

Szymon Chmielewski¹, Tadeusz Grabowski^{2,3}

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Katedra Łąkarstwa i Kształtowania Krajobrazu
szymon.chmielewski@up.lublin.pl,  <https://orcid.org/0000-0003-1250-7688>

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Szkoła Doktorska

³ Roztoczański Park Narodowy
tadeuszgrab@poczta.onet.pl,  <https://orcid.org/0000-0001-8640-6391>

Wskaźnik ekspozycji widokowej jako narzędzie optymalizacji punktów widokowych – studium przypadku Szczebrzeszyńskiego Parku Krajobrazowego

Zarys treści: Punkty widokowe stanowią podstawowy zasób fizjonomiczny krajobrazu, umożliwiają obserwację panoram, a tym samym warunkują przepływ kulturowych usług ekosystemowych. Widok panoramiczny sam w sobie bywa celem podejmowanej aktywności turystycznej, stąd też funkcjonowanie punktów widokowych związane jest z siecią tras turystycznych. Optymalizacja sieci punktów widokowych jest więc kluczowa dla prawidłowego kształtowania funkcji turystycznej regionu oraz ochrony jego zasobów fizjonomicznych. Celem pracy jest metodyczna propozycja wskaźnika ekspozycji widokowej, będącego geoinformacyjnym narzędziem wspierającym proces wyznaczania i optymalizacji sieci punktów widokowych. Badanie przeprowadzono na przykładzie Szczebrzeszyńskiego Parku Krajobrazowego, w efekcie zaproponowano rozbudowę istniejącej sieci do 45 punktów. Wnioski wypływające z metody i jej ograniczenia omówiono w kontekście praktyki przygotowania operatów ochrony walorów krajobrazowych.

Słowa kluczowe: wskaźnik ekspozycji widokowej, punkty widokowe, Szczebrzeszyński Park Krajobrazowy, zasoby fizjonomiczne krajobrazu, kulturowe usługi ekosystemowe

Wprowadzenie

Punkty widokowe to obok ciągów widokowych, osi widokowych i przedpoli ekspozycji widokowej główne elementy tworzące zasoby fizjonomiczne krajobrazu. Punkt widokowy to miejsce, z którego można obserwować panoramę lub szczególnie fragment krajobrazu (Raszeja i in. 2022). Jeżeli możliwość obserwacji panoramy widokowej nieprzerwanie towarzyszy przemierzającemu się

obserwatorowi, wówczas punkty widokowe formują ciąg widokowy. Podstawowa funkcja punktu widokowego związana jest z percepcją wzrokową krajobrazu poprzez możliwość obcowania z panoramą – widzianą rozległą przestrzenią z wyodrębnionym przedpolem ekspozycji. Punkty widokowe mają charakter naturalny, gdy obserwacja panoramy możliwa jest bez dodatkowej infrastruktury, np. w postaci wież lub podestów widokowych. Sztuczne punkty widokowe powstają w wyniku ingerencji człowieka tworzącej konstrukcje wertykalne pozwalające znacząco zwiększyć pole ekspozycji widokowej. Naturalne i sztuczne punkty widokowe mogą być znakowane zarówno w terenie, jak i na mapach turystycznych. Ułatwia to użytkownikowi krajobrazu odszukanie widoku lub panoramy w terenie. Praktyka znakowania punktów widokowych jest powszechna przede wszystkim w odniesieniu do obszarów objętych prawnymi formami ochrony przyrody oraz pełniącymi istotne funkcje turystyczne. Znakowane punkty widokowe, naturalne i sztuczne, tworzą przestrzennie powiązany układ – sieć punktów widokowych. Punkt widokowy wyznaczony w oderwaniu od sieci szlaków turystycznych (znakowanych lub nie) jest fizycznie niedostępny dla niewykwalifikowanego użytkownika krajobrazu i tym samym nie pełni funkcji udostępniania panoramy lub widoku (pewnym wyjątkiem są tu ambony myśliwskie, które jako sztuczne punkty widokowe dedykowane są grupie wykwalifikowanych użytkowników i z tej racji nie są związane z siecią tras turystycznych).

