

Pomiar, inwentaryzacja i diagnostyka drewnianej architektury wernakularnej - wybrane zagadnienia zastosowania technologii skanowania naziemnego

Rafał Zapłata

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

Streszczenie: Ochrona, konserwacja i utrzymanie zabytkowej architektury drewnianej wymaga szeregu działań, spośród których znaczącą rolę odgrywają zagadnienia pomiaru i diagnostyki obiektów. Współczesne technologie, w tym pojawiające się narzędzia fotogrametryczne - skanujące, oferują nowe rozwiązania w tym zakresie, stanowiąc zarazem potencjał, który warto wykorzystać w działaniach na rzecz drewnianej architektury wernakularnej. Celem artykułu jest omówienie podstawowych zagadnień związanych z zastosowaniem technologii skanowania, zwłaszcza skanowania laserowego, w pomiarze, inwentaryzacji i diagnostyce drewnianej architektury wernakularnej. Problematyka jest prezentowana na wybranych przykładach obiektów zabytkowych, celem zilustrowania i przedyskutowania zagadnień metodycznych, z ukierunkowaniem na wskazanie potencjalnych rozwiązań inwentaryzacyjno-analitycznych. Artykuł skupia się wokół następujących zagadnień: (1) skanowanie zabytkowej architektury drewnianej jako element procesów digitalizacyjnych (mikroskopia 3D, ramiona skanujące, skanowanie strukturalne, skanowanie geodezyjne); (2) wyzwania i problemy; (3) zalecenia i wskazania w zakresie działań inwentaryzacyjnych z zastosowaniem nowoczesnych technologii pomiarowych. W końcowej części artykułu prezentowane są wnioski oraz postulaty badawcze na przyszłość w zakresie stosowania technik skanowania w odniesieniu do zabytkowej architektury drewnianej.

Słowa kluczowe: drewniana architektura wernakularna, metody nieinwazyjne, skanowanie, inwentaryzacja, analiza.

1. Wprowadzenie – skanowanie i zabytki

Celem artykułu jest przekrojowe zaprezentowanie technologii skanowania, z ukierunkowaniem na zagadnienia związane z drewnianą architekturą wernakularną. Pośrednim celem tekstu jest zwrócenie uwagi na potencjał omawianej technologii, ze szczególnym podkreśleniem nowych możliwości diagnostyczno-analitycznych zabytków. Artykuł jest również próbą przedstawienia zarysów koncepcji zintegrowanego wsparcia procesu diagnostyczno-pomiarowego drewnianej architektury wernakularnej, którego elementem przewodnim jest technologia skanowania, taktowana jako proces pozyskiwania danych cyfrowych o obiektach, wraz z procedurami przetwarzania wygenerowanego zasobu. W tekście problematyka skanowania jest omawiana, poprzez położenie nacisku przede wszystkim na naziemne skanowanie laserowe – akronim NSL (ang. *Terrestrial Laser*

Scanning – akronim TLS), a więc pomiar oparty na tzw. skanerach geodezyjnych, który w dokumentacji i pomiarze całych obiektów, staje się jedną z powszechniejszych obecnie metod inwentaryzacyjno-badawczych. Artykuł stanowi kolejną publikację, która wpisuje się w nurt propagowania idei inwentaryzacji zabytków architektury za pośrednictwem NSL. Zamieszczony w tekście materiał ilustracyjny, stanowi uzupełnienie części opisowej, z jednoczesnym ukazaniem złożoności powierzchni i konstrukcji drewnianej architektury wernakularnej, której dokładna, trójwymiarowa dokumentacja inwentaryzacyjno-pomiarowa możliwa jest przy zastosowaniu nowoczesnych technologii pomiarowych (fotogrametrycznych), do jakich zaliczamy skanowanie naziemne.

Pod pojęciem technologii skanowania naziemnego, na potrzeby poniższego tekstu, należy rozumieć przede wszystkim techniki umożliwiające wykonanie bezdotykowej, nieinwazyjnej rejestracji przestrzennej geometrii obiektów drewnianych. W związku z powyższym zaproponowana charakterystyka obejmować będzie narzędzia, które umożliwiają: (1) pomiar i inwentaryzację obiektów, wraz z ich kontekstem (naziemne skanowanie laserowe - NSL); (2) wsparcie w procesach diagnostyczno-analitycznych stanu zachowania obiektów zabytkowych (NSL, a także rejestracja przestrzenna i obrazowa w skali mikro, czyli skanowanie bliskiego zasięgu (np. światłem strukturalnym), skanowanie ramionami skanującymi, a także rejestracja w oparciu o mikroskopię 3D).

Tak dobrany zestaw omawianych technik, jest efektem zestawienia najnowszych urządzeń w zakresie rejestracji geometrii obiektów zabytkowych, którą można wykonać podczas prac terenowych *in situ*, co stanowiło zasadnicze kryterium doboru opisywanych technologii i proponowanej koncepcji zintegrowanego procesu wsparcia praca dokumentacyjno-diagnostycznych.¹

2. Technologia skanowania a architektura wernakularna

Architektura wernakularna, zwłaszcza zabytkowa jest przedmiotem licznych działań (np. [1-10]), u podstaw których (1) z jednej strony stoją pytania badawcze (dotyczące historii budynków, technik konstrukcyjnych, funkcji obiektów itd.), a także potrzeby natury ochronnej i konserwatorskiej, a (2) z drugiej strony nowe technologie, stające się asumptem do określania nowych kierunków badań, do których należy zaliczyć nieustannie rozbudowywane narzędzia skanowania. Idea pomiaru bryły czy powierzchni zabytków architektury drewnianej nie jest niczym nowym, a wręcz od zawsze pożądanym i oczekiwanym. Niestety wiele z dotychczasowych metod nie umożliwiało w tak szybki, bezdotykowy i dokładny sposób pomiarów zabytków, do tego z dokładnością rzędu mikrometrów, a nawet i większą. Ta technologiczna zmiana w odniesieniu do urządzeń pomiarowych, nie pozostaje bez znaczenia we współczesnym sposobie planowania i prowadzenia prac dokumentacyjno-analitycznych zabytków architektury drewnianej *in situ*. Zastosowanie

¹ Dobór omawianych technologii do potrzeb prac inwentaryzacyjno-analitycznych, a tym samym tworzenie koncepcji zintegrowanego wsparcia procesu diagnostyczno-pomiarowego są efektem dotychczas wykonanych pomiarów i analiz sprzętu. Zaproponowane zestawienie urządzeń i działań na nich opartych przy obiektach architektury drewnianej *in situ*, nie stanowi zbioru zamkniętego (i tym samym nie wyczerpuje dostępnego na rynku potencjału technologicznego), a jedynie pewną koncepcyjną, torującą drogę do dalszych działań na rzecz rozbudowy warsztatu inwentaryzacyjno-diagnostycznego, opartego na współczesnych narzędziach fotogrametrii naziemnej. Celem tak określonego działania jest z jednej strony zwrócenie uwagi środowisk badawczo-konserwatorskich na rodzący się potencjał technologiczny, z drugiej strony uwrażliwienie środowisk fotogrametrów i producentów sprzętu na szanse aplikowania omawianych technologii w kolejnych sektorach i dyscyplinach.

