

## KRAJOBRAZ A TURYSTYKA

Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego Nr 14

Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec, 2010

---

**Paweł OZIMEK, Joanna TARKO, Piotr ŁABĘDŹ**

Politechnika Krakowska

Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki Stosowanej

Kraków, Polska

e-mail: ozimek@pk.edu.pl

### **CYFROWE MODELE ANALIZY KRAJOBRAZU BAZUJĄCE NA CYFROWYCH MODELACH TERENU SYSTEMÓW INFORMACJI PRZESTRZENNEJ**

#### ***DIGITAL MODELS OF LANDSCAPE ANALYSES BASED ON GIS DIGITAL TERRAIN MODELS***

**Słowa kluczowe:** metody obliczeniowe, model cyfrowy terenu, system informacji przestrzennej, analiza widoczności, cyfrowa analiza krajobrazu

**Key words:** *numeric methods, digital terrain model, Geographic Information System, visibility analyses, digital landscape analyses*

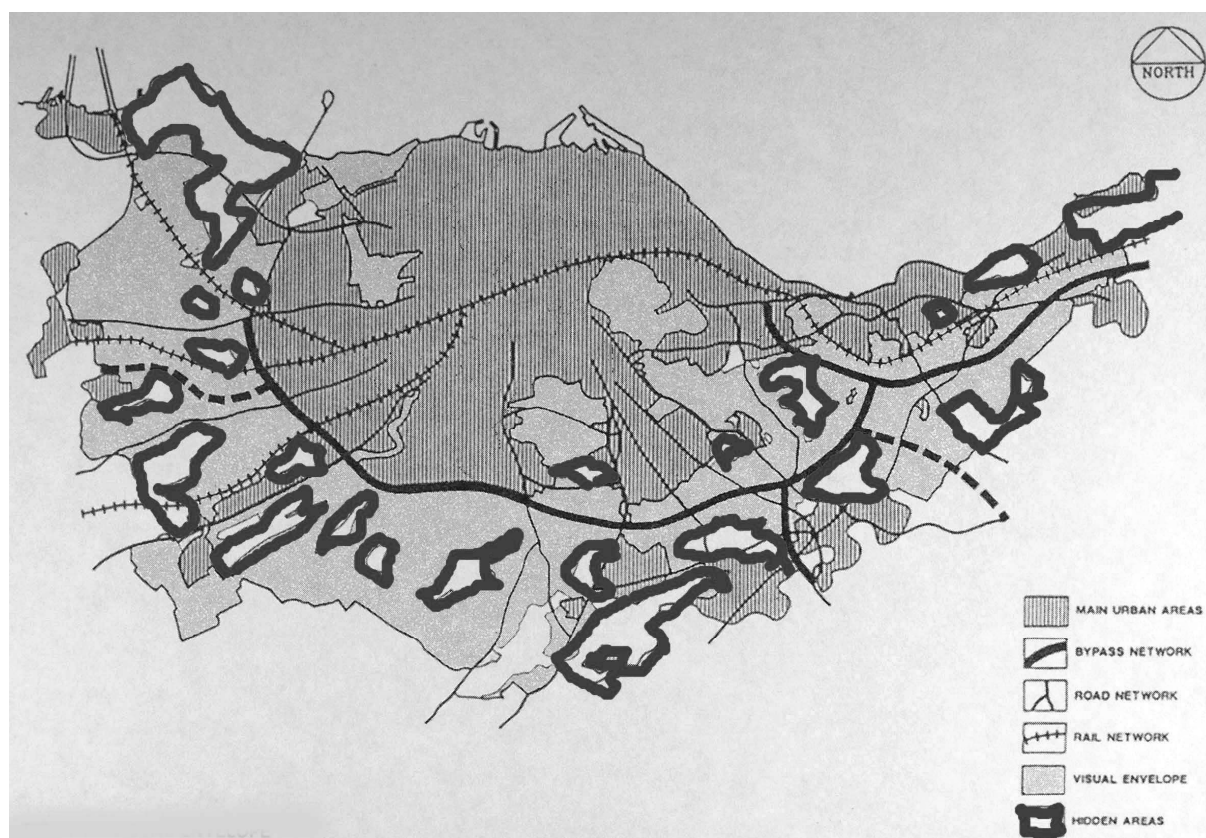
**Streszczenie** Stosowana przez nasz zespół metoda cyfrowej analizy widoczności polega na obiektywnych kryteriach oceny oddziaływania na krajobraz jego elementów. Znalazła uznanie w środowisku zawodowym i kilkakrotnie była wykorzystywana jako narzędzie służące generacji danych wyjściowych dla ekspertyz krajobrazowych. Pozwala ona na wybór optymalnej lokalizacji obiektu, określenie jego maksymalnych wymiarów, wyznaczenie biernej i czynnej ekspozycji danego terenu czy obiektu, ocenę chłonności widokowej określonego obszaru i obliczenie bryły dopuszczalnej kubatury wprowadzanych tam inwestycji. Atrakcje krajobrazowe znajdujące się w terenie determinują parametry modelu analizy widoczności i wymagania dla jakości i szczegółowości modelu terenu. W artykule omówione są stosowane algorytmy, parametry ekspozycji czynnych i biernych stosowane w modelu analizy i wstępne wytyczne dla jakości cyfrowego modelu terenu, w którym możliwe jest przeprowadzanie cyfrowych analiz widokowych.

