

Radosław Piskorski

Analiza widoczności z wykorzystaniem lotniczego skaningu laserowego jako wskaźnik walorów krajobrazowych na przykładzie Kopca Kościuszki w Krakowie

Mazowsze Studia Regionalne 20, 55-66

2017

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych oraz w kolekcji mazowieckich czasopism regionalnych mazowsze.hist.pl.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Analiza widoczności z wykorzystaniem lotniczego skaningu laserowego jako wskaźnik walorów krajobrazowych na przykładzie Kopca Kościuszki w Krakowie

Radosław Piskorski

STRESZCZENIE

Ocena wrażeń związanych z obserwacją krajobrazu towarzyszy człowiekowi od niemalże początków dziejów ludzkości. Badania związane z analizą walorów obserwowanej przestrzeni są istotnym zagadnieniem dla architektów krajobrazu i urbanistów. W niniejszej pracy podjęto ten problem badawczy, skupiając się na wykorzystaniu narzędzia, jakim są analizy widoczności. Wykorzystują one numeryczne modele pokrycia terenu (NMPT) do określenia obszarów widocznych i niewidocznych z danego punktu obserwacyjnego. Dla analiz krajobrazu ważne jest, aby modele te przedstawiały obszar o dużej powierzchni. W związku z tym faktem, NMPT utworzono w oparciu o chmury punktów, pochodzące z lotniczego skaningu laserowego. Wykorzystano model w postaci regularnej siatki punktów (GRID), o rozdzielczości geometrycznej wynoszącej 1 m. Analizę widoczności przeprowadzono w oparciu o algorytm *viewshed*, który umożliwia definiowanie parametrów związanych z obserwatorem (pole widzenia, wysokość itp.). Jako punkt obserwacyjny wybrano Kopiec Kościuszki – jeden z najwyższych punktów widokowych Krakowa. W wyniku otrzymano mapę binarną, przedstawiającą obszary widoczne i niewidoczne. W oparciu o znajomość krajobrazu miasta wybrano kilka punktów, których widoczność w pozytywny sposób wpływa na walory widokowe i ma dominujący wpływ na obserwowany krajobraz. Na podstawie weryfikacji, dokonanej na bazie zdjęć fotograficznych, oceniono skuteczność analizy widoczności w wiernej prezentacji rzeczywistości. Stwierdzono pewne niedociągnięcia zaproponowanej metody, związane z uproszczeniami metodologicznymi (m.in. brak uwzględniania czynników atmosferycznych) lub wynikające ze zgeneralizowanej postaci modelu (prezentacja drzew). Nie umniejsza to jednak w znaczący sposób jej przydatności do analiz walorów widokowych. Przede wszystkim zapewniają one obiektywizm oceny, który jest uzależniony od rodzaju zaimplementowanego algorytmu (zaawansowania zastosowanej metodyki).

