

dr hab. Małgorzata Ulewicz, prof. PCz¹⁾*

ORCID: 0000-0001-8766-8393

dr inż. Joanna A. Pawłowicz²⁾

ORCID: 0000-0002-1334-5361

Intensywność odbicia naziemnego skanowania laserowego w zależności od właściwości fizycznych materiałów budowlanych i warunków skanowania

Reflection intensity of terrestrial laser scanning dependence on the physical properties of building materials and scanning conditions

DOI: 10.15199/33.2022.11.17

Streszczenie. W sektorze budowlanym obserwowany jest w ostatnich latach duży wzrost zainteresowania techniką naziemnego skaningu laserowego (TLS). Jednym z czynników w tej technice, który ma wpływ na moc odbitej wiązki lasera, jest rodzaj skanowanej powierzchni uzależniony od właściwości fizykochemicznych skanowanych materiałów. W artykule wykazano, że gęstość i nasiąkliwość badanego materiału, rozdzielczość skanowania oraz tło pomiarów wpływają na jakość uzyskanej chmury punktów, a technika TLS ma duży potencjał wspomagania procesów identyfikacji wizualnej materiałów wbudowanych w obiekty budowlane.

Słowa kluczowe: materiały budowlane, właściwości fizyczne materiałów, skaning laserowy.

Abstract. In the construction sector, there has been a large increase in interest in the Terrestrial Laser Scanning (TLS) technique in recent years. One of the factors influencing the power of the reflected laser beam in this technique is the type of the scanned surface, determined by the physicochemical properties of the scanned materials. The study showed that the density and water absorption of the tested material, scanning resolution and measurement background affect the quality of the obtained point cloud, and the TLS technique has a great potential to support the processes of visual identification of materials built into the structure.

Keywords: building materials, physical properties of materials, laser scanning.

Wraz z rozwojem Przemysłu 4.0 i cyfryzacji naziemny skaner laserowy (TLS) jest powszechnie wykorzystywanym instrumentem do pozyskiwania, modelowania i archiwizacji danych o obiekcie. Technika ta, wykorzystująca światło lasera, pozwala na szybkie pozyskanie geometrycznego modelu 3D skanowanego obiektu. Chmura punktów, będąca efektem pomiaru, niesie ze sobą informacje o geometrii obiektu, jego strukturze, stanie i przemieszczeniu. W budownictwie metoda skaningu laserowego wykorzystywana jest m.in. do sporządzania dokumentacji inwentaryzacyjnej obiektów zabytkowych oraz złożonych detali architektonicznych (np. płaskorzeźb), a także do inwentaryzacji

konstrukcji obiektów przemysłowych, masztów, kominów i elementów infrastruktury drogowej (np. wiaduktów, mostów, linii napowietrznych). Metodę skaningu laserowego można wykorzystać również do określania objętości hałd materiałów sypkich, takich jak kruszywo, węgiel czy rudy metali [1÷5].

Nowoczesne skanery 3D dostarczają informacji zarówno o geometrii obiektu, jak również rejestrują intensywność odbicia wiązki lasera od obserwowanego obiektu (tzw. intensity). Parametr ten jest wielkością, która może być wykorzystana do identyfikacji materiałów, charakteryzujących się odmiennymi właściwościami fizycznymi. Z doniesień literaturowych wynika, że na absorpcję i rozproszenie wiązki lasera wpływa barwa i chropowatość skanowanej powierzchni, a na wielkość mierzonego parametru „intensity” również zmiana wilgotności badanych materiałów, gdyż woda ma duży współczynnik

absorpcji wiązki lasera [6÷8]. Natomiast załamanie wiązki światła laserowego i jakość danych zależą od właściwości fizycznych i stopnia krystaliczności materiałów budowlanych [9, 10]. Dlatego też pomiary intensywności można wykorzystać do identyfikacji materiałów różniących się właściwościami fizykochemicznymi, gdyż intensywność jest proporcjonalna m.in. do współczynnika odbicia celu przy określonej długości fali wiązki laserowej. Szybka identyfikacja rodzaju materiału budowlanego jest bardzo ważna m.in. w przypadku inwentaryzacji materiałów budowlanych w obiektach budowlanych przeznaczonych do rozbiórki.

Materiały i metoda badań

Pomiary czterech różnych materiałów budowlanych, tj. kostki granitowej, drewna, cegły silikatowej oraz cegły ceramicznej w stanie suchym i mokrym zostały wykonane w różnych konfigu-

¹⁾ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa

²⁾ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Geoinżynierii

* Adres do korespondencji: malgorzata.ulewicz@pcz.pl

racjach. Stan mokry oznacza materiał po 24 h zanurzenia w wodzie. W badaniach wykorzystano skaner Leica ScanStation C10 o zasięgu 0,1–300 m. Dokładność pomiaru odległości dochodzi do ± 4 mm, a położenia ± 6 mm. Pole widzenia w poziomie sięga 360°, natomiast w pionie 270°. Jest możliwość skanowania do 50 000 pkt/s. Długość fali lasera wynosi 532 nm i jest to laser klasy 3R.

