

Radosław PISKORSKI¹

MODELOWANIE 3D BUDYNKÓW NA POTRZEBY WALORYZACJI MIEJSKIEGO KRAJOBRAZU Z WYKORZYSTANIEM ANALIZ WIDOCZNOŚCI NA PRZYKŁADZIE KRAKOWA

Ochrona walorów krajobrazowych w miastach, szczególnie w aspekcie uwzględnienia obiektów zabytkowych, jest istotnym problemem urbanistów i planistów przy kreowaniu sylwety miejskiej. W tego typu zagadnieniach często wykorzystuje się analizy widoczności, które pozwalają na symulację widoku z wybranego miejsca w oparciu o cyfrowe modele terenu (NMT) i jego pokrycia (NMPT). W związku z tym w pracy podjęto badania nad problemem modelowania 3d budynków w aspekcie optymalizacji tworzenia numerycznego modelu pokrycia terenu z wykorzystaniem danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego. Zaproponowano trzy warianty uwzględniania budynków w tego typu analizach: pierwszy bazujący na modelu nieregularnej siatki trójkątów (TIN) oraz dwa warianty wykorzystujące obiekty *multipatch* o różnym stopniu szczegółowości (LoD1 i quasi-LoD2). W procesie ich generowania wykorzystano informację pochodzącą ze sklasyfikowanej chmury punktów oraz obrysów budynków pochodzących z bazy BDOT10k. Pozostałe komponenty pokrycia terenu (głównie roślinność) oraz powierzchnię terenu uwzględniono w analizach w postaci modelu TIN. Jako obszar badawczy wybrano wzgórze Wawelskie, jedno z najbardziej charakterystycznych miejsc krakowskiego krajobrazu. Z wykorzystaniem algorytmu opartego na liniach widoczności (*LoS*) sprawdzono wpływ sposobu modelowania budynków na uzyskane wyniki analiz widoczności. W wyniku stwierdzono wyższość rozwiązań opartych na obiektach *multi-patch*, głównie z powodu prostoty ich implementacji względem modelu TIN, bez utraty dokładności modeli budynków. Stwierdzono również, że szczegółowość takich obiektów nie wpływa w znaczny sposób na uzyskane wyniki, głównie ze względu na analizowanie dużego obszaru w trakcie analiz dotyczących oceny miejskiego krajobrazu.

Słowa kluczowe: lotniczy skaningu laserowy, tin, obiekty *multipatch*, linia widoczności

1. Wprowadzenie

Krajobraz w znaczny sposób wpływa na odczucia dotyczące atrakcyjności miejsca, w którym się znajdujemy. Istotne znaczenie ma on zwłaszcza dla obszarów chętnie odwiedzanych przez turystów. Ochrona sylwety miasta z uwzględnie-

¹ Radosław Piskorski; AGH w Krakowie; Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska; Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska; bud. C4; Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel. 664650657; radoslawpiskorski@gmail.com

niem jej charakterystycznych obiektów jest kluczowym zagadnieniem, z którym muszą mierzyć się ich włodarze w dobie postępującej i nieco niekontrolowanej urbanizacji. Problem waloryzacji krajobrazu jest zagadnieniem badanym od prawie pół wieku. Początkowo proponowano metody bazujące na wiedzy eksperckiej ([1],[2],[3]), które jednak pomimo udziału kilku oceniających, cechowały się dużym subiektywizmem. W celu uzyskania bardziej obiektywnych wyników wprowadzono pewne parametry, za pomocą których można by oceniać krajobraz. Jednak zastosowanie wskaźników (głównie przyrodniczych i turystycznych) powoduje problemy z ich jednoznaczną parametryzacją [4]. Naprzeciw takim wyzwaniom przychodzą metody oparte na analizach widoczności. Pozwalają one określić jaka część przestrzeni jest widoczna z danego punktu. Najpopularniejszymi stosowanymi algorytmami są *viewshed* i *isovist* [5]. Wykorzystują one linie widoczności (ang. *line of sight, LoS*), które są niczym innym jak odcinkami łączącymi obserwatora z punktami analizowanego obszaru. Początkowo wykonywano analizy w oparciu o przestrzeń dwuwymiarową, bez uwzględniania zróżnicowania rozmiaru i wysokości przeszkód oraz topografii terenu. Wraz z rozwojem metodyki pojawiły się rozwiązania modelujące widoczność w aspekcie trójwymiarowym. Takie podejście umożliwiło modyfikację linii widoczności definiowanej jako krzywa zawierająca informację o fragmencie przestrzeni widocznej, niewidocznej, ale także tę jej części, którą zajmowała przeszkoda [6]. Uwzględnienie trójwymiarowości przestrzeni pozwoliło na określenie części obiektów (budynków), które są widoczne, a które nie [7]. W związku z tym w wyniku analiz widoczności zamiast rozpatrywać tylko dwie sytuacje (obiekt w całości widoczny/niewidoczny, logika binarna) wprowadzono wariant rozmyty (ang. *fuzzy*) lepiej oddający ludzki sposób postrzegania rzeczywistości. Określa on widoczność jako prawdopodobieństwo zobaczenia obiektu [8].

