

GIS W ARCHEOLOGII – PRZYKŁAD PROSPEKCJI I INWENTARYZACJI DZIEDZICTWA ARCHEOLOGICZNO-PRZEMYSŁOWEGO*

GIS IN ARCHAEOLOGY – AN EXAMPLE OF PROSPECTION AND DOCUMENTATION OF ARCHAEOLOGICAL AND INDUSTRIAL HERITAGE

Rafał Zapłata¹, Marcin Borowski²

¹ Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, Wydział Nauk Historycznych i Społecznych

² MGGP Aero Warszawa

Słowa kluczowe: GIS, dziedzictwo archeologiczno-przemysłowe, LIDAR/ALS, metody nieinwazyjne
Keywords: GIS, archaeological and industrial heritage, LIDAR/ALS, non-invasive methods

Wprowadzenie

Artykuł ma zaprezentować zastosowania systemów informacji geograficznej (dalej wymiennie akronim GIS od ang. *Geographic Information Systems*) w archeologii, na przykładzie wybranych narzędzi geoinformatycznych, stosowanych w detekcji i inwentaryzacji dziedzictwa archeologiczno-przemysłowego. Tekst prezentuje wybrane elementy powstałego systemu geoinformatycznego, które umożliwiły (m.in. za pośrednictwem lotniczego skanowania laserowego) prospekcję – przeprowadzenie prac poszukiwawczych, odkrycie, a następnie dokumentację i inwentaryzację zabytkowych mielerzy z okolic Seredzic w województwie mazowieckim. Dotychczasowe prace badawcze są ilustrowane na przykładzie obszaru testowego, dla którego przeprowadzono analizy z zastosowaniem wybranych narzędzi przetwarzania numerycznego modelu terenu (NMT). System informacji geograficznej dla potrzeb niniejszego tekstu oraz realizowanego projektu należy rozumieć szeroko, jako zestaw pośrednio i bezpośrednio powiązanych ze sobą elementów, a więc: danych, użytkowników, a także sprzętu oraz programów, które służą przede wszystkim do pozyskiwania, przechowywania i przetwarzania danych. Prace były przeprowadzone w ramach projektu

* Praca naukowa finansowana w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Narodowy Program Rozwoju Humanistyki” w latach 2011-2015.

naukowego pt. „Zastosowanie skaningu laserowego oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Opracowanie nieinwazyjnych, cyfrowych metod dokumentacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego” realizowanego przez Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, pn. „Narodowy Program Rozwoju Humanistyki” (Zapłata, w druku). Celem artykułu jest również schematyczna prezentacja metody badawczej, powstałej na podstawie literatury przedmiotu oraz przeprowadzonych prac, która została zastosowana w ramach realizowanego projektu, do rozpoznania przykładowych obiektów zabytkowych.

GIS i archeologia

Od początku istnienia archeologii informacja przestrzenna stanowi integralny element dokumentacji, jak również podstawę analiz zabytków, a także przeszłych procesów społeczno-kulturowych. W odniesieniu do nauk o przeszłości, zwłaszcza archeologii, zagadnienie stosowania GIS widoczne już było pod koniec lat 70. oraz początku 80. XX wieku. Szerszego zastosowania i wyraźnego rozwoju systemy informacji geograficznej doczekały się w archeologii na początku lat 90. XX w. (Zapłata, 2011). Podobnie jak w innych dyscyplinach, w badaniach archeologicznych GIS traktowany jest jako zestaw oprogramowania komputerowego, sprzętu elektronicznego oraz danych geoinformatycznych, w których istotnym elementem jest również użytkownik systemu (Zwoliński, 2009). Systemy informacji geograficznej traktowane są jako całość zaprojektowana i tworzona w celu: generowania, gromadzenia, przechowywania, uaktualniania, modyfikowania, analizowania danych, a także pozyskiwania wyników analiz i ich przedstawiania (wizualizacji), w oparciu o wymienione dane. W badaniach archeologicznych, dane budujące GIS to dane przestrzenne i dane atrybutowe (określane również jako dane nieprzestrzenne, opisowe). Źródłem geodanych na potrzeby badań dziedzictwa kulturowego, w tym dziedzictwa archeologicznego i przemysłowego, są różnego rodzaju materiały analogowe i cyfrowe (np.: mapy, plany, dokumentacja), a także technologie umożliwiające pozyskiwanie zobrażeń satelitarnych, zdjęć lotniczych oraz naziemne i lotnicze skanowanie laserowe. Geodane pozyskiwane są również za pomocą urządzeń geodezyjnych, także tradycyjnych technik pomiarowych (np. z użyciem taśm lub niwelatorów), stosowanych podczas terenowych badań inwazyjnych oraz nieinwazyjnych. GIS w archeologii, to stosowanie złożonych i wieloczynnikowych analiz przestrzennych, rozbudowanych statystyk przestrzennych, analiz 3D – symulacji komputerowych. Obok tworzenia za pośrednictwem GIS cyfrowych zasobów dokumentacyjnych dziedzictwa archeologicznego, równolegle na bazie pozyskiwanych geodanych stosowane są analizy przestrzenne, które stanowią integralny element procesu wyjaśniania zjawisk w przeszłości. Analizy te, stosowane są również w celu wspierania bieżących działań archeologicznych, w zakresie zarządzania dziedzictwem archeologicznym i jego ochroną. Potencjał tkwiący w systemach informacji geograficznej w badaniach dziedzictwa archeologicznego, dostrzeżono przede wszystkim w związku z eksploracyjną analizą danych archeologicznych (akronim EDA – ang. *exploratory data analysis*), która najogólniej daje możliwość pozyskiwania nowych informacji (poprzez poszukiwanie asocjacji, klasyfikację lub grupowanie geodanych). Eksploracyjna analiza danych archeologicznych, na przykład w odniesieniu do relacyjnych systemów bazodanowych, wzbogaconych o możliwości przechowywania danych przestrzen-

