

Zastosowanie danych ALS do interpretacji dawnych i współczesnych form użytkowania terenu na przykładzie wzgórza Grojec

Application of ALS data in interpretation of past
and contemporary land use forms using the example of Grojec hill

Witold Jucha¹, Anna Marszałek²

Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie

¹ Instytut Geografii, ² Studenckie Koło Naukowe Geografów

Słowa kluczowe: LiDAR, dane ALS, użytkowanie terenu, CMW, NMT, model cieniowany
Keywords: LiDAR, ALS data, land use, DEM, DTM, shaded relief model

Wstęp

Najdokładniejszym i najwierniejszym komputerowym odwzorowaniem powierzchni terenu są obecnie modele powstałe na podstawie danych pochodzących ze skanowania laserowego, nazywanego akronimem LiDAR (ang. *Light Detection and Ranging*). Informacje te określa się jako chmury punktów (ang. *point cloud*) – termin ten skrótowo oddaje wygląd danych przestrzennych w postaci binarnej. Wypierają one numeryczne modele terenu powstałe na podstawie zdjęć lotniczych lub map topograficznych, są też coraz częściej stosowane w badaniach naukowych (Kurczyński, 2005; Kurczyński, Bakula, 2013; Affek, 2014).

W związku z szeroką dostępnością produktów ALS dla Polski, powstałych w ramach projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami, <http://www.isok.gov.pl/>), spora część polskich opracowań naukowych dotyczących wykorzystania chmur punktów, powstałych przez skanowanie lotnicze, wykorzystuje dane pochodzące z tego projektu. Z racji pokrycia dużej powierzchni kraju istnieje także możliwość wykorzystania tych danych w badaniach nad pokryciem i użytkowaniem terenu.

W artykule podjęto analizę możliwości, jakie niesie ze sobą interpretacja modelu powierzchni terenu w badaniach nad dawnymi i współczesnymi formami użytkowania terenu. W dalszej części tekstu sformułowanie „formy użytkowania terenu” będzie rozumiane jako ślady celowego oddziaływania człowieka na ukształtowanie powierzchni, w odróżnieniu od „pokrycia terenu” (rozumianego przez autorów jako podział ciągły obszaru na klasy zarówno naturalne, np. lasy i wody powierzchniowe, jak również antropogeniczne, np. tereny rolnicze lub zurbanizowane). W związku z tym w artykule postawiono następujące cele szczegółowe:

1) ocena widoczności historycznych zasięgów rolniczej działalności człowieka na tle obrazu współczesnego;

2) ocena widoczności dawnych i współczesnych obiektów kulturowych i gospodarczych na wskazanym terenie badań.

Przedmiotem badań były widoczne w NMT utworzonym z danych ALS: zasięgi działek (na podstawie ich granic, tzw. miedz), stanowiska archeologiczne oraz kamieniołomy i stawy hodowlane. Wybrany do studium terenem badań było wzgórze Grojec, położone w Kotlinie Żywieckiej (Karpaty Zewnętrzne), w okolicy miasta Żywiec, na południu województwa śląskiego.

Przegląd pojęć

W artykule użyto dwóch grup terminów, które można w różny sposób zdefiniować. Pierwsza grupa dotyczy podziału technologii LiDAR jako teledetekcyjnego sposobu pozyskiwania informacji wysokościowych. Druga grupa jest zestawem pojęć związanych z rastrową reprezentacją powierzchni ziemi w środowisku GIS (cyfrowy model wysokościowy i jego pochodne). Dla jasności wyводу, poniżej podano ich definicje.

Jednym z podstawowych podziałów w technologii skanowania laserowego jest klasyfikacja z uwagi na położenie urządzenia dokonującego pomiaru i utworzenia przestrzennej chmury punktów, nazywanego skanerem (Ackermann, 1999; Cebulski, 2015; <http://www.isok.gov.pl/>):

- skaner naziemny (ang. *Terrestrial Laser Scanner*, TLS) – umieszczony na statywie geodezyjnym, służy do bardzo dokładnych pomiarów na niewielkich obszarowo obiektach, na przykład pojedynczych osuwiskach (Cebulski, 2015);
- skaner mobilny (ang. *Mobile Laser Scanner*, MLS) – urządzenie przenoszone ręcznie przez pomiarowego lub z użyciem pojazdu w trakcie skanowania, służy do tworzenia trójwymiarowych modeli przestrzennych wzdłuż trasy przemieszczania się użytkownika;
- skaner lotniczy (ang. *Airborne Laser Scanner*, ALS) – umieszczony na pokładzie samolotu, śmigłowca lub urządzenia bezzałogowego (tzw. drona); rozwiązanie stanowi kompromis pomiędzy dużą dokładnością a powierzchnią objętą skanowaniem (Ackermann, 1999); w ten sposób powstała chmura punktów ALS obejmująca powierzchnię większości Polski w ramach projektu ISOK (<http://www.isok.gov.pl/>);
- skaner satelitarne (ang. *Satellite Laser Scanner*, SLS) – umieszczony na pokładzie satelity okołozemskiego, dokonuje pomiaru z mniejszą dokładnością, za to bardzo dużych powierzchni w skali całej planety, przykładem jest misja i satelita NASA ICESat, służące między innymi do monitorowania powierzchni obszarów zlodowaconych na Ziemi (<http://www.icesat.gsfc.nasa.gov/>).

