

Wykorzystanie warstw tematycznych sklasyfikowanej chmury punktów w analizach widoczności w przestrzeni miejskiej*

Using thematic layers of a classified points cloud
in visibility analysis in urban space

Radosław Piskorski

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska

Słowa kluczowe: miasto, analiza widoczności, model pokrycia terenu, wysoka roślinność,
lotniczy skaningu laserowy

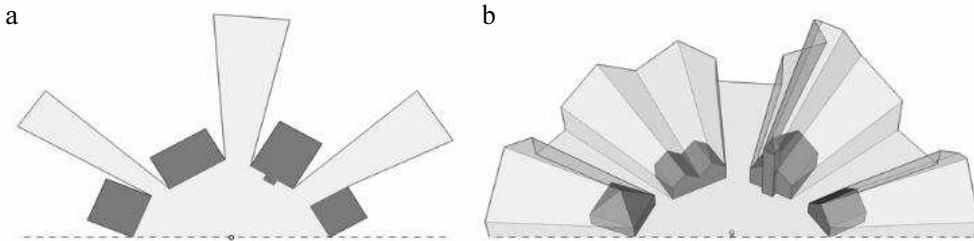
Keywords: urban, visibility analysis, digital surface model, high vegetation, ALS

Wstęp

W obecnych czasach dąży się do intensyfikacji procesu pozyskiwania informacji o otaczającej nas rzeczywistości. Dążenia do jak najdokładniejszego, najszybszego i najbardziej szczegółowego sposobu rejestracji danych mają swoje odzwierciedlenie w rozwoju technologii lotniczego skaningu laserowego (ang. *Airborne Laser Scanning, ALS*). Dzięki szybkości pozyskiwania danych oraz wysokiej dokładności współrzędnej Z (wysokości) metoda ta znalazła powszechne zastosowanie przy dostarczaniu danych do tworzenia modeli powierzchni terenu i jego pokrycia. Tego typu zastosowanie danych ALS wykorzystuje się w leśnictwie (Będkowski, Stereńczak, 2010), w procesie wykrywania budynków (Bucior i in., 2006; Stereńczak i in., 2012) lub modelowaniu zagrożenia powodziowego (Kurczyński, 2012).

Widoczność to problematyka, która jest badana od prawie pół wieku. Jednym z pierwszych algorytmów był *isovist* (Tandy, 1967). W jego założeniu analiza widoczności określała powierzchnię dwuwymiarowej przestrzeni widocznej z danego punktu, przy uwzględnieniu przeszkód terenowych (Benedikt, 1979). Z biegiem czasu pojawiły się rozwiązania uwzględniające trójwymiarowość (Bhatia i in., 2012; Fisher-Gewirtzman, Wagner, 2003; Morello, Ratti, 2009; Suleiman i in., 2013; Van Bilsen, Stolk, 2007). Porównanie podejść 2D i 3D zaprezentowano na rysunku 1.

* Prace zostały zrealizowane w ramach grantu dziekańskiego 11.15.150.409/16.



Rysunek 1. Metody: a – isovist 2D, b – isovist 3D; (Van Bilsen, Stolk, 2007)

Istotnym elementem analiz widoczności jest linia widoczności (ang. *Line of sight, LoS*), łącząca obserwatora z danym punktem obserwowanym. Znalazła ona zastosowanie w wielu nowatorskich rozwiązaniach (Bartie i in., 2008; Bartie i in., 2010; Yang i in., 2007). Rysunek 5 przedstawia wizualizację przykładowej linii widoczności w przestrzeni trójwymiarowej. Składa się ona z trzech głównych składników: obszaru widocznego, obszaru niewidocznego i przeszkód zasłaniających obszar znajdujący się za nimi. Jest więc tak naprawdę krzywą opisującą zależności między widocznością a sytuacją w przestrzeni w danym kierunku od punktu obserwacyjnego do punktu docelowego. W oparciu o zbiór takich linii określany jest obszar widziany przez obserwatora.

Dane

Opracowanie numerycznego modelu pokrycia terenu, który jest podstawowym materiałem wejściowym analizy widoczności, wykonano z wykorzystaniem danych w postaci chmur punktów pochodzących z lotniczego skaningu laserowego wykonanego w ramach projektu ISOK, którego założenia opisali między innymi Kurczyński i Bakuła (2013). Punkty chmury sklasyfikowano do następujących klas: niesklasyfikowane, grunt, niska roślinność, średnia roślinność, wysoka roślinność oraz zabudowa (Wężyk, 2015).