2. Modelowanie powierzchni terenu i jego pokrycia

Modelowanie powierzchni terenu i jego pokrycia jest nieodłącznym problemem związanym z analizami widoczności. Początkowo badania prowadzono na prostych makietach terenowych na które padało światło żarówki imitując promienie słoneczne [9]. W wyniku otrzymywano wykresy widoczności. Wraz z biegiem czasu zaczęto implementować bardziej zaawansowane rozwiązania pozwalające m.in. na określenie wspólnego pola widzenia dla kilku obserwatorów jednocześnie (tzw. skumulowane wykresy widoczności) [10]. Pojawienie się cyfrowych modeli terenu wpłynęło w znacznym stopniu na rozwój badań. Wyróżniamy dwa główne, najpopularniejsze modele:

- regularna siatka punktów GRID,
- nieregularna siatka trójkątów TIN (ang. *Triangulated Irregular Network*).

Pierwszy model jest bardzo często wykorzystywany w analizach przestrzennych ze względu na prostotę, a przez to łatwość w implementacji. Drugi z powodu na swoją skomplikowaną konstrukcję składającą się z siatki trójkątów, pomimo

większej dokładności, jest rzadziej stosowany w systemach GIS. Porównując strukturę obu modeli należy również zwrócić uwagę na jej specyfikę. W aspekcie budowy modeli należy zwrócić uwagę na fakt, iż GRID zwykle przedstawia powierzchnie jako powierzchnię 2d, gdzie wysokości zróżnicowane są za pomocą atrybutów poszczególnych komórek. Natomiast TIN, najczęściej bazuje na powierzchni 2,5d, która przedstawia teren z uwzględnieniem jego topografii. Nie jest on jednak pozbawiony pewnych błędów, związanych ze zbytnią generalizacją elementów pokrycia terenu (głównie roślinność i zabudowę).

Szczególnie istotne z punktu badania miejskiego krajobrazu jest optymalizowanie procesu modelowania budynków. Według standardów CityGML [11] wyróżnia się kilka poziomów szczegółów (ang. *level of detail, LoD*), począwszy od płaskich obrysów budynków (LoD0) poprzez modele 3d z płaskimi dachami (LoD1), zachowującymi podstawową geometrię płaszczyzn dachów (LoD2) i elementy elewacji (LoD3) aż po modele wiernie przedstawiające wnętrza (okna, drzwi, meble itp.) budynków (LoD4) z możliwością uwzględnienia rzeczywistych cech (barwa) ich elementów (rys. 1). Najczęściej takie modele w analizach GIS występują w postaci tzw. *multipatch feature*. Są to obiekty składające się ze zbioru płaszczyzn (ang. *patches*) tworzących i ograniczających obiekt 3d [12]. W zależności od celu i oczekiwanej dokładności modelowanie budynków odbywa się z wykorzystaniem różnych danych. Najczęściej jednak korzysta się z chmur punktów pochodzących z lotniczego skaningu laserowego (ang. *Airborne Laser Scanning, ALS*), wspomagając się zdjęciami lotniczymi/satelitarnymi [13] czy danymi katastralnymi [14].