Obserwacja panoramy i obcowanie z walorami fizjonomicznymi krajobrazu wiąże się z powstaniem określonych wrażeń, przeżyć estetycznych, inspiracji, doznań, klasyfikowanych w teorii usług ekosystemowych (Costanza i in. 1997) jako element kulturowych usług ekosystemowych (usługi 3.1.2.4 wg klasyfikacji CICE v5.1). Wyznaczenie naturalnych punktów widokowych lub wskazanie miejsc odpowiednich do lokalizacji punktów sztucznych jest więc zadaniem istotnym służącym ochronie zasobów krajobrazowych, poprawnego kształtowania funkcji turystycznej oraz możliwości przepływu i utrzymania wybranych usług ekosystemowych (Fang i in. 2015). W praktyce punkty widokowe najczęściej wyznaczone są „metodą krajoznawczą”, opartą na dobrej znajomości terenu i analizie treści mapy topograficznej (rysunek poziomic oraz form pokrycia terenu). Przemierzając się bezpośrednio w terenie, zapamiętujemy miejsca, z których dostępna jest atrakcyjna widokowo panorama, przekazujemy tę informację innym i w ten sposób utrwalamy wiedzę o punktach widokowych. Metoda krajoznawcza teoretycznie sprawdza się na obszarach o długiej tradycji turystycznej, ale w praktyce nie daje stuprocentowej pewności, że wszystkie punkty widokowe zostały wyznaczone. Bez dokonania szczegółowej wizji terenowej trudno obiektywnie ocenić, czy punkty widokowe wyznaczone są w miejscach optymalnych, zapewniających możliwie maksymalne pole i przedpole ekspozycji widokowej, a zarazem wysokie walory kompozycyjne panoramy; być może są jeszcze jakieś „widoki do odkrycia”. W praktyce przygotowania operatów ochrony walorów krajobrazowych dane o lokalizacji punktów widokowych uzyskane z mapy turystyczno-przyrodniczej weryfikowane są wyłącznie w terenie. Z założenia przyjmuje się, że punkty widokowe „z mapy” są dobrze wyznaczone. W praktyce ocen oddziaływania wizualnego przedsięwzięcia na krajobraz dane źródłowe (mapy lub bazy danych

przestrzennych) mogą nie wskazywać lokalizacji naturalnych punktów widokowych, co nie znaczy, że ich tam nie ma. Bez wsparcia metod geoinformacyjnych wskazanie wszystkich miejsc widokowych wydaje się trudne.

Celem podejmowanych badań jest omówienie teoretycznych i praktycznych aspektów geoinformacyjnego wsparcia procesu wyznaczania sieci naturalnych punktów widokowych. W pracy przedstawiono wskaźnik ekspozycji widokowej (ang. *visual exposure index*, VEI) będący podstawą do optymalizacji sieci naturalnych punktów widokowych. Wartości wskaźnika opisują potencjalną przydatność terenu do lokalizacji punktu widokowego, co w połączeniu z siecią tras turystycznych daje podstawy do całościowego spojrzenia na potencjał widokowy analizowanego krajobrazu i optymalizację sieci punktów widokowych. Omawiany wskaźnik ma charakter przestrzenny i bazuje na wynikach analizy widoczności (Gallagher 1972) wykonywanej metodą *viewshed* (Felleman 1979) w środowisku oprogramowania systemów informacji przestrzennej (GIS). Zastosowanie metody geoinformacyjnej ma uzasadnienie teoretyczne i praktyczne. Teoretycznie krajobraz, pomimo jego multisensorycznego charakteru (Bartkowski 1985), można uznać za „obszar postrzegany przez człowieka” (CE 2000). W praktyce daje to przywilej narzędziom GIS oferującym analizę widoczności typu *viewshed* zaimplementowaną już w bardzo wczesnych rozwiązaniach GIS. Prace badawcze prowadzone są na przykładzie Szczepieszyńskiego Parku Krajobrazowego (SPK) (woj. lubelskie), którego zasoby fizjonomiczne nie były dotąd szczegółowo poznane. Omawiany w pracy wskaźnik w praktyce zastosowany został podczas prac nad operatem ochrony walorów krajobrazowych SPK w 2021 r. (Chmielewski 2021).

