

Badanie potencjału technologii iPad-LiDAR w inwentaryzacji obiektów budowlanych

Czesław Suchocki

Politechnika Koszalińska, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji; Katedra Geodezji i Geoinformatyki, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin

Jacek Katzer

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Geoinżynierii, ul. M. Oczapowskiego 2, 10-719 Olsztyn

Machi Zawidzki

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa

Rafał Nowak

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, al. Piastów 17, 70-310 Szczecin

Streszczenie: W artykule przedstawiono program badawczy mający na celu wstępne określenie potencjału technologii iPad-LiDAR w inwentaryzacji obiektów budowlanych. Autorzy skupili się na wykorzystaniu komercyjnie dostępnych urządzeń (telefonów komórkowych i tabletów) wyposażonych w sensor LiDAR. Urządzenia takie można potraktować jako nisko kosztowe aparaty pomiarowe i zastosować do pomiarów inżynierskich. Pierwszym możliwym obszarem wykorzystania omawianych urządzeń są szeroko rozumiane inwentaryzacje budowlane, które przy wykonywaniu ich tradycyjnymi metodami zawsze wiążą się z dużym nakładem pracy. Automatyzacja tego procesu oraz jakość i ilość danych pozyskanych przy wykonywaniu inwentaryzacji tworzy zupełnie nową rzeczywistość techniczną i związane z tym możliwości pomiarowo-diagnostyczne.

Słowa kluczowe: iPad, LiDAR, skaning, tablet, nisko kosztowy

1. Wprowadzenie

Light Detection and Ranging (LiDAR) to zdalna technologia pomiarowa, która polega na wykorzystaniu światła lasera do wyznaczania odległości między celem a obiektem. Aktualnie pomiary laserowe wykonywane są z samolotów ALS (ang. *Airborne Laser Scanning*) [1], z bezzałogowych statków powietrznych UAV (ang. *Unmanned Aerial Vehicle*) [2], z poruszających się pojazdów MLS (ang. *Mobile Laser Scanning*) [3], ze skanerów umieszczanych w plecaku (Mobile Backpack Laser Scanning) [4], w trybie stacjonarnym jako naziemne skanery laserowe TLS (ang. *Terrestrial Laser Scanning*) [5] oraz precyzyjne ręczne skanery laserowe 3D [6]. Rozwój technologii i miniaturyzacja urządzeń pomiarowych pozwoliło firmie Apple wyposażyć swoje urządzenia przenośne najnowszej generacji typu iPad oraz iPhone w sensor LiDAR. Głównym założeniem firmy Apple było dostarczenie użytkownikowi prostego

narzędzia, które pozwala na digitalizację obiektów rzeczywistych i „wprowadzenia” ich do wirtualnej rzeczywistości 3D. Wykorzystanie produktów Apple wyposażonych w sensor LiDAR można potraktować jako nisko kosztowe urządzenia pomiarowe do zastosowań inżynierskich. W ostatnich latach naukowcy zaczęli wykazywać możliwość wykorzystania tableta/smartfona z czujnikiem LiDAR do dokumentacji dziedzictwa kulturowego [7], inwentaryzacji klifu nadbrzeżnego [8], inwentaryzacji wnętrza budynku i elewacji [9], pomiarach dla celów renowacyjnych i diagnostycznych [10, 11] inwentaryzacji drzewostanu [12] oraz w badaniu wpływu różnych materiałów na jakość chmury punktów 3D [13]. Aktualnie technologia TLS ma już ugruntowaną pozycję w inżynierii lądowej i jest z sukcesem wykorzystywana zarówno do różnego typu pomiarów diagnostycznych stanu technicznego obiektów budowlanych [14–16] jak i pomiarach inwentaryzacyjnych. Należy zaznaczyć, że naziemne skanery laserowe (TLS) są kosztownym sprzętem pomiarowym i większość niezależnych ekspertów oraz małych firm nie może sobie pozwolić na ich zakup.

W ostatnich latach zauważalny jest trend dynamicznego rozwoju mobilnych systemów skanujących. Na szczególną uwagę zasługują mobilne skanery bazujące na rozwijanym od lat algorytmie SLAM (ang. *Simultaneous Localisation And Mapping*), czyli symultanicznej lokalizacji i mapowaniu otaczającej przestrzeni. Skanery tego typu stanowią potężne narzędzie do mapowania otoczenia w trzech wymiarach i mają szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach takich jak przemysł, budow-

Autor korespondujący:

Machi Zawidzki, zawidzki@piap.lukasiewicz.gov.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 02.12.2023 r., przyjęty do druku 27.02.2024 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

nictwo, geodezja, archeologia, monitorowanie środowiska czy w autonomicznych pojazdach [17, 18]. Pomiar takim skanerem można realizować trzymając go bezpośrednio w rękę, umieszczając w plecaku lub nawet na autonomicznym pojeździe. Urządzenia te charakteryzują się zazwyczaj dokładnością pomiaru 1–5 cm, natomiast zakres pomiaru uzależniony jest od jego przeznaczenia. Skanery do mapowania zamkniętych przestrzeni mają zazwyczaj zakres do około 30 m, a zakres skanerów do pomiarów terenowych przekracza nawet 100 m. Koszty takiego zestawu pomiarowego mogą znacznie się różnić w zależności od wielu czynników, takich jak producent, model, dokładność i zakres pomiarów, prędkość skanowania, funkcje dodatkowe, czy poziom zaawansowania technologicznego. Ceny mobilnych skanerów laserowych z algorytmem SLAM zaczynają się od kilku tysięcy euro i mogą sięgać nawet kilkaset tysięcy euro, zwłaszcza jeśli chodzi o zaawansowane modele używane w profesjonalnych zastosowaniach.