Rys. 1. Poziomy szczegółów zdefiniowane przez CityGML (na podstawie [15])

Fig. 1. Level of detail defined by CityGML (based on [15])

3. Metodyka i wyniki badań

3.1. Charakterystyka danych wykorzystanych w badaniach

Jako dane wejściowe wykorzystano pozyskane w ramach projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju) dane ALS, na które składa się zbiór chmur punktów dla dużych polskich miast [16]. System skanujący umieszczony na pokładzie samolotu wraz z systemami GPS oraz INS (ang. *Inercial Naviga-*

tion System, inercyjny system nawigacyjny) pozwala na pozyskanie quasi-ciągłej informacji powierzchni terenu i jego pokrycia [17]. Chmura punktów jest zbiorem zarejestrowanych punktów, które poza współrzędnymi przestrzennymi (X,Y,Z) posiadają inne atrybuty tj. intensywność (związana z właściwościami refleksyjnymi obiektów), kolor czy odbicie (*echo*). Dodatkowo każdy punkt jest przyporządkowany (sklasyfikowany) do kategorii odpowiadającej pokryciu terenu, które reprezentuje, według następujących kroków [18]:

- grunt w oparciu o iteracyjny proces wpasowania płaszczyzn (wykorzystuje się kryterium kątowe i odległościowe),
- roślinność podzieloną na trzy grupy w zależności od wysokości względnej:
 - niska (0 – 0.40m ponad powierzchnią terenu),
 - średnia (0.40 – 2.00m),
 - wysoka (2.00m <),
- zabudowa w oparciu o przybliżone wymiary (długość krawędzi) minimalne bądź maksymalne.

Poza danymi ALS w badaniach wykorzystano obrysy budynków pochodzące z bazy BDOT10k (warstwa OT_BUBD_A). Zawiera ona informację na temat następujących obiektów [19]:

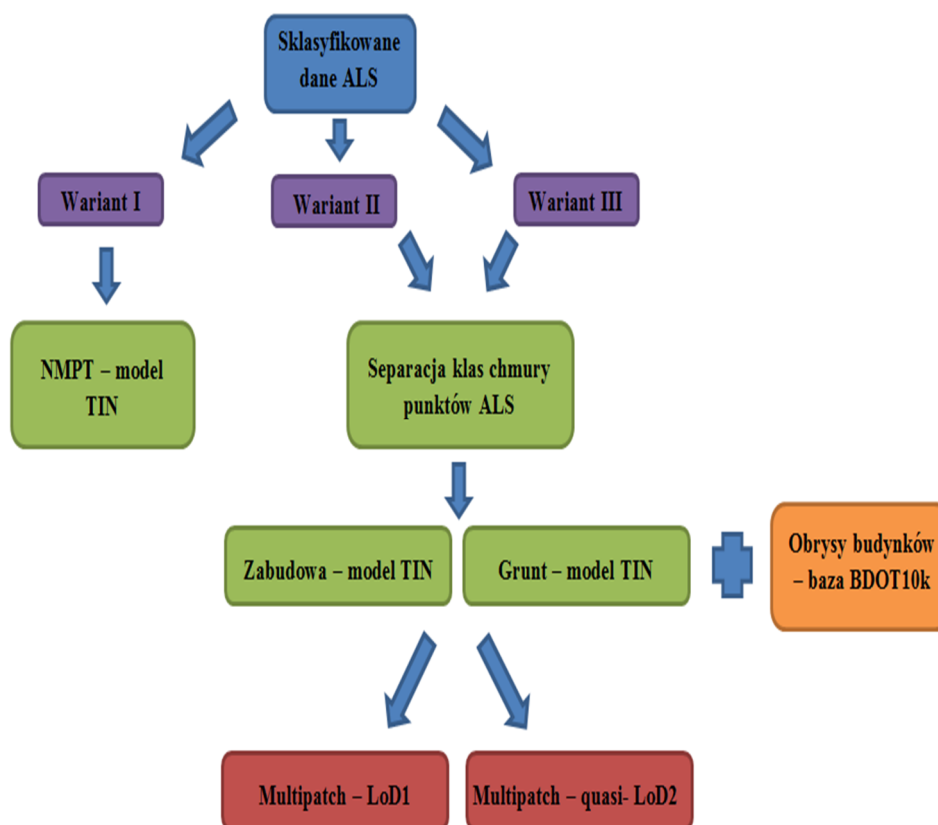
- sieć wodna,
- sieć komunikacyjna,
- sieć uzbrojenia terenu,
- pokrycie terenu,
- budynki, budowle i urządzenia,
- kompleksy użytkowania terenu,
- tereny chronione,
- jednostki podziału terytorialnego,
- obiekty inne.