Terminologia związana z zagadnieniami rastrowych modeli powierzchni ziemi jest rozbudowana pod względem różnych określeń i często niespójna. W pracy użyto rozróżnień zaproponowanych przez Zwolińskiego (2010):

- cyfrowy model wysokościowy (CMW) – macierz rastrowa, w której każda komórka rastra ma przypisany atrybut liczbowy określający wysokość nad poziom odniesienia reprezentowanego przez nią wycinka powierzchni, mierzonej po gruncie; określenie jest odpowiednikiem angielskiego *Digital Elevation Model* (DEM);
- cyfrowy model powierzchni (CMP) – macierz rastrowa, w której każda komórka ma przypisany atrybut liczbowy określający wysokość nad poziom odniesienia reprezentowanego przez nią wycinka powierzchni, mierzonej po trwałych, naturalnych lub sztucznych elementach pokrycia terenu i gruncie (jeśli nie ma na jej obszarze informa-

- cji o pokryciu); określenie jest odpowiednikiem angielskiego *Digital Surface Model* (DSM);
- numeryczny model terenu (NMT) – wszelkie wskaźniki powstałe w wyniku przekształcenia CMW lub CMP, przykładowo mapa spadków terenu, mapa ekspozycji, mapa szorstkości podłoża, mapa cieniowanej rzeźby terenu itp.; określenie jest odpowiednikiem angielskiego *Digital Terrain Model* (DTM).

Przegląd literatury

W większości współczesnych studiów nad pokryciem i użytkowaniem terenu stosuje się analizę porównawczą w GIS na podstawie materiałów kartograficznych i/lub teledetekcyjnych pochodzących z kilku okresów (dwóch lub więcej). W pracach tych autorzy zazwyczaj dokonują samodzielnie podziału na klasy pokrycia/użytkowania, których szczegółowość jest uzależniona od użytego źródła (Kunz, 2006; Grudowska, 2015). Niekiedy w badaniach wykorzystuje się informacje z tego samego okresu (np. Jucha, Krocak, 2014). W takich przypadkach dane zebrane i wykonane w różnej skali porównuje się w celu oceny dokładności dwóch źródeł lub sposobów wyznaczania klas pokrycia/użytkowania.

Skanowanie laserowe różni się od pozostałych źródeł teledetekcyjnych przede wszystkim rejestracją położenia punktów pomiarowych w trzech wymiarach (oprócz położenia x , y , także współrzędnej wysokościowej z). Jego drugą ważną cechą jest zagęszczenie zbieranych informacji (zwykle kilka tysięcy pomiarów na sekundę). Na podstawie charakterystyk odbicia wiązki lasera dokonuje się także klasyfikacji powierzchni, od której odbiła się wiązka lasera (grunt, roślinność, zabudowa itd.). Umożliwia to wykonywanie, na niespotykaną wcześniej skalę, szczegółowych analiz ukształtowania powierzchni terenu, w tym rzeźby terenu maskowanej przez roślinność (Ackermann, 1999; Kurczyński, Bakula, 2013; Affek, 2014).

Wysoka szczegółowość, a także możliwości interpretacyjne detali ukrytych pod zwartą pokrywą roślinną, powodują rosnące zainteresowanie stosowaniem LiDAR w wielu naukach, między innymi w: leśnictwie (Sołoduchin i in., 1977; Węzyk, 2006; Stereńczak, Będkowski, 2011), geomorfologii (Dunning i in., 2010; Wojciechowski i in., 2012; Cebulski, 2015), archeologii (Hesse, 2010; Zapłata, Borowski, 2013; Kiarszys, Szalast, 2014), geografii i historii (Franczak, Jucha, 2015). Opis detali widocznych w NMT pochodzącym z ALS przedstawił Stereńczak (2009) opisując możliwości detekcji pojedynczych drzew, a także Będkowski i Stereńczak (2010) dokonując porównania różnic pomiędzy chmurami punktów powstałymi w okresach wiosennym i letnim. Z wykorzystaniem ALS dokonywana jest także częściowa automatyzacja generowania trójwymiarowych modeli dla pojedynczych budynków (Borowiec, 2009).

Trudno obecnie orzec jednoznacznie w kwestii detekcji zmian pokrycia terenu, jak rozwinięta sytuacja z badaniami na podstawie chmur punktów. Skany wykonane dotychczas w projekcie ISOK nie objęły około 10% powierzchni Polski (<http://www.codgik.gov.pl/>). Gdy powstaną, będą pierwszą w miarę jednolicie wykonaną chmurą punktów dla całego obszaru kraju. Można się spodziewać, że w projekcie ISOK przewidziano aktualizację danych i skanowanie powierzchni Polski będzie co kilka lat powtarzane. Na podstawie porównania danych wcześniejszych i późniejszych można będzie wnioskować o zmianach pokrycia/użytkowania w czasie, wyłącznie na podstawie danych ALS. Obecnie analizy polegają na porównaniu wcześniejszych materiałów teledetekcyjnych innego typu (np. zdjęć lotniczych)

lub źródeł kartograficznych z danymi skanowania lotniczego. Badacze mający takie możliwości wykonują na własne potrzeby serie nalotów w krótkich odstępach czasu. Wykonuje się także modele zabudowań miejskich (Jędrychowski, 2007) w czasie dokonywania jednokrotnego pomiaru (a więc bez uwzględnienia zmian w czasie) lub też studia nad automatycznym pozyskaniem informacji o pokryciu terenu z połączonych dwóch źródeł – chmury punktów uzyskanej za pomocą ALS i zdjęć lotniczych (Borkowski, Tymków, 2007).

Materiały i metody

Podstawowym materiałem prezentowanym w artykule są dane ALS, powstałe w projekcie ISOK w 2012 roku. Są to dane standardu I, tj. o średniej gęstości 4-6 punktów/m², błąd średni położenia wysokości (z) wynosi do 0,2 m (<http://www.codgik.gov.pl/>). W badaniu użyto 13 plików binarnych zawierających nieprzetworzone chmury punktów. Każdy z nich obejmuje obszar o powierzchni 1 km².

Dla potrzeb wektoryzacji i interpretacji modelu posłużono się dodatkowo ortofotomapą Polski pochodzącą z projektu LPIS (2012) dla zbadanego terenu. Dane – w postaci chmury punktów (pliki .las) i skalibrowanych plików rastrowych geotiff (pliki .tiff) – zostały udostępnione przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej dla Zbiorów Kartograficznych Instytutu Geografii Uniwersytetu Pedagogicznego im. KEN w Krakowie.