nych, umożliwia wykonywanie prostych oraz złożonych zapytań geoprzestrzennych (Jasiewicz, 2009). GIS stały się również podstawą do stosowania w archeologii rozbudowanych modeli prognostycznych (ang. *predictive models*) oraz prognostycznych modeli lokalizacji (ang. *predictive location models*) (Kamermans, 1999; Rączkowski, 2002), opartych na analizach wielozmiennych (Zapłata, 2011). Modelowanie prognostyczne w archeologii, najogólniej polega na zastosowaniu wiedzy, a także informacji o znanych stanowiskach archeologicznych oraz otoczeniu, a dalej określaniu wzajemnych relacji pomiędzy danymi oraz zjawiskami i łączeniu tych informacji z uwarunkowaniami środowiskowymi, a także „preferencjami”, jakie są ustalone na przykład na podstawie analizy rzeźby terenu, rodzaju gleby lub odległości do zbiorników wodnych (Kamermans, 2000). Najogólniej GIS stanowi w archeologii element wspierający dokumentację zasobów zabytkowych, a także element nieinwazyjnego odkrywania zasobów zabytkowych oraz inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego.

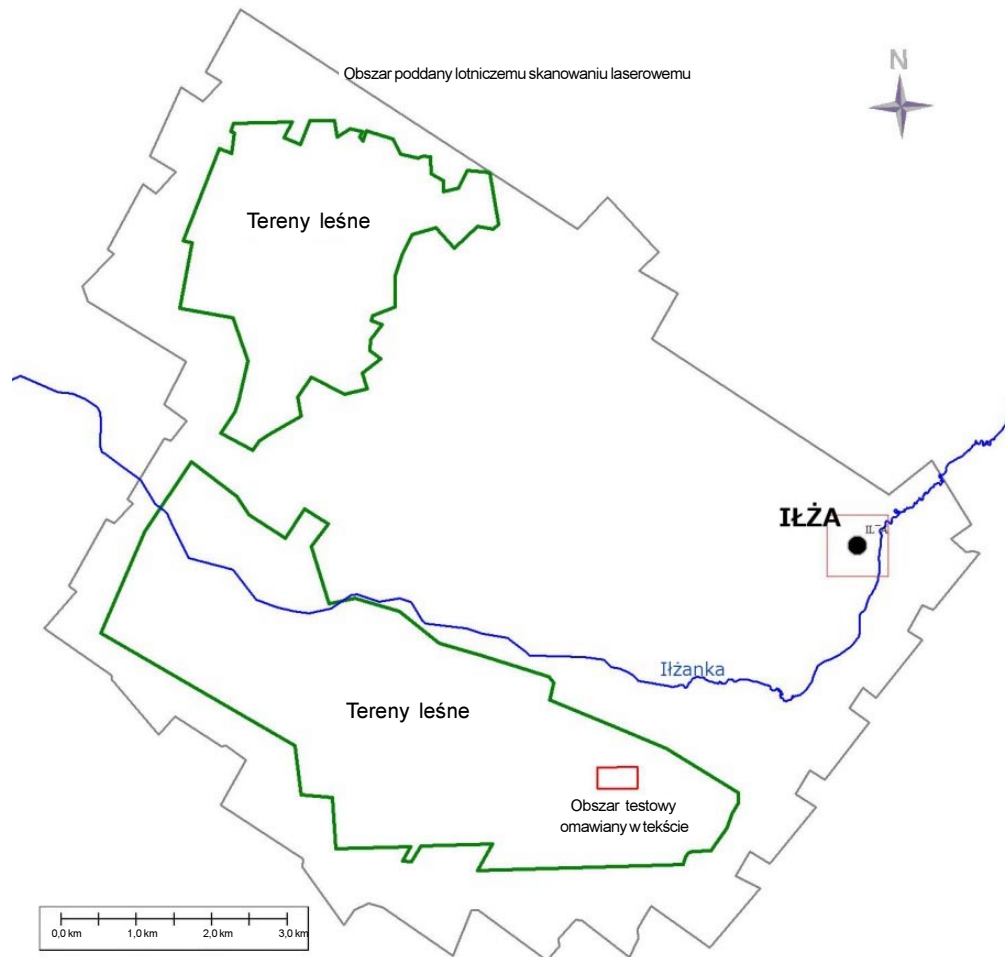
Starając się zaprezentować praktyczną stronę zastosowania GIS w archeologii, z ukierunkowaniem na prospekcję oraz inwentaryzację zasobów kulturowych, w artykule przedstawiono rezultat części badań, w ramach których pozyskano i przetworzono geodane, a następnie rozpoznano i zadokumentowano obiekty zabytkowe, opierając się o modelowy schemat systemu geoinformatycznego.

Obszar badań

Badania w ramach realizowanego projektu prowadzone są na pograniczu województw mazowieckiego i świętokrzyskiego, na obszarze obejmującym 6 arkuszy AZP (akronim od Archeologiczne Zdjęcie Polski) – obszary (o wymiarach 5×7,5 km) wyznaczone dla całej Polski, na potrzeby inwentaryzacji i ewidencjonowania zabytków archeologicznych (rys. 1). Prace w ramach projektu prowadzone są z zastosowaniem różnorodnych metod i danych teledetekcyjnych, a w szczególności z zastosowaniem ALS na terenach otwartych i zalesionych. Tereny zalesione, poddane dotychczas pomiarom na bazie lotniczego skanowania laserowego, to obszar w przybliżeniu o łącznej powierzchni 31 km², obejmujący swym zasięgiem tereny Nadleśnictw Marcule i Polany w województwie mazowieckim.

