

dr hab. Małgorzata Ulewicz, prof. PCz<sup>1\*)</sup>  
 ORCID: 0000-0001-8766-8393  
 dr inż. Joanna A. Pawłowicz<sup>2)</sup>  
 ORCID: 0000-0002-1334-5361

# Wykorzystanie skaningu laserowego 3D do inwentaryzacji materiałów w obiektach przeznaczonych do rozbiórki

## *The use of 3D laser scanning for the inventory of materials in objects intended for the demolition*

DOI: 10.15199/33.2022.12.13

**Streszczenie.** Wykonanie prawidłowej inwentaryzacji materiałów w obiektach budowlanych przeznaczonych do rozbiórki, uwzględniającej łatwość ich odzysku, jest procesem czasochłonnym i kosztownym. W artykule wykazano, że proces ten można usprawnić, wykorzystując technologię skanowania laserowego 3D, która z powodzeniem jest stosowana przy sporządzaniu dokumentacji inwentaryzacyjnej obiektów zabytkowych i w wielu innych dziedzinach gospodarki. Technologia skaningu laserowego 3D może być w przyszłości stosowana do pomiaru kubatury obiektów budowlanych oraz identyfikacji podstawnych materiałów rozbiórkowych przeznaczonych do recyklingu.

**Słowa kluczowe:** materiały rozbiórkowe; inwentaryzacja; naziemny skaningu laserowy; chmura punktów.

**Abstract.** Performing a proper inventory of materials in construction objects intended for demolition, taking into account the ease of their recovery, is a time-consuming and costly process. This paper shows that this process can be improved by using 3D laser scanning technology, which is successfully used in the preparation of inventory documentation of historic buildings and in many other areas of the economy. The 3D laser scanning technology can be used in the future to measure the volume (cubic capacity) of building objects and to identify basic demolition materials for recycling.

**Keywords:** demolition materials; inventory; terrestrial laser scanning; cloud points.

W krajach UE odpady budowlane i rozbiórkowe (C&D) stanowią ponad jedną trzecią (35%) wszystkich generowanych odpadów. W 2018 r. wytworzono ich ponad 834 mln Mg, a ich ilość w latach 2004 – 2018 zwiększała się średnio o 2,9% rocznie [1]. Odpady C&D stanowią takie materiały, jak: beton; ceramika; drewno; szkło; metale czy tworzywa polimerowe. Poziom odzysku i recyklingu takich odpadów w krajach UE jest bardzo zróżnicowany i wynosi od mniej niż 10% do ponad 90% [2].

Efektowność procesu gospodarowania odpadami C&D można poprawić, ulepszając proces ich identyfikacji oraz segregacji u źródła powstawania, a także prowadząc selektywną rozbiórkę obiektów budowlanych. Zmierzając w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym, należy podjąć kroki pozwalające na jak najszybsze odejście od konwencjonalnej metody wyburzania obiektów polegającej na zrównaniu budynku z ziemią pod koniec jego cyklu życia, co generuje dużą ilość zmieszanych odpadów trudnych do zagospodarowania. Należy wykorzystać nowe metody i techniki inwentaryzacji materiałów budowlanych, dostępne wraz z rozwojem technologii i cyfryzacji, które pozwolą na racjonalne planowanie procesu rozbiórki obiektu.