Budynki w warstwie OT_BUBD_A wprowadza się w oparciu o zarys podstawowy w oparciu o dane pochodzące z bazy danych ewidencji gruntów i budynków. Jednak występują od tego wyjątki, zwłaszcza na obszarach, gdzie ewidencja nie jest zbyt aktualna – wtedy budynki są wprowadzane w oparciu o plany obiektów bądź na podstawie wysokorozdzielczej ortofotomapy/zdjęć lotniczych. Warto również zwrócić uwagę, na fakt iż istnieje kryterium powierzchniowe, gdy budynku nie wprowadza się do bazy ($< 40 \text{ m}^2$). Niezwykle ważne z punktu widzenia modelowania 3d jest także fakt dopuszczenia możliwości agregacji budynków o tej samej funkcji, stykających się ścianami, niespełniających kryterium powierzchniowego jako osobne obiekty.

3.2. Założenia zaproponowanej metodyki

Głównym celem badań jest znalezienie optymalnego rozwiązania dotyczącego problemu modelowania 3d budynków w aspekcie analiz widoczności. W tym celu zaproponowano trzy warianty uwzględniania budynków w tego typu analizach (rys. 2.):

- numeryczny model pokrycia terenu w postaci TIN,
- zabudowa w postaci obiektów *multipatch* (LoD1),
- zabudowa w postaci obiektów *multipatch* (quasi-LoD2).