W literaturze przedmiotu problem wyboru optymalnego zestawu punktów widokowych pierwotnie zdefiniowany został jako *Art Gallery Problem*. W 1975 r. matematyk Václav Chvátal zauważył, że minimalna liczba punktów obserwacyjnych, z których można zobaczyć każdy punkt we wnętrzu wielokątnego pomieszczenia, wynosi $n/3$, gdzie n jest liczbą kątów analizowanego pomieszczenia (Chvátal 1975, Honsberger 1976). W 1979 r. Benedikt opracował komputerowy algorytm *isovist*, pozwalający rozwiązać *Art Gallery Problem* w dwuwymiarowym, cyfrowym modelu przestrzeni. Przyjmując założenie, że każdy punkt obserwacyjny ma przypisane pole widoczności, możliwe jest stworzenie geometrycznego modelu wyznaczającego minimalną liczbę punktów niezbędną do całkowitego pokrycia analizowanego obszaru polem widoczności (Doherty 1984). W praktyce analiz przestrzennych GIS algorytm pozwalający wyznaczyć minimalną liczbę punktów obserwacyjnych funkcjonuje pod nazwą *Minimal Isovist Sets* (MIS) (Turner i in. 2001) i znajduje zastosowanie przede wszystkim w analizie morfologii tkanki miejskiej (Batty 2001), optymalizacji rozmieszczenia kamer monitoringu (Rana 2006, Yaagoubi i in. 2015), ale również analizie punktów widokowych w krajobrazie (Chmielewski i in. 2020). Algorytm MIS wyszukuje zbiór wszystkich punktów widokowych, zakładając, że poruszający się obserwator odwiedzi je wszystkie i uzyska pełen ogład krajobrazu. Tym samym metoda ta ma swoje uzasadnienie w analizach krajobrazowych, bardziej w odniesieniu do wskaźnikowego opisu malowniczości i otwartości krajobrazu wyrażonego w ogólnej liczbie punktów widokowych (Tveit i in. 2006, Fry i in. 2009) niż optymalizacji ich lokalizacji

względem możliwości obserwacji rozległej panoramy widokowej. Ponieważ metoda MIS operuje na dwuwymiarowych danych wektorowych, technicznie ogranicza to możliwość analizy ukształtowania i pokrycia terenu – kluczowych czynników determinujących pole ekspozycji panoramy. Ograniczenia te nie dotyczą metody *viewshed*, operującej na danych rastrowych przedstawiających numeryczny model terenu (NMT) lub numeryczny model powierzchni terenu (NMPT). Algorytmy do optymalizacji sieci punktów widokowych w oparciu o dane NMPT i metodę *viewshed* przedstawione zostały jak dotąd przez trzy zespoły badawcze. W 2016 r. Shi i Xue zaproponowali algorytm pozwalający na wyznaczenie optymalnej lokalizacji wież przeciwpożarowych w warunkach zróżnicowanej topografii (minimalna liczba wież pozwalająca obserwować maksymalnie duży obszar). Natomiast rozwiązania przedstawione przez Yu i in. (2016) oraz Wang i Dou (2019), nie ograniczają się tylko do wskazania minimalnego zestawu punktów (analogicznie jak w metodzie metody MIS), lecz dają użytkownikowi możliwość kontrolowania ostatecznej liczby punktów widokowych poprzez stopniowe odrzucanie punktów o najmniejszym polu ekspozycji widokowej. Cecha ta może być potencjalnie przydatna w procesie wyznaczania punktów widokowych w ramach ochrony krajobrazu i kształtowania jego funkcji turystycznej.

Istotą narzędzi GIS jest wsparcie procesu decyzyjnego (Longley i in. 2006), nie zaś autonomiczne podejmowanie decyzji, tak też należy traktować użyteczność omówionych powyżej algorytmów oprogramowania GIS. Spośród rozwiązań zaproponowanych w wyniku działania algorytmów komputerowych, użytkownik, mając świadomość ograniczeń poszczególnych metod, może wybrać te, które są najbliższe jego oczekiwaniom. Miarą doskonałości algorytmu jest więc przedstawienie rozwiązania spełniającego oczekiwania użytkownika. Żaden z powyższych algorytmów nie jest dedykowany analizom krajobrazowym *sensu stricto*, ale można przyjąć, że spośród punktów widokowych wyznaczonych np. metodą filtrowania kandydatów (Wang, Dou 2019), wskazane punkty, o ile będą zlokalizowane przy szlakach turystycznych, zapewnią możliwość obserwacji panoramy. W odróżnieniu od metod typu MIS pryncypium wyznaczania naturalnych punktów widokowych w krajobrazie nie narzuca warunku minimalnego nakładania się poszczególnych pól widoczności. Innymi słowy, widoczny fragment krajobrazu może być współdzielony pomiędzy poszczególnymi panoramami widokowymi. To główna cecha, dla której algorytmy typu MIS nie mogą być wprost implementowane do badań krajobrazowych. W niniejszej pracy, inspirowanej sposobem działania algorytmów typu MIS, zaproponowano nieco odmienne podejście – punkty widokowe nie są wyznaczone przez algorytm komputerowy, lecz przez operatora GIS, który na podstawie przestrzennego zróżnicowania wartości VEI świadomie planuje punkty widokowe w obrębie sieci tras turystycznych. Pozwala to uwzględnić istniejące już i dobrze rozpoznawalne w krajobrazie miejsca ekspozycji panoramy widokowej oraz wskazać miejsca dotychczas nieodkryte. Wartości VEI interpretowane są jako przydatność danego miejsca do lokalizacji punktu widokowego z uwzględnieniem kryterium rozległego pola ekspozycji panoramy widokowej; wartości wskaźnika pozwalają porównać potencjał ekspozycji widokowej różnych obszarów *per se*.

