

Artykuł naukowy

Porównanie modeli 3D pomieszczeń biurowych opracowanych na podstawie pomiarów wykonanych różnymi metodami

Comparison of 3D models of the office accommodation
based on measurements made by different methods

**Klaudia Onyszko, Agnieszka Zwirowicz-Rutkowska,
Anna Fryškowska-Skibniewska, Tomasz Wojciechowski**

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji

Abstract

The growing interest in 3D modelling is associated with the increasing detail of created virtual city models, the presentation of flats in three dimensions and the support of processes related to the entire life cycle of the building. The aim of the publication is to compare 3D models of office rooms based on measurements made with a laser scanner and a reflectorless total station. The study was conducted for selected office accommodation in the building located at the Military University of Technology in Warsaw. A quantitative analysis of 3D models was carried out, which results were presented in the form of histograms of the same-coordinate differences (X, Y, Z) of selected 20 homologous points on models. An analysis of the measurement methods used in the study taking into account economic terms is also presented, including the costs of geodetic equipment and software as well as the workload.

Słowa kluczowe: naziemny skaning laserowy, tachimetr bezlustrkowy, modelowanie 3D budynków, skaner 3D, chmura punktów, dalmierz laserowy

Keywords: terrestrial laser scanning, reflectorless total station, 3D buildings modeling, 3D laser scanner, point cloud, laser rangefinder

Wprowadzenie

Rozwój form geowizualizacji doprowadził do powszechnego zainteresowania i tworzenia modeli 3D w szeroko pojętych dziedzinach inżynierjno-technicznych.

Obecnie trójwymiarowa wizualizacja pomieszczeń jest podstawą do ich prezentacji w procesie sprzedaży mieszkań, aranżacji wnętrz czy zarządzania przestrzenią gminy (np. Pachelski i in., 2012). Jednak głównym celem tworzenia modeli 3D dla istniejących budynków jest ich inwentaryzacja, wspomaganie projektowania zachodzących zmian tych obiektów, wsparcie procesów eksploatacyjnych oraz zarządzanie nimi. Natomiast ideą tworzenia modeli 3D dla budynków wznoszonych od podstaw (modeli BIM – ang. *Building Information Modeling*) jest usprawnienie całego cyklu życia obiektu poprzez wspomaganie procesu projektowania, budowy oraz zarządzania nim.

Chcąc zwizualizować obiekt, należy uprzednio przeprowadzić pomiar geometrii takich pomieszczeń, który może zostać zrealizowany tachimetrem bezlustrowym, skanerem laserowym, kamerą fotogrametryczną lub ręcznym dalmierzem laserowym. Postępująca informatyzacja i rozwój technologii pomiarowych wypiera w pewnym stopniu klasyczne techniki pomiarowe (tj. taśma czy ruletka geodezyjna) w aspekcie dokładnościowym oraz ekonomicznym, pozwalającym na maksymalne zminimalizowanie nakładu pracy, a także czasu wykonania pomiaru, opracowania kameralnego i sporządzenia wizualizacji 3D. Coraz częściej wykorzystywaną technologią pomiarową jest naziemne skanowanie laserowe (ang. *TLS – Terrestrial Laser Scanning*). Pozyskanie chmury punktów tą techniką pozwala na wykrycie deformacji, wychyleń i uszkodzeń pod względem struktury i kształtu obiektu, a także ich przedstawienie w postaci modeli elewacji, ortoobrazów rzeźb czy przekrojów podczas inwentaryzacji zabytków architektonicznych (np. Kędziński i in. 2008).

Z literatury znane jest przeprowadzenie naziemnego skanowania laserowego pomieszczeń (np. Kraszewski 2012), a także opracowanie na podstawie tych pomiarów modelu 3D budynku (Kubisz, 2003; Valero i in., 2015; Borkowski i Józków, 2012). Zagadnienie porównania metody fotogrametrycznej i skanowania laserowego scharakteryzowano m. in. w artykułach (Hejmanowska i in., 2012; Boroń i in., 2007; Lee i in., 2009). Nie znaleziono w literaturze porównania metody skanowania laserowego z metodą pomiaru laserowego z wykorzystaniem tachimetru bezlustrowego za wyjątkiem zastosowania wymienionych metod do opracowania jednego spójnego modelu 3D obiektu (Mill i in., 2013). Istnieje jednak wiele czynników wpływających na pomiar zarówno skanerem, jak i tachimetrem bezlustrowym (Sami i in., 2016; Ashraf i in., 2011). Badania udowodniły, że intensywność odbicia od badanego obiektu zależy głównie od kąta nachylenia powierzchni odbijających, materiałów i barwy mierzonych elementów oraz odległości do obiektów (Sami, 2016; Zeng i in., 2009).

Celem głównym artykułu jest porównanie modeli 3D pomieszczeń biurowych opracowanych na podstawie pomiarów wykonanych skanerem laserowym Faro Focus 3D i tachimetrem bezlustrowym Topcon GPT 3100N. Za metodę referencyjną przyjęto metodę

pomiaru laserowego z wykorzystaniem dalmierza laserowego Leica Disto D5. Badania zostały przeprowadzone w wybranych pomieszczeniach budynku dydaktycznego (nr 57), usytuowanego na terenie Wojskowej Akademii Technicznej na warszawskim Bemowie. Wykorzystane w publikacji modele pochodzą z prac Onyszko (2018, 2019).