Kolejnym typem mobilnych skanerów laserowych są precyzyjne ręczne skanery 3D. Skanery tego typu charakteryzują się bardzo wysoką dokładnością pomiaru (rzędu dziesiątych, a nawet setnych części milimetra) i wysoką rozdzielczością chmury punktów wynoszącą zazwyczaj od 0,05 mm. Precyzyjne ręczne skanery 3D umożliwiają uzyskanie bardzo dokładnych trójwymiarowych modeli obiektów poprzez ręczne przesuwanie głowicy skanera tuż nad powierzchnią. Te urządzenia są szeroko stosowane w różnych dziedzinach związanych z inżynierią odwrotną, architekturą, przemysłem (np. do precyzyjnej kontroli jakości produktów), dokumentowaniem i konserwacją dzieł sztuki oraz zabytków itp. [19]. Koszty precyzyjnych ręcznych skanerów 3D mogą znacząco się różnić w zależności od producenta, modelu, funkcji, precyzji pomiarów oraz zastosowania. Ceny tych urządzeń zaczynają się zazwyczaj od około kilku tysięcy euro.

W niektórych przypadkach pomiary laserowe wykonywane za pomocą tableta/smartfona mogą stanowić dobrą alternatywę

dla pomiarów TLS, mobilnych skanerów laserowych wykorzystujących algorytm SLAM lub precyzyjnych skanerów ręcznych. Tablet wyposażony w sensor LiDAR może znaleźć zastosowanie w pomiarach inwentaryzacyjnych budynków i innych obiektach budowlanych. W celu efektywnego wykorzystania takiego urządzenia dla celów inwentaryzacyjnych budynków niezbędne jest przeprowadzenie badań, które potwierdzą wiarygodność i jakość pozyskanych danych oraz wskazanie występujących ograniczeń omawianej technologii. Głównym celem przeprowadzonych badań sprawdzenie możliwości wykorzystania urządzenia iPad Pro wyposażonego w sensor LiDAR do inwentaryzacji pomieszczeń w budynkach. W ramach badań przeprowadzono pomiary za pomocą iPad Pro z czujnikiem LiDAR i za pomocą naziemnego skanera laserowego Z+F IMAGER 5016. Chmury punktów pozyskane przez Z+F IMAGER 5016 stanowią dane referencyjne dla pomiarów wykonanych tabletem. Celem programu badawczego było określenie jakości i przydatności danych pomiarowych pozyskanych za pomocą nisko kosztowych urządzeń pomiarowych dla wybranego przypadku. Pozytywne wyniki badań mogą w przyszłości zachęcić do powszechnego stosowania urządzeń przenośnych typu tablet lub smartfon wyposażonego w sensor LiDAR do celów inwentaryzacyjnych pomieszczeń lub obiektów budowlanych, szczególnie w kontekście BIM (ang. *Building Information Modeling*).

2. Metodologia badań

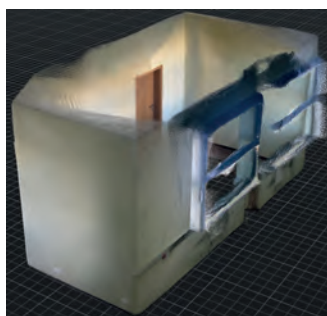
2.1. Pozyskanie danych

Jako poligon badawczy wykorzystano nieumeblowane pomieszczenie biurowe należące do kompleksu budynków Politechniki Koszalińskiej (ul. Śniadeckich 2), które zostało przygotowane do przeprowadzenia prac remontowych. Pomieszczenie to, o powierzchni około 19 m², miało regularny prostokątny kształt ze ściętym z jednej strony narożem. Głównym celem

Z+F IMAGER 5016



iPad Pro



Rys. 1. Trójwymiarowy widok chmury punktów pozyskanych skanerem Z+F IMAGER 5016 i iPad Pro

Fig. 1. Three-dimensional view of the point cloud acquired using Z+F IMAGER 5016 and iPad Pro

Tabela 1. Wybrane parametry techniczne użytego sprzętu pomiarowego
Table 1. Selected technical parameters of the measuring equipment used