Podstawowym parametrem charakteryzującym punkty są współrzędne X, Y, Z. Na podstawie wysokości utworzono numeryczny model pokrycia terenu (NMPT), który wykorzystano do analiz widoczności. Bardzo istotna z punktu widzenia tworzenia modelu jest średnia gęstość punktów na jednostkę powierzchni (najczęściej metr kwadratowy). W przypadku chmur punktów w standardzie II jest to średnio 12 punktów/m². Wielkość ta determinuje optymalną rozdzielczość geometryczną (w przypadku regularnej siatki GRID) bądź szczegółowość modelu (w przypadku siatki TIN).

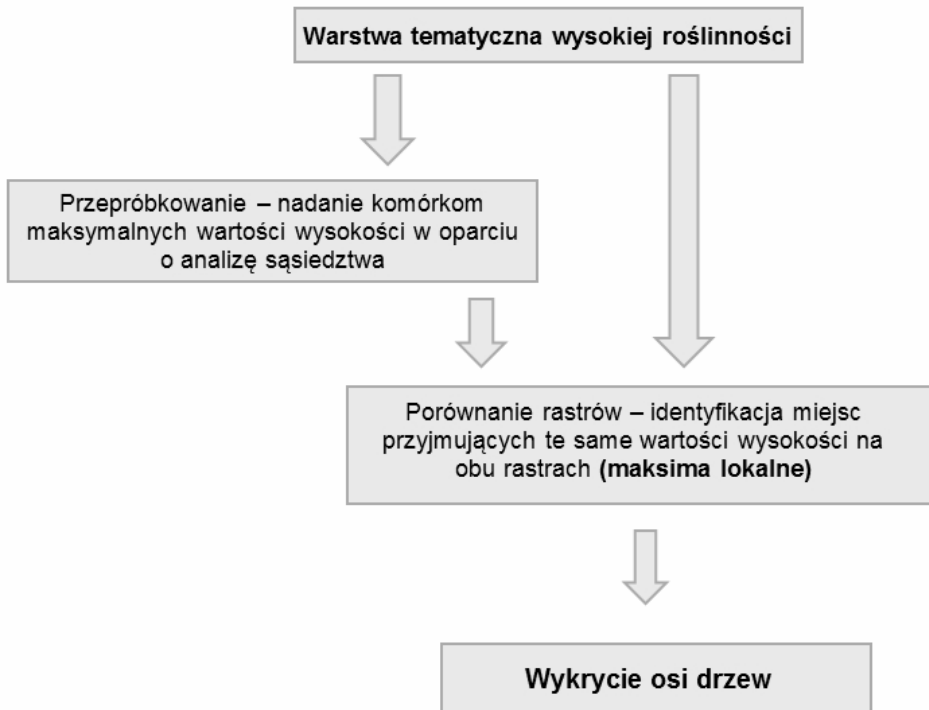
Jako obszar testowy wybrano obszar krakowskich Błóż. Teren ten charakteryzuje się znaczną różnorodnością – otwarta przestrzeń ograniczona jest przez rzędy drzew zlokalizowane przy ulicach Focha i 3 Maja. W pobliżu znajdują się obiekty użyteczności publicznej oraz park miejski wraz z obiektami małej architektury. Obszar ten ma duży potencjał turystyczny oraz jest popularnym miejscem codziennej rekreacji. Stąd szczególnie istotne jest zbadanie jak obiekty pokrycia terenu wpływają na walory widokowe tego miejsca.