Metodyka badawcza

Przeprowadzone jakościowe i ilościowe badania porównawcze odnoszą się do dwóch metod pomiarowych (skanowania laserowego i tachimetrycznych pomiarów bezlustrowych) oraz modeli 3D opracowanych na podstawie pozyskanych zbiorów punktów. Biorąc pod uwagę czas trwania prac, badania zakwalifikowano do grupy przekrojowych. Zastosowano dwie techniki badań: obserwację (dotyczącą części pomiarowej) oraz modelowanie (proces wizualizacji pomieszczeń), które były możliwe do zrealizowania dzięki wybranym narzędziom badawczym, w tym instrumentom pomiarowym i pakietom oprogramowania.

Metoda pomiaru laserowego z wykorzystaniem dalmierza laserowego

Pomiar elementów konstrukcyjnych w badanych pomieszczeniach wykonano z wykorzystaniem ręcznego dalmierza laserowego Leica Disto D5. Badanie każdego elementu konstrukcyjnego przeprowadzono kilkakrotnie. Następnie wyniki te zostały uśrednione (tabela 1).

Zgodnie ze specyfikacją techniczną instrumentu dokładność pomiaru odległości do 10 m wynosi ± 1.0 mm, przy odległości 10 – 30 m dokładność zmniejsza się o około ± 0.025 mm/m, a dla ponad 30 m dokładność pogarsza się i o około ± 0.15 mm/m. Wiadome jest, że maksymalna odchyłka może zostać uzyskana przy pomiarze w niekorzystnych warunkach tj. powierzchnie chropowate czy niski współczynnik odbicia (w przypadku pomiarów wewnątrz).

Kilkukrotne pomiary tych samych elementów konstrukcyjnych potwierdziły dokładność pomiaru odległości zawartą w specyfikacji technicznej instrumentu. W związku z tym w dalszych analizach pomiar dalmierzem Leica Disto D5 potraktowany został jako referencyjny.

Tabela 1. Wynik pomiaru elementów konstrukcyjnych dalmierzem laserowym Leica Disto D5

Nr elementu konstrukcyjnego	Wartość pomierzona [m]	Wartość średnia [m]	Różnica [m]	Odchylenie standardowe [m]
1	5,191	5,190	0,001	0,001
	5,190		0,000	
	5,190		0,000	
	5,189		-0,001	
	5,190		0,000	
2	3,540	3,541	-0,001	0,001
	3,540		-0,001	
	3,541		0,000	
	3,542		0,001	
	3,542		0,001	
3	2,819	2,819	0,000	0,001
	2,819		0,000	
	2,818		-0,001	
	2,819		0,000	
	2,820		0,001	
4	9,372	9,373	-0,001	0,001
	9,373		0,000	
	9,372		-0,001	
	9,374		0,001	
	9,374		0,001	
5	12,421	12,422	-0,001	0,001
	12,422		0,000	
	12,422		0,000	
	12,423		0,001	
	12,422		0,000	

Metoda pomiaru laserowego z wykorzystaniem tachimetru bezlustrowego

Pomiary pomieszczeń biurowych, przeprowadzone bezlustrowym tachimetrem Topcon GPT 3100N, wykonano na podstawie założonej na korytarzu w budynku osnowy lokalnej (rys. 1), składającej się z 19 punktów rozmieszczonych wzdłuż prostej S1-S2 (dokładność położenia punktów ± 2 mm). W każdym inwentaryzowanym pomieszczeniu metodą biegunową założono minimum 1 punkt, z którego wykonano pomiar szczegółów

(z dokładnością $\pm 1,4$ cm względem punktów osnowy). Z uwagi na całkowite zagospodarowanie wewnątrz niektóre z elementów pomieszczeń były niewidoczne z pozycji tachimetru. Współrzędne takich obiektów wyznaczono w sposób pośredni metodą domiarów prostokątnych lub metodą przecięć prostych w programie C-Geo 2017, w którym obliczono również powierzchnie i kubatury inwentaryzowanych pomieszczeń.

Model 3D opracowano w programie AutoCAD 2017. Zasady wykonywania dokumentacji niezbędnej przy inwentaryzacji budynku zawierającej rzut poziomy obiektu, szkic szczegółów, elewację zrealizowaną w rzucie pionowym oraz techniczno-kosztorysowy opis budynku wykonano zgodnie z normą PN-B-01025 (2004).

Metoda skanowania laserowego

Technologia naziemnego skanowania laserowego opiera się na wyznaczeniu w sposób pośredni (na podstawie pomierzonej odległości, kąta pionowego i poziomego) zbioru przestrzennych współrzędnych XYZ, czyli tzw. chmury punktów (wzór nr 1). Innym produktem skanowania, opracowanym na podstawie pozyskanych danych, może być również model wektorowy obiektu, wektorowa mapa 3D oraz badanie deformacji. Dodatkowym parametrem, uzyskanym w czasie prac terenowych, jest intensywność odbicia, czyli zbiór wartości przypisanych do chmury w postaci modelu barw RGB (Red-Green-Blue).

$$\begin{aligned}x &= d \cos\beta \cos\alpha \\y &= d \cos\beta \sin\alpha \\z &= d \sin\beta\end{aligned}\tag{1}$$

d – odległość skośna,

α – kąt poziomy,

β – kąt pionowy.