Cel opracowania, materiały, metody i opis obszaru badań

Zasadniczym celem opracowania jest wsparcie procesu podejmowania decyzji dotyczących wyboru naturalnych punktów widokowych w krajobrazie poprzez dostarczenie wskaźnika przestrzennego opisującego ekspozycję widokową krajobrazu. Zaproponowana metoda wynika z praktyki przygotowania operatów ochrony walorów krajobrazowych oraz ocen oddziaływania wizualnego inwestycji na krajobraz, gdzie jednym z zadań jest inwentaryzacja i charakterystyka zasobów fizjonomicznych krajobrazu, w tym delimitacja punktów widokowych.

W pracy wykorzystano różne materiały źródłowe. Wysokościowe dane pomiarowe uzyskano w drodze laserowego skanowania lotniczego – chmura punktów 3D o gęstości 4 pkt/m² (ISOK 2012). Cyfrową ortofotomapę (terenowa wielkość piksela 0,25 m) przygotowano ze zdjęć lotniczych zarejestrowanych w 2020 r. w barwach naturalnych (GUGiK 2021). Dane dotyczące przebiegu znakowanych tras turystycznych opracowano samodzielnie jako plik wektorowy na podstawie dwóch źródeł: mapy turystyczno-przyrodniczej SPK wydanej w skali 1:50 000 (Kartpol 2005) oraz geoportalu województwa lubelskiego (gis.lubelskie.pl). Uszczegółowienie przebiegu tras turystycznych uzgodniono z Edwardem Słoniewskim, zajmującym się znakowaniem szlaków SPK bezpośrednio w terenie. Dane na temat przebiegu aktualnej granicy SPK, uzyskano bezpośrednio od Zespołu Lubelskich Parków Krajobrazowych o. Zamość (plik w formacie Esri Shapefile/EPSS 2180).

Tok postępowania metodycznego obejmował pięć etapów, z których cztery stanowiły prace kameralne, etap piąty polegał na terenowej weryfikacji uzyskanych wyników.

W pierwszym etapie pobrano wysokościowe dane pomiarowe w formacie .las (Heidemann i in. 2014) obejmujące 355 plików o łącznej objętości 140 GB. Dane pobrano tak, aby ich zasięg pokrywał obszar nieco większy, przynajmniej 1 km od granicy SPK. Dane pomiarowe poddano filtracji i konwersji do NMT (klasa grunt) oraz NMPT (klasa wegetacji średniej, wysokiej oraz budynków). Analogicznie przygotowano rastrową warstwę obszarów wegetacji wysokiej. Pochodne rastrowe wygenerowano, przyjmując terenową wielkość piksela 5 m. Na potrzeby wizualizacji wyników przygotowano również rastrowy model cieniowanej rzeźby terenu.

Drugi etap obejmował prace związane z analizą widoczności typu *viewshed*, której wyniki były podstawą do obliczenia wartości VEI. Analizę wykonano algorytmem *reverse viewshed* (Fisher 1996), używając jako danych źródłowych NMT i NMPT oraz zbioru punktów pełniących funkcję potencjalnych punktów widokowych (PPW). Na potrzeby prowadzonych prac przyjęto, że PPW tworzą regularną siatkę punktów oddalonych od siebie o 100 m (odległość 2D) w obrębie granic administracyjnych SPK. Ponieważ punkty widokowe z zasady nie są lokalizowane na obszarach pokrytych wegetacją wysoką, ze zbioru punktów usunięto te, które pokrywają się z warstwą wegetacji wysokiej. Dla tak wyznaczonych PPW przyjęto parametr obserwacji widoku o kącie poziomym wynoszącym 360°, kątach pionowych -90° i $+90^\circ$ oraz maksymalnym zasięgu widoku. Wyniki analizy widoczności zapisano w rastrowym formacie TIFF, w którym wartość piksela oznaczała

liczbę PPW widocznych z analizowanego piksela. Ponadto analizę widoczności powtórzono, używając algorytmu *vieshed* (Felleman 1979), który w odróżnieniu od algorytmu *reverse viewshed* wyznacza tzw. pole ekspozycji czynnej, uzyskane różnice i podobieństwa poddano dyskusji.