**Abstract** *The method of visibility digital analysis consists in objective criteria for the assessment of the elements impact on landscape. It enables the choice of object optimum localization, determination of its maximum dimensions, appointing of passive and active exposition for a given object or terrain, visual absorption capacity estimation for the analysed area and calculation of acceptable volume of new investments introduced into this area. This paper describes the results of combining a visibility analyses model with a digital model of the visually attractive terrain, included in GIS. Landscape attractions, lying in the terrain, determine visibility analysis model parameters, and requirements concerning terrain model quality and detail. In the paper we can find description of algorithms used, parameters of passive and active expositions, applied to analysis model, as well as, the directives for the digital terrain model, basing on which visual analyses are possible.*

## WPROWADZENIE

Chłonność widokowa krajobrazu danego obszaru oznacza jego zdolność do przyjęcia nowych elementów, bez utraty tożsamości swojej fizjonomii i jest określana współczynnikiem VAC (*Visual Absorption Capacity*), [1]. Pozwala on 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, która w przypadku płaskiej pustyni lub tafli wody jest bliska zeru.

Od roku 1964, to jest od ukazania się publikacji „*The View from the Road*”, istotnym elementem badań widoków otoczenia drogi jest wprowadzenie pozycji obserwatora będącego w ruchu (Appleyard, 1964). Obecnie jest to powszechny aspekt przedprojektowych studiów krajobrazowych w Ameryce Północnej i krajach europejskich, choć w Polsce rzadko stosowany (Picard, 2004)(ryc. 1).



Ryc. 1. Analiza chłonności widokowej green beltu w Edynburgu (1994). Kolorem czerwonym zaznaczono tereny niewidoczne z obwodnicy – jako potencjalne lokalizacje nowych obiektów.

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 1. Visual Absorption Capacity analysis of green belt in Edinburgh (1994). By red was marked areas invisible from road, as a potential localizations for new objects.

Source: own elaboration.

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

Przedstawione poniżej metody określania chłonności krajobrazowej oparte na cyfrowych modelach terenu realizują jedynie aspekt wizualny. Dane gromadzone na potrzeby tych analiz zawierają informacje o ukształtowaniu terenu i pokrycia.

## MODELE CYFROWE TERENU

Trójwymiarowe modele terenu wykonywane są najczęściej dla wizualizacji zamierzeń projektowych. W przypadku projektów dotyczących architektury krajobrazu modele takie wymagają dużego nakładu pracy dla osiągnięcia należytego w wizualizacji poziomu realizmu i ogromnych mocy obliczeniowych dla ich przetworzenia. 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 przedmiotu.

