej*, (red.) L. Narębski, (w:) *Fortyfikacje nowożytnie w Polsce – badania, realizacje, projekty. Zagospodarowanie do współczesnych funkcji*, s. 271-280.
- Bakuła K., 2014, *Rola redukcji ilościowej danych wysokościowych pozyskanych z lotniczego skaniny laserowego w procesie tworzenia map zagrożenia powodziowego*, Warszawa [maszynopis pracy doktorskiej]
https://www.researchgate.net/publication/272791330_Rola_redukcji_ilosciowej_danych_wysokosciowych_pozyskanych_z_lotniczego_skaniny_laserowego_w_procesie_tworzenia_map_zagrozenia_powodziowego [dostęp 10.12.2015].
- Bakuła K., Ostrowski W., Zapłata R., 2014, *Automatyzacja w procesie detekcji obiektów archeologicznych z danych ALS*, „Folia Praehistorica Posnaniensia”, t. XIX, s. 463-480.

- Banaszek Ł., 2014, *Lotniczy skaning laserowy w polskiej archeologii. Czy w pełni wykorzystany jest potencjał prospekcyjny metody?*, "Folia Praehistorica Posnaniensia", t. XIX, s. 207-251.
- Banaszek Ł., 2015, *Przeszłe krajobrazy w chmurze punktów*, Poznań.
- Będkowski k., 2004, *Skanowanie laserowe i jego zastosowanie w leśnictwie*, "Rocznik Geomatyki", t. II, z. 4, s. 33-40.
- Bosse M., Zlot R., Flick P., 2012, *Zebedee: Design of a Spring-Mounted 3-D Range Sensor with Application to Mobile Mapping*, „IEEE Transactions on Robotics”, vol.28, no.5, pp.1104-1119.
- Briese C., Zach G., Verhoeven G., Ressel C., Ullrich A., Studnicka N., Doneus M., 2012, *Analysis of mobile laser scanning data and multi-view image reconstruction*, (w:) *Proceedings of the XXII ISPRS Congress, Vol. XXXIX- B5. Imaging a Sustainable Future. Melbourne, Australia, 25.08.-01.09.2012. ISPRS, „ISPRS Archives”*, vol. XXXIX, (red.) M. R. Shortis, J. Mills, s. 163-168 - <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B5/163/2012/isprsarchives-XXXIX-B5-163-2012.pdf> [dostęp 10.12.2015]
- 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.
- Buhur S., Kersten Th., Büyüksalih G., Jacobsen K., Baz I., Dursun S., Sagir D., 2008, *3D City Modelling of Istanbul Historic Peninsula by Combination of Aerial Images and Terrestrial Laser Scanning Data*, "The international archives of the photogrammetry, remote sensing, and spatial information sciences", vol. XXXVII (Part B7), s. 1239-1246 - http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/7_pdf/6_WG-VII-6/33.pdf [dostęp 10.12.2015].
- Cembrzyński P., Legut-Pintal M., 2014, *Airborne laser scanning as a method of localisation and documentation of mining sites remains. Examples from Silesia*, "Acta rerum naturalium", vol. 16, s. 187-202.
- Chyla J., Bryk M., 2013, *Zastosowanie technologii GIS w lokalizacji stanowisk archeologicznych podczas prospekcji terenowej*, "Rocznik Geomatyki", t. XII, z. 1 (63), s. 19-29.
- Gołębniak A., 2014, *Rola nowych technik dokumentacyjno-pomiarowych w interdyscyplinarnych działaniach badawczo-konserwatorskich*, „Wiadomości Konserwatorskie”, 40/2014, s. 83-93.
- Hyyppä J., Jaakkola A., Chen Y., Kukko A., Kaartinen H., Zhu L., Alho P., Hyyppä H., 2013, *Unconventional LIDAR Mapping from Air, Terrestrial and Mobile*, (w:) *Photogrammetric Week 2013*, (red.) D. Fritsch, s. 205-214 - <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo13/180Hyyppae.pdf> [dostęp 10.12.2015]
- Jarząbek J., Kurczyński Z., Woźniak P., 2011, *Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami*, „Geodeta”, nr 5 (192), s. 12-17.
- Jaworski M., Wroniecki P., Kostyrko M., 2015, *Niewykorzystany zasób - wstępne uwagi o możliwościach zastosowania darmowych danych lotniczego skanowania laserowego w zarządzaniu dziedzictwem*, „Biografia archeologii”, nr 1/2015, s. 103-111 - http://biografiaarcheologii.pl/wp-content/uploads/czasopismo/biografia_archeologii_vol_I_2015.pdf [dostęp 10.12.2015]
- Kiarszys G., Szalast G., 2014, *Archeologia w chmurze punktów. Porównanie rezultatów filtracji i klasyfikacji gruntu w projekcie ISOK, z wynikami opracowanymi w oprogramowaniu LAsTools i Terrasolid*, "Folia Praehistorica Posnaniensia", t. XIX, s. 267-292.
- 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.
- Kukko A., Kaartinen H., Hyyppä J., Chen Y., 2012, *Multiplatform Approach to Mobile Laser Scanning*, „Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Vol. XXXIX-B5, s. 483-488 - <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B5/483/2012/isprsarchives-XXXIX-B5-483-2012.pdf> [dostęp 10.12.2015]
- 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 10.12.2015].

- Kurczyński Z., Bakula K., 2013, *Generowanie referencyjnego numerycznego modelu terenu o zasięgu krajowym w oparciu o lotnicze skanowanie laserowe w projekcie ISOK*, (red.) Z. Kurczyński, (w:) *Measurement technologies in surveying. Geodezyjne technologie pomiarowe*, s. 59-68.
- Kurczyński Z., Bakula K., 2013, *The Selection of Aerial Laser Scanning Parameters for Countrywide Digital Elevation Model Creation*, 13th SGEM GeoConference on Informatics, Geoinformatics And Remote Sensing, "SGEM2013 Conference Proceedings", vol. 2, s. 695-702.
- 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 01.12.2015].
- Liang X., Kukko A., Kaartinen H., Hyypä J., Yu X., Jaakkola A., Wang Y., 2014, *Possibilities of a Personal Laser Scanning System for Forest Mapping and Ecosystem Services*, "Sensors", vol. 14, s. 1228-1248.
- Mikruta S., Głowienka E. (red.), 2015, *Fotogrametria i skaning laserowy w modelowaniu 3D*, Rzeszów.
- Norbert H., Petera M., Cefalua A., Kremerb J., 2008, *Mobile Lidar Mapping For Urban Data Capture*, "Digital Heritage - Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia", VSMM, Limassol, Cyprus, s. 92-100 - http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2008/Haala_etal_Streetmapper_Cyprus.pdf [dostęp 10.12.2015].
- Pajak K., Cieško A., Oszczak S., 2006, *Tworzenie NMT za pomocą GPS RTK/OTF*, "Rocznik Geomatyki", t. IV, z. 3, s. 171-176.
- Pawłuszek K., Ziaja M., Borkowski A., 2014, *Ocena dokładności wysokościowej danych lotniczego skaningu laserowego systemu ISOK na obszarze rzeki Widawy*, „Acta Scientiarum Polonorum. Geodesia et Descriptio Terrarum”, vol. 13, nr 3-4, s. 27-38.
- Pfenningbauer M., Riegl U., Rieger P., Amon P., 2014, *UAS based laser scanning for forest inventory and precision farming*, (w:) *Proceedings of the International Workshop on Remote Sensing and GIS for Monitoring of Habitat Quality. Vienna, 24-25 September 2014*, (red.) N. Pfeifer, A. Zlinszky, Vienna, s. 25-29
http://rsgis4hq.geo.tuwien.ac.at/fileadmin/editors/RSGIS4HQ/proceedings/RSGIS4HQ_Pfennigbauer.pdf [dostęp 10.12.2015]
- Ryding J., Williams E., Smith M. J., Eichhorn M. P., 2015, *Assessing Handheld Mobile Laser Scanners for Forest Surveys*, "Remote Sensing", vol. 7 (1), s. 1095-1111 - <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/1/1095/htm> [dostęp 10.12.2015].
- Sawicki P., 2012, *Bezzałogowe aparaty latające UAV w fotogrametrii i teledetekcji - stan obecny i kierunki rozwoju*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 23, s. 365-376.
- Sikora J., 2013, *Android, Locus i badania powierzchniowe* - <https://gunthera.wordpress.com/2013/11/08/android-locus-i-badania-powierzchniowe> [dostęp 10.12.2015].
- Śnieżek T., (red.), 2009, *Ocena stanu środowiska Stacji Bazowej ZMŚP Puszcza Borecka w roku hydrologicznym 2008*, Warszawa – http://www.ios.edu.pl/pol/zaklady/puszcza/raport%20zmsp_2008.pdf [dostęp 10.12.2015]
- Thomson, C., Apostolopoulos, G., Backes, D., and Boehm, J., 2013, *Mobile Laser Scanning for Indoor Modelling*, „ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.”, II-5/W2, s. 289-293 - <http://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5-W2/289/2013/isprsannals-II-5-W2-289-2013.pdf> [dostęp: 10.12.2015]
- Warchoła A., 2013, *Analiza dokładności przestrzennych danych z lotniczego, naziemnego i mobilnego skaningu laserowego jako wstęp do ich interpretacji*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, vol. 25, s. 255-260.
- Wesołowski S., Siedlecki J., Grądzik K., 2008, *O technologii pomiarów GPS RTK (Real Time Kinematic)* - <http://www.geodezja-szczecin.org.pl/images/2008-04-29/GPS%20RTK%20opracowanie.pdf> [dostęp 10.12.2015]
- Wężyk P. (red.), 2014, *Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR*. Warszawa - <http://szkolenialidar.gugik.gov.pl/> [dostęp 10.12.2015].
- Zapłata R., 2013, *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa.
- Zapłata R., 2015, *Historyczne założenia obronne, architektura militaris i LiDAR. Wybrane zagadnienia metodyczne z zakresu zastosowania skanowania laserowego w detekcji i inwentaryzacji nowożytnych fortyfikacji*, „Studia GeoHistorica”, nr 3, s. 152-176.
- Zapłata R., 2015, *Naziemne skanowanie laserowe w ochronie zabytków - potencjał i potrzeby*, (w:) *Przeszłość dla przyszłości*, t. 3, red. A. Kadłuczka, J. Czechowicz, Kraków, s. 101-114.

- Zapłata R., Ptak A., [w druku], *Dziedzictwo kulturowe w świetle danych ALS. Zasoby ISOK w badaniach rejonu Bobolic: metodyka, analiza i wyniki*, (w:) *Nieinwazyjne rozpoznanie zasobów dziedzictwa archeologicznego: potencjał i możliwości*, (red.) M. Pawleta, R. Zapłata, Lublin, s. 97-138.
- Zapłata R., Sławik Ł., 2010, *LIDAR zmienia archeologię*, "Geodeta", 10 (185), s. 42-44.
- Zapłata R., Szady B., Stereńczak K. (red.), 2014, *Laserowi Odkrywcy. Nieinwazyjne badanie i dokumentowanie obiektów archeologicznych i historycznych województwa świętokrzyskiego*, Stare Babice.
- Zawieska D., Ostrowski W., Antoszewski M., 2013, *Wykorzystanie danych lotniczego skaningu laserowego w metodyce badawczej zespołów fortyfikacji nowszej w Polsce*, "Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji", vol. 25, s. 303-314 (http://ptfit.sgp.geodezja.org.pl/wydawnictwa/kazimierz-2013/27_Zawieska_Ostrowski_Antoszewski_303_314.pdf) [dostęp 10.12.2015]

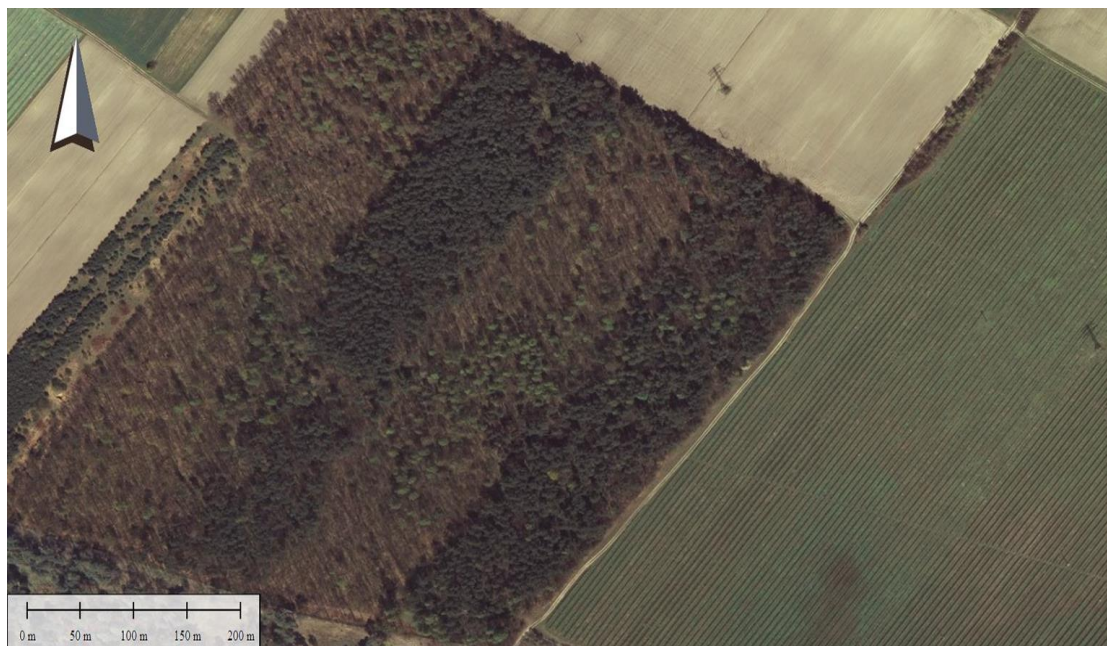
RYCINY



Ryc. 1. Leica Pegasus:Backpack. Oprac. R. Zapłata.



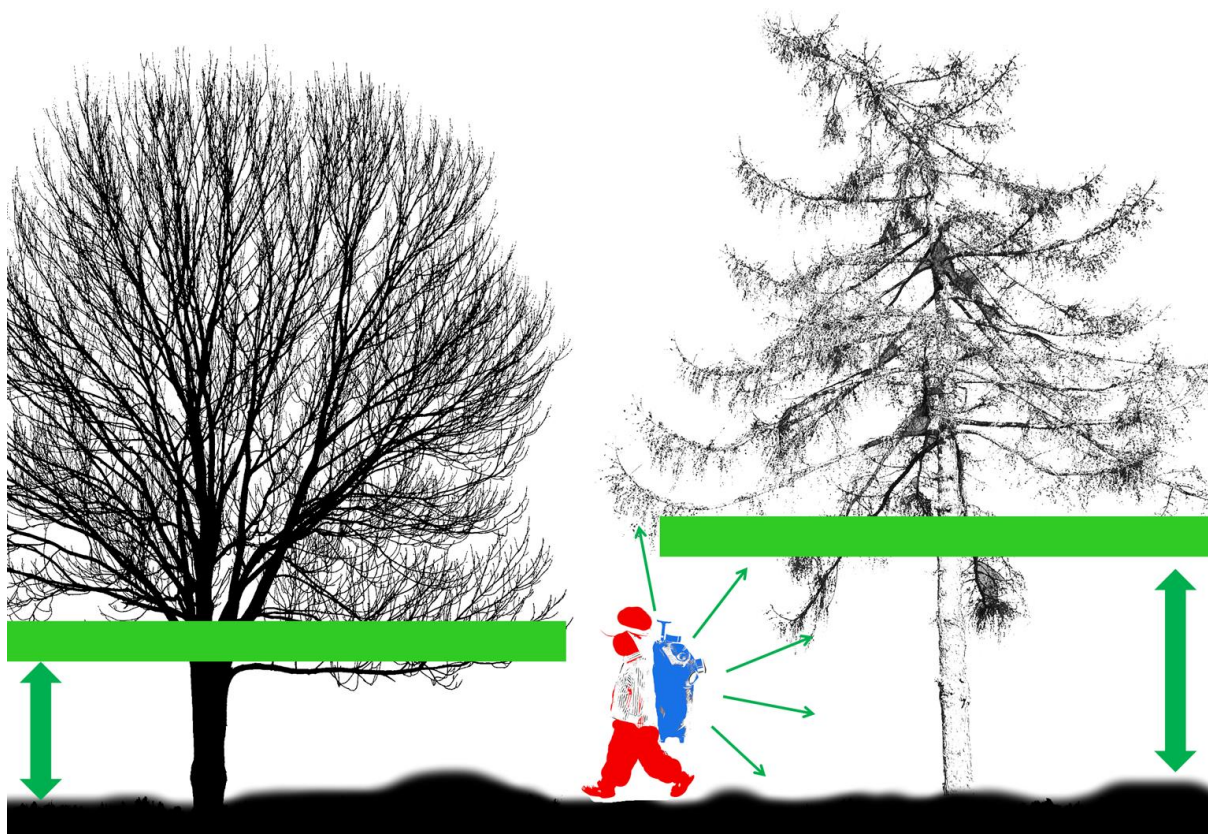
Ryc. 2. Przykładowe pokrycie pomiarem - klasa „grunt” na podstawie danych ALS-ISOK. Źródło: GUGiK / UKSW.



Ryc. 3. Przykład terenu leśnego o dużej, całorocznej gęstości pokrywy roślinnej (iglastej). Zwarte skupisko widziane z pułapu lotniczego (na górze). Źródło: UKSW / GUGiK. Przykład przenikania promieni słonecznych przez gęste skupisko gałęzi (na dole). Fot. R. Zapłata.



Ryc. 4. Przykład obszaru leśnego – drzewostan iglasty (całoroczny) – dość jednolita i całoroczna sytuacja gęstości roślin wysokich (korona drzew) utrudniająca wykonywanie pomiaru gruntu w technologii ALS. Widok koron drzew utrudniających pomiar (u góry). Potencjalny teren zastosowania MLS celem uzupełnienia pomiarów ISOK (u dołu). Fot. R. Zapłata.



Ryc. 5. Schemat efektywnego zastosowania MLS/PLS na terenach leśnych. Pomiar uzupełniający zasób ALS-ISOK. Strefa optymalnego pozyskiwania danych laserowych – strzałki / kolor zielony.
Oprac. R. Zapłata.

ROZDZIAŁ IV



Lotnicze zobrazowania hiperspektralne w ochronie dziedzictwa kulturowego. Potencjalne obszary zastosowań w Polsce

Aerial hyperspectral imaging in the protection of cultural heritage. The potential of the applications in Poland

Rafał Zapłata*, Jan Niedzielko, Łukasz Sławik****

*Zakład Konserwacji Zabytków i Ochrony Krajobrazu, Instytut Historii Sztuki,
Wydział Nauk Historycznych i Społecznych, Uniwersytet Kardynała Stefana
Wyszyńskiego w Warszawie
rafalzaplata@poczta.onet.pl

**MGGP Aero
Ul .Kaczkowskiego 6, 33-100 Tarnów,
Oddział w Warszawie, ul. Sienna 39
Jniedzielko@mggpaero.com, lslawik@mggpaero.com

Słowa klucze: zobrazowania hiperspektralne, skaner hiperspektralny, dziedzictwo kulturowe, metody nieinwazyjne

Key words: hyperspectral imagery, hyperspectral scanner, cultural heritage, non-invasive methods

Abstrakt: Tekst poświęcony jest prezentacji lotniczego obrazowania hiperspektralnego, w odniesieniu do potencjalnych działań na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego. Celem publikacji jest przede wszystkim zwrócenie uwagi na potencjalne obszary zastosowania skanowania hiperspektralnego w badaniu i inwentaryzacji dóbr kultury takich, jak historyczne założenia zieleni, zabytki archeologiczne czy archeologiczno-architektoniczne. Tekst ukierunkowany jest w stronę aplikacji tytułowej technologii do działań na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego w Polsce, dostrzegając m.in. szansę na integrację danych hiperspektralnych z np. danymi ALS-ISOK, które obejmują obecnie znaczną część kraju. Tekst składa się z trzech części: wprowadzającej, omawiającej przekrojowo technologię (w kontekście dziedzictwa kulturowego) oraz podsumowującej, w której prezentowane są postulaty badawcze, a także wskazania zastosowania skanowania hiperspektralnego, w odniesieniu do dziedzictwa kulturowego.

WPROWADZENIE

Teledetekcyjne techniki pozyskiwania danych o powierzchni terenu i obiektach, w odniesieniu do ochrony zabytków, zwłaszcza z pułapu satelitarnego oraz lotniczego, wiążemy m.in. z lotniczymi zdjęciami, spektrostrefowymi (R,G,B,CIR), wysokorozdzielczymi zobrazeniami satelitarnymi, czy w końcu z danymi pochodzącymi z lotniczego skanowania laserowego (ALS). Początek XXI wieku w badaniach dziedzictwa kulturowego, zwłaszcza archeologicznego, charakteryzowało m.in. zastosowanie ostatniej technologii, która stała się jednym z elementów nieinwazyjnego rozpoznawania i inwentaryzowania obiektów zabytkowych na terenach leśnych. Lotnicze skanowanie laserowe, wyznaczające nowy wymiar badań nieinwazyjnych dziedzictwa kulturowego, przyniosło w ostatnich latach (również w Polsce) wiele zaskakujących wyników, dookreślając wymiar współczesnego warsztatu badawczego środowisk naukowo-konserwatorskich.⁷⁹

Kolejnym krokiem w stronę rozbudowy potencjału badawczego, związanego z nieinwazyjną detekcją i ochroną zasobów zabytkowych, jest zapewne włączanie do działań naukowo-konserwatorskich zobrażeń hiperspektralnych, pozyskiwanych dzięki skanerom hiperspektralnym z pułapu lotniczego⁸⁰. Ta technologia, zyskująca stopniowo ogromne uznanie w kręgach specjalistów, zajmujących się m.in. środowiskiem przyrodniczym⁸¹, stopniowo wkracza również do prac ukierunkowanych na dziedzictwo kulturowe.⁸² Analizując potencjał technologii, jak i szeroki zakres zastosowań, dostrzegamy m.in. możliwość

⁷⁹ Np.: Bewley R., Crutchley S., Shell C., 2005, *New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site*, „Antiquity”, t. 79(305), s. 636–647; Challis K., 2006, *Airborne laser altimetry in alleviated landscapes*, „Archaeological Prospection”, t. 13, s. 103–127; Crutchley S., 2009, *Using LiDAR in archaeological contexts: The English heritage experience and lessons learned*, [w:] *Laser scanning for the environmental sciences*, G. Heritage, M. Charlton, A. Large (red.), Chichester 2009, s. 180–200; 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”, t. 79(305), s. 648–660; Opitz R. S., Cowley D. C. (red.), 2013, *Interpreting archaeological topography: airborne laser scanning, 3D data and ground observation*, Oxford oraz w Polsce: Bakuła K., Ostrowski W., Zapłata R., 2014, *Automatyzacja w procesie detekcji obiektów archeologicznych z danych ALS*, „Folia Praehistorica Posnaniensia”, t. XIX, s. 463–480; Banaszek Ł., 2015, *Przeszłe krajobrazy w chmurze punktów*, Poznań; Banaszek Ł., Rączkowski, W., *Potencjał danych ALS w badaniach archeologicznych*, [w:] *Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR*, P. Wężyk (red.), Kraków 2014, s. 192–200 – <http://szkolenialidar.gugik.gov.pl/szkolenia/materialy-szkoleniowe/podrecznik/> - [dostęp 15.12.2015]; Kiarszys G., Szalast G., 2014, *Archeologia w chmurze punktów. Porównanie rezultatów filtracji i klasyfikacji gruntu w projekcie ISOK, z wynikami opracowanymi w oprogramowaniu LAStools i Terrasolid*, „Folia Praehistorica Posnaniensia”, t. XIX, s. 267–292; Zapłata R., 2013, *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa; Zapłata R., Ptak A., [w druku], *Dziedzictwo kulturowe w świetle danych ALS. Zasoby ISOK w badaniach rejonu Bobolic: metodyka, analiza i wyniki*, (w:) *Nieinwazyjne rozpoznanie zasobów dziedzictwa archeologicznego: potencjał i możliwości*, (red.) M. Pawleta, R. Zapłata, Lublin, s. 97–138.

⁸⁰ Szerzej na ten temat np.: Geotz A. F., H., Vange G., Solomon J. E., Rock B. N., 1985, *Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing*, „Science”, vol. 228, nr 4704, s. 1147–1153; Coulter D. W., Hauff P. L., Kerby W. L., 2007, *Airborne hyperspectral remote sensing*, (w:) *Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration*, (red.) B. Milkereit, s. 375–386.

⁸¹ Np. Goetz A. F. H. 2009: *Three decades of hyperspectral remote sensing of the Earth: A personal view*, „Remote Sensing of Environment”, vol. 113, s. 5–16; Zagajewski B., 2010: *Ocena przydatności sieci neuronowych i danych hiperspektralnych do klasyfikacji roślinności Tatr Wysokich*, „Teledetekcja Środowiska”, no. 43; Marcinkowska-Ochtyra A., Zagajewski B., Ochtyra A., Jarocińska A., Raczko E., Wojtuń B., Przewoźnik L., 2014, *Klasyfikacja roślinności nieleśnej Karkonoszy na podstawie lotniczych zdjęć hiperspektralnych*, (w:) *Konferencja Naukowa z okazji 55-lecia Karkonoskiego Parku Narodowego „25 lat po klęsce ekologicznej w Karkonoszach i Górach Izerskich – obawy a rzeczywistość”*, Jelenia Góra, s. 239–248; Raczko E., Zagajewski B., Ochtyra A., Marcinkowska-Ochtyra A., Jarocińska A., Dobrowolski M., 2014, *Klasyfikacja gatunków drzewiastych Karkonoskiego Parku Narodowego z użyciem lotniczych danych hiperspektralnych APEX oraz Support Vector Machines*, (w:) *Konferencja Naukowa z okazji 55-lecia Karkonoskiego Parku Narodowego „25 lat po klęsce ekologicznej w Karkonoszach i Górach Izerskich – obawy a rzeczywistość”*, (red.) R. Knapik, Jelenia Góra, s. 263–271; Wężyk P., Wertz B., Waloszek A., 2003, *Skaner hiperspektralny AISA (Airborne Imaging Spectrometer for Applications) jako narzędzie pozyskiwania informacji o ekosystemie leśnym*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, 15–17 września 2003 r., vol. 13b, s. 485–496.