Z plików binarnych wygenerowano dla obszaru badań cyfrowe modele wysokości (CMW) i powierzchni (CMP) obejmujące roślinność niską, średnią i wysoką oraz zabudowania. Do przetworzenia plików .las użyto programu FUSION/LDV typu *open source*, stworzonego na potrzeby Służby Leśnej Stanów Zjednoczonych (<http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/>). Rozdzielczość rastra ustalono na 0,5 m.

Następnie otrzymane modele zaimportowano do programu Quantum GIS (<http://www.qgis.org/>). Wygenerowano z nich dwa NMT przedstawiające model cieniowany rzeźby terenu (ang. *shaded relief*) o różnych wariantach azymutu oświetlenia (315 i 135°) i identycznym kącie pionowym 45°. Pierwszy z nich odwzorowuje rzeźbę terenu w sposób zgodny z percepcją człowieka, tj. obiekty wypukłe są na nim postrzegane jako takie. Drugi z kolei charakteryzuje się odwrotną percepcją, tj. obiekty wypukłe są na nim postrzegane jako wklęsłe i *vice versa*. Użycie dwóch sposobów cieniowania o różnych parametrach jest przydatne w interpretacjach form niewielkich, w terenie o urozmaiconej rzeźbie i ekspozycji stoków. W przypadku zbyt dużego zacielenia lub przejaskrawienia obrazu na jednym modelu korzysta się z modelu drugiego (Franczak, Jucha, 2015).

Teren badań był w dużej mierze użytkowany na potrzeby rolnictwa. Niewielkie obszary leśne znajdowały się jedynie na stromych stokach i w sąsiedztwie potoków. Dlatego zdecydowano się na wyznaczenie zasięgu pól użytkowanych rolniczo widocznych w NMT, a następnie zbadania jego aktualnego sposobu użytkowania na ortofotomapie. Inne obiekty miały z punktu widzenia informacji przestrzennej charakter niewielkich, izolowanych (dyskretnych) powierzchni, które zdecydowano się zaznaczyć za pomocą punktów oraz obrysów obiektów. Realizując wymienione wyżej założenia poddano wektoryzacji wygenerowane modele cieniowane tworząc następujące warstwy:

- 1) zasięg pól uprawnych – zawiera całość powierzchni, na której udało się dostrzec dawny zasięg upraw rolniczych w formie działek i miedz – warstwa poligonowa;

2) obecne użytkowanie terenu – powstała wewnątrz pierwszej warstwy, uwzględnia obecne pokrycie terenu na podstawie modeli terenu obejmujących roślinność (lasy, zakrzewienia) i zabudowę (działki budowlane) – warstwa poligonowa;

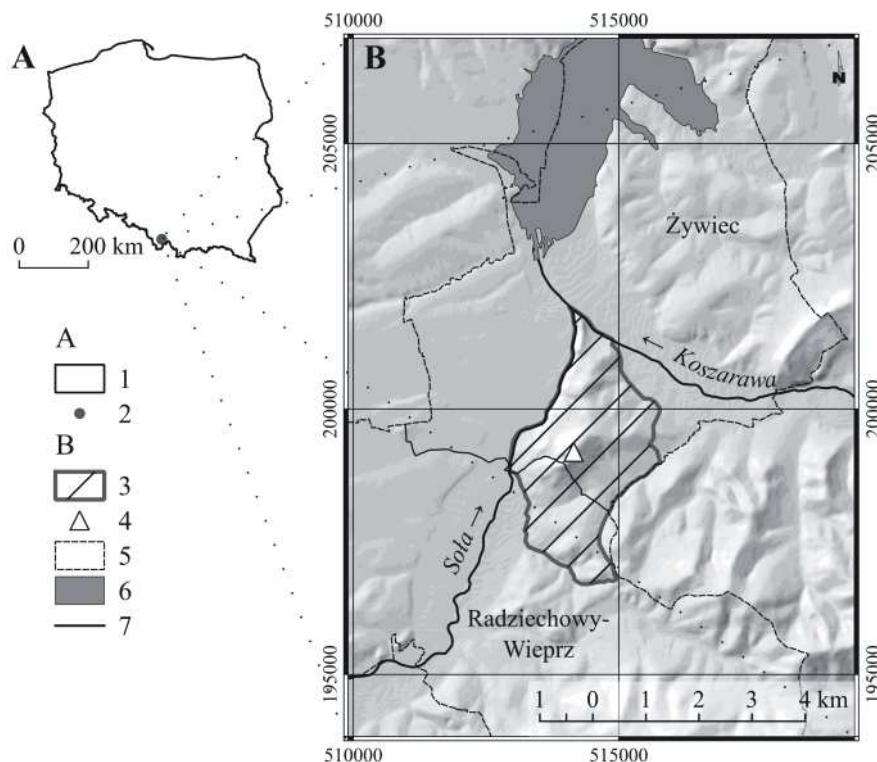
3) granice działek – powstała wewnątrz pierwszej warstwy, zaznaczono na niej granice poszczególnych działek – warstwa liniowa;

4) obiekty – oznaczenie poszczególnych obiektów antropogenicznych w podziale na klasy: stanowisko archeologiczne, kamieniołom, staw – warstwa poligonowa i punktowa (centroidy poligonów).

W przypadku dwóch pierwszych warstw wskazano w analizie kierunki, w których nastąpiła zmiana użytkowania pól uprawnych. Na podstawie trzeciej dokonano podstawowej charakterystyki dawnego rolnictwa na zbadanym obszarze, natomiast przy czwartej przedstawiono i scharakteryzowano widoczność wymienionych obiektów.