Badanie wykonano w Laboratorium Skaningu Laserowego i BIM, Instytutu Geodezji i Budownictwa UWM. Wyniki pomiarów w postaci chmury punktów poddano postprocesingowi w programie Cyclone i CloudCompa-

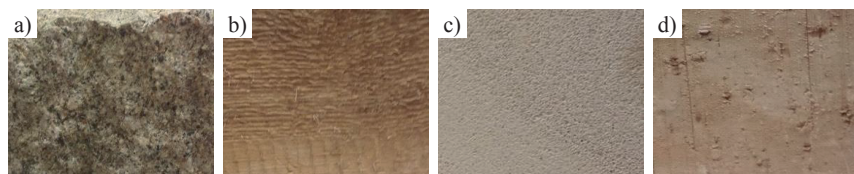
re. Analiza dotyczyła obszaru chmury punktów o wymiarach 5×5 cm. Do każdego odrębnego skanu został stworzony Model Space View, który wykorzystano do analizy zagęszczenia punktów. Ponadto wyznaczono gęstość badanych materiałów (d) wg wzoru $d = m/V$, gdzie: m – masa badanego materiału [kg]; V – jego objętość [m³].

Analiza wyników

Przeanalizowano wpływ gęstości i wilgotności badanego materiału, koloru tła, na którym dokonano pomiarów oraz rozdzielczości, w jakiej je wykonywano. Próbkę badano na białym i czarnym tle zarówno w stanie suchym,

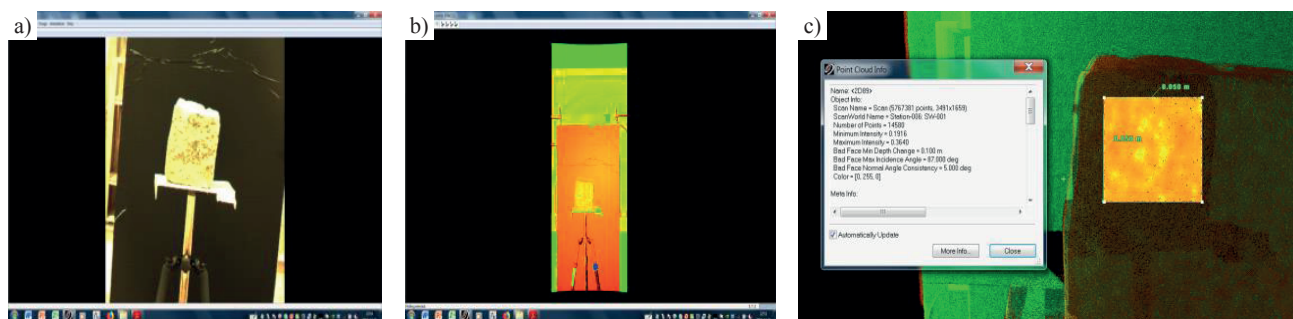
jak i mokrym. Powierzchnie badanych materiałów budowlanych przedstawiono na fotografii 1, a na fotografii 2 przykładowe zdjęcie badanej próbki materiału z aparatu cyfrowego skanera Leica oraz uzyskane w formie chmury punktów w kolorze intensywności. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że natężenie odbitej wiązki laserowej od mokrych materiałów budowlanych jest znacznie mniejsze niż od materiałów suchych. Różnice intensywności odbicia wiązki lasera w przypadku wybranego materiału, tj. kostki granitowej, przedstawiono na rysunku 1. W mokrej próbce wyraźnie widać, że więcej jest punktów o słabym współczynniku odbicia wiązki, co oczywiście wpływa na jakość uzyskanych wyników.

