

## **Czynniki wpływające na gęstość chmury punktów „leżących na gruncie” lotniczego skanowania laserowego na przykładzie danych pochodzących z projektu ISOK**

Factors influencing ground point density from Airborne  
Laser Scanning – a case study with ISOK Project data

**Mateusz Maślanka**

Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej  
Zakład Systemów Informacji Geograficznej, Kartografii i Teledetekcji

**Słowa kluczowe: ISOK, znormalizowany numeryczny model pokrycia terenu, numeryczny model terenu, numeryczny model pokrycia terenu, zwarcie drzewostanów**

Keywords: ISOK, normalized Digital Surface Model, Digital Terrain Model, Digital Surface Model, canopy cover

### **Wstęp**

Dane lotniczego skanowania laserowego (*Airborne Laser Scanning*, ALS) są między innymi niezwykle ważnym źródłem pozyskania informacji o wysokości terenu (Liu, 2008). Dają możliwość wygenerowania wysokorozdzielczego modelu terenu pozwalając na detekcję form rzeźby, które wcześniej nie mogły być wykryte za pomocą innych źródeł teledetekcyjnych (Evans, 2012), ze względu na cienie i niemożliwość obrazowania terenu na obszarach pokrytych gęstą roślinnością (Kraus i in., 1998). Istotną cechą danych ALS jest dokładność odwzorowania powierzchni terenu, jaką można uzyskać na obszarze o wybranym pokryciu terenu (Karel i in., 2006; Pourali i in., 2014; Liu i in., 2015). W wielu pracach omawiano wpływ różnych czynników na wynikową gęstość lotniczego skanowania laserowego. Większość prac skupia się na technicznych aspektach pozyskania danych i ich opracowaniu (Wehr i in., 1999; Zhang, 2007; Kurczyński i in., 2013; Yang i in., 2015), inne dotyczą zagadnień związanych z wpływem sezonowości (Stereńczak, Kozak, 2011), pokrycia roślinnością (Doneus, 2008), kąta skanowania (Aguilar i in., 2010) lub też nachylenia terenu (Su i in., 2006) na dokładność generowanych produktów. Jednakże ze względu na zróżnicowane parametry techniczne lotniczego skanowania laserowego, każdy zestaw danych powinien być rozpatrywany osobno, w kontekście wpływu roślinności oraz innych czynników na

redukcję liczby odbić od powierzchni gruntu i warunkowaną przez to możliwość wykrywania niewielkich rozmiarowo form rzeźby, szczególnie na obszarach pokrytych gęstą roślinnością.

W ramach projektu Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami (ISOK), realizowanego w latach 2011-2015, pozyskano produkty lotniczego skanowania laserowego dla niemalże całej Polski (Maślanka i in., 2014). Dane w państwowym zasobie geodezyjnym znajdują się w dwóch standardach opracowania, co bezpośrednio przekłada się na otrzymaną gęstość danych ALS. Standard I dotyczy chmury punktów wykonanej dla obszarów pozamiejskich i cechuje go gęstość 4 pkt/m<sup>2</sup>. Standard II zrealizowany został dla obszarów największych miast polskich, gdzie gęstość chmury punktów wyniosła nie mniej niż 12 pkt/m<sup>2</sup>. Chmura punktów została w ramach projektu sklasyfikowana zgodnie ze standardami Amerykańskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ASPRS). Wyróżniono między innymi klasy: i) punkty leżące na gruncie, ii) punkty reprezentujące niską, średnią i wysoką roślinność oraz iii) budynki (GUGiK, 2011). Dane z projektu ISOK wykorzystano między innymi do przygotowania map zagrożenia i ryzyka powodziowego (Malinger, 2012), badań nad osuwiskami (Wojciechowski i in., 2015) oraz inwentaryzacji archeologicznej (Zapłata i in., 2013). W tym ostatnim wypadku możliwość wykrycia form rzeźby świadczących o występowaniu obiektów istotnych dla archeologii zależy od gęstości skanowania. Podobny problem można napotkać w badaniach antropogenicznych form rzeźby, związanych z działalnością rolniczą na terenach podlegających wtórnej sukcesji roślinnej. Formy te są przedmiotem zainteresowania autora niniejszej pracy. Zatem analiza czynników zróżnicowania gęstości chmury punktów „leżących na gruncie” pozwoli na ocenę możliwości pozyskiwania informacji z danych ALS projektu ISOK do lokalizacji różnego typu obiektów lub form terenu, które mogą być zidentyfikowane na obszarze objętym skanowaniem, a także określenia ich progowych wielkości.

## Obszar badań i dane

Badania przeprowadzono w gminie Szczawnica, położonej w południowej Polsce przy granicy ze Słowacją. Wybór podyktowany był dostępnością danych oraz sukcesją leśną, która miała miejsce na tym obszarze po II wojnie światowej, przede wszystkim na skutek wysiedlenia części ludności (Dec i in., 2009; Kaim, 2009). W wyniku regresu osadniczego i samorzutnej sukcesji roślinności doszło do zamaskowania antropogenicznych form związanych z dawną działalnością rolniczą. Dane wysokościowe ALS wykorzystywane w niniejszej analizie pochodzą z 92 modułów archiwizacji leżących w obszarze gminy Szczawnica. Pozyskane zostały w ramach projektu ISOK i nalotu dla większego obszaru bloku LiDAR (ang. *Light Detection and Ranging* – skanowanie laserowe) nr 5031 w dniu 15 października 2012 roku. Charakteryzują się gęstością 4 pkt/m<sup>2</sup> (GUGiK, 2011), a obszar objęty analizą to około 121 km<sup>2</sup> (rys. 4).

Każdy moduł archiwizacji danych LiDAR zapisany jest w postaci pliku LAS w wersji 1.2, w układzie PL-1992, o rozmiarze 1/16 sekcji mapy topograficznej w skali 1:10 000. Chmura punktów wykorzystana w niniejszej analizie posiada georeferencję. Każdy rekord punktu pomiarowego prócz wartości X, Y, Z, uzupełniony jest atrybutami: intensywności, liczby odbić i ich kolejności, klasyfikacji, kąta skanowania, numeru szeregu, czasu GPS (*Global Positioning System*) czy też wartościami RGB (*Red, Green, Blue*). Do najważniejszych klas

chmury punktów wykorzystywanej w tej analizie należą punkty „leżące na gruncie”, punkty reprezentujące „budynki” oraz punkty sklasyfikowane jako „roślinność (niska, średnia i wysoka)” (GUGiK, 2011).

