

dr inż. Czesław Suchocki*
dr inż. Jacek Rapiński**

Wyznaczenie zależności pomiędzy wielkością intensywności a temperaturą obserwowanego obiektu w naziemnym skaningu laserowym

The relation between the rate of intensity and the temperature of the object under observation in the terrestrial laser scanning

Naziemny skaningu laserowy to technika pomiaru wykorzystywana coraz częściej w różnych dziedzinach nauki, jak np. w geodezji, budownictwie, ochronie środowiska, do rejestracji otaczającej nas przestrzeni. Podczas pomiaru skanerem laserowym rejestruje się poza współrzędnymi przestrzennymi x , y , z tzw. czwartą „wirtualną” współrzędną, która informuje o ilości światła lasera odbitego od obiektu (*intensity*) [1]. Wielkość ta była wykorzystywana głównie przez użytkowników jako atrybut w wizualizacji chmur punktów. Obecnie *intensity* staje się coraz częściej obiektem zainteresowania i badań w celu wskazania jego nowych zastosowań. Przykładem może być wykorzystanie *intensity* jako atrybutu chmury punktów do selekcji, identyfikacji lub klasyfikacji danych pomiarowych [2].

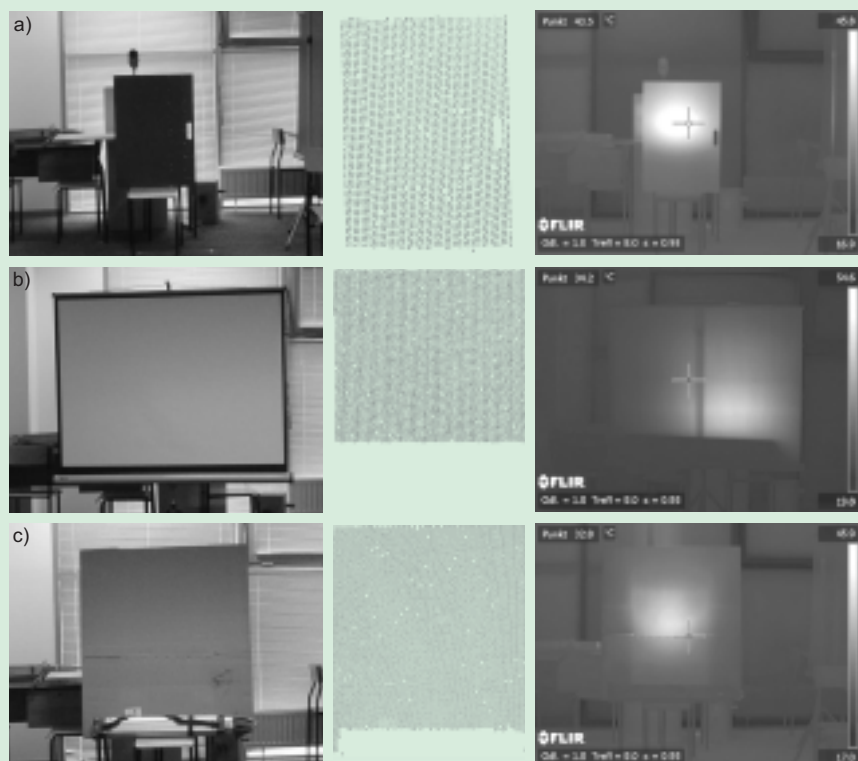
Intensity uzależnione jest od wielu czynników, m.in. kąta padania wiązki lasera, struktury, koloru i właściwości fizykochemicznych obserwowanego obiektu, czy też czynników atmosferycznych [1]. W publikacji Arsat Dewo Kekeba 2007 [3] przedstawiono wyniki badań, które polegały na określeniu korelacji pomiędzy temperaturą obserwowanego obiektu a wielkością *intensity* jego chmury punktów. Jako obiekt badawczy wykorzystano skarpe, w przypadku której różnica temperatury stoku skarpy wynosiła zaledwie 4 °C. W przypadku tak niewielkiej różnicy temperatury obserwowanego obiektu, wykazano silną ko-

relację (np. $R = 0,96$) pomiędzy temperaturą a wielkością *intensity*. W artykule przedstawiono badania, które miały na celu zweryfikować wymienione zależności.