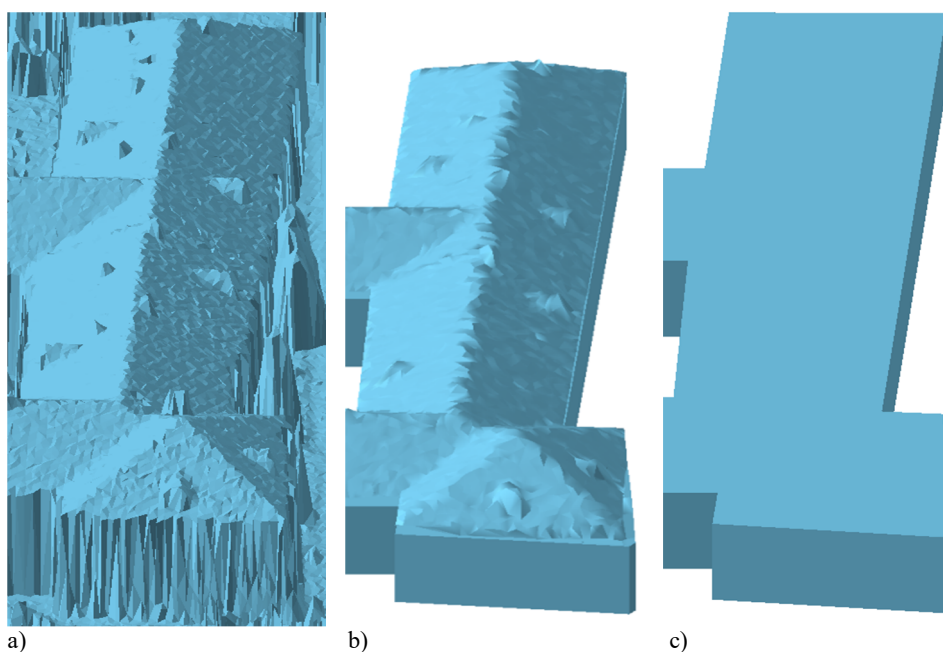
Rys. 2. Schemat zaproponowanej metodyki

Fig. 2. Scheme of proposed methodology

Pierwszy zakłada stworzenie NMPT w postaci modelu TIN w oparciu o chmurę punktów bez podziału przestrzeni na odrębne komponenty. Pozostałe dwa warianty zakładają wyodrębnienie ze sklasyfikowanych danych ALS zbioru punktów reprezentujących zabudowę i powierzchnię terenu. Na ich podstawie stworzono modele TIN w analogiczny sposób jak w pierwszym wariantcie. W oparciu o takie dane z wykorzystaniem obrysów budynków z bazy BDOT10k wygenerowano modele budynków w postaci obiektów *multipatch*. W przypadku modeli o szczegółowości LoD1 wykorzystano wartości wysokości powierzchni terenu (H_{\min}) i zabudowy (H_{\max}) w obrębie każdego poligonu reprezentujących budynki. Na podstawie tych atrybutów wygenerowano modele 3d. Dla poziomu

quasi-LoD2 procedura ta jest bardziej skomplikowana. Podobnie jak w przypadku wariantu drugiego każdemu obiektowi przypisano dwie wartości wysokości – dla powierzchni terenu (H_{\min}) i zabudowy (H_{\min}'), z tym że w przypadku tej drugiej warstwy nadano minimalną wartość wysokości dachu budynku. W ten sposób uzyskano modele budynków od przyziemia aż do zakończenia elewacji (w przypadku budynków o dachach spadowych) bądź całe konstrukcje (w przypadku dachów płaskich). Dachy modelowane są z pomocą wygenerowanego w postaci TIN modelu zabudowy – poprzez jego wycięcie w oparciu o poligony reprezentujące budynki. W tym wypadku model 3d budynku składa się więc z dwóch części. Porównanie przykładowych modeli ze wszystkich zaproponowanych wariantów prezentuje rys. 3.

Jako obszar testowy wybrano wzgórze Wawelskie. Wybór jest spowodowany faktem, iż jest to jedno z najbardziej charakterystycznych miejsc Krakowa, które jest jedną z dominant jeżeli chodzi o krajobraz stolicy małopolski. Zlokalizowane na nim obiekty (wchodzące w skład Starego Miasta) zostały wpisane na listę światowego dziedzictwa UNESCO jako jedne z pierwszych (w 1978 r.) i cieszą się ogromną popularnością wśród turystów.

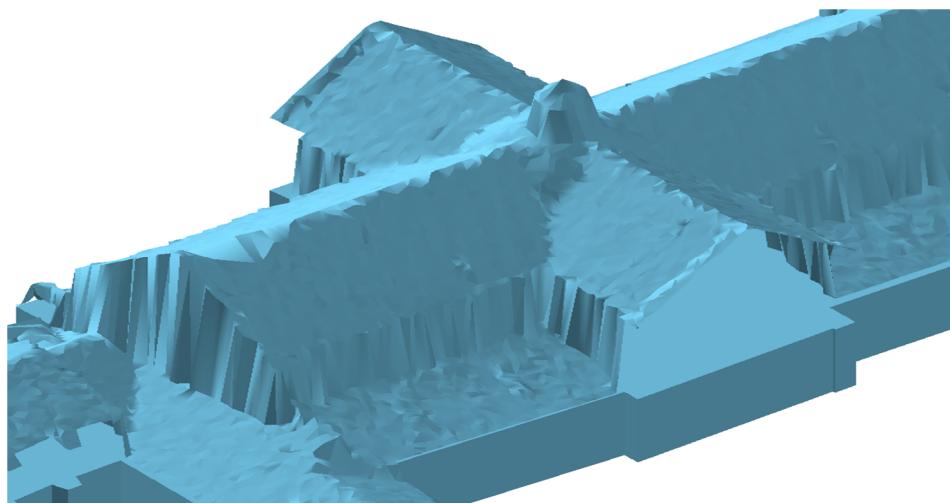


Rys. 3. Różnice w wariantach modelu 3d tego samego budynku: a – model TIN, b – model LoD1, c – model quasi-LoD2

Fig. 3. Differences in 3d model variants of the same building: a – model TIN, b – model LoD1, c – model quasi-LoD2