W analizach wykorzystano także warstwy z Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k): budynków (BUBD), jezdni (SKJZ), dróg (SKDR), ciągu ruchu pieszego i rowerowego (SKRP) oraz wody powierzchniowej (PTWP), dla których dokonano buforowania 10 m w celu racjonalnego ograniczenia zasięgu analizy i wyboru punktów testowych.

## Metody analizy danych

### Opracowanie warstw do analizy wpływu czynników

Czynniki różnicowania gęstości chmury punktów „leżących na gruncie” lotniczego skanowania laserowego można podzielić na te, które wynikają z uwarunkowań technicznych (kąt skanowania, liczba szeregów) lub z uwarunkowań środowiskowych (nachylenie terenu, zwarcie roślinności, wysokość szaty roślinnej).

Oceniając czynniki wpływające na gęstość chmury punktów budującej numeryczny model terenu (NMT), wykonano wiele produktów pochodnych wykorzystywanych w analizie, w pierwszej kolejności wykonano mapę gęstości chmury punktów dla klasy punktów „leżących na gruncie” (rys. 1a). Dodatkowo wygenerowano model gęstości chmury punktów pochodzącej ze wszystkich klas. Oba modele charakteryzują się rozdzielczością przestrzenną równą 1 m i zostały wygenerowane w aplikacji LP360 za pomocą funkcji „Export LiDAR Data” (GeoQue, 2016). Na podstawie powyższych danych została wygenerowana warstwa zawierająca informację o procentowym udziale punktów, jakie dotarły do terenu ze wszystkich punktów zarejestrowanych w analizowanym pikselu (rys. 1b). W celu jej utworzenia skorzystano z funkcji dzielenia i mnożenia rastrow.

Przypisując liczbę szeregów do wartości piksela wykorzystano funkcję aplikacji LasTools, bazując na poleceniu „- lasgrid -i \*.las -point\_source\_range”. Dzięki temu otrzymano macierz zawierającą wartości od 0 do 4 (rapidlasso GmbH, 2016) (rys. 2a). Natomiast zarejestrowaną wartość kąta skanowania pobrano bezpośrednio z chmury punktów za pomocą funkcji „point cloud statistic extractor” znajdującej się w aplikacji LP360 (GeoQue, 2016).

W kolejnym etapie prac utworzono znormalizowany numeryczny model pokrycia terenu (zNMPT) o pikselu równym 1 m (rys. 2b), przez odjęcie wartości NMT od wartości numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT). NMT został zbudowany na podstawie punktów lotniczego skanowania laserowego pochodzących z klasy punktów „leżących na gruncie”, natomiast NMPT z danych ALS sklasyfikowanych jako punkty pokrycia lotniczego skanowania laserowego (punkty „leżące na gruncie”, „roślinności niskiej, średniej, wysokiej”, a także punktów „budynków i budowli”). Model zNMPT odzwierciedla wysokość szaty roślinnej. Natomiast model nachylenia został wygenerowany na podstawie NMT (rys. 2c).

Rastrowym modelem wygenerowanym na podstawie danych ALS jest model zwarcia roślinności (rys. 2d). Zwarcie roślinności określane jest jako udział procentowy roślinności wysokiej dla każdego piksela o rozdzielczości 1 m. Model zwarcia drzewostanów przyjmuje więc wartości od 0 dla obszarów gdzie nie ma roślinności, do 100%, gdzie pokrycie roślinnością jest pełne. Warstwa ta została wygenerowana za pomocą aplikacji FUSION (USDA Forest Service, 2016).

### Losowanie punktów testowych

W celu racjonalnego ograniczenia zasięgu analizy i wyboru punktów testowych wykonano losowanie, które zostało uzależnione od powierzchni analizowanego obszaru, tak że 1 punkt był losowany na każde 1000 m<sup>2</sup>. Losowanie przeprowadzono przy użyciu funkcji Create Random Points oprogramowania ArcMap. Z grupy punktów poddanych analizie statystycznej usunięto punkty reprezentujące budynki, jezdnie, drogi, wody powierzchniowe i punkty znajdujące się w ich 10 metrowym sąsiedztwie (rys. 3). W rezultacie otrzymano 78 168 punktów.

### Określenie związków zmiennych i analiza statystyczna

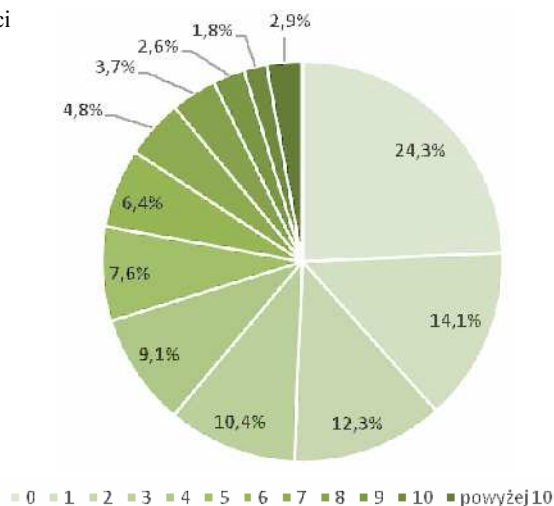
Bazując na wyselekcjonowanych danych dokonano analizy statystycznej, w celu otrzymania informacji o średniej wartości gęstości chmury punktów dla każdego z wyodrębnionych zestawów danych oraz określono korelację pomiędzy gęstością chmury punktów leżących na gruncie i procentowym udziale punktów, jakie dotarły do terenu ze wszystkich punktów zarejestrowanych w analizowanym pikselu, a innymi czynnikami, takimi jak: kąt skanowania, liczby szeregów, nachylenie terenu, zwarcie roślinności, wysokości szaty roślinnej. Następnie dla tych samych zmiennych zależnych wykonano analizę regresji wielozmiennej z użyciem aplikacji Statistica.