Prezentację dotychczasowych wyników prac autorzy odnoszą do wybranego fragmentu obszaru badań, który znajduje się na terenie Nadleśnictwa Seredzice w województwie mazowieckim. Przykładowy teren badań mieści się na obszarze AZP 79-68 – okolice miejscowości Seredzice. Dla potrzeb artykułu wybrano obszar o wymiarach 530×290 m i łącznej powierzchni 0,1537 km² (rys. 1). Tak określony przestrzennie obszar, stanowił również podstawę do przeprowadzenia porównania efektywności zastosowania poszczególnych, wybranych narzędzi przetwarzania NMT, na potrzeby detekcji określonych obiektów zabytkowych (mielerzy).

Obszar testowy to tereny zalesione, które w skali całego kraju stanowią obszar w nieznanym stopniu rozpoznany pod względem detekcji obiektów zabytkowych, przede wszystkim z uwagi na jego niedostępność oraz naturalne ograniczenia, utrudniające zastosowanie innych metod nieinwazyjnej prospekcji badawczej (np. archeologia lotnicza lub badania geofizyczne). Istotną zmianę w tym zakresie wprowadza lotnicze skanowanie laserowe wraz z narzędziami geoinformatycznymi, które umożliwiają nieinwazyjne działania, na dużych terenach, w zakresie prowadzenia badań poszukiwawczych oraz działań dokumentacyjno-inwentaryzacyjnych.



Rys. 1. Obszar badań – Iłża i okolice, woj. mazowieckie: tereny poddane lotniczemu skanowaniu laserowemu, zaznaczone tereny zalesione oraz obszar testowy (opracowanie: R. Zapłata)

System geoinformatyczny – komponenty i podstawy

W ramach projektu naukowego, ukierunkowanego na opracowanie nieinwazyjnych metod w badaniach oraz rozpoznanie dziedzictwa kulturowego, utworzono system, którego integralną częścią są pośrednio i bezpośrednio powiązane ze sobą elementy: geodane, sprzęt, oprogramowanie oraz użytkownicy. Podstawą tworzenia systemu jest pakiet Esri ArcGIS wraz z uzupełniającymi narzędziami, stanowiącymi podstawę programową projektu – m.in. SAGA lub GlobalMapper. Dodatkowo, dane są przetwarzane na podstawie programów wykorzystywanych przez zespoły specjalistów, w ramach bieżących potrzeb projektu np. TerrScan lub TerraModeler.

Platformę sprzętową stanowią urządzenia teledetekcyjne oraz geodezyjne, które dostarczają geodanych, czego przykładem jest system LiDAR (akronim od ang. *Light Detection*

and Ranging – określane dla pomiarów lotniczych mianem ALS – akronim ang. *Airborne Laser Scanning*), który został użyty do pozyskania geodanych. Prace te, wiosną 2012 roku zrealizowała firma MGGP Aero. W ramach badań wykonano pomiary lotnicze, które charakteryzowały następujące parametry techniczne:

- 1) lotnicze skanowanie laserowe – gęstość próbkowania 6 punktów na metr kwadratowy (tereny otwarte i zalesione) oraz 12 punktów na metr kwadratowy (okolice wzgórza zamkowego w Ilży);
- 2) błąd nadania georeferencji $\Delta Z \leq \pm 0,15$ m; rejestracja odbicia w trybie ciągłym (ang. *full waveform*), odczytana dla czterech ech; podstawowa klasyfikacja chmury punktów; format zapisu danych – plik LAS;
- 3) dane wysokościowe:
 - a) numeryczny model terenu – NMT zapisany w formacie GRID ASCII, o rozdzielczości 0,5 m w odwzorowaniu PUWG 1992; dokładność wysokościowa $\Delta Z \leq \pm 0,15$ m;
 - b) numeryczny model pokrycia terenu – NMPT zapisany w formacie GRID ASCII o rozdzielczości 0,5 m, w odwzorowaniu PUWG 1992; dokładność wysokości $\Delta Z \leq \pm 0,15$ m;
- 4) długość fali – 1550 nm.

Lotnicze pomiary geodezyjne LIDAR zostały wykonane w oparciu o system Lite Mapper 68000i niemieckiej firmy IGI mbH. Cztery zasadnicze komponenty systemu to:

- 1) Skaner Riegl (model LMS-Q680i – wykorzystujący technologię pomiaru fali ciągłej (ang. *Full Wave Form*) z funkcją Multi-Time-Around, umożliwiającą pozyskiwanie danych z wyższego pułapu lotu (w zależności od skanowanej powierzchni – do 3000 m). Urządzenie próbkuje teren z częstotliwością do 400 tys. punktów na sekundę, skanując do 200 linii na sekundę. Zakładana przez producenta dokładność pomiaru odległości wynosi do 0,02 m;
- 2) System GPS/INS nowej generacji (w tym Inertial Measurement Unit – IMU-IIe);
- 3) Kamera cyfrowa Hasselblad 39 mpix;
- 4) System AEROCtrl firmy IGI mbH do zarządzania pracą wyżej wymienionych komponentów.