⁸² Aqduş S. A., Drummond J., Hanson W. S., 2008, *Discovering archaeological cropmarks: a hyperspectral approach*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, vol. XXXVII, Part B5, Beijing, s. 361–366; Aqduş S. A., Hanson W.S., Drummond J., 2012, *The potential of hyperspectral and multi-spectral imagery to enhance archaeological cropmark detection: a comparative study*, „Journal of Archaeological Science”, 39 (7), s. 1915–1924; Cavalli R. M., 2013, *Integrated approach for archaeological prospection exploiting airborne hyperspectral remote sensing*, (w:) *Good Practice in Archaeological Diagnostics. Non-invasive Survey of Complex Archaeological Sites. Natural Science in Archaeology*, (red.) C. Corsi, B. Slapšak, F.

wykorzystania skanowania hiperspektralnego w działaniach na rzecz dziedzictwa kulturowego, a zwłaszcza historycznych założeń zieleni czy dziedzictwa archeologicznego oraz archeologiczno-architektonicznego.

Poniższy tekst, mający na celu przekrojową prezentację oraz wstępne zaznajomienie odbiorcy z nową (nietypową, niestandardową) technologią, ukierunkowany jest w stronę zarysowania potencjału skanowania hiperspektralnego, w badaniu i ochronie dziedzictwa kulturowego w Polsce. Przykładowa prezentacja zastosowania tytułowej technologii odnosi się przede wszystkim do pomiarów wykonanych na terenie Białegostoku, przy wykorzystaniu skanera HySpex VNIR-1800 oraz HySpex SWIR-384. Uwaga skierowana jest głównie na obszar Polski, gdyż w ramach kreślonej w poniższym tekście (swego rodzaju) wstępnej koncepcji, związanej z ochroną dziedzictwa kulturowego przy zastosowaniu zobrazowań hiperspektralnych, zdaniem autorów rysuje się szansa m.in. na integrację różnoczasowych, wieloźródłowych danych, które możemy wiązać z danymi ISOK, w tym danymi ALS, zdjęciami lotniczymi, a także zobrazowaniami satelitarnymi. W związku z powyższym, w tym zbiorze danych, w ramach kreślenia potencjału badawczego metod teledetekcyjnych, warto dostrzec lotnicze zobrazowania hiperspektralne (ang. *Airborne Hyperspectral Imagery* – akronim HSI), stanowiące niejako kolejny element wsparcia inicjatyw związanych z ochroną zabytków.

SKANOWANIE HIPERSPEKTRALNE I DZIEDZICTWO KULTUROWE

Pozyskiwanie obrazów powierzchni terenu, które charakteryzuje duża liczba wąskich spektralnie kanałów ciągłych, skanerami hiperspektralnymi, staje się obecnie kolejną techniką obserwacji i rejestracji zmian oraz różnic powierzchni określonego obszaru.⁸³ Lotnicze hiperspektralne obrazowanie to technologia, która opiera się na spektroskopii, czyli dziedzinie fizyki zajmującej się widmem promieniowania elektromagnetycznego i badaniem za jego pomocą właściwości obiektów. Jedną z metod rejestracji promieniowania jest skanowanie za pomocą cyfrowych spektrometrów obrazujących⁸⁴. Jest to technologia szeroko stosowana w teledetekcji, czyli zdalnym pozyskiwaniu informacji. Do zalet tej technologii należy przede wszystkim zaliczyć nieinwazyjność, szybkość pozyskiwania danych, a także możliwość analizy na dużych obszarach.

Za literaturą przedmiotu, „zobrazowania hiperspektralne są definiowane jako równoczesne pozyskanie obrazów w wielu bardzo wąskich, ciągłych zakresach spektralnych (...). Rejestracja promieniowania elektromagnetycznego przez sensory hiperspektralne odbywa się na drodze pasywnego zapisu spektrum odbitego od powierzchni terenu. Geneza badań z wykorzystaniem lotniczych systemów hiperspektralnych sięga lat 1970. (...). Pierwsze zobrazowania rozwijane były do celów wojskowych (detekcja obiektów militarnych ukrytych wśród roślinności). Cywilne prace nad rozwojem technik hiperspektralnych rozpoczęły się dekadę później, kiedy to Geophysical Environmental Research Company rozpoczęła prace nad jednowymiarowym spektrometrem, rejestrującym sygnał profilu wzdłuż linii lotu samolotem.”⁸⁵ W porównaniu z obrazami wielospektralnymi, dane hiperspektralne, uwzględniając wąskie

Vermeulen, Cham, s. 87–112; Doneus M., Verhoeven G., Atzberger C., Wess M., Ruš M., 2014, *New ways to extract archaeological information from hyperspectral pixels*, "Journal of Archaeological Science", vol. 52, s. 84-96; Emmolo D., Franco V., Lo Brutto M., Orlando P., Villa B., 2004, *Hyperspectral techniques and GIS for archaeological investigation*, (w:) *Proceedings of ISPRS 2004-geoimager Bridging Continents. XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey. 12–23 July 2004*, ISPRS, Istanbul - <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/96.pdf> [dostęp 15.12.2015]; Verhoeven G.J.J., Doneus M., Atzberger C., Wess M., Ruš M., Pregesbauer M., Briese C., 2013, *New approaches for archaeological feature extraction of airborne imaging spectroscopy data* *Archaeological Prospection*, (w:) *Proceedings of the 10th International Conference on Archaeological Prospection, Vienna, Austria. May 29th – June 2nd 2013*, Vienna, s. 13–15.

⁸³ Goetz A. F. H., Vane G., Solomon J. E., Rock B. N., 1985, *Imaging spectrometry for earth remote sensing*, "Science", vol. 228, nr 4704, s. 1147-1153.

⁸⁴ Zagajewski B., 2010, Ocena przydatności sieci neuronowych i danych hiperspektralnych do klasyfikacji roślinności Tatr Wysokich - <http://geoinformatics.uw.edu.pl/teledetekcja-srodowiska/#t43> – [dostęp 15.12.2015].

⁸⁵ Goetz A. F. H., Vane G., Solomon J. E., Rock B. N., 1985; van der Meer F.D., de Jong S.M. (red.), 2001, *Imaging spectrometry: basic principles and prospective applications*, Dordrecht za *Rejestracja lotniczych obrazów hiperspektralnych* - <http://geoinformatics.uw.edu.pl/wp->

i liczne zakresy widma elektromagnetycznego, a dalej dużą ilość danych w nich zawartych, pozwalają na dokładniejsze i lepsze określanie elementów powierzchni terenu.⁸⁶

Parametry lotniczych danych hiperspektralnych opisywane są głównie przez rozdzielczość przestrzenną, czyli wielkość najmniejszego pojedynczego elementu zobrazowania, tzw. piksela. Kolejną istotną wielkością jest zakres spektralny, w jakim obrazuje dany skaner, rozdzielczość spektralna, czyli zakres widma rejestrowany przez pojedynczy kanał, następnie liczba kanałów. Ważnym parametrem jest również kąt widzenia detektora, co przekłada się na szerokość pojedynczego pasa zobrazowania.

Przykładowe parametry charakteryzujące pozyskanie danych zestawem skanerów HySpex, norweskiego producenta Norsk Elektro Optikk, podano w tabeli 1. oraz 2. W zależności od parametrów lotu samolotu z zamontowanym zestawem skanerów, można uzyskać następujące parametry: dla wysokości 1000 m piksel VNIR wynosi 1m a piksel SWIR 2m (szerokość pasa 900m); dla wysokości 500 m piksel VNIR wynosi 0,5m a dla SWIR 1m (szerokość pasa 450m). Przy tak przyjętych parametrach możliwa jest m.in. detekcja np. obiektów archeologicznych na terenach rolniczych.

Tabela 1. Parametry techniczne przykładowego skanera – skaner hiperspektralny HySpex VNIR-1800.

Zakres spektralny	400-1000 nm
Liczba pikseli w linii	1800
Liczba kanałów spektralnych	182
Szerokość próbkowania	3,26 nm
FOV	17°-34°
iFOV	0,16/0,32 mrad
Rozdzielczość radiometryczna	16 bit
Zakres dynamiczny	20000
Maksymalny stosunek sygnału do szumu	>255
Wymiary	39/9,9/15 cm
Waga	5 kg

Tabela 2. Parametry techniczne przykładowego skanera – skaner hiperspektralny HySpex SWIR-384.

Zakres spektralny	930-2500 nm
Liczba pikseli w linii	384
Liczba kanałów spektralnych	288
Szerokość próbkowania	5,45 nm

content/uploads/sites/26/2014/03/TS_v43_Rejestracja_lotniczych_obrazow_hiperspektralnych.pdf [dostęp 15.12.2015]

⁸⁶ Raczko E., Zagajewski B., Ochtyra A., Marcinkowska-Ochtyra A., Jarocińska A., Dobrowolski M., 2014, *Klasyfikacja gatunków drzewiastych Karkonoskiego Parku Narodowego z użyciem lotniczych danych hiperspektralnych APEX oraz Support Vector Machines*, (w:) *Konferencja Naukowa z okazji 55-lecia Karkonoskiego Parku Narodowego „25 lat po klęsce ekologicznej w Karkonoszach i Górach Izerskich – obawy a rzeczywistość”*, (red.) R. Knapik, Jelenia Góra, s. 263-271.

FOV	16°-32°
iFOV	0,73/0,73 mrad
Rozdzielczość radiometryczna	16 bit
Zakres dynamiczny	7500
Maksymalny stosunek sygnału do szumu	>1100
Wymiary	38/12/17,5 cm
Waga	5,7 kg

Przykładowe różnice spektralne – krzywe spektralne dla wybranych rodzajów powierzchni terenu, ilustruje Ryc. 4. Tego typu zróżnicowanie spektralne jest podstawą klasyfikacji obiektów na powierzchni terenu, jak analizowania ich stanu (np. wód powierzchniowych, roślinności). Dzięki obrazom hiperspektralnym, w odniesieniu np. do roślin, możliwym „jest zaobserwowanie charakterystycznych relacji pomiędzy właściwościami liści, jak np. zawartość pigmentów, struktury tkanek, pokrycie woskami itp. Wszystkie tego typu właściwości wpływają bezpośrednio na odbicie promieniowania elektromagnetycznego, co jest możliwe do zarejestrowania przez sensory teledetekcyjne, w szczególności hiperspektralne, rejestrujące dane w sposób ciągły, umożliwiając identyfikację poszczególnych cech obiektów”.⁸⁷

Charakteryzując potencjał prezentowanej technologii, warto podkreślić niektóre słabe strony, mając na uwadze przede wszystkim działania na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego. Z pewnością przeszkodą w rejestracji powierzchni terenu skanerami hiperspektralnymi są warunki pogodowe. Opady i duża wilgotność mierzonych powierzchni mają istotny wpływ na rejestrację. Nie bez znaczenia pozostaje również dość wysoki koszt skanowania hiperspektralnego. W porównaniu z danymi ALS lub zdjęciami lotniczymi, przetwarzanie danych hiperspektralnych wymaga m.in. wielu dodatkowych zabiegów, celem przygotowania do dalszej analizy, co niewątpliwie stanowi większe wyzwanie dla prowadzonych prac. Również duża ilość informacji, związana z ogromną ilością kanałów, jak i obszernym zakresem spektralnym, wpływają na powstanie dodatkowych i skomplikowanych zabiegów przetwarzania danych. Warto podkreślić, że np. w odniesieniu do obiektów przyrodniczych - drzewostanów i ich klasyfikacji, dokładność nie jest stuprocentowa, co powoduje, że metoda ta nie może być uznana za jedyną i ostateczną przy tego typu działaniach. Ww. przetworzenia danych to m.in. korekcja radiometryczna, korekcja geometryczna i topograficzna, jak również atmosferyczna. Działania te wymagają niejednokrotnie pomiarów terenowych, co dodatkowo generuje koszty i czasochłonność wykonywanych prac. Mimo tych kilku przykładowych ograniczeń i trudności, skanowanie hiperspektralne posiada ogromny potencjał, który warto odnieść do działań na rzecz dziedzictwa kulturowego.

Hiperspektralność to przede wszystkim nowa, dodatkowa forma klasyfikacji, a co za tym idzie, monitorowania i analizowania obiektów przyrodniczych i kulturowych. Zróżnicowanie spektralne powierzchni terenu, którą stanowi roślinność (np. wysoka – drzewa, czy niska – trawy, uprawy itd.), a także odsłonięta gleba, może być podstawą do bezpośredniej analizy i ochrony dziedzictwa kulturowego, jak np. założeń zieleni oraz punktem wyjścia do badań (pośrednich), umożliwiających analizowanie różnorodności roślinnej, czy też różnic w ramach określonych gatunków (np. na terenach rolniczych wybranych upraw). Potencjał skanowania hiperspektralnego, z ukierunkowaniem na dziedzictwo kulturowe, warto rozpatrywać z uwzględnieniem tego, że reprezentacja powierzchni terenu w postaci pojedynczego piksela, w ramach poszczególnych kanałów, odzwierciedla jej cechy spektralne, w przedziale 400 – 2500 nm.

⁸⁷ Marcinkowska-Ochtyr A., Zagajewski B., Ochtyra A., Jarocińska A., Raczko E., Wojtuń B., Przewoźnik L., 2014, *Klasyfikacja roślinności nieleśnej Karkonoszy na podstawie lotniczych zdjęć hiperspektralnych*, (w:) *Konferencja Naukowa z okazji 55-lecia Karkonoskiego Parku Narodowego "25 lat po klęsce ekologicznej w Karkonoszach i Górach Izerskich – obawy a rzeczywistość"*, Jelenia Góra, s. 239-248 (239).

Zabytkowe założenia zieleni, parki, na podobieństwo wielu prac przeprowadzonych na terenach leśnych, zyskują nowe narzędzie w klasyfikacji i analizie stanu wegetacyjnego. Z kolei zabytki archeologiczne, w oparciu o tzw. wyróżniki roślinne, rozpoznawane są przede wszystkim poprzez archeologię lotniczą – zdjęcia lotnicze. W odniesieniu do wyróżników roślinnych, obrazowanie hiperspektralne daje również możliwość detekcji obiektów na podstawie rejestracji i analizy zróżnicowania określonych gatunków na danym terenie, czy też zróżnicowanej kondycji roślin, znajdujących się pod wpływem różnych czynników stresogennych. Podobnie sytuacja rysuje się w odniesieniu do pozostałości dawnej (historycznej) zabudowy, obiektów architektonicznych czy osadnictwa. Zróżnicowanie związane z wegetacją roślin – np. tej samej uprawy, może być podstawą do pośredniego wnioskowania o występowaniu reliktyw dawnej zabudowy, które w formie pozostałości fundamentów mają bezpośredni wpływ na kondycję roślin, a te z kolei stanowią podstawę do powstawania zróżnicowanych krzywych odbicia spektralnego – charakterystyk spektralnych.

Przykładem ukazującym potencjał technologii, a dalej zróżnicowanie spektralne w odniesieniu do dziedzictwa kulturowego, jest analiza obiektów założenia parkowo-pałacowego Branickich w Białymstoku (Ryc. 2.). Przykładowe zobrazowanie hiperspektralne charakteryzuje 470 kanałów spektralnych w zakresie 400 - 2500 nm oraz rozdzielczość przestrzenna VNIR 0,5m oraz SWIR1 m. W ramach kampanii lotniczej wykonano dwa naloty: pierwszy w dniu 3 lipca 2015 r., przy wysokości lotu 750 m oraz szerokości pasa 450m; drugi w dniu 27 sierpnia 2015 r. - parametry jw. (Ryc. 1). Nalot, rejestrację hiperspektralną oraz przetworzenie, korekcję danych i ich przygotowanie do analiz, wykonała firma MGGP Aero. Celem pozyskania danych zastosowano zestaw dwóch skanerów hiperspektralnych produkcji Norsk Elektro Optikk AS.. Urządzenia zamontowano na jednej platformie, pozwalającej na symultaniczną pracę obu skanerów (parametry techniczne skanerów przedstawiono w tabelach 1 i 2). W ramach prac związanych z opracowaniem danych (co stanowi integralny element standardowych działań z danymi hiperspektralnymi) wykonano kalibrację radiometryczną, korekcję geometryczną oraz korekcję atmosferyczną.

Dokonując wizualnej (przykładowej, o bardzo ogólnym charakterze) analizy wygenerowanych obrazów, dostrzegamy m.in. zróżnicowanie drzewostanu dla ww. założenia parkowo-pałacowego, mogące być efektem występowania odmiennych gatunków drzew lub też ich zróżnicowanej kondycji, czy też panujących wokół nich warunków (Ryc. 3). Z kolei w odniesieniu do obszaru (otwartego na terenie miejskim) pokrytego roślinnością, dostrzegamy wyraźnie zróżnicowanie dla odmiennych długości fal (Ryc. 5), co może stanowić przykładową sytuację, z jaką spotykamy się podczas rozpoznawania i wskazywania potencjalnych obiektów archeologicznych, na terenach otwartych (nieużytki, tereny rolnicze itp.).

PODSUMOWANIE

Podsumowując, należy stwierdzić, że zobrazowania hiperspektralne warto traktować jako element (różno-) wieloczasowych, wieloźródłowych danych, pozyskiwanych, gromadzonych i przetwarzanych również na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego. W świetle literatury przedmiotu, jak i powyższej prezentacji, a w kontekście działań toczących wokół zasobów kulturowych, wyłania się przede wszystkim uzupełniająca rola zobrazowań hiperspektralnych, względem np. pomiarów ALS, czy zdjęć lotniczych, zwłaszcza na terenach odsłoniętych (np. rolniczych), umożliwiająca m.in. detekcję i monitorowanie zabytków archeologicznych, jak i samego kontekstu (otoczenia) dziedzictwa kulturowego.

Pośród postulatów badawczych, związanych z aplikowaniem skanowania hiperspektralnego do działań na rzecz badania, monitorowania i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego, warto wymienić kilka: (1) szczegółowe określenie możliwości zastosowania danych hiperspektralnych; (2) wypracowanie metodyki postępowania badawczego, związanego z planowaniem, pozyskiwaniem oraz przetwarzaniem i analizowaniem danych hiperspektralnych; (3) podjęcie inicjatyw na rzecz wypracowania systemu monitorowania, badania i inwentaryzowania dziedzictwa kulturowego, w oparciu o fuzję danych teledetekcyjnych, w tym danych hiperpektralnych; (4) wykonanie pomiarów testowych, korelujących obiekty zabytkowe z powierzchnią terenu (pokryciem terenu, np. roślinność niska) oraz danymi hiperspektralnymi;

(5) powiązania danych hiperspektralnych z danymi ALS, a w szczególności z danymi ISOK, celem dodatkowej analizy zasobu kulturowego w Polsce.

Warto również podkreślić, że przywoływane w tekście skanery hiperspektralne, przy zastosowaniu dedykowanych statywów z powodzeniem mogą być stosowane, jako urządzenia (systemy) naziemne, wspierając np. analizę obiektów naziemnych, w tym zabytkową architekturę, w rozpoznawaniu i inwentaryzacji zmian powierzchniowych czy detekcji efektów procesów destrukcyjnych. Integrując zatem potencjał skanowania hiperspektralnego ze skanerami rejestrującymi geometrię obiektów zabytkowych, a także z kamerami termalnymi, możemy rozbudować system diagnostyki obiektów zabytkowych, modernizując warsztat naukowo-konserwatorski.

Potencjalne obszary zastosowania skanowania hiperspektralnego należy zatem widzieć przede wszystkim w odniesieniu do dziedzictwa archeologicznego, a także archeologiczno-architektonicznego, zwłaszcza dla terenów otwartych w Polsce. Dla pomiarów testowych (postulowanych wyżej) szczególnie cenne będą obszary rolnicze w Polsce, o małym rozdrobnieniu gruntów rolnych, jak i samych upraw. Druga grupa obiektów dziedzictwa kulturowego, dla której znajduje swoje zastosowanie skanowanie hiperspektralne, to historyczne założenia zieleni (historyczne, ale i współczesne formy zaprojektowanej zieleni), gdzie teledetekcja hiperspektralna umożliwi dodatkowe monitorowanie stanu zachowania obiektów, klasyfikację itp.. W szerszym zakresie, skanowanie hiperspektralne, to możliwość wykonywania analiz i monitorowania współczesnych parków krajobrazowych, rezerwatów oraz wielu innych, przyrodniczych obiektów chronionych, stanowiących unikatowy zasób dóbr kultury i środowiska w Polsce.

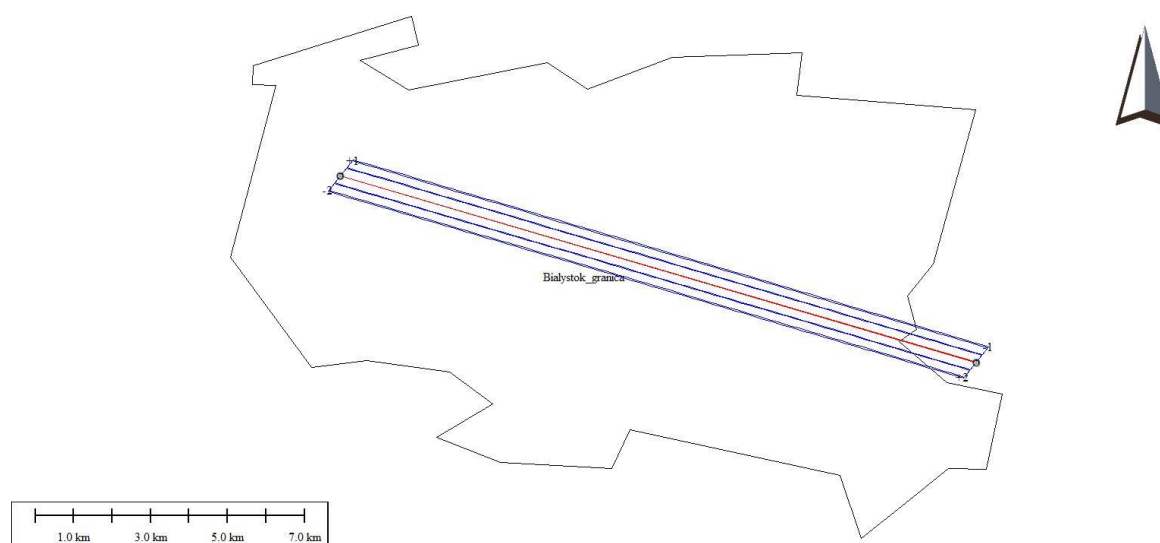
Publikacja w ramach statutowych prac działu R&B MGGP Aero oraz projektu naukowego pt. „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń na wybranych przykładach” realizowanego przez Wydział Nauk Historycznych i Społecznych Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie (Instytut Historii Sztuki).

BIBLIOGRAFIA

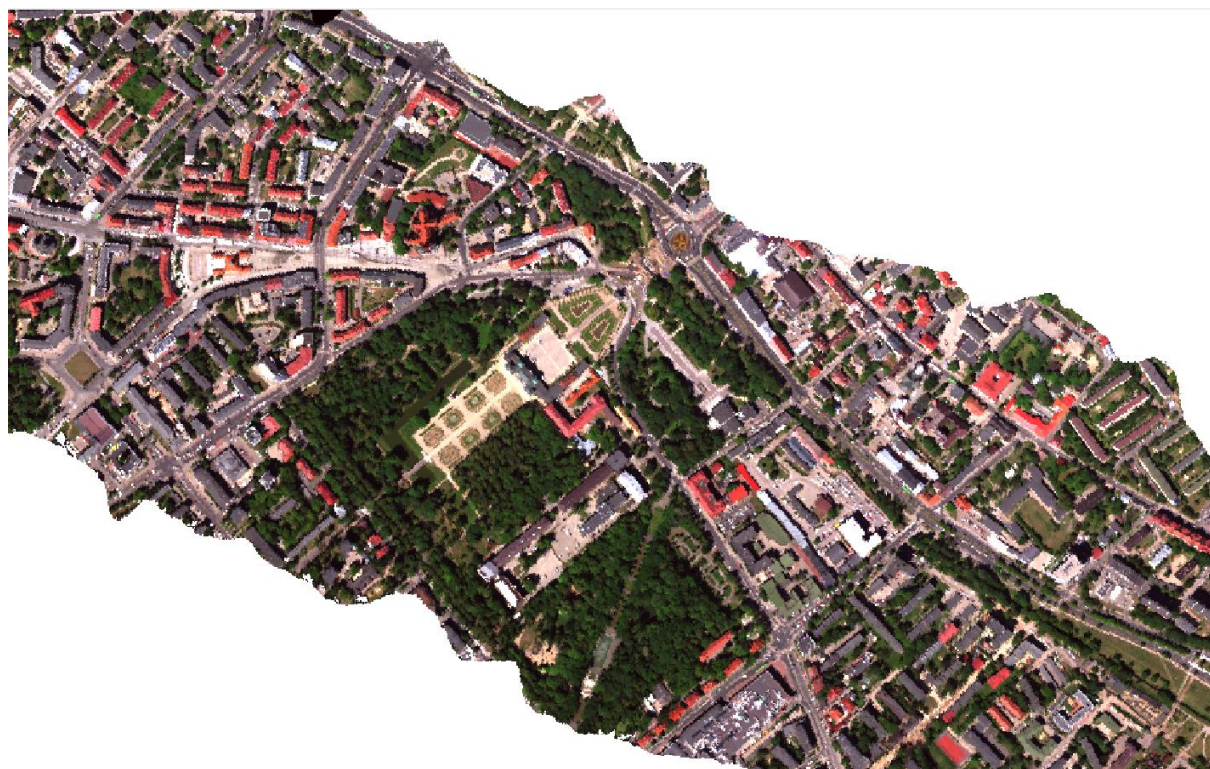
- Aqduş S. A., Drummond J., Hanson W. S., 2008, *Discovering archaeological cropmarks: a hyperspectral approach*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”. vol. XXXVII, Part B5, Beijing, s. 361-366.
- Aqduş S. A., Hanson W.S., Drummond J., 2012, *The potential of hyperspectral and multi-spectral imagery to enhance archaeological cropmark detection: a comparative study*, "Journal of Archaeological Science", 39 (7), s. 1915–1924.
- Bakuła K., Ostrowski W., Zapłata R., 2014, *Automatyzacja w procesie detekcji obiektów archeologicznych z danych ALS*, „Folia Praehistorica Posnaniensia”, t. XIX, s. 463-480.
- Banaszek Ł., 2015, *Przeszłe krajobrazy w chmurze punktów*, Poznań.
- Banaszek Ł., Rączkowski, W., *Potencjał danych ALS w badaniach archeologicznych*, [w:] *Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR*, P. Wężyk (red.), Kraków 2014, s. 192–200; <http://szkolenialidar.gugik.gov.pl/szkolenia/materialy-szkoleniowe/podrecznik/> - [dostęp 15.12.2015]
- Bewley R., Crutchley S., Shell C., 2005, *New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site*, „Antiquity”, t. 79(305), s. 636–647.
- Cavalli R. M., 2013, *Integrated approach for archaeological prospecting exploiting airborne hyperspectral remote sensing*, (w:) *Good Practice in Archaeological Diagnostics. Non-invasive Survey of Complex Archaeological Sites. Natural Science in Archaeology*, (red.) C. Corsi, B. Slapšak, F. Vermeulen, Cham, pp. 87–112.