Zagadnienia krajobrazowe często rozstrzygane są w średnich skalach obejmujących gminę, miasto czy dolinę. Implikuje to potrzebę gromadzenia dużej ilości danych i organizowania ich w struktury systemów informacji przestrzennej. Na szczęście wiele danych przydatnych architektom krajobrazu gromadzonych jest z wielu innych przyczyn. Przykładowo, trójwymiarowe modele terenu konieczne są w procedurach tworzenia ortofotomap. Modele takie mogą być wykorzystywane w analizach krajobrazowych w postaci źródłowej (DEM, TIN) lub w szczególnych przypadkach uzupełnione o elementy pokrycia, które w przypadku połąci lasów mogą występować jako dodatkowa siatka. Dokładność ich jest często wystarczająca dla analizowania widoczności poszczególnych obiektów.

Analizy pola widoku bazują na założeniu, że światło, nośnik widoku, rozchodzi się w środowiskach jednorodnych po liniach prostych. Modele cyfrowe światła stosowane w wizualizacji całkowicie pomijają zjawiska uginania i nakładania fali elektromagnetycznej. Nie przeszkadza to w stosowaniu ich do symulacji zjawisk przestrzennych właściwych dla skal krajobrazowych gdyż uginanie i nakładanie ma znaczenie w odległościach porównywalnych dla długości fali. Komputerowe analizy widoczności wykorzystują cyfrowe modele światła do oznaczania elementów widocznych. Światło tych modeli przesłaniane jest przez obiekty geometryczne w wyniku działania algorytmów wyznaczających powierzchnie widoczne (Ozimek 2002). Modele terenu i pokrycia winny być reprezentowane przez cyfrowe obiekty posiadające powierzchnie pozwalające na łatwe znalezienie punktu przebicia przez wektor światła. Najczęściej reprezentacjami tymi są siatki wielokątowe. Składają się one z punktów, krawędzi i wielokątów. Punkty znajdują się w miejscach występowania

informacji o terenie pochodzących z pomiarów. Generatory siatek wielokątowych łączą te punkty krawędziami tworząc reprezentację TIN (Triangulated Irregular Network) (Longley, 2006). Powierzchnie pomiędzy punktami i krawędziami w zastosowaniach GIS są trójkątne, stąd nazwa reprezentacji. W systemach CAD (Computer Aided Design) powierzchnie mogą mieć więcej punktów. Niezależnie od ilości punktów powierzchnia w siatce wielokątowej obcina promień pochodzący z modelu światła, w wyniku czego na jej powierzchni rozwiązywane jest równanie oświetlenia, którego wynik daje informację o ekspozycji.

W środowiskach, przedstawionych tu ogólnie, cyfrowych modeli dokonuje się analizy widokowe, które mają na celu określanie parametrów, jakie powinny spełniać inwestycje budowlane aby w jak najmniejszym stopniu obniżały wartości krajobrazu. Doświadczenia nabyte w stosowaniu powyższych metod na tym polu wykazują, że nierzadko pozwalają na określenie parametrów, których realizacja podnosi wartości krajobrazowe (Ozimek, 2007). Przykłady, na podstawie których najlepiej można ocenić ich przydatność przedstawione są w dalszej części artykułu.

## **POSZUKIWANIE OBSZARÓW O NAJWIĘKSZEJ CHŁONNOŚCI KRAJOBRAZOWEJ**

Spośród cech terenu mających znaczenie dla analiz widokowych najbardziej obiektywną i trwałą cechą jest jego ukształtowanie. Ono właśnie stało się bazą dla przeprowadzonych badań w rejonie jednego z zamków wchodzących w skład tzw. „Szlaku Orlich gniazd”.