Numeryczny model pokrycia terenu miasta – zarys metodyki

Ze względu na zróżnicowany charakter przestrzeni w mieście, ważnym elementem przeprowadzenia analizy widoczności jest optymalne przygotowanie danych uwzględniające specyfikę obszaru testowego oraz danych wejściowych. Większość rozwiązań bazuje na klasycznych numerycznych modelach pokrycia terenu 2D (Czyńska, 2015; Garnero, 2015). Jednak stosowanie takich rozwiązań jest pewnym uproszczeniem. W literaturze istnieją metody bazujące na przestrzeni trójwymiarowej, wykorzystujące model voxelowy (Pyysalo i in., 2009; Morello, Ratti, 2009). Takie modele są jednak bardziej skomplikowane i trudne w implementacji, chociaż w lepszy sposób modelują pokrycie terenu (głównie roślinność). Ze względu na zróżnicowany charakter spowodowany występowaniem odkrytych pni i porośniętych koron, prezentacja drzew ma kluczowy wpływ na wierność odtworzenia postrzegania rzeczywistości przez człowieka. Do chwili obecnej powstało wiele podejść zajmujących się problematyką wykrywania drzew w miastach (Höfle i in., 2012; Tanhuanpää i in., 2014; Xu i in., 2014). Zróżnicowanie gatunkowe, różne zagęszczenie w zależności od sposobu użytkowania terenu oraz niejednorodny charakter drzew, to główne czynniki utrudniające proces modelowania roślinności na potrzeby analiz przestrzennych.

Mając na uwadze opisane aspekty związane ze specyfiką obszaru miejskiego, zaproponowano stworzenie jako alternatywy dla klasycznego NMPT, warstw tematycznych pokrycia terenu. Są to wyizolowane klasy przedstawiające główne, wybrane obiekty przestrzeni miejskiej: grunt, zabudowę oraz roślinność (niską, średnią i wysoką). Po wyodrębnieniu punktów reprezentujących każdą z klas (w postaci chmur punktów) wygenerowano warstwy tematyczne w postaci regularnych siatek GRID. W oparciu o znaną średnią gęstość punktów (12 punktów/m²) za optymalną przyjęto rozdzielczość 0,25 m. Proces tworzenia NMPT wykonano w oprogramowaniu ArcGIS. Opierając się o wartości wysokości na podstawie algorytmu interpolacyjnego *binning* każdej komórce przypisano maksymalną wartość ze zbioru ograniczonego rozmiarem komórki (0,25 m). Powstałe w ten sposób modele miały niestety braki w ciągłości, spowodowane nierównomierną gęstością danych. W celu wypełnienia nieciągłości wykonano mozaikowanie modelu pierwotnego z modelami o rozdzielczościach 0,5 m i 1 m (powstałymi analogicznie jak model o rozdzielczości 0,25 m). Proces przeprowadzono w sposób hierarchiczny, tzn. nowy raster otrzymywał wartość najpierw w oparciu o raster pierwotny, następnie o rozdzielczości 0,5 m i w ostateczności o rozdzielczości 1 m. W ten sposób uzyskano ciągły model zawierający informację o pokryciu terenu – na potrzeby niniejszej analizy określony jako klasyczny NMPT. W identyczny sposób powstały warstwy tematyczne pokrycia terenu (włącznie z etapem mozaikowania). Wyjątek stanowi warstwa tematyczna gruntu, dla której braki informacji wynikające z istnienia obiektów pokrycia terenu (drzewa, zabudowa) wypełniono stosując algorytm najbliższego sąsiada.

Dodatkowo, w związku z podjęciem próby bardziej wiarygodnej prezentacji roślinności, zaproponowano dodatkową, szóstą kategorię tematyczną – osie drzew. Schemat postępowania podczas ich wykrywania zaprezentowano na rysunku 2. Na podstawie warstwy tematycznej wysokiej roślinności, wykorzystując analizę sąsiedztwa, wygenerowano nowy obraz przez przypisanie mu nowych wartości (przepróbkowanie) – maksymalnej wysokości występującej w otoczeniu komórki (rozmiar okna 9×9 pikseli). W celu znalezienia miejsc występowania maksimów lokalnych porównano obraz przetworzony z wejściowym.



Rysunek 2. Schemat wykrywania osi drzew

W wyniku otrzymano punkty wskazujące miejsca zidentyfikowane jako przybliżone lokalizacje osi drzew. Raster zawierający lokalizację punktową drzew (rozdzielczość geometryczna 0,25 m) posłużył w analizie widoczności jako alternatywa dla warstwy wysokiej roślinności prezentującej drzewa w postaci koron.