W etapie trzecim obliczono wartość VEI. Wynik analizy widoczności zapisany został w postaci rastrowej, w której wartość każdego piksela odpowiadała łącznej liczbie PPW, z których widać analizowany punkt widokowy (piksel). Przyjmując, że wszystkie PPW użyte podczas analizy stanowią 100%, wartości rastra przeliczono na procenty metodą algebry map rastrowych. Uzyskany w ten sposób wskaźnik – VEI – w ujęciu procentowym opisuje część krajobrazu otwartego (obszary niezalesione) SPK, z której widoczny jest analizowany piksel. Przy założeniu wzajemnej widoczności pomiędzy obserwatorem i obszarem obserwowanym jest to interpretowane jako potencjał miejsca (punktu) do udostępniania widoków panoramicznych.

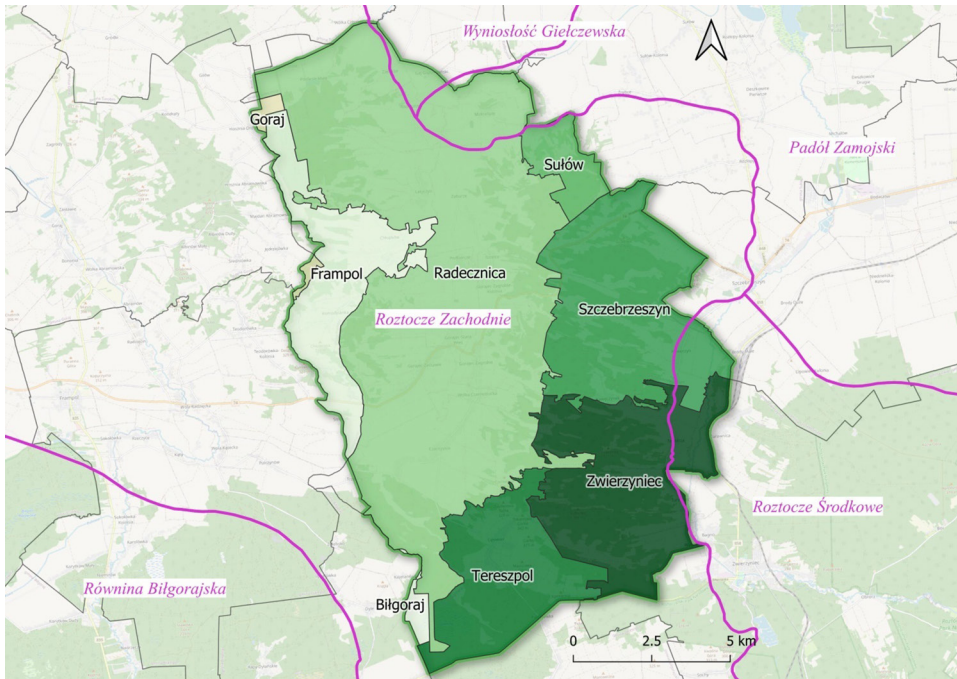
W etapie czwartym warstwę wynikową VEI poddano wizualizacji w oprogramowaniu klasy desktop-GIS, stosując kolorową skalę barwną i klasyfikującą wartości VEI do 10 przedziałów. Jako dodatkową warstwę wizualizacji wykorzystano wektorową bazę danych o przebiegu szlaków turystycznych oraz cyfrową ortofotomapę. Na tej podstawie operator GIS wyszukiwał miejsca o wysokich wartościach VEI zlokalizowane w okolicach szlaków turystycznych. Jako naturalne punkty widokowe wybierane były miejsca charakterystyczne w krajobrazie, np. skrzyżowania lub rozstaje dróg, okolice samotnych drzew, polany. W ramach strategii przyjętej w operacie ochrony walorów krajobrazowych SPK (Chmielewski 2021) uzgodniono, że liczba punktów widokowych w SPK nie powinna być większa niż 50, co ściśle wynika z kosztów, jakie generuje każdy punkt (oznakowanie, utrzymanie, ewidencjonowanie), oraz ogólnej długości sieci znakowanych tras turystycznych.

Ostatni etap prac metodycznych (etap 5) polegał na terenowej weryfikacji punktów zaproponowanych przez operatora GIS. Baza danych z proponowanymi punktami widokowymi wgrana została do pamięci odbiornika GNSS (Hi Target Q-Star 8) celem ułatwienia nawigacji w terenie. W punktach odszukanych w terenie wykonywano dokumentację fotograficzną metodą zdjęć panoramicznych. W ramach dalszych procedur walory widokowe zarejestrowanych panoram oceniane były pod kątem fizjonomicznym. Jako niezwiązane bezpośrednio z obliczonymi wartościami VEI nie są przedmiotem wyników opisywanych w ramach tej pracy.