Zestawienie wyników analizy gęstości chmury punktów w programie Cyclone przedstawiono w tabeli. Widać z nich, że **największy wpływ na zagęszczenie punktów ma rozdzielczość**. Przy najmniejszej rozdzielczości uzyskiwano w przypadku badanych próbek od 131 do 153 punktów pomiarowych,



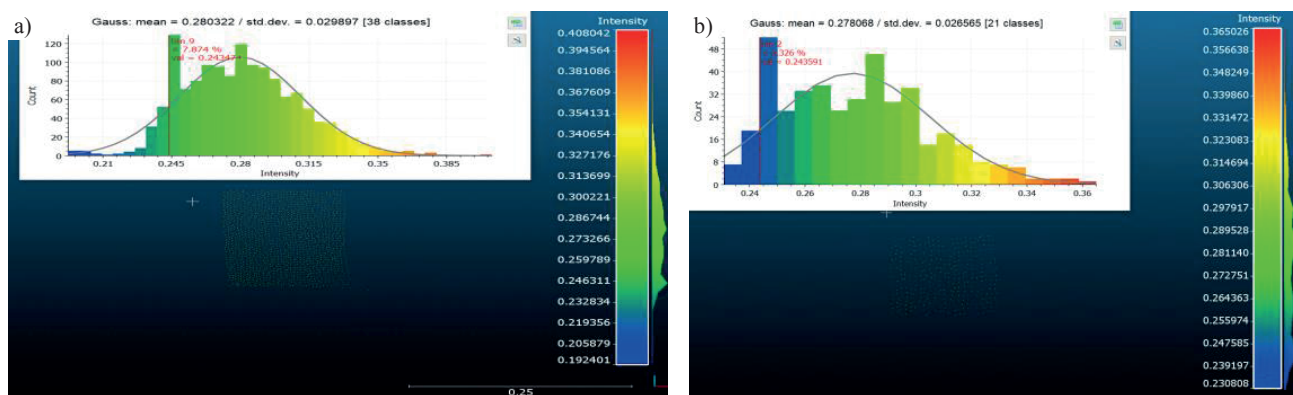
Fot. 1. Zdjęcia powierzchni badanych materiałów: a) kostka granitowa; b) drewno; c) cegła silikatowa; d) cegła ceramiczna

Photo 1. Photos of the surfaces of the bad materials: a) granite cube; b) wood; c) silicate brick; d) ceramic brick



Fot. 2. Zdjęcie próbki (kostka granitowa) z aparatu cyfrowego skanera Leica (a); próbka w formie chmury punktów (b); chmura punktów z polem badawczym w programie Cyclone (c)

Photo 2. Photo of the sample (granite cube) from the digital camera of the Leica scanner (a); the sample in the form of a point cloud (b); the point cloud with the test field in the Cyclone program (c)



Rys. 1. Intensywność odbicia chmury punktów kostki granitowej: a) suchej; b) mokrej – histogram i rozkład normalny

Fig. 1. The intensity of the reflection of the point cloud from of a granite cube: a) dry; b) wet – histogram and normal distribution

Liczba zeskanowanych punktów uzyskana w Cyclone
The number of points scanned in Cyclone

Material			Kostka granitowa		Drewno		Silikat		Cegła ceramiczna	
			czarne	białe	czarne	białe	czarne	białe	czarne	białe
Mokry	rozdzielczość	niska	153	143	144	145	143	144	144	147
		średnia	584	556	578	590	574	573	564	520
		najwyższa	14 801	14 621	14 116	14 351	14 244	14 446	14 446	14 602
Suchy	rozdzielczość	niska	143	143	149	143	131	140	140	136
		średnia	578	574	559	572	563	564	547	555
		najwyższa	14 840	14 382	14 166	14 028	14 572	14 108	14 608	14 293

natomiast przy największej rozdzielczości od 14 028 do 14 840 punktów w chmurze. **Największe zagęszczenie punktów uzyskano w przypadku kostki granitowej na czarnym tle, zarówno w stanie suchym, jak i mokrym. Natomiast najslabiej zeskanowanym materiałem był silikat na białym tle w stanie suchym.** Największą różnicę gęstości (liczby) uzyskanych punktów pomiędzy suchą i mokrą próbką odnotowano w przypadku cegły silikatowej. Próbkę mokrej cegły silikatowej wykazały o 3,2% więcej punktów niż próbki suchej. Z analizy wynika, że w próbkach suchych występuje zależność liniowa pomiędzy gęstością badanego materiału a liczbą zeskanowanych punktów (rysunek 2a). Natomiast w próbkach mokrych (rysunek 2b) taką zależność obserwowano jedynie w przypadku pomiarów wykonanych na białym tle. Z pomiarów wykonanych na czarnym tle wynika, że wraz z gęstością badanego materiału zwiększa się (wykładniczo) liczba zeskanowanych punktów.