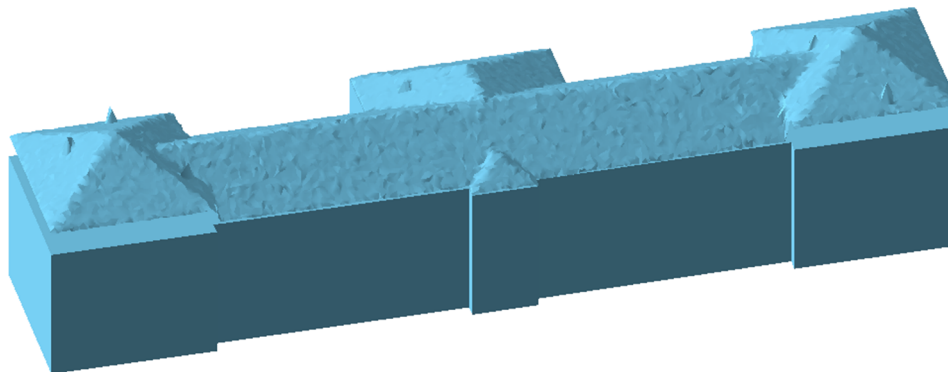
4. Analiza wyników

Analizując wyniki warto zwrócić uwagę na błędy związane z generowaniem modeli budynków w postaci obiektów *multipatch* w oparciu o dane ALS oraz obrysy budynków pochodzące z bazy BDOT10k. Jedną z głównych przyczyn występujących rozbieżności jest różna aktualność danych – chmury punktów pozyskano w lipcu 2012 roku, natomiast warstwa budynków w bazie BDOT10k jest aktualizowana przy okazji tworzenia map topograficznych (ostatnia aktualizacja w latach 2015-2016). Kolejną przyczyną różnic jest różna dokładnością sytuacyjną – w przypadku lotniczego skaningu laserowego 0,40 m (założenia projektu ISOK [20]) natomiast założenia budowy bazy ewidencji gruntów i budynków zakładają błąd sytuacyjny na poziomie 0,10 m (dokładność pomiaru szczegółów sytuacyjnych I grupy [21]). Również sposób klasyfikacji punktów reprezentujących budynki może wpłynąć na pojawienie się błędów. Ze względu na lotniczy pułap rejestracji są one przedstawiane głównie za pomocą dachów (czasami także fragmentów ścian w zależności od kąta skanowania), które zwykle mają większe pole powierzchni niż przyziemie, co w sztuczny sposób powiększa budynki. Czwartą przyczyną rozbieżności jest fakt dopuszczania w bazie BDOT10k agregacji obiektów o zbyt małej powierzchni, co bez uwzględnienia zróżnicowania ich wysokości może prowadzić do powstania artefaktów (podobnie w przypadku zróżnicowanej struktury jednego budynku). Przykłady błędów przedstawiono na rys. 4-5. Wspomniane rozbieżności w modelach wystąpiły w pojedynczych przypadkach i wymagały manualnej poprawy.



Rys. 4. Błąd spowodowany różną dokładnością danych

Fig. 4. Error caused by different data accuracy



Rys. 5. Błąd wynikający ze zróżnicowania konstrukcji w obrębie jednego budynku

Fig. 5. Error resulting from differentiation of structure within a single building