Z+F IMAGER 5016	iPad Pro 12.9" 6. generacji
– Typ dalmierza: fazowy	– Wyświetlacz Multi-Touch o przekątnej 12,9 cala
– Prędkość pozyskiwania danych: 1,1 miliona pkt./s	– 8-rdzeniowe CPU
– Średnica wiązki lasera: 3,5 mm	– 16 GB pamięci RAM
– Rozbieżność wiązki lasera: 0,3 mrad	– 1 TB pamięci masowej
– Błąd pomiaru odległości: ±1 mm +10 ppm/m	– Czujniki: sensor LiDAR, czujnik oświetlenia zewnętrznego
– Zakres pomiaru: 0,3–365 m	– Zakres pomiaru LiDAR do 5 m
– Kamera HDR, z automatycznym ledowym systemem oświetlenia	– Aparat tylny z obiektywem szerokokątnym i ultraszerokokątnym, 12 MP
– System pozycjonowania: barometr, żyroskop, czujnik przyspieszenia, kompas, GPS	– System pozycjonowania: barometr żyroskop trójosiowy, kompas cyfrowy, akcelerometr, opcjonalnie GPS/GNSS

Tabela 2. Porównanie wymiarów liniowych pomieszczenia na podstawie chmur punktów pozyskanych skanerem Z+F IMAGER 5016 i iPadem Pro
 Table 2. Comparison of the linear dimensions of the room based on point clouds acquired with the Z+F IMAGER 5016 scanner and iPad Pro

Z+F IMAGER 5016	iPad Pro	różnica	Z+F IMAGER 5016	iPad Pro	różnica
przekrój na wysokości 0,3 m			przekrój na wysokości 1,5 m		
6,032	6,038	0,006	6,031	6,035	0,004
2,343	2,339	0,004	2,342	2,341	0,001
1,437	1,436	0,001	6,040	6,032	0,008
6,042	6,039	0,003	3,108	3,107	0,001
3,109	3,099	0,010	2,880	2,858	0,008
0,898	0,900	0,002	1,960	1,962	0,002
0,495	0,505	0,010	1,951	1,944	0,007
3,080	3,080	0,000	2,866	2,885	0,019
3,093	3,101	0,008	1,027	1,033	0,006
3,109	3,099	0,010	–	–	–
	min	0,000		min	0,001
	max	0,010		max	0,008
	średnia	0,006		średnia	0,005

pomiaru było pokrycie pomieszczenia chmurą punktów przez dwa urządzenia w taki sposób, aby w post-processingu była możliwa jego dokładna zwymiarowanie. Eksperyment wykonano w dwóch etapach. W etapie pierwszym wykonano pomiary fazowym naziemnym skanerem laserowym Z+F IMAGER 5016 z dwóch stanowisk pomiarowych. W ten sposób zinwentaryzowano całe pomieszczenie bez tzw. martwych pól. Czas pomiaru na jednym stanowisku wynosił około 6 minut w rozdzielczości „high resolution” (skan i pozyskanie zdjęć kamerą cyfrową). Średnia rozdzielczość wynikowej chmury punktów wynosiła około 2 mm. W etapie drugim wykonano skaning laserowy przy wykorzystaniu tableta iPad Pro 12.9” szóstej generacji. Podczas badań wykonano kilka cykli pomiaru po obrysie pomieszczenia w celu zweryfikowania powtarzalności wyników. Pomiar tabletem w programie Scaniverse był wykonywany płynnie w odległości 1–3 m zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara, w taki sposób aby nastąpiło zamknięcie (tzn. chmura punktów z początku i końca pomiaru powinny się pokrywać). Dzięki temu zabiegowi algorytm dokładniej dokonuje wyrównania i rejestracji pozyskanych danych. Średnia rozdzielczość zarejestrowanej chmury punktów wynosiła około 1cm. Wyniki surowych danych pozyskanych w wyniku eksperymentu zaprezentowano na Rys. 1. W Tabeli 1 zestawiono specyfikację użytego sprzętu. Należy zaznaczyć, że producent iPad Pro 12.9 nie podaje szczegółowych informacji technicznych dotyczących sensora LiDAR.