Obszar badań

SPK został utworzony rozporządzeniem nr 3 Wojewody Zamojskiego z dnia 22 stycznia 1991 r. w sprawie wprowadzenia ochrony walorów wypoczynkowych i krajobrazowych (Dz. Urz. Woj. Zamojskiego z 1991 r. nr 5, poz. 48). Park obejmuje powierzchnię 19 370,90 ha i położony jest w gminach: Biłgoraj, Frampol, Goraj i Terespol w powiecie biłgorajskim oraz gminach: Radecznica, Sułów, Szczepietyn i Zwierzyniec w powiecie zamojskim. Dla SPK nie została wyznaczona otulina (ryc. 1). Na tle podziału na mezoregiony Polski, SPK leży na styku czterech

mezoregionów: Kotlina Zamojska (343.19), Wyniosłość Giełczewska (343.17), Roztocze Zachodnie (343.21), Roztocze Środkowe (343.22). Na pokrywających Roztocze Zachodnie lessach wykształciły się urodzajne gleby, co spowodowało znaczne wylesienia na rzecz rozwoju produkcji rolniczej. Dzięki temu powstał charakterystyczny krajobraz – faliste wzgórza pokryte malowniczymi wielowstęgowymi rozłogami pól, oddzielonych miedzami z zadrzewieniami śródpolnymi. Krajobraz wielowstęgowych rozłogów pól można uznać za wyróżnik SPK i główny walor panoram widokowych tego parku. Krajobraz SPK charakteryzuje również silnie rozbudowany system wąwozów, co stanowi główną atrakcję turystyki krajoznawczej, czynnej rekreacji rowerowej i pieszej oraz edukacji przyrodniczej.



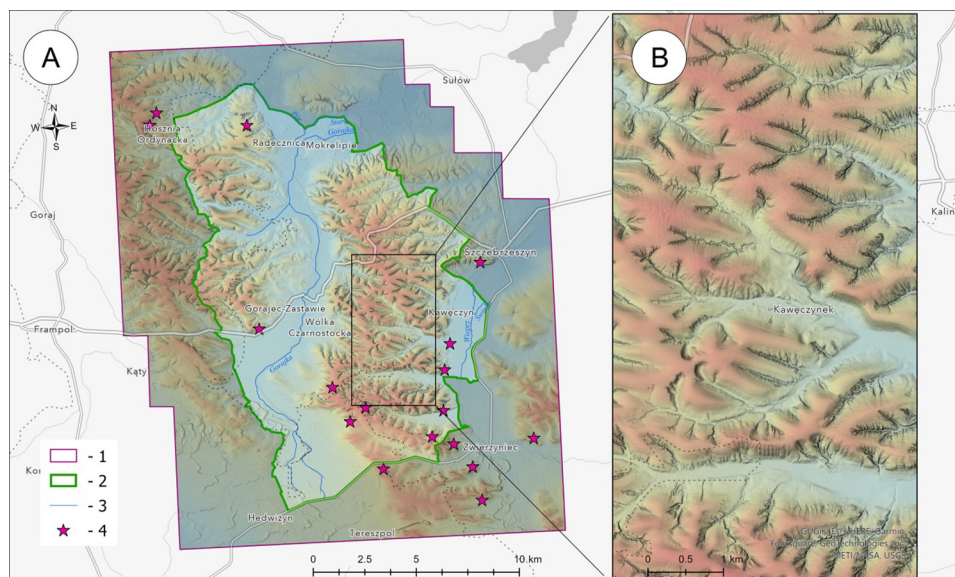
Ryc. 1. Granica Szczepieszyńskiego Parku Krajobrazowego (linia zielona) na tle podziału administracyjnego (obszary poszczególnych gmin rozróżniono odcieniami koloru zielonego) oraz mezoregionów Polski (granice mezoregionów oznaczono kolorem różowym)

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki

Efektom realizacji pierwszego etapu postępowania metodycznego jest rastrowy model NMT i NMPT wraz z maską wegetacji wysokiej. Na podstawie zakresu wartości pikseli NMT ustalono, że najniższym położonym obszarem w obrębie SPK jest dolina rzeki Stara Gorajka w okolicach Radeckznicy (202,03 m n.p.m.) w północnej części parku. Najwyższym wyniesieniem nad poziom morza jest szczyt Dąbrowa

w okolicach wsi Lipowiec (343,81 m n.p.m.); deniwelację terenu sięgają 141,8 m. Znaczna część wzniesienia Dąbrowa jest zalesiona, co wyjaśnia brak znakowanego punktu widokowego bezpośrednio w tym miejscu. W wyniku analizy treści mapy przyrodniczo-turystycznej SPK (Kartpol 2005) zinventaryzowano 17 znakowanych na mapie punktów widokowych (ryc. 2). W dalszej części badań lokalizacja tych punktów widokowych jest przedmiotem konfrontacji względem wartości VEI.