- Challis K., 2006, *Airborne laser altimetry in alleviated landscapes*, „Archaeological Prospection”, t. 13, s. 103–127.
- Crutchley S., 2009, *Using LiDAR in archaeological contexts: The English heritage experience and lessons learned*, [w:] *Laser scanning for the environmental sciences*, G. Heritage, M. Charlton, A. Large (red.), Chichester 2009, s. 180-200.
- 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”, t. 79(305), s. 648–660.
- Doneus M., Verhoeven G., Atzberger C., Wess M., Ruš M., 2014, *New ways to extract archaeological information from hyperspectral pixels*, „Journal of Archaeological Science”, vol. 52, s. 84-96.
- Emmolo D., Franco V., Lo Brutto M., Orlando P., Villa B., 2004, *Hyperspectral techniques and GIS for archaeological investigation*, (w:) *Proceedings of ISPRS 2004-geo-imagery Bridging Continents. XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey. 12–23 July 2004*, ISPRS, Istanbul - <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/96.pdf> [dostęp 15.12.2015]
- Geotz A. F., H., Vange G., Solomon J. E., Rock B. N., 1985, *Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing*, „Science”, vol. 228, nr 4704, s. 1147-1153.
- Kiarszys G., Szalast G., 2014, *Archeologia w chmurze punktów. Porównanie rezultatów filtracji i klasyfikacji gruntu w projekcie ISOK, z wynikami opracowanymi w oprogramowaniu LAsTools i Terrasolid*, „Folia Praehistorica Posnaniensia”, t. XIX, s. 267-292.
- Marcinkowska-Ochtyr A., Zagajewski B., Ochtyra A., Jarocińska A., Raczko E., Wojtuń B., Przewoźnik L., 2014, *Klasyfikacja roślinności nieleśnej Karkonoszy na podstawie lotniczych zdjęć hiperspektralnych*, (w:) *Konferencja Naukowa z okazji 55-lecia Karkonoskiego Parku Narodowego "25 lat po klęsce ekologicznej w Karkonoszach i Górach Izerskich – obawy a rzeczywistość"*, Jelenia Góra, s. 239-248.
- Opitz R. S., Cowley D. C. (red.), 2013, *Interpreting archaeological topography: airborne laser scanning, 3D data and ground observation, 3D data and ground observation*, Oxford.
- Raczko E., Zagajewski B., Ochtyra A., Marcinkowska-Ochtyra A., Jarocińska A., Dobrowolski M., 2014, *Klasyfikacja gatunków drzewiastych Karkonoskiego Parku Narodowego z użyciem lotniczych danych hiperspektralnych APEX oraz Support Vector Machines*, (w:) *Konferencja Naukowa z okazji 55-lecia Karkonoskiego Parku Narodowego „25 lat po klęsce ekologicznej w Karkonoszach i Górach Izerskich – obawy a rzeczywistość”*, (red.) R. Knapik, Jelenia Góra, s. 263-271.
- Rejestracja lotniczych obrazów hiperspektralnych* - http://geoinformatics.uw.edu.pl/wp-content/uploads/sites/26/2014/03/TS_v43_Rejestracja_lotniczych_obrazow_hiperspektralnych.pdf [dostęp 15.12.2015]
- Van der Meer F.D., de Jong S.M. (red.), 2001, *Imaging spectrometry: basic principles and prospective applications*, Dordrecht.
- Verhoeven G.J.J., Doneus M., Atzberger C., Wess M., Ruš M., Pregesbauer M., Briese C., 2013, *New approaches for archaeological feature extraction of airborne imaging spectroscopy data* *Archaeological Prospection*, (w:) *Proceedings of the 10th International Conference on Archaeological Prospection, Vienna, Austria. May 29th – June 2nd 2013*, Vienna, s. 13–15.
- Wężyk P., Wertz B., Waloszek A., 2003, *Skaner hiperspektralny AISA (Airborne Imaging Spectrometer for Applications) jako narzędzie pozyskiwania informacji o ekosystemie leśnym*, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, 15-17 września 2003 r., vol. 13b, s. 485-496.
- Zagajewski B., 2010, *Ocena przydatności sieci neuronowych i danych hiperspektralnych do klasyfikacji roślinności Tatr Wysokich* - <http://geoinformatics.uw.edu.pl/teledetekcja-srodowiska/#t43> - [dostęp 15.12.2015].
- Zapłata R., 2013, *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa.
- Zapłata R., Ptak A., [w druku], *Dziedzictwo kulturowe w świetle danych ALS. Zasoby ISOK w badaniach rejonu Bobolic: metodyka, analiza i wyniki*, (w:) *Nieinwazyjne rozpoznanie zasobów dziedzictwa archeologicznego: potencjał i możliwości*, (red.) M. Pawleta, R. Zapłata, Lublin, s. 97-138.

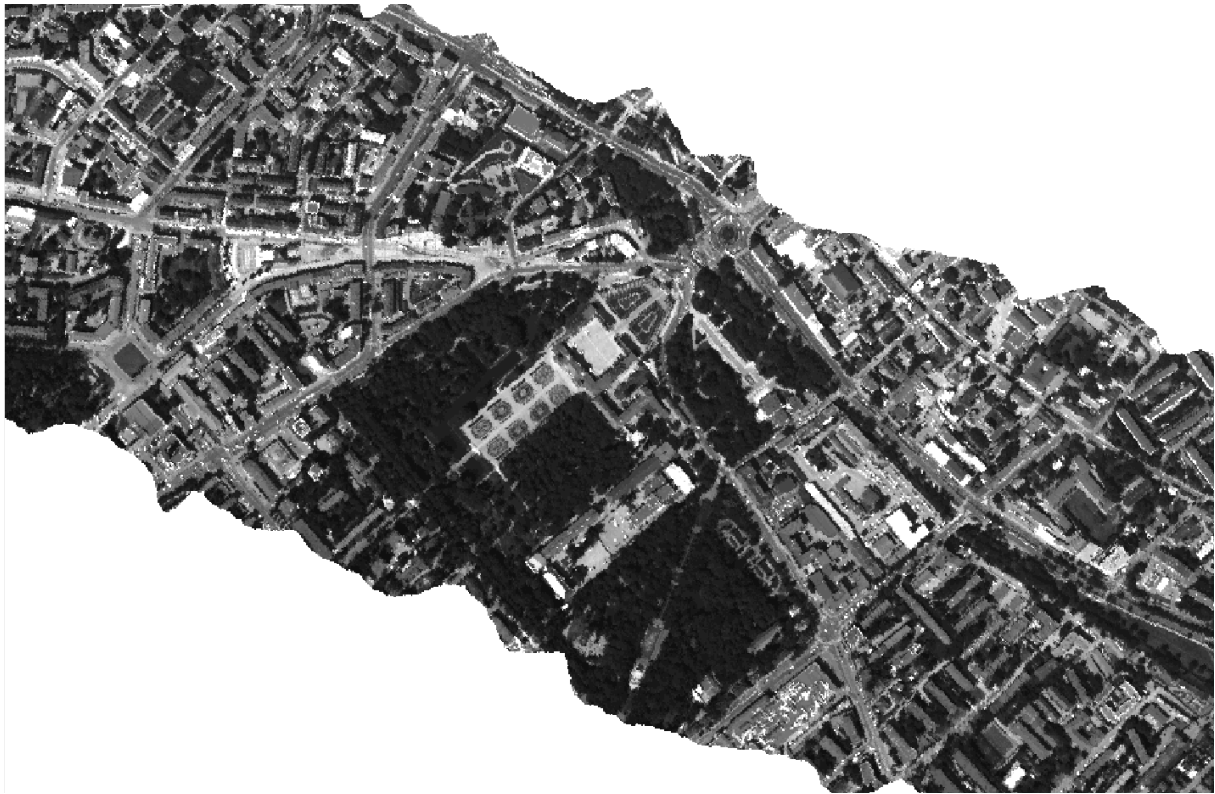
RYCINY



Ryc. 1. Zasięg nalotu hiperspektralnego obejmującego część miasta Białystok, na tle ogólnych granic miasta. Źródło: MGGP Aero. Oprac. J. Niedzielko, R. Zapłata.



Ryc. 2. Ortofotomapa fragmentu miasta Białystok. W części centralnej założenie pałacowo-parkowe Branickich w Białymstoku. Źródło: MGGP Aero.



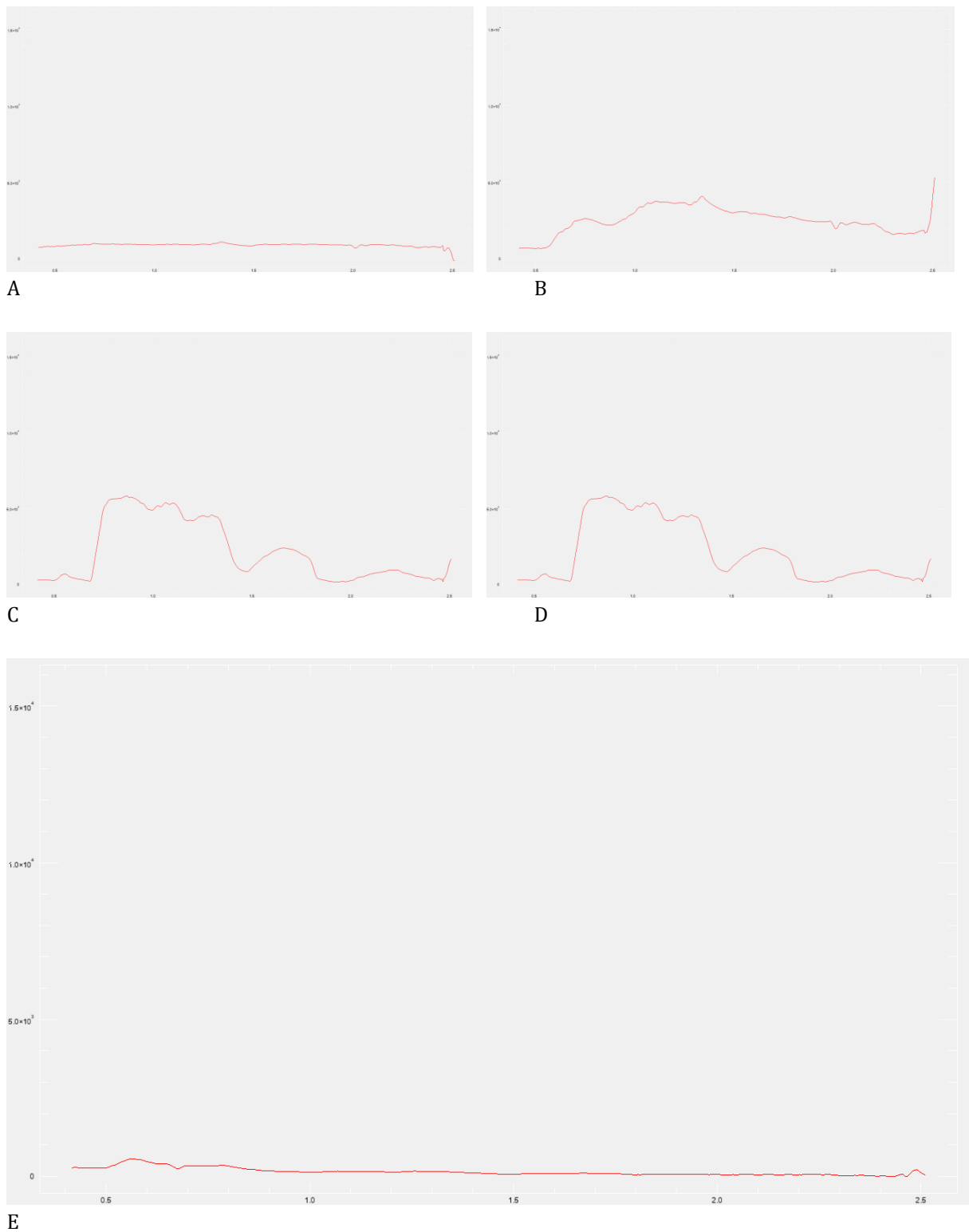
A



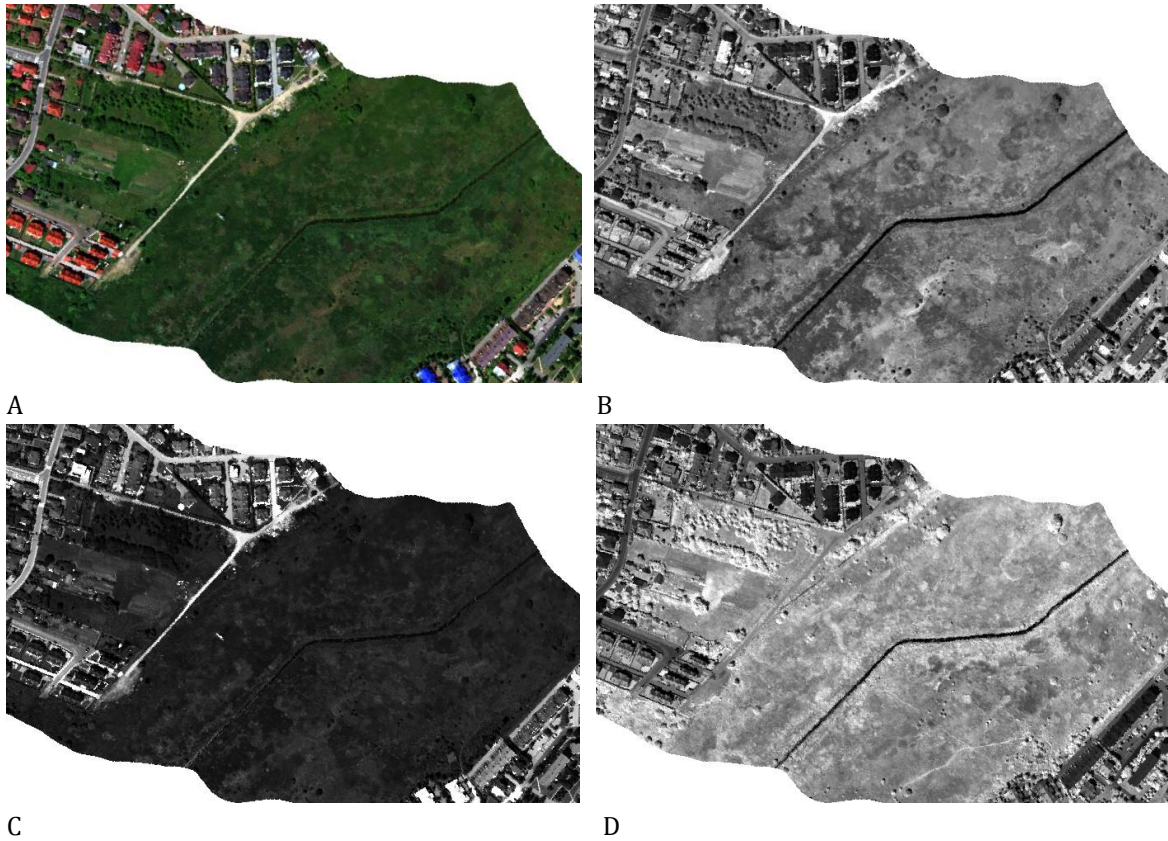
B

Ryc. 3. Przykładowe zróżnicowanie cech spektralnych dla obszaru miejskiego i historycznego założenia parkowego Branickich w Białymstoku. Źródło: MGGP Aero. A – kanał 10 / długość fali 445 nm; B – kanał 121 / długość fali 800 nm. Wyraźne zróżnicowanie drzewostanu parkowego między wizualizacją danych dla różnych długości fal, pozwalające np. na monitorowanie stanu obiektów.

Źródło: MGGP Aero.



Ryc. 4. Przykładowe różnice spektralne – krzywe spektralne dla wybranych powierzchni (obiektów) / oś Y – współczynnik odbicia / oś X – długość fali w mikrometrach (μm): A – asfalt; B – czerwona dachówka; C – drzewo liściaste; D – trawa; E – woda. Źródło: MGGP Aero.



Ryc. 5. Przykładowe obrazy hiperspektralne terenów pokrytych roślinnością (obszar miasta Białystok), ilustrujące zróżnicowanie spektralne powierzchni terenu, które może być spowodowane m.in. występowaniem różnych gatunków roślin czy też zróżnicowaną kondycją roślin, związaną z odmiennym podłożem (potencjalne obiekty archeologiczne). A – ortofotobraz RGB, B – 276 nm; C – 10 nm; D – 121 nm. Źródło: MGGP Aero. Oprac. J. Niedzielko, R. Zapłata.

ROZDZIAŁ V



Dobra kultury i środowiska - nowe możliwości nieinwazyjnej dokumentacji i diagnostyki podczas badań terenowych - *idea terenowego laboratorium*

Cultural property and environmental protection
- new possibilities the non-invasive diagnostic
and documentation during field research -
the idea of field laboratory

Rafał Zapłata*, Emilien Leonhardt**

* Zakład Konserwacji Zabytków i Ochrony Krajobrazu, Instytut Historii Sztuki,
Wydział Nauk Historycznych i Społecznych, Uniwersytet Kardynała Stefana
Wyszyńskiego w Warszawie - rafalzaplata@poczta.onet.pl

** HIROX Europe, <http://www.hirox-europe.com/>
emilien@hirox-europe.com

Słowa klucze: mikroskopia cyfrowa, 3D, dokumentacja i pomiar, dziedzictwo kulturowe, badania *in situ*, system HIROX.

Key words: digital microscopy, 3D, documentation and measurement, heritage, *in situ* research, HIROX system.

Abstrakt: Tekst ma charakter prezentacyjno-przeładowy i stanowi wynik dotychczas przeprowadzonych studiów oraz pomiarów testowych w zakresie zastosowania nowoczesnego, nieinwazyjnego systemu inspekcji, badania i pomiarów obiektów zabytkowych, a także szczątków kostnych. Materiał jest zestawieniem informacji nt. zastosowania cyfrowego systemu mikro- i makroskopowego, ze szczególnym ukierunkowaniem na analizę i dokumentację podczas prac terenowych, zabytków *in situ*. Tekst składa się z kilku zasadniczych części: (1) wprowadzenia, (2) przekrojowej prezentacji cyfrowego, trójwymiarowego mikro- i makroskopowego systemu Hiox Europe, (3) przedstawieniu wybranych przykładów pomiarów z zastosowaniem ww. technologii, wraz z określeniem wstępnej koncepcji *terenowego laboratorium*, z ukierunkowaniem na dziedzictwo kulturowe, badane *in situ* oraz (4) części podsumowującej. Całość stanowi przekrojowe zestawienie przykładów i możliwości stosowania omawianej technologii, z ukierunkowaniem na ochronę dóbr kultury i środowiska w Polsce.

WPROWADZENIE

Współcześnie obserwujemy wyraźny postęp w zakresie różnorodnych systemów pomiarowych, które umożliwiają zintegrowaną dokumentację obrazową i geomatryczną, generując liczne dane do dalszych analiz substancji zabytkowej. Dostrzegalne i dynamiczne stosowanie cyfrowego systemu mikro- i makroskopowego 3D w wielu dyscyplinach potwierdza potencjał, który warto również odnieść do działań związanych z badaniem i ochroną zabytków, podczas prac terenowych. Dotychczas w polskich badaniach przy zabytkach architektonicznych, archeologicznych itd., zwłaszcza badaniach terenowych (*in situ*), nie zaproponowano koncepcji uwzględniającej zastosowanie zaawansowanej mikroskopii 3D, idącej w stronę wypracowania metodyki postępowania badawczego, uwzględniającej omawianą technologię. Warto zatem potraktować poniższy tekst jako przyczynek do dalszej dyskusji nad modernizacją warsztatu badawczego, a także jako element działań wpływających na badania oraz tworzenie dokumentacji, które są przejawem dostrzegania intensywnych zmian w sferze technologicznej. Dobrym i wyrazistym przykładem takiego zjawiska są modyfikowane instrukcje jak np. „Archeologiczne Zdjęcie Polski. Instrukcja sporządzania dokumentacji badań powierzchniowych oraz wypełniania Karty Ewidencyjnej Zabytku Archeologicznego” (Warszawa 2015), które będąc wyrazem działań różnych instytucji, starających się nadążyć za zmianami technologicznymi (NID, NIMOZ), wyznaczają nowe „zalecenia” w zakresie stosowania i przetwarzania danych, pochodzących z pomiarów laserowych.

Innowacyjne technologie wpisują w rzeczywistość coraz to lepsze rozwiązania, poszerzając (oczekiwany) przez specjalistów szeroki wachlarz technik nieinwazyjnych, coraz dokładniejszych, a zarazem coraz bardziej mobilnych. Miniaturyzacja, a zarazem integracja różnych metod, stają się znakiem naszych czasów, tworząc kolejne rozwiązania i narzędzia, które modyfikują, na wielu obszarach naszej aktywności, tradycyjne podejście analizowania i badania dóbr kultury oraz środowiska. Taka sytuacja dotyczy również stosowania mikroskopowych urządzeń optycznych, które poza „obserwacją” (diagnostyką), oferują możliwość pomiaru, zapisu cyfrowego obiektów, a w połączeniu z najnowocześniejszymi rozwiązaniami *software’owymi* tworzą zintegrowany system pomiarowo-diagnostyczny. Zastosowanie mikroskopów w pracach analitycznych, konserwatorskich itd., nie jest niczym nowym. W Polsce, jak i na świecie, istnieje wiele laboratoriów, instytucji i pracowni konserwatorskich, dysponujących wysokiej jakości sprzętem elektroniczno-optycznym, a praktyka konserwatorsko-badawcza na stałe wpisała „mikroskopię” do swych działań (np. skaningowa mikroskopia elektronowa, mikroskopia w świetle przechodzącym / mikroskopia polaryzacyjna)⁸⁸, jak i programów kształcenia⁸⁹. Tym, co jednak wprowadza pewną zmianę, jest m.in. możliwość korzystania z najnowszych urządzeń „poza” tradycyjnym laboratorium.⁹⁰

⁸⁸ Wybrane publikacje: Kamińska J., Szymczak K., 1994, *Patyna powierzchni zabytków krzemienych jako wyznacznik chronologiczny*, „Światowid”, t. 39, s. 215-223; Szykowska M., 2010, *Nowoczesne metody analizy instrumentalnej w badaniu obiektów zabytkowych*, (w:) *Rola nauki w zachowaniu dziedzictwa kulturowego: współpraca między uczelniami wyższymi a muzeami, archiwami i służbami konserwatorskimi na terenie regionu łódzkiego*, (red.) B. Więcek, J. Perkowski, Łódź, s. 81-86; Machnowski W., Perkowski J., Wrzosek H., 2010, *Wybrane metody instrumentalne przydatne w ocenie zachowania oraz ochronie tekstylnych obiektów zabytkowych*, (w:) *Rola nauki w zachowaniu dziedzictwa kulturowego: współpraca między uczelniami wyższymi a muzeami, archiwami i służbami konserwatorskimi na terenie regionu łódzkiego*, (red.) B. Więcek, J. Perkowski, Łódź, s. 45-59; Kuberski S. M., 2010, *Techniki analizy instrumentalnej w badaniach tkanin zabytkowych*, (w:) *Rola nauki w zachowaniu dziedzictwa kulturowego: współpraca między uczelniami wyższymi a muzeami, archiwami i służbami konserwatorskimi na terenie regionu łódzkiego*, (red.) B. Więcek, J. Perkowski, Łódź, s. 101-103; Klimek B., 2012, *Metody badań struktur zabytkowych zapraw budowlanych. Część I - Analiza makroskopowa, mikroskopia w świetle przechodzącym i mikroskopia skaningowa*, „Budownictwo i Architektura”, vol. 11, nr 2, s. 113-120; Koziellec T., Karbowska-Berent J., 2014, *Wykrywanie kleju żywicznego w papierowych podłóżach zabytkowych fotografii oraz ich oprawach*, „Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo”, vol. 45, s. 459-476.

⁸⁹ Np. Szymgin B., Klimek B., 2014, *Nauczanie w zakresie ochrony i konserwacji zabytków na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej (2004-2014)*, (w:) *Nauczanie i popularyzacja ochrony dziedzictwa*, (red.) B. Szymgin, Warszawa, s. 181-189 - <http://bc.pollub.pl/Content/7894/nauczanie.pdf> [dostęp 10.12.2015].

⁹⁰ Czytaj również na temat urządzeń do pomiaru barwy, krzywizn, obrazowania, wideoskopii, termografii itp. *in situ* (lub w miejscu przechowywania zabytków) - np.: Ostrowski R., Skrzeczanowski W., Marczak J., Sarzyński A., 2010, *Spektroskopowe badania warstw malarskich sklepienia Auli Leopoldina*, „Prace Instytutu Elektrotechniki”, z. 245, s. 107-120; Gancarczyk J., Gancarczyk T., 2010, *Nieinwazyjne badania obiektów zabytkowych z wykorzystaniem fotografii w świetle widzialnym, fluorescencji UV i reflektografii IR*, „Pomiary Automatyka Kontrola”, r. 56, nr 3, s. 268-271; Trochimowicz A., 2013, *Pomiary krzywizny powierzchni*

Postęp technologiczny (miniaturyzacja, integracja urządzeń, oprogramowanie działające na urządzeniach przenośnych itd.) oferuje coraz więcej rozwiązań, które tworzą szansę na wykonywanie analiz i pomiarów bezpośrednio przy obiekcie. Tak rysująca się modernizacja warsztatu konserwatorsko-badawczego, wychodząca niejako naprzeciw oczekiwaniom specjalistów, stanowi asumpt do wyrażenia głosu w dyskusji nad swego rodzaju zmianą terenowej metodyki badawczej, która stopniowo dokonuje przeformułowania dotychczasowych praktyk w działalności konserwatorów, historyków sztuki i architektury, archeologów czy specjalistów w zakresie ochrony dóbr kultury i środowiska.

Poniższy tekst ma na celu przybliżenie trójwymiarowego, cyfrowego makro- i mikroskopowego systemu HIROX, wraz z prezentacją przykładowych pomiarów i ukierunkowaniem na prace terenowe. Tytułowe *terenowe laboratorium* jest traktowane jako zarys szerszej koncepcji, która może dokonać redefinicji działań w zakresie analizowania i dokumentowania wielu obiektów zabytkowych, podczas badań terenowych *in situ*. Niczym nowym nie jest idea jak najobszerniejszego i najdokładniejszego analizowania zabytków *in situ*, to raczej dążenie wielu pokoleń badaczy i konserwatorów do wypracowania jak najlepszych rozwiązań w wielu sytuacjach, kiedy konieczność przemieszczania zabytków czy pobieranych próbek⁹¹ (oczywiście w wielu sytuacjach nieunikniona) może naruszyć ich stan, a sama zmiana warunków zalegania może wpłynąć na utratę szeregu danych, np. o kontekście znalezisk. Zatem poniższy test należy postrzegać jako głos w dyskusji nad realizacją i ucieleśnianiem idei modernizacji warsztatu oraz oczekiwań środowiska naukowo-konserwatorskiego.