2.2. Opracowanie danych pomiarowych

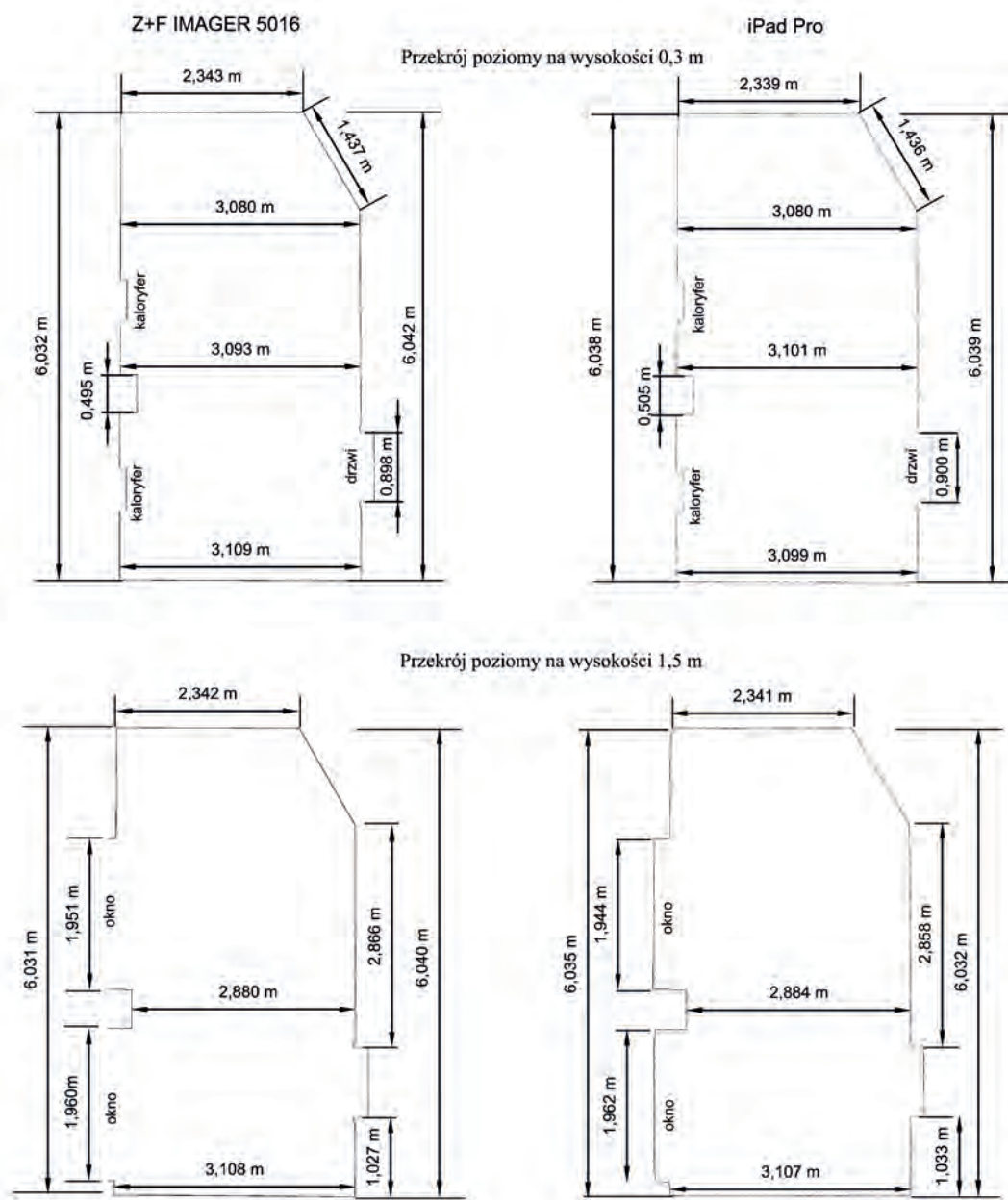
Opracowanie pozyskanych danych pomiarowych przeprowadzono w programie CloudCompare 2.12 i ZWCad 2024. Głównym celem badań było sprawdzenie zgodności wymiarów pomieszczenia na podstawie chmury punktów pozyskanych przy wykorzystaniu iPada Pro i naziemnego skanera laserowego Z+F IMAGER 5016. Wymiarowanie przeprowadzono w dwóch niezależnych układach współrzędnych zdefiniowanych przez TLS i iPada. W celu przeprowadzenia wymiarowania pomieszczenia wycięto dwa dwucentymetrowe poziome paski przez chmury punktów na wysokości 0,3 m i 1,5 m. Wycinki chmur punktów zrzutowane na płaszczyznę poziomą prezentowały obrys pomieszczenia na danej wysokości. Wymiarowanie prze-

prowadzono w programie ZWCad 2024. W Tabeli 2 zestawiono tożsame wymiary liniowe (TLS, iPad), obliczono ich różnicę oraz zestawiono wartość minimalną, maksymalną i średnią.

Wymiary liniowe pomieszczenia biurowego, na podstawie chmury punktów z pomiaru naziemnym skanerem laserowym i tabletem, wykazały dużą zgodność. Maksymalna różnica nie przekroczyła 1 cm, a wartość średnia wyniosła odpowiedni 6 mm i 5 mm dla przekroju wykonanego na wysokości 0,3 m i 1,5 m. Biorąc pod uwagę błędy pomiarowe obu instrumentów, uzyskane wyniki znacznie przekroczyły oczekiwania. Należy zaznaczyć, że nie zawsze wyniki każdego pomiaru są poprawne. Na Rys. 3 zaprezentowano przykład pomiaru, w którym skanowany obszar początkowy i końcowy pomieszczenia nie pokrywa się z błędem wynoszącym 8 cm. Powstały błąd pomiarowy może wynikać ze sposobu przemieszczenia iPada. Podczas eksperymentu zauważono, że zmiana prędkości i sposobu przemieszczania iPada może mieć negatywny wpływ na uzyskane wyniki poprzez przerwanie „ciągłości” chmury punktów. Sytuacja taka skutkuje błędami w pre-processingu danych w dedykowanym programie na tablecie.