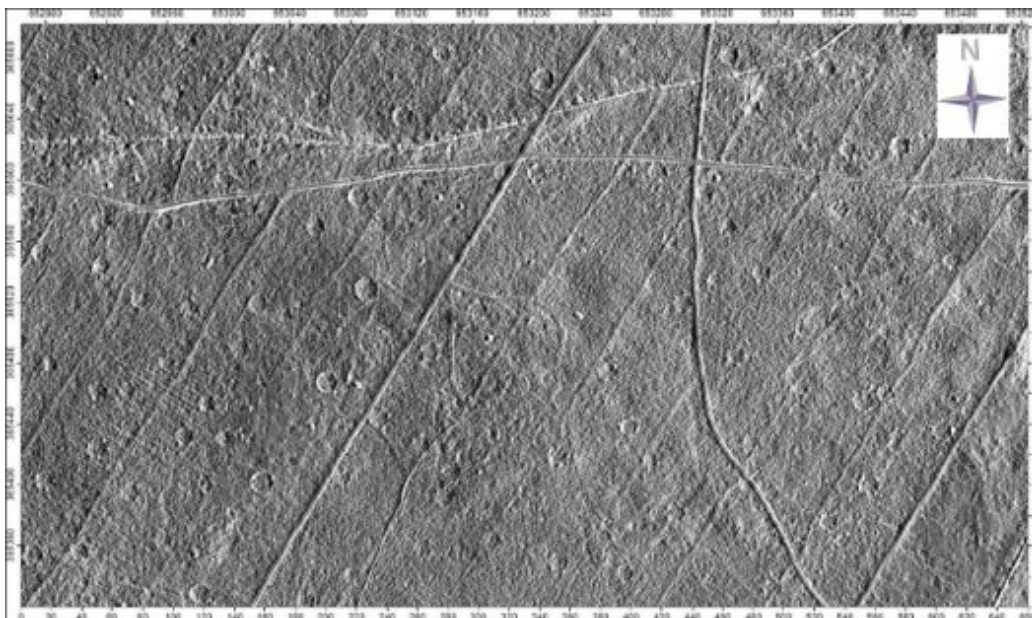
Po wykonaniu pomiarów na bazie lotniczego skanowania laserowego, dokonano przetworzenia pozyskanych geodanych (m.in. łączenie chmury punktów, klasyfikacja), a więc połączenia poszczególnych skanów (ang. *matching*) oraz transformacji do przyjętego układu współrzędnych (w odwzorowaniu PUWG 1992), a następnie wtórnie przetworzono zasób (np. wygenerowano NMT) zamykając procedurę analizą i interpretacją rezultatów tych przetworzeń.

Numeryczny model terenu, jako podstawę dalszych przetworzeń i analiz, wygenerowano na podstawie chmury punktów wspierając go metodą interpolacji punktów zawartych w klasie gruntu oraz w klasie wód do postaci GRID. Za materiał wejściowy w procesie przetwarzania posłużyły skorygowane chmury punktów. Proces korekty stanowił kontrolę jakości połączonych chmur punktów, w którym produktem pochodnym był roboczy NMT, który następnie poddano wizualnej ocenie poprawności modelu i jego manualnej poprawie, wykonanej przez operatora. W obszarach o słabym odbiciu – mniejszej gęstości pomiarów powierzchni terenu (np. gęsto porośnięty grunt lub powierzchnie wód) przeprowadzono interpolację na podstawie istniejących punktów, co umożliwiło uzyskanie quasi-ciągłego NMT. Prace te przeprowadzono przy zastosowaniu programów TerraScan i TerraModeler. W pierwszej kolejności NMT przygotowano w formacie ASCII, a następnie dane przekonwertowano do oczekiwanego formatu.

Analizę pozyskanego zasobu oraz interpretację wyników oparto na wygenerowanym NMT oraz jego przetworzeniach na podstawie: (1) analizy cieniowania zboczy (ang. *hillshading*; *shaded relief*), w tym wielokierunkowego cieniowania zboczy (ang. *hill-shading from multiple directions*); (2) analizy głównych składowych (ang. *principal component analysis* – akronim PCA); (3) lokalnego modelu rzeźby terenu (ang. *local relief model* – akronim LRM).

Analiza cieniowania zboczy, to najogólniej analiza umożliwiająca wygenerowanie mapy cieniowania, powstałego w wyniku pomierzonych i istniejących nierówności terenu (np. związanych z pozostałościami konstrukcji zabytkowych), przy symulowanym padaniu promieni słonecznych na teren. W rezultacie otrzymuje się mapę terenu z obszarami, które przy odpowiednim nasłonecznieniu lub jego braku są zacienione, co może wskazywać na występowanie powierzchniowych nieregularności, będących często fragmentarycznie zachowanymi obiektami zabytkowymi (rys. 2).

Analiza składowych głównych (Zagajewski i in., 2008; Laudański i in., 2012) (ang. *Principal Component Analysis*, PCA) – to metoda, która umożliwia kompresję najbardziej przydatnych, w późniejszym procesie klasyfikacji, informacji zawartych w obrazie przez utworzenie zmiennych nazywanych składowymi głównymi (Devereux i in., 2008; Hesse, 2012). W procesie PCA wyznacza się: (1) nową oś główną układu współrzędnych wzdłuż największej wariancji danych, przez rzutowanie wartości pikseli obrazu w przestrzeni wielowymiarowej; (2) osie prostopadłe do pierwszej, także według maksymalnej wariancji (najistotniejszej statystycznie informacji). W ten sposób powstają nowe kanały zawierające wzajemnie nieskorelowane dane (Zagajewski i in., 2008).



Rys. 2. Fragment obszaru testowego – okolice Seredzic, woj. mazowieckie: przykładowa mapa cieniowania reliefu (NMT) wygenerowanego na podstawie pomiarów ALS – azymut 90°/kąt padania promieni słońca 45°; widoczne owalne pozostałości obiektów zabytkowych (opracowanie: R. Zapłata)

Przetworzenie NMT za pomocą narzędzia jakim jest LRM – lokalny model rzeźby terenu, pozwala na wyodrębnienie małych różnic wysokościowych w terenie. Metoda ta jest przydatna przy identyfikacji obiektów antropogenicznych, które charakteryzują się niewielkim wyniesieniem lub wklęsłością w odniesieniu do najbliższego otoczenia (m.in. Hesse, 2012; Stular i in., 2012).