Do pomiaru pomieszczeń wykorzystano fazowy skaner Faro Focus 3D oraz elementy sygnalizowane (tj. tarcze i kule referencyjne), dzięki którym przeprowadzono proces orientacji skanów. Pomiar wykonano z 29 pozycji skanera zapewniających jak największy stopień pokrycia obszaru kilku skanów. Ich orientację przeprowadzono metodą „Chmura do chmury” (ang. *Cloud to Cloud Registration*), która wymagała wskazania minimum 3 punktów łącznych. Analizując statystyki skanowania stwierdzono, że średni błąd orientacji wyniósł 2,2 mm, a największy 8,4 mm. W zakresie pokrycia wzajemnego skanów

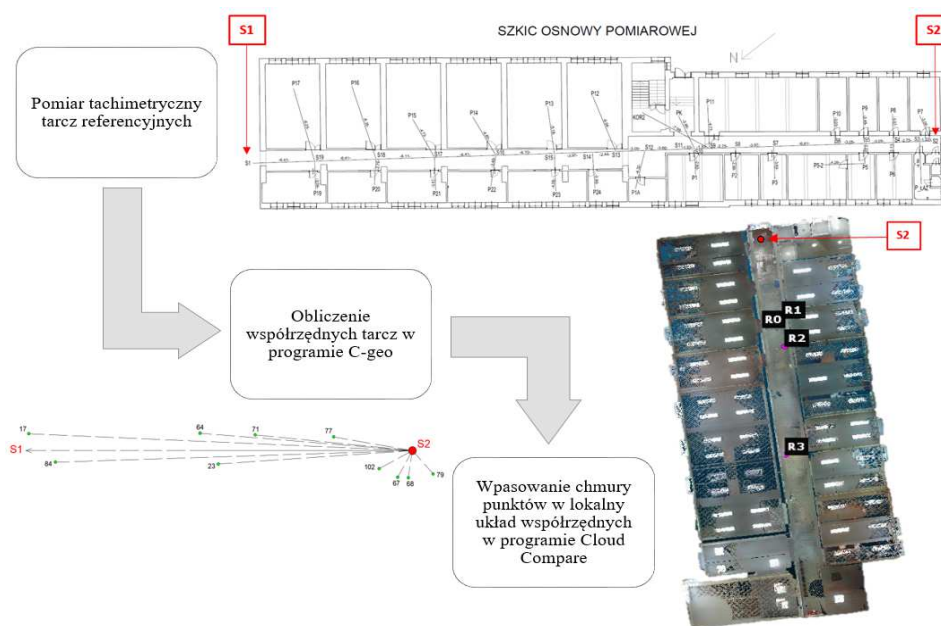
- w najmniej korzystnym przypadku wyniosło 7.7%. Wąskie, a zarazem niewielkie pomieszczenia utrudniały dobór najbardziej optymalnej pozycji skanera pomiędzy gabinetami w budynku.

Opracowanie modelu 3D w programie Revit i As-Built for Revit poprzedzono procesem teksturowania i filtracji chmury punktów. Usunięto zarejestrowane skanem szumy utrudniające modelowanie obiektu tj. osoby poruszające się po badanym obiekcie lub przestrzeń pomierzoną przez szyby.

Wyniki

Wpasowanie chmury punktów w lokalny układ współrzędnych

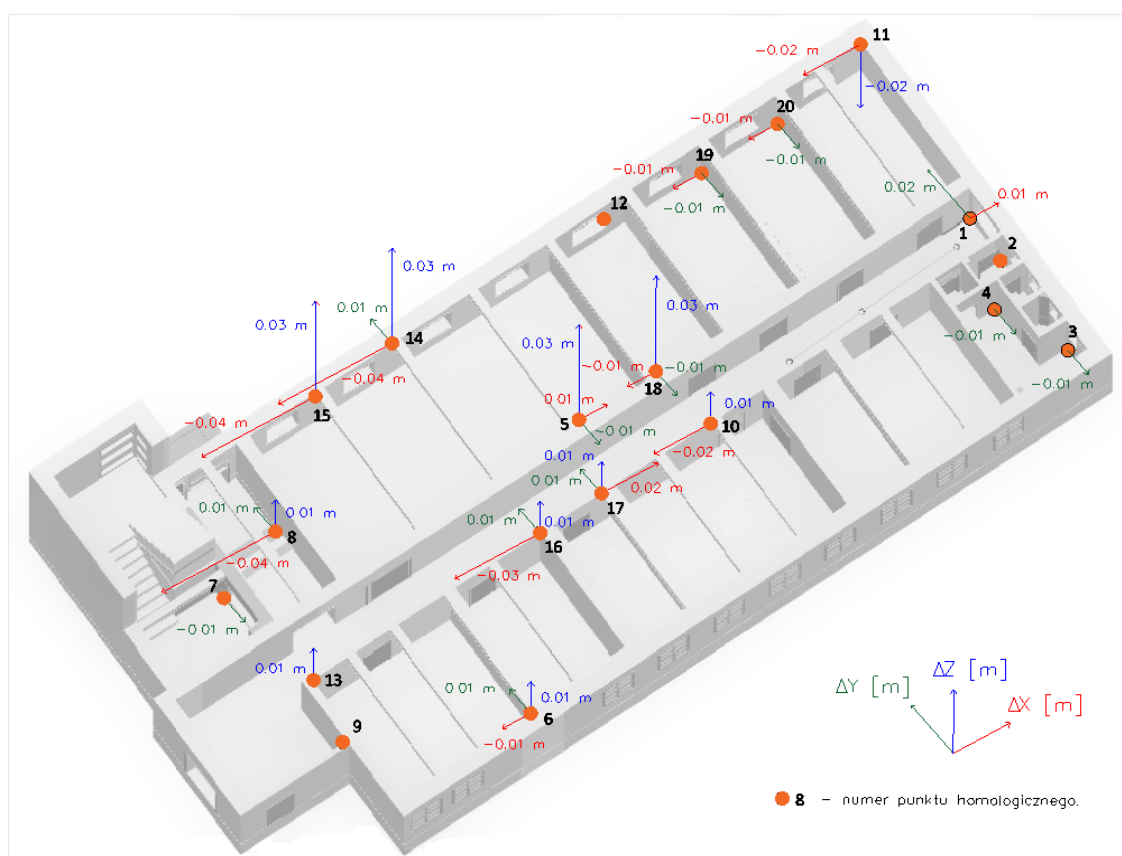
Proces wpasowania zorientowanej chmury punktów w lokalny układ współrzędnych z pomiarów tachymetrycznych wykonano w programie CloudCompare na podstawie pomierzonych tarcz referencyjnych tachimetrem bezlustrowym z punktu osnowy S2 w nawiązaniu na punkt S1 (rys. 1). W rezultacie, 4 punkty wyeliminowano z uwagi na duży błąd średniokwadratowy RMSE (± 1 cm) i wpasowano chmurę w oparciu o 4 punkty z błędem RMSE ± 3 mm.