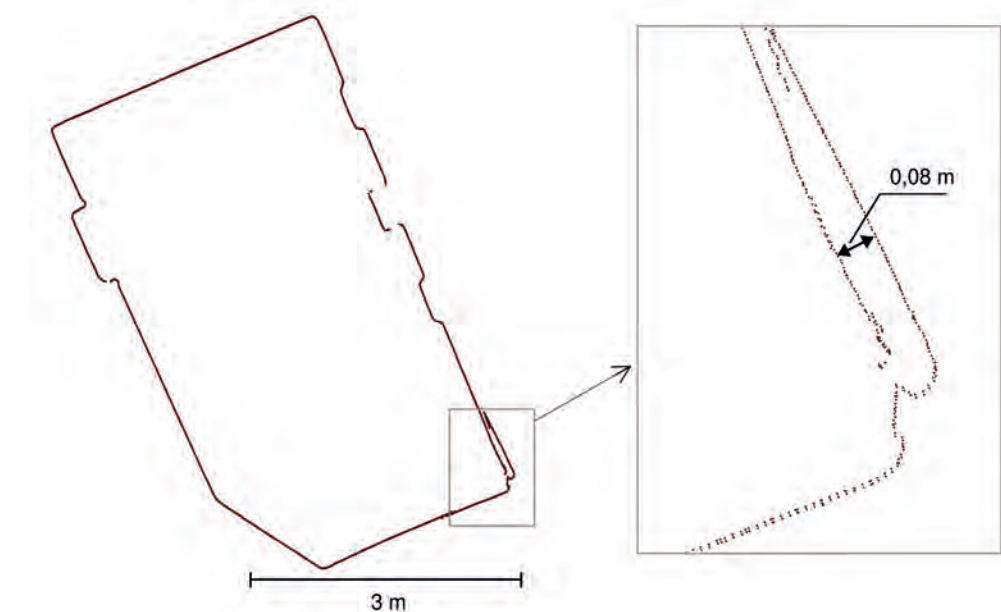
Wykonywane pomiary należy kontrolować i eliminować omawiane błędy. Najprostszą metodą unikania błędów jest nawet kilkakrotne powtórzenie pomiaru. Biorąc pod uwagę fakt, że pojedynczy pomiar badanego pomieszczenia trwał około 30 sekund, to jego kilkakrotne powtórzenie nie stanowi znaczącego zwiększenia nakładu pracy.

Dodatkową zaletą proponowanej techniki pomiarowej jest możliwość dokonywania wirtualnych pomiarów. Bezpośrednio po skanowaniu, w dedykowanym oprogramowaniu można realizować wirtualne pomiary wybranych elementów oraz szczegółów geometrii pomieszczenia i na bieżąco konfrontować je z fizycznymi wymiarami. Taka metoda wyrównawczej kontroli pomiarów wydaje się szczególnie przydatna w przypadku pomiarów wielu pomieszczeń. Na Rys. 4 przedstawiono przykładowe wirtualne pomiary wybranych szczegółów skanowanego pomieszczenia w programie Scaniverse na podstawie danych pozyskanych iPadem Pro. Przy analizie uzyskanych wyników zauważono, że występuje różnica dokładności w przypadku odwzorowania narożników na podstawie danych z pomiaru iPadem i TLS. Dane pozyskane iPadem charakteryzują się mniejszą szczegóło-



Rys. 2. Wymiary pomieszczenia na podstawie chmury punktów z pomiaru TLS i iPad Pro (przekrój poziomy na wysokości 0,3 m i 1,5 m)

Fig. 2. Room dimensions based on a point cloud from TLS measurement and iPad Pro (horizontal cross-section at a height of 0.3 m and 1.5 m)

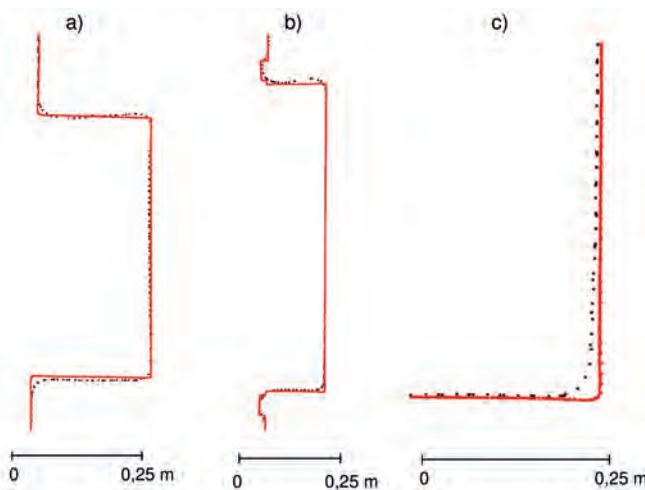


Rys. 3. Błąd pomiaru (niedomknięcie obwodu pomieszczenia)