W oparciu o trzy warianty modeli budynków (w przypadku wariantów II i III teren oraz pozostałe elementy pokrycia terenu zostały przedstawione w postaci modelu TIN) wykonano analizę widoczności z wykorzystaniem linii widoczności, które łączyły obserwatora znajdującego się na kopcu Kościuszki (jedne z najwyższych punktów widokowych Krakowa) z punktami znajdującymi się na elementach budynków (ściany, dach). W wyniku każdy odcinek otrzymał atrybut mówiący o tym czy jego punkt końcowy jest widoczny czy niewidoczny z punktu obserwacyjnego; w analizie pominięto pozostałą część miasta pomiędzy kopcem Kościuszki a wzgórzem Wawelskim w celu usprawnienia przebiegu analizy). Na tej podstawie porównano uzyskane wyniki, które zestawiono w tab. 1. Wskazują one na praktycznie znikomą różnicę w uzyskanych wynikach. Jednak biorąc pod uwagę czas trwania analiz to widoczna jest ogromna przewaga wariantów wykorzystujących obiekty *multipatch* na rzecz tradycyjnego modelu TIN (prawie 5-krotnie krótszy czas trwania procesu). Poza tym ten ostatni znacznie zniekształca krawędzie budynków, a przez to zaburza poprawną prezentację zabudowy dla użytkownika. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że wyniki uzyskane w oparciu o dokładniejszy model quasi-LoD2 są nieco gorsze niż te uzyskane w oparciu o model LoD1, chociaż tak jak wspomniano różnica ta w przypadku oceny krajobrazu jest zaniedbywalna. Porównując otrzymane wyniki sprawdzono, czy uzyskane różnice mają charakter przypadkowy czy istnieje jakaś prawidłowość. Ich analiza wykazała, że wszystkie rozbieżności wystąpiły w obrębie dachów budynków. Jednak zważywszy na fakt analizowania obszaru o dużej powierzchni z miejsca oddalonego od obiektów o kilka kilometrów można założyć, że nie wpłyną one na ocenę atrakcyjności krajobrazu przez obserwatora (w tego typu analizach szczegóły nie odgrywają aż tak dużej roli).

Tabela 1. Porównanie uzyskanych wyników analizy widoczności

Table 1. Comparison of visibility analysis results

Wariant	Linie widoczne	Linie niewidoczne	Czas przetwarzania [min]
I	121 456	186 123	242
II	120 043	187 536	31
III	119 967	187 612	37

5. Wnioski

Generowanie modeli 3d budynków jest zagadnieniem dość złożonym. W zależności od wymaganych dokładności i celu przeprowadzanych analiz stosuje się różne rozwiązania. W przypadku waloryzacji krajobrazu opartej na analizach widoczności przeprowadzone badania wykazały znikomą wyższość którejkolwiek z zaproponowanych wariantów nad pozostałymi. Jednak czas trwania procesu wskazuje, że rozwiązanie bazujące na obiektach *multipatch* jest o wiele bardziej korzystne niż w przypadku modelu TIN, bez straty dla dokładności modeli. Sama szczegółowość modeli również nie ma znacznego wpływu na wyniki końcowe analiz widoczności. Warto również zwrócić uwagę, że generowanie modeli w oparciu o fuzję dwóch typów danych powoduje występowanie artefaktów. Fakt ten może być spowodowany różną dokładnością, rozbieżnością czasową pozyskania danych czy zróżnicowaniem pod względem pozyskania informacji o geometrii (dachy i przyziemia).

Według autora takie podejście do problemu modelowania budynków pokazało, że pomimo występowania pewnych rozbieżności, spośród zaproponowanych rozwiązań można wybrać to optymalne, bazujące na obiektach *multipatch*. Pomimo pewnych uproszczeń w ich tworzeniu (w przypadku modelu quasi-LoD2 zastosowano obiekty składające się z dwóch części) takie rozwiązanie pozwala na sprawne przeprowadzenie analiz, które w przypadku oceny krajobrazu nie wymagają wysokiej dokładności. Jest to spowodowane tym, że obserwator w przypadku waloryzacji krajobrazu nie skupia się na szczegółach, tylko na ogólnych odczuciach, które są kształtowane głównie przez dominanty, czyli charakterystyczne obiektu miasta.

Prace omówione w tym artykule zostały zrealizowane w ramach grantu dziekańskiego 11.15.150.466/17

Literatura

- [1] Wejchert K.: Elementy kompozycji urbanistycznej, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1974.
- [2] Wright G.: Appraisal of visual landscape qualities in region selected for acceleration growth, *Landscape Planning*, 1, 1974, pp. 307-327.
- [3] Lynch K.: *The image of the City*, MIT Press, Cambridge Massachusetts 1960.