Teren badań

Badaniami objęto teren wzgórza Grojec, znajdującego się na granicy gmin Żywiec i Radziechowy-Wieprz (rys. 1). Wyznaczony teren badań miał 7,7 km² powierzchni. W regionalizacji fizyczno-geograficznej Kondrackiego (2009) obszar ten znajduje się na terenie zachod-



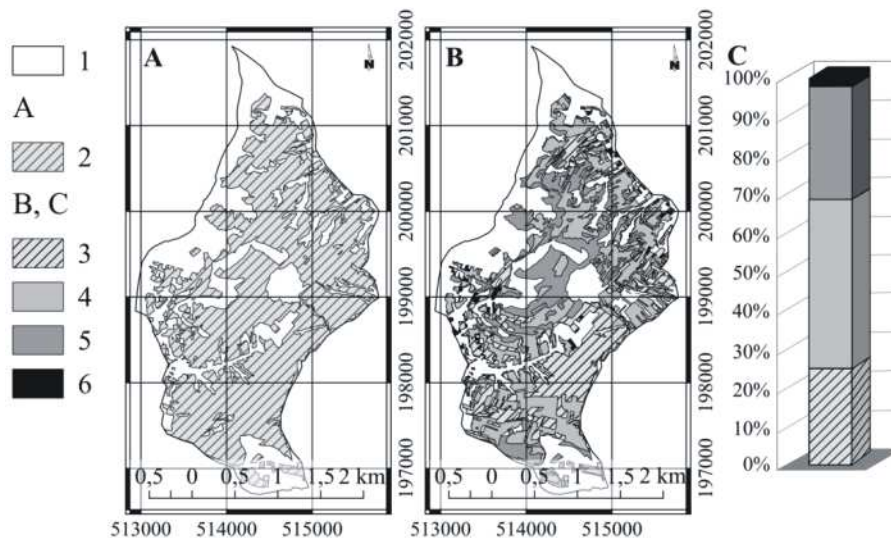
Rysunek 1. Położenie terenu badań: mapa A: 1 – granice Polski, 2 – lokalizacja mapy B; mapa B: 3 – obszar badań, 4 – szczyt Wzgórza Grojec, 5 – granice gmin (podpisane normalnym pismem), 6 – zbiorniki wodne, 7 – rzeki (podpisane kursywą)

nich Karpat Zewnętrznych, w mezoregionie Kotlina Żywiecka. Obszar jest ograniczony od zachodu, północy i północnego wschodu przez rzeki Sołę i Koszarawę, które łączą się w północno-zachodnim punkcie zasięgu badania. Pozostałe granice zostały wyznaczone w osiach dolin potoków odwadniających teren wzgórza.

Teren wzgórza był zamieszkały od czasów starożytnych. Na jego obszarze znajdowano ślady pobytu ludności celtyckiej i słowiańskiej, związanej z odnogą szlaku bursztynowego. Ponadto na szczycie Grojca znajdował się we wczesnym średniowieczu zamek rozbójników, po którym ślady i datę zdobycia i zburzenia odnotowuje XVIII-wieczny autor Komoniecki w kronice Chronografia albo Dziejopis Żywiecki pod datą 1462 r. (wyd. współczesne 1987). Na wzgórzu od wielu wieków była prowadzona działalność rolnicza, a także w XIX i XX wieku pozyskiwano z jego terenów skały wapienne, które wypalano w piecu wapienniczym u stóp wzgórza. Sama nazwa pochodzi od słowa „gród” „grodziec” i mogła oznaczać miejsce zamieszkałe lub ufortyfikowane („ogrodzone”).

Wyniki

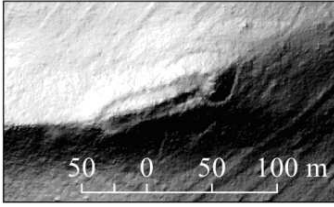
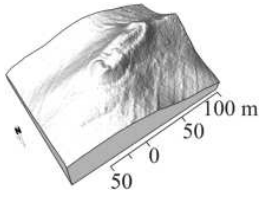
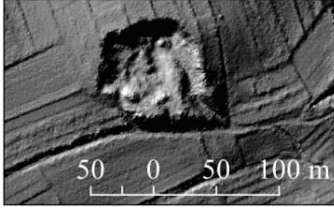
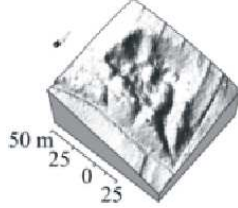
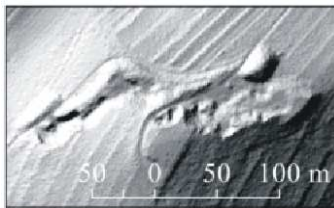
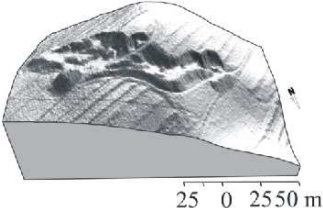
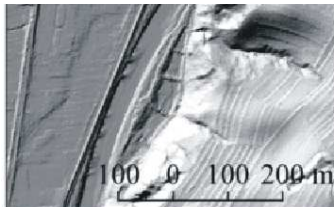
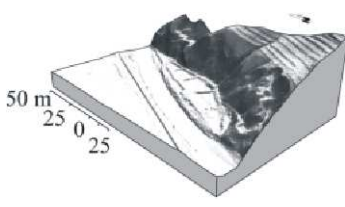
Zasięg wszystkich pól uprawnych widocznych w NMT wygenerowanym z ALS jest widoczny na rysunku 2A. Obejmuje on około 66% wyznaczonego obszaru badań (5,08 km²). Granice poszczególnych działek mają łączną długość 212,02 km, co daje 42 km długości miedz na każdym kilometrze kwadratowym. Obecne formy użytkowania terenu przedstawia mapa (rys. 2B) i diagram procentowy (rys. 2C). W wyniku obserwacji podzielono je na cztery klasy: tereny użytkowane rolniczo, tereny odłogowane, krzewy i zakrzewienia, tereny zabudowane.