## Wyniki

Cały obszar opracowania charakteryzuje się średnią gęstością chmury punktów wynoszącą 3,3 pkt/m<sup>2</sup>, przy jednoczesnych wartościach średnich dla procentu punktów w gruncie wynoszących 29,7%. Rozkład gęstości chmury punktów leżących na gruncie nie jest równomierny. Obszary z większą gęstością chmury punktów znajdują się głównie w południowo-zachodniej części obszaru badań (rys. 2). Duży odsetek, przeszło 24% z 78 168 punktów testowych cechuje gęstość chmury punktów równa 0. Punkty mające gęstość równą od 1 do 3 pkt/m<sup>2</sup> stanowią ponad 35% notowanych wartości gęstości. Udział wyższych klas gęstości chmury punktów maleje od 9,1 do 1,8% wraz ze wzrostem gęstości chmury punktów. Punkty testowe z gęstością powyżej 10 pkt/m<sup>2</sup> stanowią niemalże 3% całej zbiorowości tych punktów (rys. 5).

Wraz ze wzrostem wartości gęstości chmury punktów leżących na gruncie i odsetkiem punktów na gruncie maleje stopień wielkości zwarcia drzewostanu, wysokości szaty roślinnej, nachylenia terenu, natomiast wzrasta kąt skanowania. Największą korelację wykazuje gęstość chmury punktów leżących na gruncie w relacji do procentowego udziału punktów, jakie dotarły do powierzchni terenu. Korelacja zanotowana dla tych zmiennych wynosi 0,766. Równie silną korelacją odznacza się zwarcie drzewostanu w relacji do odsetka punktów na gruncie (-0,725) oraz wysokością szaty roślinnej (0,707). Analizując korelację gęstości chmury punktów leżących na gruncie można dostrzec, że przeciętne wartości korelacji gęstość posiada z czynnikiem: zwarcia drzewostanów (-0,504), wysokością szaty roślinnej (-0,454) i kątem skanowania (0,446). Uwagę zwraca również przeciętna korelacja odsetka punktów na gruncie z wysokością szaty roślinnej wynosząca -0,596. Wszystkie zanotowane korelacje są istotne statystycznie gdyż ich p wynosi 0,000 (tab. 1).

**Rysunek 5.** Procentowy udział danej gęstości chmury punktów leżących na gruncie w ogólnej liczbie punktów testowych



**Tabela 1.** Korelacja gęstości chmury punktów z czynnikami wpływającymi na gęstość chmury punktów obliczone dla wszystkich punktów testowych

Gęstość chmury punktów dla klasy punktów w gruncie						
0,766	Procent punktów w gruncie					
0,190	0,095	Liczba szeregów				
-0,504	-0,725	-0,085	Zwarcie drzewostanu			
-0,454	-0,596	-0,016	0,707	Wysokość szaty roślinnej		
0,446	0,379	0,307	-0,287	-0,280	Kąt skanowania	
-0,285	-0,376	-0,068	0,360	0,326	-0,153	Nachylenie terenu

Dokonując analizy regresji wielozmiennej dla całego zbioru danych punktów testowych, objaśniono około 37 % zmienności gęstości chmury punktów oraz 58% zmienności procentowego udziału punktów na gruncie. Dodatkowo współczynnik beta, pozwalający porównać zależność między czynnikami wpływającymi na gęstość chmury punktów, wskazuje, że najmocniejszym powiązaniem pomiędzy gęstością czy też procentowym udziałem punktów odznacza się zwarcie drzewostanów oraz kąt skanowania, a najsłabszym liczba szeregów. Wszystkie wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabeli 2 i są istotne statystycznie, dla każdej zmiennej p równe jest 0,000.

**Tabela 2.** Wyniki regresji wielozmiennej dla całego zbioru danych punktów testowych względem:  
 a – gęstości chmury punktów, b – procentowego udziału punktów, jakie dotarły do terenu,  
 przy czym Beta to standaryzowany współczynnik regresji,  $r^2$  – współczynnik determinacji,  
 $p$  – poziom istotności

a	Współczynnik regresji liniowej	Beta
Wyraz wolny	3,6787	
Liczba szeregów	0,3917	0,0682
Zwarcie drzewostanu	-0,0212	-0,2820
Wysokość szaty roślinnej	-0,0617	-0,1442
Kąt skanowania	0,1180	0,2901
Nachylenie terenu	-0,0307	-0,0875
gdzie: $r^2 = 0,3750$ $p = 0,0000$		

b	Współczynnik regresji liniowej	Beta
Wyraz wolny	59,3251	
Liczba szeregów	-0,8219	-0,0151
Zwarcie drzewostanu	-0,3924	-0,5495
Wysokość szaty roślinnej	-0,4947	-0,1220
Kąt skanowania	0,6714	0,1741
Nachylenie terenu	-0,3777	-0,1134
gdzie: $r^2 = 0,5784$ $p = 0,0000$		

## Dyskusja

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że na gęstość chmury punktów mają wpływ zarówno czynniki związane z uwarunkowaniami technicznymi (kąt skanowania, liczba szeregów) oraz uwarunkowaniami środowiskowymi (nachylenie terenu, zwarcie roślinności, wysokość szaty roślinnej). Stwierdzono również, że większa liczebność szeregów lotniczego skanowania laserowego znajduje się na obszarach, gdzie wysokości bezwzględne są niskie. Dodatkowo liczebność szeregów nie ma dużego wpływu na gęstość punktów na gruncie lotniczego skanowania laserowego, co potwierdza tabela 2. Gęstość lotniczego skanowania laserowego wzrasta wraz liczebnością szeregów, jednakże głównym czynnikiem warunkującym wzrost gęstości chmury punktów jest zwarcie i kąt skanowania (tab. 1, 2).

Należy również zwrócić uwagę na zanotowany wzrost gęstości chmury punktów wraz z rosnącym kątem skanowania, który wynika z faktu, że obszary o dużym kącie skanowania mają większe prawdopodobieństwo nakładania się na siebie i zwiększają gęstość chmury punktów w zależności od liczby szeregów występujących na danym obszarze. Wyniki te znajdują również odzwierciedlenie w dotychczasowych badaniach Bollandśás i innych (2012), które wskazują na kąt skanowania, częstotliwość wysłanego impulsu, prędkość i wysokość lotu, jako na czynniki determinujące gęstość skanowania.