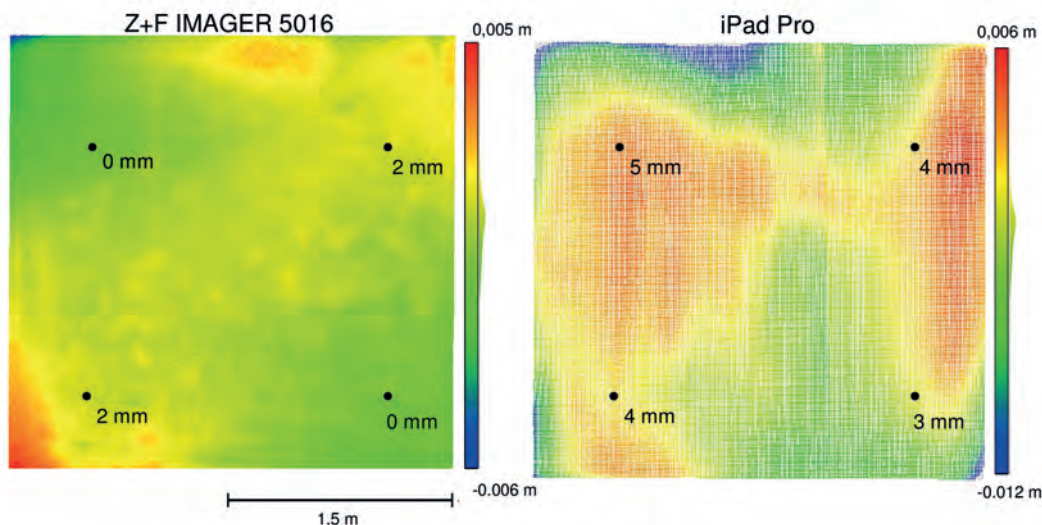
Fig. 3. Measurement error (not closing the room perimeter)



Rys. 4. Wirtualny pomiar w programie Scaniverse na podstawie danych pozyskanych iPad Pro
Fig. 4. Virtual measurement in Scaniverse based on data obtained from iPad Pro



Rys. 5. Przykład uzyskanej dokładności detali w pomiarze iPadem Pro; a) filar, b) drzwi z futryną, c) narożnik pomieszczenia (kolor czerwony pomiar TLS, czarny iPad Pro)
Fig. 5. An example of the accuracy of details when measuring with iPad Pro; a) pillar, b) door with frame, c) corner of the room (red TLS measurement, black iPad Pro)



Rys. 6. Pomiar odchyleń od płaszczyzny pionowej
Fig. 6. Measurement of deviation from the vertical plane

wością w stosunku do pomiaru TLS. Zauważalna jest znaczna generalizacja naroży pomieszczenia. Na Rys. 5 przedstawiono przykładowe różnice w uzyskanej dokładności detali w pomiarze iPadem Pro i TLS w przypadku filara, futryny drzwiowej i narożnika pomieszczenia. Należy zaznaczyć, że zjawisko to nie wpływa znacząco na prawidłowe wymiarowanie pomieszczenia. Poza tym omawiane niedokładności można zminimalizować przez wykonanie pomiarów z małej odległości.

Ostatnim etapem przeprowadzonych badań było sprawdzenie odchyleń ściany budynku od płaszczyzny pionowej. Na Rys. 6 zestawiono wynik z pomiaru naziemnym skanerem laserowym i iPadem Pro. Odchylenia punktów od płaszczyzny pionowej zostały obliczone poprzez wpasowanie płaszczyzny w chmurę punktów przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów [11]. Następnie obliczono odległości wszystkich punktów od wyznaczonej płaszczyzny odniesienia. Wyniki z pomiaru skanerem Z+F IMAGER 5016 wykazały, że skanowana ściana odbiega od płaszczyznowości w granicach od +5 mm do -6 mm, natomiast wyniki z pomiaru iPad Pro dały wartości od +5 mm do -12 mm. Biorąc pod uwagę dokładności pomiaru naziemnego skanera laserowego oraz iPada Pro można przyjąć, że uzyskane wyniki są tożsame. Na Rys. 6 dokonano bezpośredniego porównania wybranych czterech punktów zlokalizowanych na ścianie, wykazując niezgodność wyników na poziomie do 5 mm. Wynik ten jest więcej niż zadowalający z budowlanego punktu widzenia, gdzie najczęściej operujemy dokładnościami na poziomie pojedynczych centymetrów.

3. Dyskusja i wnioski

Przedstawione wyniki badań wykazały duży potencjał technologii LiDAR zastosowanej w urządzeniu iPad Pro firmy Apple w odniesieniu do pomiarów naziemnym skanerem laserowym, które należą do kosztownych. Przy wykorzystaniu tableta z sensorem LiDAR można dokonać inwentaryzacji budowlanej pomieszczenia z centymetrową dokładnością. Zgodnie z wymaganiami normy PN-ISO 9836:2022-07 [20], taka dokładność obmiaru jest wystarczająca dla celów dokumentacyjnych w odtworzeniu układu ścian, otworów drzwiowych czy okiennych. W związku z tym urządzenie to może być stosowane jako instrument wspomagający w inwentaryzacji budowlanej.