Rysunek 2. Ostatni maksymalny zasięg pól uprawnych wyznaczonych przez granice działek w NMT i ich obecne użytkowanie: Mapa A – maksymalny zasięg pól uprawnych, Mapa B – obecne klasy użytkowania terenu, C – wykres udziałów poszczególnych klas użytkowania terenu w zasięgu maksymalnym pól uprawnych: 1 – teren badań, 2 – zasięg pól uprawnych (mapa A), 3 – zasięg pól uprawnych (mapa B), 4 – pola odłogowane, 5 – lasy i zakrzewienia, 6 – działki zabudowane

Wybrane do badania widoczności obiekty antropogeniczne zostały przedstawione w tabeli. Do ich przedstawienia użyto podstawowego sposobu cieniowania (promień padający z północnego zachodu, pod kątem 45°) oraz zobrazowania trójwymiarowego na blokdiagramie.

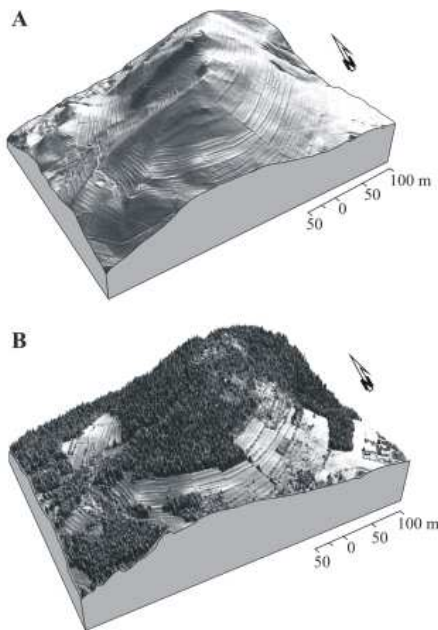
Tabela. Obiekty z obszaru badań widoczne w NMT pochodzącym z ALS (model cieniowany)

Lp. No.	Opis obiektu	Model cieniowany	Blokdiagram
1.	Stanowisko archeologiczne na szczycie Grójca		
2.	Kamieniołom (przykład 1)		
3.	Kamieniołom (przykład 2)		
4.	Stawy		

Analiza i dyskusja wyników

Zmiany użytkowania terenu w ostatnim maksymalnym zasięgu pól uprawnych

Pierwszym wnioskiem z obserwacji NMT wygenerowanych z ALS jest wyrazistość i czytelność granic działek, zwłaszcza o charakterze skarp (takich jak np. miedze). Nawet długo po zaprzestaniu działalności rolniczej na danym terenie są one widoczne zwłaszcza w NMT wygenerowanych na podstawie CMW (czyli powstałych na podstawie punktów zlokalizowanych na gruncie). Detekcja ich jest możliwa niezależnie od aktualnej pokrywy roślinnej (także pod lasami). Granice są rozpoznawalne na przykład w tle obiektów przedstawionych w tabeli.



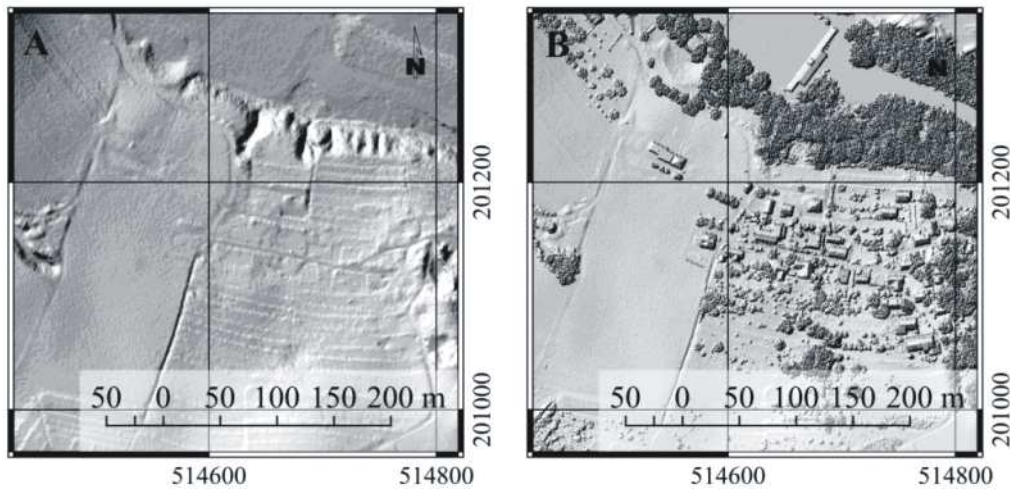
Rysunek 3. Blokdiagram części centralnej obszaru badań: A – NMT wygenerowany z CMW (widoczne granice działek), B – NMT wygenerowany z CMP

W rozważaniach nad badaniami w zakresie detekcji zmian pokrycia terenu na podstawie danych lotniczego skanowania laserowego (rozd. Przegląd literatury) podjęto kwestię badań nad nimi w GIS. Zazwyczaj detekcję zmian pokrycia w czasie wykonuje się używając źródeł z dwóch różnych okresów. W niniejszym artykule użyte materiały pochodziły z tego samego źródła. Wykorzystano w nim właściwości chmury punktów zapisanej w plikach binarnych, które pozwoliły na wygenerowanie zarówno CMW, jak i CMP (rys. 3). Dzięki temu otrzymano mapę dawnego zasięgu działek użytkowanych rolniczo oraz mapę współczesnego pokrycia i użytkowania terenu. Samo źródło danych nie umożliwia jednak zbadania zmian użytkowania w czasie. Choć można stwierdzić, jaki procent powierzchni uprawnych jest obecnie użytkowanych, to nie jest prawdą, że współczesna wartość jest tym konkretnym ułamkiem wartości dawnej (na podstawie wyłącznie użytych w tekście źródeł). Na przestrzeni wielowiekowej działalności człowieka na tym terenie poszczególne pola mogły powstawać, być porzucane i ponownie włączane do użytkowania, mogła też w związku z tym zmieniać się struktura przestrzenna działek (nowy po-

dział, komasacje itp.). Stąd w tytule rysunku 2 i w analizie użyte zostało sformułowanie „Ostatni największy zasięg pól uprawnych”, którego sygnatura obejmuje największą potencjalnie powierzchnię gruntów rolnych na zbadanym obszarze. Nie można twierdzić na bazie zbadanego materiału, że kiedykolwiek tak wyglądało użytkowanie rolnicze tego obszaru (czy był moment, w którym wszystkie te pola były obsiewane w całości).