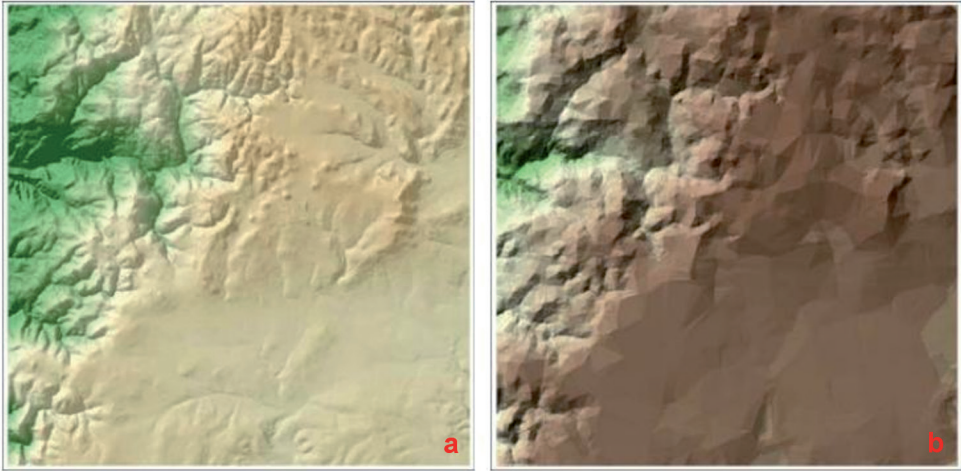
Wprowadzenie

Każdy człowiek w swoim życiu ocenia i jest oceniany. To, co jednych zachwyca, dla innych może być przeciętne lub nawet nieciekawe. W przypadku odbierania rzeczywistości poprzez zmysły praktycznie zawsze w ocenę wkrada się subiektywizm. Szczególnie widoczny może być on w przypadku ocen dotyczących krajobrazu i postrzegania przez różnych obserwatorów zarówno zalet, jak i wad rzeczywistości, którą widzą. Waloryzacja krajobrazu jest pojęciem, które jest badane od ponad 50 lat, począwszy od podejścia architektoniczno-krajobrazowego, które bazuje na eksperckim podziale przestrzeni na wyodrębnione, jednolite obszary [Wejchert, 1974; Wright, 1974]. Metoda ta, ze względu na dużą zmienność wyników, związanych z oceną jednego człowieka, wpłynęła na pojawienie się drugiego nurtu, opartego na ocenie krajobrazu przez grupę osób, która pozwoliła na uzyskanie bardziej miarodajnych wyników. Jednym z prekursorów tej metodyki był David Lynch [Lynch,

1960], który badał tę problematykę w kontekście analiz miejskich. W literaturze pojawiały się także podejścia bazujące na określeniu atrakcyjności krajobrazu w oparciu o walory przyrodnicze i turystyczne [Kistowski, Śleszyński, 2010]. Jednak w przypadku czynników decydujących o atrakcyjności krajobrazu ich lokalizacja (granica występowania) może nie być ściśle określona (ograniczona). Spowodowało to potrzebę wprowadzenia parametryzacji, która umożliwiła ujęcie ich w analizach w sposób jednoznaczny (ściśle). W związku z tym, wraz z rozwojem technologii, pojawiały się rozwiązania mające na celu ocenę pozbawioną ludzkiego subiektywizmu oraz pozwalające na uwzględnienie w analizie czynników trudno mierzalnych. Do tych celów często stosowano analizy widoczności, wykorzystując algorytm *viewshed* [Tandy, 1967]. Pozwala on badać pole powierzchni obszaru widocznego z danego punktu obserwacyjnego. Bazuje na linii widoczności (*Line of sight*, *LOS*), która łączy obserwatora z pojedynczym punktem przestrzeni. Z czasem pojawiły się podejścia wykorzystujące linie widoczności w postaci krzywych, których składowe zawierały informacje nie tylko o widoczności, ale także o istniejących przeszkodach (Yang i in., 2007). W analizach zaczęto również uwzględniać zależności pomiędzy obiektami (szczególnie, jeżeli chodzi o wysokość i wielkość), przez co możliwe stało się określenie, jaką część obiektu widzimy, a jaka jest zasłaniana przez otoczenie [Marello i Ratti, 2009]. Z tego też powodu zmieniono nieco podejście do wyników analizy widoczności. Początkowo rozpatrywano dwie sytuacje: badany punkt jest widoczny (1) bądź niewidoczny (0) przez obserwatora. Z biegiem czasu, uwzględniając fakt, że ludzki sposób postrzegania rzeczywistości nie stosuje logiki binarnej (tylko dwa przypadki), ale działa w sposób bardziej rozmyty (*fuzzy*), zaproponowano wariant określający prawdopodobieństwo zobaczenia obiektu (*Feature of Interest*, *FOI*) [Bartie i in., 2010], wykorzystując iloraz wysokości widocznego fragmentu do wysokości całkowitej obiektu.