Pomiar

Badania realizowano w warunkach laboratoryjnych. Wykonywano obserwacje obiektów płaskich i jednolitych pod względem struktury i kolorystyki, aby kąt padania wiązki lasera i kolor obiektu miały jak najmniejszy wpływ na zróżnicowanie wielkości *intensity* chmury punktów. Dokonano obserwacji trzech różnych po-

wierzchni plansz: metalowej, papierowej (karton) oraz płóciennej. Każdorazowo za planszą ustawiano źródło ciepła, które ogrzewało ją w punkcie centralnym. W badaniach zastosowano skaner laserowy Leica ScanStation C10 i kamerę termalną SC 660 firmy FLIR System. Ustawiono go w odległości ok. 7 m od skanowanego obiektu, dzięki czemu podczas pomiaru każdorazowo rejestrowano geometrię obiektu w postaci chmury punktów (x , y , z , *intensity*) oraz rozkład temperatury obiektu w postaci obrazu termalnego (pliku JPEG). Na fotografii zaprezentowano wynik pomiaru.



Obserwowany obiekt oraz chmura punktów i obraz termalny: (a) plansza stalowa; (b) plansza płócienna; (c) plansza papierowa

* Politechnika Koszalińska, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji, Katedra Geodezji

** Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Instytut Geodezji

Opracowanie danych

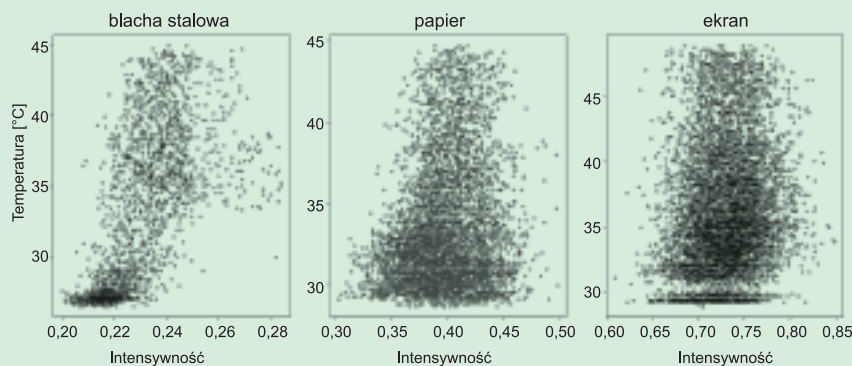
W celu opracowania danych wyeksportowano chmurę punktów w postaci $x, y, z, intensity$ do pliku tekstowego. Następnie dokonano transformacji przestrzennej danych do układu współrzędnych obiektu w taki sposób, aby oś OX' i OY' nowego układu współrzędnych zawierały się w płaszczyźnie planszy. Płaszczyznę planszy wyznaczano metodą Najmniejszych Kwadratów z danych pomiarowych, jako płaszczyznę regresyjną $Ax + By + Cz + D = 0$ spełniającą warunek.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{|Ax_i + By_i + Cz_i + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \right)^2 \rightarrow \min$$

Oznacza to, że suma odległości wszystkich punktów pomiarowych od wyznaczonej płaszczyzny dąży do minimum.

Zbiór punktów po transformacji oraz jego obraz termalny zaimportowano do programu ArcGIS firmy ESRI i dokonano rektyfikacji obrazu termalnego w celu wyrażenia go w układzie współrzędnych obiektu. Następnie każdemu punktowi przypisano kolor ze zdjęcia, który reprezentuje temperaturę obiektu w punkcie pomiarowym. Uzyskano zbiór danych w postaci „ $x, y, z, intensity, temperatura$ ”, które wykorzystano do dalszych analiz.