- [4] Kostowski M., Śleszyński P.: Presja turystyczna na tle walorów krajobrazowych Polski, *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG*, 14, 2010, s. 36-51.
- [5] Tandy C.R.V.: The isovist method of landscape survey, *Symposium Methods of Landscape Analysis*, Londyn 1967.
- [6] Yang P.P.-J., Putra S.Y., Li W.: Viewsphere: a GIS-based 3D visibility analysis for urban design evaluation, *Environment and Planning B: Planning and Design* 34, 2007, pp. 971-992.
- [7] Morello E., Ratti C.: A digital image of the city: 3D isovists in Lynch's urban analysis, *Environment and Planning B: Planning and Design* 36, 2009, pp. 837-853.
- [8] Bartie P., Reitsma F., Kingham S., Mills S.: Advancing visibility modeling algorithms for urban environments, *Computers, Environment and Urban System* 34, 2010, pp. 518-531.
- [9] Felleman J.P.: *Landscape visibility – theory and practice*, School of Landscape Architecture, C.E.S&F., S.U.N.Y, Syracuse 1979.
- [10] Ozimek P., Böhm A., Ozimek A., Wańkiewicz W.: *Planowanie przestrzeni o wysokich walorach krajobrazowych przy użyciu cyfrowych analiz terenu wraz z oceną ekonomiczną*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2013, s. 15-25.
- [11] Open Geospatial Consortium, *OGC City Geography Markup Language (GityGML), Encoding Standard*, 2012.
- [12] <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/multipatches.html> (dostęp: 01.06.2017).
- [13] Habib A., Kwak E., Al-Durgham M.: Model-Based Automatic 3D Building model generation by integrating lidar and aerial images, *Archives of Photogrammetry, Cartography and remote sensing*, vol 22, 2011, pp. 187-200.
- [14] Overby, J., Bodum, L., Kjems, E., Ilsoe, P. M.: Automatic 3D building reconstruction from airborne laser scanning and cadastral data using Hough transform. *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXV, part B3, 2004.
- [15] www.directionsmag.com (dostęp: 03.06.2017 r.).
- [16] <http://www.isok.gov.pl> (dostęp: 02.06.2017 r.).
- [17] Kurczyński Z.: *Fotogrametria*, PWN, Warszawa 2014, s. 241-245.
- [18] Wężyk P. (red): *Podręcznik dla uczestników szkolenia z wykorzystania produktów LiDAR*, Warszawa 2015, s. 12-56, 80-93.
- [19] <http://www.codgik.gov.pl/index.php/zasob/baza-danych-objektow-topograficznych.html> (dostęp: 04.06.2017 r.).
- [20] http://www.isok.gov.pl/dane/web_articles_files/189/05-p-wozniak-bazy-danych-georeferencyjnych-w-isok.pdf (dostęp: 03.06.2017 r.).
- [21] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego z dnia 9 listopada 2011 (Dz. U. Nr 263, poz. 1572).

3D BUILDING MODELLING TOO NEEDS OF THE INDEXATION OF THE URBAN LANDSCAPE WITH USING VISIBILITY ANALYSES ON THE EXAMPLE OF CRACOW

S u m m a r y

Protecting landscape values in cities, especially in terms of taking into account historical monuments, is an important issue for urbanists and planners in creating urban silhouettes. In these types of issues, visibility analysis is often used to simulate a view from a selected location based on digital terrain models (DTM) and digital surface model (DSM). Therefore, work has been undertaken on the problem of 3d building modeling in the aspect of optimizing the digital surface model using airborne laser scanning data. Three variants of building models have been proposed for this type of analysis: the first based on the triangulated irregular network model (TIN) and two variants using different type of detail multipatch objects (LoD1 and quasi-LoD2). In the process of generating them, information from the classified cloud of points and outlines of buildings from the BDOT10k topographic base was used. Other components of the land cover (mainly vegetation) and terrain surface were included in analysis as the TIN model. Wawel's Hill, one of the most characteristic places of Krakow's landscape, was chosen as the research area. Using the line of sight algorithm, the impact of building modeling on the results of the visibility analysis was examined. As a result, the superiority of multipatch-based solutions was found, mainly because of the simplicity of their implementation with respect to the TIN model, without losing the accuracy of the building models. It has also been found that the specificity of such objects does not significantly affect the results obtained, mainly due to the large area analysis during urban landscape assessment studies.

Keywords: airborne laser scanning, tin, multipatch feature, line of sight

Przesłano do redakcji: 26.06.2017 r.

Przyjęto do druku: 15.12.2017 r.