Początkowo badania prowadzono na prostych makietach terenu, na które padało światło żarówki. Obszar oświetlany identyfikowano jako widoczny, a pozostałą, zaciemnioną część, jako niewidoczną (znajdującą się w cieniu widokowym) [Felleman, 1979]. Opisane rozwiązanie określane jest jako wykres widoczności. Wraz z pojawieniem się trójwymiarowych modeli terenu (*Digital Terrain Model*, *DTM*) zaistniała możliwość wykonywania analiz uwzględniających topografię terenu, która, w głównej mierze, rzutuje na walory widokowe. Wyróżniamy dwa najpopularniejsze typy takich modeli: regularny, w postaci siatki GRID oraz nieregularny, w postaci siatki trójkątów. Pierwszy z nich charakteryzuje się stałym rozmieszczeniem punktów tworzących regularną siatkę kwadratów, za pomocą których modelowana jest powierzchnia terenu. Model w takiej postaci jest prosty w implementacji, jednak mniej dokładny niż model w postaci siatki TIN (*Triangular Irregular Network*). Drugi model, pomimo wierniejszego odwzorowania powierzchni terenu, jest rzadziej stosowany w analizach GIS ze względu na skomplikowaną strukturę. Porównanie tych dwóch modeli zaprezentowano na ryc. 1. W oparciu o nie – możliwe jest tworzenie skumulowanych wykresów widoczności poprzez prezentację wykresów widoczności z kilku punktów obserwacyjnych jednocześnie. Takie podejście daje dużo większą liczbę wartości (wyników), co pozwala na ich szczegółową interpretację. Ciekawym podejściem jest wykorzystanie analiz widoczności pod kątem badania ekspozycji biernej i czynnej. Taka analiza składa się z wykonania wy-

Ryc. 1. Porównanie numerycznych modeli terenu: regularny GDIR (a) i nieregularny TIN (b)



Źródło: <http://gis.stackexchange.com>

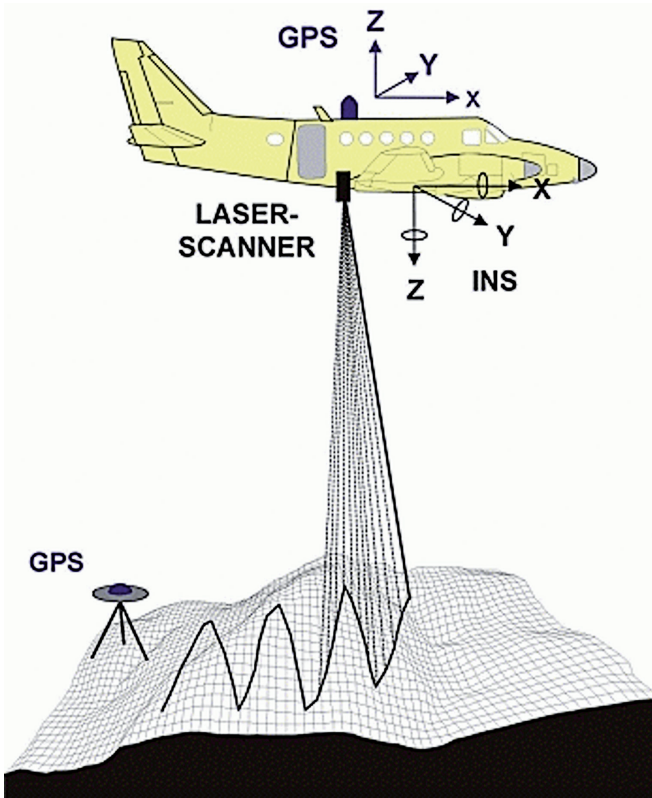
kresów widoczności dla wybranych punktów obserwacyjnych. Po dokonaniu ich nałożenia otrzymywano mapę widoczności, przedstawiającą wyniki w postaci przedziału pewnych wartości (rozdzielonych barwą), wskazujących obszary widoczne przez kilku obserwatorów i takie, które są niewidoczne [Ozimek i in., 2013].

Z badaniami krajobrazowymi związane są również analizy panoram widokowych. Początkowo ocenę walorów wybranych obszarów opierano o analizę statystyczną wyników ankiet wypełnionych przez ludzi, w których oceniali zaprezentowany na fotografiach krajobraz [Shafer i Meitz, 1970; Steinitz, 1990]. Za walory uznawano widoki otwarte, rozległe oraz wywołujące wrażenie tajemniczości. Jednak autorzy zauważyli, że ocena jest zależna od powodu przybycia człowieka w dane miejsce (inna ocena w przypadku turysty, inna w przypadku osoby, która przeprowadziła się w dane miejsce ze względów zarobkowych). Jeszcze inaczej podjęto ten problem badawczy w pracy Osikowska i Przetacznik z 2008 roku. Autorzy badali widok z okien i związanymi z nim preferencjami mieszkańców. W oparciu o otrzymane wyniki stwierdzili związek atrakcyjnego widoku z ceną mieszkań (atrakcyjność ekonomiczna).