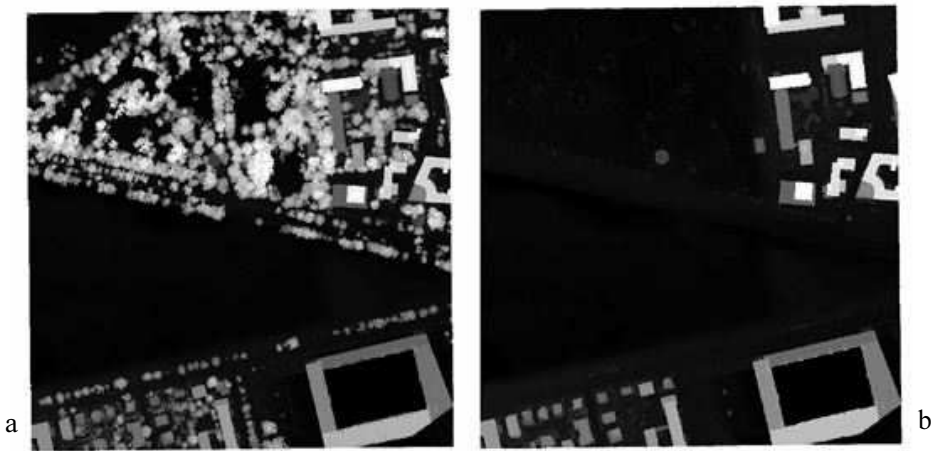
Analiza widoczności – zaproponowane podejście

Na podstawie stworzonych danych rastrowych przeprowadzono analizę widoczności. Wymagała ona poza zdefiniowaniem warstwy przedstawiającej powierzchnię pokrycia terenu również wskazania miejsca, w którym znajduje się obserwator. Wysokość określono przez dodanie do wysokości terenu 1,70 m (przeciętny wzrost człowieka). Lokalizację punktu wybrano w taki sposób, aby miał on jak największe pole widzenia, z uwzględnieniem widoczności rzędów drzew stanowiących kluczowy dla badań element zasłaniający. Analizę widoczności przeprowadzono w programie ArcGIS.

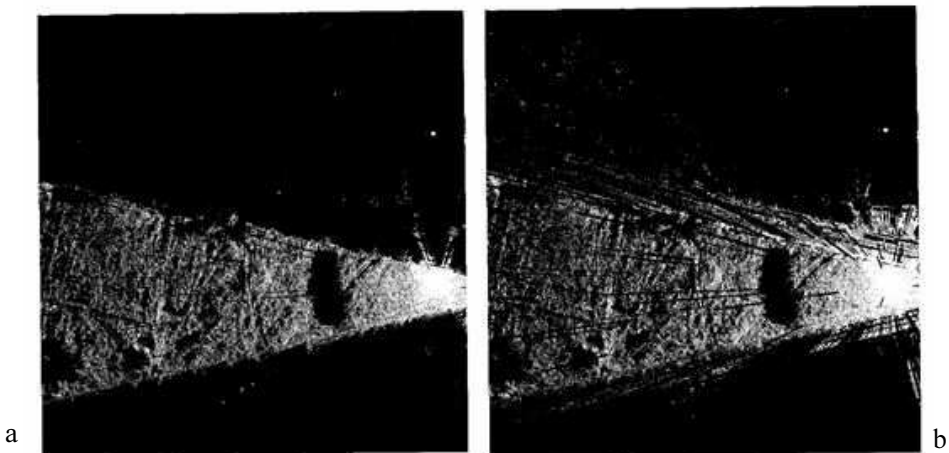
W wyniku analiz widoczności wykonanej opierając się o klasyczny NMPT uzyskano mapę prezentującą obszary widoczne i niewidoczne z punktu obserwacyjnego. Jednak ze względu na fakt wykorzystania rozwiązania 2D przy tworzeniu rastrów wejściowych, drzewa zostały przedstawione w postaci koron (obiekty o owalnym kształcie), co uwzględniając ich złożony charakter powoduje, że taki sposób prezentacji wpływa na zmniejszenie pola

widzenia człowieka. Jednak na podstawie obserwacji rzeczywistości można stwierdzić, że pnie młodych drzew są praktycznie w całości filtrowane przez ludzki mózg, a przez to nie wpływają na zawężenie widocznej przestrzeni znajdującej się za nimi (rys. 6). W związku z tym zaproponowano zróżnicowanie prezentacji wysokiej roślinności w zależności od kąta patrzenia obserwatora. Na podstawie warstw tematycznych stworzono dwa NMPT różniące się sposobem prezentacji wysokiej roślinności – w pierwszym były to korony drzew (klasyczny NMPT), w drugim pnie drzew (rys. 3). Na ich podstawie wykonano analizę widoczności z podziałem pionowego zakresu widzenia:

- klasyczny NMPT (drzewa jako korony) – zakres kąta pionowego: 0–90 stopni,
- model uwzględniający drzewa jako pnie – zakres kąta pionowego: -90–0 stopni.