NSL w odniesieniu do obiektów drewnianej architektury wernakularnej, charakteryzuje wiele podobieństw z obiektami murowanymi, jednak specyfika obiektów należących do tytułowej grupy, skłania do oddzielnego potraktowania tego zagadnienia.



Ryc. 1. Przykład drewnianej architektury wernakularnej. Chałupa z Kłonówka, gm. Gózd, pow. radomski – 1825 r.. Muzeum Wsi Radomskiej [Fot. R. Zapłata]



Ryc. 2. Przykład złożonych geometrycznie elementów konstrukcyjnych (po lewej) i zróżnicowanych powierzchni budynków drewnianych – elementy o dużym stopniu trudności dla tradycyjnej inwentaryzacji pomiarowo-rysunkowej. Muzeum Wsi Kieleckiej (po lewej) oraz Muzeum Wsi Radomskiej (po prawej). [Fot. R. Zapłata]



Ryc. 3. Przykład pokrycia dachowego (olejarnia z poł XX w.) – dach dwupołaciowy pokryty gontem. Przykład powierzchni ‘trudnej’ w dokumentacji tradycyjnej - zróżnicowana forma, zanieczyszczona, o niejednorodnej fakturze. Muzeum Wsi Radomskiej. [Fot. R. Zapłata]

Drewniana architektura wernakularna – czyli architektura bez architekta [11], zazwyczaj pozbawiona dokumentacji projektowej, jakkolwiek by ją rozumieć, obciążona była licznymi działaniami, które znalazły jedyny swój zapis i ślad w tym, co stanowi efekt końcowy prac ciesielskich, stolarskich itp.. To co różni zasadniczo omawianą grupę obiektów od innych, zaliczanych do dziedzictwa kulturowego, to m.in. sam (1) surowiec, jak i (2) charakterystyczne konstrukcje oraz (3) techniki przygotowania, wykańczania czy obróbki drewna, a także (4) charakterystyczne procesy destrukcyjne [12]. Te cechy nie pozostają bez znaczenia w wyróżnieniu tej grupy obiektów spośród wszystkich, które można analizować i inwentaryzować na podstawie skanowania. Technologia skanowania laserowego pozwala przede wszystkim pozyskiwać dane przestrzenne dotyczące geometrii obiektu, jak również rejestrować parametry, które mogą mieć przynajmniej uzupełniające znaczenie w procesach diagnostycznych zabytków, zwłaszcza drewnianych. Wspomniana specyfika zabytków drewnianych, która skłania do włączenia w proces badawczo-konserwatorski technologii skanowania, a odnosząca się do zagadnień obróbki i przygotowania surowca, ma szansę na dodatkową analizę, z ukierunkowaniem w stronę nowoczesnej traseologii [szerzej dalej]. W pracach inwentaryzacyjnych, poza procesem dokumentacyjno-pomiarowym pozostaje wiele danych m.in. z uwagi na wymaganą skalę w procesie inwentaryzacyjnym, specyfikę tradycyjnych przyrządów pomiarowych oraz przyjęty sposób zapisu dokumentacyjnego. Do tych danych można zaliczyć wszelkiego rodzaju ślady pozostawione na powierzchni obrabianych elementów konstrukcji drewnianych przez narzędzia ciesielskie [13].

Podczas prac inwentaryzacyjno-analitycznych przy obiektach architektury drewnianej *in situ*, obecnie można wyróżnić działania sięgające po urządzenia rejestrujące geometrię obiektów², które na potrzeby niniejszego tekstu podzielimy na 4 grupy, wyróżniane wg czterech następujących rodzajów urządzeń naziemnych: (1) mikroskopów 3D; (2) ramion skanujących; (3) skanerów optycznych oraz (4) naziemnych skanerów laserowych (geode-

² Rejestracji i odtwarzania geometrii obiektów umożliwia również technika fotogrametrii, bazująca na obrazach nieciągłych i ciągłych, która z uwagi na charakter i zakres artykułu, pozostaje poza omówieniem w ramach poniższego tekstu.

zynnych)³. Połączenie ww. technik stwarza szansę na zintegrowane pozyskiwanie danych podczas prac *in situ* (od skali mikro od makro obiektu). Ich zastosowanie umożliwia prace dokumentacyjno-analityczne, o zróżnicowanym charakterze, odpowiednim dla wielkości danego rodzaju elementów konstrukcyjnych, a także adekwatnym do powstałych śladów minionych działań czy postępujących zniszczeń.

I tak współczesne mikroskopy 3D umożliwia rejestrację obrazową, a następnie przestrzenną w takiej skali, w której obserwujemy powierzchnię zabytków, a także powstające w nim zmiany (np. spękania) z kilkutyśiącym powiększeniem. Efekt destrukcji nie tylko jest uchwytany obrazowo, ale i pomiarowo (ryc. 11) (szerzej materiały – www.hirox-europe.com).

Kolejne z urządzeń wpisujących się w współczesny zestaw narzędziowy to skanery optyczne, a zwłaszcza skanery pracujące na bazie światła strukturalnego, które umożliwiają pracę bezpośrednio przy obiektach w terenie, rejestrując geometrie obiektu z dokładnościami rzędu mikrometrów. Podobnie jak mikroskopy 3D, ta grupa urządzeń stwarza możliwość pomiaru powierzchni i analizowania śladów oraz zmian zachodzących na powierzchni zabytków *in situ* [14, 15, 16].



Ryc. 4. Fotografie poglądowe z pomiarów wykonanych przy drewnianej architekturze wernakularnej – pomiary skanerem Zoller + Fröhlich IMAGER 5010C. W tle „dom pogrzebowy” kryty gontem oraz połać dachowa dawnej karczmy z 1830 r. (gont). Skansen w Dobczycach. [Fot. R. Zapłata]

Ramiona pomiarowe - skanujące zaliczamy również do grupy urządzeń, dzięki którym możliwa jest rejestracja powierzchni z dużą dokładnością, rzędu $\pm 25\mu\text{m}$. Zasadnicza różnica (poza samą technologią generowania danych przestrzennych) w stosunku do pierwszej kategorii urządzeń (mikroskopów) polega na braku rejestracji obrazu [17].