Technologia lotniczego skaningu laserowego

W ostatnich latach szczególnie zainteresowano się technologią lotniczego skaningu laserowego (ALS, ang. *Airborne Lasser Scanning*), która z roku na rok staje się coraz popularniejszą metodą pomiarową. Ze względu na możliwość rejestracji informacji dla relatywnie dużego obszaru w dość krótkim czasie, obecnie jest to podstawowa technika pozyskiwania danych

Ryc. 2. Zasada działania lotniczego skaningu laserowego



Źródło: <https://www.wien.gv.at>

przy tworzeniu modeli terenu (Numeryczny Model Terenu) i jego pokrycia (Numeryczny Model Pokrycia Terenu). Pozyskiwanie danych odbywa się z wykorzystaniem dalmierza laserowego, dzięki któremu dokonywany jest pomiar odległości do danego punktu terenu. Integracja tych pomiarów z systemami GPS oraz INS (inercyjny system nawigacyjny) pozwala na uzyskanie quasi-ciągłego przestrzennego odwzorowania powierzchni terenu [Kurczyński, 2014]. Zasadę działania lotniczego skaningu laserowego przedstawia ryc. 2.

Poza szybkością rejestracji danych, niewątpliwą zaletą technologii ALS jest znaczna niezależność od warunków pogodowych. Fakt ten powoduje, że, w przeciwieństwie do naltów fotogrametrycznych, misje skaningowe mogą być wykonywane nawet przy dużym zachmurzeniu (dzięki aktywnemu systemowi, który wysyła impuls w zakresie podczerwieni). Niebagatelne znaczenie dla popularności tej technologii pomiarowej ma fakt możliwości rejestracji tzw. wielokrotnych odbić. Oznacza to, że w przypadku terenów leśnych impuls laserowy może zostać kilkakrotnie odbity – za pierwszym razem od korony drzew, za ostatnim od gruntu (mogą wystąpić pośrednie odbicia od gałęzi drzew).

Produkt, który otrzymujemy z nalotu skaningowego, określane jest jako chmura punktów. Jest to zbiór zarejestrowanych punktów, reprezentujących powierzchnię terenu i jego pokrycia (zabudowa, roślinność itp.). Charakteryzuje się ona zazwyczaj dość dużą gęstością danych, przez co można powiedzieć, że stanowi, w przybliżeniu, ciągłą powierzchnię terenu. Najistotniejszym, z punktu widzenia analiz wykorzystujących cyfrowe modele powierzchni, parametrem jest wysokość, określona w wybranym układzie odniesienia. Poza współrzędnymi przestrzennymi X, Y, Z – chmura punktów posiada inne atrybuty, tj. intensywność związaną z właściwościami refleksyjnymi (odbijanie wiązki laserowej); kolor – najczęściej podawany w systemie RGB oraz odbicie związane z możliwością przenikania części wiązki lasera przez roślinność. Dodatkowo, ze względu na możliwość identyfikacji pewnych grup obiektów pokrywających teren, powszechnie wykonuje się klasyfikacje chmur punktów do następujących klas [Wężyk, 2015]:

- grunt, w oparciu o iteracyjny proces wpasowania płaszczyzn;
- roślinność, dzieloną na trzy grupy w zależności od względnej wysokości nad poziom terenu:
 - niska (0 – 0,40 m),
 - średnia (0,40 – 2,00 m),
 - wysoka (2,00 m <);
- zabudowa, w oparciu o przybliżone wymiary (długość krawędzi) minimalne bądź maksymalne.

Tak przygotowane dane mogą zostać wykorzystane nie tylko do tworzenia cyfrowych modeli terenu i jego pokrycia, ale także w różnego typu analizach, związanych z modelowaniem przestrzeni.

Metodyka i dane

W celu weryfikacji przydatności analiz widoczności do oceny walorów krajobrazowych wykonano badania wykorzystujące algorytm *viewshed*, zaimplementowany w oprogramowaniu ArcGIS. Jako obszar analiz wybrano Kopiec Kościuszki wraz z otaczającymi go terenami (ryc. 3.). To jeden z najwyższych punktów Krakowa (328 m n.p.m.). Jest centralnym punktem Lasu Wolskiego – kompleksu leśnego znajdującego się w zachodniej części Krakowa. Ze względu na swoje położenie jest jednym z popularnych punktów widokowych miasta. Z tego też powodu autor podjął się badania, które ma uzasadnić przydatność analiz widoczności w określaniu walorów krajobrazowych (widokowych) dla takich miejsc.