<sup>1)</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa

<sup>2)</sup> Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Geoinżynierii

<sup>\*</sup>) Adres do korespondencji: malgorzata.ulewicz@pcz.pl

Inwentaryzacja materiałów budowlanych w obiektach budowlanych przeznaczonych do demontażu pozwala na prawidłowe przeprowadzenie procesu ich rozbiórki. Spis materiałów, zazwyczaj oparty na analizie dokumentacji i/lub badania w terenie, powinien dostarczyć informacji o ilości elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych (np. okien, belek stalowych, pustaków ceramicznych) przeznaczonych do rozbiórki i utylizacji. Wykonanie prawidłowej inwentaryzacji, uwzględniającej łatwość odzysku demontowanych materiałów, jest niestety procesem czasochłonnym i kosztownym. Biorąc pod uwagę rozwój technologii skanowania laserowego 3D, która z powodzeniem jest stosowana przy sporządzaniu dokumentacji inwentaryzacyjnej obiektów zabytkowych, uszkodzeń budynków i w innych dziedzinach [3 – 8], można założyć jej przydatność również do inwentaryzacji materiałów w budowanych w obiekt przeznaczony do rozbiórki. Z doniesień literaturowych wynika, że technika naziemnego skanowania laserowego umożliwia identyfikację takich materiałów, jak: beton; cegła [9]; jadeit; воск ze świecy [10] oraz innych wykorzystywanych w budownictwie [11]. W związku z tym, że właściwości fizyczne materiałów wpływają na jakość uzyskanej chmury punktów będącej efektem pomiarów, warto rozważyć wykorzystanie naziemnego skanowania laserowego do identyfikacji materiałów rozbiórkowych.

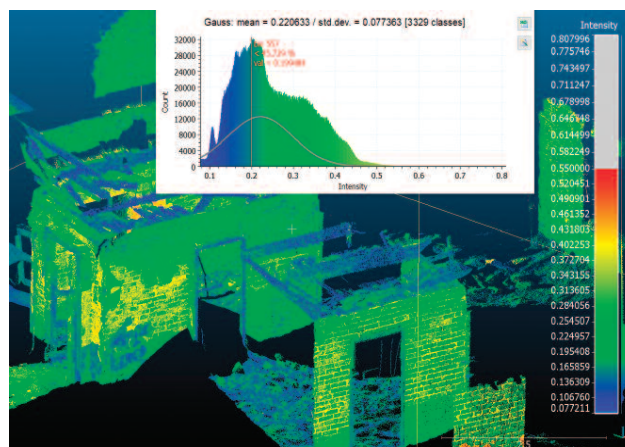
## Metoda badań

W badaniach zastosowano impulsowy skaner laserowy Scan Station C10 w technologii naziemnego skaningu laserowego TSL (ang. *Terrestrial Scanning Laser*). Pomiary wykonano w średniej rozdzielczości: przesunięcie poziome i pionowe wynosiło 0,10 m na odległość 100 m, a skanowany obiekt znajdował się w odległości 3,00 – 6,50 m. Liczba punktów Hz x V na każde 10 cm<sup>2</sup> wykonanego skanu wynosiła 331 x 698. Zasada działania skanera polega na emitowaniu wiązki lasera, która po odbiciu od badanego obiektu powraca do instrumentu, przynosząc ze sobą informacje o współrzędnych XYZ punktu, od którego się odbiła i dodatkowo informację o intensywności odbicia światła od obiektu. Efektem pomiaru jest chmura punktów, informująca o geometrii obiektu oraz zdjęcia cyfrowe wykonane przez skaner, stanowiące bazę danych o teksturze i kolorze skanowanych elementów. Wizualizację map intensywności (rysunki chmur punktów w kolorach intensywności odbicia), które przy wykorzystaniu pełnej skali barw przedstawiają liczbowe wartości intensywności, przygotowano w programie: Leica Cyclone i Cloud Compare. Liczbowe wartości intensywności reprezentowane przez odpowiednie barwy zawarte są w przedziale pomiędzy ustalonymi wartościami minimalnymi i maksymalnymi (skala 0,0 – 1,0). Oznacza to występowanie obszarów o wartości intensywności od minimalnej do maksymalnej, przy czym punktacja 0,0 oznacza całkowity brak odbicia, a 1,0 całkowite odbicie promieni wiązki lasera.

## Inwentaryzacja materiałów w obiekcie przeznaczonym do rozbiórki

Dużą zaletą pomiaru obiektu przeznaczonego do rozbiórki skanerem 3D jest bezpieczeństwo pracowników, którzy nie są narażeni na kontuzje i urazy, gdyż nie ma konieczności poruszania się po obiekcie, a niezbędne dane można zebrać ze znacznej odległości. Skaningu laserowego stanowi duże ułatwienie w pozyskiwaniu informacji o geometrii obiektów nieregularnych i trudnych do pomiaru metodami klasycznymi (taśmą mierniczą). Przedmiotem inwentaryzacji był budynek zlokalizowany na przedmieściach Olsztyna (województwo warmińsko-mazurskie), który po pożarze został przeznaczony do rozbiórki. Z obliczeń w programie Leica Cyclone wynika, że kubatura ruin analizowanego budynku wynosi 634,83 m<sup>3</sup>.