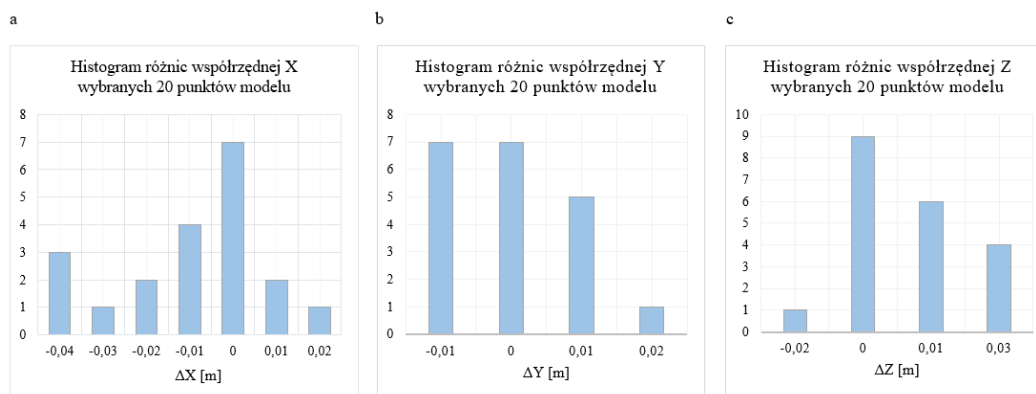
Rys. 1. Schemat procesu wpasowania chmury punktów w lokalny układ współrzędnych z pomiarów tachymetrycznych

Porównanie modeli 3D

Analiza modeli (Model I. – wykonany na podstawie danych ze skanowania laserowego, Model II. – opracowany na bazie danych pozyskanych tachimetrem bezlustrowym) obejmowała badania ilościowe niedopasowania tych modeli względem siebie. Analiza ta opierała się na wyznaczeniu różnic jednoimiennych współrzędnych wybranych 20 homologicznych punktów na modelach (rys. 2). Wyniki w postaci histogramów przedstawiające różnice współrzędnych (X, Y, Z) zaprezentowano na rysunku 3. Porównanie modeli obejmowało nie tylko prezentację odchylek w geometrii, ale również pokazanie dla jakich elementów konstrukcyjnych różnice we współrzędnych pomiędzy modelami są największe (tabela 2).



Rys. 2. Wektory wartości różnic współrzędnych (XYZ) zaprezentowane dla 20 homologicznych punktach na dwóch modelach (Onyszko, 2019)



Rys. 3. Histogramy różnic jednoimiennych współrzędnych X (a), Y (b), Z (c) wybranych 20 punktów modeli (Onyszko, 2019)

Tabela 2. Klasyfikacja wybranych punktów homologicznych według 3 grup ich lokalizacji na zamodelowanych obiektach (Onyszko, 2019)

Grupa	Usytuowanie punktów homologicznych	Numer punktu umieszczonego na tym obiekcie	Różnice współrzędnych		
			ΔX [m]	ΔY [m]	ΔZ [m]
I.	Punkty zlokalizowane w narożnikach ścian przy posadzce	1	0,01	0,02	0,00
		2	0,00	0,00	0,00
		3, 4, 7	0,00	-0,01	0,00
		19, 20	-0,01	-0,01	0,00
II.	Punkty usytuowane w narożnikach ścian przy suficie	6	-0,01	0,01	0,01
		9	0,00	0,00	0,00
		13	0,00	0,00	0,01
		16	-0,03	0,01	0,01
		18	-0,01	-0,01	0,03
III.	Punkty położone na innych elementach konstrukcyjnych tj. schody, okna czy belki nośne	5	0,01	-0,01	0,03
		8	-0,04	0,01	0,01
		10	-0,02	0,00	0,01
		11	-0,02	0,00	-0,02
		12	0,00	0,00	0,00
		14	-0,04	0,01	0,03
		15	-0,04	0,00	0,03
		17	0,02	0,01	0,01

Najwięcej punktów homologicznych, pomierzonych dwiema metodami, zostało wyznaczonych z różnicą współrzędnej X nie przekraczającą 1 cm. Siedem punktów posiada jednakową współrzędną Y na dwóch modelach 3D. Różnica tej współrzędnej dla jednego z badanych punktów wyniosła 2 cm. W zakresie wysokościowego przesunięcia modeli względem siebie dla przeważającej liczby punktów różnica współrzędnej Z nie jest większa niż 1 cm.

W pierwszej grupie pomiarowej znajdowały się punkty o najmniejszych różnicach współrzędnych między odpowiadającymi sobie modelami. Największe odchyłki odnotowano w punktach z trzeciej grupy. Przyczyna upatrywana była w trudności w pomiarze wypukłych narożników oraz metodzie ich wyznaczenia (pośrednia - domiary prostokątne i przecięcia prostych).