Zastosowany algorytm wymaga Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT) oraz lokalizacji punktu obserwacyjnego (który znajduje się na Kopcu Kościuszki). Umożliwia on również zdefiniowanie następujących parametrów:

- wysokość punktu obserwacyjnego,
- wartość kąta patrzenia (pionowego i poziomego),
- minimalny i maksymalny zakres widoczności (odległość minimalna i maksymalna z jakiej obserwator może zobaczyć obiekt).

Ryc. 3. Obszar objęty analizą widoczności wraz z zaznaczonymi obiektami szczególnie istotnymi dla krajobrazu miasta Krakowa



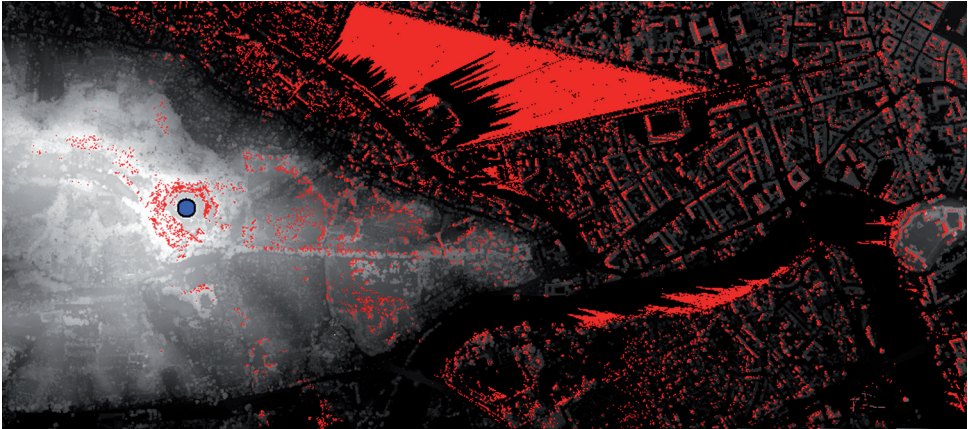
Parametry te pozwalają w znacznym stopniu manipulować zakresem pola widzenia obserwatora. W trakcie przeprowadzania analizy widoczności przetestowano kilka wariantów, które następnie porównano.

Jedną z głównych danych wejściowych, wymaganych do przeprowadzenia analizy widoczności, był model przedstawiający powierzchnię terenu (i jego pokrycia). Jak wspomniano – najczęściej ma on jedną z dwóch postaci: regularną bądź nieregularną. Dla celów niniejszych badań wykorzystano model w postaci regularnej siatki GRID, o rozdzielczości geometrycznej 1 m. Wygenerowano go w oparciu o algorytm interpolacyjny *binning*, na podstawie maksymalnej wartości wysokości w komórce, którego rozmiar definiuje rozdzielczość rastra. NMPT został opracowany na podstawie chmury punktów, pochodzących z lotniczego skaningu laserowego, wykonanego w lipcu 2012 roku w ramach projektu ISOK [którego założenia opisano m.in. w Kurczyński, Bakuła, 2013]. Dane te charakteryzują się średnią gęstością około 12 punktów na m², co pozwalało na uzyskanie modelu o rozdzielczości geometrycznej rzędu 0,25 m. Jednak w tym przypadku bardziej interesujący jest fakt potwierdzenia przydatności analiz widoczności w ocenie walorów widokowych i ocena dokładności uzyskanych wyników niż wpływ tego parametru na uzyskane wyniki.

Wyniki

Głównym celem prowadzonych analiz była weryfikacja przydatności analiz widoczności, zaimplementowanych w oprogramowaniu GIS, do oceny walorów widokowych i krajo-
brazowych, wraz z ich weryfikacją w oparciu o fotografie wykonane w miejscu obserwacji. W ramach przeprowadzonej analizy widoczności wykonano trzy jej warianty:

Ryc. 4. Wynik analiz widoczności dla wariantu bez ograniczeń w polu widzenia obserwatora (obszary widoczne – kolor czerwony) na tle NMPT



- bez ograniczenia kąta pionowego,
- z ograniczeniem kąta pionowego (patrzenie wprost lub poniżej osi wzroku),
- z ograniczeniem kąta pionowego (patrzenie wprost lub powyżej osi wzroku).