Prace kameralne z geodanymi poprzedziła kwerenda archiwalna zasobów kulturowych oraz weryfikacyjne badania powierzchniowe. Natomiast na kolejnych etapach badań, rezultaty analiz geodanych zostały pozytywnie zweryfikowane ponowną prospekcją terenową. Całość prac oparto na ogólnym schemacie: (1) określenie obszaru badań oraz celu, którym była prospekcja oraz inwentaryzacja zasobów zabytkowych; (2) pozyskanie geodanych (m.in. ALS) i przetworzenie zasobu cyfrowego na bazie dobranych narzędzi geoinformatycznych (GIS); (3) interpretacja i terenowa weryfikacja uzyskanych wyników oraz zestawienie rezultatów prac.

Analiza zasobu i wyniki badań

W celu wykrycia obiektów zabytkowych, pozyskane i wygenerowane dane, zwłaszcza numeryczny model terenu, poddano podczas prac kameralnych zróżnicowanym procedurom przetwarzania. W wyniku zastosowania wybranych narzędzi przetwarzania NMT, uzyskano mapy cieniowania zboczy, a także obrazy przedstawiające rezultat zastosowania PCA i LRM. Zarówno zastosowanie funkcji cieniowania zboczy, jak i wyżej wymienione analizy, umożliwiły zobrazowanie i wizualną identyfikację, między innymi grupy licznie występujących

Tabela. Zestawienie ilościowe i procentowe rozpoznanych obiektów (mielerzy) na podstawie stosowanych narzędzi wizualizacji oraz przetwarzania NMT
(opracowanie: R. Zapłata)

Podstawa przetwarzania NMT	Wykryte obiekty	
	liczba	procent
Hillshading – HS	42	75
Principal component analysis – PCA	52	92,857
Local relief model – LRM	56	100

obektów, które najogólniej mówiąc, charakteryzuje owalny kształt, średnica ok. 12-15 m, a także dookolne zagłębienia, o głębokości od kilku do kilkudziesięciu centymetrów (tab, rys. 3, 4 i 5). Należy wyjaśnić, że obiekty archeologiczne na terenach odsłoniętych, a w szczególności na obszarach zalesionych, można rozpoznawać na podstawie zachowanej (czasami szczątkowo) własnej rzeźby (różnic wysokości terenu) oraz na podstawie kształtu obiektu lub jego wielkości.

Terenowa weryfikacja potwierdziła istnienie ww. obiektów, które na podstawie analizy porównawczej oraz literatury przedmiotu, a także analizy źródeł pisanych (np. du Monceau, 1769), określono jako mielerze – pozostałości zabytkowych obiektów związanych z produkcją węgla drzewnego na tym terenie. Omawiane zabytki stanowią przykład większego skupiska obiektów nieruchomych, które znajdują się na terenie Staropolskiego Okręgu Przemysłowego. Na obszarze o powierzchni nieprzekraczającej 21 km² rozpoznano ponad tysiąc ww. obiektów zabytkowych tylko na podstawie analizy NMT, przetworzonego z wykorzystaniem wielokierunkowego cieniowania zboczy, a więc z zastosowaniem w pierwszej kolejności prostego narzędzia geoinformacyjnego. Przy zastosowaniach kolejnych filtrów morfologicznych, między innymi tych omawianych w tekście, na obszarze testowym możliwe stało się rozpoznanie i zadokumentowanie znacznie większego zbioru zabytków (patrz tabela).

Rozpoznane obiekty powiązано chronologicznie z funkcjonującym ww. okręgiem – datując je w przybliżeniu na okres XVI-XIX lub pierwszą połowę XX wieku, nie wykluczając możliwości funkcjonowania wpału węgla drzewnego na tych terenach w okresie średniowiecza (późnego średniowiecza), a nawet w starożytności. Podczas przeprowadzonych badań powierzchniowych, odnotowano dodatkową cechę umożliwiającą identyfikację obiektu, a także określenie jego funkcji, mianowicie występowanie na powierzchni terenu fragmentów węgla drzewnych oraz odznaczającej się warstwy ciemnobrunatnej spalenizny, o regularnym, owalnym kształcie (Zapłata, 2013).

W Polsce, a także w Europie, odnotowuje się liczne przykłady rozpoznania mielerzy jako obiektów preindustrialnych i industrialnych, na podstawie: badań historycznych (Zientara, 1954), badań powierzchniowych, a zwłaszcza badań wykopaliskowych (Radwan, 1959; Bielenin, 1962; Lisdorf, 2011; Kałagate i in., 2012), a w ostatnich latach na podstawie lotniczego skanowania laserowego (Ludemann, 2012).

Podsumowanie i wnioski

W wyniku przeprowadzonych prac, przyjęty model postępowania badawczego, wraz z zastosowanymi narzędziami, należy uznać za efektywne, a zarazem nieinwazyjne rozwiązanie w prospekcji i inwentaryzacji dziedzictwa archeologiczno-przemysłowego. Na obecnym etapie badań można sformułować kilka wniosków:

1. Zastosowanie lotniczego skanowania laserowego i systemu informacji geograficznej, a następnie funkcji cieniowania zboczy oraz analiz PCA i LRM, stanowi elementy wzmacniające jakość wykrywania oraz dokumentacji pozostałości obiektów zabytkowych.
2. Zastosowanie ww. narzędzi geoinformatycznych jest również sposobem na wieloaspektową i wzajemnie się weryfikującą prospekcję zasobów zabytkowych.
3. Rozpoznanie obiektów zabytkowych jedynie na podstawie zastosowania funkcji cieniowania zboczy, co jest dość powszechną praktyką, nie jest tak efektywne i szczegółowe, jak analiza i rozpoznanie zasobów zabytkowych z zastosowaniem analizy głównych składowych czy lokalnego modelu rzeźby terenu.
4. Zestawienie wyników detekcji wizualnej (manualnej) dla wybranego fragmentu obszaru na podstawie kilku metod przetwarzania geodanych (NMT), daje najlepszy i najpełniejszy rezultat odnajdywania obiektów zabytkowych. Pod względem ilościowym, na wybranym obszarze testowym rozpoznano: 42 obiekty przy zastosowaniu cieniowania zboczy i interpretacji wygenerowanych map, natomiast 56 obiektów (a więc o 14 więcej) w wyniku przetworzeń NMT narzędziami LRM i PCA łącznie.