W badaniach chłonności widokowej okolic zamku posłużono się trójwymiarowym modelem terenu (DEM) wykonanym w oparciu o geodezyjne dane cyfrowe. Macierz modelu posłużyła jako kanwa do zbudowania siatki wielokątowej, z którą mogły reagować modele światła. Dla określenia chłonności widokowej posłużono się punktem położonym na największej wysokości. Widok z niego obejmuje swym zasięgiem najbardziej rozległy teren. Dzięki umieszczeniu w tej pozycji modelu światła punktowego uzyskano wykres obrazujący zakres widoczności. Otrzymana w wyniku powyższych rozważań krawędź cienia widokowego posłużyła następnie do przeprowadzenia wolumetrycznej analizy cienia. Badając wysokość uzyskanej bryły (odległość od powierzchni terenu do górnej krawędzi bryły) otrzymano wykres dopuszczalnej wysokości zabudowy. Wysokość ta sprecyzowana została w przedziałach co 5 metrów.

Chłonność widokowa może zostać dodatkowo podniesiona poprzez proponowane ciągi nasadzeń zieleni wysokiej. W oparciu o założenie, że wzdłuż grzbietu przebiegającego z południowego zachodu na północny wschód zostanie wprowadzone zadrzewienie o wysokości 15 metrów wygenerowany został kolejny wykres przedstawiony poniżej.

Mapa powyższa nie ukazuje hipsometrii terenu, tylko wysokości, do których możliwe byłoby budowanie obiektów niewidocznych z zadanego punktu (ryc. 2). Pokazuje ona miejsca, w których możliwa jest lokalizacja obiektów o znacznej wysokości. Przydatność metody podnosi fakt, że mimo doskonałej znajomości terenu autorzy nie widzieli możliwości ukrycia tak dużych obiektów w tej okolicy przed przeprowadzeniem badań.

## **OKREŚLENIE GABARYTÓW NOWEJ ZABUDOWY**

Przedmiotem kolejnego przykładu badań jest opracowanie metody określania wytycznych do projektowania obiektów w miejscach o dużym znaczeniu krajobrazowym. Polem badań był teren zajmowany przez zlikwidowany hotel Forum w Krakowie. Jest to teren wyjątkowy z powodów sąsiedztwa doliny Wisły, Wawelu, Skałki, wpływu na panoramę Starego Miasta i Kazimierza a także zwornikowego położenia planowanej zabudowy w dwu zróżnicowanych strefach przestrzeni miejskiej (ulica Konopnickiej z jednej strony, Bulwar Wołyński z drugiej). Spośród wymienionych wyżej cech projektowanej zabudowy, kluczowym staje się jej gabaryt, scalający parametry linii zabudowy, szerokości elewacji frontowej, oraz wysokości górnej krawędzi elewacji frontowej.