CYFROWY 3D MIKRO- I MAKROSKOPOWY SYSTEM

Cyfrowe 3D mikro- i makroskopowe niedestrukcyjne systemy HIROX, do inspekcji, badań i pomiarów różnych obiektów, detali, połączeń i powierzchni, znajdują szerokie zastosowanie w dokumentacji i analizie dóbr kultury i środowiska. Atutem tych narzędzi jest precyzyjny pomiar i dokumentacja optyczna, umożliwiające analizę i diagnostykę obiektów nie tylko w warunkach laboratoryjnych. Specyfika omawianych urządzeń i praktyczne rozwiązania pozwalają na prowadzenie licznych prac w terenie – *in situ*, co niewątpliwie zmienia i kieruje na nowe tory metodykę badawczą, w odniesieniu do wielu obiektów zabytkowych. Wyjaśnijmy, że *terenowe laboratorium* należy traktować jako ideę kreślącą możliwość wykorzystania tego typu urządzeń – systemów bezpośrednio przy obiektach *in situ*.

Omawiany system charakteryzuje m.in.: video obserwacja „na żywo”, na ekranie o dużej rozdzielczości Live Full HD; 360°, obrót wokół obiektu przy pomocy (opatentowanej) głowicy obrotowej Hirox'a (unikatowa dla wykrywania np. defektów powierzchni obiektów); pomiary 2D/3D (szerokość, kąt, wysokość, objętość, powierzchnia, chropowatość i inne); profilowanie 3D (profilowanie, pomiar wysokości, objętość, promień); pomiar w osi Z: 50nm; powiększenie od 0,1x do 10.000x na ekranie 21"; łączenie w czasie rzeczywistym obrazów 2D & 3D do 900 milionów pikseli; bardzo duża głębia ostrości; rejestracja obrazów ruchomych - nagrywanie filmów oraz zdjęć w formacie AVI, JPG lub TIF; tworzenie i drukowanie „prostych raportów”; bezdotykowe i nieniszczące próbkowanie: możliwość obserwacji dowolnych obiektów, dowolnych rozmiarów, bezpośrednio na miejscu, przy użyciu dużego statywu do obserwacji obrazów, lub innych dużych obiektów; duża odległość pracy (odległość pomiędzy obiektywem i próbką) dla uniknięcia dotykania próbki / obiektu; specjalny adapter do obserwacji kontaktowej; sprzęt bardzo „mobilny”, łatwy do przenoszenia i pracy w terenie. Dodatkowym rozszerzeniem możliwości mikroskopu cyfrowego jest endoskop, dający możliwość rejestracji trudno dostępnych elementów i wnętrza.⁹²

malowidła skanerem optycznym Atos na przykładzie kopii obrazu Petera Paula Rubensa Znaleźnienie Erichthoniosa ze zbiorów Muzeum Narodowego w Warszawie, "Ochrona Zabytków", nr 1-4, s. 121-126; Greiner-Wronowa E., 2012, Metoda sensorów szklanych i pomiary termowizyjne jako badania uzupełniające do przygotowania konserwacji zachowawczej, "Materiały Ceramiczne / Ceramic Materials", t. 64, nr. 2, s. 252-256; „Karta katalogowa”. Urządzenie do obrazowania korzeni in-situ CI-600/CI-601 - <http://www.merazet.pl/> [dostęp 10.12.2015].

⁹¹ Patrz m.in.: Lityńska-Zajac M., Wasylkowa K., 2005, *Przewodnik do badań archeobotanicznych*, Warszawa; Karbowska-Berent J., 2014, *Metody pobierania próbek do badań organizmów niszczących zabytki*, „Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo”, vol. 45, s. 441-457.

⁹² <http://www.hirox-europe.com/> [dostęp 10.12.2015]

Omawiany system zyskał już spore zainteresowanie w środowiskach naukowo-badawczych, konserwatorskich i muzealnych. Jego potencjał stopniowo jest doceniany, zwłaszcza podczas prac terenowych, które dotychczas charakteryzował szereg ograniczeń, w odniesieniu do wykonywania prac diagnostyczno-pomiarowych (np. konieczność pobierania próbek z obiektu, dostępność powierzchni badanej). Dotychczasowe analizy, próbne pomiary i przeprowadzone przy współpracy z HIROX Europe testy (m.in. na obiektach zabytkowych), wskazują, że obok samej wysokiej jakości pomiarów i pozyskiwanych danych, posiadany potencjał, nie jest ograniczany w warunkach terenowych. To skłania do stworzenia zarysu koncepcji tzw. *terenowego laboratorium*, w odniesieniu do dóbr kultury i środowiska, za którymi należy widzieć m.in. prace badawcze z zakresu działań konserwatorskich i dokumentacyjnych przy zabytkowej architekturze, prace podczas badań archeologicznych (wykopaliskowych) czy w końcu działań związanych z pracami botaników, biologów itd.. Aby zilustrować potencjał systemu oraz płynące z jego zastosowania korzyści, odnieśmy się do kilku sytuacji oraz przykładów, celem porównania działań z zastosowaniem tradycyjnych rozwiązań oraz z zastosowaniem prezentowanego systemu.

BADANIA IN SITU – IDEA TERENOWEGO LABORATORIUM

Wiele prac pomiarowo-diagnostycznych, zwłaszcza tych związanych z działaniami przy zabytkowych obiektach nieruchomych, dość często ma ograniczony charakter, przy wykorzystaniu tradycyjnych narzędzi pomiarowo-diagnostycznych. Dotychczasowe doświadczenia z pogranicza wielu dyscyplin naukowych wyraźnie wskazują na niedosyt w zakresie wykonywania licznych prac i analiz, które zmuszeni jesteśmy przenosić do laboratoriów. Sytuacje zmieniają innowacyjne rozwiązania, do których należy zaliczyć omawiany system.

Przykładem modyfikacji dotychczasowych prac terenowych przy obiektach zabytkowych, jest (może być) włączenie tego typu systemów do badania zabytków architektury – np. pomiaru spękań architektury zabytkowej. Niektóre tradycyjne metody (przede wszystkim dotykowe), określające *in situ* powstawanie („pracowanie”) rys czy pęknięć, takie jak tzw. „szkiełko” (najogólniej szklana szybka, o kształcie wydłużonego prostokąta i grubości mniejszej niż 1 mm, przyklejana po obu stronach rysy), posiadają szereg mankamentów, do których należy zaliczyć przede wszystkim brak precyzji w samym pomiarze, a także brak możliwości obserwacji i rejestracji kierunku zmian, a więc rozwarciu lub zwarciu szczeliny. Inną tradycyjną metodą diagnozowania tego typu zmian strukturalnych i konstrukcyjnych obiektów zabytkowych jest metoda wykonywania tzw. „plomb gipsowych”. Najogólniej idea pomiaru – analizy zachodzących zmian, jest podobna do wyżej omówionej, z tą różnicą, że zamiast szkła stosowany jest inny materiał. Inną metodą analizy zmian strukturalnych przy obiektach może być stosowanie tzw. wskaźników rozwarcia rys. Zaletą tego typu pomiarów jest możliwość uchwycenia i zmierzenia zmian rozwarcia rys w dwóch (prostopadłych) kierunkach. Mankamentem tego typu metody jest często „inwazyjność” – konieczność montażu na obiekcie, co może powodować nieznaczną, ale trwałą zmianę w substancji zabytkowej.⁹³ Alternatywnym, bezdotykowym i nieinwazyjnym rozwiązaniem może być zastosowanie cyfrowego 3D mikro- i makroskopowego systemu, który umożliwia w wybranych (wskazanych) miejscach dokonanie pomiarów w określonych odstępach czasu, a zarazem w różnorodnych warunkach. Dokładność pomiaru, np. przy korelowaniu tych samych punktów pomiarowych, stwarza szansę na dodatkowy sposób diagnozowania stanu obiektów zabytkowych, wraz z trójwymiarową, przestrzenno-obrazową dokumentacją spękań i rys.

Kolejny potencjalny zakres dokumentacyjno-diagnostyczny systemu to analiza biodegradacji, jakie występują na obiektach zabytkowych. Dokładność systemu umożliwia m.in. powierzchniową analizę wybrzuszeń, łuszczeń, wykwitów, a nawet analizę różnego rodzaju zasoleń oraz ich kształtów.⁹⁴

⁹³ Np. wskaźnik rozwarcia rys, tarcze do pomiaru szczelin, rysomierze, szczelinomierze (montowane na stałe lub przenośne) itp. - <http://www.neostrain.pl/index.php> [dostęp 10.12.2015]; <http://www.inzynier.wroclaw.pl/html/rysomierz.html> [dostęp 10.12.2015].

⁹⁴ Przykładowe prezentacje / publikacje związane z pomiarami za pośrednictwem systemu Hirox Europe: Štukovnik P., Žarnić R., Bokan Bosiljkov V., 2012, *Portable 3D optical microscope as a tool for identification of climate change influence on heritage age assets*, [prezentacja konferencyjna] - <http://eu-chic.eu/images/uploads/EU-CHIC%20SPLIT%20BOKAN%20BOSILJKOV.pdf>

Powiązany zagadnieniem z ww., jest analiza i diagnostyka zabytkowej architektury drewnianej. Interesujące wydają się być m.in. analizowanie i monitorowanie obiektów – zmian, jakie zachodzą podczas występowania różnych warunków zewnętrznych, czy też tych panujących wewnątrz obiektów.⁹⁵ Przykładem mogą być budynki znajdujące się w skansenach, w których często dokonują się np. zmiany temperatury, w wyniku stosowania różnorodnych systemów grzewczych. Natomiast monitorowanie zmian zachodzących w partiach zewnętrznych (w pewnym zakresie), w związku np. ze zmianami pogodowymi (zmienna temperatura, wilgotność itd.), jest możliwe dzięki wykonywaniu bezpośrednich pomiarów *in situ*, celem określania zmian submilimetrycznych (geometrii) w/na powierzchni substancji zabytkowej. Zastosowanie tego typu urządzeń daje również możliwość punktowego (a przy mniejszych obiektach całościowego) analizowania i wykonywania dokumentacji powykonawczej, związanej np. z wcześniej przeprowadzonymi pracami konserwującymi zabytek (np. analiza szczelności czy grubości pokrycia substancją konserwującą).

Omawiany system stanowi również dobre rozwiązanie dla prac konserwatorskich, a przede wszystkim dla poprzedzającej tego typu prace dokumentacji i diagnostyki stanu zachowania obiektów zabytkowych przechowywanych w muzeach, dóbr kultury współczesnej⁹⁶. Niejednokrotna konieczność przemieszczania obiektów stwarza realne zagrożenie dla nich samych, przysparzając wiele trudności z transportem do tradycyjnych laboratoriów itp.. Mobilność omawianego systemu sprawia, że tego typu pomiary odbywają się bezpośrednio przy obiektach, w miejscach ich przechowywania. Dodatkowo warto podkreślić, że ruchoma głowica, a także możliwość konstruowania odpowiednich stelaży, statywów itp. czynią procedurę diagnostyczno-pomiarową elastyczniejszą i bardziej mobilną.⁹⁷ Dokładna, przestrzenna rejestracja powierzchni dzieł sztuki, zwłaszcza obrazów, wpisuje omawianą technologię do grona współczesnych technik (takich jak np. skanowanie strukturalne), które mogą służyć diagnostyce konserwatorskiej, monitorowaniu zmian obiektów (np. odkształceń, spękań), analizowaniu technik malarskich, a także (po uprzednim wykonaniu repliki cyfrowej obiektu) sprawdzaniu fałszerstw dzieł sztuki.

Analiza dóbr środowiska, zwłaszcza ta obejmująca pozyskiwanie w terenie próbek do dalszych badań, jest wielokrotnie obciążona koniecznością niekorzystnego transportowania, przechowywania oraz zabezpieczania materiałów. Poza tym szereg obiektów może być analizowanych jedynie poprzez pobranie wycinka – próby, a więc poprzez działania inwazyjne. Przykład stanowią drzewa i tym podobne obiekty, których diagnostyka, przy zastosowaniu omawianych systemów, może ulec diametralnej zmianie.

Kolejnym przykładem możliwości tworzenia tzw. terenowego laboratorium, jest zastosowanie omawianego systemu podczas badań archeologicznych. Odkrywane jednostki stratygrafii, zabytki nieruchome i ruchome wielokrotnie, z uwagi na specyficzne środowisko zalegania, muszą być w odpowiedni sposób zabezpieczane, a zmiany nawet podczas odkrywania, a następnie pakowania, są zmianami związanymi z warunkami przechowywania substancji zabytkowej. Bez wątplenia podczas eksploracji, a dalej zmiany warunków dotychczasowego zalegania, dochodzi często do drobnych zmian w strukturze wielu zabytków, ze względu na czasową zmianę temperatury, wilgoci itd. Wiele z obiektów pozyskiwanych podczas badań wykopaliskowych charakteryzuje również zły stan zachowania, który uniemożliwia ich przemieszczanie w takim układzie (przestrzennym), w jakim zostały odkryte. Szczególnie jest to znaczące w rozpoznawaniu zmian powierzchniowych, powstałych w wyniku procesów depozycyjnych i podepozycyjnych. Brak możliwości dokładnej rejestracji i pomiaru np. rozdrobnienia zabytków czy szczątków kost-

[dostęp 10.12.2015]

⁹⁵ Zapłata R., 2015, *Pomiar, inwentaryzacja i diagnostyka drewnianej architektury wernakularnej - wybrane zagadnienia zastosowania skanowania laserowego*, „Budownictwo i Architektura”, vol. 14 (4), s. 165-181.

⁹⁶ Wolbers R., Norbutus A., Lagalante A., 2013, *Cleaning of Acrylic Emulsion Paints: preliminary Extractive Studies with Two Commercial Paint Systems*, (w:) *New Insights into the Cleaning of Paintings. proceedings from the Vcleaning 2010 International Conference Universidad Politécnica de Valencia and Museum Conservation Institute*, (red.) M. F. Mecklenburg, A. E. Charola, R. J. Koestler, Washington, s. 147-157.

⁹⁷ Przykładowe zastosowania systemu: Van den Berg K. J., Daudin M., Joosten I., Wei B., Morrison R., Burnstock A., 2008, *A comparison of light microscopy techniques with scanning electron microscopy for imaging the surface cleaning of paintings*, (w:) *Proceedings of Art 2008—9th International Conference on NDT of Art, 25-30 May. Israel: Jerusalem*, s. 1-11 - <http://212.8.206.21/article/art2008/papers/033VandenBerg.pdf> [dostęp 10.12.2015]

nych, powoduje (w pewnym sensie) jednoczesny brak możliwości analizy zachodzących procesów. Również w odniesieniu do jednostek stratyfikacji, sytuacja jest dość jednoznaczna. Wszelkiego rodzaju działania podczas badań terenowych *in situ*, mają za zadanie rozpoznawać ww. jednostki, celem ich opisu, ale i wydzielenia. Barwa, spoistość itd. są określane na bieżąco, a także podczas prac gabinetowych. Niestety drugie rozwiązanie, o ile znacznie dokładniejsze, odbywa się zazwyczaj poza miejscem prowadzonych prac. Dodajmy, że podczas prac terenowych, oczekiwanym i wskazanym jest dokonywanie analizy jednostek na bieżąco podczas prac badawczych, co związane jest ze sposobem eksploatacji – metodą stratygraficzną⁹⁸. Te i wiele innych sytuacji mogą być zmodyfikowane poprzez zastosowanie terenowych systemów diagnostyczno-pomiarowych, gwarantujących wysoką jakość analityczno-dokumentacyjną, przy jednoczesnym podejściu zmieniającym w pewnym stopniu metodykę badawczą. Powyższą koncepcję ilustruje przykład pomiaru i dokumentowania zabytków archeologicznych, który jest możliwy do wykonania, bezpośrednio w terenie. Wymownym przykładem tego typu zastosowań omawianych urządzeń w praktyce terenowej są m.in. studia nad sztuką naskalną na stanowiskach we Francji, Portugalii czy Rosji.⁹⁹

Oddzielnym zagadnieniem, które bezpośrednio należy wiązać z badaniami archeologicznymi i szczątkami kostnymi, w tym ludzkimi, jest potencjał analityczny omawianego systemu¹⁰⁰, który jest przedmiotem dokładniejszego i odrębnego omówienia (np. Tomczyk 2015 – poster)¹⁰¹. Dodajmy jedynie, że częsta sytuacja z silnie rozdrobnioną substancją kostną i spękania, które podczas przemieszczania mogą ulec zmianie, ukazują konieczność dokonywania już na etapie eksploracji rejestracji powstałych zmian w skali mikro. Brak dokładnej dokumentacji i podejmowanie silnie zdegradowanego materiału kostnego, doprowadzają do utraty szeregu informacji na temat procesów podepozycyjnych, jak i samych szczątków kostnych.

Potencjał systemu to również szereg możliwości diagnostyczno-dokumentacyjnych innych zasobów kulturowych archiwalnych map, zdjęć czy papieru. Postępujące procesy niszczenia, o charakterze fizykochemicznym czy mechanicznym, a także działalność mikroorganizmów (czynniki biologiczne), pozostawiają różnorodne ubytki i zmiany¹⁰², które przy zastosowaniu omawianego systemu możemy dokumentować i identyfikować, również w formie przestrzennego pomiaru i wizualizacji, dokonując tym samym diagnozy obiektów archiwalnych (zabytkowych).

Inna grupą obiektów zabytkowych, która stanowi specyficzny rodzaj materii, są różnego rodzaju wyroby włókiennicze m.in. elementy wystroju wnętrz, pokrycia mebli, dywany, pokrycia ścian, gobeliny, ubiory, chorągwie czy też szaty liturgiczne. W tym miejscu warto również wymienić zabytki wykonane z innych naturalnych surowców, jak np. skóry, których stan zachowania, jak i „nietrwałość”, skłaniają do stosowania jak najmniej inwazyjnych i bezdotykowych procedur diagnostyczno-dokumentacyjnych. Poddawanie tego typu obiektów wstępnej analizie i diagnostyce, z uwagi na charakter samych tekstyliów, jak i ich stan zachowania, wymaga szczególnych zabiegów i działań w tym temacie. Skład chemiczny, a przede wszystkim budowa morfologiczna włókien naturalnych, to zasadnicza przyczyna niewielkiej odporności na działanie czynników środowiskowych, a także czynników mechanicznych. Zatem nie bez powodu arsenał konserwatorski (przy identyfikacji włókien tworzących tekstylia zabytkowe, a także przy ocenie stop-

⁹⁸ Gołembnik A., 1998, *Zasady eksploracji i dokumentacji wielowarstwowych stanowisk archeologicznych w miastach*, (w:) *Ewidencja, eksploracja i dokumentacja w praktyce konserwatorstwa archeologicznego*, (red.) Z. Kobyliński, seria „Zeszyty generalnego konserwatora zabytków”, Zeszyt I „Archeologia”, Warszawa, s. 73-104.

⁹⁹ Plissona H., , Zotkinab L. V., 2015, *From 2D to 3D at macro- and microscopic scale in rock art studies*, „Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage”, vol. 2 (2-3), s. 102-119.

¹⁰⁰ Boschin F., Crezzini J., 2011, *Morphometrical Analysis on Cut Marks Using a 3D Digital Microscope*, „International Journal of Osteoarchaeology”, vol. 22 (5), s. 549-562.

¹⁰¹ Tomczyk J., 2015, *Application of new technique in anthropology* - prezentacja posterowa / konferencja "Cyfryzacja w naukach przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń", Warszawa 25.11.2015 r. [archiwum UKSW].

¹⁰² Sobucki W., 2008, *Problematyka ochrony zbiorów z XIX i XX w. o podłożu z papieru*, "Ochrona Zabytków", 3 (242), s. 65-74; Wojciechowski P., 2014, *Ochrona i konserwacja zasobu w Archiwach Państwowych w Polsce*, Poznań (praca doktorska) - <https://repozytorium.amu.edu.pl/jspui/bitstream/10593/12378/1/P.Wojciechowski%20-%20OCHRONA%20I%20KONSERWACJA%20ZASOBU%20W%20ARCHIWACH%20PA%20C5%83STWOWYCH%20W%20POLSCE.pdf> [dostęp 10.12.2015]

nia ich uszkodzenia) tworzy np. spektroskopia absorpcyjna w podczerwieni (FTIR), skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) czy w końcu, wymieniana w literaturze przedmiotu, mikroskopia optyczna.¹⁰³ I ta ostatnia, w formie omawianego systemu, wprowadza w poczet technik diagnostycznych możliwości, które pozwalają na analizę widoków włókien, ich kształtu przekroju poprzecznego, a także pomiaru, łącznie dokumentując obiekt w formie obrazowo-przestrzennej. System szczególnie przydatny jest podczas prac związanych z „odkrywaniem” i pozyskiwaniem wyrobów włókienniczych, gdzie przy zastosowaniu ruchomych adapterów (głowic), istnieje możliwość (np. podczas prac wykopaliskowych czy badania pochówków), analizowania stanu zachowania np. włókien, celem odpowiedniego ich podjęcia z miejsca, w którym zostały pierwotnie zdeponowane.

PODSUMOWANIE

Podsumowując, należy podkreślić, że przedstawione w tekście przykłady wielowymiarowego stosowania cyfrowego, trójwymiarowego systemu mikro- i makroskopowego, warto postrzegać jako kolejną formę digitalizacji dóbr kultury i środowiska. Dziedzictwo kulturowe, w oparciu o ww. metodę, zyskuje swoje repliki cyfrowe, co dodatkowo poszerza zakres zastosowania technologii.

Zagadnieniem, przedstawionym przekrojowo w powyższym tekście, jest potencjał związany z analizą i przetwarzaniem samych danych przestrzenno-obrazowych, które dodatkowo potwierdzają użyteczność tego typu systemów w pracach diagnostycznych, dokumentacyjnych i pomiarowych. Przykładem, w odniesieniu do badania i ochrony zabytków są np. analizy morfometryczne, modelowanie i symulowanie potencjalnych uzupełnień ubytków, obliczanie powierzchni zniszczonych, tworzenie przekrojów ubytków, jak i całych obiektów. Powstający zasób danych to również podstawa do tzw. wirtualnej konserwacji oraz wirtualnej rekonstrukcji (odtworzenia) brakujących fragmentów, bez konieczności ingerowania w samą substancję zabytkową. Obszerny zakres analiz dokumentowanych optycznie obiektów, bez wątplenia obecnie wyznacza nową jakość prac diagnostyczno-dokumentacyjnych i analitycznych przy zabytkach.

Należy też podkreślić szeroki wachlarz zastosowań dla zaprezentowanego systemu, zwłaszcza w odniesieniu do warunków terenowych różnych dyscyplin i działań związanych z badaniami i dokumentacją zabytków. Przekrojowa analiza potrzeb i zastosowanych narzędzi, wskazuje wyraźnie, że uwzględniając ww. system, w wielu sytuacjach stajemy przed szansą modyfikacji wykonywania pomiarów, dokumentowania obiektów, a zarazem modernizacji dotychczasowej metodyki badawczej (terenowej). System, co zostało jedynie zasygnalizowane w kontekście dokumentacji powykonawczej, z powodzeniem nadaje się do analizy i oceny działań rekonstrukcyjnych przy zabytkach, czy prac zabezpieczających. Dodatkowo, w dobie prezentacji multimedialnych, dokładna rejestracja powierzchni zabytkowych, stwarza szansę na prezentację obiektów w znacznych powiększeniach, z odtwarzaniem geometrii obiektów, jak i zmian powstałych w wyniku procesów destrukcyjnych, co niewątpliwie posiada dodatkowy walor – promocyjno-poznawczy.