Zwarta roślinność ma największy wpływ na kształtowanie się gęstości chmury punktów. Tabela 1 opisująca korelację pomiędzy tymi cechami wskazuje najsilniejszy związek, zaraz po korelacji gęstości chmury punktów leżących na gruncie z procentem punktów w gruncie. Ponadto wyniki regresji wielozmiennej dowodzą, że zwarcie roślinności jest jedną z najważniejszych cech wpływających na rejestrowaną gęstość chmury punktów. Potwierdza to ustalenia Crowa i innych (2016), że gęsta, nierozrzedzona roślinność iglasta jest przyczyną braku punktów lotniczego skanowania laserowego poniżej koron drzew.

Znaczny wpływ na niską gęstość chmury punktów ma zanotowany duży odsetek punktów o gęstości danych ALS równej 0 (rys. 5). Wielkość ta (24,3%) najczęściej jest notowana w obszarach o wyższym zwarcie lub też wysokości szaty roślinnej. Niska gęstość chmury punktów może negatywnie wpływać na jakość generowanych modeli wysokościowych, a w rezultacie na odwzorowanie form terenowych występujących na badanym obszarze. Powyższe badania potwierdzają tezę Hutchinsona i Gallanta (2000), które wskazują na gęstość i precyzję, jako na czynniki warunkujące możliwość budowy bardzo dokładnego NMT.

Średnia gęstość lotniczego skanowania laserowego dla całego zeskanowanego obszaru, dla punktów leżących na gruncie, nie spełnia przyjętych norm projektu ISOK (minimalna gęstość chmury punktów – 4pkt/m<sup>2</sup>). Przyczyną rozbieżności między współczynnikiem gęstości skanowania ujętym w analizie a wielkościami pozwalającymi na spełnienie warunków technicznych ISOK, jest sposób budowy modelu gęstości chmury punktów. Projekt ISOK zakładał, że pomiary gęstości chmury punktów wykonywane są dla punktów „ostatniego” odbicia oraz punktów z jednym odbiciem (GUGiK, 2011), natomiast gęstość na potrzeby analizy była obliczona na podstawie tylko i wyłącznie punktów leżących na gruncie. Należy również zwrócić uwagę na obszary, w których w ogóle nie zostały zarejestrowane punkty lotniczego skanowania laserowego. Na tych terenach, ze względu na przyjęte warunki techniczne wykonania lotniczego skanowania laserowego w ramach projektu ISOK, gęstość chmury punktów dla punktów leżących na gruncie wynosiła 0. W kolejnych planowanych nalotach należałoby przyjąć odmienne zasady związane z pozyskaniem danych i zapisać warunek uwzględniający konieczność zachowania gęstości chmury dla punktów ostatniego odbicia, które są sklasyfikowane jako punkty „leżące na gruncie”. Dzięki temu można byłoby uzyskać dokładne modele wysokościowe obszarów znajdujących się pod zwartą lub wysoką roślinnością.

## Wnioski

W prezentowanych badaniach wykazano, że czynniki związane z uwarunkowaniami technicznymi (kął skanowania, liczba szeregów) i środowiskowymi (nachylenie terenu, zwarcie roślinności, wysokość szaty roślinnej) istotnie wpływają na gęstość chmury punktów lotniczego skanowania laserowego.

Niestety, obecna jakość chmury punktów w projekcie ISOK może uniemożliwić pozyskanie numerycznego modelu terenu pod gęstą roślinnością. W związku z tym dalsze badania w tym zakresie, powinny przebiegać nad analizą możliwości detekcji różnych form ukształtowania terenu, opierając się o szeroko dostępne dane z projektu ISOK.

## Literatura

- Aguilar F.J., Mills J.P., Delgado J., Aguilar M.A., Negreiros J.G., Perez J.L., 2010: Modelling vertical error in LiDAR-derived digital elevation models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* vol. 65, issue 1: 103-110.
- Bollandsås O.M., Risbøl O., Ene L.T., Næsset E., 2012: Using airborne small-footprint laser scanner data for detection of cultural. *Journal of Archaeological Science* 39 (8): 2733-2743.
- CODGiK, 2016: Numeryczne dane wysokościowe. Dostęp 05.01.2016 r. <http://www.codgik.gov.pl/index.php/zasob/numeryczne-dane-wysokosciowe.html>.
- Crow P., Benham S., Devereux B.J., Amable G.S., 2016: Woodland vegetation and its implications for archaeological survey using LiDAR. *Oxford Journals: Forestry* vol. 80, issue 3: 241-252.