Ostatnia grupa to urządzenia określane jako naziemne skanery laserowe, dzięki którym otrzymujemy: (1) pomiar przestrzenny punktów (XYZ), (2) wartość RGB, (3) rejestrację odbić promienia lasera oraz (4) parametr intensywności (wartość radiometryczną – podawaną w skali szarości w jednostkach niemianowanych) [15, 18, 19, 20]. NSL to najogólniej wyznaczanie położenia przestrzennego elementów wektorowych, rejestrują-

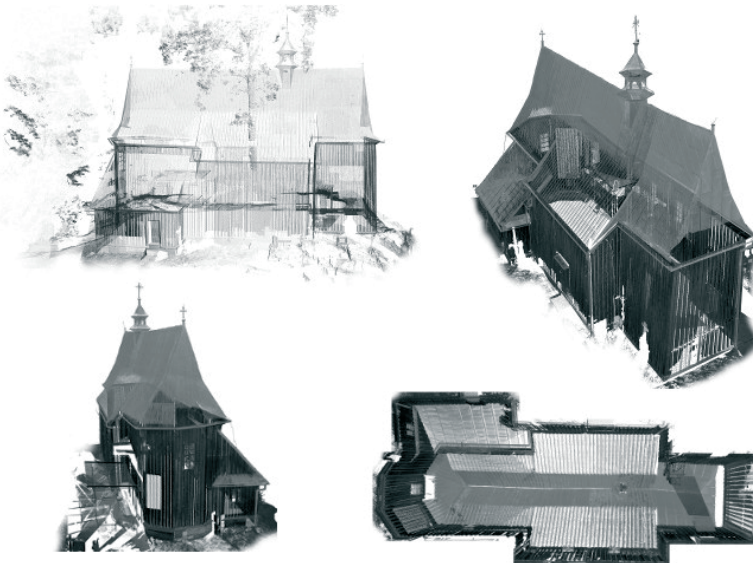
³ W literaturze przedmiotu przyjmuje się podział technik skanowania wg technologii, na jakiej oparte jest działanie poszczególnych urządzeń. To kryterium nie jest jednak zasadnicze dla poniższego tekstu, a obszerna literatura przedmiotu zwalnia autora z szczegółowego omawiania tych zagadnień – patrz np.: [13].

cych geometrię mierzonego obiektu, z przypisaniem im wartości radiometrycznych. Mierzone i zapisywane wartości to „punkty o współrzędnych przestrzennych XYZ tworzące tzw. chmurę punktów lub wygenerowane trójkąty w postaci sieci nieregularnej (ang. TIN – triangular irregular net) opisujące kształt mierzonej powierzchni. (...). Oprócz pomiaru położenia punktu, skanery posiadają możliwość rejestracji odcienia szarości lub koloru i przypisywania go właściwemu punktowi chmury” [15].

Tak dobrane urządzenia stwarzają obecnie możliwość zintegrowanego pomiaru i analizowania zabytkowych obiektów drewnianych, począwszy od najmniejszej skali – mikro (μm) do skali makro (rozróżnienie przyjęte dla potrzeb poniższego tekstu), odpowiadającej dokumentacji bryły obiektów, wraz z otoczeniem, z dokładnością centymetrową czy milimetrową.

2.1. Inwentaryzacja, dokumentacja i pomiar

Nieinwazyjność, bezdotykowość i dokładność, to cechy często przywoływane przy charakteryzowaniu skanowania zabytkowej architektury. Naziemne skanowanie laserowe, połączone z rejestracją fotograficzną, pomiarem termograficznym itp., stanowią obecnie rozbudowany system działań na rzecz inwentaryzacji i analizy obiektów zabytkowych. W Polsce przykładem tego typu prac jest wiele wykonanych dokumentacji inwentaryzacyjno-pomiarowych, które objęły również swym zasięgiem drewnianą architekturę wernakularną. Odsyłając czytelnika do przywoływanej w tekście literatury przedmiotu na temat procedury i metodyki skanowania laserowego, w poniższym artykule jedynie zasygnalizujemy kilka zagadnień związanych z inwentaryzacją, NSL i zabytkami. NSL w procesie inwentaryzacyjnym przede wszystkim służy rejestracji geometrii obiektów, a następnie przetwarzaniu pozyskanych danych do postaci modeli bryłowych, wektorowych, a dalej tworzenia planów, rzutów aksonometrycznych czy przekrojów obiektów (ryc. 5).



Ryc. 5. Wizualizacje modeli cyfrowych (chmura punktów) Kościoła Nawiedzenia Najświętszej Marii Panny w Iwkowej z XV w. jednonawowy, konstrukcji zrębowej - pow. brzeski, woj. małopolskie. Widok od NE (u góry / po lewej), widok z SE (u góry / po prawej), widok od NW (u dołu / po lewej), widok od wew. – konstrukcja dachowa). [Pomiar: Leica Geosystems / oprac R. Zapłata]

NSL wprowadza dodatkowy element w pracach inwentaryzacyjnych, mianowicie quasi-ciągłą rejestrację trójwymiarową złożonych elementów konstrukcji, trudnych do przedstawienia i zadokumentowania w tradycyjnej formie (np. konstrukcje o zakrzywionej powierzchni – sklepienia). Skanowanie oraz współczesne techniki fotogrametryczne umożliwiają także uchwycenie licznych detali i szczegółów konstrukcyjnych, w tym rejestrację (1) odchyleń (np. kilkustopniowych, na niewielkich długościach poszczególnych elementów konstrukcyjnych – ryc. 2), (2) zachowanych, naturalnych form ukształtowania surowca (np. naturalne nierówności – ryc. 9) itp., a także (3) elementów stanowiących zachowane i wyeksponowane wady drewna [szerzej dalej].

Oddzielnym (aczkolwiek bezpośrednio związanym z nowoczesną dokumentacją) zagadnieniem jest badanie obiektów wernakularnych podczas badań archeologicznych czy archeologiczno-architektonicznych. Specyfika zachowania elementów zabudowy wernakularnej, zwłaszcza tych elementów, które odsłaniane są podczas badań archeologicznych, zmusza zazwyczaj do badania *in situ* i ich destrukcyjnego eksplorowania – szczątkowo zachowanych, często w stanie rozkładu elementów. I tutaj również z dużym powodzeniem technologia skanowania - rejestracji trójwymiarowej, znajduje swoje zastosowanie. Zniszczone, drewniane fragmenty rzadko mogą być w całości (zgodnie z pierwotnym kształtem i umiejscowieniem) pozyskane z obszaru badań – miejsca zalegania. Stan zachowania zmusza do ich stopniowego i częściowego wydobycia, a dokumentacja rysunkowo-fotograficzna, jedynie w pewnym stopniu umożliwia rejestrację przestrzenną badanych obiektów. Rozwiązaniem dla tego typu sytuacji jest naziemne skanowanie. Dokładność jaką oferują współczesne technologie, pozwala na rejestrację zalegających elementów, a wygenerowane dane cyfrowe, mogą być podstawą w dalszym (wirtualnym) procesie rekonstrukcyjno-konserwatorskim.