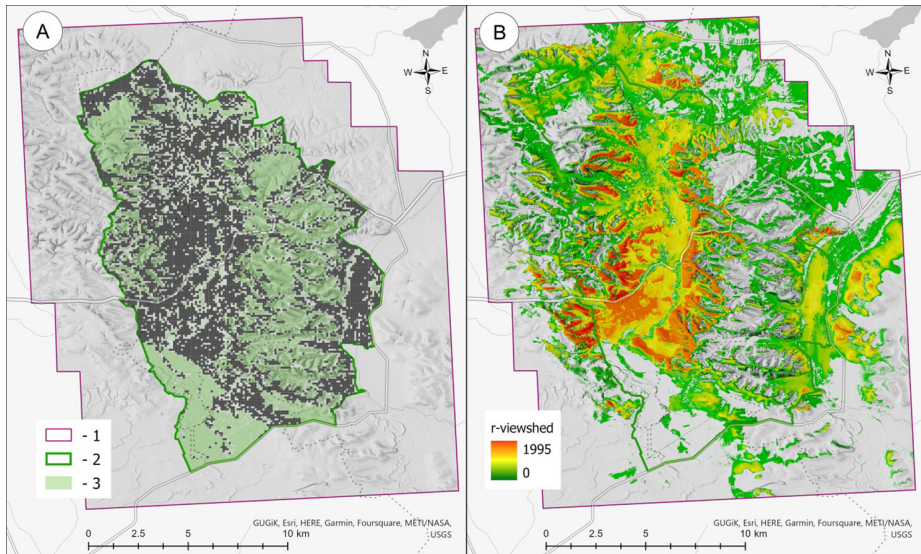


Ryc. 2. Cieniowana rzeźba obszaru analizy (A) oraz fragment gęstej sieci wąwozów nalesowanych w okolicach wsi Kawęczynek (B)

1 – zasięg danych pomiarowych użytych do wykonania analiz, 2 – granica SPK, 3 – rzeki, 4 – znakowane na mapie turystyczno-przyrodniczej punkty widokowe

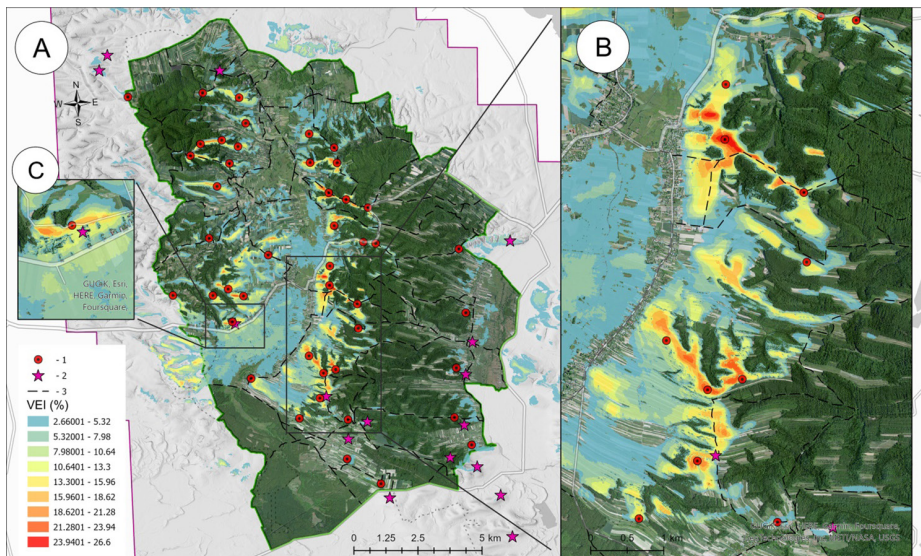
Źródło: opracowanie własne.

Do wykonania analiz widoczności metodą *reverse viewshed* zastosowano regularną siatkę PPW rozmieszczonych na obszarze SPK, z wyłączeniem obszarów pokrytych zielenią wysoką oraz zlokalizowanych na dachach budynków. Łącznie wygenerowano 7900 PPW (ryc. 3A). Dzięki umiarkowanej rozdzielczości danych rastrowych (piksel wielkości 5 m) wynik działania algorytmu *reverse viewshed* uzyskano w relatywnie krótkim czasie (14 min) jak dla analizy tak rozległego obszaru. Wartość maksymalna piksela warstwy wynikowej wyniosła 1995, co oznacza, że dane miejsce jest widoczne z przynajmniej 1995 PPW użytych w analizie widoczności (ryc. 3B). Zgodnie z opisem metodycznym, warstwę wynikową przeliczono do wartości procentowych tożsamyh ze wskaźnikiem ekspozycji widokowej (VEI). Bazując na wizualizacji wartości VEI i sieci tras turystycznych, operator GIS zaproponował lokalizację 45 punktów widokowych (ryc. 4). W przypadku 4 punktów stwierdzono zgodność pomiędzy punktami znakowanymi na mapie turystyczno-przyrodniczej SPK a punktami zaproponowanymi na podstawie wartości VEI – przykład takiej zgodności przedstawiono na rycinie 4c.