Jakość danych z pomiarów skaningowych zależy m.in. od rodzaju skanera, oświetlenia, warunków atmosferycznych w trakcie pomiaru oraz koloru i wilgotności badanego materiału. Kolor czarny pochłania światło, co powoduje, że intensywność odbicia jest bliska zeru. Im jaśniejszy kolor obiektu, tym wiązka światła laserowego lepiej się odbija (biały matowy kolor jest najlepszy). W przypadku obiektów budowlanych, które uległy pożarowi, dominuje kolor czarny, gdyż wiele materiałów pokrytych jest sadzą, co utrudnia pomiary. Widać to wyraźnie na histogramie i rozkładzie normalnym przedstawionym na fotografii 1. Skan został wykonany na obiekcie o ciemnej barwie (po pożarze). W chmurze jest najwięcej punktów o intensywności odbicia 0,199484 i mniej-



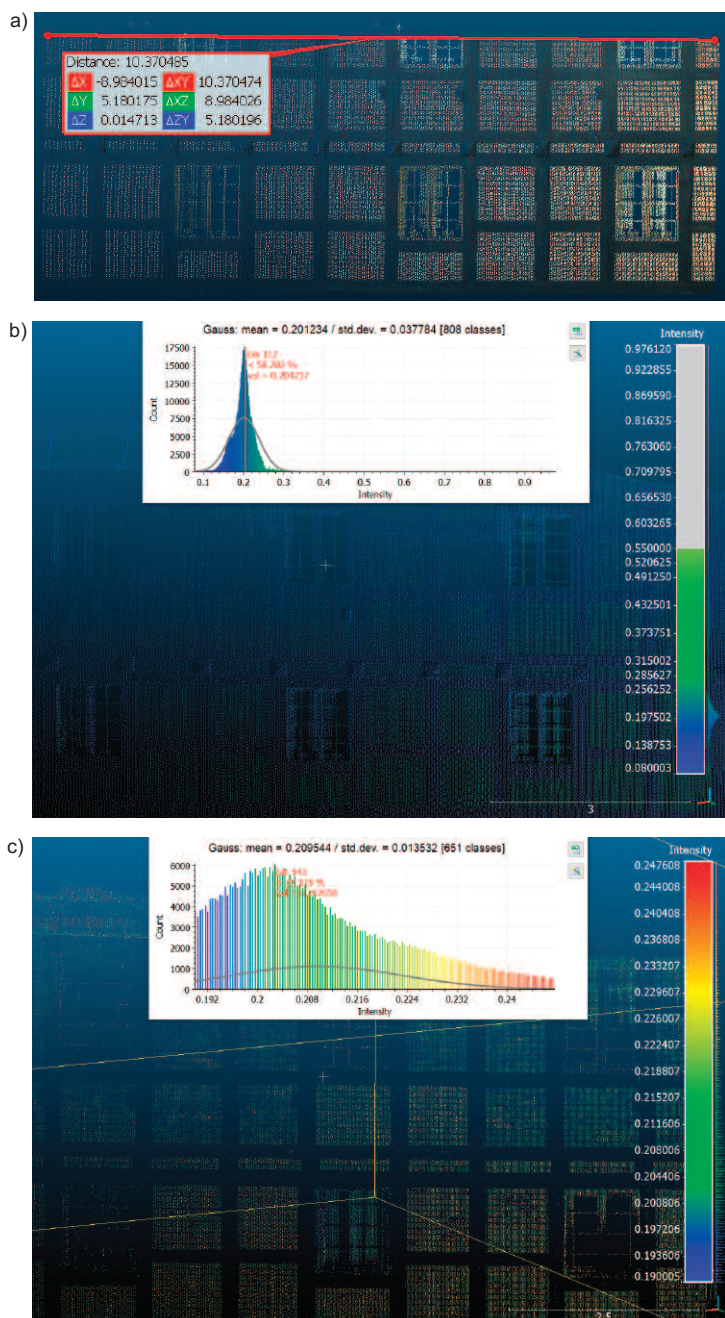
**Fot. 1. Histogram wnętrza budynku po pożarze – chmura punktów z widocznymi elementami spalonymi (kolor granatowy o niskim albedo)**