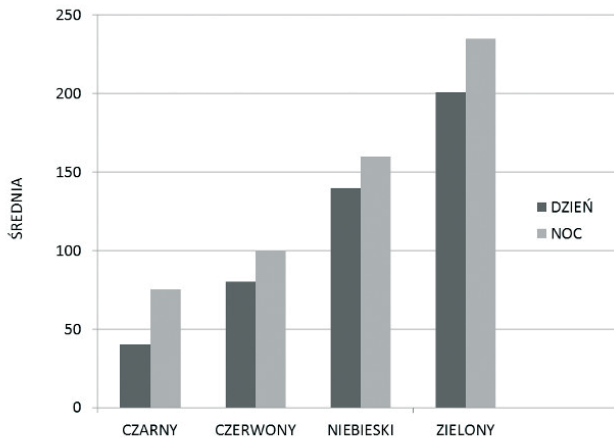
Ryc. 6. Przykładowe pozostałości zniszczonej (i spalonej) konstrukcji pochodzącej z zabudowy drewnianej z okresu średniowiecza. Radom, stan. 1. [Fot. R. Zapłata].

2.2. Diagnostyka drewnianej architektury wernakularnej

Potencjał diagnostyczno-analityczny omawianych technologii, a więc kolejny aspekt tytułowego zagadnienia, należy rozpatrywać dwutorowo. Po pierwsze – dane cyfrowe (przestrzenne) są podstawą wykonywania dalszych przetworzeń, które służą generowaniu np. modeli wektorowych, bryłowych, a następnie analizowaniu stanu zachowania obiektów, w tym m.in. statyki, destrukcji itp. Po drugie – zasób cyfrowy to również zbiór danych nieprzestrzennych, które umożliwiają analizę obiektów pod kątem zróżnicowania np. powierzchniowego, będącego pochodną procesów zachodzących na zewnątrz (mikroorganizmy itp.), jak i wewnątrz substancji zabytkowej (np. wilgoć).

Analiza konstrukcji w oparciu o dane przestrzenne pozyskane w wyniku pomiarów NSL, jest jedną z powszechniejszych form wykorzystywania omawianych narzędzi w budownictwie, przemyśle czy badaniach zabytkowej architektury murowanej [21]. Odchylenia, zmiany statyki, odkształcenia bryły obiektu itp. z równie wielkim powodzeniem mogą być i są dokumentowane, monitorowane i analizowane w odniesieniu do drewnianej architektury poprzez zastosowanie np. NSL. Literatura przedmiotu (patrz literatura) pokazuje szeroki wachlarz zastosowania technik skanowania, które umożliwiają przestrzenną analizę deformacji obiektów lub ich fragmentów. Do zasadniczych analiz na podstawie danych przestrzennych, które z powodzeniem można stosować w odniesieniu do wernakularnej architektury drewnianej, należy zaliczyć np.: (1) analizę odkształceń i wyboczeń; (2) analizę spękań, szczeliny; (3) analizę destabilizacji konstrukcji; (4) analizę ubytków; (5) analizę odchyłeń; (6) analizę przemieszczeń; (7) analizę sztywności konstrukcji. Techniki umożliwiające dokładniejszą rejestrację geometrii obiektów (w skali mikro) to m.in. mikroskopia 3D, skanowanie optyczne czy skanowanie ramionami skanującymi, które poza ww. analizami, mogą również wspierać proces diagnostyczny poprzez analizę np. głębokości odkształceń, zmian wewnątrz powstających ubytków i spękań [ryc. 11]. Zastosowanie mikroskopii 3D – urządzeń w skali mikro – może na przykład być użytecznym narzędziem w procesie monitorowania, a dalej analizowania postępujących zmian w strukturze drewna, poprzez analizę wielkości i ilości spękań, wykonywaną na bazie pomiarów punktowych, w określonych odstępach czasowych.

Kolejne wspomniane zagadnienie, to diagnostyka obiektów drewnianych w oparciu o dane przestrzenne i przede wszystkim nieprzestrzenne. Naziemne skanery laserowe poza pomiarem przestrzennym, mają również możliwość rejestracji intensywności odbicia powracającej wiązki lasera (odbicia od powierzchni mierzonej). Rejestracja tego parametru umożliwia np. wstępną analizę zróżnicowania powierzchniowego obiektu zabytkowego. Intensywność odbicia wiązki lasera – tzw. czwarty wymiar skanowania laserowego, to najogólniej „moc sygnału powracającego do obiektywu lasera” [22]. Natężenie promieniowania powracającego do instrumentu (skanera) zależy od wielu warunków i czynników, w tym przede wszystkim od: odległości skanera od powierzchni mierzonej, kąta padania wiązki lasera, a także koloru (ryc. 7), wilgotności, temperatury oraz powierzchni (faktury) obiektu mierzonego. Promieniowanie elektromagnetyczne (wartość radiometryczna podawana w jednostkach niemianowanych i w formie zwizualizowanej w skali barwnej lub w skali szarości), które jest odbijane od powierzchni, może być zatem w pewnym zakresie rejestrowane i mierzone przez naziemne skanery laserowe (szerzej: [21, 23, 24, 25, 26, 27]). Zatem zróżnicowana wilgotność na (pozornie) jednolitej powierzchni może wpłynąć na zróżnicowanie wartości intensywności odbicia lasera, wskazując potencjalne miejsca zachodzących zmian w/na substancji zabytkowej.