Wprowadzenie wariantowości miało na celu sprawdzenie wpływu topografii terenu na uzyskane wyniki. Jednak sednem przeprowadzanego badania było sprawdzenie przydatności analiz widoczności do celów oceny krajobrazu, które oparto na wariacie najbardziej ogólnym, bez wprowadzania ograniczeń w polu widzenia (ryc. 4.). Na czerwono zaznaczono obszar widoczny z punktu obserwacyjnego (niebieski punkt). Analizując uzyskane wyniki, można zauważyć następujące prawidłowości:

- dobrze widoczne mury Wzgórza Wawelskiego wraz z fragmentami jego zabudowy (ryc. 5a),
- ze względu na dużą odległość widoczne fragmenty obiektów charakterystycznych (zabytkowych) krakowskiego Rynku Głównego (ryc. 5b),
- niemal niewidoczna roślinność Plant wokół Rynku Głównego (fakt wynikający z dużej odległości i zbyt małej dominacji nad sąsiednimi obiektami – podobna wysokość obiektów) (ryc. 5b),
- niemal cały obszar krakowskich Błoi jest widoczny (fragmenty niewidoczne zasłonięte przez wysoką roślinność oraz obiekty należące do klubu sportowego Juvenia Kraków) (ryc. 5c),
- widoczny obszar Wisły przed zakolem w okolicach Wawelu (częściowo niewidoczny ze względu na duży kąt pionowy obserwacji) (ryc. 5d).

Na podstawie weryfikacji fotograficznej (ryc. 6.) można stwierdzić następujące fakty:

- wszystkie kluczowe z punktu widzenia walorów widokowych i krajobrazowych obiekty są dobrze widoczne z punktu obserwacyjnego;

Ryc. 5. Szczegółowe wyniki analizy widoczności (obszary widoczne – kolor czerwony) dla charakterystycznych obiektów krakowskiego krajobrazu na tle ortofotomapy



Ryc. 6. Panorama miasta widoczna z kopca Kościuszki wraz z lokalizacją najistotniejszych dla krajobrazu obiektów



Źródło: <https://sites.google.com/site/grzegorzlichorobiec/home/weekend-w-krakowie/kopiec-kociuszki>

- pomimo znacznych odległości od obserwatora obiekty znajdujące się na Rynku Głównym (Kościół Mariacki) oraz na Wzgórzu Wawelskim są dominantami krajobrazu, widzianego przez obserwatora (jest to związane głównie z ich dominującą wysokością względem najbliższego otoczenia oraz topologią terenu) – wykonana analiza widoczności nie potwierdza tego w sposób jednoznaczny;
- pole widzenia w znacznym stopniu jest determinowane przez warunki atmosferyczne – w przypadku braku idealnych warunków (analiza widoczności nie uwzględnia zanieczyszczenia powietrza) może być ono znacznie ograniczone;
- widoczność obiektów zależy w głównej mierze od ukształtowania terenu oraz wpływu otoczenia (kurtyna widokowa zasłaniająca obiekty) – taka sytuacja ma miejsce w przypadku Plant niewidocznych nie tylko z powodu dużej odległości, ale głównie za sprawą podobnej wysokości, co otaczająca je zabudowa;
- rozróżnianie obiektów odbywa się nie tylko w oparciu o zróżnicowanie wysokości lub dominację w lokalnym otoczeniu, ale także w oparciu o zróżnicowanie barwne, które nie jest uwzględniane w analizach widoczności zaimplementowanych w systemach GIS.

W wyniku zróżnicowania pola widzenia, poprzez manipulację wartościami kątów pionowych, uzyskano dwie mapy. W przypadku analizy uwzględniającej patrzenie tylko ponad linią wzroku otrzymano brak widocznych obiektów (cały analizowany obszar był niewidoczny). W analizowanej przestrzeni obserwator widział tylko niebo. Fakt ten można wytłumaczyć znacznymi różnicami wysokości na analizowanym obszarze (punkt obserwacyjny na wysokości 328 m n.p.m., średnia wysokość Krakowa – około 200 m n.p.m.), ale także ograniczonym obszarem analiz (ze względu na zasoby sprzętowe). W przypadku terenu

o większej powierzchni mogłyby się okazać, że odległe obiekty (szczyty Tatr itp.) mogłyby znaleźć się w polu widzenia obserwatora. W przypadku analizy widoczności opartej na obserwacji poniżej linii wzroku otrzymano identyczne wyniki, jak w przypadku wariantu bez ograniczania pola widzenia.