*Photo 1. Histogram of the interior of the building after the fire – a cloud of points with visible burnt elements (navy blue with low albedo)*

szej. Należy podkreślić, że duża ilość nalotu sadzy może zupełnie uniemożliwić pomiar skanerem laserowym, gdyż kolor czarny trudno odbija światło (z uwagi na punkty o małym albedo). W analizie chmury punktów tego samego budynku nieobjętego pożarem, histogram i rozkład normalny wskazuje, że maksymalna liczba punktów (ponad 5600) ma współczynnik odbicia 0,249225, gdyż nie ma zbyt dużo ciemnych, spalonych elementów pokrytych sadzą. Jakość chmury punktów i jej intensywność zależy więc od kolorystyki obiektu i jego zawilgocenia. Obecność sadzy w obiekcie po pożarze, a także pozostałości piany gaśniczej, która zmienia właściwości fizyczne materiałów i intensywność odbicia, oraz duże zawilgocenie przegród utrudniają adaptację techniki skanowania 3D do identyfikacji materiałów budowlanych wbudowanych w obiekt.

Obiekty mierzone in situ podlegają różnym zmiennym, co powoduje, że określenie rodzaju materiału, z którego zostały zbudowane, jest bardzo trudne. Za pomocą skaningu laserowego obiektów po pożarze można określić jedynie ilość odpadów, a nie ich rodzaj (jakość). Wykorzystanie technologii skanowania 3D w celu identyfikacji materiałów w obiektach przeznaczonych do rozbiórki być może będzie możliwe w niedalekiej przyszłości, gdyż technologia ta ciągle się rozwija. Obecnie skaningu 3D można wykorzystywać do identyfikacji materiałów w prostych niezanieczyszczonych np. sadzą i niezawilgoconych obiektach. Na fotografii 2 przedstawiono zeskanowany fragment ściany murowanej typu „mur pruski” budynku zlokalizowanego w województwie warmińsko-mazurskim. Wyraźnie widać różnice w intensywności odbicia wiązki światła w zależności od materiału, tj. cegły, drewna i szkła. Można powiedzieć, że zeskanowana ściana charakteryzuje się niewielkim współczynnikiem intensywności odbicia światła, co widać na rysunku, gdzie liczba punktów zwiększa się ponad 17 500 w okolicach współczynnika 0,2. Intensywność odbicia pozwoliła na wyselekcjonowanie elementów w murze o niewielkim współczynniku odbicia (< 0,19). Pozwala to odrzucić z chmury elementy o niewielkim albedo (bliskie 0), które w ścianie reprezentowane





**Fot. 2.** Skan fragmentu ściany murowanej typu „mur pruski” w naturalnych kolorach (a); chmura punktów z pomiaru muru pruskiego w barwach intensity (b) oraz chmura punktów z odrzuconymi punktami określającymi (o intensywności mniejszej niż 0,19) ciemne belki wraz z histogramami i rozkładem Gaussa (c)