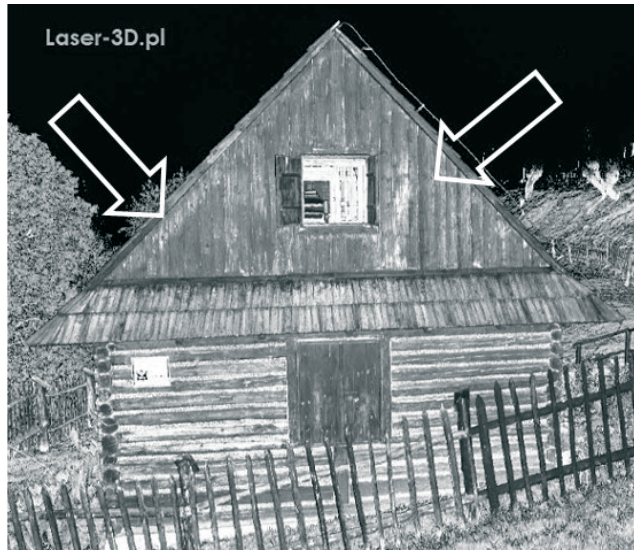


Ryc. 7. Histogram zróżnicowania średniej wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla czterech kolorów (od lewej: czarny, czerwony, niebieski, zielony) – porównanie wartości dla pomiaru w wykonanego przy (żółty) świetle dziennym oraz (niebieski) w nocy (Za Zapłata 2013 [21] na podstawie Voegtle, Schwab, Landes 2008 [28])

Tego typu sytuację ilustrują ryc. 7a i 7b, na których ukazano zdjęcie ściany szczytowej budynku drewnianego (ryc. 7a) oraz ten sam obiekt w postaci wizualizacji danych pochodzących z rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera (ryc. 7b). Na ryc. 7b dostrzegamy w dwóch miejscach ściany szczytowej wyraźne zróżnicowanie (jaśniejsze odcienie szarości), co nie jest tak jednoznacznie uchwytne w oparciu o dokumentację fotograficzną oraz wizję lokalną. Anomalia powierzchniowe powstały w związku z różnicą na powierzchni ściany budynku, której przyczyną może być np. zwiększona wilgotność w tych miejscach (weryfikacja przyczyny ww. różnic wymaga dalszych i szerszych badań substancji zabytkowej). Tak określona różnica powierzchniowa może stanowić punkt wyjścia w pracach diagnostycznych przy obiektach drewnianej architektury wernakularnej.



Ryc. 7a. Ściana szczytowa budynku drewnianego (dom pogrzebowy). Skansen w Dobczycach. [Fot. R. Zapłata]



Ryc. 7b. Ściana szczytowa budynku drewnianego (dom pogrzebowy) – wizualizacja zarejestrowanej intensywności odbicia wiązki lasera. Skansen w Dobczycach. Widoczne w porównaniu z ryc. 7a (zdjęciem) zróżnicowanie powierzchni (jaśniejszy odcienie szarości) ściany szczytowej.[Pomiar i oprac. Laser-3d Jacek Krawiec]

2.3. Dokumentacja powykonawcza – konserwacja i translokacja

Postulat włączenia narzędzi skanowania, zwłaszcza NSL, w odniesieniu do dokumentacji powykonawczej, a także analizy i oceny pewnych prac konserwatorskich, został (w pewnym zakresie) zgłoszony podczas konferencji pt. „Heritage wood: research and conservation in the 21st century” (Warszawa 28-30.10.2013 r.) [29]. Zasadniczo koncepcja dokumentacji powykonawczej, wykorzystującej nowoczesne technologie rejestracji geometrii obiektów i/lub rejestrację intensywności odbicia wiązki lasera może odnosić się do: (1) dokumentacji i analizy powierzchni zabytkowych poddanych zabiegom konserwującym (np. analiza stopnia nasycenia konstrukcji po impregnacji z wykorzystaniem intensywności odbicia wiązki lasera (potencjalne urządzenie – NSL)); (2) dokumentacji i analizy powierzchni zabytkowych poddanych zabiegom konserwującym (np. analiza stopnia wypełniania ubytków czy szczelin (potencjalne urządzenie – mikroskop 3D), a także (3) dokumentacji i analizy prac wykonanych w związku z translokacją zabytkowych obiektów drewnianych (np. pomiar poprzedzający demontaż i po demontażu, a następnie kontrola zgodności i jakości wykonanych prac (potencjalne urządzenie - NSL, skanowanie optyczne)).

Ostatni z punktów odsyła do koncepcji przygotowania i analizy obiektów zabytkowych (na podstawie danych pochodzących ze skanowania), które są poddawane translokacji⁴. Dokładny pomiar przestrzenny obiektów drewnianych, a tym samym zapis geometrii poszczególnych elementów konstrukcyjnych, stwarza możliwość dodatkowej (innej) inwentaryzacji poszczególnych elementów konstrukcyjnych obiektów drewnianych, które ulegają procesowi demontaż, przeniesienia i ponownego montażu poszczególnych elemen-

⁴ W poniższym tekście prezentowana jest jedynie wstępna koncepcja analizy, będąca przedmiotem szerszych (prowadzonych) badań, których wyniki są w opracowaniu.

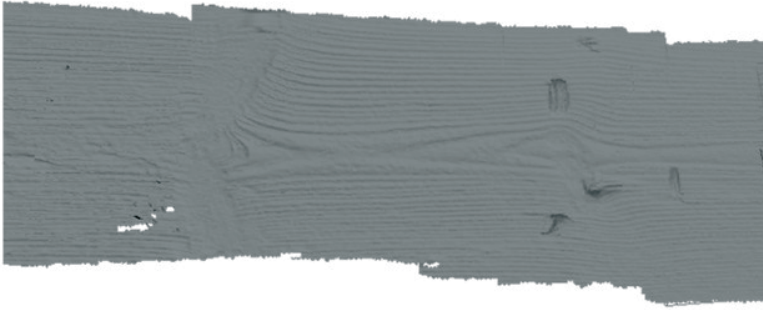
tów. Zły stan techniczny wielu z tych elementów powoduje (mimo np. powierzchniowemu zachowaniu oryginalnego kształtu związanego z procesem obróbki), że zostają one wyeliminowane z procesu montażu obiektu, i zastępowane nowymi elementami - kopiami. Elementy wykonywane w miejsce oryginalnych muszą przede wszystkim zachować zgodność pod względem materiału (surowca), kształtu i wymiarów, aby wypełnić element wyeliminowany po demontażu. Proces przygotowania elementów zastępujących oryginały, opiera się na tradycyjnej technice obróbki drewna (lub przy zastosowaniu tradycyjnych i/lub współczesnych narzędzi), doprowadzając jednak do powstania elementów o przybliżonej np. powierzchni. Dokładny zapis geometrii elementów konstrukcyjnych na bazie skanowania, umożliwi odtworzenie całego elementu w całkowitym lub znacznie większym stopniu podobieństwa. Takie podejście umożliwia utrwalenie w kopii, nie tylko wymiarów i kształtu (w znaczeniu ogólnym), ale i szczegółów wykończenia, a co z tym związane również 'śladów' dawnej obróbki. Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa zyskuje w związku z powyższym nowe narzędzie w postaci skanowania, gdzie modyfikacji ulega sposób przygotowywania projektu związanego z translokacją, jak i samo jej przeprowadzanie [30].