Do ostatniego widocznego potencjalnego zasięgu pól uprawnych odniesiono współczesne użytkowanie tego terenu. Obecnie wciąż są użytkowane działki o łącznej powierzchni 25% tego wydzielenia. Znajdują się one głównie w części południowej wzgórza (rys. 2B). W przypadku 43% użytkowania zaprzestano, lecz wciąż są one widoczne jako bezleśne tereny zielone (w niektórych przypadkach uwidacznia się już sukcesja krzewów i mniejszych drzew). Są one położone na północnych stokach. Strome stoki w centralnej części wzgórza (rys. 3) i w części zachodniej, opadającej ku dolinie Soły zostały zalesione i zakrzewione, głównie na drodze naturalnej sukcesji, lecz widoczne są w niektórych miejscach zalesienia za pomocą innej struktury punktów (cehuje je większe zagęszczenie oraz widoczna regularność). Od zachodniej strony wkroczyła na niewielką część dawnych działek rolnych (2,5% powierzchni) zabudowa jednorodzinna, związana ze wsią Wieprz.

Na terenie badań znajduje się także fragment, na którym na pewno również były pola i granice działek (widoczne m.in. na wcześniejszych mapach). Zostały one zniwelowane w latach 90. XX wieku na potrzeby powstania niewielkiego wyciągu narciarskiego. Był on zlokalizowany w północnej części, jego trasa zjazdowa widoczna w NMT ma około 250 m długości (rys. 4). W tym przypadku doszło do zatarcia śladów dawnego użytkowania



Rysunek 4. Północny fragment wzgórza z wyciągiem narciarskim: A – NMT wygenerowany z CMW (widoczne granice działek; na stoku narciarskim po lewej stronie rysunku brak granic), B – NMT wygenerowany z CMP

w krajobrazie i na modelu. Charakterystyczne ukształtowanie części stoku na północnym zachodzie rysunku w kształcie półksiężyca jest odwzorowaniem w modelu estrady na wolnym powietrzu, nazywanej Amfiteatrem pod Grojcem.

Widoczność obiektów w NMT

Na obszarze badań zaznaczono i wybrano do analizy cztery obiekty antropogeniczne. Pierwszym obiektem jest stanowisko archeologiczne – grodzisko, ślady zamku pochodzącego ze średniowiecza, będące na szczycie wzgórza. W drugim i trzecim przypadku były to kamieniołomy, użytkowane do lat 80. XX wieku (Nejfeld, 2001). Na końcu przedstawiono grupę pięciu stawów hodowlanych użytkowanych współcześnie, znajdujących się u zachodniego podnóża wzgórza. Wymienione formy działalności człowieka odznaczają się znaczną ingerencją w rzeźbę terenu, przez co powinny być dobrze widoczne w jej modelu numerycznym.

Szczyt Grojca, będący wcześniej nie tylko stanowiskiem archeologicznym, ale i punktem widokowym (do mniej więcej końca lat 90. XX wieku), jest obecnie zalesiony na drodze naturalnej sukcesji (tab., rys. 3B). Stanowisko jest w terenie niewidoczne; jest również nieoznakowane oraz zniszczone (na terenie zamku została zbudowana stacja przekaźnikowa i maszt RTV). Na modelu wygenerowanym z danych ALS można jednak w sposób czytelny zinterpretować jego położenie, kształt i podstawowe wymiary (ma ono wydłużony kształt o wymiarach około 110×40 m). Z użyciem ortofotomapy nie istnieje możliwość takiej interpretacji.

Oba przedstawione kamieniołomy wapienne (tab.) są widoczne w sposób czytelny na NMT jako nietypowe zagłębienia terenu. Można zauważyć na ich terenie drogi komunikacyjne i ściany, z których wybierano skałę. W pierwszym przykładzie widoczna jest hałda skały płonnej w postaci niewielkiego, regularnego w kształcie pagórka przy północnym skraju kamieniołomu. Tereny te podczas interpretacji ortofotomapy zostałyby przypisane do klas pokrycia lasy lub zakrzewienia z racji tego, że są w większej części zarośnięte.

Stawy są widoczne jako płytkie zagłębienia przedzielone gozlami. Powierzchnia tych obiektów ma charakterystyczną teksturę modelu spowodowaną brakiem danych na ich obszarze. Jest ona podobna do występującej w korycie Soły, widocznym na zachód od stawów. Powodem takiego obrazu jest fakt, że wiązka lasera jest w znacznej mierze pochłaniana przez toń wodną. Na innych źródłach są one niezaznaczone (np. na mapach topograficznych, co sugeruje, że są to obiekty współczesne powstałe po ich wykreśleniu), zaś na ortofotomapie są częściowo niewidoczne z powodu częściowego przysłonięcia przez korony drzew.

Na podstawie tych czterech obiektów można stwierdzić, że ich położenie, wymiary i kształt mogły być odczytane w sposób prawidłowy tylko na LiDAR; w pozostałych przypadkach było to niemożliwe lub bardzo utrudnione. Niewątpliwie jest to zasługa użycia w badaniu chmury punktów wyłącznie sklasyfikowanych jako leżące na gruncie.