*Photo 2.* Scan of a fragment of a brick wall of the “Prussian Wall” type (a); point cloud from the half-timbered measurement (b) and point cloud with rejected points defining the beams with histograms and Gaussian distribution (c)

są głównie przez elementy drewniane i przezroczyste (szkło). W tym przypadku drewno było bejcowane na czarno i intensywność odbicia wynosiła 0 – 0,19. Na histogramie i rozkładzie Gaussa (fotografia 2c) można zaobserwować, że wykres się spłaszcza i zmniejszyła się liczba punktów o małym współczynniku odbicia. Najwięcej w chmurze jest punktów o współczynniku odbicia 0,202658, a liczba punktów o lep-

szym albedo równomiernie się zmniejsza (od koloru zielonego do czerwonego). Na podstawie szczegółowej analizy uzyskanej w terenie chmury punktów stwierdzono, że ściana składa się ze szkła (20% – okna), muru ceglanego (36%), z drewna (44% – belki drewniane i drewniane ramy okienne). Obliczona ilość poszczególnych rodzajów materiałów rozbiórkowych, dzięki zastosowaniu metody skanowania, pozwoli na racjonalne zaplanowanie procesu ich demontażu i transportu, co jest istotne z punktu widzenia gospodarki w obiegu zamkniętym.

## Podsumowanie

Wraz z rozwojem technologii będzie można uznać skaner laserowy 3D za narzędzie pomocne w procesie gromadzenia danych o materiałach w obiektach przeznaczonych do rozbiórki. Chmura punktów stanowiąca efekt skaningu laserowego 3D i zbudowana na jej podstawie tzw. siatka mesh, pozwalają określić kubaturę obiektu budowlanego, a zróżnicowana intensywność odbicia wiązki lasera uzależniona od właściwości fizycznych materiału umożliwia identyfikację rodzaju materiału rozbiórkowego. Obecnie efektywną identyfikację materiałów można prawidłowo wykonać jedynie w przypadku obiektów wykonanych z materiałów suchych i niezanieczyszczonych (najlepiej w warunkach laboratoryjnych). Technologia skaningu laserowego wymaga udoskonalenia w celu zastosowania jej w obiektach po pożarze, w których materiał jest zawilgocony i zanieczyszczony sadzą.

## Literatura

- [1] [https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Waste\\_statistics#Total\\_waste\\_generation](https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Waste_statistics#Total_waste_generation).
- [2] Ulewicz M. Gospodarka odpadami budowlanymi i rozbiórkowymi w europejskiej strategii zrównoważonego rozwoju – stan i perspektywa, *Przegląd Budowlany*. 2021, 10: 49 – 53.
- [3] Almkhatar A, Saeed ZO, Abanda H, Tah JHM. Reality capture of buildings using 3D laser scanners. *Civil Eng.* 2021; 2: 214 – 235, doi.org/10.3390/civileng2010012.
- [4] Borodinecs A, Zemitis J, Dobelis M, Kalinka M. 3D scanning data use for modular building renovation based on BIM model, *MATEC Web of Conferences*. 2018; DOI: 10.1051/mateconf/201825103004.
- [5] Pawłowicz JA. Pomiary uszkodzeń budynku na podstawie trójwymiarowych danych ze skaningu laserowego. *Builder*. 2020; DOI: 10.5604/01.3001.0014.1447.
- [6] Łukaszewski Ł. Application of scanning measurements to document the behavior states of various engineering and building construction compounds, *Civil Engineering*. 2016; DOI: 10.4467/2353737XCT.16.059.5408.
- [7] Javaid M, Haleem A, Singh RP, Suman R. Industrial perspectives of 3D scanning: Features, roles and its analytical applications. *Sensors International* 2. 2021; doi.org/10.1016/j. sintl. 2021.100114.
- [8] Karagianni A. Terrestrial laser scanning in building documentation, *Civil Engineering and Architecture*. 2017; DOI: 10.13189/cea. 2017.050603.
- [9] Wei Y, Pushkar A, Akinci B. Supporting deconstruction waste management through 3D Imaging: A case study, 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2019), 438 – 445.
- [10] Angheluta LM, Radvan R. 3D Digitization of translucent materials in Cultural Heritage objects: a comparative study between laser scanning and photogrammetry, *Romanian Journal of Physics*. 2020, 65, 906.
- [11] Pawłowicz JA. Wpływ cech fizycznych różnych materiałów na jakość danych uzyskanych ze skaningu laserowego 3D. *Materiały Budowlane*. 2016, 12: 76 – 77.

Przyjęto do druku: 21.10.2022 r.