- Dec M., Kaszta Ź., Korzeniowska K., Podsada A., Sobczyszyn-Żmudź S., Wójtowicz A., Zimna E., Ostapowicz K., 2009: Zmiany użytkowania ziemi w trzech gminach karpackich (Niedźwiedź, Szczawnica i Trzciana) w drugiej połowie XX wieku. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 20: 81-98.
- Doneus M., Briese Ch., Fera M., Janner M., 2008: Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning. *Journal of Archaeological Science* 35: 882-893.
- Evans I.S., 2012: Geomorphometry and landform mapping: What is a landform? *Geomorphology* t. 137(1): 94-106.
- GeoQue, 2016: Dostęp 30.04.2016 r. <http://www.lp360.com/>
- GUGiK, 2011: Warunki techniczne na wykonanie lotniczego skaningu laserowego (LiDAR) oraz opracowanie produktów pochodnych.
- Hutchinson M., Gallant J., 2000: Digital elevation models and representation of terrain shape. [In:] Wilson J., Gallant J. (eds.), *Terrain Analysis: Principles and Applications*. John Wiley & Sons: 77-108.
- Kaim D., 2009: Zmiany pokrycia terenu na pograniczu polsko-słowackim na przykładzie Małych Pienin. *Przegląd Geograficzny* 81 (1): 93-106.
- Karel W., Kraus K., 2006: Quality Parameters of Digital Terrain Models. [In:] *Checking and improving of digital terrain models / Reliability of Direct Georeferencing*, Official Publication No 51: 125-139, EuroSDR, ISBN: 9789051794915.
- Kraus K., Pfeifer N., 1998: Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 53(4): 193-203.
- Kurczyński Z., Bakula K., 2013: Generowanie referencyjnego numerycznego modelu terenu o zasięgu krajowym w oparciu o lotnicze skanowanie laserowe w projekcji ISOK. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* t. spec.: 59-68.
- Liu X.H., Hu H., Hu P., 2015: Accuracy Assessment of LiDAR-Derived Digital Elevation. *Remote Sensing* 7(6): 7062-7079.
- Liu X., 2008: Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Progress in Physical Geography* vol. 32, no. 1: 31-49.
- Malinger A., 2012: Wprowadzenie do opracowania map zagrożenia i ryzyka powodziowego. IMGW, Oddział w Poznaniu.
- Maślanka M., Wężyk P., 2014: Harmonogram i zadania realizowane w projekcji ISOK. [W:] Wężyk P. (red.), *Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR:17-19*. GUGiK, Warszawa.
- Pourali S., Arrowsmith C., Chrisman N., Matkan A., 2014: Vertical accuracy assessment of LiDAR ground points using minimum distance approach. *Proceedings Research@Locate'14*.
- Rapidlasso GmbH, 2016: Dostęp 30.04.2016. <https://rapidlasso.com/lastools/>
- Stereńczak K., Kozak J., 2011: Evaluation of digital terrain models generated in forest conditions from airborne laser scanning data acquired in two seasons. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26 (4): 374-384.
- Su J., Bork E., 2006: Influence of Vegetation, Slope, and Lidar Sampling Angle on DEM Accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* vol. 72, issue 11: 1275-1286.
- USDA Forest Service, 2016: Manual describing FUSION/LDV and the LIDAR Toolit. Dostęp 06.01.2016 r. [http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/FUSION\\_manual.pdf](http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/FUSION_manual.pdf)
- Wehr A., Lohr U., 1999: Airborne laser scanning – an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* vol. 54, issues 2-3: 68-82.
- Wojciechowski T., Perski Z., Wójcik A., 2015: Wykorzystanie wysokościowych danych laserowych w badaniu osuwisk. Materiały konferencyjne, Ogólnopolska Konferencja OSUWISKO, 19-22.05, Wieliczka, PIG-BIP.
- Yang H., Wang C., Ma T., Guo W., 2015: Accuracy assessment of interpolation methods in grid DEMs based on a variance-scale relation. *Environmental Earth Sciences* vol. 74, issue 8: 6525-6539.
- Zapłata R., Borowski M., 2013: GIS w archeologii przykład prospekcji i inwentaryzacji dziedzictwa archeologiczno-przemysłowego. *Roczniki Geomatyki* t. 11, z. 4(61): 103-112, PTIP, Warszawa.
- Zhang K., 2007: Airborne LIDAR Data Processing and Analysis Tools. American Geophysical Union. Fall Meeting 2007.



### **Streszczenie**

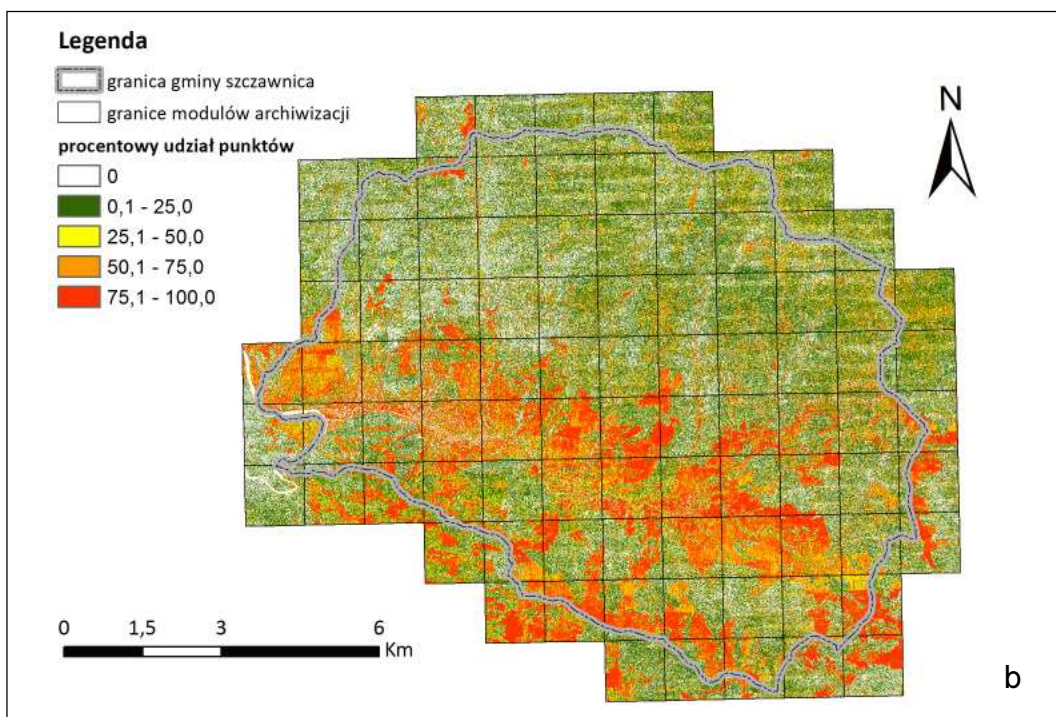
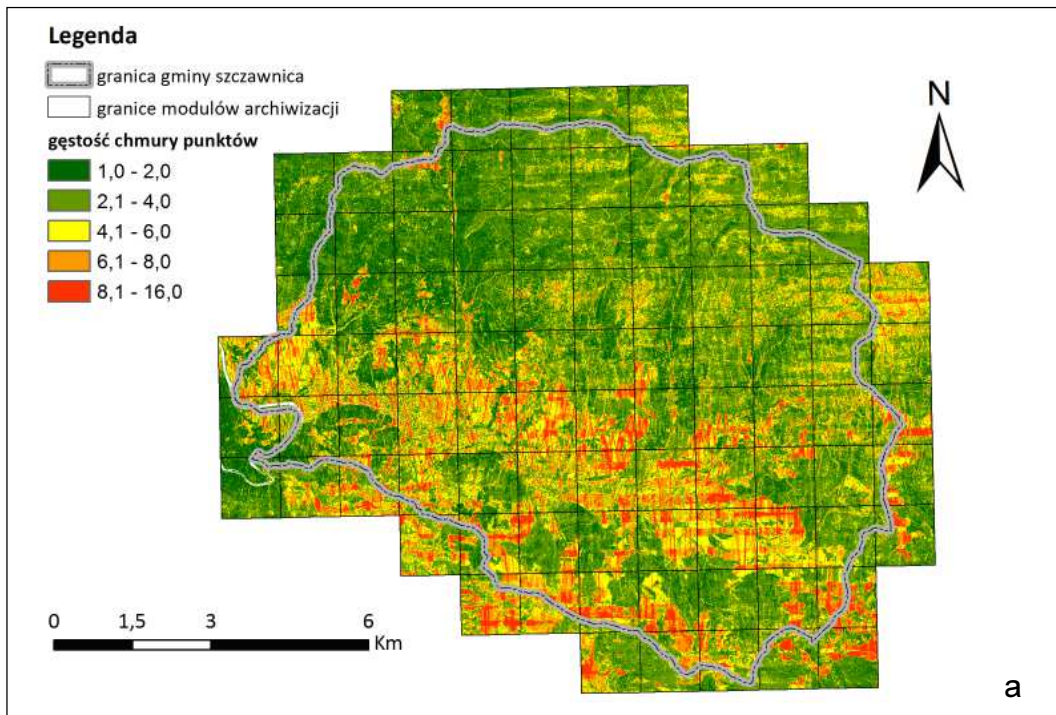
*Obszary gęsto pokryte roślinnością charakteryzują się obniżoną gęstością chmury punktów „leżących na gruncie”. Wpływa to negatywnie na odwzorowanie szczegółów terenowych na danym obszarze. W Polsce w latach 2011-2015 pozyskano dane lotniczego skanowania laserowego w ramach projektu Informatyczny System Ochrony Kraju (ISOK) przed nadzwyczajnymi zagrożeniami. Ze względu na coraz częstsze wykorzystanie tych danych do generowania NMT, należy ocenić czynniki wpływające na gęstość chmury punktów pod obszarami gęsto pokrytymi roślinnością. Praca przedstawia przykład takiej oceny. W pierwszym etapie wykonano modele rastrowe: gęstości chmury punktów, procentowego udziału punktów gruntu, liczby szeregów, NMT, nachylenia terenu, kąta skanowania, zwarcia drzewostanów i znormalizowanego numerycznego modelu pokrycia terenu (zNMPT). W dalszej części dla punktów testowych przeprowadzono analizę związków między zmiennymi na podstawie wielkości z wygenerowanych modeli oraz obiektów wektorowych. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że gęstość chmury punktów warunkowana jest głównie przez zwarcie drzewostanów, wysokość szaty roślinnej i kąt skanowania, przy czym pewien wpływ na kształtowanie się gęstości chmury punktów ma również nachylenie terenu oraz liczba szeregów.*