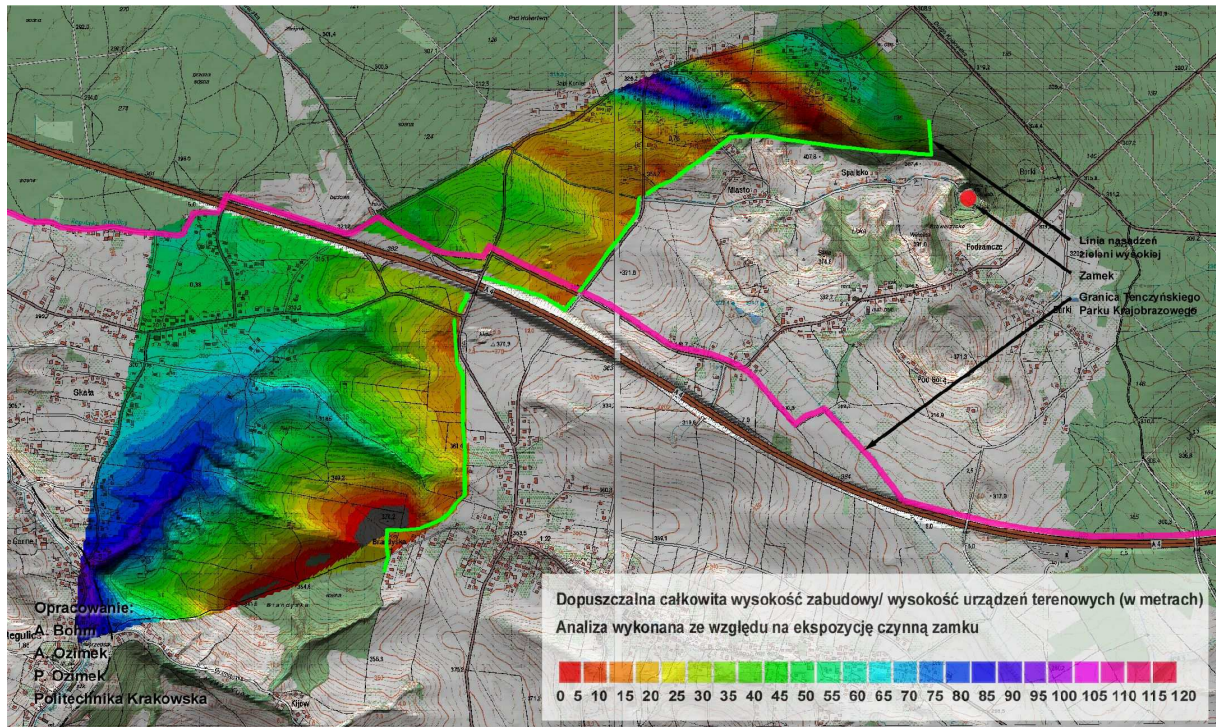
Projektowana bryła, która miałaby stanąć w miejscu hotelu najbardziej ingerować będzie w widok Wawelu, Skałki i Kazimierza z wierzby widokowej Sanktuarium Miłosierdzia Bożego w Łagiewnikach. Podobne algorytmy jak prezentowane w poprzednim przykładzie posłużyły tym razem do określenia gabarytów bryły z możliwością podania jej wymiarów, rzędnych poszczególnych punktów i całkowitej objętości (ryc. 3).

## **BADANIE CHŁONNOŚCI WIDOKOWEJ W PLANOWANIU PRZESTRZENNYM**

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.

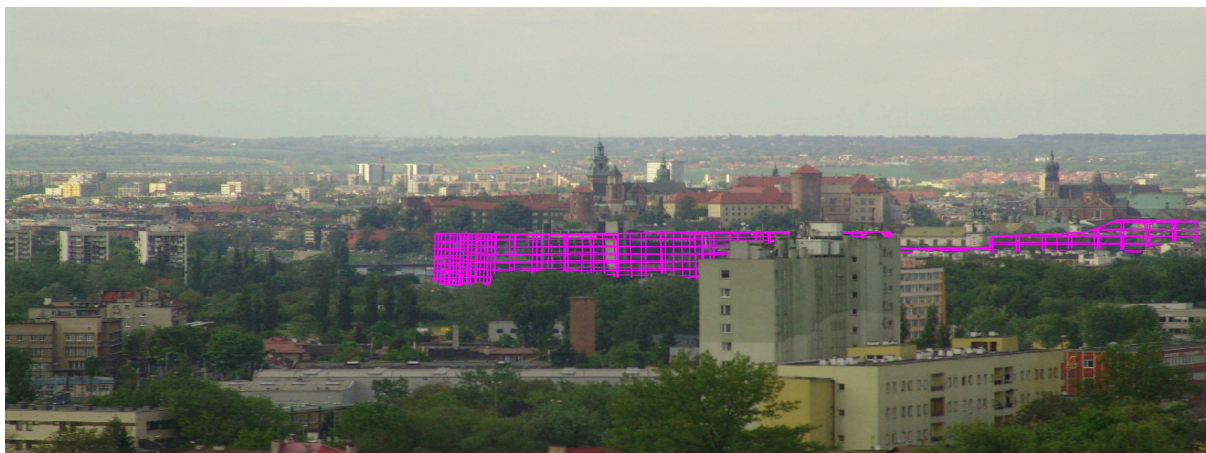
Dla każdego z punktów widokowych znajdujących się po zachodniej stronie rzeki Nysy opracowano wykresy widoczności wykorzystując model światła śledzenia promieni (ryc. 4). Pokazują one miejsca widoczne na poziomie gruntu z uwzględnieniem zadrzewień (kolor zielony) i miejsca potencjalnie widoczne w przypadku usunięcia drzew po którejś ze stron Nysy (kolor żółty i niebieski).





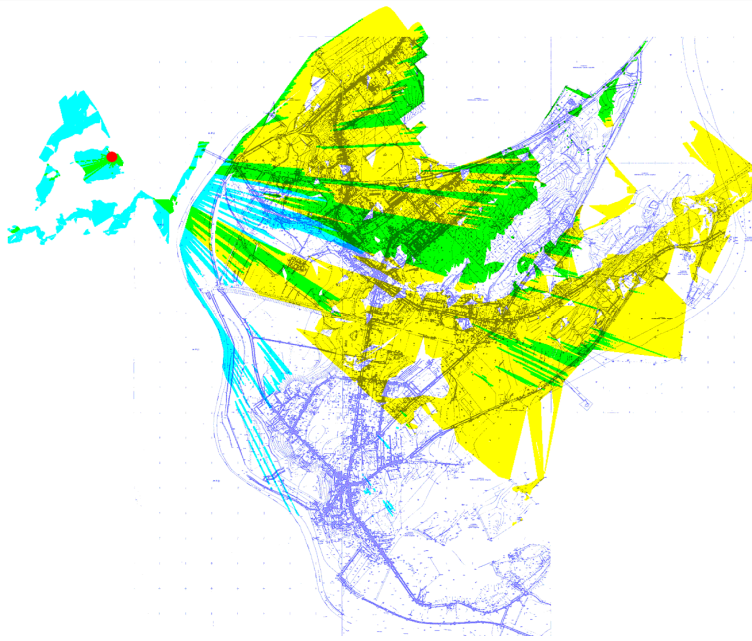
Ryc. 2. Analiza chłonności widokowej dla terenu położonego poza krawędzią cienia widokowego. *Źródło: opracowanie własne.*

Fig. 2. Visual Absorption Capacity analyze of terrain which lays beyond visibility shadow edge. *Source: own elaboration.*



Ryc. 3. Widok z wieży w Łagiewnikach poprzez teren dawnego hotelu Forum na Wawel z zaznaczeniem dopuszczalnego gabarytu nowej zabudowy. *Źródło: opracowanie własne.*

Fig. 3. View from tower in Łagiewniki with marked maximum dimension of building development. *Source: own elaboration.*



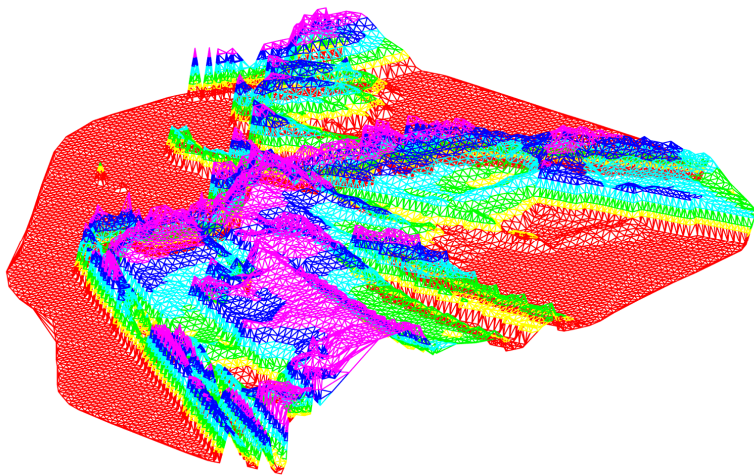
**Ryc. 4.** Przykładowy wykres widoczności dla jednego z punktów widokowych.

*Źródło: opracowanie własne.*

**Fig. 4.** Example of visibility diagram for one of viewpoints.

*Source: own elaboration.*

Wykresy widoczności wyraźnie ukazują krawędzie cienia widokowego, które występują po przeciwnej stronie obszarów pokolorowanych względem punktu widokowego. Są one wynikiem ukształtowania terenu, bądź wystąpienia kurtyn widokowych w postaci zadrzewień. Każda krawędź cienia widokowego została połączona z punktem widokowym, tworząc powierzchnię, która posłużyła następnie do przeprowadzenia wolumetrycznej analizy cienia. Na dwuwymiarowym planie miasta wygenerowano trójwymiarową powierzchnię wizualizującą dopuszczalne wysokości zabudowy, które nie będą widoczne z zadanego punktu (ryc. 5). Powierzchnia ogranicza bryłę, której objętość charakteryzuje chłonność krajobrazową. Dzięki tej metodzie może ona być wyrażana w jednostkach objętości (Ozimek, 2008). Stanowi to zasadniczą zmianę w podejściu do chłonności krajobrazowej względem twórców pojęcia.



**Rys. 5.** Powierzchnia chłonności krajobrazowej.

*Źródło: opracowanie własne.*

**Fig. 5.** Surface of Visual Absorption Capacity.

*Source: own elaboration.*



## ZBIORCZE MAPY WIDOCZNOŚCI

Ostatnie prace mające na celu rozwinięcie metod cyfrowych analiz krajobrazowych opartych na modelach światła związane są z doliną jeziora Czorsztyńskiego. Została ona wybrana jako teren prób i testów ze względu na wybitnie atrakcyjny krajobraz, którego elementami są oprócz malowniczości zalewu i samej doliny, także Pieniny, Tatry, Gorce, Beskid Wysoki i Sądecki. Przy takim nagromadzeniu elementów tworzących krajobraz, także mających charakter rozległy, analizy polegające na badaniu widoczności poszczególnych punktów są dalece niewystarczające. Istotne staje się opracowanie metod dających ogólny obraz zagadnienia.

Pierwsze próby polegały na wykonaniu map widoczności zbierających dane z wykresów, w których punkty światła ustawiane były systematycznie w siatce co 100m, na odpowiedniej rzędnej wynikającej z ukształtowania terenu.



**Ryc. 6.** Mapa widoczności systematycznego próbkowania. Uwzględniono widoczność doliny J. Czorsztyńskiego, Tatr i Babiej Góry. Po lewej: mapa poglądowa ukazująca obszar objęty mapą widoczności. *Źródło: opracowanie własne.*

**Fig. 6.** Visibility map based on discreet sampling. visibility of Czorsztyń Lake valley taken into consideration. On the left: Visual map showing the area of visibility map.