¹⁰³ Machnowski W., Perkowski J., Wrzosek H., *Wybrane metody instrumentalne przydatne w ocenie stanu zachowania oraz ochronie tekstylnych obiektów zabytkowych*, (w:) *Rola nauki w zachowaniu dziedzictwa kulturowego, Konferencja zorganizowana w ramach obchodów 90. rocznicy powstania Diecezji Łódzkiej, Łódź, XI. 2010*, s. 45-59 - <http://thermo.p.lodz.pl/kultura/referaty/3.pdf> [dostęp 10.12.2015]

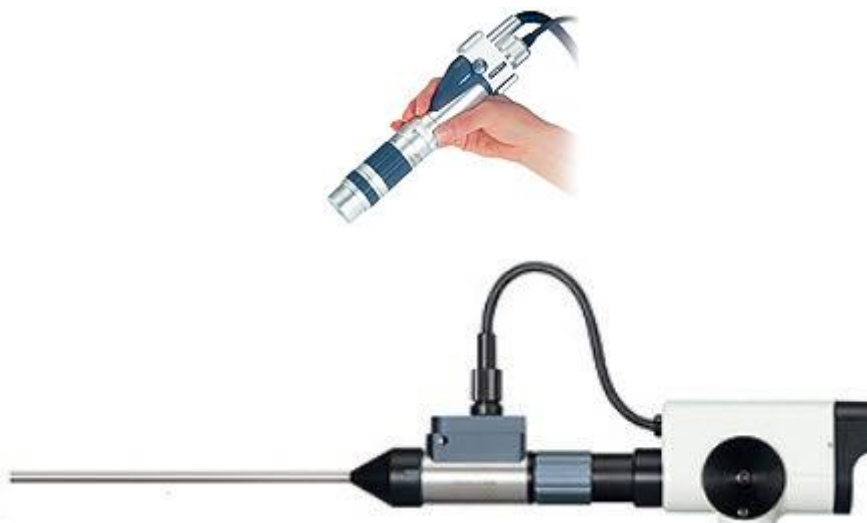
BIBLIOGRAFIA

- Archeologiczne Zdjęcie Polski. Instrukcja sporządzania dokumentacji badań powierzchniowych oraz wypełniania Karty Ewidencyjnej Zabytku Archeologicznego*, 2015, Warszawa - <http://www.nid.pl/> [dostęp 10.12.2015].
- Boon J. J., Leonardt E., Townsend J., Carlyle L., 2008, *The Paints and Surface Condition of Rothko's Seagram Paintings at Tate: a Collaborative Study of Tate and MOLART Centre* (dokument w wersji elektronicznej - archiwum HIROX EUROPE).
- Boschin F., Crezzini J., 2011, *Morphometrical Analysis on Cut Marks Using a 3D Digital Microscope*, "International Journal of Osteoarchaeology", vol. 22 (5), s. 549-562.
- Gancarczyk J., Gancarczyk T., 2010, *Nieinwazyjne badania obiektów zabytkowych z wykorzystaniem fotografii w świetle widzialnym, fluorosceencji UV i reflektografii IR*, "Pomiary Automatyka Kontrola", r. 56, nr 3, s. 268-271.
- Gołębniak A., 1998, *Zasady eksploracji i dokumentacji wielowarstwowych stanowisk archeologicznych w miastach*, (w:) *Ewidencja, eksploracja i dokumentacja w praktyce konserwatorstwa archeologicznego*, (red.) Z. Kobyliński, seria „Zeszyty generalnego konserwatora zabytków”, Zeszyt I „Archeologia”, Warszawa, s. 73-104.
- Greiner-Wronowa E., 2012, *Metoda sensorów szklanych i pomiary termowizyjne jako badania uzupełniające do przygotowania konserwacji zachowawczej*, "Materiały Ceramiczne / Ceramic Materials", t. 64, nr 2, s. 252-256.
- Kamińska J., Szymczak K., 1994, *Patyna powierzchni zabytków krzemienych jako wyznacznik chronologiczny*, „Światowid”, t. 39, s. 215-223.
- Karbowska-Berent J., 2014, *Metody pobierania próbek do badań organizmów niszczących zabytki*, „Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo”, vol. 45, s. 441-457.
- „Karta katalogowa”. *Urządzenie do obrazowania korzeni in-situ CI-600/CI-601* - <http://www.merazet.pl/> [dostęp 10.12.2015].
- Klimek B., 2012, *Metody badań struktur zabytkowych zapraw budowlanych. Część I - Analiza makroskopowa, mikroskopia w świetle przechodzącym i mikroskopia skaningowa*, „Budownictwo i Architektura”, vol. 11, nr 2, s. 113-120.
- Kozielec T., Karbowska-Berent J., 2014, *Wykrywanie kleju żywicznego w papierowych podłożach zabytkowych fotografii oraz ich oprawach*, „Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo”, vol. 45, s. 459-476.
- Kuberski S. M., 2010, *Techniki analizy instrumentalnej w badaniach tkanin zabytkowych*, (w:) *Rola nauki w zachowaniu dziedzictwa kulturowego: współpraca między uczelniami wyższymi a muzeami, archiwami i służbami konserwatorskimi na terenie regionu łódzkiego*, (red.) B. Więcek, J. Perkowski, Łódź, s. 101-103.
- Lityńska-Zajac M., Wasylkowa K., 2005, *Przewodnik do badań archeobotanicznych*, Warszawa.
- Machnowski W., Perkowski J., Wrzosek H., *Wybrane metody instrumentalne przydatne w ocenie stanu zachowania oraz ochronie tekstylnych obiektów zabytkowych*, (w:) *Rola nauki w zachowaniu dziedzictwa kulturowego, Konferencja zorganizowana w ramach obchodów 90. rocznicy powstania Diecezji Łódzkiej, Łódź, XI. 2010*, s. 45-59 - <http://thermo.p.lodz.pl/kultura/referaty/3.pdf> [dostęp 10.12.2015].
- Ostrowski R., Skrzeczanowski W., Marczak J., Sarzyński A., 2010, *Spektroskopowe badania warstw malarzkich sklepienia Auli Leopoldina*, "Prace Instytutu Elektrotechniki", z. 245, s. 107-120.
- Plissona H., Zotkinab L. V., 2015, *From 2D to 3D at macro- and microscopic scale in rock art studies*, „Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage”, vol. 2 (2-3), s. 102-119.
- Sarzyński A., Chmielewska D., Marczak J., Olszyna A., Strzelec M., Gebel R., 2014, *Utrwalanie warstw barwnych na podłożach szklanych za pomocą promieniowania laserowego*, „Prace Instytutu Elektrotechniki”, z. 266, s. 127-144.
- Sobucki W., 2008, *Problematyka ochrony zbiorów z XIX i XX w. o podłożu z papieru*, "Ochrona Zabytków", 3 (242), s. 65-74.

- Szmygin B., Klimek B., 2014, *Nauczanie w zakresie ochrony i konserwacji zabytków na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej (2004-2014)*, (w:) *Nauczanie i popularyzacja ochrony dziedzictwa*, (red.) B. Szmygin, Warszawa, s. 181-189 - <http://bc.pollub.pl/Content/7894/nauczanie.pdf> [dostęp 10.12.2015]
- Szynkowska M., 2010, *Nowoczesne metody analizy instrumentalnej w badaniu obiektów zabytkowych*, (w:) *Rola nauki w zachowaniu dziedzictwa kulturowego: współpraca między uczelniami wyższymi a muzeami, archiwami i służbami konserwatorskimi na terenie regionu łódzkiego*, (red.) B. Więcek, J. Perkowski, Łódź, s. 81-86.
- Štukovnik P., Žarnić R., Bokan Bosiljkov V., 2012, *Portable 3D optical microscope as a tool for identification of climate change influence on heritage age assets*, [prezentacja konferencyjna] - <http://eu-chic.eu/images/uploads/EU-CHIC%20SPLIT%20BOKAN%20BOSILJKOV.pdf> [dostęp 10.12.2015].
- Tomczyk J., 2015, *Application of new technique in anthropology* - prezentacja posterowa / konferencja "Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń", Warszawa 25.11.2015 r. [archiwum UKSW].
- Trochimowicz A., 2013, *Pomiary krzywizny powierzchni malowidła skanerem optycznym Atos na przykładzie kopii obrazu Petera Paula Rubensa Znaleźnienie Erichthoniosa ze zbiorów Muzeum Narodowego w Warszawie*, "Ochrona Zabytków", nr 1-4, s. 121-126.
- Wojciechowski P., 2014, *Ochrona i konserwacja zasobu w Archiwach Państwowych w Polsce*, Poznań (praca doktorska) - <https://repozytorium.amu.edu.pl/jspui/bitstream/10593/12378/1/PWojciechowski%20-%20OCHRONA%20I%20KONSERWACJA%20ZASOBU%20W%20ARCHIWACH%20PA%20C5%83STW%20WYCH%20W%20POLSCE.pdf> [dostęp 10.12.2015].
- Van den Berg K. J., Daudin M., Joosten I., Wei B., Morrison R., Burnstock A., 2008, *A comparison of light microscopy techniques with scanning electron microscopy for imaging the surface cleaning of paintings*, (w:) *Proceedings of Art 2008—9th International Conference on NDT of Art, 25-30 May. Israel: Jerusalem*, s. 1-11 - <http://212.8.206.21/article/art2008/papers/033VandenBerg.pdf> [dostęp 10.12.2015].
- Więcek B., Perkowski J. (red.), 2010, *Rola nauki w zachowaniu dziedzictwa kulturowego: współpraca między uczelniami wyższymi a muzeami, archiwami i służbami konserwatorskimi na terenie regionu łódzkiego*, Łódź - <http://thermo.p.lodz.pl/kultura/> [dostęp 10.12.2015].
- Wolbers R., Norbutus A., Lagalante A., 2013, *Cleaning of Acrylic Emulsion Paints: preliminary Extractive Studies with Two Commercial Paint Systems*, (w:) *New Insights into the Cleaning of Paintings. proceedings from the Vcleaning 2010 International Conference Universidad Politécnic de Valencia and Museum Conservation Institute*, (red.) M. F. Mecklenburg, A. E. Charola, R. J. Koestler, Washington, s. 147-157.
- Zapłata R., Leonhardt E., 2015, *Dobra kultury i środowiska - nowe możliwości w dokumentacji i diagnostyce podczas badań terenowych - mobilne laboratorium* - poster prezentowany podczas „III Targów Konserwacji i Restauracji Zabytków oraz Ochrony, Wyposażenia Archiwów, Muzeów i Bibliotek DZIEDZICTWO”, Warszawa 5-7.10.2015 r. (archiwum UKSW).
- Zapłata R., 2015, *Pomiar, inwentaryzacja i diagnostyka drewnianej architektury wernakularnej - wybrane zagadnienia zastosowania skanowania laserowego*, „Budownictwo i Architektura”, vol. 14 (4), s. 165-181.



Ryc. 1. KH-8700 cyfrowy mikroskop ze statywem i obiektywem. Źródło: Hirox Europe - <http://www.hirox-europe.com/> [dostęp 15.12.2015].



Ryc. 2. Głowica / adapter do obserwacji kontaktowej oraz endoskop. Źródło: Hirox - <http://www.hirox-europe.com/> [dostęp 15.12.2015].

¹⁰⁴ Dodatkowy materiał ilustracyjny dla systemu HIROX - patrz również „Aneks”.



Ryc. 3. Przykładowa wizualizacja z pomiaru obiektu drewnianego, wykonana za pomocą ruchomej głowicy. Źródło: UKSW/Hirox.



Ryc. 4. Przykład prac terenowych. Źródło: HIROX Europe / BBC film dokumentalny.



Ryc. 5. Przykładowy pomiar z wykorzystaniem statywu podtrzymującego głowicę mikroskopu.
Źródło: Hirox Europe.



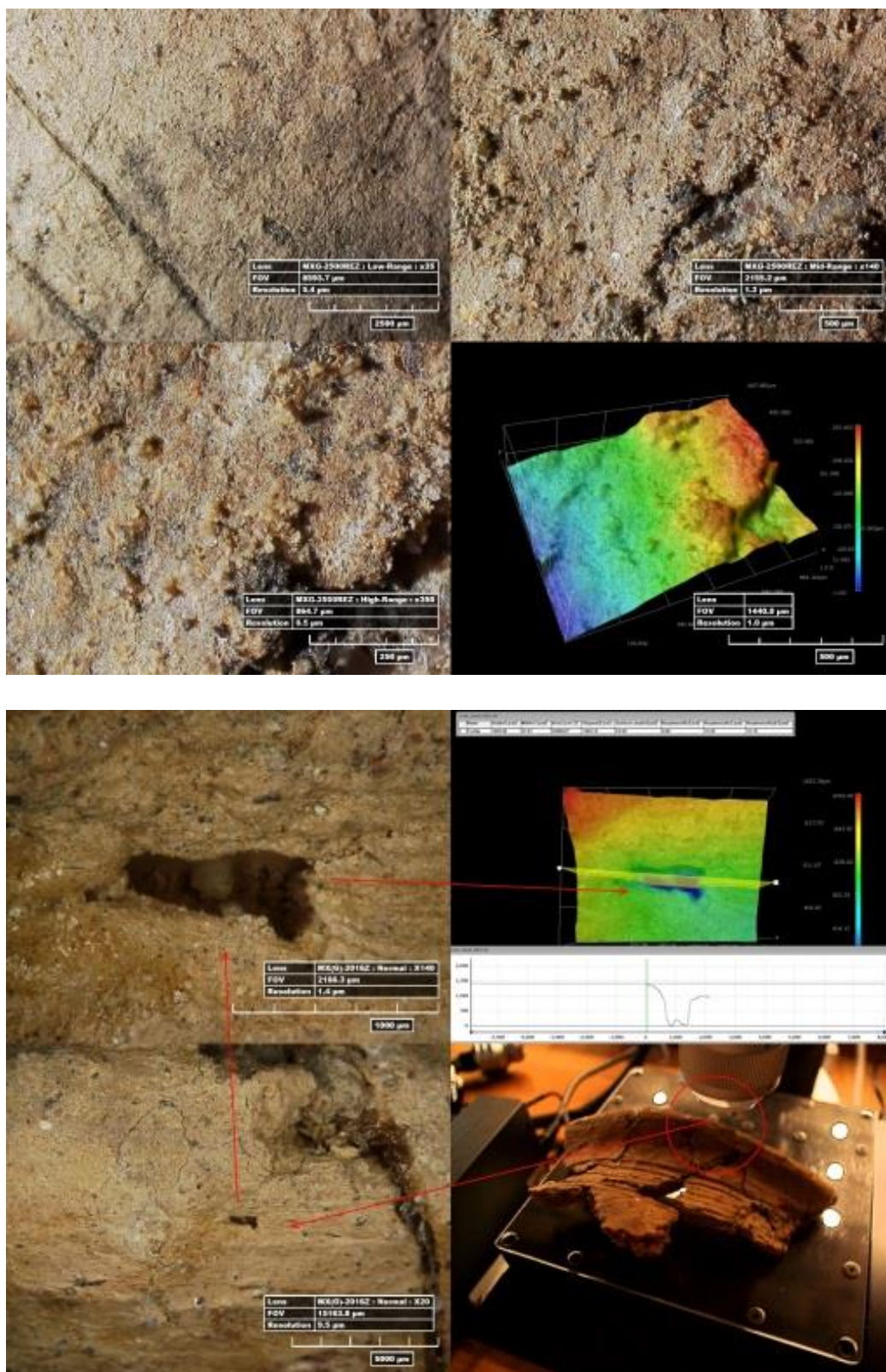
Ryc. 6. Przykład obserwacji obiektów przyrodniczych. Źródło: Hirox Europe.



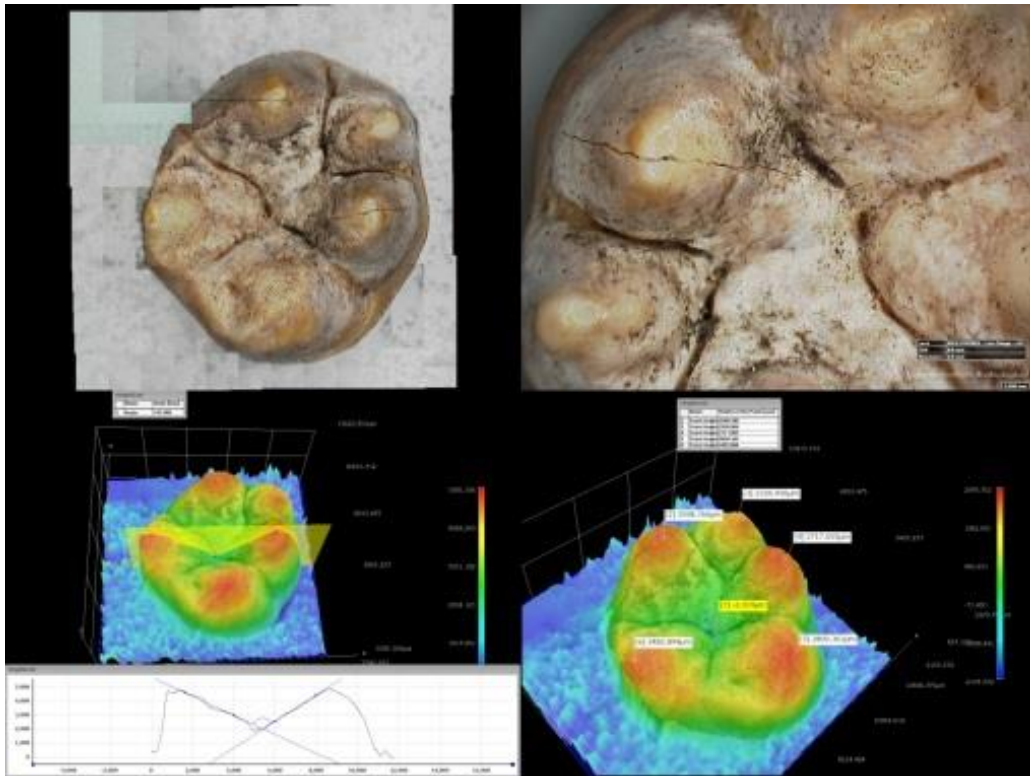
Fot. 7. Przykład pomiarów obiektów przyrodniczych w terenie leśnym. Źródło: Hirox Europe.



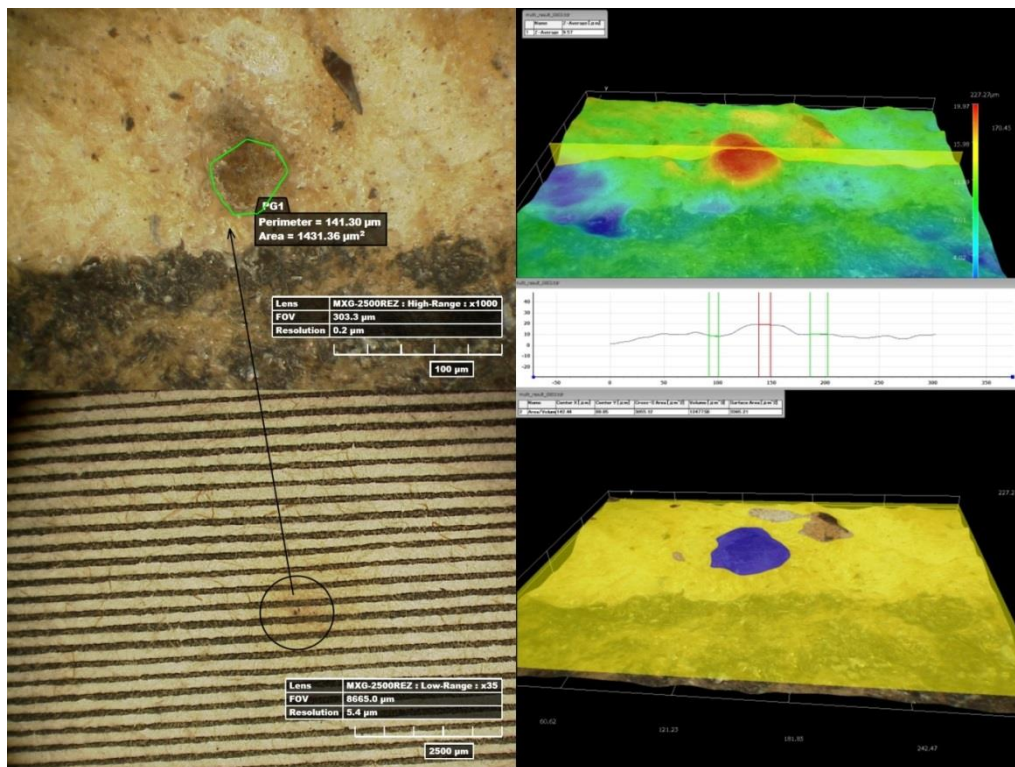
Fot. 8. Przykład pomiarów obiektów przyrodniczych. Źródło: HIROX Europe / BBC (film dokumentalny).



Ryc. 9. Przykład dokumentacji i analizy powierzchni fragmentów zabytkowych naczyń ceramicznych. Rejestracja i pomiar ubytków powierzchni zewnętrznej. Źródło: UKSW/Hirox Europe.

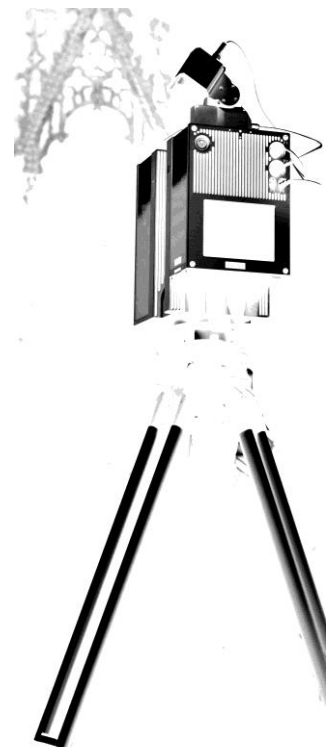


Ryc. 10. Przykład pomiaru zębów ludzkich pochodzących z cmentarzyska z przełomu XIX/XX w. – Radom. stan. 1. Źródło: UKSW / Hirox Europe.



Ryc. 11. Przykład rejestracji i analiz zniszczeń archiwalnego papieru. Źródło: UKSW/ Hirox Europe.

ROZDZIAŁ VI



Podwyższyć umiejętności i kompetencje – „Akademia Geomatyki Praktycznej” a dziedzictwo kulturowe

Increasing skills and competences - "Academy of Practical Geomatics" and the Cultural Heritage

Dorota Zawieska*, Jakub Markiewicz*

*Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej
Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska
d.zawieska@gik.pw.edu.pl, j.markiewicz@gik.pw.edu.pl

Słowa klucze: Fotogrametria, Nowoczesne techniki pomiarowe, Warsztaty, AGP GIK, modele 3D, dokumentacja fotogrametryczna.

Key words: Photogrammetry, Modern measurement techniques, Courses, APG Faculty of Geodesy and Cartography WUT, 3D models, photogrammetric documentation.

Abstrakt: Akademia Geomatyki Praktycznej - AGP powstała przy współdziałaniu doświadczonych wykładowców akademickich Politechniki Warszawskiej Wydziału Geodezji i Kartografii oraz pracowników naukowych Instytutu Geodezji i Kartografii. Akademia ma na celu prowadzenie działalności w oparciu o opracowaną innowacyjną koncepcję szkoleń i treningów praktycznych uzupełniających wiedzę akademicką z zakresu szeroko rozumianej geomatyki (geodezja, kartografia, geoinformatyka, fotogrametria, teledetekcja itd.) oraz gospodarki przestrzennej. Celem AGP jest prowadzenie działalności szkoleniowej mającej umożliwić zdobywanie konkretnych umiejętności praktycznych, zarówno przez młodych absolwentów, doświadczonych pracowników zainteresowanych przekwalifikowaniem zawodowym lub rozszerzeniem swojej dotychczasowej wiedzy. Jednym z celów AGP jest również gromadzenie informacji na temat potrzeb w zakresie kształcenia zawodowego i akademickiego oraz wspieranie przedsiębiorczości o charakterze innowacyjnym. Prowadzone szkolenia i warsztaty, mają zastosowanie praktyczne i pozwalają na wykorzystanie geodezyjnych i fotogrametrycznych technik pomiarowych w wielu dziedzinach gospodarki, w szczególności związanych z ochroną dziedzictwa kultury.

WPROWADZENIE

Dziedzictwo kulturowe jest świadectwem przeszłości, a obiekty zabytkowe stanowią istotną część dorobku społeczeństwa. Inwentaryzacja zabytków, poza określeniem ich cech, takich jak: funkcja, autorstwo, chronologia, kształt, materiał, wymiary i położenie obiektu w przestrzeni, może skupiać się na innych charakterystycznych cechach obiektu, możliwych do zidentyfikowania np. poprzez analizę obrazu, co należy wiązać się z budowaniem elektronicznych systemów informacji o obiektach zabytkowych, zawierających zasób danych znacznie wykraczający poza tradycyjny opis geometryczny. Metryczna dokumentacja dziedzictwa kulturowego może obejmować obiekty o zróżnicowanych rozmiarach od kilkunastocentymetrowych (np. monety), po całe budowle, zespoły architektoniczne i założenia przestrzenne. Obiekty te charakteryzują się bogactwem kształtów, kolorystyki, struktur, co wiąże się ze zróżnicowanymi wymaganiami inwentaryzacyjnymi, mającymi wpływ na wybranie odpowiedniej techniki pomiarowej, w tym np. metod fotogrametrycznych od lat stosowanych i upowszechnianych w działaniach przy zabytkach¹⁰⁵.

Równie istotnym zagadnieniem jest zatem umiejętność doboru nowych technologii, jak i odpowiednie posługiwanie się narzędziami pomiarowymi oraz profesjonalne generowanie zasobów cyfrowych. Analizując przekrojowo ofertę programową wielu kierunków (w ostatnich latach) związanych z ochroną zabytków w Polsce, a także odwołując się do licznych dyskusji i głosów płynących ze strony środowiska naukowo-konserwatorskiego¹⁰⁶, dostrzec można swego rodzaju niedosyt, związany m.in. z kształceniem w zakresie wykorzystania i obsługi nowych technologii pomiarowych. Dodatkowo sytuację bieżącego modernizowania oferty programowej (poszczególnych kierunków) utrudniają dynamicznie rozwijające i zmieniające się technologie. W związku z powyższym wydaje się koniecznym po pierwsze – podejmowanie dyskusji nad tym problemem, po drugie – jak najczęstsze prezentowanie zmieniających się technologii (czego też wyrazem jest niniejszy tekst), i po trzecie - podejmowanie prób wyjścia naprzeciw powstającej sytuacji, czego przykładem może być „Akademia Geomatyki Praktycznej” (AGP). W odniesieniu do ww. - trzeciej kwestii, proponowana forma kształcenia lub dokształcania w zakresie wdrażania i obsługi nowych narzędzi pomiarowych w działaniach na rzecz ochrony zabytków, wydaje się cenna i oczekiwana.

W tekście prezentowana jest przede wszystkim koncepcja autorskich, (a z uwagi na całokształt) pionierskich w Polsce szkoleń i treningów praktycznych uzupełniających wiedzę akademicką z zakresu szeroko rozumianej geomatyki, z ukierunkowaniem na przedstawienie wybranych zagadnień nowych technologii pomiarowych środowiskom naukowo-konserwatorskim. Tekst składa się z kilku części: wprowadzającej, prezentującej określone zagadnienia nowych technik pomiarowych, a także części poświęconej zagadnieniom kształcenia w zakresie geomatyki, naziemnego skanowania laserowego, przetwarzania obrazów, jak i części prezentującej AGP oraz podsumowującej.

DZIEDZICTWO KULTUROWE, NOWE TECHNOLOGIE I NAZIEMNE TECHNIKI FOTOGRAMETRYCZNE

W Polsce, jak i na świecie, odnotowujemy od kilkunastu już lat wyraźny wzrost wykorzystywania nowych technologii w pracach naukowo-konserwatorskich, a w szczególności naziemnego skanowania laserowego (ang. *Terrestrial Laser Scanning* – TLS) - również wymiennie stosowany w tekście termin *skaning*)¹⁰⁷ i obrazów cyfrowych^{108,109}. Tego typu prace stanowią m.in. efekt licznych działań specjalistów,

¹⁰⁵ Np. Brykowska M., 2015, *Badania historyczno-architektoniczne do prac konserwatorskich*, (w:) *Badania architektoniczne. Historia i perspektywy rozwoju*, (red.) M. Arszynski, M. Prarat, U. Schaaf, B. Zimnowoda-Krajewska, Toruń, s. 87-107.

¹⁰⁶ Zapłata R., 2015, *Naziemne skanowanie laserowe w ochronie zabytków - potencjał i potrzeby*, (w:) *Przeszłość dla przyszłości*, t. 3, red. A. Kadłuczka, J. Czechowicz, Kraków, s. 101-114.

¹⁰⁷ Zapłata R., 2013, *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa.

¹⁰⁸ Markiewicz J. S., Podlasiak P., Zawieska D., 2015, *A New Approach to the Generation of Orthoimages of Cultural Heritage Objects—Integrating TLS and Image Data*, "Remote Sensing", 2015, 7, s. 16963-16985.

¹⁰⁹ Markiewicz, J. S. and Zawieska, D. 2014, *Terrestrial scanning or digital images in inventory of monumental objects? – case study*, "Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.", XL-5, 395-400, doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-395-2014.

szukających nowych obszarów zastosowania dla własnych technologii, jak i przedstawiciele środowisk naukowo-konserwatorskich, które z kolei dostrzegły potencjał nowych technik nieinwazyjnych. Skanowanie laserowe jest powszechnie stosowaną technologią pomiarową, która stopniowo wspiera różnorodne działania i inicjatywy związane z dziedzictwem kulturowym. Konieczność uwzględniania w działaniach związanych z dobrami kultury nowych technologii, a także konieczność współpracy specjalistów, to również postulat wielokrotnie podkreślany w licznych publikacjach i dokumentach doktrynalnych. Skanowanie laserowe bez wątplenia należy traktować jako jeden z elementów procesu, który określamy mianem cyfryzacji, czy też digitalizacji dziedzictwa kulturowego, będącej częścią szerszej strategii działań związanych ze współczesną ochroną dziedzictwa kulturowego. Zapisy wspomnianych wyżej dokumentów czy aktów prawnych, również tych obowiązujących w Polsce, dość jednoznacznie wskazują na konieczność skierowania uwagi w stronę nowych technik, wspierających procesy digitalizacyjne, jak i dokumentacyjne, inwentaryzacyjne czy analityczne. Przykładem dla potrzeb niniejszego tekstu niech będą wybrane, niżej zamieszczone zapisy. W „Karcie Lozańskiej” czytamy: „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”¹¹⁰. Inny dokument „Rekomendacja UNESCO w sprawie historycznego krajobrazu miejskiego”, podkreśla w następujący sposób znaczenie technologii informacyjnych: „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”¹¹¹.