### **Abstract**

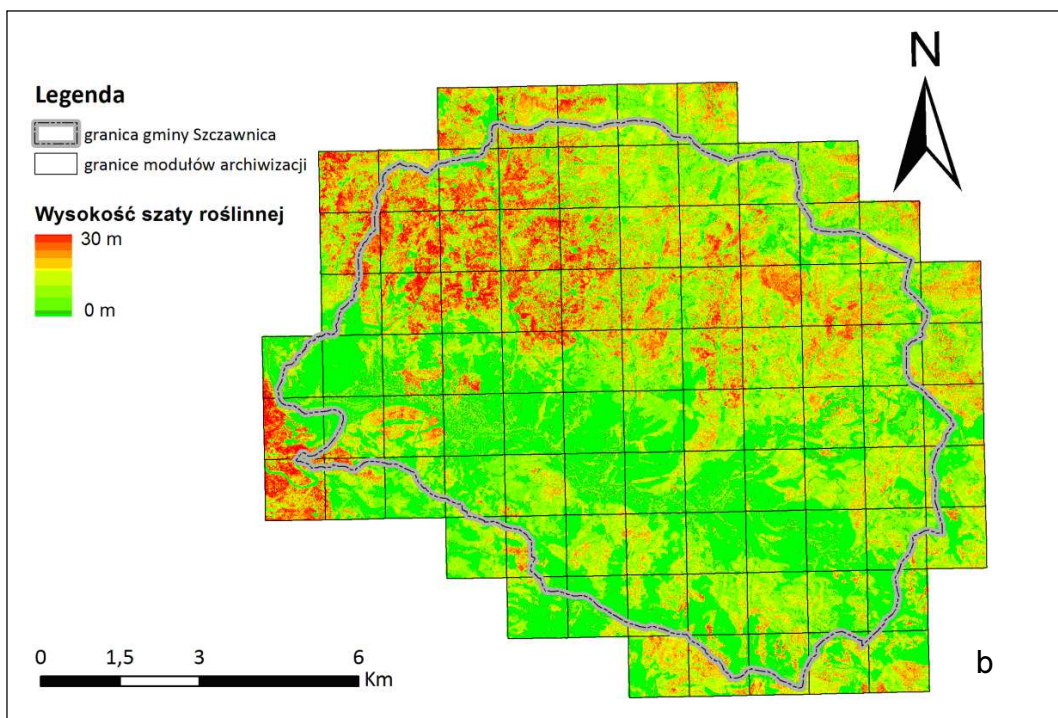
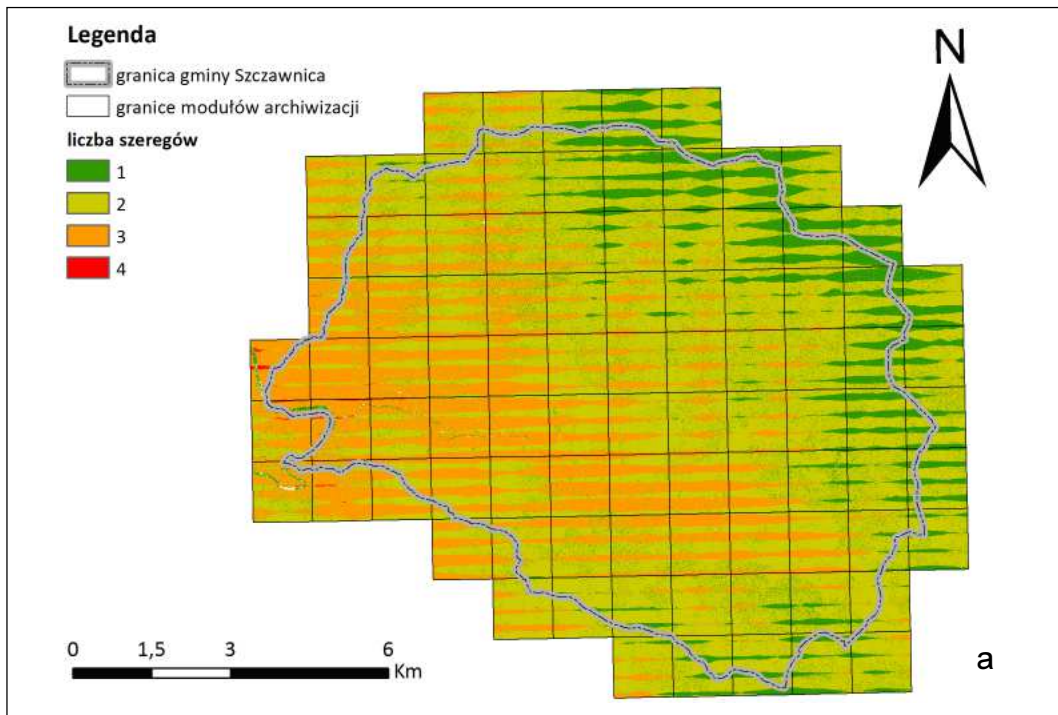
*Areas covered with vegetation are characterized by a lower density of ground points. This issue has a negative impact on the accuracy of terrain representation and terrain details that could be detected. Country-wide ALS data was delivered in Poland within the ISOK Project (the IT System of the Country's Protection against Extreme Hazards) between 2011 and 2015. Considering the increasing use of this data in the process of generation of Digital Terrain Models (DTM), factors affecting the density of ground points in areas covered with vegetation should be carefully assessed. During the first step various raster models were generated: the point cloud density, the percentage of ground points, the point source number, the slope, the scan angle, the canopy cover, the DTM and the normalized Digital Surface Model (nDSM). In the next step statistical analysis of relations between variables, basing on values from generated models and vector objects, was performed. The results showed that the density of ground points is mainly determined by the canopy cover, the forest height and the scan angle; however it is also influenced by the slope and the point source number.*