Dodatkowo dla każdej z trzech współrzędnych wyznaczono wartość minimalną (min), maksymalną (max) i średnią różnicy współrzędnych (\bar{x}) oraz odchylenie standardowe (σ) ze wzoru 2. Wyniki obliczeń przedstawia tabela 3. Największa minimalna różnica współrzędnych to -0.045 m (dla ΔX), a maksymalna różnica to 0.033 m (dla ΔY). Ich średnia różnica występuje w granicach od -0.01 do 0.09 m. Świadczy o losowym charakterze rozkładu błędów przypadkowych, które dążą do wartości zerowej. Wartość średnia $\bar{X}_{\Delta Z} = 0.009$ świadczy o posadowieniu modelu II. nad modelem I. (Onyszko, 2019).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (2)$$

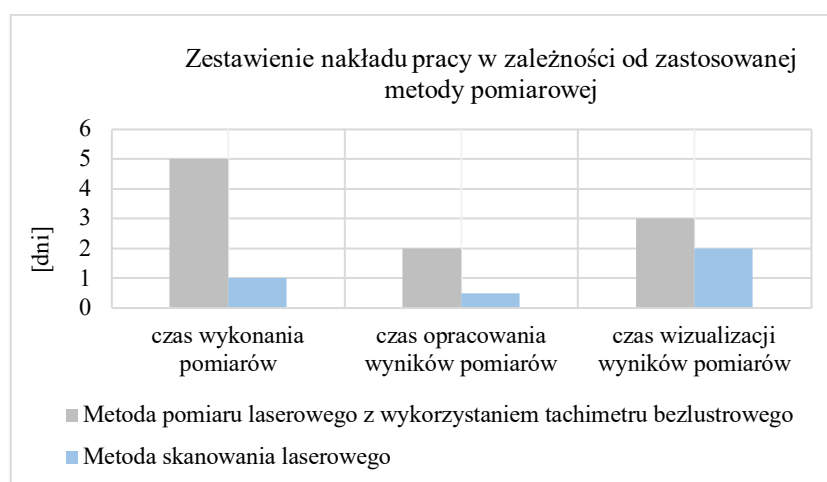
W przypadku różnic ΔX (rys.3, tab.3) 80% z nich zawierało się w zakresie pojedynczej i 85% w zakresie podwójnej wartości odchylenia standardowego. W odniesieniu do różnic ΔY 95% zawierało się w zakresie pojedynczej wartości odchylenia standardowego. Biorąc pod uwagę różnice ΔZ wyliczono, że 75% z nich zawiera się w zakresie pojedynczej i 80% w zakresie podwójnej wartości odchylenia standardowego.

Tabela 3. Wartości minimalnej, maksymalnej i średniej wartości różnicy współrzędnych X, Y, Z oraz odchylenia standardowego (Onyszko, 2019)

Rodzaj obliczenia	ΔX [m]	ΔY [m]	ΔZ [m]
<i>min</i>	-0,045	-0,014	-0,023
<i>max</i>	0,021	0,021	0,033
\bar{x}	-0,010	0,000	0,009
σ	0,017	0,009	0,013
2σ	0,034	0,018	0,026
3σ	0,051	0,027	0,039

Porównanie metod pomiarowych

Zestawienie zastosowanych metod pomiarowych pod względem ekonomicznym, biorąc pod uwagę czas zarówno samego pomiaru, jak również opracowania kameralnego oraz czas niezbędny do wykonania trójwymiarowej wizualizacji wnętrza, przedstawia rysunek 4. Wyniki analizy ceny zaprezentowano w tabeli 4. Porównanie obejmowało także dokładność i możliwości instrumentów pomiarowych, a także oprogramowanie.



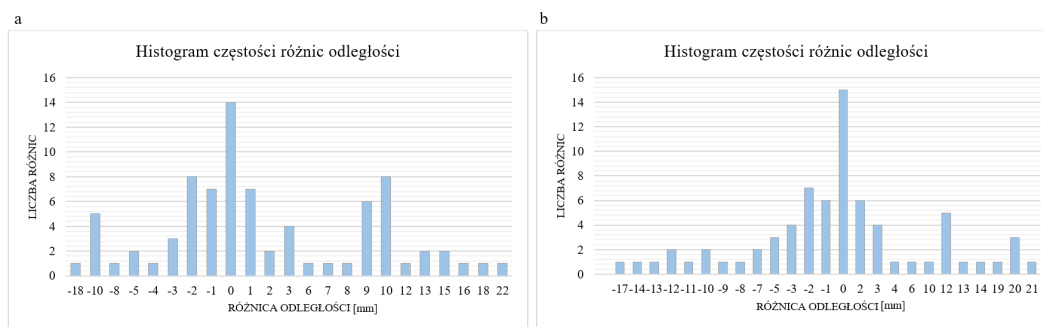
Rys. 4. Wykres nakładu pracy w zależności od wykorzystanej metody pomiarowej (Onyszko, 2019).

Odnosząc się do aktualnych cen zastosowanego oprogramowania można stwierdzić, że koszt opracowania danych i wykonania modelu 3D pomieszczeń przy zastosowaniu metody skanowania laserowego (programy tj. Faro Scene 2019, Revit 2017, As-Built for Revit) to około 35 tys. zł. W przypadku pomiaru metodą z wykorzystaniem tachimetru bezlustrowego (programy tj. C-Geo 2017, AutoCAD 2017) koszt ten to około 4 tys. zł., co stanowi 11% ceny programów zastosowanych w pierwszej metodzie. Znaczne różnice w kosztach realizacji pomiarów wybranymi metodami można również zauważyć porównując ceny instrumentów. Cena skanera laserowego Faro Focus 3D jest 10-krotnie wyższa od ceny użytego w badaniach tachimetru. Analizując koszty zastosowania poszczególnych metod warto rozważyć wariant wypożyczenia sprzętu i obliczenia kosztów tego procesu w przeliczeniu na ilość dni pomiarowych. W tabeli 4. zestawiono ceny netto wypożyczenia instrumentów w przeliczeniu na 1 dzień oraz na ilość dni pomiarowych uwzględnionych na rysunku 4. Można zauważyć, że cena wypożyczenia tachimetru bezlustrowego na 5 dni (1250 zł) jest zbliżona do ceny wypożyczenia skanera laserowego na 1 dzień (1200 zł). W przypadku zastosowanego oprogramowania do opracowania i wizualizacji wyników jedynie program AutoCAD i Revit można uzyskać na minimalny okres licencyjny 1 miesiąca. Ich koszt to odpowiednio 255 zł (AutoCAD) i 1865 zł (Revit) netto. W przypadku pozostałych programów (C-Geo, As-Built for Revit, Scene) nie ma możliwości uzyskania licencji okresowych.