Na rysunku 1 przedstawiono zależność obserwowanych wielkości $intensity$ (oś OX) i $temperatura$ (oś OY) dla punktów pomiarowych. Analizując rysunek 1, można zauważyć, że rozkład punktów jest przypadkowy i trudno wskazać na zależność tych dwóch wielkości. W celu szczegółowej analizy wyznaczono współczynnik korelacji liniowej Pearsona ($R_{inte., temp.}$) tych dwóch zmiennych, jako iloraz kowariancji i iloczynu odchylen standardowych zmiennych.



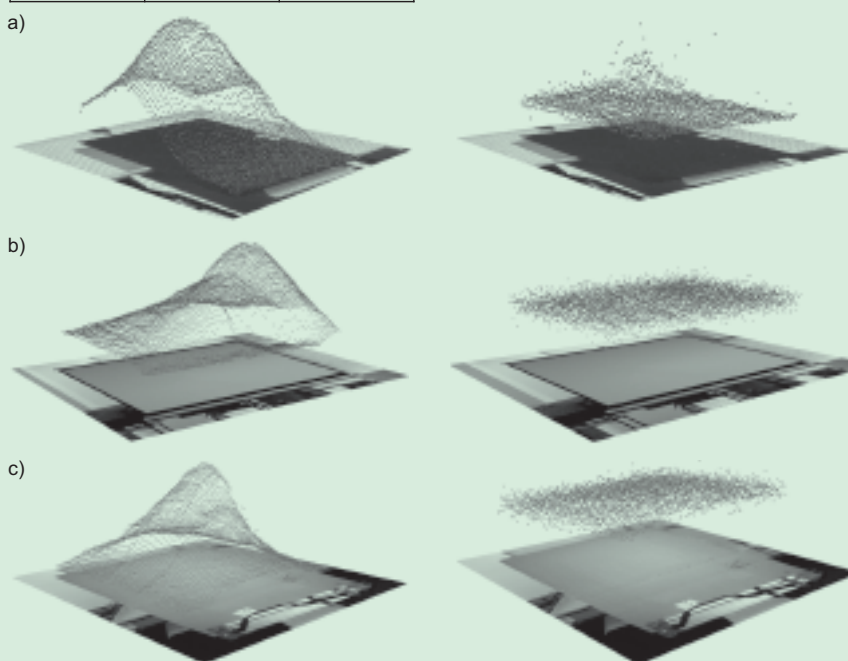
Rys. 1. Rozkład punktów pomiarowych uzależnionych od temperatury i $intensity$

$$R_{inte., temp.} = \frac{cov(inte., temp.)}{\sigma_{inte.} \sigma_{temp.}} \quad (1)$$

Mała wartość współczynnika korelacji Pearsona (tabela 1) we wszystkich zaprezentowanych przypadkach świadczy o braku zależności pomiędzy wielkością $intensity$ chmury punktów obserwowanego obiektu a jego rozkładem temperatury. Na rysunku 2 zaprezentowano

Tabela 1. Współczynniki korelacji Pearsona

Współczynniki korelacji Pearsona w zależności od rodzaju planszy		
papierowa	plócienna	stalowa
0,1463500	0,1464011	0,2148071

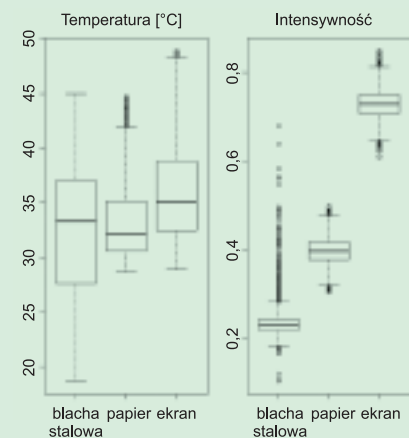


Rys. 2. Przestrzenna prezentacja chmur punktów w przypadku poszczególnych obiektów z przypisanym atrybutem „temperatura” (po lewej) i „ $intensity$ ” (po prawej) dla współrzędnej „ z ”: (a) plansza stalowa; (b) plansza plócienna, (c) plansza papierowa

wano przestrzenne rozmieszczenie punktów pomiarowych. Współrzędnej „ z ” przypisano atrybuty odpowiednio $temperatura$ i wielkość $intensity$ dla po-

szczególnych obiektów badawczych. Przy „wzrokowej” ocenie rysunku 2 można zauważyć, że „kształt” chmury punktów z atrybutem $intensity$ i z atrybutem temperatura jest zupełnie inny, co potwierdza brak zależności między tymi wielkościami.