Podsumowując, należy w szczególności zwrócić uwagę na niżej sformułowane potrzeby dalszych działań.

Zaprezentowana procedura postępowania, bazująca na GIS w badaniach dziedzictwa archeologiczno-przemysłowego, wsparta weryfikacyjnymi badaniami powierzchniowymi, jest potwierdzeniem potencjału, jaki należy wiązać z systemami geoinformatycznymi i lotniczym skanowaniem laserowym jako źródłem pozyskiwania geodanych na terenach zalesionych. Należy stwierdzić, że współczesny GIS obszarów leśnych czy też System Informatyczny Lasów Państwowych (SILP) (Wężyk, Szostak, Tompański, 2010) to system, w którym nie może zabraknąć warstwy tematycznej poświęconej zabytkom. Jednym z postulatów zastosowania GIS i ALS w badaniach dziedzictwa kulturowego na terenach leśnych jest możli-

wość prowadzenia zintegrowanych działań przedstawicieli środowiska archeologów, historyków i leśników, które mogą zaowocować rozpoznaniem i uwzględnieniem zasobów zabytkowych w gospodarce leśnej i planowaniu przestrzennym.

Z punktu widzenia potrzeb i dalszych działań w ramach badań archeologicznych sięgających po GIS i ALS, a zwłaszcza w odniesieniu do omawianego projektu, istotnym postulatem badawczym jest włączenie do analizy całego obszaru omawianych narzędzi, celem poprawy jakości i efektywności detekcji.

Konieczne jest opracowanie metody automatycznej detekcji zasobów zabytkowych, nad którą prowadzone są prace w ramach omawianego projektu, zwłaszcza z uwagi na licznie występujące obiekty o tym samym charakterze (kształt, rozmiar czy stan zachowania), których występowania należy się spodziewać zarówno na obszarach Staropolskiego Okręgu Przemysłowego, jak i na terenach całej Polski.

Warto również odnieść się do „Informatycznego Systemu Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami” (ISOK), który w świetle zaprezentowanych możliwości zastosowania GIS i narzędzi przetwarzania NMT w archeologii, stanowi ogromny zasób danych, mogących przyczynić się do poprawy wiedzy o zabytkach i stanie ich zachowania na znacznych terenach Polski.

Literatura

- Bielenin K., 1962: Ancient centre of iron metallurgy in the region of Góry Świętokrzyskie (Świętokrzyskie Mountains). *Archaeologia Polona* t. IV: 221-234.
- Devereux B., Amable G., Crow P., 2008: Visualisation of lidar terrain models for archaeological feature detection. *Antiquity* 82(316): 470-479.
- du Monceau D., 1769: Sposob robienia węgłów czyli sztuka węglarska w języku francuskim przez Pana Duhamel Du Monceau napisana. Tłumaczenia Niemieckiego notami pomnożona, a teraz dla przysłużenia się Narodowi, staraniem i kosztem I.W. Imc. Pana Jacka Małachowskiego [...] na Oyczysty ięzyk przełożona, i do druku podana. Warszawa. Dostęp 02.05.2013 r. <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty4/0488/> – []
- Hesse R., 2012: Detecting former field systems with airborne LIDAR – an overview of current methods. Poster. Dostęp 02.05.2013 r. http://www.academia.edu/1941481/Detecting_former_field_systems_with_airborne_LIDAR_-_an_overview_of_current_methods []
- Jasiewicz J., 2009: Zastosowanie analiz geoinformacyjnych w badaniu dawnych procesów osadniczych. [W:] Zwoliński Z. (red.), GIS – platforma integracyjna geografii, Poznań: UAM: 175-195.
- Kałagate S., Osypiński P., Stachowiak P., 2012: Relikty późnonowżytnego mielerza odkryte na stanowisku nr 4 w Wilkowie, gm. Świdnica, pow. zielonogórski, woj. lubuskie. *Archeologia Środkowego Nadodrza*. t. IX: 241-249.
- Kamermans H., 1999: Predictive modelling in Dutch archaeology, joining forces. [In:] Barceló J.A., Briz I., Vila A. (eds.), *New techniques for old times. CAA98 Computer applications and quantitative methods in archaeology*. Oxford: Archaeopress: 225-229.
- Kamermans H., 2000: Land evaluation as predictive modelling: a deductive approach. [In:] Lock G., (ed.) *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technology*. Amsterdam-Berlin-Oxford-Tokyo-Washington: IOS Press: 124-146.
- Laudański Z., Mańkowski D.R., Flaszka M., 2012: Eksploracyjna analiza czynnikowa w badaniach struktur zespołu zmiennych obserwowanych. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin* nr 263: 75-89.
- Ludemann T., 2012: Airborne laser scanning of historical wood charcoal production sites – a new tool of kiln site anthropology at the landscape level. [In:] Badal E., Carrinón Y., Macias M., Ntinou M., (eds.) *Wood and charcoal. Evidence for human and natural History*. Valencia: 247-252.
- Lisdorf J., 2011: Köhler über der Kohle. Ausgrabung von Holzkohlemeiler am Tagebau Jänschwalde. *Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier-Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg* z. 8: 213-223.
- Rączkowski W., 2002: *Archeologia lotnicza – metoda wobec teorii*. Poznań: UAM.