Wnioski i podsumowanie

Podsumowując, przedstawione w artykule badania, stanowiące realizację przyjętych celów, pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Dawne formy agrarnego użytkowania ziemi są w NMT, pochodzącym z ALS, widoczne w sposób bardzo czytelny. Interpretacja modelu umożliwia wskazanie nie tylko maksymalnego zasięgu pól uprawnych, ale również granic poszczególnych działek. Interpretacja ich pozwoliłaby zarówno na określenie skali rozdrobienia działek (w artykule jedynie zaznaczono, że gęstość granic na zbadanym obszarze wynosiła 42 km/km² powierzchni rolnej), ale również na interpretację układów przestrzennych (np. dawnych systemów łąnowych).
2. Ślady działalności gospodarczej i kulturowej człowieka charakteryzują się dużymi możliwościami interpretacyjnymi. Jedną z istotnych cech, podkreślanych także w badaniach archeologicznych i historycznych (Ackermann, 1999; Hesse, 2010; Zapłata, Borowski, 2013; Kiarszys, Szalast, 2014; Franczak, Jucha, 2015) jest wielki potencjał drzemający w oznaczaniu i wstępnej parametryzacji stanowisk za pomocą teledetekcyjnej prospekcji ALS. W archeologii lotniczej z użyciem LiDAR zanika podstawowa uciążliwość w detekcji, jaką jest zwarta pokrywa roślinna na badanym terenie.

Choć LiDAR jest nieocenionym źródłem danych teledetekcyjnych o dawnym użytkowaniu terenu, w analizie dostrzeżono pułapkę polegającą na niemożliwości określenia wieku oznaczonych form, którego należy szukać w innych źródłach wiedzy, zarówno materiałach kartograficznych, jak i piśmiennictwie. Wysoka czytelność nie umożliwia wnioskowania o dawnej powierzchni danego użytkowania, lecz o jego maksymalnym zasięgu w ostatnim okresie działalności człowieka. Może też zdarzyć się sytuacja, w której teren lub jego część zostanie przekształcony na potrzeby nowego zagospodarowania. W ten sposób wcześniejsze formy (np. miedze) przestaną być widoczne.

Literatura

- Ackermann F., 1999: Airborne laser scanning – present status and future expectations. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* no 54: 64-67, ISPRS.
- Affek A., 2014: Lotnicze skanowanie laserowe (ALS) w modelowaniu rzeźby terenu – nowe możliwości i pułapki. *Problemy Ekologii Krajobrazu* nr 38: 217-236, Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu.

- Będkowski K., Stereńczak K., 2010: Porównanie numerycznych modeli terenu obszarów leśnych generowanych z wykorzystaniem danych skaningu laserowego (LiDAR) uzyskanych w okresie wiosennym i letnim. *Roczniki Geomatyki* t. 8, z. 7: 11-20, PTIP, Warszawa.
- Borkowski A., Tymków P., 2007: Wykorzystanie danych lotniczego skaningu laserowego i zdjęć lotniczych do klasyfikacji pokrycia terenu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* nr 17a: 93-103, PTFiT, Warszawa.
- Borowiec N., 2009: Generowanie trójwymiarowego modelu budynku na podstawie danych lidarowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* nr 20: 47-56, PTFiT, Warszawa.
- Cebulski J., 2015: Naziemny skaningu laserowy jako narzędzie do określenia aktywności osuwiska. *Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie* nr 4: 12-20, UP, Kraków.
- Dunning S., Rosser N., Massem C., 2010: The integration of terrestrial laser scanning and numerical modeling in landslide investigations. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* no 43: 233-247.
- Franczak P., Jucha W., 2015: Odtworzenie przebiegu linii okopów z II wojny światowej (OKH Stellung b1) w Paśmie Jałowieckim i Grupie Mędralowej na podstawie numerycznego modelu terenu z danych LiDAR i badań terenowych. *Folia Geographica Socio-Oeconomica* nr 22: 87-108, UL, Łódź.
- Grudowska P., 2015: Zmiany w strukturze zagospodarowania obszarów okolic Dulowej w latach 1998-2014. *Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie* nr 4: 49-61, UP, Kraków.
- Hesse R., 2010: LiDAR-derived Local Relief Models – a new tool for archaeological prospection. *Archaeological prospection* nr 17: 67-72, J. Wiley & Sons Ltd.
- Jędrzychowski I., 2007: Numeryczny model zespołów urbanistycznych w Krakowie. *Roczniki Geomatyki* t. 5, z. 8: 199-207, PTIP, Warszawa.
- Jucha W., Krocak R., 2014: Porównanie danych o użytkowaniu terenu z programu CORINE Land Cover z danymi uzyskanymi z ortofotomap. [W:] Kaczmarska E., Raźniak P., (red.), Społeczno-ekonomiczne i przestrzenne przemiany struktur regionalnych, nr 2: 123-136, KAFM, Kraków.
- Kiarszys G., Szalast G., 2014: Archeologia w chmurze punktów. Porównanie rezultatów filtracji i klasyfikacji gruntu w projekcie ISOK z wynikami opracowanymi w LAStools i Terrasolid. *Folia Praehistorica Posnaniensa* nr 19: 267-292, UAM, Poznań.
- Komoniecki A., 1987: Chronografia albo Dziejopis Żywiecki. Grodziski S., Dwornicka I. (red.), Drukarnia Narodowa, Kraków: 39-41.
- Kunz M., 2006: Zmienność wzorca przestrzennego krajobrazu w świetle interpretacji dostępnych materiałów kartograficznych i teledetekcyjnych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* nr 16: 373-384, PTFiT, Warszawa.
- Kurczyński Z., 2005: Trendy rozwoju systemów obrazowania powierzchni Ziemi. *Roczniki Geomatyki* t. 3, z. 3: 59-72, PTIP, Warszawa.
- Kurczyński Z., Bakula K., 2013: Generowanie numerycznego modelu terenu o zasięgu krajowym w oparciu o lotnicze skanowanie laserowe w projekcie ISOK. [W:] Kurczyński Z. (red), Geodezyjne Technologie Pomiarowe. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, wydanie specjalne, monografia: 59-68, PTFiT, Warszawa.
- Nejfeld P., 2001: Ścieżka dydaktyczno-przyrodnicza „Wzgórze Grojec”. Starostwo Powiatowe w Żywcu, Żywiec, 32 s.
- Sołoduchin W.I., Kulasow A.G., Utenkow B.I., Żukow A.J., Mażugin I.N., Emalanow W.P., Kopolow I.A., 1977: Sjomka profila krony dieriewa s pomoszczju lazirnego dalnomiera. *Lesnoje Choziajstwo* nr 2: 71-73.
- Stereńczak K., 2009: Single tree detection based on airborne LiDAR (ALS) data. *Roczniki Geomatyki* t. 7, z. 2: 121-129, PTIP, Warszawa.
- Stereńczak K., Będkowski K., 2011: Wykorzystanie numerycznego modelu terenu i modelu pokrycia terenu do klasyfikacji drzewostanów na podstawie ich struktury pionowej i gatunkowej. *Sylwan* nr 155(4): 219-227, PTL, Warszawa.
- Węzyk P., 2006: Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie. *Roczniki Geomatyki* t. 4, z. 4: 119-132, PTIP, Warszawa.
- Wojciechowski T., Borkowski A., Perski Z., Wójcik A., 2012: Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty Zewnętrzne). *Przegląd Geologiczny* nr 60: 95-102, PGI, Warszawa.
- Zapłata R., Borowski M., 2013: GIS w archeologii – przykład prospekcji i inwentaryzacji dziedzictwa archeologiczno-przemysłowego. *Roczniki Geomatyki* t. 11, z. 4: 103-112, PTIP, Warszawa.
- Zwoliński Z., 2010: O homologiczności polskiej terminologii geoinformacyjnej. [W:] Zwoliński Z. (red.), GIS woda w środowisku: 21-30, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