Podsumowanie

Ocena atrakcyjności otaczającej rzeczywistości jest niezwykle trudną analizą z punktu widzenia jej optymalizacji i jednoznaczności wyników. W przypadku badań, gdzie kluczowym jest czynnik ludzki (podejście eksperckie), trudno o pełen obiektywizm. Biorąc pod uwagę, że oceniane są kryteria odnoszące się do odczuć wizualnych i wrażliwości odbiorcy, wyniki dotyczące atrakcyjności tego samego obszaru mogą się znacznie różnić w zależności od osoby oceniającej. W związku z tym, aby wyeliminować tę niejednoznaczność, pojawiły się metody oceny krajobrazu oparte o analizy cyfrowe obrazu. Bazują one na badaniach wykorzystujących numeryczne modele, które prezentują powierzchnię terenu i/lub jego pokrycie, najczęściej w postaci regularnej siatki GRID. Tworzenie takich modeli dla dużych obszarów wymaga znacznej ilości danych. Ze względu na szybkość rejestracji danych w ostatnich latach bezkonkurencyjną metodą pomiarową, służącą modelowaniu powierzchni, jest lotniczy skaningu laserowy. Pozyskane dane, w postaci gęstej chmury punktów, pozwalają na wygenerowanie modeli o bardzo wysokiej dokładności, gwarantującej uzyskanie wiarygodnych wyników.

Jednym z popularnych narzędzi, wykorzystywanych do celów oceny krajobrazowej, są analizy widoczności, które dzielą przestrzeń na dwie części: widoczną i niewidoczną. Przeprowadzone badania pokazały, że analizy widoczności mogą być z powodzeniem wykorzystane do oceny walorów widokowych oraz krajobrazowych. Punkt obserwacyjny został wybrany w jednym z najwyższych punktów miasta. Fakt ten powinien gwarantować widoczność możliwie maksymalnie dużego obszaru. Jednak ze względu na ukształtowanie (topologię) terenu pewne obszary znajdują się w cieniu widokowym (zostały zasłonięte przez obiekty bliższe, wyższe). Istotnym elementem takich analiz jest istnienie obiektów dominujących. Są to najczęściej elementy krajobrazu wyróżniające się wysokością (kościół Mariacki), korzystnym usytuowaniem (Wzgórze Wawelskie) bądź bliskością położenia (Błonia). W przypadku wielu obiektów przyczyną braku widoczności jest zbyt duże podobieństwo do ich otoczenia (Plenty). Stan ten może być spowodowany dużą odległością, która zaburza proporcje obiektów, albo podobną kolorystyką, niepozwalającą na rozróżnienie obiektu od otoczenia. Ważnym czynnikiem rzutującym na pole widzenia obserwatora, nieuwzględnianym w analizie widoczności, jest pogoda oraz stan powietrza (zanieczyszczenie). Ze względu na usytuowanie Krakowa w dolinie Wisły mieszkańcy dość często spotykają się z ograniczoną widocznością, spowodowaną występowaniem smogu.

Porównanie fotografii z uzyskanymi wynikami pozwala stwierdzić, że pomimo pewnych niedoskonałości metody opartej na cyfrowej analizie numerycznego modelu pokrycia terenu (brak trójwymiarowości, utrudniający identyfikację widocznych obiektów, uproszenia wy-

nikające z generalizacji powierzchni terenu itp.) można ją z powodzeniem stosować w tego typu badaniach. Badanie potwierdziło także fakt, że Kopiec Kościuszki ma duży potencjał widokowy ze względu na możliwość obserwacji kluczowych dla krakowskiego krajobrazu obiektów (zabytki, krakowskie Błonia, bulwary wiślane).

Bibliografia:

Bartie P., Reitsma F., Kingham S., Mills S., 2010, *Advancing visibility modeling algorithms for urban environments*, *Computers, Environment and Urban System* 34, s. 518-531.

Felleman J.P., 1979, *Landscape visibility – theory and practice*, School of Landscape Architecture, C.E.S.&F., S.U.N.Y., Syracuse.

Kistowski M., Śleszyński P., 2010, *Presja turystyczna na tle walorów krajobrazowych Polski*, *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG*, 14, s. 36-51.