Tabela 4. Zestawienie cen wypożyczenia sprzętów geodezyjnych do pomiaru pomieszczeń

Rodzaj sprzętu pomiarowego	Ilość dni pomiarowych	Cena netto (PLN) wypożyczenia w przeliczeniu na:	
		1 dzień	ilość dni pomiarowych
skaner laserowy Faro Focus 3D	1	1200	1200
tachimetr bezlustrowy Topcon GPT 3100N	5	250	1250

Metodę tachimetryczną i skanowania laserowego porównano także w odniesieniu do metody referencyjnej (pomiaru laserowego z wykorzystaniem dalmierza laserowego) w postaci różnic odległości badanych elementów konstrukcyjnych, które zaprezentowano w postaci histogramów (rys. 5a, b).



Rys. 5. Histogramy częstości różnic odległości uzyskane z pomiaru metodą tachimetryczną (a.) i metodą skanowania laserowego (b.) w odniesieniu do metody referencyjnej

Na podstawie analizy histogramu a (Rys. 5a) stwierdzono, że odchylenie standardowe wyniosło 7,7 mm, a średnia wartość 2,5 mm (Tabela 5). Biorąc pod uwagę różnice odległości zestawione na histogramie b (Rys. 5b) można zauważyć, że odchylenie standardowe wyniosło 8,8 mm, a wartość średnia -0,1 mm (Tabela 5).

Tabela 5. Wartość maksymalna, średnia oraz odchylenie standardowe różnic odległości wyznaczone na podstawie histogramów (Rys. 5a, b)

Rodzaj obliczenia	Histogram a (Rys. 5a.)	Histogram b (Rys. 5b.)
odchylenie standardowe (σ) [mm]	7,7	8,8
wartość średnia (\bar{x}) [mm]	2,5	-0,1
maksymalna różnica [mm]	22,0	21,0

Na dokładność pomiarów wykonanych tachimetrem bezlustrowym wpływ miał błąd wyznaczenia położenia punktów lokalnej osnowy (± 2 mm), a także błąd pomiaru kąta ($\pm 0.0030^g$), błąd identyfikacji wyznaczanych szczegółów sytuacyjnych (± 5 mm) oraz błąd usytuowania stanowisk pomiarowych w inwentaryzowanym budynku (± 4 mm). W efekcie dokładność wyznaczenia położenia szczegółu względem punktu osnowy to ± 1.4 cm (Onyszko, 2018). Wykonane skanowanie laserowe również zostało obarczone błędami tj. błąd systematyczny pomiaru odległości (± 3 mm na 25 m) i średni błąd rejestracji skanów (± 2 mm).

Dyskusja

Obecnie na rynku można zauważyć wzrost zainteresowania modelami tworzonymi w technologii BIM, zawierającymi nie tylko informacje o dyskretnych współrzędnych przestrzennych, ale również dane funkcjonalne i dane zarządzania obiektem budowlanym (Qu T. i in., 2014; Gotlib i Wyszomirski, 2018). Modelowanie informacji o budynkach (BIM) w rozumieniu tego pojęcia zarówno jako modelu, jak i procesu coraz częściej staje się wymogiem obligatoryjnym w procesach inwestycyjnych. Warto zastanowić się i przeprowadzić analizy na temat tego, jaki wpływ na dokładność modelu 3D ma dobór metody pomiarowej i algorytmów wykorzystywanych do modelowania.

W zależności od dokładności wykonanego pomiaru, rodzaju i charakteru badanego obiektu, wyznaczane są powierzchnie pomieszczeń biurowych według różnych standardów (Tabela 6.). Przekłada się to m. in. na wartość wysokości stawki podatku od nieruchomości (Ustawa, 1991). Obecnie zasady obmiaru i wyznaczenia powierzchni użytkowej budynku regulują głównie Polskie Normy, w tym PN-B-02365 (1970), PN-ISO 9836 (1997) i PN-ISO 9836 (2015). Na polskim rynku swoje zastosowanie znajdują również takie standardy jak BOMA (2017), Tegova (2012), GIF (2016) czy IPMS (2014). Są one jednak zróżnicowane pod względem poziomu wysokości przeprowadzania pomiaru, wliczania ścian działowych, czy też obszaru wykonywania pomiaru. W tabeli 6. zestawiono wybrane normy stosowane do wyznaczania powierzchni lokali użytkowych. Wartości wyznaczonych powierzchni będą odmienne w zależności od indywidualnego wyboru normy. Główną cechą różnicującą Polskie Normy (z 1970 i 2015 roku) jest wysokość wykonywanych pomiarów, których przeprowadzenie na poziomie posadzki wynika z utrudniających badanie listew przypodłogowych.

Tabela 6. Porównanie norm stosowanych do obliczania powierzchni użytkowej pomieszczeń biurowych

Cecha porównawcza	Normy Międzynarodowe				Normy Polskie	
	Norma BOMA	Norma Tegova	IPMS 2	GIF	Norma PN-B-02365: 1970	Norma PN-ISO 9836: 2015
Dokładność pomiarów	0.01 m	0.01 m	0.01 m	0.01 m	0.01 m	0.01 m
Dokładność obliczeń	0.01 m ²	0.01 m ²	0.01 m ²	0.01 m ²	0.01 m ²	0.01 m ²
Wysokość pomiarów	Na poziomie dominanty	Na poziomie 1.5 m	Na poziomie dominanty	Na poziomie posadzki	Na poziomie 1 m	Na poziomie posadzki
Ściany działowe	Wliczane	Wliczane	Wliczane	Wliczane	Odejmowane	Odejmowane
Ściany konstrukcyjne	Wliczane do jednej z	Odejmowane	Nie wliczane	Odejmowane	Odejmowane	Odejmowane

Cecha porównawcza	Normy Międzynarodowe				Normy Polskie	
	Norma BOMA	Norma Tegova	IPMS 2	GIF	Norma PN-B-02365: 1970	Norma PN-ISO 9836: 2015
	grup powierzchni					
Ściany zewnętrzne	Tylko fasada główna na poziomie parteru	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
Dokąd pomiary są wykonywane	Dominanta	Do ściany lub okna	Dominanta	Do ściany lub okna	W świetle wyprawionych ścian	W świetle wyprawionych ścian

Podsumowanie i wnioski

Celem artykułu było porównanie dwóch modeli 3D wybranych pomieszczeń biurowych. Prace badawcze zostały wykonane metodą skanowania laserowego i metodą pomiaru laserowego z wykorzystaniem tachimetru bezlustrowego. Prace terenowe trwały jeden dzień w przypadku skanowania laserowego oraz 5 dni w drugim przypadku.

Różnice pomiędzy modelami zaprezentowano w postaci histogramów różnic jednoimiennych współrzędnych X, Y, Z dla wybranych 20 homologicznych punktów modeli. Uzyskane wyniki badań pozwalają na sformułowanie wniosku, że różnice dla zaledwie trzech spośród 20 homologicznych punktów nie przekroczyły wartości 1 cm. Klasyfikacja tych punktów do grup zależnych od ich usytuowania na modelu 3D pozwala zauważyć, że największe różnice między modelami uzyskano na elementach konstrukcyjnych tj. schody, okna i belki nośne. Współrzędne większości punktów znajdujących się w dwóch pozostałych grupach nie przekraczają 1 cm. Wpływ na te różnice może mieć również fakt wpasowania chmury punktów w lokalny układ współrzędnych z pomiarów tachimetrycznych.

Badając możliwości jakie niesie ze sobą wykorzystane oprogramowanie można wysnuć kilka wniosków. Program Revit pozwala na modelowanie w technologii BIM. Posiada również szerszą niż podstawowa wersja AutoCAD różnorodność narzędzi i funkcji usprawniających pracę. Mimo wielu zalet oprogramowanie to jest 6-krotnie droższe niż zastosowanie programu C-Geo i AutoCAD (metoda II.).

Podsumowując, można stwierdzić, że uzyskane różnice współrzędnych punktów homologicznych między dwoma modelami 3D mogą wynikać z odmiennych błędów metod pomiarowych. W metodzie tachimetrycznej na dokładność usytuowania szczegółu względem punktu osnowy lokalnej wpływ miał błąd pomiaru odległości, błąd pomiaru kąta, błąd identyfikacji wyznaczanych szczegółów sytuacyjnych oraz błąd usytuowania

stanowisk pomiarowych w inwentaryzowanych pomieszczeniach. Z kolei w metodzie skanowania laserowego na ostateczną dokładność zamodelowanych punktów wpływa również błąd pomiaru odległości, a także średni błąd rejestracji skanów i błąd dopasowania wybranych elementów konstrukcyjnych.

Literatura (References)

- Ashraf A., Beshr A., Islam M., Elnaga A., 2011: Investigating the accuracy of digital level and reflectorless total stations for purposes of geodetic engineering. *Alexandria Engineering Journal*, 50(4), s. 399-405.
- Boma 2017: For Office Buildings: Standard Methods of Measurement (ANSI/BOMA Z65.1-2017, www.boma.org (dostęp: 10.01.2020).
- Borkowski A., Józków G., 2012: Ocena dokładności modelu 3D zbudowanego na podstawie danych skaningu laserowego – przykład Zamku Piastów Śląskich w Brzegu (Accuracy assessment of 3d modelling using laser scanning data, case study of Silesian Piast dynasty castle in BRZEG). *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 23, s. 37-47.
- Boroń A., Rzonca A., Wróbel A., 2007: Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków (The digital photogrammetry and laser scanning methods used for heritage documentation). *Roczniki Geomatyki*, 5(8).
- GIF, 2016: DIN 277-1:2016-01 Areas and volumes of buildings - Part 1: Building construction <https://powierzchnie.pkig.pl> (dostęp: 10.01.2020r.).
- Gotlib D., Wyszomirski M., 2018: Cele i wybrane problemy konwersji modeli BIM na modele GIS, (Conversion between BIM and GIS models –objectives and selected issues). *Roczniki Geomatyki*, 16(1).
- Hejmanowska B., Kolecki J., Kramarczyk P., Słota M., 2012: Porównanie modeli 3D obiektu inżynierskiego z wykorzystaniem zdjęć naziemnych i skaningu laserowego (Comparison of 3D models of an engineering object using terrestrial photogrammetry and laser scanning). *Roczniki Geomatyki*, 10(7).
- IPMS, 2014: Międzynarodowe Standardy Pomiaru Nieruchomości: Budynki biurowe (International Property Measurement Standards: Office Buildings), <https://ipmsc.org> (dostęp: 10.01.2020).
- Kędzierski M., Walczykowski P., Fryškowska J., 2008. Wybrane aspekty opracowania dokumentacji architektonicznej obiektów zabytkowych (Some aspects of architectural documentation of cultural heritage objects). *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. 18a, s. 221–230.
- Kraszewski B., 2012: Wykorzystanie naziemnego skaningu laserowego do inwentaryzacji pomieszczeń biurowych (Utilization of terrestrial laser scanning for office inventory). *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 23, s. 187-196.
- Kubisz W., 2003: Skanowanie laserowe: od chmury punktów do trójwymiarowego modelu (Laser scanning: from point cloud to 3D model). *Roczniki Geomatyki*, 1(1).