Rysunek 3. Model uwzględniający drzewa jako: a – korony, b – pnie



Rysunek 4. Wynik analizy widoczności: a – w oparciu o klasyczny NMPT, b – wariant uwzględniający dualny charakter roślinności; kolor biały symbolizuje obszar widoczny, kolor czarny obszar niewidoczny

Taki podział można uzasadnić faktem, iż drzewa w analizowanym obszarze w większości są drzewami liściastymi, które mają pnie niepokryte liśćmi aż do wysokości 1,5–2 m nad powierzchnią terenu. Można uznać, że jeżeli obserwator będzie patrzył przed siebie (przy odpowiedniej odległości do przeszkody) to korony drzew nie będą zasłaniały przestrzeni, którą obserwuje. Powyżej osi wzroku (obserwacja przestrzeni znajdującej się nad obserwatorem) sytuacja ulega zmianie – korony drzew stanowią przeszkody, które w znacznym stopniu zasłaniają przestrzeń znajdującą się za nimi. Uzyskane w ten sposób dwie mapy widoczności połączono w jedną (sumując obszary widoczne) i porównano z mapą widoczności będącą wynikiem analizy opartej na klasycznym NMPT (rys. 4).

Porównanie wyników

Na podstawie wyników uzyskanych w klasycznym NMPT oraz kombinację warstw tematycznych dokonano ich porównania przez odejmowanie map – wynik tej operacji prezentuje rysunek 8. Na jego podstawie można wywnioskować, że analiza widoczności wykonana na podstawie klasycznego modelu pokrycia terenu dała, pod względem powierzchni, mniejszy obszar widoczny niż metoda uwzględniająca różny sposób modelowania wysokiej roślinności. Najbardziej liczne rozbieżności (kolor niebieski) występują w okolicy tras rowerowo-piesznych wzdłuż Błoń. Biorąc pod uwagę znajdujące się przy nich aleje młodych drzew można stwierdzić, że wariant uwzględniający różny sposób modelowania roślinności spowodował, że uzyskano bardziej realne wyniki niż w przypadku klasycznego NMPT. Potwierdzeniem tego faktu jest dokumentacja fotograficzna (rys. 7) prezentująca widok na rząd drzew zlokalizowany wzdłuż Błoń. Na jej podstawie można stwierdzić, że pomimo znacznej odległości, obserwator widzi obiekty znajdujące się za drzewami (samochody, część ogrodzenia, drzewa znajdujące się w sąsiednim parku). Poza najbardziej interesującymi rozbieżnościami, występują również różnice na obszarze samych Błoń (kolor czerwony), które porasta niska roślinność. Mogą one wynikać z rozbieżności przy mozaikowaniu warstw będących składowymi modelu pokrycia terenu.

Podsumowanie

Analizy widoczności w przestrzeni miejskiej wymagają uwzględnienia wielu czynników związanych ze specyfiką obszarów zurbanizowanych. Przeprowadzone badania wykazały przydatność technologii lotniczego skaningu laserowego do tego typu analiz. Weryfikacja wykonana na dostępnych zdjęciach wykazała, że istnieje możliwość obserwacji obiektów (ich fragmentów) znajdujących się za drzewami. Potwierdzono tym samym, że rozwarstwienie klas pokrycia terenu, a w szczególności uwzględnienie niejednorodnego charakteru wysokiej roślinności, spowodowało wzrost wiarygodności uzyskanych wyników. Pomimo wykorzystania danych 2D udało się, przez umiejętne przygotowanie danych, otrzymać wyniki bliższe rzeczywistości niż w przypadku klasycznego podejścia do tego typu analiz. Oczywiście istnieje możliwość dalszego rozwijania tej tematyki, przez uwzględnianie modeli 3D bądź ich hybryd. Jednak należy wziąć pod uwagę fakt, iż poprawa wierności prezentacji przestrzeni może nie być na tyle duża, aby kompensować trudności implementacji takich rozwiązań, szczególnie dla większych obszarów.