Starając się zatem włączyć do dyskusji nad wymienionymi zagadnieniami, w tekście scharakteryzowano jedną z technologii, jej specyfikę, wskazując jednocześnie na złożoność procesu pozyskiwania i przetwarzania danych, a także potrzebę „doksztalcania”. Najogólniej, naziemne skanowanie laserowe to zastosowanie naziemnego urządzenia, które wykorzystuje wiązkę lasera do pomiaru współrzędnych 3D danego obszaru - powierzchni obiektu, w sposób systematyczny i przy wysokim współczynniku próbkowania w czasie rzeczywistym¹¹². Działanie naziemnego skanera laserowego można porównać do działania zautomatyzowanego tachimetru, lecz czas pomiaru oraz liczba mierzonych punktów jest znacznie większa. W zależności od technicznego rozwiązania uzyskania współrzędnych 3D stosuje się pomiary o różnym zasięgu, szybkości pozyskiwania danych czy dokładności. W celu pełnego wykorzystania TLS muszą być rozważone zarówno zalety jak i ograniczenia tej technologii¹¹³. Niewątpliwie tym co wyróżnia skaning laserowy, spośród innych systemów pomiarowych, jest właściwość bezpośredniego, szybkiego (dochożącego nawet do 1 000 000 punktów na sekundę) i obszernego ujęcia geometrii obiektu.

Technologia skanowania TLS jest z powodzeniem stosowana w wielu gałęziach gospodarki, spełniając określone oczekiwania i wymagania. Użycie omawianej technologii w dokumentacji dziedzictwa kulturowego jest szczególne ze względu na specyfikę zasobu, jak i jego znaczenie dla społeczeństwa. Prze-

¹¹⁰ *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, s. 113-120 – <http://www.icomos-poland.org/images/publikacje/VADEMECUM%20ICOMOS%20calosc.pdf> [dostęp 10.12.2015]

¹¹¹ Rekomendacja UNESCO w sprawie historycznego krajobrazu miejskiego, 2011 – http://www.unesco.pl/fileadmin/user_upload/pdf/Rekomendacje/rekomenkrajobraz.pdf [dostęp 10.12.2015]

¹¹² 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/> [dostęp 10.12.2015]

¹¹³ Böhler W., Marbs A., 2002, *3D Scanning instruments*, ‘CIPA-ISPRS Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording’, Korfu 2002.

de wszystkim gęste chmury punktów uzyskane w wyniku pomiaru metodą TLS (wzbogacane np. danymi obrazowymi) mogą być traktowane jako optymalne rozwiązanie dla poprawnej i kompletnej reprezentacji geometrycznej interesujących nas obiektów zabytkowych czy też ich fragmentów. Podczas stosowania technologii TLS pojawiają się jednak pewne trudności, związane ze specyfiką pomiaru, co też warto przekrojowo omówić, starając się jednocześnie wskazać potrzebę posiadania odpowiednich kompetencji i umiejętności w tym zakresie.

Proces pozyskiwania i przetwarzania danych TLS składa się z wielu etapów, bezpośrednio powiązanych ze sobą (ryc. 1). Przed rozpoczęciem skanowania (lub pozyskiwania zdjęć) niezbędne jest przeprowadzenie prac wstępnych. Pierwszym etapem jest zapoznanie się z wymaganiami projektu, w celu doboru odpowiedniego sprzętu i technologii opracowania. Jest to pierwszy krok, który warunkuje uzyskanie założonych dokładności i kompletności wynikowej dokumentacji. Następnie analizując założenie projektu i przedmiot pomiaru niezbędne jest odpowiednie zaplanowanie stanowisk skanera (aparatu) w celu uniknięcia występowania martwych pól (braku danych). Drugim ważnym elementem jest właściwe rozmieszczenie punktów osnowy fotogrametrycznej (wykorzystywanych do orientacji danych) oraz dobór znaków (ryc. 2). Wszystkie te elementy powinny być przedstawione w postaci operatu, który jest podstawą do wykonywania pomiarów.

Przy wykonywaniu skanowania wykorzystywany jest promień laserowy, który na mierzonej powierzchni przyjmuje postać plamki o określonych rozmiarach. Plamka lasera ma pewną wielkość, nawet dobrze zogniskowana nie jest skupiona do rozmiaru punktu. Podczas uderzenia w krawędź obiektu tylko część promieni zostanie odbita we właściwym miejscu. Pozostała część zostaje odbita przez sąsiednie powierzchnie albo nie zostaje odbita wcale (ryc. 3). Ze względu na to, iż określona odległość jest średnią w obszarze w który uderzyła wiązka lasera, występują oczywiste błędy odległości (mogące wynosić od milimetrów nawet do kilku decymetrów), które wpływają na dokładność wyznaczenia współrzędnych mierzonego punktu.

Wykonując pomiary naziemnym skanerem laserowym, niezwykle istotne jest ustawienie stanowisk skanera w stosunku do płaszczyzn skanowanych obiektów. Na poprawność odwzorowania kształtu badanego obiektu ma wpływ kąt padania wiązki lasera (ryc. 4). W przypadku, gdy odchylenie płaszczyzny pionowej w stosunku do toru sygnału jest większe od 90° , promień lasera może dostarczać błędnej informacji na skutek „ślizgania” się po obiekcie lub dodatkowych odbić.

Oprócz jakości i funkcji skanera, wpływ na wyznaczane jakości mają również czynniki zewnętrzne: warunki atmosferyczne i środowiskowe, refleksyjność (zdolność powierzchni do odbijania promieniowania (ryc. 5) i barwy skanowanych obiektów. Innym istotnym parametrem definiującym jakość wykonywanych pomiarów jest intensywność odbicia wiązki lasera, która rozumiana jest jako moc odebranej wiązki lasera. Przyjmuje się w przypadku pomiarów fazowym skanerem bliskiego zasięgu, że im wartość intensywności jest niższa (dla obiektów ciemnych), tym dokładność odwzorowania powierzchni jest mniejsza. Natomiast w przypadku jasnych obiektów intensywność odbicia wiązki lasera jest wyższa co wpływa na lepszą dokładność odwzorowania kształtu¹¹⁴.

Następnym ważnym elementem jest łączenie (orientacja). Proces ten można wykonać w sposób automatyczny lub półautomatyczny, w zależności od wykorzystywanych znaków osnowy fotogrametrycznej oraz oprogramowania. Proces ten jest istotny, gdyż wpływa na opracowanie produktów końcowych. Nieodpowiednie przyjęcie układu odniesienia (współrzędnych) może wpłynąć na błędną orientację skanów, a w efekcie na opracowanie błędnej dokumentacji fotogrametrycznej.

Równie ważnym elementem jest odpowiednia filtracja skanów (ryc. 6). Zastosowanie niewłaściwych filtrów może spowodować zbyt dużą redukcję danych w efekcie powodując utratę danych mierzonego obiektu (ryc. 7). Do prawidłowego wykonania tego etapu niezbędna jest wiedza, która pozwoli na prawidłową obróbkę skanów (ryc. 8).

Kolejnym etapem przetwarzania danych z TLS jest generowanie produktów fotogrametrycznych określonych w wymaganiach realizowanego projektu. Powszechnymi produktami wykorzystywanymi w dziedzictwie kulturowym są modele 3D, ortoobrazy, Numeryczne Modele Powierzchni Obiektów i do-

¹¹⁴ Markiewicz J. S., Zawieska D. 2015, *Quality assessment of the TLS data in conservation of monuments*, Proc. SPIE 9527, Optics for Arts, Architecture, and Archaeology V, 95270V (30 June 2015); doi: 10.1117/12.2184911

kumentacja wektorowa. Proces ten wymaga specjalistycznej wiedzy i doświadczenia ze względu na jego złożoność. Odwzorowanie poszczególnych elementów obiektu tj. np. krawędzi okien lub innych detali liniowych możliwe jest do uzyskania w wyniku skomplikowanej procedury ekstrakcji pomierzonych danych. Podczas gdy w obszarach gładkich i płaskich posiadamy nadmiar danych, w innych częściach, zwłaszcza w pobliżu krawędzi i liniowych cech powierzchni, występuje ich niedobór, w efekcie czego rozdzielczość jest niewystarczająca. Niewątpliwie większa gęstość pomiaru wpływa na dokładniejszą aproksymację kształtów. Należy jednak pamiętać, że gęstość skanowania nie powinna przekraczać wielkości plamki dla danej odległości, gdyż nie wpłynie to na dokładniejsze odwzorowanie kształtu a jedynie zwiększy pojemność pliku. Ocena jakości pomiarów nie może być realizowana jedynie poprzez ocenę pojedynczego punktu. W przypadku oceny jakości danych z TLS należy skupić się na otrzymanych kształtach poszczególnych elementów (np. sfera, walec, płaszczyzna, ryc. 9), które pozwolą na ocenę prawidłowości wykonanego pomiaru (czyli prawidłowości przyjętej odległości i kąta skanowania)¹¹⁵. Niepoprawność odwzorowania kształtu (odchyłki od rzeczywistej wartości), można zaobserwować dopiero po wymodelowaniu obiektu na podstawie chmury punktów (ryc. 10).

Niezmierznie ważnym i popularnym produktem fotogrametrycznym jest ortoobraz, który powstaje w wyniku przetworzenia (przekształcenia) oryginalnego zdjęcia z rzutu środkowego do rzutu ortogonalnego. Wygenerowany ortoobraz jest kartometrycznym produktem (mapą), który nie posiada zniekształceń perspektywicznych a wizualnie wygląda jak zdjęcie (ryc.11). Dla prawidłowego wykonania tego procesu niezbędne jest wygenerowanie poprawnego Numerycznego Modelu Powierzchni Obiektu oraz znajomość elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia i parametrów kalibracji kamery. Ich nieznanie prowadzi do błędnie opracowanych ortoobrazów (ryc. 12). Często w dokumentacji występują błędne opracowania, które traktowane są jako ortoobrazy, a w rzeczywistości przedstawiają fotoplan, który powstał z połączonych oryginalnych zdjęć w rzucie środkowym bądź rzutowanych jedynie na płaszczyznę odniesienia.

Inna dostępna fotogrametryczna metoda pomiarowa bliskiego zasięgu opiera się na wykorzystaniu sieci zdjęć i służy do rekonstrukcji powierzchni obiektu lub do opracowania innych produktów fotogrametrycznych. Dla zapewnienia odpowiedniej jakości odwzorowań wskazane jest wykorzystywanie wysokorozdzielczych aparatów z obiektywami stało ogniskowymi. Charakterystyczną cechą tej metody jest: uniwersalność zastosowań, wysoka dokładność i wiarygodność opracowania oraz zaawansowany stopień automatyzacji pomiarów. Współcześnie wykorzystuje się algorytmy stosowane w „Widzeniu Maszynowym” (ang. *Computer Vision* - CV) połączone z algorytmami stosowanymi w klasycznym podejściu fotogrametrycznym do odwzorowania kształtu. Na podstawie procesu przetwarzania zdjęć uzyskuje się analogiczną chmurę punktów jak w przypadku skaningu laserowego. Pozornie proces ten wydaje się prostszy, wymaga jednak również odpowiedniego rozplanowania stanowisk aparatu i osnowy fotogrametrycznej. Ustalając parametry ekspozycji zdjęć należy uwzględnić rozdzielczość, czułość obrazu (parametr ISO) oraz format zapisu pliku. Często wykorzystywanie automatycznych ustawień aparatu prowadzi do błędnych bądź słabych jakościowo opracowań fotogrametrycznych. Innym zupełnie zagadnieniem jest wykorzystanie nie tylko właściwego oprogramowania, ale także odpowiednie ustawienie parametrów sterujących procesem obliczeniowym. Na rynku istnieje wiele programów umożliwiających przetwarzanie zdjęć, np. AgiSoft Photoscan, Pix4D, itp. oraz generowanie produktów fotogrametrycznych takich jako ortoobrazy czy modele 3D. Mimo wszystko ważna jest znajomość działania wykorzystywanych algorytmów służących do orientacji zdjęć, bądź do zagęszczania chmur punktów. W praktyce często występuje duża nadliczbowość zdjęć co znacznie wydłuża czas opracowania. Dzięki znajomości zasad działania poszczególnych algorytmów możliwe jest odpowiednio zredukowanie liczby zdjęć bez utraty danych, a co za tym idzie skrócenie czasu ich przetwarzania. Często w praktyce jako końcowy produkt przetwarzania zdjęć przedstawiana jest chmura punktów, która jest jedynie dyskretnym (punktowym) opisem kształtu mierzonego obiektu. Tak wygenerowana chmura punktów może stanowić podstawowe opracowanie, tym niemniej dla wykorzystania w dziedzinie kultury, powinna podlegać analogicznej obróbce jak chmura punktów ze skaningu.

¹¹⁵ Markiewicz J. S., Zawieska D. 2015, *Quality assessment of the TLS data in conservation of monuments*, Proc. SPIE 9527, Optics for Arts, Architecture, and Archaeology V, 95270V (30 June 2015); doi: 10.1117/12.2184911

Z uwagi na specyfikę obiektów dziedzictwa kultury (struktura, tekstura, etc.) często niewystarczającą jest wykorzystanie metody TLS i obrazów cyfrowych oddzielnie. W praktyce w opracowaniach obiektów dziedzictwa kultury, najlepsze wyniki uzyskuje się poprzez integrację obu tych technologii¹¹⁶.

Oddzielnym zagadnieniem jest brak standardów wykorzystania technologii TLS w inwentaryzacji obiektów dziedzictwa kulturowego¹¹⁷. W celu standaryzacji geodezyjnych sposobów pomiaru i ujednoczenia opracowań inwentaryzacyjnych obiektów zabytkowych oraz ich otoczenia, w 1981 roku została wydana instrukcja przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii¹¹⁸. Zwarte w niej wytyczne są przestarzałe i nie obejmują technologii TLS. Opracowanie specyfikacji dla standaryzacji pozyskania, przedstawienia i dostarczenia chmury punktów dla zadań związanych z ochroną dziedzictwa kulturowego wydaje się zatem niezbędnym krokiem w zastosowaniu skaningu laserowego jako powszechnej techniki pomiaru¹¹⁹. W literaturze międzynarodowej (The CIPA 3x3 rules) obowiązują wytyczne dotyczące wykonywania i przechowywania zdjęć z 1994 i zaktualizowanego w 2013 roku¹²⁰

Podsumowując powyższą charakterystykę fotogrametrycznych metod pomiarowych bliskiego zasięgu, ukierunkowaną m.in. na prezentację wybranych zagadnień problemowych, warto podkreślić, że zarówno proces wykonywania pomiarów jak i przetwarzania danych, wymaga odpowiednich kompetencji i doświadczenia. Wiedzę w tym zakresie oferuje wiele programów kształcenia w Polsce, na takich kierunkach jak geodezja i kartografia. Jednak z uwagi na konieczność podejmowania współpracy ze specjalistami, a także chęć samodzielnego wykonywania pomiarów z zastosowaniem nowych technik fotogrametrycznych, czy potrzebę zrozumienia specyfiki generowanych zasobów cyfrowych, odnoszących się do zabytków, warto również wyjść poza formalną ofertę programów akademickich.

KSZTAŁCENIE W ZAKRESIE GEOINFORMACJI I INWENTARYZACJI DZIEDZICTWA KULTUROWEGO W POLSCE - GŁOS W DYSKUSJI

W Polsce, w odniesieniu do inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego z wykorzystaniem nowych technologii, takich jak np. TLS, dostrzegalny jest wyraźny niedosyt wiedzy specjalistów w tym zakresie, zwłaszcza w środowiskach konserwatorskich oraz naukowo-badawczych, potrafiących wykonywać czy koordynować prace pomiarowymi. Poza tym widoczny jest również brak odpowiednich kompetencji, znajomości nowych technologii, co prawdopodobnie jest pochodną braku określonych zajęć w programach studiów na poszczególnych kierunkach. Równie istotnym mankamentem jest brak dostępu do urządzeń, zarówno ze strony naukowców i konserwatorów, jak i studentów. Nowoczesne systemy i urządzenia pomiarowe nadal stanowią bazę sprzętową, która nie należy do standardowego wyposażenia uczelni i poszczególnych jednostek kształcących.

Postęp technologiczny, jakkolwiek ważny i ze wszech miar doceniany, paradoksalnie nie sprzyja tradycyjnym rozwiązaniom edukacyjnym, które najwyczejniej nie nadążają za szybkim rozwojem. Wyposażenie pracowni to jedno wyzwanie, a kolejne to dostosowanie programów kształcenia do bieżących zmian. Taka sytuacja skłania do podjęcia działań na rzecz szukania nowych rozwiązań, celem kształcenia

¹¹⁶ Markiewicz J., Dorota Z., Kowalczyk M., Zapłata R., 2014, *Utilisation of laser scanning for inventory of an architectural object using the example of ruins of the Krakow Bishops' Castle in Iłża, Poland*, "Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing Conference Proceedings V. III, Photogrammetry and Remote Sensing, Cartography and GIS, International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM", vol. III, 2014, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, s. 391-396; Markiewicz J., Zawieska D., 2014, *Terrestrial scanning or digital images in inventory of monumental objects? -Case study*, "The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing", vol. XL-5, s. 395-400;

¹¹⁷ Patrz np. Zapłata R., 2015.

¹¹⁸ Wytyczne Techniczne G-3.4 pt.: „Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury”, 1981, GUGiK, Warszawa.

¹¹⁹ Czytaj również: 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, s. 111-121.

¹²⁰ *The 3x3 rules* - [http://cipa.icomos.org/index.php?id=20&tx_ttnews\[tt_news\]=38&cHash=5cd6f8216e31d77658fc70ca84c7455d](http://cipa.icomos.org/index.php?id=20&tx_ttnews[tt_news]=38&cHash=5cd6f8216e31d77658fc70ca84c7455d)

specjalistów, upowszechniania wiedzy o nowych rozwiązaniach technologicznych, a także uzupełniania braków programowych.

W Polsce, ale i na świecie, dostrzegamy liczne inicjatywy, próbujące wyjść naprzeciw potrzebom i oczekiwaniom.¹²¹ Sytuacja jest szczególna, jeśli weźmiemy pod uwagę środowiska naukowe czy konserwatorskie, związane z ochroną dziedzictwa kulturowego, a więc niezwiązane w ramach programów studiów z geodezją, fotogrametrią czy teledetekcją. Uzupełnienie wiedzy, podwyższanie kompetencji i umiejętności, z ukierunkowaniem na nowe technologie, często związane jest w takich środowiskach z koniecznością podjęcia uzupełniającego kształcenia, które ma za zadanie przekazanie podstawowej wiedzy w tym temacie, a następnie zbudowanie umiejętności posługiwania się zasobami cyfrowymi, urządzeniami pomiarowymi czy specjalistycznym oprogramowaniem.

Do przykładowych rozwiązań, które podwyższają kompetencje i umiejętności w omawianym zakresie należą m.in. kursy, szkolenia, warsztaty czy studia podyplomowe. Część z tych działań często towarzyszy polityce i strategii producentów oraz dystrybutorów sprzętu, podczas których potencjalny odbiorca może uzyskać umiejętności obsługi sprzętu i pracowania z danymi. Taką formę dokształcania wybierają również uczelnie wyższe, dając m.in. oferty, które pozwolą w różnorodnym zakresie zdobyć umiejętności i wiedzę. Stopień ogólności takich form kształcenia często powoduje, że są to oferty kierowane do przedstawicieli różnych branż i środowisk, co też ma swoje wady i zalety. Z perspektywy organizatora z pewnością forma ogólna jest odpowiedniejsza, gdyż nie zawęży się do mniejszej grupy zainteresowanych, do określonej branży, więc odzew i zainteresowanie może być większe. Z perspektywy uczestnika, brak ukierunkowania w stronę danej dyscypliny z pewnością powoduje pewien dyskomfort, jednak taka sytuacja stwarza również szansę na bardziej elastyczne i uniwersalne kształcenie, które obecnie, na rynku pracy może być atutem. Bywają również i takie formy kształcenia, które dedykowane są określonym środowiskom, branżom, oferując uzyskanie nowych kompetencji, rozeznania w nowych technologiach, w sposób jak najbardziej zbliżony do oczekiwań i potrzeb w ramach danej dyscypliny. Te dwie sytuacje nie wyczerpują całej gamy ofert i zróżnicowania w tym temacie, tworząc jednak perspektywę zdobywania wiedzy i umiejętności, poczynając od zagadnień ogólnych (ponad dyscyplinarnych), a skończywszy na programach branżowych. Najważniejsze jednak, że rynek oferuje takie rozwiązania, a środowiska związane np. z ochroną zabytków mają szansę uzupełnić braki wynikające z programu studiów, bieżących potrzeb i szybko zmieniających się technologii. Takim też rozwiązaniem może być pogłębianie wiedzy i zdobywanie nowych umiejętności w ramach Akademii Geomatyki Praktycznej na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

AKADEMIA GEOMATYKI PRAKTYCZNEJ - WYJŚCIE NAPRZECIW POTRZEBOM

Ze względu na szybki rozwój technik pomiarowych, automatyzację przetwarzania danych i obniżenia kosztów sprzętu jak i specjalistycznego oprogramowania, coraz powszechniejsze staje się wykorzystywanie fotogrametrycznych technik pomiarowych do inwentaryzacji obiektów dziedzictwa kulturowego. Pozyskiwanie i przetwarzanie danych umożliwiających generowanie wysokorozdzielczych produktów fotogrametrycznych pozbawionych wad i błędów wymaga jednak posiadania specjalistycznej wiedzy. Wychodząc naprzeciw tym potrzebom, na wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej powstała Akademia Geomatyki Praktycznej (ryc. 14). Inicjatywa jest rezultatem m.in. analizy oczekiwań wyrażanych ze strony różnorodnych środowisk zawodowych i akademickich, szybko zmieniających się technologii pomiarowych, a także poszerzającym się zainteresowaniem technikami i wykorzystywaniem ich potencjału w wielu dyscyplinach naukowych, w tym również w działaniach na rzecz ochrony dziedzictwa kulturowego.

„Akademia Geomatyki Praktycznej - AGP powstała przy współudziale doświadczonych wykładowców akademickich Politechniki Warszawskiej Wydziału Geodezji i Kartografii oraz pracowników naukowych Instytutu Geodezji i Kartografii. Akademia ma na celu prowadzenie działalności w oparciu o opracowaną innowacyjną koncepcję szkoleń i treningów praktycznych uzupełniających wiedzę akademicką

¹²¹ Np. Warsztaty producentów czy dystrybutorów sprzętu geodezyjnego – fotogrametrycznego czy „Szkolenia z wykorzystania Produktów LiDAR” - <http://szkolenialidar.gugik.gov.pl/>

z zakresu szeroko rozumianej geomatyki (geodezja, kartografia, geoinformatyka, fotogrametria, teledetekcja itd.) oraz gospodarki przestrzennej. Celem AGP jest prowadzenie działalności szkoleniowej mającej na względzie wzmacnianie potencjału i mobilności zawodowej uczestników szkoleń poprzez umożliwienie zdobywania konkretnych umiejętności praktycznych, zarówno przez młodych absolwentów, jak i doświadczonych pracowników zainteresowanych przekwalifikowaniem zawodowym lub rozszerzeniem swojej dotychczasowej działalności. Jednym z celów AGP jest również gromadzenie informacji na temat potrzeb w zakresie kształcenia zawodowego i akademickiego oraz wspieranie przedsiębiorczości o charakterze innowacyjnym. AGP powinno przyczyniać się do wzmacniania i promocji branży geodezyjnej i kartograficznej w Polsce, w szczególności w województwie mazowieckim. Oferta szkoleń jest na bieżąco modyfikowana zależnie od zmian na rynku pracy oraz potrzeb zgłaszanych przez uczestników szkoleń, współpracujące firmy i instytucje. Prowadzone szkolenia i warsztaty, będą okazją do przybliżenia wyników prac badawczych Wydziału Geodezji i Kartografii oraz Instytutu Geodezji i Kartografii mających zastosowanie praktyczne i powinny pozwolić na ułatwienie transferu wyników prac badawczych do praktyki geodezyjnej

W ramach przeprowadzanych szkoleń każdy z uczestników może je indywidualnie pod siebie dostosować (ryc. 15). Głównymi cechami przeprowadzanych szkoleń są:

1. Krótkie moduły szkoleniowe nakierowanie wyłącznie na naukę wąskich, konkretnych umiejętności praktycznych przydatnych w pracy zawodowej
2. Indywidualny tok szkolenia: uczestnik szkolenia sam "komponuje" program dostosowany do swoich potrzeb poprzez wybór konkretnych ćwiczeń (zwanym dalej Zadaniami) oraz sam rozkłada naukę w czasie (np. na kilka tygodni lub kilka miesięcy zależnie od potrzeb uczestnika)
3. W przypadku ćwiczeń z wykorzystaniem sprzętu - możliwość wypożyczenia sprzętu i samodzielnego wykonywania pomiarów.
4. Możliwość uczestniczenia w niektórych wykładach rozszerzających wiedzę praktyczną (prowadzonych na Politechnice Warszawskiej) lub wykładach specjalnych o charakterze ogólnym.
5. Praktyczne testy zaliczeniowe pozwalające na uzyskanie świadectwa kompetencji.¹²²

Po zakończonym szkoleniu istnieje możliwość uzyskania dyplomu ukończenia kursu lub „Świadectwa Kwalifikacji”/Certyfikatu w zakresie zaliczonych zadań praktycznych. „Świadectwa Kwalifikacji” otrzymują tylko osoby które pozytywnie przeszły testy praktyczne (testy można powtarzać do skutku, aż uczestnik pozyska oczekiwaną umiejętność); „Świadectwo Kwalifikacji” potwierdza konkretną umiejętność opanowaną przez uczestnika szkolenia. Uzyskanie "Świadectwa Kwalifikacji" jest dodatkową, nieobowiązkową możliwością. Uczestnicy mają do wyboru różny sprzęt i oprogramowanie. Sprzęt dostępny jest m.in. dzięki współpracy z partnerami zewnętrznymi. Szkolenia bazują zarówno na oprogramowaniu „Open Source: (np. QGIS) jak i oprogramowaniu komercyjnym, dzięki współpracy z dystrybutorami i producentami oprogramowania”¹²³.