Kurczyński Z., Bakula K., 2013: *Generowanie referencyjnego numerycznego modelu terenu o zasięgu krajowym w oparciu o lotnicze skanowanie laserowe w projekcie ISOK*, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, wydanie specjalne: *Geodezyjne Techniki Pomiarowe*, Warszawa, s. 59-68.

Kurczyński Z., 2014, *Fotogrametria*, Warszawa, PWN, s. 241-245.

Lynch K., 1960, *The image of the City*, MIT Press, Cambridge Massachusetts.

Morello E., Ratti C., 2009, *A digital image of the city: 3D isovists in Lynch's urban analysis*, "Environment and Planning B: Planning and Design" 36, s. 837-853.

Osikowska W., Przetacznik J., 2008, *Percepcja i ocena estetyczna krajobrazu Krakowa*, „Czasopismo Techniczne”, Zeszyt 4/2008, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, s. 147-170.

Ozimek P., Böhm A., Ozimek A., Wańkowicz W., 2013, *Planowanie przestrzeni o wysokich walorach krajobrazowych przy użyciu cyfrowych analiz terenu wraz z oceną ekonomiczną*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, s. 15-25.

Shafer E.L., Mietz J., 1970, *It Seems Possible to Quantify Scenic Beauty in Photography*, U.S.D.A. "Forest Service Research Paper" Nr 162.

Steinitz C., 1990, *Toward a Sustainable Landscape with High Visual Preference and High Ecological Integrity: the Loop Road in Acadia National Park, U.S.A.*, "Landscape and Urban Planning" 19(3), s. 213-250.

Tandy C. R. V., 1967, *The isovist method of landscape survey*, *Symposium Methods of Landscape Analysis*, Londyn.

Wejchert K., 1974, *Elementy kompozycji urbanistycznej*, Arkady, Warszawa.

Wężyk P. (red.), 2015, *Podręcznik dla uczestników szkolenia z wykorzystania produktów LiDAR*, Warszawa, s. 12-56, 80-93.

Wright G., 1974, *Appraisal of visual landscape qualities in region selected for acceleration growth*, *Landscape Planning*, 1, s. 307-327.

Yang P. P.-J., Putra S. Y., Li W., 2007, *Viewsphere: a GIS-based 3D visibility analysis for urban design evaluation*, „*Environment and Planning B: Planning and Design*” 34, s. 971-992.

Visibility analysis using airborne laser scanning as an indicator of landscape values on the example of Kosciuszko's mound in Cracow

ABSTRACT

Rating impressions from observation of the landscape accompanies man since almost the beginning of human history. Research related to the analysis of the values of observed space is an important issue for landscape architects and urban planners. In this work the problem of this research was made in terms of use of the visibility analysis tools. They use digital surface model (DSM) to identify visible and invisible areas from the vantage point. For the analysis of the landscape, it is important that these models are presented large surface area. In view of this fact DSM was created based on a points cloud from the airborne laser scanning (ALS). It used a model in the GRID form with a spatial resolution of 1 meter. The visibility analysis was carried out on the basis of viewshed algorithm, which allows to define parameters related to the observer (field of view, its height, etc.). As a vantage point selected Kosciuszko's mound - one of the highest viewpoint in Cracow. The result was the binary map showing the visible and invisible area. Based on the knowledge of the landscape of the city, it was chosen a few points, which the visibility in a positive way affects the view values and has a dominant influence on the observed landscape. Based on the verification carried out on the basis of photographs, the effectiveness visibility analysis of the faithful representation of reality was rated. It was found some shortcomings of the proposed method associated with the methodological simplifications (e.g. lack of consideration of the weather) or resulting from the generalized form of the model (presentation of the trees). However, this facts do not diminish significantly its usefulness for analysis scenic values. First of all, they provide an objective evaluation, which is dependent on the type of the implemented algorithm (advancement method, which was used).

mgr inż. Radosław Piskorski, doktorant wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH; w swoich badaniach zajmuje się wykorzystaniem lotniczego skaningu laserowego w badaniach związanych z przestrzenią miejską / doctoral student at the Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering, University of Science and Technology in Cracow, in his research deals with the use of airborne laser scanning in studies related to urban space; kontakt/contact: Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, e-mail: radoslawpiskorski@gmail.com. Afiliacja: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza