



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ARCHITEKTURY



**WFOŚiGW**  
w Gdańsku

Gdańsk, 2018-04-20

Dr inż. arch. Agnieszka Ozimek,  
Instytut Architektury Krajobrazu, Politechnika Krakowska

## **Badanie chłonności widokowej krajobrazu przy użyciu modeli cyfrowych w procesie lokalizacji nowych inwestycji**

Tekst przygotowany dla potrzeb projektu nr RV-4/2018 finansowanego  
przez WFOŚiGW w Gdańsku:

### **Ochrona krajobrazu w ocenach oddziaływania na środowisko w świetle współczesnych uwarunkowań prawno-metodologicznych**

#### **Wprowadzenie**

Konieczność ochrony krajobrazu, rozumianego jako dobro wspólne, jest w naszym kraju akceptowana coraz powszechniej. Ponad trzynaście lat temu Polska ratyfikowała Europejską Konwencję Krajobrazową [3], co wiązało się z podjęciem starań o uwzględnianie zagadnień krajobrazowych w decyzjach planistycznych, a także o upowszechnianie wiedzy w tym zakresie. Nadal można jednak zauważyć dotkliwy brak narzędzi i procedur, które z jednej strony mogłyby wspomagać obiektywną identyfikację i ocenę krajobrazu, a z drugiej – w precyzyjny sposób wyznaczać politykę rozwoju przestrzennego. Świadomość potrzeby ochrony środowiska nie idzie niestety w parze z działaniami na najniższym szczeblu władzy. Błędne decyzje na poziomie lokalnym powodują postępującą degradację polskiego krajobrazu [8].

W przypadku lokalizacji nowej inwestycji, szczególnie na obszarach o wysokich walorach przyrodniczych lub kulturowych, często czynnikiem decydującym jest opinia ekspercka. Specjalista formułuje ją zwykle na podstawie rzetelnej wiedzy, jednakże przy braku odpowiednich kryteriów może być ona obciążona pewną dozą subiektywizmu. Pojawia się zatem potrzeba wyposażenia eksperta w odpowiednie wskaźniki (najlepiej liczbowe) charakteryzujące dany krajobraz oraz umożliwiające wykonanie symulacji, przedstawiających skutki wprowadzenia w życie danej decyzji [14, 1].

Postęp w dziedzinie cyfryzacji umożliwia obecnie nie tylko digitalizację i archiwizację danych, czy używanie maszyn cyfrowych do opracowywania projektów, ale też wykorzystywanie ich jako narzędzi badawczych [13]. Problematyka ta stanowi pole zainteresowań zespołu naukowców z Politechniki Krakowskiej.

### **Chłonność widokowa krajobrazu**

**Chłonność widokowa krajobrazu** oznacza jego zdolność do przyjęcia nowych elementów, bez utraty tożsamości swojej fizjonomii. Jest on określana współczynnikiem VAC (ang.: *Visual Absorption Capacity*) [15], który pozwala ocenić czy dane miejsce z racji swojego ukształtowania, pokrycia, oświetlenia (strony świata), widoczności (zanieczyszczenia atmosferyczne) itp. może bez szkody dla walorów krajobrazowych przyjąć określony rodzaj przekształceń. Jest więc oczywiste, że teren o zróżnicowanej rzeźbie i bogatej szacie roślinnej lub zabudowie reprezentuje wysoką chłonność widokową, natomiast w przypadku płaskiej pustyni lub tafli wody jest ona bliska zeru [10].

Metodami tradycyjnymi chłonność krajobrazową określa się przez obliczanie sumy ważonej szacunkowo określonych wskaźników, które dotyczą biofizycznych aspektów krajobrazu, takich jak właściwości glebowe, możliwości regeneracyjne roślinności i jej różnorodność, nachylenie terenu względem obserwatora. Wartość chłonności ma wskazywać na możliwości ukrycia obiektów w konfiguracji terenu i w zieleni, zarówno występującej na danym obszarze, jak i potencjalnej [15].

Przedstawione poniżej metody określania chłonności krajobrazowej oparte na cyfrowych modelach terenu uwzględniają jedynie aspekt wizualny [2]. Dane gromadzone na potrzeby tych analiz zawierają informacje o ukształtowaniu terenu i jego pokryciu.

### **Cyfrowe modele terenu**

Trójwymiarowe modele terenu wykonywane są najczęściej w celu wizualizacji zamierzeń projektowych. W przypadku projektów dotyczących architektury krajobrazu modele takie wymagają dużego nakładu pracy dla osiągnięcia należytego w wizualizacji poziomu realizmu oraz ogromnych mocy obliczeniowych dla ich przetworzenia. Dlatego wykonuje się je niezwykle rzadko. Wizualizacja doliny reprezentowanej przez model cyfrowy, nasyconej elementami natury i obiektami kulturowymi stanowi wyzwanie dla grafików komputerowych. Cyfrowy model terenu przynosi także korzyści w analizach i wspomaganie podejmowania decyzji. W takich przypadkach realizm wizualizacji jest zbędny, a często nawet przeszkadza. Analizy widokowe można przeprowadzać na uproszczonych modelach, zoptymalizowanych do potrzeb konkretnego zadania [13].

Badania pola widoku mogą odbywać się za pomocą funkcji zaimplementowanych w najnowszych wersjach programów GIS. Alternatywnym rozwiązaniem jest zastosowanie modelu światła punktowego i umieszczenie go w pozycji obserwatora [12]. Z tego miejsca promienie rozchodzą się po liniach prostych i oświetlają fragmenty powierzchni terenu. Jeżeli napotkają po drodze przeszkodę, to dany obszar pozostaje w cieniu. Bazując na założeniu, że podobne zależności zachodzą w procesie widzenia (nie można postrzegać obiektów lub ich

części, jeżeli między obserwatorem a nimi znajdzie się inny przedmiot), w komputerowych analizach widoczności można wykorzystywać cyfrowe modele światła do oznaczania elementów widocznych [5, 11].

Modele terenu i pokrycia powinny być reprezentowane przez cyfrowe obiekty, które posiadają powierzchnie pozwalające na łatwe wyznaczenie punktu przebicia przez wektor światła. Najczęściej reprezentacjami tymi są siatki wielokątowe. Składają się one z punktów, krawędzi i wielokątów. Punkty znajdują się w miejscach, gdzie pozyskano informację o terenie. Może ona pochodzić z pomiarów terenowych naniesionych na mapy sytuacyjno-wysokościowe, opracowań fotogrametrycznych, jak również skanowania laserowego. Generatory siatek terenu łączą te punkty krawędziami tworząc reprezentację TIN (ang.: *Triangulated Irregular Network* – triangulowana nieregularna siatka), ponieważ powierzchnie pomiędzy punktami i krawędziami w zastosowaniach GIS przyjmują kształt trójkątów [4].

Inną, często wykorzystywaną formą modelu terenu jest DEM (ang.: *Digital Elevation Model*). Jest to reprezentacja wysokości topograficznej, w której informacja jest zapisywana na zasadzie rastra - zbioru punktów rozmieszczonych w regularnych odstępach, określonych częstotliwością próbkowania i każdorazowo jest to uśredniona wysokość z danego obszaru[7].

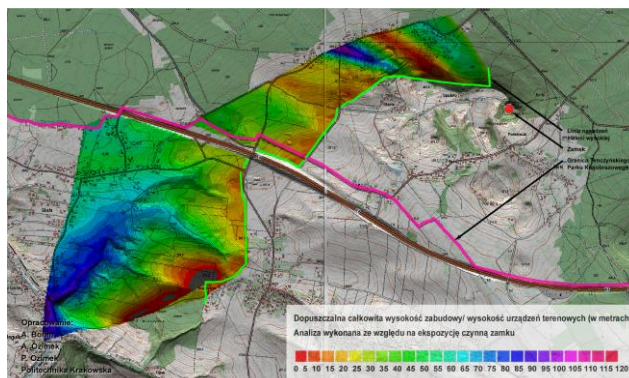
### **Obszary o największej chłonności widokowej**

Spośród cech terenu mających znaczenie dla analiz widokowych najbardziej obiektywną i trwałą właściwością jest jego ukształtowanie (na przykład w porównaniu z sezonowością szaty roślinnej czy zmiennością czynników atmosferycznych). Ono właśnie stało się bazą dla przeprowadzonych badań w rejonie ruin jednego z zamków wchodzących w skład tzw. „Szlaku Orlich gniazd”.

W przypadku badań chłonności widokowej obszaru posłużono się trójwymiarowym modelem terenu (DEM) wykonanym w oparciu o geodezyjne dane cyfrowe. Ze względu na znaczną ilość informacji koniecznej do przetworzenia został on opracowany z rozdzielczością 10 metrów dla terenu, 25 - dla pokrycia i 5 metrów na fragmencie obejmującym pozostałości zamku i jego najbliższe otoczenie.

Dla określenia chłonności widokowej posłużono się punktem położonym na ruinach zamku. Widok z niego obejmuje swym zasięgiem najbardziej rozległy teren. Umieszczając w tej pozycji cyfrowy model światła uzyskano wykres obrazujący zakres widoczności. Otrzymana w wyniku powyższych rozważań krawędź cienia widokowego posłużyła następnie do przeprowadzenia wolumetrycznej analizy cienia. Badając wysokość uzyskanej bryły cienia (odległość od powierzchni terenu do górnej krawędzi bryły) otrzymano wykres dopuszczalnej wysokości zabudowy, która nie będzie widoczna z miejsca o walorach turystycznych. Wysokość ta sprecyzowana została w przedziałach co 5 metrów. Przeprowadzona analiza wykazała, że na fragmentach oznaczonych kolorem granatowym możliwa jest lokalizacja struktur o wysokości nawet ponad 80 metrów (Rys. 1).

Rys. 1. Analiza chłonności widokowej dla terenu położonego poza krawędzią cienia widokowego.



Chłonność widokowa może zostać dodatkowo podniesiona poprzez proponowane ciągi nasadzeń zieleni wysokiej. Przydatność metody uzasadnia fakt, że przed przeprowadzeniem badań autorzy, mimo doskonałej znajomości terenu, nie widzieli możliwości ukrycia tak dużych obiektów w tej okolicy [10].

### Definiowanie warunków dla nowej zabudowy

W analizie krajobrazu kluczowe pojęcia stanowią: **ekspozycja bierna** (punkty, zespoły, powierzchnie oglądane) oraz **ekspozycja czynna** (punkty i ciągi widokowe).

**Punkty widokowe** odnoszą się do widoków odbieranych przez obserwatora statycznego i mogą być rejestrowane w sposób tradycyjny (pojedyncze lub panoramiczne ujęcia fotograficzne). Natomiast **ciągi widokowe** są zbiorem punktów widokowych jako „*serial vision*” – widzenie w odcinkach, których istotą jest percepcja dynamiczna, czyli odbiór danego widoku przez obserwatora będącego w ruchu.

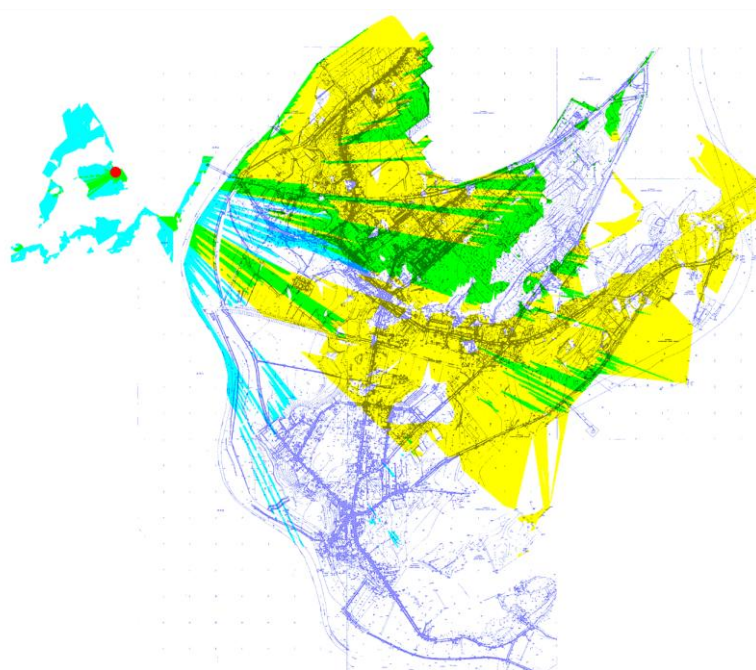
Dotychczasowe prace w zakresie rewaloryzacji krajobrazowej Parku Mużakowskiego, znajdującego się nad Nysą Łużycką - częściowo po stronie niemieckiej, częściowo po stronie polskiej - doprowadziły do wyznaczenia serii punktów widokowych na lewostronnym, wysokim brzegu rzeki. Zlokalizowane są one po stronie niemieckiej i obejmują widoki na leżącą po polskiej stronie granicy wschodnią część Parku Mużakowskiego oraz miasto Łęknica. Istotne zatem stało się ustalenie takich wytycznych dla kształtowania miasta, aby jego przyszła struktura urbanistyczno-architektoniczna wpływała na podniesienie jakości, a nie degradację widoku.

Analizy zostały przeprowadzone na bazie dostarczonych podkładów sytuacyjno-wysokościowych obciążonych błędem skali sięgającym 0.3%. Ze względu na konieczność zastosowania przybliżeń w wykonywaniu obliczeń dla celów opracowania przyjęto skalę urbanistyczną, w której podstawową jednostkę powierzchni stanowił kwadrat o boku 20 metrów. Dostarczone materiały w formie tradycyjnej zostały odpowiednio zdigitalizowane i skalibrowane, a na ich podstawie opracowano trójwymiarowy cyfrowy model terenu. Pozwolił on na wykonanie

szeregu wykresów widoczności z zadanych punktów oraz diagramów chłonności widokowej i dopuszczalnej wysokości zabudowy.

Symulacja zieleni wysokiej została wprowadzona na obszarach, gdzie występują znaczne jej skupiska lub szpalery drzew. Substancja budowlana nie była modelowana, gdyż jej wpływ na widoczność jest stosunkowo niewielki, a to niezwykle pracochłonne zadanie wymagałoby posiadania dokumentacji każdego z obiektów w skali architektonicznej bądź danych z pomiarów z urządzenia LIDAR.

Dla każdego z 12-tu punktów widokowych znajdujących się po zachodniej stronie rzeki Nysy opracowano **wykres widoczności**. Wykresy ukazują miejsca widoczne na poziomie gruntu z uwzględnieniem zadrzewień (kolor zielony) i miejsca potencjalnie widoczne w przypadku usunięcia drzew po którejs ze stron Nysy (kolor żółty i niebieski).

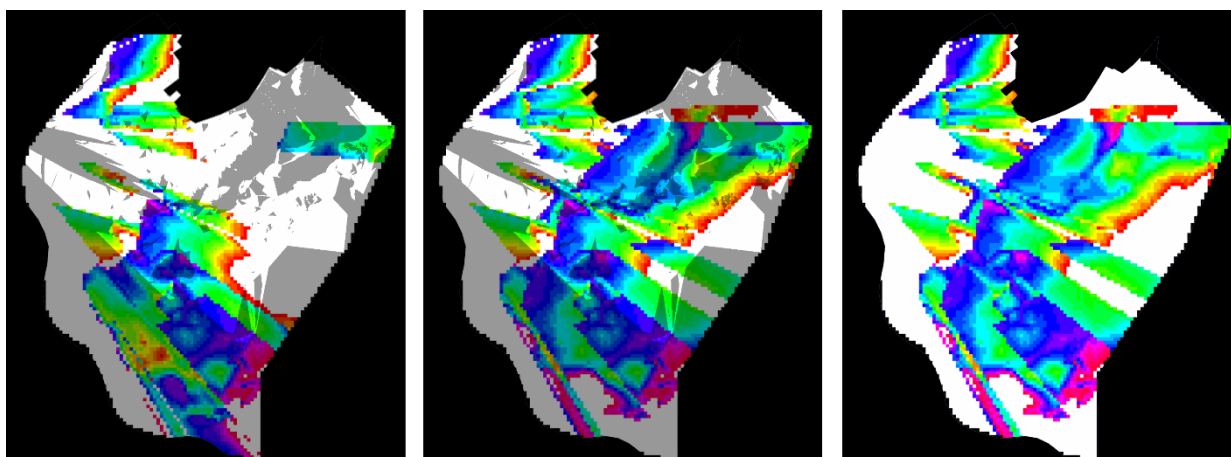


Rys. 2. Przykładowy wykres widoczności dla punktu 2 z uwzględnieniem zieleni wysokiej.

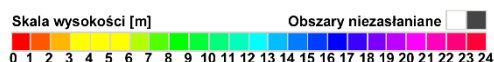
Kolejny krok badań polegał na przeprowadzeniu **wolumetrycznej analizy cienia** i wygenerowaniu **wykresu chłonności widokowej terenu**. Skala tego diagramu została podzielona na przedziały co 1 metr. Przyjęto kolory „spectrum” od barwy czerwonej dla wysokości 1 metra do koloru purpurowego dla 24 metrów. Analizie poddawano cały teren, gdyż fragmenty niewidoczne z wybranego punktu mogą być widoczne z kolejnego.

Ilustracja (Rys. 3) przedstawia przykładowy wykres dla punktu widokowego 2. Obszary widoczne z danego punktu są jaśniejsze, a obszary niewidoczne z powodu drzew na pierwszym planie – ciemniejsze.



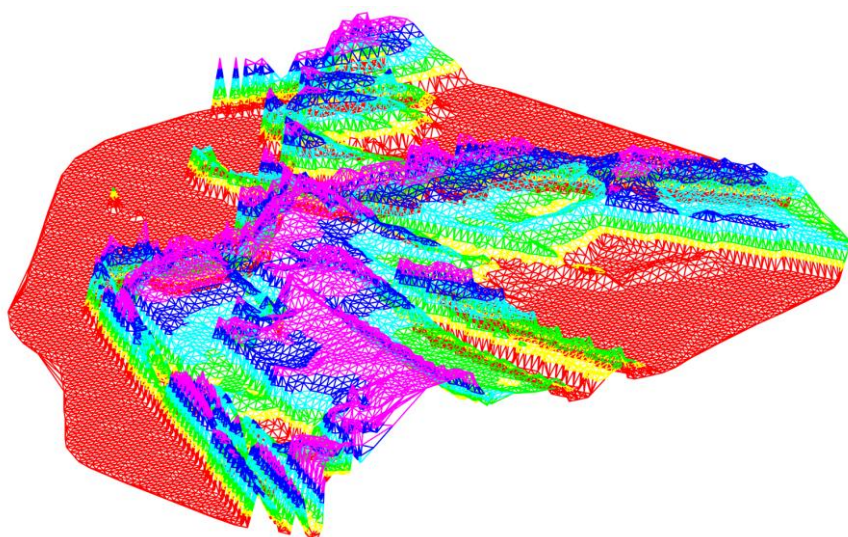


Obecny stan zadrzeń      Proponowany      stan  
zadrzeń      zadrzeń      Zrezygnowano z wyszarzeń



Rys. 3. Przykładowy wykres chłonności widokowej terenu – analiza dla punktu 2. Skala „spectrum”.

Zakresy wysokości można oczywiście dobierać zgodnie z potrzebami, dlatego we współpracy z urbanistami użyto stopniowania co 3 metry, uzyskując w ten sposób mapę zawierającą wytyczne dla dopuszczalnej liczby kondygnacji (Rys. 4).



Rys. 4. Powierzchnia chłonności krajobrazowej. Przykładowy wykres dotyczy punktu widokowego 2.

Zastosowana metoda pozwala na stworzenie nowej topologii. Na dwuwymiarowym planie miasta wygenerowano trójwymiarową powierzchnię wizualizującą maksymalne wysokości zabudowy, która nie będzie widoczna z danego punktu. Powierzchnia ogranicza bryłę, której objętość charakteryzuje chłonność krajobrazową [9]. Dzięki tej metodzie może ona być wyrażana w jednostkach objętości. Stanowi to zasadniczą zmianę w podejściu do badania chłonności krajobrazowej, która przekłada się na parametr liczbowy.

Zaprezentowane metody miały na celu umożliwienie działań inwestycyjnych, które nie spowodują wizualnej zmiany krajobrazu. Często jednak takie postępowanie nie jest możliwe. Należy zatem wypracować narzędzia, które będą pomocne przy obiektywizacji oceny widocznej ingerencji w środowisko.

### **Analiza widoków z wykorzystaniem wskaźników numerycznych**

W procesie podejmowania decyzji dotyczących lokalizacji nowej inwestycji bardzo istotne jest uwzględnienie percepcji użytkowników krajobrazu. Fotografie rejestrowane z poziomu widzenia człowieka można uznać za swego rodzaju ekwiwalent wrażeń wzrokowych [16].

Umieszczenie na zdjęciach nowoprojektowanych budynków może pomóc w ocenie ich podobieństwa do form już istniejących. Należy tu wziąć pod uwagę **skalę** (rozmiar) zabudowań, **kolory** zastosowanych materiałów i **formę**, reprezentowaną jako **kształt**. Ze względu na fakt, że korzystamy z obrazów cyfrowych, dla wszystkich tych parametrów można obliczyć numeryczne wartości. W przypadku rozmiaru będzie to liczba pikseli, którą na fotografii zajmuje dany obiekt; jeżeli będziemy badać barwę – wartości liczbowe, którymi zapisany jest dany kolor piksela. Kształt z kolei można opisać za pomocą kilku współczynników, które charakteryzują jego zwartość, wydłużenie czy rozczłonkowanie.

Poniżej przedstawiono potencjalne warianty inwestycji na Półwyspie Stylchyn położonym na brzegu Zbiornika Czorsztyńskiego. Jest to teren przeznaczony pod zabudowę, a ze względu na niezwykle walory krajobrazowe - podlegający silnej presji urbanizacyjnej. W pierwszym z nich zaproponowano wprowadzenie budynków, które skalą i formą są zbliżone do już istniejących. Kolejny scenariusz przewiduje powstanie dużego pensjonatu, który co prawda kształtem dachu i ogólnym zarysem przypomina sąsiadujące obiekty, jednak przewyższa je gabarytami. Ostatnia z symulacji ukazuje bardzo dużą budowlę zwieńczoną kominem, która w tym otoczeniu jest formą zupełnie obcą (Rys. 5).

Przeprowadzone badania dowiodły, że w pierwszym przypadku zarówno rozmiary nowych obiektów, jak i współczynniki charakteryzujące ich kształt są podobne do parametrów obecnej architektury. W pozostałych wariantach powierzchnia nowych budynków była znacznie większa. Analiza trzeciego scenariusza dowiodła, że nie tylko jego rozmiary, ale też i sylweta wprowadzonego obiektu wyraźnie odróżniają się od sąsiadujących zabudowań [8].



Ryc. 5. Zabudowa Półwyspu Stylchyn na brzegu Zbiornika Czorsztyńskiego - górny rząd po lewej: stan w roku 2013, po prawej: budynki zbliżone skalą i formą do istniejących; dolny rząd po lewej: pensjonat o formie podobnej do istniejących, lecz znacznie większej skali, po prawej: obiekt o skali i formie odmiennej.

Trudno interpretować widok jako sumę elementów składowych, nie uwzględniając ich wzajemnych relacji przestrzennych, które pomiędzy nimi zachodzą. Jako numeryczny wskaźnik charakteryzujący tego typu zależności posłużyć może **wymiar fraktalny pudełkowy** (ang.: *box-counting dimension*). Samo obliczenie go dla obrazu nie niesie ze sobą istotnej informacji, ponieważ obrazy przedstawiające zupełnie różne treści mogą charakteryzować się podobnym wymiarem pudełkowym, a obrazy o treściach podobnych – mieć wymiar różny. Liczne eksperymenty dowiodły jednak, że za jego pomocą można sparametryzować zmiany w danym widoku. Wprowadzenie obiektu, który jest odmienny pod względem wielkości lub kształtu, a także zaburzenie przestrzennych zależności między obiektami, pociąga za sobą zmianę wymiaru fraktalnego pudełkowego [6].

## Bibliografia:

- [1] Buhyoff G.J. and Riesenman M.F., *Experimental manipulation of dimensionality in landscape preference judgements: a quantitative validation*, "Leisure Sciences", 2, 1979, s. 221–238.
- [2] Ervin S., Steinitz C., *Landscape visibility computation: necessary, but not sufficient*, Environment and Planning B: Planning and Design 2003, Vol. 30, s. 763.
- [3] *Europejska Konwencja Krajobrazowa*,  
<http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20060140098>
- [4] Foley J. D., Dam van A., Feiner S. K., Hughes J. H., Phillips R. L., *Wprowadzenie do grafiki komputerowej*, tłumaczenie: Jan Zabrodzki, WNT, Warszawa 1995.
- [5] Kraak M.-J., Ormeling F., *Kartografia – wizualizacja danych przestrzennych*, PWN, Warszawa 1998, s 131.



- [6] Łabędź P., *Algorytmy fraktalne w cyfrowej analizie obiektów przestrzennych*, praca doktorska (promotor: Burczyński T., promotor pomocniczy: Ozimek A.), IPPT 2017
- [7] Maloy M. A., & Dean D. J., *An Accuracy Assessment of Various GIS-Based Viewshed Delineation Techniques*, "Photogrammetric Engineering and Remote Sensing", 67(11), (2001), s. 1293–1298.
- [8] Ozimek P., Böhm A., Ozimek A., Wańkiewicz W., *Planowanie przestrzeni o wysokich wartościach krajobrazowych przy użyciu cyfrowych analiz terenu wraz z oceną ekonomiczną*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2013
- [9] Ozimek A., Ozimek P., *Computer Aided Method of Visual Absorption Capacity Estimation*, [w:] 9th International Conference on Information Technologies in Landscape Architecture, Dessau 2008, Red. E. Buhman, Dessau: 105-115.
- [10] Ozimek P., Ozimek A., *Badanie chłonności krajobrazowej przy użyciu przestrzennego modelu cyfrowego*, Nauka Przyroda Technologie 3.1 (2009): #13
- [11] Ozimek P., *Zastosowanie algorytmów światła lokalnego w wyznaczaniu wykresów widoczności*, Politechnika Krakowska 2002 (rozprawa doktorska, promotor: A. Bohm).
- [12] Ray C., *Representing visibility for sighting problems*, PhD Dissertation, Rensselaer Polytechnic Institute, 1994.
- [13] Richbourg R.F., Ray C.K., and Campbell L.W., *Terrain Analysis from Visibility Metrics*, Proceedings of the SPIE Conference, 2486, April 1995, s. 208–219.
- [14] Robinson D.G. et al. (eds.), *Landscape evaluation – the landscape evaluation research project 1970–1975*, University of Manchester, 1976.
- [15] Smardon R.C., Palmer J.E., Felleman J. P., *Foundations for Visual Project Analysis*, New York 1987, str. 214.
- [16] Steinitz C., *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", 54(2001), Elsevier.