Źródła internetowe

Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Dostęp 31.03.2016 r.

<http://www.codgik.gov.pl/>

FUSION/LDV. Dostęp 31.03.2016 r. <http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/>

Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami. Dostęp 31.03.2016 r.

<http://www.isok.gov.pl/>

NASA Ice, Cloud and land Elevation Satellite. Dostęp 31.03.2016 r. <http://www.icesat.gsfc.nasa.gov/>

Quantum GIS Project. Dostęp 31.03.2016 r. <http://www.qgis.org/>

Streszczenie

Artykuł prezentuje możliwości wykorzystania informacji pochodzących z lotniczego skanowania laserowego LiDAR jako źródła danych w badaniach nad użytkowaniem terenu. Do oceny funkcjonalności użyto chmury punktów powstałej w ramach projektu ISOK. Jako obszar badań wybrano teren wzgórza Grojec, położonego na południu województwa śląskiego, w południowej Polsce.

Z pozyskanych chmur punktów wygenerowano modele cieniowane rzeźby i pokrycia terenu. Następnie zostały one zinterpretowane i zwektoryzowane w celu ustalenia maksymalnego zasięgu pól uprawnych i ich obecnego użytkowania. Poza tym oznaczone zostały pojedyncze obiekty antropogeniczne z różnych okresów czasu: średniowieczne stanowisko archeologiczne, kamieniołomy z XIX i XX wieku, stawy hodowlane.

Po przeprowadzonej analizie wyników przedstawiono następujące wnioski:

- 1. Dawne formy agrarnego użytkowania ziemi są w LiDAR wyraźnie i czytelnie widoczne. Interpretacja modelu umożliwia wskazanie nie tylko maksymalnego zasięgu rolnictwa, ale również granic poszczególnych działek.*
- 2. Ślady działalności gospodarczej i kulturowej człowieka charakteryzują się dużymi możliwościami interpretacyjnymi. Wyniki wskazują na wielki potencjał drzemący w oznaczaniu i wstępnej parametryzacji stanowisk historycznych i archeologicznych z użyciem teledetekcyjnej prospekcji ALS.*

Interpretacja LiDAR nie umożliwia określenia czasowego momentu wykorzystywania poszczególnych obiektów. Tym niemniej wszelkie trudności z ustaleniem wieku powinny być weryfikowane i porównywane z innymi źródłami informacji przestrzennej, co podniesie wartość naukową badania.

Abstract

The article presents possible use of airborne laser scanning (ALS/LiDAR) data as an information source in researches of land use. Point clouds generated within the ISOK Project (The state information system of natural hazards prevention) were used to evaluate the functional usefulness. The Grojec hill located in the southern part of the Silesian voivodeship (south of Poland) was chosen as the research area.

Shaded models of the terrain relief and land cover were generated from point clouds. Afterwards they were interpreted and vectorized in order to determine the maximum range of arable lands and their current use). Apart from that single man-made objects from different periods of time were marked; they included a medieval archaeological excavation, quarries from XIX/XX century and ponds.

Conclusions from the analyses:

- 1. The former forms of agricultural land use are clearly visible in LiDAR data. Interpretation of a model is useful for determination of the maximum range of arable lands, as well as borders of individual fields.*
- 2. Also the marks of human cultural and economic activity are clearly visible and may be of high interest for interpreters. Applications of ALS data with remote sensing prospection are characterised by the high potential in initial researches of archaeological and historical excavations.*

Interpretation of LiDAR data cannot be used for determination of time when particular objects were used. However, as a general rule, the difficulties in setting the age should be verified and compared with other spatial data sources, what would increase the research value of performed works.

mgr inż. Witold Jucha
witold.jucha@gmail.com

Anna Marszałek
anna_marsz@wp.pl