- Lee I.S., J. Lee O., Ge L., 2009: Comparison of terrestrial laser scanner with digital aerial photogrammetry for extracting ridges in the rice paddies. *Survey Review* 41(313), s. 253-267.
- Mill T., Alt A., Lias R., 2013: Combined 3D buildings surveying techniques – terrestrial laser scanning (TLS) and total station surveying for BIM data management purposes. *Journal Of Civil Engineering and Management*, 19.
- Onyszko K., 2019: Opracowanie modelu 3D pomieszczeń biurowych na podstawie pomiarów wykonanych różnymi metodami (Development of a 3D model of office spaces based on measurements made by different methods). Praca magisterska, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.
- Onyszko K., 2018: Metody geodezyjnej inwentaryzacji pomieszczeń biurowych i opracowanie wyników pomiarów (Methods of geodetic inventory of office premises and development of measurement results). Praca inżynierska, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.
- Pachelski W., Chojka A., Zwirowicz-Rutkowska A., 2012: Podstawy budowy infrastruktury informacji przestrzennej (Basis of building spatial data infrastructure). Wydawnictwo UWM, Olsztyn.
- PN-B-02365, 1970: Powierzchnie budynków. Podział, określenia i zasady obmiaru (Building surfaces. Division, determination and rules of measure), PKN.
- PN-B-01025, 2004: Rysunek budowlany – Oznaczenia graficzne na rysunkach architektoniczno-budowlanych (Construction drawing – Graphic markings on architectural and construction drawings), PKN.
- PN-ISO 9836, 1997: Właściwości użytkowe w budownictwie. Określenie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych (Performance standards in building - Definition and calculation of area and space indicators), PKN.
- PN-ISO 9836, 2015: Właściwości użytkowe w budownictwie. Określenie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych (Performance standards in building - Definition and calculation of area and space indicators), PKN.
- Qu T., Coco J., Rönnäng M., Sun W., 2014: Challenges and Trends of Implementation of 3D Point Cloud Technologies in Building Information Modeling (BIM): Case Studies. *Civil and Building Engineering*, Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering.
- Sami H. A., 2016: An investigation into the Accuracy of Distance Measurements to an object with the Pulse (Non-Prism) Total Station. *Sulaimania Journal for Engineering Sciences*, 3(3), s. 51-63.
- Sami H. A., Najat Q. O., Sohaib K. M. A., 2016: Investigation of the accuracy of surveying and buildings with the pulse (non prism) total station. *International Journal of Advanced Research*, 4(3), s. 1518-1528.
- Tegova, 2012: European Valuation Standards 2012 7th edition, www.tegova.org (dostęp 10.01.2020).
- Ustawa z dnia 12 stycznia 1991 r. o podatkach i opłatach lokalnych (Act of 12 January 1991 on local taxes and charges) (Dz. U. 1991, Nr 9, poz. 31).
- Valero E., Bosché F., Adan A., 2015: Semantic 3D Reconstruction of Furnished Interiors Using Laser Scanning and RFID Technology. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(4).

Zeng J., Wang Y., Liu J.-Y., 2009: Method and analysis of arch settlement Measurement by non-prism total station. *Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition)*.

Streszczenie

Wzrost zainteresowania modelowaniem 3D jest związany ze zwiększającą się szczegółowością tworzonych wirtualnych modeli miast, prezentacją deweloperskich mieszkań w trójwymiarze oraz wspomaganiem procesów związanych z całym cyklem życia budynku. Celem publikacji jest porównanie modeli 3D pomieszczeń biurowych opracowanych na podstawie pomiarów wykonanych skanerem laserowym i tachimetrem bezlustrowym. Badania przeprowadzono dla wybranych pomieszczeń biurowych usytuowanych na terenie Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. W ramach prac badawczych przeprowadzono analizę ilościową modeli 3D, której wyniki przedstawiono w postaci histogramów różnic jednoimiennych współrzędnych (X, Y, Z) wybranych 20 homologicznych punktów na modelach. Artykuł prezentuje również analizę zastosowanych metod pomiarowych pod względem ekonomicznym, biorącym pod uwagę aspekt kosztowności sprzętu geodezyjnego i oprogramowania oraz nakładu pracy.

Dane autorów / Authors details:

mgr inż. Klaudia Onyszko
ORCID 0000-0001-5794-0560
klaudia.onyszko@wat.edu.pl

dr hab. inż. Agnieszka Zwirowicz-Rutkowska
ORCID 0000-0001-9778-6086
agnieszka.zwirowicz@wat.edu.pl

dr hab. inż. Anna Fryškowska- Skibniewska
ORCID 0000-0001-5449-8092
anna.fryskowska@wat.edu.pl

Tomasz Wojciechowski
ORCID 0000-0003-3628-743X
tomasz.wojciechowski@wat.edu.pl

Przesłano / Received 10.01.2020
Zaakceptowano / Accepted 28.03.2020
Opublikowano / Published 31.03.2020



© Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).