mgr Mateusz Maślanka  
maslanka.mateusz@gmail.com

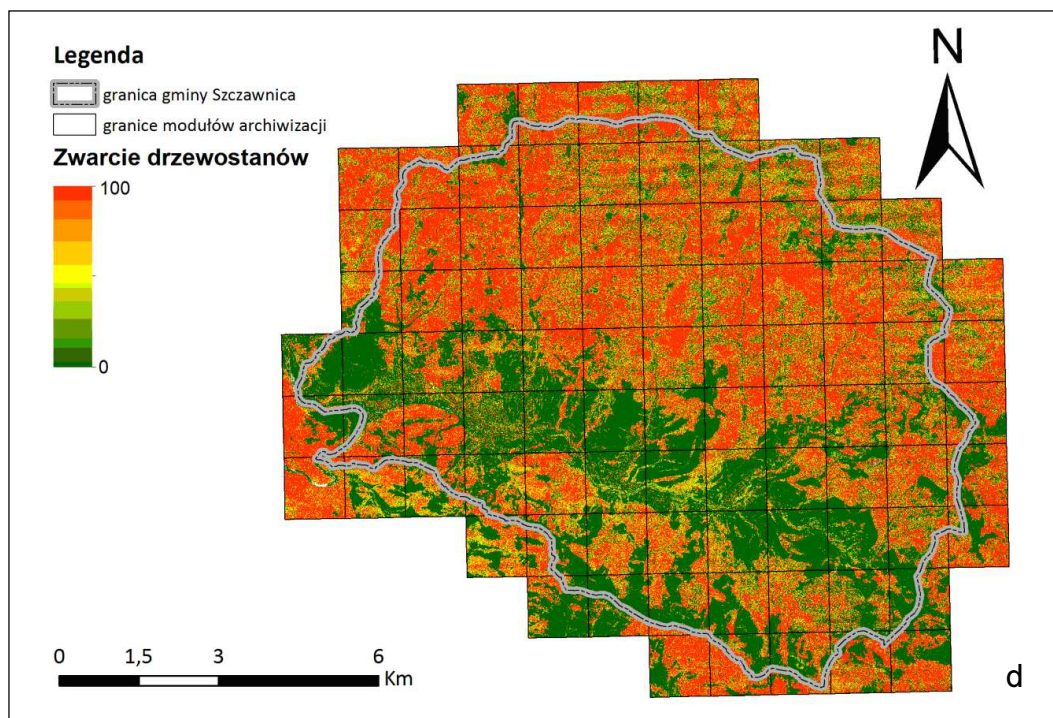
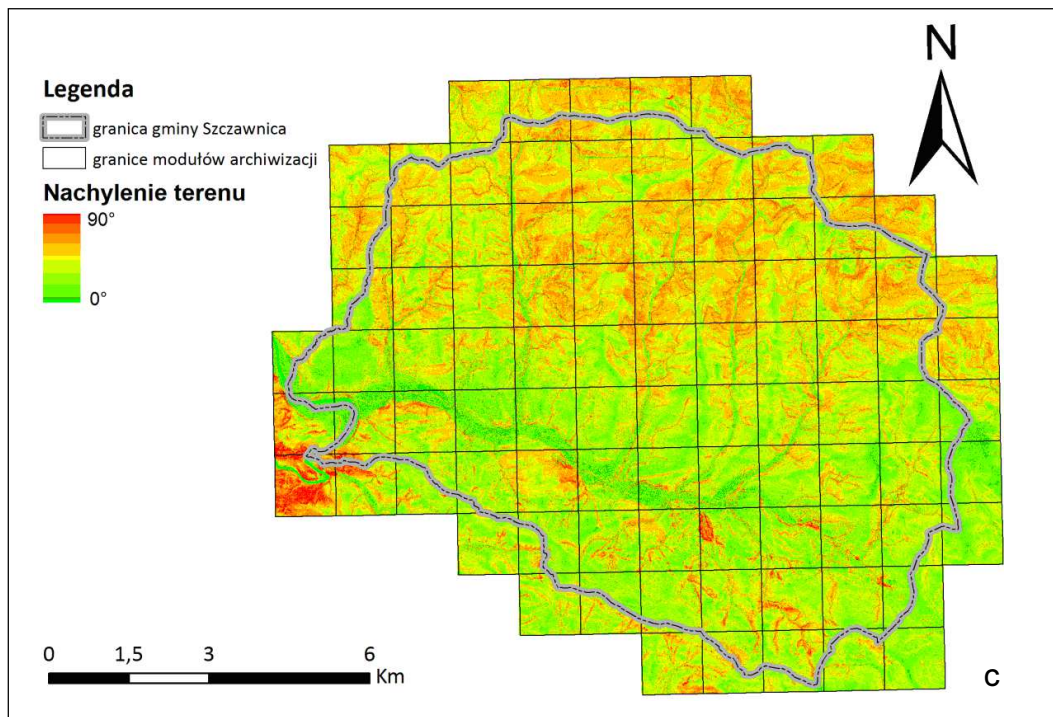