2.4. Analiza dawnej obróbki drewna

Tym, co może świadczyć o wyjątkowości technologii skanowania, zwłaszcza skanowania światłem strukturalnym, jest możliwość dokładnego pomiaru powierzchni zabytkowych, celem dokumentowania i analizowania zróżnicowania drewnianych powierzchni zabytkowych, które jest pochodną stosowania określonych technik i zabiegów z przeszłości. Taki sposób postrzegania omawianych narzędzi kieruje w stronę rozbudowy analizowania dawnej obróbki drewna, a więc traseologii, zajmującej się śladami pozostawionymi na powierzchniach obrabianych elementów konstrukcji drewnianych przez narzędzia ciesielskie [13]. Omawiana sytuacja ilustrują ryc. 8a, 8b, a zwłaszcza ryc. 10, gdzie obserwujemy przykład śladów obróbki drewna oraz zeskanowany fragment ściany budynku drewnianego z dokładnym zapisem powierzchniowej geometrii poszczególnych elementów konstrukcyjnych.



Ryc. 8a. Przykładowa powierzchnia zewnętrznej ściany budynku drewnianego, z zachowanymi i widocznymi śladami po ręcznej obróbce surowca. Przykład powierzchni o dużym potencjale dla badań traseologicznych. Spichlerz dworski ze Złotej z 1719 r. - Muzeum Wsi Kieleckiej. [Fot. R. Zapłata]



Ryc. 8b. Przykładowa wizualizacja modelu cyfrowego fragmentu ściany zewnętrznej budynku drewnianego, wygenerowana na podstawie pomiarów skanerem optycznym. [Oprac. R. Zapłata].

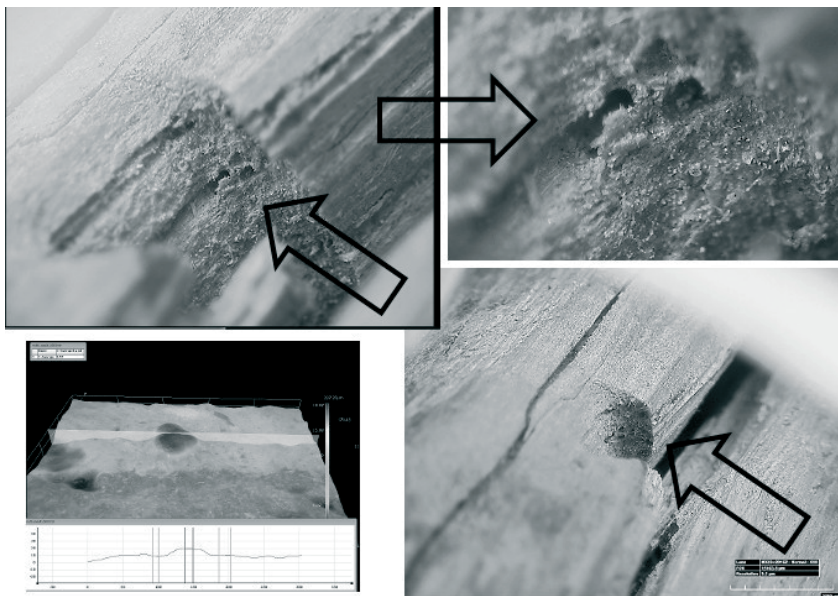


Ryc. 9. Przykładowa ściana zewnętrzna budynku drewnianego, z zachowaną plastyką belek oraz śladami obróbki. Muzeum Wsi Kieleckiej. [Fot. r. Zapłata]

Takie podejście w analizie i badaniu zabytków drewnianych z powodzeniem rozbudowują kolejne z wcześniej przywołanych technik – mikroskopia 3D czy ramiona skanujące, które pozwalają na rejestrację śladów, mikrośladów i pozostałości po dawnych procesach obróbki drewna. Rycina 11 ukazuje potencjał omawianej techniki (mikroskopia laserowa) - fragment przedmiotu drewnianego, poddany procedurze pomiaru mikroskopem, został zadokumentowany w taki sposób, że istnieje możliwość dokumentacji i analizy mikrośladów powstałych w drewnie.



Ryc. 10. Fragment przykładowej ściany zewnętrznej budynku drewnianego z zachowaną plastiką oraz śladami obróbki (po lewej) oraz wizualizacja modelu 3D (model cieniowy) powstałego na bazie pomiarów skanerem optycznym (po prawej) – widoczna rejestracja geometrii, z zachowaniem szczegółów powierzchni mierzonej. Muzeum Wsi Radomskiej. [Fot. i oprac. R. Zapłata]



Ryc. 11. Przykładowa rejestracja obrazowo-przestrzenna powierzchni drewnianej mikroskopem Hirox (zdjęcia górne oraz dolne, po prawej) oraz wizualizacja modelu 3D powierzchni mierzonej, wraz z przekrojem. Na zdjęciach – kolejne powiększenia (zgodnie z kierunkiem strzałek) fragmentu powierzchni drewnianej. [Źródło: Hirox / oprac. R. Zapłata].

3. Zagadnienia problemowe – wnioski, postulaty i zalecenia

Technologia skanowania poza ogromnym potencjałem, wprowadza do praktyki badawczo-konserwatorskiej nowe wyzwania, które z jednej strony skłaniają do przeformułowania dotychczasowej metodyki badawczej, z drugiej strony do wyeliminowania elementów niepożądanych, a związanych z omawianymi narzędziami. Rodzące się na podstawie analizy przywoływanej literatury przedmiotu, a także powyższych rozważań wnioski, kierują na stronę sformułowania pewnych postulatów, do których można zaliczyć konieczność:

1. Określenia zasad wykonywania terenowych pomiarów laserowych (i ogólnie fotogrametrycznych) do celów inwentaryzacyjno-badawczych.
2. Wpisania skanowania naziemnego w poczet standardowych technik dokumentacyjno-inwentaryzacyjnych przy zabytkach.
3. Prowadzenia dalszych prac testowych nad stosowaniem skanowania, fotogrametrii (w tym *intensity*) przy drewnianej architekturze wernakularnej.
4. Określenia nowych - zmodyfikowanych procedur metodycznych, uwzględniających metody fotogrametrii w pracach terenowych *in situ*.