W celu szczegółowej analizy danych wyznaczono następujące wielkości statystyczne: średnią arytmetyczną, odchylenie standardowe, rozstęp, współczynnik skośności i kurtozę. Z rysunków 3 i 4 oraz obliczonych wartości statystycznych (tabela 2, 3) można wnioskować, że rozkłady parametru $intensity$ i temperatury znacznie różnią

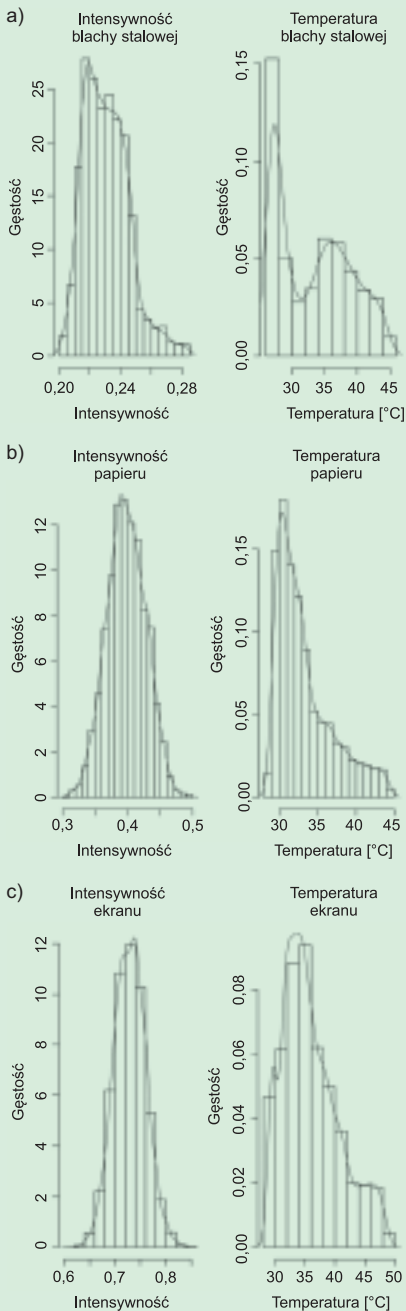


Rys. 3. Wykres pudełkowy rozkładu temperatury i wielkości $intensity$ badanych obiektów

się od siebie. Rozkład parametru *intensity* dla każdego przypadku jest dużo bardziej zbliżony do rozkładu normalnego niż rozkład temperatury, który wykazuje dużo większą skośność.

Wnioski

Z badań wynika, że w przypadku obserwowanych obiektów wielkość *intensity* chmur punktów nie zależy od rozkładu temperatury obiektu. W związku z tym nie potwierdziły się badania zawar-



Rys. 4. Wielobok liczebności wielkości *intensity* i temperatury w przypadku chmur punktów planszy: a) stalowej; b) papierowej; c) płócienniej

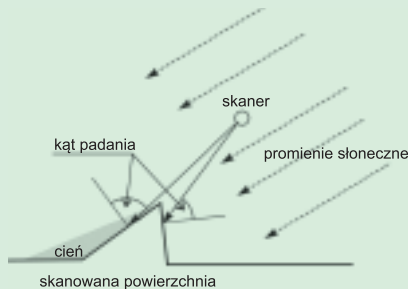
Tabela 2. Parametry statystyczne dla temperatury