- Radwan M., 1959: Interpretacja odsłoniętych mielerzy świętokrzyskich. *Kwartalnik Historii Kultury Materialnej* 7 nr 3: 373-376.
- Stular B., Kokalj Z., Ostir K.L.N., 2012: Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features. *Journal of Archaeological Science* 39: 3354–3360.
- Terrasolid, 2013: TerraModeler User's Guide i TerraScan User's Guide. Dostęp 22.11.2013 r. https://www.terrasolid.com/download/user_guides.html
- Węzyk P., Szostak M., Tompański P., 2010: Aktualizacja baz danych SILP oraz Leśnej Mapy Numerycznej w oparciu o dane lotniczego skaningu laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 21: 437-446.
- Zagajewski B., Jarocińska A., Olesiuk D., 2008: Metody i techniki badań geoinformatycznych. Warszawa. http://www.telegeo.wgsr.uw.edu.pl/bz/Zagajewski_Jarocinska_Olesiuk_cpo.pdf
- Zapłata R., 2013: Sprawozdanie cząstkowe z badań nieinwazyjnych przeprowadzonych w III/IV kwartale 2012 r. oraz I kwartale 2013 r. na terenie Leśnictwa Seredzice oraz Polany (część S). Projekt naukowy pt. „Zastosowanie skaningu laserowego oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Opracowanie nieinwazyjnych, cyfrowych metod dokumentacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego” (kwiecień 2013, maszynopis w archiwum UKSW oraz WMKZ – Radom), Warszawa.
- Zapłata R., 2013: Zastosowanie fotogrametrii oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa archeologiczno-architektonicznego – zarys projektu na przykładzie ruin zamku w Hży. [W:] Seidel-Grzebińska A., Stanica-Brzezicka K. (red.), seria Cyfrowe spotkania z zabytkami, t. 4 (w druku), Wrocław.
- Zientara B., 1954: Dzieje małopolskiego hutnictwa żelaznego XIV-XVII wiek. Warszawa.
- Zwoliński Z., 2009: Rozwój myśli geoinformacyjnej. [W:] Zwoliński Z. (red.), GIS – platforma integracyjna geografii. Poznań: 9-21.

Abstract

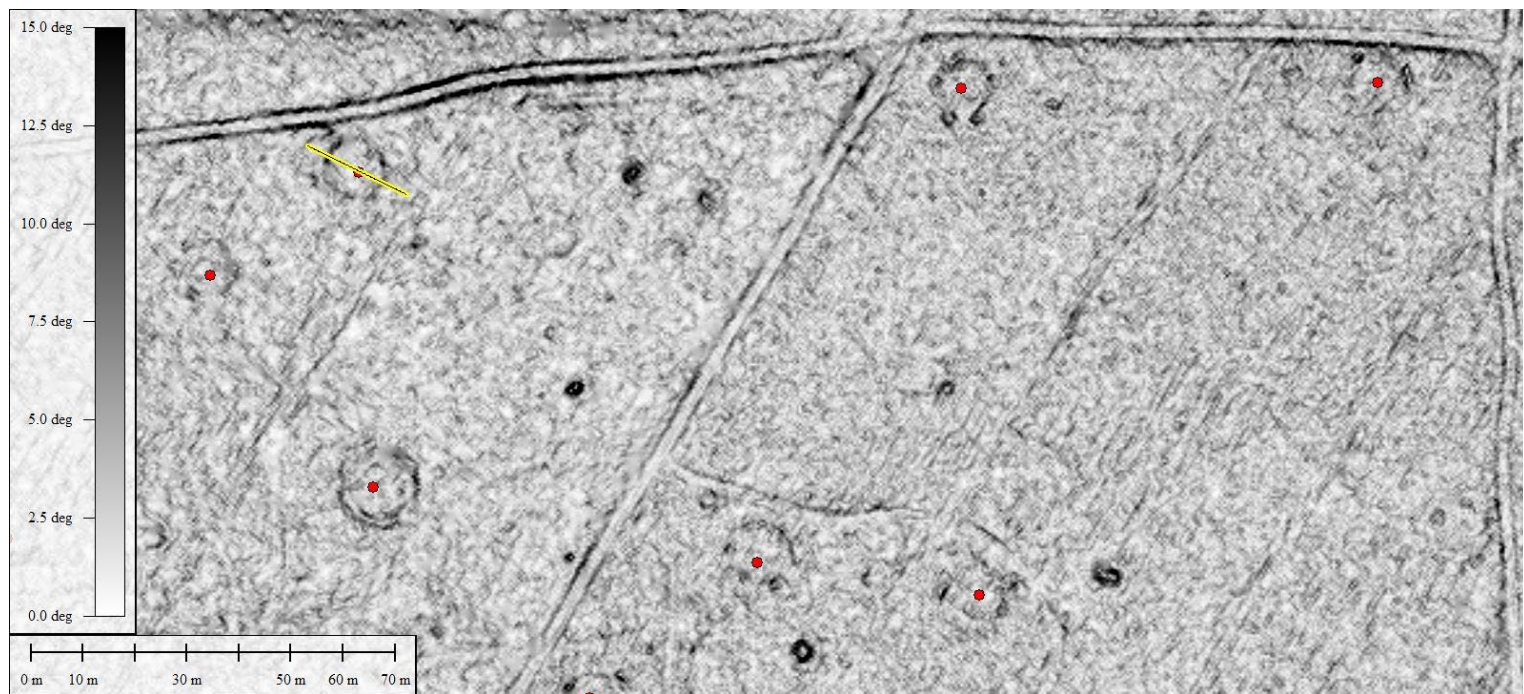
The aim of this paper is to present an overview of possible implementation of GIS in archaeology, on the example of selected geoinformatic tools used for detection and documentation of archaeological and industrial heritage. This paper presents selected elements of the existing geoinformatic system that allowed to discover and document charcoal piles in the vicinity of Seredzice in Mazovia, within the project "The implementation of laser scanning and remote sensing in protection, research and cataloguing of cultural heritage. Developing non-invasive digital methods of surveying and documenting architectural and archaeological heritage" (Research project supported by the Ministry of Science and Higher Education within the "National Program for the Advancement of Humanities"). Another goal of this text is to give a schematic overview of the procedure, developed on the basis of literature and previously carried out research, used in the above mentioned project to recognize heritage objects.