Omawiając technologie skanowania, należy również zwrócić uwagę na ich słabe strony i zarysować kilka kwestii problemowych, związanych przede wszystkim z samym pomiarem terenowym, a przede wszystkim z obróbką pozyskanych danych. Warunki terenowe nie zawsze sprzyjają pomiarom omawianymi urządzeniami, zwłaszcza NSL. Dostępność obiektów, jak i poszczególnych elementów konstrukcyjnych, z przyczyn oczywistych (np. niemożliwość umieszczenia w odpowiednich miejscach urządzeń) zmuszają do pomiarów uzupełniających lub innych rozwiązań inwentaryzacyjnych. Równie istotne są warunki panujące przy obiektach poddanych skanowaniu. Zbyt wysoka wilgotność stanowi jeden z elementów utrudniających i zakłócających pomiar. Obok ww. problemów, istnieje wiele, które dotyczą strony technicznej i błędów pomiarowych związanych z samymi urządzeniami (patrz szerzej [31]). Bez wątplenia najbardziej czasochłonnym elementem procesu przygotowania produktów fotogrametrycznych jest obróbka danych źródłowych. W procesie tym dokonuje się m.in.: klasyfikacji i łączenia chmury punktów. Niestety procedura ta oparta jest zazwyczaj na automatycznym przygotowaniu danych, co niejednokrotnie jest przyczyną błędów. W związku z powyższym zalecane jest wykonywanie równoległej dokumentacji obrazowej, a zarazem przygotowywanie modeli cyfrowych na podstawie pracy manualnej. Innym zagadnieniem, które należy uznać za mankament omawianych metod, zwłaszcza NSL, jest pomiar krawędzi obiektów, czy elementów 'niestabilnych' itp., do których np. można zaliczyć pokrycia dachów – strzechę.

Zestawiając dotychczasowe wnioski oraz analizując funkcjonujące w literaturze przedmiotu (m.in. [32]) wskazówki, wytyczne i zalecenia w zakresie digitalizacji dziedzictwa kulturowego, w tym miejscu warto wyartykułować kilka wybranych zaleceń w zakresie skanowania naziemnego (i pomiarów fotogrametrycznych) drewnianych obiektów zabytkowych *in situ* należy zaliczyć:

- konieczność prowadzenie pomiarów w optymalnych warunkach terenowych i czasowych (pora roku, dnia);
- dobór odpowiednich urządzeń do skali, potrzeb i oczekiwanych efektów w odniesieniu do planowanego przedsięwzięcia (np. skanowanie całych obiektów oparcie o NSL, a nie na bazie skanerów światła strukturalnego lub skanowanie fragmentów ulegających destrukcji ramionami skanującymi lub pomiar mikroskopem 3D, zamiast NSL);

- wykonanie takiej ilości pomiarów, aby pokrywały one w sposób jednolity lub zbliżony całą powierzchnię zabytkową;
- konieczność weryfikacyjnych prac w zakresie identyfikowania różnic powierzchniowych odnotowanych na bazie rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera;
- wykonywanie równoległej (równoczesowej) dokumentacji fotograficznej elementów skanowanych;
- wykonywanie pomiarów uzupełniających w sytuacjach utrudnionego dostępu do powierzchni mierzonych dla NSL;
- bieżącą kontrolę (podczas prac terenowych) jakości pomiarów (np. celem uniknięcia powstawiania tzw. martwych pól i ponownych pomiarów w odmiennych warunkach terenowych);
- określanie jakości pomiarów i ich dokładności w zależności od potrzeb inwentaryzacyjno-badawczych;
- stosowanie szczegółowego opisu (nie tylko w formie ogólnych metadanych) wykonywanych procedur, ich kolejności, zarówno w odniesieniu do pomiarów przy obiektach, jak i w odniesieniu do prac gabinetowych;
- wykonywanie pomiarów w tym samym czasie dla całych obiektów, założeń, co pozwoli uniknąć np. zmiany warunków terenowych (np. wykonanie pomiarów wczesną wiosną a latem może przyczynić się do zasadniczych zmian na powierzchni mierzonej – rozwój (wzrost) mikroorganizmów na powierzchniach drewnianych)
- przetwarzanie danych pomiarowych, uwzględniające manualną formę ich klasyfikacji, łączenia itp.;
- przygotowywanie raportów szczegółowych z wykonanych pomiarów i przetworzeń, zwłaszcza jeśli pomiary wykonywane są przez podmioty i jednostki spoza środowiska naukowo-konserwatorskiego;
- utrwalanie i przekazywanie odbiorcy pomiarów danych pierwotnych (źródłowych), wraz z przygotowanymi produktami fotogrametrycznymi.

Powyższe postulaty oraz zalecenia należy traktować jako zbiór otwarty, mający na celu generowanie dalszej dyskusji nad: (1) rozwojem i aplikowaniem technologii skanowania w procesie inwentaryzacyjno-analitycznym drewnianej architektury wernakularnej, (2) poprawą stanu obecnego prac z zastosowaniem omawianych technologii, a także (3) rozwojem dalszych badań nad modernizacją i poszerzeniem obszaru zastosowań dostępnych narzędzi.

4. Podsumowanie

Odnosząc się do zaprezentowanych zalet, ale i pewnych mankamentów technologii skanowania w kontekście działań przy zabytkowej architekturze wernakularnej, warto podkreślić, że jednym z koniecznych elementów poprawy sytuacji i wykorzystania potencjału omawianych narzędzi jest potrzeba podwyższania świadomości oraz kwalifikacji środowisk badawczo-konserwatorskich, a także włączania do procesu dydaktycznego w coraz większym stopniu tytułowych zagadnień.



NARODOWY PROGRAM
ROZWOJU HUMANISTYKI

Praca naukowa finansowana w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Narodowy Program Rozwoju Humanistyki” w latach 2012-15. Autor dziękuje za wykonanie pomiarów i współpracę zespołowi Leica Geosystems Polska oraz zespołowi Laser-3D Jacek Krawiec.