Rodzaj planszy	Parametry statystyczne w przypadku temperatury								
	<i>n</i>	\bar{x}	<i>s</i>	mediana	min	max	<i>R</i>	A_m	kurt
Plansza stalowa	2657	33,19	5,34	33,29	18,69	45,00	26,31	0,28	-0,95
Plansza papierowa	5323	33,32	3,68	32,14	28,71	44,71	16,00	1,16	0,55
Plansza płócienna	7844	35,99	4,7	35,09	28,89	48,89	20,00	0,74	-0,13

Tabela 3. Parametry statystyczne dla *intensity*

Rodzaj planszy	Parametry statystyczne w przypadku <i>intensity</i>								
	<i>n</i>	\bar{x}	<i>s</i>	mediana	min	max	<i>R</i>	A_m	kurt
Plansza stalowa	2657	0,24	0,04	0,23	0,1	0,68	0,57	3,7	21,04
Plansza papierowa	5323	0,40	0,03	0,40	0,30	0,50	0,19	0,01	-0,22
Plansza płócienna	7844	0,73	0,03	0,73	0,61	0,85	0,24	0,05	0,03

te w [3] i zdaniem autorów artykułu zostały one błędnie zinterpretowane. Zróżnicowana wielkość *intensity* obserwowanej skarpy przez Kekeba mogła wynikać nie z różnicy temperatury, ale np. wystawy i nasłonecznienia stoku. Promienie słoneczne padające z określonego kierunku powodują wzrost temperatury po nasłonecznionej stronie nierównomiernej powierzchni stoku. Jednocześnie część nasłoneczniona jest ustawiona pod określonym kątem do padających promieni lasera (rysunek 5). W związku z tym występująca korelacja nie jest bezpośrednią zależnością pomiędzy temperaturą a parametrem *intensity*, a wynika z kierunku padania światła słonecznego i wiązki lasera.



Rys. 5. Zależność pomiędzy kierunkiem padania światła słonecznego i wiązki lasera

Streszczenie

Naziemny skaning laserowy jest aktywnym systemem pozyskiwania danych, który znajduje coraz więcej zastosowań. W wyniku pomiaru TLS uzyskuje się duży zbiór punktów, którym poza współrzędnymi XYZ jest przypisana wartość intensywności odbicia wiązki lasera od obiektu, tzw. *intensity*. Wielkość ta zależy m.in. od kąta padania wiązki lasera oraz struktury i koloru obiektu. W artykule zaprezentowano wyniki badań, które zmierzały do wyznaczenia zależności pomiędzy wiel-

kością *intensity* chmury punktów obserwowanego obiektu, a temperaturą tego obiektu. Przeprowadzone badania odnosiły się do pracy Arsat Dewo Kekeba 2007, w której wykazano dużą zależność pomiędzy tymi wielkościami.

Słowa kluczowe: naziemny skaning laserowy, parametr intensywności odbicia, obraz termalny.

Abstract

Terrestrial laser scanning is an active data acquisition system, which has an increasing number of applications. As a result of a TLS measurement, a large set of points is obtained, to which (apart from the XYZ coordinates) the intensity value of the reflection of laser beam from the object, so-called *intensity*, is attributed. This quantity depends from many factors, for example from the laser beam incidence angle, the structure and the color of the object. In the paper, the results were presented of the research aimed at a determination of the correlation between the intensity rate of the point cloud of the object under observation and the temperature of this object. The research carried out referred to the paper by Arsat Dewo Kekeba 2007, where strong correlation was demonstrated between those quantities.

Literatura

- [1] G. Vosselman, H. Maas, Airborne and terrestrial laser scanning, Whittles Publishing, 2010.
- [2] Jeong-Heon Song, Soo-Hee Han, Kiyun Yu, Yong-Il Kim, Assessing the possibility of land-cover classification using Lidar intensity data, International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences 34 (3/B), 2002, 259 – 262.
- [3] A. D. Kekeba. 2007. Establishing relationship between thermal and intensity of 3D terrestrial laser scan data of weathered rock surface for slope stability analysis, International Institute Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands, 2008.