Przy udowodnionej bardzo dużej praktyczności, mobilności i dostępności technologii LiDAR w urządzeniu iPad Pro należy pamiętać o ograniczeniach technologicznych. Według autorów kluczowym ograniczeniem jest maksymalny zakres pomiaru (który wynosi około 5 m) oraz brak możliwości przeprowadzenia pomiaru na wydłużonych płaskich powierzchniach. Na pra-

widlowo przeprowadzony pomiar istotny wpływ mają również umiejętności i doświadczenie operatora. Technologia naziemnego skaningu laserowego jest znacznie dokładniejsza i powtarzalna (w porównaniu do iPad Pro) i dlatego często znajduje zastosowanie w precyzyjnych pomiarach inżynierskich. Głównym atutem skanowania iPadem/iPhonem jest relatywnie niski koszt takiego urządzenia w porównaniu do naziemnego skanera laserowego. Koszt zakupu naziemnego skanera laserowego wynosi co najmniej 25 000 euro, natomiast iPada lub iPhone z sensorem LiDAR może być niższy od 1 000 euro. Ceny naziemnych skanerów laserowych dostępne na rynku są uzależnione od wielu czynników, takich jak marka, typ użytego dalmierza (impulsowy, fazowy), zakres i dokładność pomiaru, przeznaczenie, wyposażenie w dodatkowe sensory (np. kamera termalna, GNSS) oraz dodatkowy osprzęt. Wyposażenie urządzeń przenośnych typu iPad i iPhone w sensor LiDAR czyni skaningu laserowego mało kosztową technologią pomiarową. Możliwości tych urządzeń mogą być również wykorzystane w BIM i innych zastosowaniach inżynierskich. Należy zaznaczyć, że dopiero od 2020 r. firma Apple zaczęła wyposażać swoje wybrane urządzenia w sensor LiDAR. W związku z tym można przyjąć, że są to nowe rozwiązania technologiczne, które będą w przyszłości rozwijane, co może skutkować ich udoskonaleniem i zwiększoną dokładnością.

Bibliografia

- Söderberg J., Wallerman J., Almäng A., Möller J.J., Willén E., *Operational prediction of forest attributes using standardised harvester data and airborne laser scanning data in Sweden*. "Scandinavian Journal of Forest Research", Vol. 36, No. 4, 2021, 306–314, DOI: 10.1080/02827581.2021.1919751.
- Li M., Li Z., Liu Q., Chen E., *Comparison of coniferous plantation heights using unmanned aerial vehicle (UAV) laser scanning and stereo photogrammetry*. "Remote Sensing", Vol. 13, No. 15, 2021, 13, DOI: 10.3390/rs13152885.
- Ma L., Li Y., Li J., Wang C., Wang R., Chapman M.A., *Mobile laser scanned point-clouds for road object detection and extraction: A review*. "Remote Sensing", Vol. 10, No. 10, 2018, DOI: 10.3390/rs10101531.
- Xin Y., Wang R., Wang X., Wang X., Xiao Z., Lin J., *High-Resolution Terrain Reconstruction of Slot Canyon Using Backpack Mobile Laser Scanning and UAV Photogrammetry*. "Drones", Vol. 6, No. 12, 2022, DOI: 10.3390/drones6120429.
- Suchocki C., *Comparison of Time-of-Flight and Phase-Shift TLS Intensity Data for the Diagnostics Measurements of Buildings*. "Materials", Vol. 13, No. 2, 2020, DOI: 10.3390/ma13020353.
- Morena S., Barba S., Álvaro-Tordesillas A., *Shining 3D EinScan-Pro, application and validation in the field of cultural heritage, from the Chillida-Leku museum to the archaeological museum of Sarno*. [In:] Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives, Vol. 42, 2019, 135–142, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W18-135-2019.
- Teppati Losè L., Spreafico A., Chiabrande F., Giulio Tonolo F., *Apple LiDAR Sensor for 3D Surveying: Tests and Results in the Cultural Heritage Domain*. "Remote Sensing", Vol. 14, No. 17, 2022, DOI: 10.3390/rs14174157.
- Luetzenburg G., Kroon A., Bjørk A.A., *Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences*. "Scientific Reports", Vol. 11, 2021, DOI: 10.1038/s41598-021-01763-9.
- Zaczek J., *Evaluation of the LiDAR in the Apple iPhone 13 Pro for use in Inventory Works*. [In:] Proceedings of the XXVII FIG Congress, 2022.
- Pedro M., Calvetti D., *Exploring the Potential of iPad-LiDAR Technology for Building Renovation Diagnosis: A Case Study*. "Buildings", Vol. 13, No. 2, 2023, DOI: 10.3390/buildings13020456.
- Błaszczak-Bąk W., Suchocki C., Kozakiewicz T., Janicka J., *Measurement methodology for surface defects inventory of building wall using smartphone with light detection and ranging sensor*. "Measurement", Vol. 219, 2023, DOI: 10.1016/j.measurement.2023.113286.
- Gollob C., Ritter T., Kraßnitzer R., Tockner A., Nothdurft A., *Measurement of forest inventory parameters with apple ipad pro and integrated lidar technology*. "Remote Sensing", Vol. 13, No. 16, 2021, DOI: 10.3390/rs13163129.
- Razali M.I., Idris A.N., Razali M.H., Syafuan W.M., *Quality Assessment of 3D Point Clouds on the Different Surface Materials Generated from iPhone LiDAR Sensor*. "International Journal of Geoinformatics", Vol. 18, No. 4, 2022, 51–58, DOI: 10.52939/ijg.v18i4.2259.
- Nowak R., Kania T., Rutkowski R., Ekiert E., *Research and TLS (LiDAR) Construction Diagnostics of Clay Brick Masonry Arched Stairs*. "Materials", Vol. 15, No. 2, 2022, DOI: 10.3390/MA15020552.
- Truong-Hong L., Laefer D.F., *Application of Terrestrial Laser Scanner in Bridge Inspection: Review and an Opportunity*. "IABSE Symposium Report 2014", Vol. 102, 2713–2720, DOI: 10.2749/222137814814070190.
- Nowak R., Orłowicz R., Rutkowski R., *Use of TLS (LiDAR) for building diagnostics with the example of a historic building in Karlino*. "Buildings", Vol. 10, No. 2, 2020, DOI: 10.3390/buildings10020024.
- Xu X., Zhang L., Yang J., Cao C., Wang W., Ran Y., Tan Z., Luo M., *A Review of Multi-Sensor Fusion SLAM Systems Based on 3D LIDAR*. "Remote Sensing", Vol. 14, No. 12, 2022, DOI: 10.3390/rs14122835.
- Macario Barros A., Michel M., Moline Y., Corre G., Carrel F., *A Comprehensive Survey of Visual SLAM Algorithms*. "Robotics", Vol. 11, No. 1, 2022, DOI: 10.3390/robotics11010024.
- Haleem A., Javaid M., Singh R.P., Rab S., Suman R., Kumar L., Khan I.H., *Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview*. "International Journal of Cognitive Computing in Engineering", Vol. 3, 2022, 161–171, DOI: 10.1016/j.ijcce.2022.08.003.
- PN-ISO 9836:2022-07 *Właściwości użytkowe w budownictwie – Określanie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych*; 2022.