Podsumowanie

Naziemny skaningu laserowego może być pomocnym narzędziem do identyfikacji materiałów budowlanych. Pomiarów oraz analiza danych wykazały, że gęstość i nasiąkliwość badanego materiału wpływają na jakość uzyskanej chmury punktów. W przypadku materiałów

suchych, takich jak kostka granitowa, cegła ceramiczna, cegła silikatowa i drewno istnieje liniowa zależność pomiędzy gęstością tych materiałów a liczbą uzyskanych punktów pomiarowych. Zawilgocenie materiału powoduje, że natężenie odbitej wiązki laserowej od mokrych materiałów budowlanych jest niższe niż od materiałów suchych. Na jakość uzyskanej chmury punktów wpływa ponadto rozdzielczość skanowania oraz tło pomiarów. Im większa rozdzielczość, tym większa liczba punktów w chmurze. Natomiast

w przypadku badanych materiałów nie można w sposób jednoznaczny określić wpływu tła (białego i czarnego) na liczbę pozyskanych punktów w chmurze.

Literatura

[1] Javaid M, Haleem A, Singh RP, Suman R. Industrial perspectives of 3D scanning: Features, roles and it's analytical applications, Sensors International, 2021, 2, 100114, /doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100114

[2] Wu C, Yuan Y, Tang Y, Tian B. Application of terrestrial laser scanning (TLS) in the architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry, Sensors, 2022; (22):265. doi.org/10.3390/s22010265.

[3] Pawłowicz JA. Digital survey of damages on the facade of a historical building, Acta Sci. Pol. Architectura. 2021; 20(2):41-50, DOI: 10.22630/ASPA.2021.20.2.13.

[4] El-Omari S, Moselhi O. Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work, Automation in Construction. 2018; (18):1-9, doi.org/10.1016/j.autcon.2008.05.006.

[5] Kysiak A. Analiza możliwości zastosowania skaningu laserowego 3D w inwentaryzacji obiektów i elementów konstrukcji o złożonym kształcie i powierzchni, Zeszyty Naukowe PCz. 2018; (24):197-202, DOI: 10.17512/znb.2018.1.30.

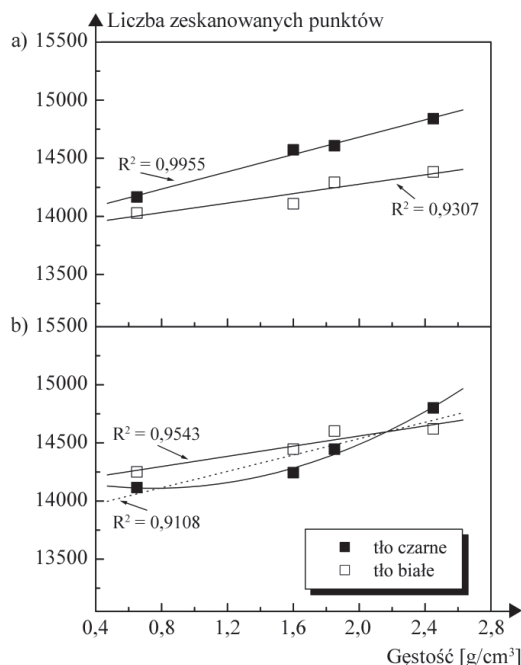
[6] Suchocki Cz, Katzer J, Damięcka-Suchocka M, Kuźmińska M, Rapiński J. Monitoring zawilgocenia obiektu budowlanego z wykorzystaniem techniki naziemnego skaningu laserowego, Biuletyn WAT, 2017, LXVI (4) 155-166, DOI: 10.5604/01.3001.0010.8232.

[7] Suchocki Cz, Katzer J. TLS data-set showing the effect of surface colour and roughness on the absorption and dispersion of a laser beam, Mendeleev Data, 2021, V1, DOI: 10.17632/nsp2m4d-djf.1.

[8] Hassan MU, Akcanete-Gungor A, Meral C. Investigation of terrestrial laser scanning reflectance intensity and RGB distributions to assist construction material identification [in] LC3 Proceedings of the Joint Conference on Computing in Construction (JC3), July 4-7, 2017, Heraklion, Greece, 507-515. DOI: 10.24928/JC3-2017/0312.

[9] Pawłowicz JA. Wpływ cech fizycznych różnych materiałów na jakość danych uzyskanych ze skaningu laserowego 3D. Materiały Budowlane. 2016; (12):76-77.

[10] Costantino D, Pepe M, Angelini MG, Evaluation of reflectance for building materials classification with terrestrial laser scanner radiation, Acta Polytechnica, 2021, 61(1):174-198, DOI: 10.14311/AP.2021.61.0174.



Rys. 2. Zależność liczby zeskanowanych punktów od gęstości materiałów skanowanych przy najwyższej rozdzielczości na białym i czarnym tle: a) suchych; b) mokrych
Fig. 2. The dependence of the number of scanned points on the density of materials scanned at the highest resolution on a white and black background: a) dry; b) wet

Przyjęto do druku: 26.09.2022 r.