Literatura

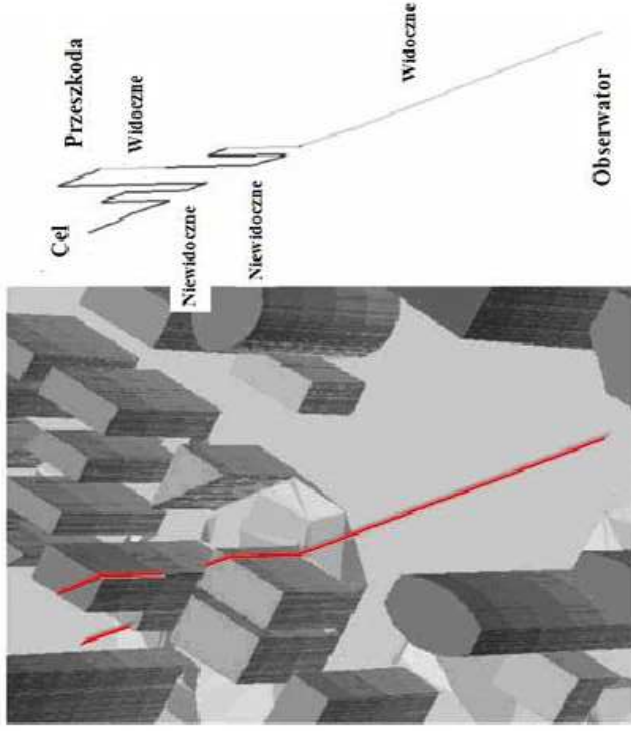
- Bartie P., Mills S., Kingham S., 2008: An Egocentric Urban Viewshed: A Method for Landmark Visibility Mapping for Pedestrian Location Based Services. *Geospatial Vision*, Part of the series Lecture Notes in *Geoinformation and Cartography*: 61-85.
- Bartie P., Reitsma F., Kingham S., Mills S., 2010: Advancing visibility modeling algorithms for urban environments. *Computers, Environment and Urban System* 34: 518-531.
- Benedikt M.L., 1979: To take hold of space: isovists and isovist fields. *Environment and Planning B: Planning and Design* 6: 47-65.
- Będkowski K., Stereńczak K., 2010: Porównanie numerycznych modeli terenu obszarów leśnych generowanych z wykorzystaniem danych skaningu laserowego (LIDAR) uzyskanych w okresie wiosennym i letnim. *Roczniki Geomatyki* t. 7, z. 7(43): 11-20, PTIP, Warszawa.
- Bhatia S., Chalup S.K., Oswald M.J., 2012: Analyzing architectural space: identifying salient region by computing 3D isovists. Proceedings of the 46th Annual Conference of the Architectural Science Association, ANZAScA 2012 (Gold Coast, Qld 14-16 Listopada, 2012).
- Bucior M., Borowiec N., Jędrzychowski I., Pyka K., 2006: Wykrywanie budynków na podstawie lotniczego skanowania laserowego. *Roczniki Geomatyki* t. 5, z. 3: 57-70, PTIP, Warszawa.
- Czyńska K., 2015: Application of LIDAR data and 3D-city models in visual impact simulations of tall building. *The International Archives of the Photogrammetry, remote Sensing and Spatial Information Sciences* vol. XL-7/W3, 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 11-15 Maja 2015, Berlin.
- Fisher-Gewirtzman D., Wagner I.A., 2003: Spatial Openness as a practical metric for evaluating built-up environments. *Environment and Planning B: Planning and Design* 30(1): 37-49.
- Garnero G., 2015: Visibility analysis in urban spaces: a raster-based approach and case studies. *Environment and Planning B: Planning and Design* 42: 688-707.
- Höfle B., Hollaus M., Hagenauer J., 2012: Urban vegetation detection using radiometrically calibrated small-footprint full-waveform airborne LiDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* vol. 67: 134-147.
- Kurczyński Z., 2012: Mapa zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego a dyrektwa powodziowa. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 23: 209-217.
- 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: 59-68. Warszawa.
- 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: 837-853.
- Pyysalo U., Oksanen J., Sarjakoski T., 2009: Viewshed analysis and visualization of landscape voxel models. 24th International Cartographic Conference, Santiago, Chile.
- Stereńczak K., Ciesielski M., Zalewska K., 2012: Detekcja budynków na terenach o dużej lesistości na przykładzie parku narodowego Gór Stołowych. *Roczniki Geomatyki* t. 10, z. 5(55): 67-78, PTIP, Warszawa.
- Suleiman W., Joliveau T., Favier E., 2011: 3D urban visibility analysis with vector GIS data. GISRUK 2011, 27-29 kwietnia, University of Portsmouth.
- Tandy C.R.V., 1967: The isovist method of landscape survey. *Symposium Methods of Landscape Analysis*, Londyn.
- Tanhuanpää T., Vastaranta M., Kankare V., Holopainen M., Hyypä J., Hyypä H., Alho P., Raisio J., 2014: Mapping of urban roadside trees – A case study in tree register update process in Helsinki City. *Urban Forestry & Urban Greening* vol. 13, issue 3: 562-570.
- Van Bilsen A., Stolk E.H., 2007: The potential of isovist-based visibility analysis. *Architectural Annual 2005-2006*: 68-73, Rotterdam.
- Wężyk P. (red), 2015: Podręcznik dla uczestników szkolenia z wykorzystania produktów LiDAR. Warszawa: 12-56, 80-93.
- 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: 971-992.
- Yu X., Litkey P., Hyypä J., Holopainen M., Vastaranta M., 2014: Assessment of low density full-waveform airborne laser scanning for individual tree detection and tree species classification. *Forests* 5(5): 1011-1031.