W ramach AGP prowadzone są szkolenia w grupach 7 – 10 osobowych. Możliwe są również szkolenia indywidualne w grupach do 4 osób. Zajęcia odbywają się w Warszawie w Gmachu Głównym PW oraz w Centrum Praktyk Terenowych Politechniki Warszawskiej (Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjne) w Józefosławiu koło Piaseczna. Możliwe są również kursy prowadzone w siedzibie uczestników szkoleń (tzw. szkolenia wyjazdowe). Dla osób związanych z obszarem dziedzictwa kulturowego dedykowane są następujące szkolenia z grupy szkoleń fotogrametria, teledetekcja, skaning laserowy:

1. *FOT01_01 Pozyskanie danych z naziemnego skaningu laserowego w celu wygenerowania dokumentacji 3D elewacji budynku*

W ramach tego szkolenia uczestnik jest wprowadzony w tematykę związaną z wykonaniem pomiaru z wykorzystaniem naziemnych skanerów laserowych. W ramach ćwiczeń uczestnik wykonuje pomiar naziemnym skanerem bliskiego zasięgu (Z+F 5006h).

¹²² <http://www.agp.edu.pl>

¹²³ <http://www.agp.edu.pl>

2. *FOT02_02 Przetworzenie danych z naziemnego skaningu laserowego w celu wygenerowania modelu 3D elewacji budynku*

W ramach tego modułu uczestnik poznaje metody wykonywania filtracji i orientacji danych z pomiaru skanerem laserowym Z+F 5006h z wykorzystaniem programu Z+F LaserControl w układach lokalnych. Zdobyta wiedza pozwala na przyswojenie zasad pomiaru naziemnym skanerem, budowę plików i wykonywanie prac wstępnych związanych z przetwarzaniem danych z TLS. Dodatkowo uczestnik zapoznaje się z generowaniem modeli 3D elewacji budynków przy wykorzystaniu oprogramowania Open Source i dedykowanego dla określonego typu skanera.

3. *FOT02_01 Przetworzenie danych z naziemnego skaningu laserowego w celu wygenerowania modelu 3D elewacji budynku*

W ramach tego modułu uczestnik wykonuje filtrację i orientację danych z pomiaru skanerem laserowym Z+F 5006h z wykorzystaniem programu Luposcan w układach lokalnych. Zdobyta wiedza pozwala na przyswojenie zasad pomiaru naziemnym skanerem, budowę plików i sposobu wykonywania prac wstępnych przetwarzania danych z TLS. Dodatkowo uczestnik zapoznaje się z generowaniem modeli 3D elewacji budynków przy wykorzystaniu oprogramowania Luposcan

4. *FOT04_01 Generowanie dokumentacji architektonicznej na podstawie danych z naziemnego skaningu laserowego i zdjęć cyfrowych*

W ramach tego modułu uczestnik wykonuje filtrację i orientację skanów, orientację i integrację obrazów cyfrowych z danymi TLS pod kątem sporządzania inwentaryzacji architektonicznej z wykorzystaniem programu LupoScan. Uczestnik zapoznaje się z generowaniem ortoobrazów, wykonywaniem wektoryzacji (w wybranym programie CAD) oraz generowaniem modeli 3D obiektów architektonicznych. Dodatkowo poznaje zasady integracji produktów w systemie GIS.

5. *FOT05_01 Wykonywanie analiz przestrzennych na podstawie dokumentacji architektonicznej pozyskanej metodami fotogrametrycznymi*

W ramach tego modułu uczestnik zapoznaje się z integracją wieloźródłowej dokumentacji fotogrametrycznej w oprogramowaniu GIS; korektą georeferencji; przeprowadzaniem analiz przestrzennych z wykorzystaniem aktualnej i archiwalnej dokumentacji architektonicznej.

6. *FOT06_01 Kontrola jakości dokumentacji architektonicznej stworzonej na podstawie danych z naziemnego skaningu laserowego i naziemnych zdjęć cyfrowych*

W ramach tego modułu uczestnik wykonuje kontrolę dokumentacji fotogrametrycznej pozyskiwanej na podstawie danych z naziemnego skaningu laserowego i zdjęć cyfrowych. Uczestnik poznaje sposoby kontroli technicznej poprawności opracowanej dokumentacji fotogrametrycznej w programie LupoSca i CAD, a dodatkowo usuwania wykrytych błędów georeferencji wykonanej dokumentacji w oprogramowaniu GIS.

7. *FOT07_01 Automatyczne generowanie produktów fotogrametrycznych ze zdjęć dla potrzeb ochrony dziedzictwa kulturowego*

W ramach tego modułu uczestnik zapoznaje się z kalibracją aparatów cyfrowych w oprogramowaniu PhotoModeler Scanner, orientacją zdjęć oraz generowaniem fotorealistycznych modeli 3D ze zdjęć w oprogramowaniu AgiSoft/Pix4D lub oprogramowaniem Open Source oraz integracją opracowanego modelu z systemem GIS.¹²⁴

Dodatkowo możliwe jest zgłoszenie indywidualnych potrzeb zainteresowanej grupy uczestników definiujących zakres proponowanego szkolenia. Dotyczy to szczególnie specjalistycznych branż, opracowań związanych z analizami przestrzennymi i innymi badaniami prowadzonymi w zakresie ochrony dziedzictwa kultury. Obecnie przygotowane są również moduły dotyczące najnowszych rozwiązań wykorzy-

¹²⁴ <http://www.agp.edu.pl>

stujących bezzałogowe statki latające (BSL, drony). W ofercie AGP znajdują się również inne moduły związane z opracowaniem danych satelitarnych, lotniczych, przetwarzania danych z lotniczego skaningu laserowego oraz wykorzystywania najnowszego sprzętu geodezyjnego. Po zakończeniu szkolenia każdy z uczestników otrzymuje certyfikat Politechniki Warszawskiej potwierdzający określony zakres zdobytych umiejętności.

Zaprezentowana powyżej charakterystyka modułów szkoleniowych, ukierunkowana na działania nieinwazyjne przy obiektach zabytkowych, jest autorską propozycją zespołu specjalistów, która obejmuje proces pomiarowy – począwszy od pozyskiwania danych (przede wszystkim pomiarów przy zabytkach w terenie - *in situ*), przez przetwarzanie danych, ich kontrolę, a na wykonywaniu analiz i generowaniu produktów pochodnych skończywszy, w tym np. dokumentacji architektonicznej. Taki schemat szkoleń umożliwi uzyskanie podstawowej wiedzy, obejmującej zagadnienia techniczne, jak i cały proces pomiarów fotogrametrycznych zasobów zabytkowych, wraz z przekazaniem wiedzy na temat potencjalnych obszarów zastosowania powstałej bazy danych.

PODSUMOWANIE

Podsumowując należy podkreślić, że specyfika fotogrametrycznych metod pomiarowych bliskiego zasięgu, wymaga specjalistycznej wiedzy, zarówno podczas wykonywania prac w terenie – *in situ*, jak i podczas opracowywania wygenerowanych zasobów, a także przy pracach związanych z przygotowaniem produktów pochodnych, analizach itp.. Pozyskana wiedza, podczas tego typu szkoleń, stanowić może podstawę do: samodzielnych działań o charakterze pomiarów fotogrametrycznych przy zabytkach, umiejętnego przetwarzania i analizowania zasobu cyfrowego, czy samodzielnego generowania produktów pochodnych. W założeniu autorów prezentowanej koncepcji szkoleń, a w szczególności modułów ukierunkowanych w stronę dziedzictwa kulturowego, uczestnik, będący studentem lub absolwentem kierunku związanego z zabytkami, może nabyć umiejętności i kompetencje, wykraczające poza standardowe wykształcenie, oferowane w ramach poszczególnych - standardowych programów akademickich. Połączenie wiedzy zdobytej podczas szkoleń oraz wiedzy specjalistycznej, zdaniem autorów, daje uczestnikom podstawę do podwyższania własnych kwalifikacji, jak i budowania niekonwencjonalnego, a oczekiwanego w środowiskach naukowo-konserwatorskich, przygotowania zawodowego.

Dotychczasowe obserwacje autorów, jak i zdobyte doświadczenia, a także udział w licznych dyskusjach z przedstawicielami środowiska naukowo-konserwatorskiego, wyraźnie wskazują, że idea kształcenia uzupełniającego wiedzę zdobywaną podczas studiów kierunkowych, związanych z ochroną zabytków, wydaje się trafną i optymalną formułą, która wychodzi naprzeciw współczesnym potrzebom. Pozyskanie nowych kompetencji i wiedzy, jest również podstawą do rozwoju szerokiej współpracy interdyscyplinarnej, między środowiskiem geodetów, fotogrametrów czy specjalistów w zakresie teledetekcji a środowiskami naukowo-konserwatorskimi, związanymi z ochroną zabytków. Współpraca ta winna opierać się również na umiejętności prowadzenia dialogu i interdyscyplinarnych przedsięwzięć, które wymagają obustronnego zrozumienia specyfiki dyscyplin, w czym niezwykle przydatnym jest poznanie terminów, zagadnień technicznych czy procedur obowiązujących w fotogrametrii.

Wspomniane procesy digitalizacji dziedzictwa kulturowego, do których możemy zaliczyć również fotogrametryczne metody pomiarów naziemnych, bez wątpienia wymagają kształcenia specjalistów, potrafiących pozyskiwać, przetwarzać, przechowywać i udostępniać dane. Takie też przesłanie winno stanowić filar wielu inicjatyw szkoleniowych, stwarzając szansę na rozwój i upowszechnianie: (1) nowych technologii, (2) alternatywnych form kształcenia, wobec oficjalnych programów studiów, jak i (3) poszerzania warsztatu sprzętowego przedstawicieli środowisk naukowo-konserwatorskich.

BIBLIOGRAFIA

- Akademia Geomatyki Praktycznej* - <http://www.agp.edu.pl/> [dostęp 10.12.2015]
- Böhler W., Marbs A., 2002, *3D Scanning instruments*, CIPA-ISPRS Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, Korfu 2002.
- Brykowska M., 2015, *Badania historyczno-architektoniczne do prac konserwatorskich*, (w:) *Badania architektoniczne. Historia i perspektywy rozwoju*, red. M. Arszyński, M. Prarat, U. Schaaf, B. Zimnowoda-Krajewska, Toruń, s. 87-107.
- 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, s. 111-121.
- 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/> [dostęp 10.12.2015]
- Markiewicz J., Dorota Z., Kowalczyk M., Zapłata R., 2014, *Utilisation of laser scanning for inventory of an architectural object using the example of ruins of the Krakow Bishops' Castle in Iłża, Poland*, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing Conference Proceedings V. III, Photogrammetry and Remote Sensing, Cartography and GIS, International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM, vol. III, 2014, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, s. 391-396.
- Markiewicz, J. S. and Zawieska, D. 2014, *Terrestrial scanning or digital images in inventory of monumental objects? – case study*, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5, 395-400, doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-395-2014.
- Markiewicz, J.S.; Podlasiak, P.; Zawieska, D. 2015, *A New Approach to the Generation of Orthoimages of Cultural Heritage Objects—Integrating TLS and Image Data*. Remote Sens. 2015, 7, 16963-16985
- Markiewicz J. S., Zawieska D. 2015, *Quality assessment of the TLS data in conservation of monuments*, Proc. SPIE 9527, Optics for Arts, Architecture, and Archaeology V, 95270V (30 June 2015); doi: 10.1117/12.2184911
- 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> [dostęp 10.12.2015]
- Miśkiewicz K. 2016, *Opracowanie danych obiektu zabytkowego w programie Rihnoceros* [praca inżynierska w archiwum Politechniki Warszawskiej].
- Rekomendacja UNESCO w sprawie historycznego krajobrazu miejskiego*, 2011 – http://www.unesco.pl/fileadmin/user_upload/pdf/Rekomendacje/rekomenkrajobraz.pdf [dostęp 10.12.2015]
- The 3x3 rules* - [http://cipa.icomos.org/index.php?id=20&tx_ttnews\[tt_news\]=38&Hash=5cd6f8216e31d77658fc70ca84c7455d](http://cipa.icomos.org/index.php?id=20&tx_ttnews[tt_news]=38&Hash=5cd6f8216e31d77658fc70ca84c7455d) [dostęp 10.12.2015]
- Wytyczne Techniczne G-3.4 pt.: „Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury”, 1981, GUGiK, Warszawa.
- Zapłata R., 2013, *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa.
- Zapłata R., 2015, *Naziemne skanowanie laserowe w ochronie zabytków - potencjał i potrzeby*, (w:) *Przeszłość dla przyszłości*, t. 3, red. A. Kadłuczka, J. Czechowicz, Kraków, s. 101-114.
- 3D RiskMapping, 2008, *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning Training material based on practical applications*.
- GIS - muzeum-wilanow.pl - gis.muzeum-wilanow.pl [dostęp 10.12.2015]

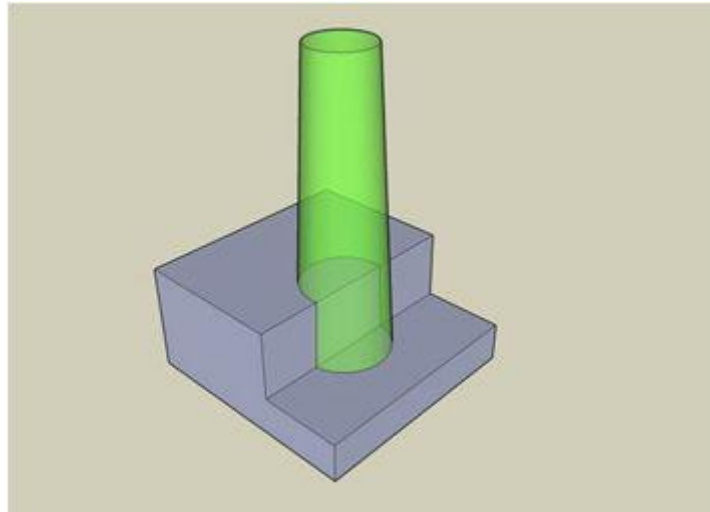
RYCINY



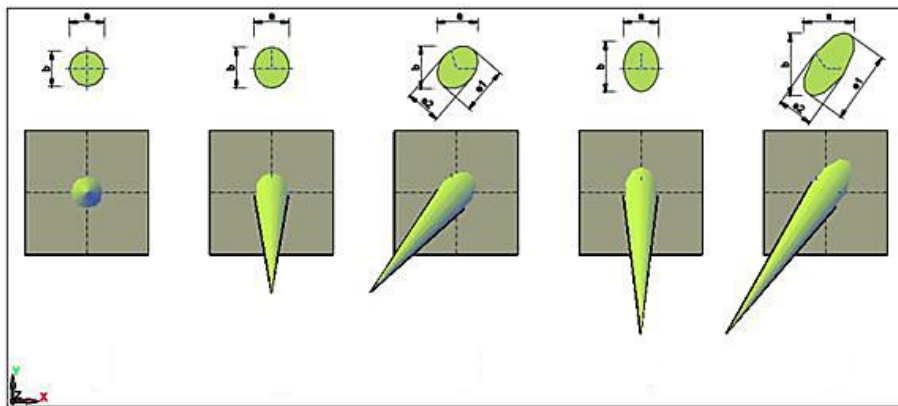
Ryc. 1. Proces technologiczny pozyskiwania i przetwarzania danych TLS oraz zdjęć naziemnych (źródło: opracowanie własne).



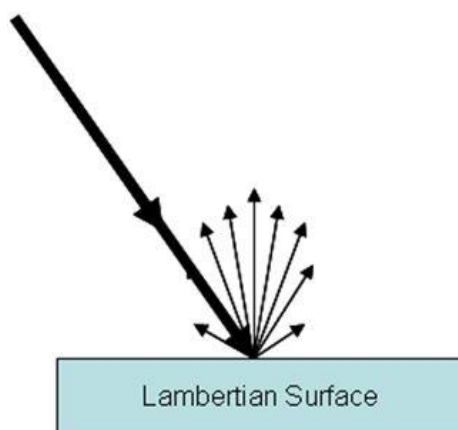
Ryc. 2. Przykład rozmieszczenia stanowisk i osnowy fotogrametrycznej (źródło: opracowanie własne).



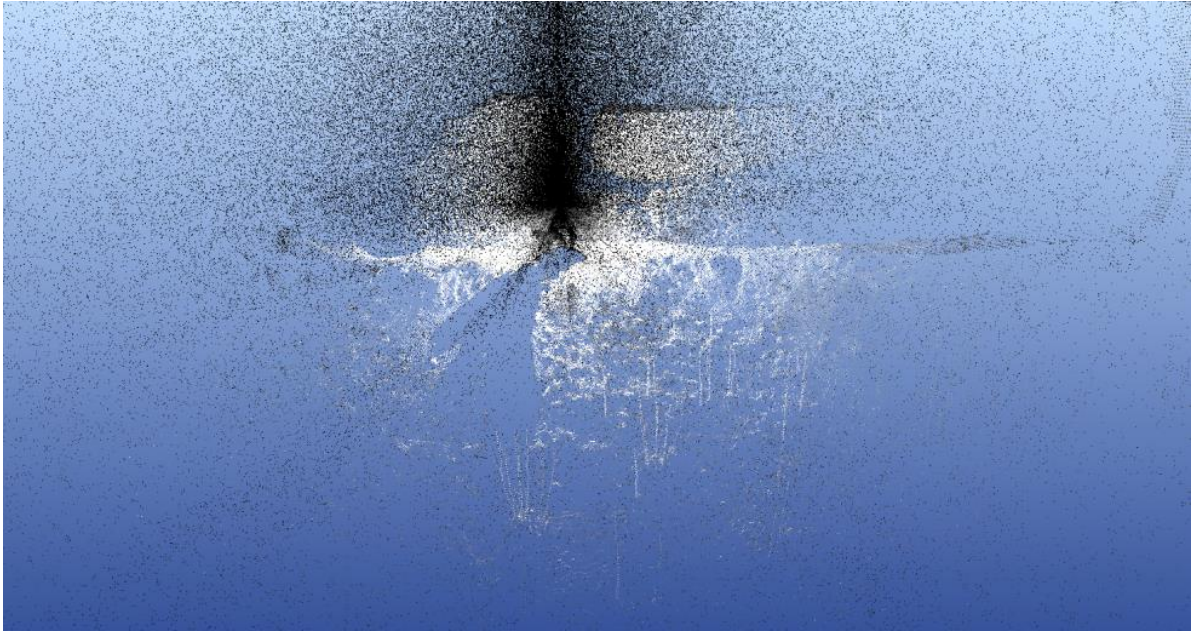
Ryc. 3. Odwzorowanie wiązki lasera na krawędzi obiektu (źródło: 3D RiskMapping, 2008).



Ryc. 4. Wpływ kąta skanowania na poprawność odwzorowania mierzonej powierzchni (źródło: 3D Risk-Mapping, 2008).



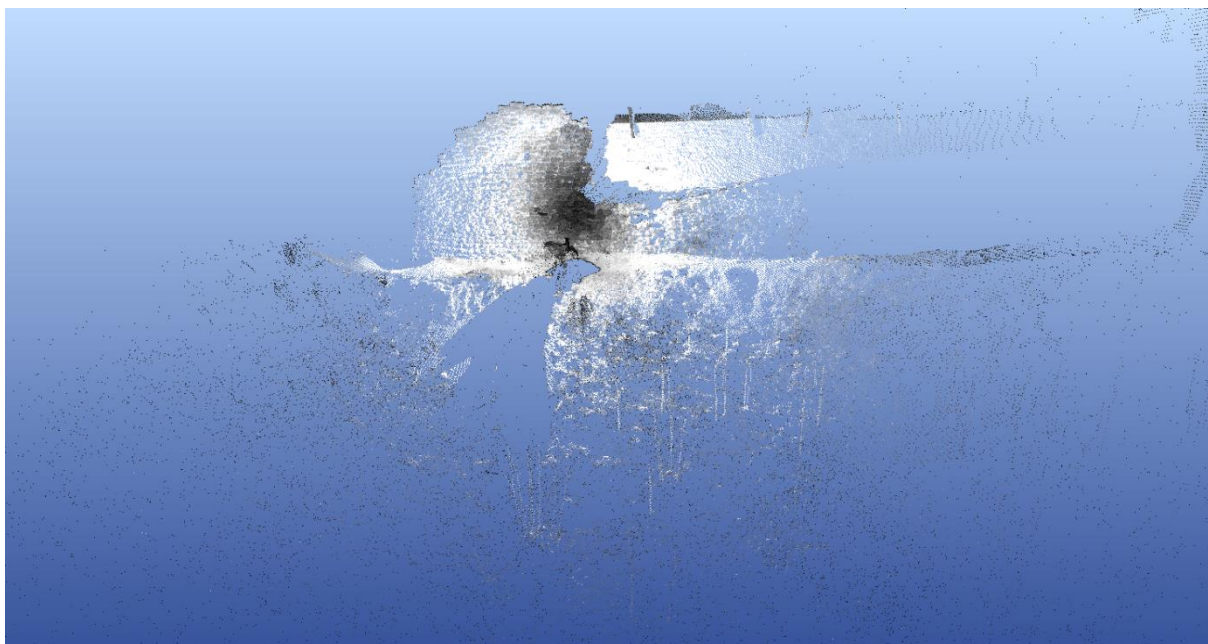
Ryc. 5. Wpływ refleksyjności powierzchni na odbicie wiązki lasera (źródło: 3D RiskMapping, 2008).



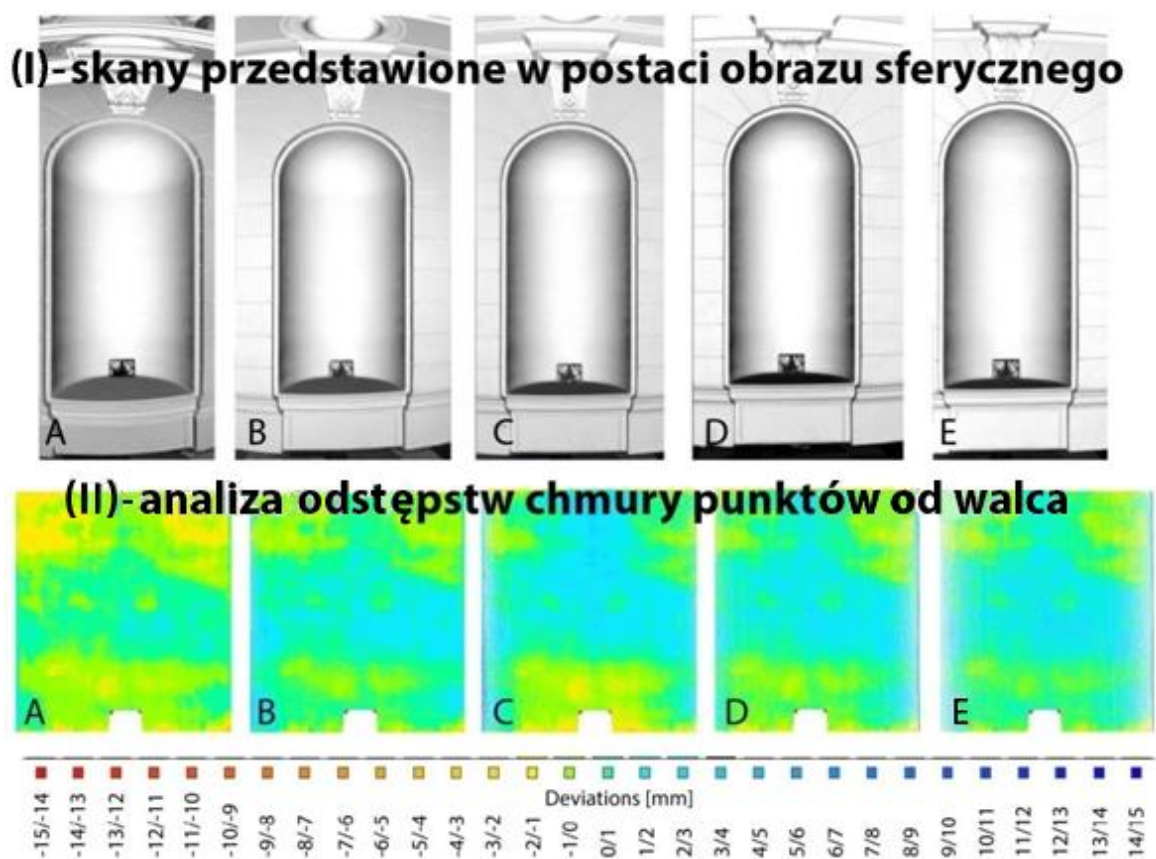
Ryc. 6. Surowa chmura punktów (bez filtracji) (źródło: opracowanie własne).



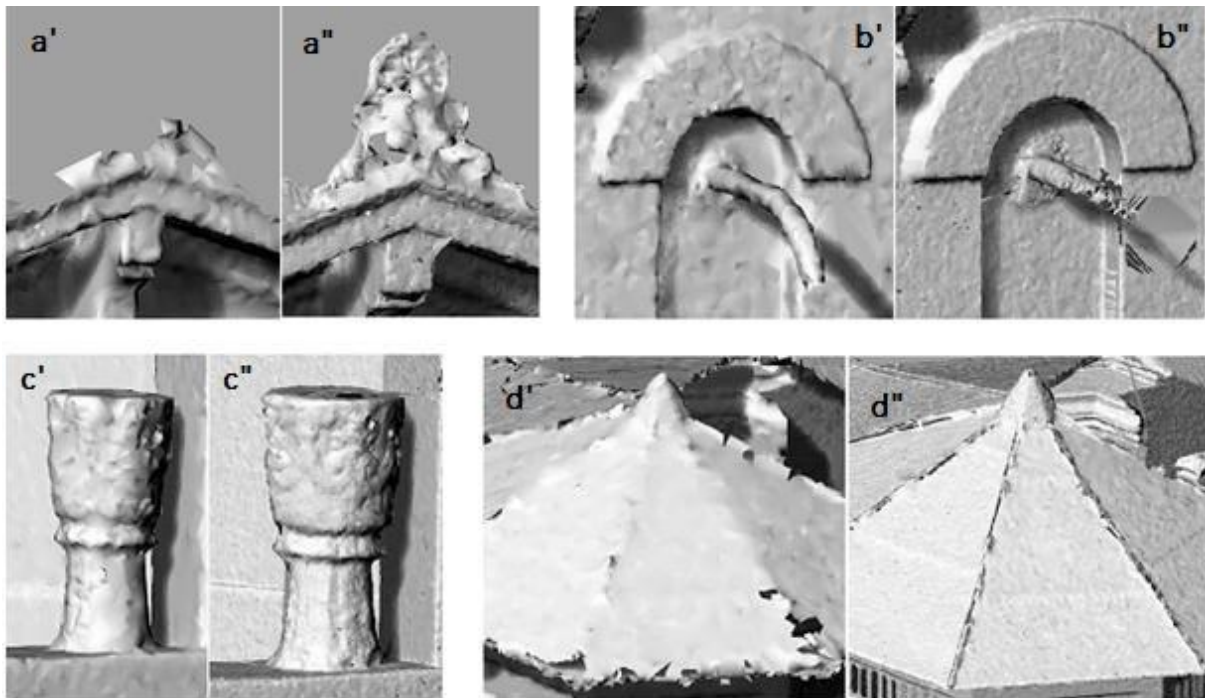
Ryc. 7. Chmura punktów po błędnej filtracji (źródło: opracowanie własne).



Ryc. 8. Chmura punktów po prawidłowej filtracji (źródło: opracowanie własne).



Ryc. 9. Przykład dokładności odwzorowania powierzchni walca w zależności od odległości skanowania. (I) pomierzone powierzchnie walca w odległościach A - 1 m (II) mapa odstępstw chmury punktów od walca A) średnia odstęp 1.1 mm (źródło: Markiewicz Zawieska, 2015).



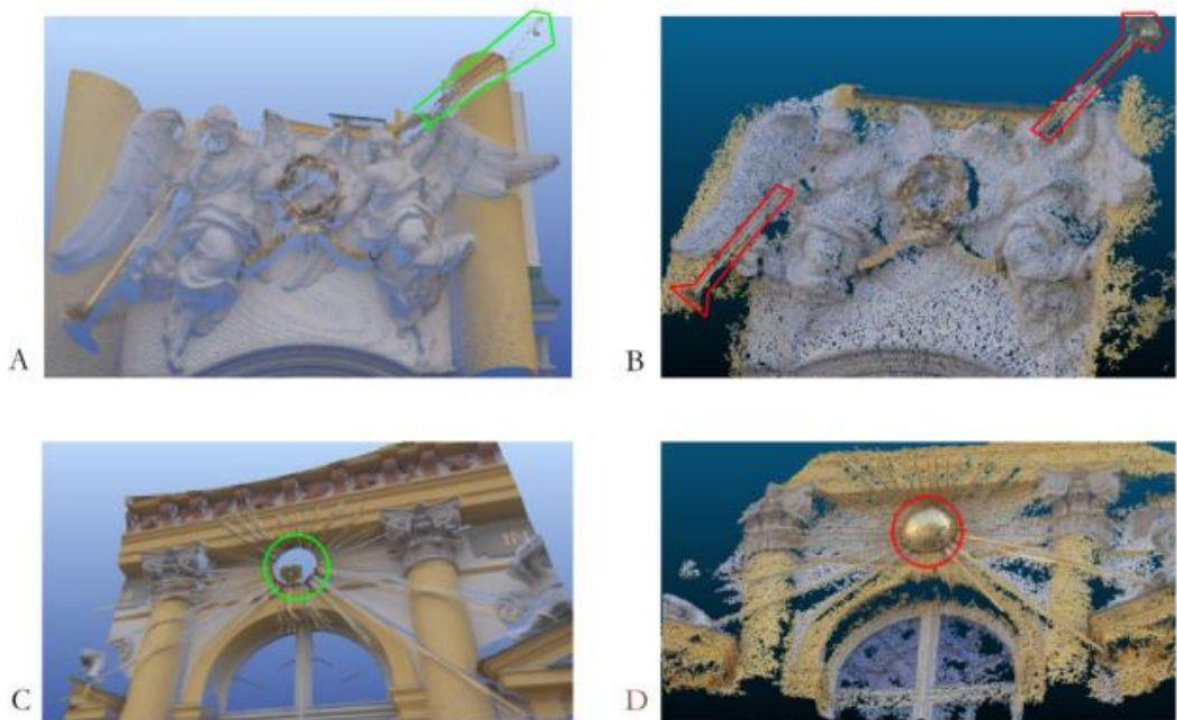
Ryc. 10. Przykłady błędnych (a', b', c', d') i prawidłowych (a'', b'', c'', d'') modeli 3D wybranych detali architektonicznych (źródło: Miśkiewicz, 2015).



Ryc. 11. Przykład prawidłowo wykonanego ortoobrazu (Źródło: GIS Wilanów).



Ryc. 12. Przykład błędnie wykonanego ortoobrazu. (Źródło: Markiewicz, Podlasiak, Zawieska, 2015).



Ryc. 13. Chmura punktów pozyskanych ze skaningu - A,C i obrazów cyfrowych - B,D. (Kolor zielony -brak danych w chmurze punktów, kolor czerwony - chmura punktów do uzupełnienia danych TLS)(źródło: Markiewicz, Zawieska, 2014).

Tematyka szkoleń

1. Kartografia, GIS, geoinformatyka
2. Fotogrametria, teledetekcja, skaning laserowy
3. Klasyczne pomiary geodezyjne
4. Pomiary GPS (GNSS), systemy nawigacyjne
5. Pomiary specjalistyczne (np. grawimetryczne, magnetyczne)
6. Infrastruktura Informacji Przestrzennej
7. Gospodarka przestrzenna, kataster
8. Prawo, standardy geodezyjne i kartograficzne
9. Szkolenia uzupełniające

[wszystkie](#)
Wykłady specjalne

Informacja o wykładach specjalnych

[wszystkie](#)

Szkolenia "szyte na miarę"

Zapisy na szkolenia w Akademii Geomatyki Praktycznej

We wrześniu ruszają pierwsze szkolenia w Akademii Geomatyki Praktycznej

[wszystkie](#)
Specyfika Akademii
O Akademii


Akademia Geomatyki Praktycznej - AGP powstała przy współudziale doświadczonych wykładowców akademickich Politechniki Warszawskiej Wydziału Geodezji i Kartografii oraz pracowników naukowych Instytutu Geodezji i Kartografii. Akademia ma na celu prowadzenie działalności w oparciu o opracowaną innowacyjną koncepcję szkoleń i treningów praktycznych uzupełniających wiedzę akademicką z zakresu szeroko rozumianej geomatyki (geodezja, kartografia, geoinformatyka, fotogrametria, teledetekcja itd.) oraz gospodarki przestrzennej.

Cele


Celem AGP jest prowadzenie działalności szkoleniowej mającej na względzie wzmocnienie potencjału i mobilności zawodowej uczestników szkoleń poprzez umożliwienie zdobywania konkretnych umiejętności praktycznych, zarówno przez młodych absolwentów, jak i doświadczonych pracowników zainteresowanych przekwalifikowaniem zawodowym lub rozszerzeniem swojej dotychczasowej działalności. Jednym z celów AGP jest również gromadzenie informacji na temat potrzeb w zakresie kształcenia zawodowego i akademickiego oraz wspieranie przedsiębiorczości o charakterze innowacyjnym. AGP powinno przyczyniać się do wzmocnienia i promocji branży geodezyjnej i kartograficznej w Polsce, w szczególności w województwie mazowieckim.

Ryc. 14. Strona internetowa „Akademii Geomatyki Praktycznej” Politechniki Warszawskiej. (Źródło: <http://www.agp.edu.pl>).



Ryc. 15. Kompozycja indywidualnego programu zdobywania umiejętności przez każdego uczestnika. (Źródło: <http://www.agp.edu.pl>).

**ABSTRAKTY ROZDZIAŁÓW
W JĘZYKU ANGIELSKIM**

ABSTRACTS OF THE CHAPTERS

Chapter 1

Rafał Zapłata

Zastosowanie naziemnego skanowania laserowego w dokumentacji zabytkowych fundamentów ratusza w Radomiu

The use of terrestrial laser scanning in the documentation of historical foundations of the town hall in Radom

Abstract: The text addresses issues connected with the use of the terrestrial laser scanning technology during archaeological-architectonic research. A sample object, for which the measurements and spatial data processing were carried out, is the historic town hall in Radom, Mazowieckie Voivodeship. The whole is geared towards discussing selected methodology issues connected to field work on the object *in situ*. The work was carried out within research conducted in 2014 by the firm Sp. z o. o. Rewitalizacja (Revitalisation?) from Radom, in cooperation with engineer Karol Cheda M.Sc. from Leica Geosystems. Preserved fragments (foundations) are most likely to be relics of the refurbished Gothic town hall whose origins date back to the 14th / 15th c. The Radom town hall was an enclosed quadrangular (rectangular) construction, probably three-floor high, topped with a gable roof.

Chapter 2

Jacek Krawiec, Klaudia Gergot, Rafał Zapłata

Hybrydowo i mobilnie - system laserowy łączący w sobie stacjonarny oraz kinematyczny sposób rejestracji danych a dobra kultury

Hybrid and mobile - laser system combining a stationary and kinematic data capture and cultural property

Abstract: The text presents the potential of hybrid and mobile laser system, geared towards activities connected to protection and inventorying of cultural heritage in Poland. Characteristics of the title technology is presented on the example of the RIEGL VMX Mobile Mapping System, which offers highly accurate, calibrated measurement (scanning) and imagery data which, combined with appropriate software supporting mobile laser scanning, meets the highest standards concerning precision and clarity of the captured data. The publication is aimed at determining potential areas of applying the technology to protect cultural property, particularly within the inshore zone, areas with high risk of landslide or flooding, as well as urban areas.

Chapter 3

Rafał Zapłata

Koncepcja wsparcia nieinwazyjnego badania zabytków na terenach leśnych w Polsce – system typu Personal Laser Scanning

The concept of support for the non-invasive research of monuments in forest areas in Poland - Personal Laser Scanning system

Abstract: The text is to present the concept of obtaining spatial data mostly in forested areas, using the mobile technology that will be discussed on the example of the Leica Pegasus: Back-

pack device applied in research and inventorying cultural heritage. The aim of the publication is showing the potential of the technology in the context of improved quality of the data e.g. acquired using the ALS technology and within the ISOK project in Poland, primarily for forested areas. The text consists of several significant sections: (1) introduction, (2) discussing the issue of investigating cultural heritage in forested areas, (3) a cross-sectional presentation of the mobile laser scanning technology - Personal Laser Scanning (PLS), (4) discussing the concept of applying the above mentioned technology for researching and inventorying monuments, and (5) a conclusion.

Chapter 4

Jan Niedzielko, Rafał Zapłata, Łukasz Sławik

Lotnicze zobrazowania hiperspektralne w ochronie dziedzictwa kulturowego.

Potencjalne obszary zastosowań w Polsce

Aerial hyperspectral imaging in the protection of cultural heritage. The potential of the applications in Poland

Abstract: The text presents the aerial hyperspectral imaging in reference to potential activities aimed at protecting cultural heritage. The purpose of the publication is primarily to draw attention to potential areas for applying hyperspectral scanning to researching and inventorying cultural property, such as: historic greenery complexes, archaeological or archaeological-architectonic monuments. The text is geared towards the application of the title technology in activities aimed at protecting cultural heritage in Poland, seeing e.g. the chance for integrating hyperspectral data with e.g. ALS-ISOK data that currently cover a significant part of the country. The text consists of three sections: the introduction, the cross-sectional discussion of technology (in the context of cultural heritage), and the conclusion in which research guidelines are presented, as well as requirements for using the hyperspectral scanning in reference to cultural heritage.

Chapter 5

Rafał Zapłata, Emilien Leonhardt

Dobra kultury i środowiska - nowe możliwości w dokumentacji i diagnostyce podczas badań terenowych – idea terenowego laboratorium

Cultural property and environmental protection - new possibilities the non-invasive diagnostic and documentation during field research - the idea of field laboratory

Abstract: The text is a kind of presentation-review and is a result of studies and test measurements conducted so far concerning the use of modern, non-invasive system for inspecting, examining and measuring historic objects, as well as bone relics. The material is a compilation of information related to the application of the digital micro- and macroscopic system, with particular emphasis on analysis and documentation during fieldwork of monuments *in situ*. The text consists of several significant sections: (1) an introduction, (2) a cross-sectional presentation of the digital, three-dimensional micro- and macroscopic Hirox Europe system, (3) a presentation of selected examples of measurements using the above mentioned technology, together with

determining the initial concept of a *field laboratory* geared towards cultural heritage examined *in situ*, and (4) the conclusion. The whole constitutes a cross-sectional compilation of examples and possibilities of using the discussed technology, particularly in the area of protection of cultural and environmental heritage in Poland.

Chapter 6

Dorota Zawieska, Jakub Markiewicz

Podwyższyć umiejętności i kompetencje – „Akademia Geomatyki Praktycznej”
a dziedzictwo kulturowe

Increasing skills and competences - "Academy of Practical Geomatics" and the
Cultural Heritage

Abstract: APG Faculty of Geodesy and Cartography - AGP was created in cooperation with experienced academic lecturers from the Warsaw University of Technology, Faculty of Geodesy and Cartography, as well as research workers of the Institute of Geodesy and Cartography. The Academy aims at running activities based on a worked-out innovative concept of courses and practical training supplementing academic knowledge concerning broadly understood geomatics (geodesy, cartography, geoinformatics, photogrammetry, tele-detection etc.) and land management. The purpose of AGP is running training courses which would allow for acquiring concrete practical skills, both by young graduates and experienced workers interested in professional retraining or broadening their knowledge. One of the aims of the AGP is also collecting information about the needs concerning vocational and academic education, and supporting innovative enterprises. Conducted training courses and workshops are of practical use and allow for applying geodetic and photogrammetric measurement techniques in many fields of economy, particularly those associated with cultural heritage protection.

Translated by Violetta Marzec

ANEKS

PROGRAM KONFERENCJI

PROGRAM KONFERENCJI

„Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń”, Warszawa 24 listopada 2015 r.

PROGRAMME OF THE CONFERENCE

“Digitalisation in sciences concerning the past and monument protection – analysis of potential and threats”, Warsaw 24 November 2015

Wtorek, 24 listopada 2015 r.

8:30-9:00 REJESTRACJA

SESJA I

9:00-10:00

Otwarcie konferencji i powitanie Gości

Jego Magnificencja Rektor UKSW - ks. prof. dr hab. Stanisław Dziekoński

Przedstawiciele władz dziekańskich i instytutowych WNHIS UKSW

Przedstawiciele Patronów Honorowych

dr Rafał Zapłata - *Wprowadzenie do problematyki konferencji*

ks. prof. dr hab. Stanisław Dziekoński – Rektor UKSW - *Centrum Technologii Informacyjnych Nauk Humanistyczno-Społecznych UKSW - kolejny krok w drodze do Nowoczesnego Uniwersytetu Przyszłości*

10:00 – 12:20

Digitalizacja zasobów kulturowych – polityka, strategie i interdyscyplinarne inicjatywy

Moderator: prof. UKSW dr hab. Jakub Lewicki

10:00-10:20 / prof. UMCS dr hab. Andrzej Radomski - *Wizualne analizy, Interaktywne narracje*

10:20-10:40 / dr hab. Marek Słoń - *Słowo jako nośnik tożsamości, indeksy i bazy danych*

10:40-11:00 / Alicja de Rosset - *Strategia digitalizacji zasobów muzealnych realizowana przez NIMOZ*

11:00-11:20 / mgr Arkadiusz Kołodziej - *Kierunki działania Narodowego Instytutu Dziedzictwa w zakresie prowadzonych projektów digitalizacji danych o zabytkach*

11:20-11:35 / prof. PŁ dr hab. inż. arch. Bartosz Walczak, dr hab. inż. arch. Anetta Kępczyńska-Walczak - *Cyfrowe zasoby wiedzy o zabytkach teoria i codzienna praktyka*

11:35-11:55 / dr Agnieszka Oniszczyk - *Polityka europejska, cyfryzacja i dziedzictwo kulturowe*

11:55-12:15 / SPONSOR – HIROX EUROPE

PRZERWA OBIADOWA / 12:15 – 13:00

SESJA II

13:00 – 16:00

Cyfryzacja a diagnostyka, inwentaryzacja i badanie dziedzictwa kulturowego

Moderator: dr Rafał Zapłata

13:00-13:20 / SPONSOR – Leica Geosystems

13:20-13:35 / mgr Karol Czajkowski - *Inwentaryzacja stanu istniejącego zabytków architektury. Metody opracowania i publikowania danych pozyskanych wybranymi metodami rejestracji cyfrowej*

13:35-13:55 / dr inż. Cezary Źrodowski - *Skanowanie laserowe w środowisku wodnym*

13:55-14:15 / prof. PW dr hab. inż. Dorota Zawieska, mgr inż. Jakub Markiewicz - *Wykorzystanie nowoczesnych technik fotogrametrycznych w inwentaryzacji zabytkowych obiektów dziedzictwa kultury - potencjał i ograniczenia*

14:15-14:30 / SPONSOR – MGGP Aero

14:30-14:45 / mgr inż. Jakub Markiewicz, dr inż. Michał Kowalczyk - *Tanie systemy fotogrametryczne w inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego - możliwości i ograniczenia*

14:45-15:05 / mgr inż. Jacek Uchański, mgr inż. Piotr Falkowski - *Naziemny skaning laserowy w inwentaryzacji obiektów zabytkowych w praktyce Warszawskiego Przedsiębiorstwa Geodezyjnego S.A.*

15:05-15:20 / prof. UR dr hab. inż. Piotr Wężyk, mgr inż. Marta Bura - *Cyfrowa Piramida Fahrenheida*

15:20-15:40 / prof. UR dr hab. inż. Piotr Wężyk, mgr Karolina Zięba, mgr Jarosław Wójcik - *Twierdza 3D. Wsparcie procesu inwentaryzacji i rewaloryzacji architektury militarnej technologiami ALS oraz TLS*

15:40-16:00 / SPONSOR - Gispro

PRZERWA KAWOWA

16:00-16:30

SESJA POSTEROWA

16:00-16:30

SESJA IV

Różne wymiary nowych technologii w relacji ze społeczeństwem: muzea, archiwa, bazy danych ...

16:30-18:00

Moderator: dr hab. Małgorzata Wrześniak

16:30-16:45 / SPONSOR

16:45-17:05 / dr Mirosław Borusiewicz, dr hab. Małgorzata Wrześniak - *Multimedia a muzeum*

17:05-17:25 / mgr Joanna Zętar - *Projekt „Lublin 2.0” jako nowoczesna forma prezentacji przeszłości*

17:25-17:40 / mgr Marianna Otmianowska, mgr Marek Płuciniczak - *Multimedia w działaniach edukacyjnych w Muzeum Narodowym w Warszawie - szanse i zagrożenia*

17:40-17:55 / mgr inż. arch. Mateusz Pankiewicz - *Kiedy rekonstrukcja jest rekonstrukcją – silniki graficzne w procesie digitalizacji dziedzictwa kulturowego*

17:55-18:10 / mgr Mirosław Trojacki - *Baza danych geoprzestrzennych o zabytkach Polski. Osiągnięte rezultaty i kierunki dalszych prac*

18:10-18:30 / mgr Marcin Franciszek Rdzak - *Czy archiwum w dobie cyfrowej jest jeszcze potrzebne*

18:30-18:45 / Mgr Jerzy Czerniec - *Wybrane zastosowania narzędzi geoinformatycznych w aspekcie analiz zasobów AZP*

18:45-18:55 / mgr Agnieszka Jaskanis - *Cyfrowe zbiory Państwowego Muzeum Archeologicznego w Warszawie. Problematyka udostępniania na stornach www cyfrowej dokumentacji naukowej ze zbiorów muzeum*

DYSKUSJA I ZAMKNIĘCIE KONFERENCJI

WYDARZENIA TOWARZYSZĄCE KONFERENCJI - WYSTAWY

Wystawa w technologii VR - prezentacja ideowych projektów architektonicznych w skali 1:1 „Architecture into Virtuality™”

Laka Architektura i 4Experience - Godz. 9:00-16:30 / Budynek Auditorium Maximum, ul. Wóycickiego 1/3, Warszawa

Wystawa Mazowieckiego Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków

„Fotogrametria w Ochronie Zabytków”

Godz. 9:00-18:00 / Budynek Auditorium Maximum, ul. Wóycickiego 1/3, Warszawa

FOTORELACJA

FOTORELACJA

Konferencja „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń” oraz wydarzenia i wystawy towarzyszące: „Architecture into Virtuality™” i „Fotogrametria w Ochronie Zabytków”.

Warszawa, 24 listopada 2015 r.

Conference "Digitalisation in sciences concerning the past and monument protection - analysis of potential and threats" and the exhibitions accompanying the event: "Architecture into Virtuality™" and "Photogrammetry in the Protection of Monuments."

Rafał Zapłata

Zakład Konserwacji Zabytków i Ochrony Krajobrazu, Instytut Historii Sztuki, Wydział Nauk Historycznych i Społecznych, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie
rafalzaplata@poczta.onet.pl

Autorzy fotografii: Koło Naukowe Ochrony Dóbr Kultury i Środowiska "Hereditas" UKSW - Ewa Marczevska, Jan Rosiak, Marta Oleander, Marta Łuba, Weronika Paluch oraz Rafał Zapłata (UKSW).

Ogólnopolska konferencja naukowa pt. „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków – analiza potencjału i zagrożeń”. Organizator: Instytut Historii Sztuki, Wydział Nauk Historycznych i Społecznych, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie. Miejsce konferencji: Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie - Aula im. R. Schumana przy ul. Wóycickiego 1/3. Termin: 24 listopada 2015 r..

Wystawa w technologii VR - prezentacja ideowych projektów architektonicznych w skali 1:1. „Architecture into Virtuality™”. Przygotowanie: Laka Architektura i 4Experience. Termin: 24 listopada 2015 r., godz. 9:00-16:30. Miejsce wystawy: Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, budynek Auditorium Maximum, ul. Wóycickiego 1/3, Warszawa. Wydarzenie towarzyszące konferencji.

Wystawa Mazowieckiego Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków „Fotogrametria w Ochronie Zabytków”. Przygotowanie: Mazowiecki Wojewódzki Konserwator Zabytków oraz Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska. Opracowanie: Mariusz Wiśniewski i Wojciech Ostrowski. Termin: 24 listopada 2015 r., godz. 9:00-16:30. Miejsce wystawy: Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, budynek Auditorium Maximum, ul. Wóycickiego 1/3, Warszawa. Wydarzenie towarzyszące konferencji.



Godło UKSW na budynku Wydziału Nauk Historycznych i Społecznych Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie.



Budynek Auditorium Maximum Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie – miejsce obrad konferencyjnych przy ul. Wóycickiego 1/3.



Jego Magnificencja Rektor Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie ks. prof. dr hab. Stanisław Dziekoński (po prawej) oraz Kanclerz Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie mgr Mariusz Wielec (po lewej) podczas otwarcia konferencji.



Wystąpienie podczas sesji otwierającej konferencję Zastępcy Dyrektora Narodowego Instytutu Dziedzictwa Pan Mariusz Czuba.



Dziekan Wydziału Nauk Historycznych i Społecznych Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie – dr hab. Tadeusz Kamiński podczas powitania Gości (po lewej). Prof. dr hab. Jakub Lewicki – członek komitetu naukowego konferencji podczas sesji „Digitalizacja zasobów kulturowych – polityka, strategie i interdyscyplinarne inicjatywy” (w środku). Dr hab. Małgorzata Wrześniak – członek komitetu naukowego podczas sesji „Różne wymiary nowych technologii w relacji ze społeczeństwem: muzea, archiwa, bazy danych ...” (po prawej).



Uczestnicy konferencji podczas obrad.



OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA NAUKOWA POD PATRONATEM
Jego Magnificencji Rektora UKSW w Warszawie Ks. prof. dr. hab. Stanisława Dziekońskiego
Narodowego Instytutu Dziedzictwa
Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów
Fundacji HEREDITAS



SPONSORZY KONFERENCJI



ORGANIZATOR KONFERENCJI

Instytut Historii Sztuki
Wydział Nauk Historycznych i Społecznych
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie
Miejsce konferencji:
ul. Wóycickiego 1/3 w Warszawie
Aula im. Roberta Schumana, Auditorium Maximum
<http://www.ihs.uksw.edu.pl/node/302>

PATRONAT MEDIALNY KONFERENCJI



Plakat konferencji „Cyfryzacja w naukach o przeszłości i ochronie zabytków”



Prezentacja informacji o sponsorach podczas konferencji w Auli Schumana UKSW w Warszawie.



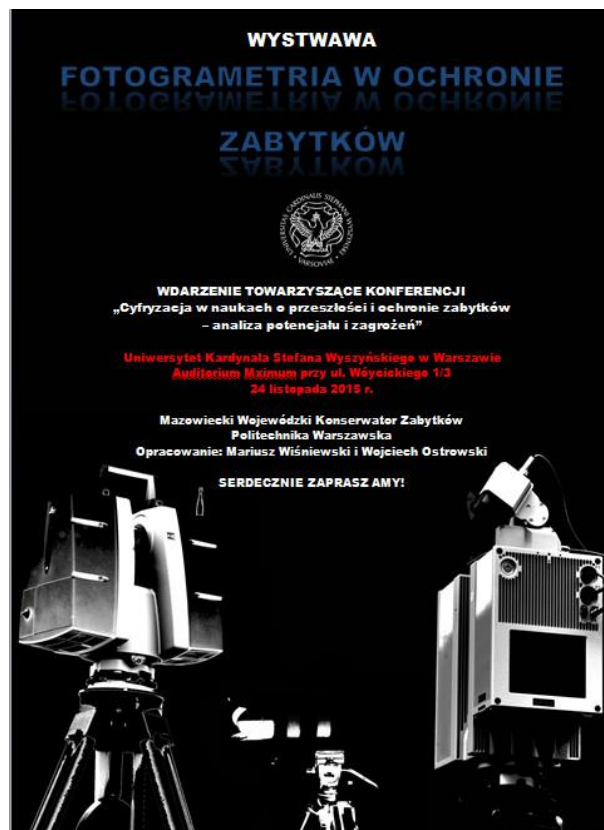
Stoisko sponsora konferencji Leica Geosystems (po lewej), Pan Waldemar Kubisz z Leica Geosystems podczas prezentacji sponsorskiej podczas obrad konferencyjnych.



Prezentacja sponsorska podczas obrad konferencyjnych – HIROX Europe – Pan Nordin Trobradovic.



Mikroskop HIROX Europe podczas testowych pomiarów i prezentacji na stosiku sponsorskim - Pan Nordin Trobradovic.



Plakat wystawy „Fotogrametria w Ochronie Zabytków”.



Wystawa „Fotogrametria w Ochronie Zabytków” podczas konferencji.



Wystawa „Fotogrametria w Ochronie Zabytków” podczas konferencji.



Plakat wystawy „Architecture into Virtuality™” (po lewej), zwiedzający wystawę (w środku) oraz plakat 4Experience.



Zwiedzający wystawę „Architecture into Virtuality™”



Zwiedzający wystawę „Architecture into Virtuality™” – przewodniczący komitetu naukowego i organizacyjnego – dr Rafał Zapłata.



Sesja posterowa konferencji.



Sesja posterowa konferencji.



Sesja posterowa konferencji.



Sesja posterowa konferencji.