Literatura

- 1 Brykowska M. *Metody pomiarów i badań zabytków architektury*, Warszawa, 2003.
- 2 Cielątkowska R., Jankowska-Wojtowicz D. (red.) *Architektura drewniana – tradycja, dziedzictwo, współczesność, przyszłość*, Gdańsk, 2014.
- 3 Krajewski A., Witomski P. *Ochrona drewna*. Warszawa 2003.
- 4 Tajchman J. *Konserwacja Zabytków Architektury - uwagi o metodzie*. *Ochrona Zabytków* 2 (1995) 150–159.
- 5 Maczynski D., Makowska B., Luczak T. *Dokumentacja remontowa zabytkowych drewnianych więźb dachowych*. 2008 - <http://www.icomos-poland.org/index.php/pl/materiay-komisji/4-komisja-architektury-drewnianej/229-dominik-mczyski-dokumentacja-remontowa-zabytkowych-wib-dachowych-2008> [dostęp 2015.06.30]
- 6 Okoń E. (red.) *Zabytkowe budowle drewniane i stolarka architektoniczna wobec współczesnych zagrożeń*. Toruń 2005.
- 7 Parat M. *Koncepcja Ołederskiego Parku Etnograficznego w Wielkiej Nieszawce. Głos w dyskusji o roli skansenów w ochronie zabytków architektury drewnianej*. *Ochrona Zabytków* 1-4/2013 (2013) 235-264.
- 8 Stępień P. *Zasady postępowania w ochronie zabytkowych budowli drewnianych*. *Renowacje* 2 (1998).
- 9 Szałygin J., *Dziedzictwo drewnianej architektury w Polsce*. *Ochrona Zabytków*. 1-4/2013 (2013) 281-298.
- 10 Wiater W. *Roboty ciesielskie, stolarskie i dekarские. Poradnik cieśli wiejskiego*. Warszawa 1960.
- 11 Szewczyk J. *Regionalizm w teorii i praktyce architektonicznej*. Teka Komisji Architektury, Urbanistyki i Studiów Krajobrazowych (2006) 96-109.
- 12 Ważny J., Kryś J. (red.) *Ochrona budynków przed korozją biologiczną*. Arkady, Warszawa, 2001.
- 13 Mączyński D. *Znaki, inskrypcje i ślady na powierzchni drewna w zabytkowych konstrukcjach dachowych*. *Wiadomości Konserwatorskie* 25/2009 (2009) 28-36.
- 14 Bunsch E., Sitnik R. *Proces digitalizacji 3D. Od założeń do dokumentacji cyfrowej*. *Muzealnictwo* 52 (2011) 48-53.
- 15 Boroń A., Rzońca A., Wróbel A. *Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków*. *Rocznik Geomatyki*, t. V, z. 8 (2007) 129-140.
- 16 Sitnik R. *Odwzorowanie kształtu obiektów trójwymiarowych z wykorzystaniem oświetlenia strukturalnego*, Warszawa 2010.
- 17 Żrodowski C., Kłos M. *Metodyka pracy ramieniem 3D*, Gdańsk 2012 – http://www.cmm.pl/upload/Files/cke/Metodyka_pracy_ramieniem_3D-raport.pdf [dostęp 2015.06.30]
- 18 Toś C., Wolski B., Zielina L. *Tachimetry skanujące. Aplikacje technologii skanowania w budowie szczegółowych modeli obiektów inżynierskich*. Kraków 2010.
- 19 Kościuk J. *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 (2013) 82-88.
- 20 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.
- 21 Zapłata R. *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa 2013.
- 22 Pyka K., Rzonca A. *Badanie jakości radiometrycznej ortofotogramów sporządzonych na drodze integracji fotogrametrii bliskiego zasięgu i skaningu laserowego*. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. vol. 16 (2006) 515-526.
- 23 Franceschi M. *Application of terrestrial laser scanner to cyclostratigraphy*. Padova, 2009 [praca doktorska – Università degli Studi di Padova] – <http://paduaresearch.cab.unipd.it/1659/1/FRANCESCHI.pdf>, s. viii-xii [dostęp 2015.06.30]
- 24 Pesci A., Giordano T. *Effects of surface irregularities on intensity data from laser scanning: an experimental approach*. *Annals of Geophysics*. vol. 51, N. 5/6 (October/December 2008) 839-848.
- 25 Zaczek-Peplinska J., Osińska-Skotak K., Gergont K. *Możliwość wykorzystania zmian intensywności odbicia promienia laserowego do oceny stanu konstrukcji betonowej*, w: *Inżynieryjne zastosowania geodezji*. (red. Plichta A., Wyczałek I.), Warszawa 2012, s. 41-54.

- 26 Kędzierski M., Zapłata R., Fryśkowska A., Wilińska M., Deliś P. *Dokumentacja i modelowanie 3D ruin zamku w Ilży*, w: *Zamki w ruinie – zasady postępowania konserwatorskiego*. (red. Szmygin B., Molski P.) Warszawa-Lublin 2012, s. 147-158.
- 27 Markiewicz J., Dorota Z., Kowalczyk M., Zapłata R. *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) 391-396.
- 28 Voegtle T., Schwab I., Landes T. *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 (2008) 1061-1066 - http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5_pdf/182.pdf [dostęp 2015.06.30]
- 29 Zapłata R. *Analiza i dokumentacja drewna zabytkowego z użyciem technologii skanowania - Laser scanning in the analysis and documentation of historic wood*, w: *Drewno zabytkowe: badania i konserwacja w XXI wieku. Heritage wood: research and conservation in the 21st century*. (red. Pasieczny R.), Warszawa 2013, s. 77-78 / 184 [materiał konferencyjny] - <http://www.nimoz.pl/pobierz/718.html> [dostęp 2015.06.30]
- 30 Tajchman J. *Metoda konserwacji i restauracji dziedzictwa architektonicznego w zakresie zabytkowych budowli*. w: *Problemy konserwacji i badań zabytków architektury*. (red. Kociałkowska A.) Stuzdzienka 2007, s. 48-68.
- 31 Letellier R. *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places. Guiding Principles*. Los Angeles 2007 - http://philipmarshall.net/Teaching/rwuhp175/Letellier_2008_Guiding_Principles_Getty_Guidance.pdf [dostęp 2015.06.30]
- 32 Bunsch E., Ceraficki P., Pyzik W., Sitnik R., Staszkiwicz W., Szala M., Kuśmidrowicz-Król A. *Cyfrowe odwzorowania muzealiów, parametry techniczne, modelowe rozwiązania – raport z prac Grupy Ekspertów ds. Digitalizacji powołanej w ramach NIMOZ*, Warszawa, 2012 - <http://www.nimoz.pl/pobierz/474.html> [dostęp 2015.06.30]

Measurement, inventory and diagnostics of wooden vernacular architecture - selected issues the use of terrestrial scanning technology

Rafał Zapłata

*Art History Institute, Faculty of History and Social Sciences,
Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw, e-mail: rafalzaplata@poczta.onet.pl*

Abstract: The article aims is to discuss basic issues related to the use of scanning technology, especially laser scanning in the measurement, inventory and diagnostics of wooden vernacular architecture. The article focuses on the following issues: (1) scan of the historic wooden architecture as part of the process of digitization (3D microscopy, scanning arms, structural scan, terrestrial laser scanning); (2) the challenges and problems; (3) recommendations and guidance in inventory operations using modern measurement technologies.

Keywords: wooden vernacular architecture, non-invasive methods, scanning, inventory, analysis.