Streszczenie

Miasto jako przestrzeń składa się z wielu zróżnicowanych komponentów: zabudowy o zmiennej wysokości i kształcie, mnogości gatunków drzew bądź licznie występujących obiektów małej architektury. Powoduje to konieczność uwzględnienia specyfiki obszaru podczas przygotowania modeli pokrycia terenu wykorzystywanych w analizach dotyczących widoczności. Szczególnie ważnym problemem w takich badaniach jest uwzględnienie sposobu prezentacji wysokiej roślinności (drzew). Pomimo faktu występowania wielu algorytmów pozwalających na wykrywanie koron i osi drzew, wciąż dużym problemem jest ich prezentacja pozwalająca na wierne odzwierciedlenie sposobu postrzegania rzeczywistości. W związku z tym opracowano podejście wykorzystujące dane lidarowe do modelowania drzew, oparte na wykrywaniu ich osi przez wyszukiwanie maksimów lokalnych na warstwie tematycznej pokrycia terenu, reprezentującej wysoką roślinność. Warstwy tematyczne powstałe w oparciu o sklasyfikowaną chmurę punktów posłużyły do zaproponowania i porównania dwóch wariantów numerycznych modeli pokrycia terenu: klasycznego NMPT uwzględniającego drzewa jako korony oraz NMPT przedstawiającego drzewa jako pnie (osie). Zostały one stworzone w celu sprawdzenia czy uwzględnienie niejednorodności prezentacji drzew przy założonym pionowym kącie patrzenia wpływa na uzyskanie wyników bliższych ludzkiemu sposobowi percepcji. Badania przeprowadzono na obszarze krakowskich Błoni. Głównym celem analiz było przedstawienie złożoności problemu optymalizacji danych w aspekcie analiz widoczności oraz zaprezentowanie potencjału, jaki tkwi w technologii lotniczego skaningu laserowego w aspekcie badań dotyczących obszarów miejskich. Otrzymane wyniki wykazały wyższość analiz wykorzystujących kombinację zakresów widoczności w porównaniu z klasycznym NMPT nieuwzględniającym zróżnicowanego charakteru drzew.

Abstract

The city as a space is made up of many different components: buildings of variable heights and shapes, the multitude of trees' species and many other objects (bench, street lights, banners etc.). This makes it necessary to take into account the particularities of the preparation of digital surface model used in the visibility analyses. Consideration of presentation of high vegetation (trees) is a particularly important issue in such studies. Although the occurrence of a number of algorithms that allow for the detection of crowns and axes of trees, their presentation allowing for an exact reflection of the perception of reality still creates a big problem. Therefore an approach using ALS data was drawn up for the modelling of trees based on the detection of their axes by searching for local maxima on the high vegetation thematic layer. Thematic layers formed on the basis of a classified points cloud were used to propose and compare two variants of a digital surface model (DSM): the classical DSM presenting trees as crowns and the DSM showing trees as trunks (axes). They were created in order to verify whether the inclusion of non-uniform presentation of trees at a given vertical viewing angle affects the possibility to achieve results closer to the actual mode of human perception. Cracow Błonia was selected as the study area. The main objective of the analysis was to present the complexity of the optimization problem of data analysis in terms of visibility and to demonstrate the potential that lies in the ALS technology, taking into account the urban areas. The results proved the superiority of analysis performed with the use of a combination of ranges of visibility compared to the classical DSM without consideration of diversified nature of trees.