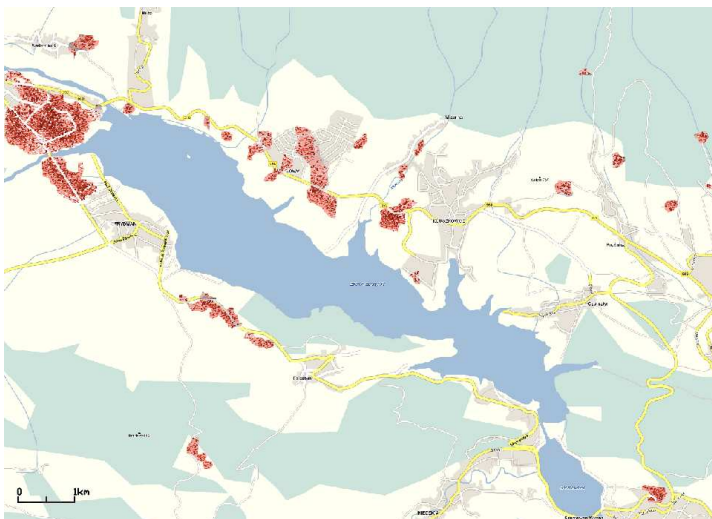
*Source: own elaboration.*

**Ryc. 7.** Symulacja rozkładu losowego usług turystycznych mających dostęp do rozległego widoku.

*Źródło: opracowanie własne.*

**Fig. 7.** Simulation of random distribution of tourist services that have access to extensive view.

*Source: own elaboration.*





Metoda pozwala na uzyskanie informacji o przestrzennym rozkładzie widoczności na całym terenie objętym opracowaniem (ryc. 6). Miejsca jaśniejsze mają widoczność rozległych krajobrazów. Są także widoczne z większej ilości miejsc. Takie mapy mogą ukazywać całość zjawiska, mogą także dotyczyć jednego tematu. Wiadomo, że wybitnie atrakcyjny jest widok Tatr. Dzięki mapie tematycznej widoczności Tatr można wskazać odpowiednie miejsca i waloryzować je pod względem rozległości widoku. Zbiorcza mapa wskazuje także miejsca najlepiej widoczne, które na tej podstawie mogą być obejmowane ochroną wynikającą z dbałości o jakość krajobrazu.

## MOŻLIWOŚCI ROZWOJU

W opracowywaniu zbiorczych map widoczności napotkano ograniczenia wynikające z wydolności systemów komputerowych. Wykonanie rzetelnych map, dających rzeczywiste informacje o widoczności w tak rozległych obszarach wymaga modeli terenu składających się z milionów poligonów. W przypadku obszaru opracowania doliny J. Czorsztyńskiego mamy do czynienia z modelem TIN składającym się z niemal 15mln trójkątów. Generowanie map pochłania dużo czasu i mocy obliczeniowych. Dla optymalizacji tego procesu opracowywane są procedury zrównoleglające obliczenia przez wykorzystanie wielordzeniowych procesorów graficznych. Wprowadzenie tych procedur winno znacznie przyspieszyć obliczenia. Spodziewane jest przyspieszenie umożliwiające pracę nad analizami w czasie rzeczywistym co w znacznym stopniu ułatwić powinno podejmowanie decyzji.

Materiały uzyskiwane z analiz opartych na cyfrowych modelach światła stanowią podstawę do podejmowania decyzji i mogą być danymi do wykonywania symulacji i opracowywania różnych scenariuszy rozwoju i zagospodarowywania terenu. Jasne miejsca na mapach widoczności mają rozległą widoczność. Mogą w nich być budowane obiekty usług turystycznych. Jest jednak wiele czynników wpływających na rozwój tych usług. Zestawianie map widoczności z innymi warstwami systemów informacji przestrzennej prowadzi do wyznaczania potencjalnych miejsc, w których takie obiekty mogą być budowane. Symulacja, w której te informacje są podkładem dla automatów komórkowych może dać odpowiedź na pytanie, jak intensywny może być ruch w danym kierunku (ryc. 7).

## LITERATURA

- Smardon R.C., Palmer J.E., Felleman J. P., 1987: Foundations for Visual Project Analysis, New York, str. 214.
- Appleyard D., Lynch K., Myer J.R., 1964: The View from the Road, MIT Cambridge
- Cullen G., 1961 The Concise Townscape, London:17-19.
- Picard P., 2004:Targets and Threshold Levels and Formulation for the Visual Quality Indicator for Invermere TSA, Vancouver.
- Ozimek P., 2002: Zastosowanie algorytmów światła lokalnego w wyznaczaniu wykresów widoczności". Praca doktorska wykonana w WAPK pod kier. Aleksandra Böhma.
- Longley Paul A., Michael F. Goodchild, David J. Maguire, DavidW. Rhind, 2006: GIS. Teoria i praktyka, Warszawa: 183-205.
- Ozimek A., Ozimek P., 2007: Visibility method for landscape analyses in historical city center environment, [w:] 8th International Conference on Information Technologies in Landscape Architecture, Bernburg 2007, Red. E. Buhman, Dessau: 380-391.
- Ozimek A., Ozimek P., 2008: 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.