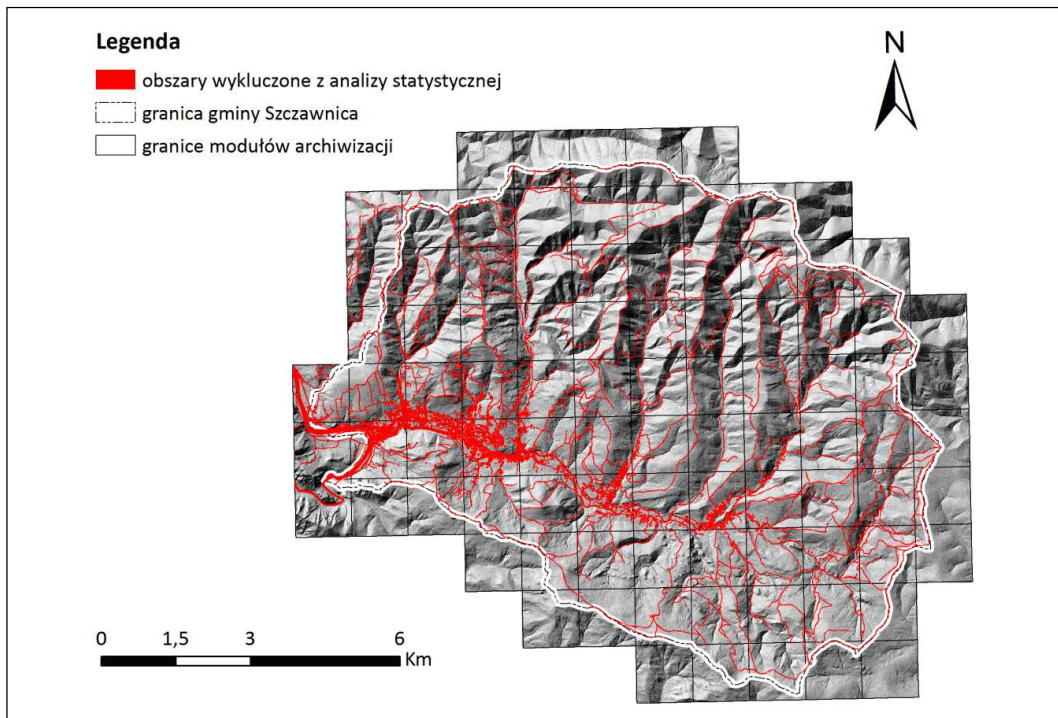
**Rysunek 1.** Mapy: a – gęstości chmury punktów leżących na gruncie, b – procentowego udziału punktów, jakie dotarły do terenu



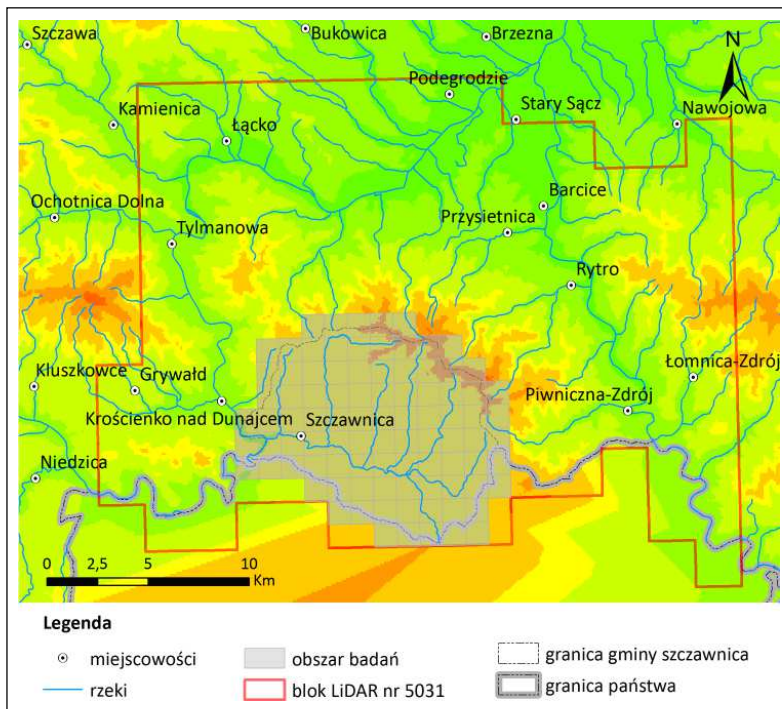
**Rysunek 2.** Mapy: a – pokrycia szeregami, b – wysokości szaty roślinnej



Rysunek 2. Mapy: c – nachylenia terenu, d – zwarcia roślinności



Rysunek 3. Zasięg obszarów wykluczonych z analizy statystycznej



Rysunek 4. Obszar badań