Rysunek 5. Linia widoczności i jej komponenty (Yang i in., 2007)

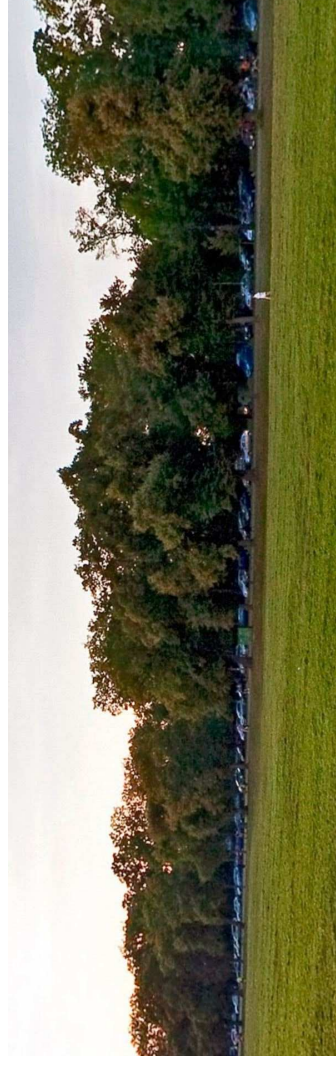


a

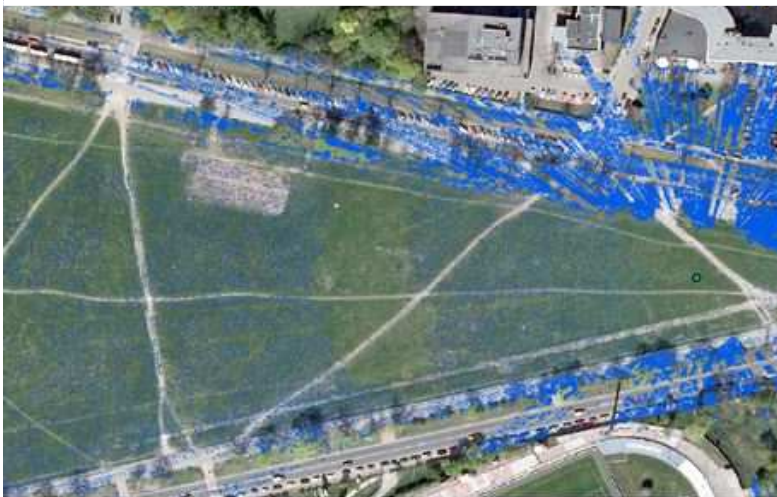
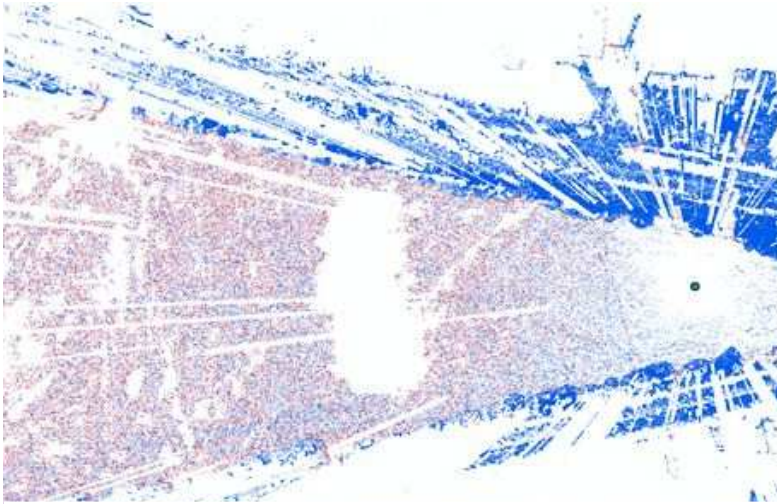


b

Rysunek 6. Widoki: a – rzeczywisty, b – na podstawie modelu mesh 2.5D



Rysunek 7. Zdjęcie fragmentu rzędu drzew wzdłuż Błoni (Google Street View)



Rysunek 8. Wyniki analiz widoczności: różnica między wariantowym i klasycznym NMPT (kolor niebieski), różnica między klasycznym i wariantowym NMPT (kolor czerwony)