The paper consists of four main parts: introduction, presentation of the use of GIS in archaeology, presentation of chosen aspects of the currently constructed geoinformatic system, analyses and results of research and conclusion.

The text presents a geoinformatic system constructed for the purpose of conducting a scientific research program, one of the possible sources of data - aerial prospective scanning, and three methods of analysis that allow to detect heritage objects: 1) hill-shading (shaded relief), including hill-shading from multiple directions and 2) principal component analysis (PCA) and 3) local relief model (LRM). This text is an overview of a scientific method that includes elements of a geoinformatic system. Heritage objects discovered with its use were positively verified during field prospection.

dr Rafał Zapłata
rafalzaplata@poczta.onet.pl

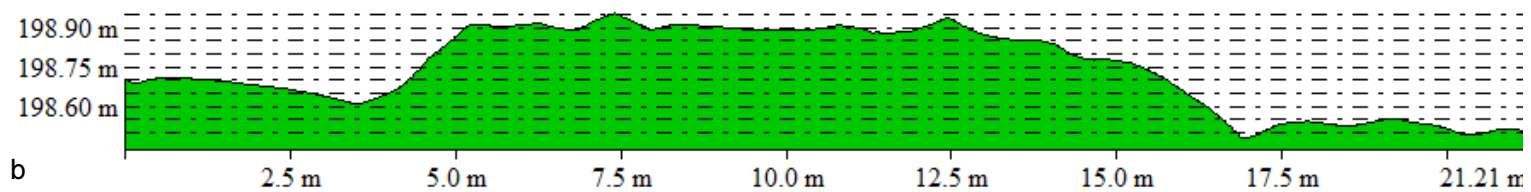
mgr Marcin Borowski
mborowski@mggpaero.com



a

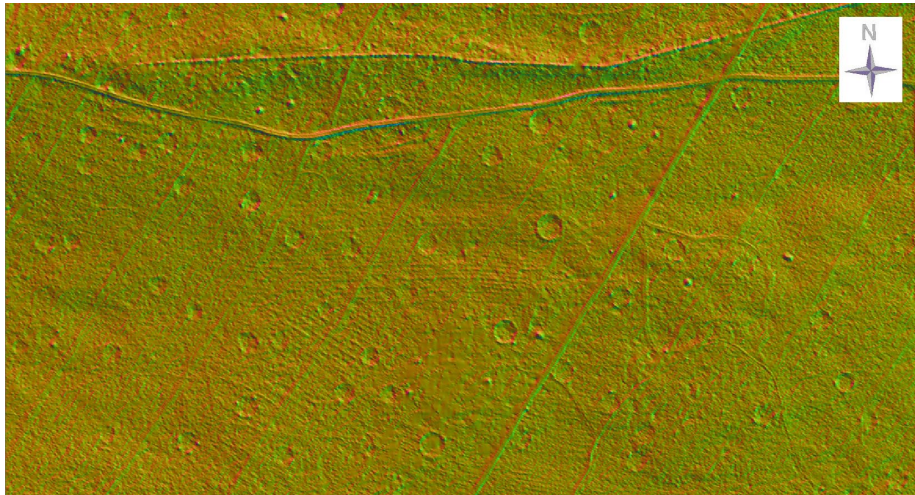
From Pos: 653075.100, 365593.256

To Pos: 653094.134, 365583.922

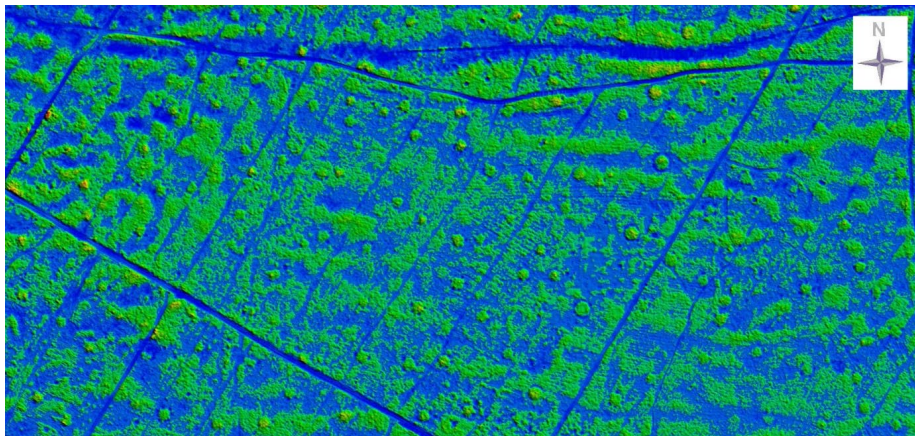


b

Rys. 3. Obszar testowy – okolice Seredzie, woj. mazowieckie: a – wizualizacja NMT po zastosowaniu funkcji cieniowania zboczy, widoczne owalne pozostałości zabytkowych mielrzy; b – przekrój przez przykładowy obiekt na podstawie pomiarów ALS (opracowanie: R. Zapłata)



a



b

Rys. 4. Obszar testowy – okolice Seredzic, woj. mazowieckie: wizualizacja fragmentu obszaru badań z zabytkowymi mielerzami – na podstawie pomiarów ALS i wygenerowanego NMT oraz przetworzenia danych: a – na podstawie PCA (opracowanie: M. Borowski), b – na podstawie LRM (opracowanie: R. Zapłata)



Rys. 5. Fragmentarycznie zachowane pozostałości zabytkowych mielerzy w okolicy Seredzic, woj. mazowieckie – obszar zalesiony; zagłębienia dookoła widoczne w terenie w okresie topnienia śniegu (fot. R. Zapłata)