Studying the Potential of iPad-LiDAR Technology in the Inventory of Building Structures

Abstract: The article presents a research program aimed at preliminary determination of the potential of iPad-LiDAR technology in the inventory of building structures. The authors focused on the use of commercially available devices (mobile phones and tablets) equipped with a LiDAR sensor. Such devices can be treated as low-cost measuring devices and used for engineering measurements. The first possible area of use of the devices discussed is broadly understood construction inventories, which, when performed using traditional methods, always involve a large amount of work. The automation of this process and the quality and quantity of data obtained during the inventory create a completely new technical reality and related measurement and diagnostic possibilities.

Keywords: iPad, LiDAR, scanning, tablet, low-cost

dr hab. inż. Czesław Suchocki, prof. PK

czeslaw.suchocki@tu.koszalin.pl

ORCID: 0000-0002-0121-5711

Od 2004 r. pracuje na Wydziale Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji Politechniki Koszalińskiej. W 2010 r. obronił doktorat w dyscyplinie geodezja i kartografia, a stopień doktora habilitowanego uzyskał w 2021 r. w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Jego działalność naukowa koncentruje się na zastosowaniu technologii naziemnego skaningu laserowego w inżynierii lądowej i dokumentacji dziedzictwa kulturowego.



dr hab. inż. Jacek Katzer, prof. UWM

jacek.katzer@uwm.edu.pl

ORCID: 0000-0002-4049-5330

W swoich badaniach specjalizuje się w technologii betonu i fibrobetonu. Od 2017 r. zajmuje się również gruntami księżycowymi i symulantami gruntów księżycowych. Posiada doświadczenie jako badacz betonu, projektant mieszanek, kontroler jakości produkcji betonów (zarówno towarowych, jak i prefabrykatów) oraz wykładowca technologii betonu. Obecnie pracuje na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie kierując Centrum Inżynierii Lądowej. W trakcie swojej kariery naukowej związany był także z Politechniką Koszalińską (Polska), Uniwersytetem w Sheffield (Wielka Brytania), Politechniką w Brnie (Czechy) oraz VSB – Politechniką Ostrawską (Czechy).



dr hab. inż. Machi Zawidzki

zawidzki@piap.lukasiewicz.gov.pl

ORCID: 0000-0001-8695-4400

Od października 2022 r. kierownik Działu Wsparcia Badań Aplikacyjnych ZBI w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów PIAP. Od lutego 2017 r. adiunkt w Zakładzie Technologii Inteligentnych w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk. W lipcu 2020 r. habilitacja w dziedzinie Nauk Technicznych, w dyscyplinie – Informatyka. Tytuł autoreferatu: Zastosowania metod inteligencji obliczeniowej do optymalizacji architektonicznych Systemów Ekstremalnie Modułarnych. W okresie październik 2007 r. do września 2010 r. studia doktoranckie na Uniwersytecie Ritsumeikan w Japonii. Temat rozprawy: Application of Computational Intelligence to engineering design problems in Architecture – firmatatis, utilitatis, venustatis.



dr hab. inż. Rafał Nowak, prof. ZUT

rnowak@zut.edu.pl

ORCID: 0000-0002-4049-5330

Absolwent Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. W 2014 r. obronił doktorat w dyscyplinie budownictwo w specjalności konstrukcje murowe. W 2015 r. uzyskał uprawnienia budowlane bez ograniczeń w specjalności konstrukcyjno-budowlanej obejmującej projektowanie i kierowanie robotami budowlanymi bez ograniczeń. Od 2023 r. doktor habilitowany i profesor ZUT. Główne zainteresowania badawcze: mury, konstrukcje łukowe i sklepienia, diagnostyka konstrukcji, pomiary TLS (LiDAR).