Ryc. 3. Wynik generowania sieci punktów symulujących potencjalnych obserwatorów krajobrazu (A) oraz wynik działania algorytmu *reverse-viewshed* (B) opisującego wielkość obszaru (liczbę punktów stanowiących centroid kwadratu 100×100 m), z którego widoczny jest analizowany piksel warstwy wynikowej

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 4. Przestrzenny rozkład wartości VEI i zaproponowane na jego podstawie naturalne punkty widokowe

A – rozmieszczenie punktów widokowych w obrębie SPK, B – okolice wsi Lipowiec o wybitnych walorach ekspozycji widokowej (maksymalne wartości VEI), C – przykład zgodności znakowania punktów widokowych

Źródło: opracowanie własne.

Należy zwrócić uwagę, że punkty znakowane na mapie turystyczno-przyrodniczej SPK skupione są przede wszystkim w południowo-zachodniej części parku i pomijają atrakcyjną widokowo część centralną i północną. Przestrzenny rozkład wartości VEI wyraźnie wskazuje na wysoki potencjał do udostępniania widoku panoramicznego, również północnej części SPK, ale przede wszystkim części centralnej, gdzie osiąga maksymalne wartości sięgające 26%. Jednym z takich punktów są malownicze okolice miejscowości Dzielce, skąd dostępna jest rozległa panorama widokowa z przedpołem uformowanym przez wielostęgowe rozłogi pól (ryc. 5).



Ryc. 5. Wynik terenowej weryfikacji punktów widokowych

A – panorama dostępna z punktu widokowego w okolicach miejscowości Dzielce, B – miejsce, w którym wartość VEI osiąga 25%; wybór ostatecznej lokalizacji znakowania punktu widokowego zależy od sytuacji terenowej branego pod uwagę miejsca

Źródło: opracowanie własne.

Liczba i ostateczna lokalizacja punktów widokowych zależy od wyborów, jakich dokona operator GIS i współpracujący z nim zespół, w przypadku SPK były to uzgodnienia między wykonawcami poszczególnych operatorów planu ochrony. Obiektywnym uzasadnieniem wyboru jest pomiar wielkości pola ekspozycji czynnej w danym punkcie; pozwala to ocenić wielkość obszaru widocznego w panoramie dostępnej ze wskazanego punktu widokowego. Dodatkowym kryterium oceny tak wybranych punktów jest pomiar maksymalnego zasięgu widoku. Zestawienie tych danych dla punktów widokowych zaproponowanych w SPK przedstawiono w tabeli 1. Walory fizjonomiczne tak wskazanych „kandydatów” nie mogą być wnioskowane na podstawie wartości VEI i są elementem odrębnych analiz, niebędących przedmiotem opisywanych tu badań.

Dyskusja

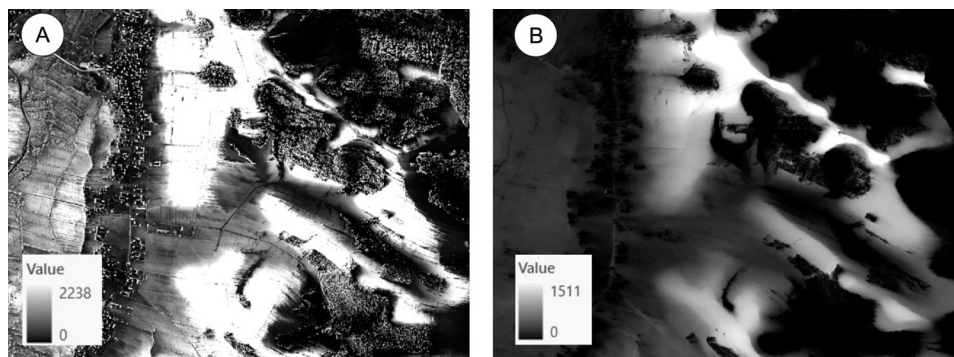
Wartości VEI opisują potencjał danego miejsca do udostępniania panoramy o rozległym polu ekspozycji czynnej. Im wyższa wartość procentowa, tym rozleglejsza w skali analizowanego obszaru panorama widokowa. Forma wartości procentowych pozwala porównać potencjał ekspozycji widokowej różnych obszarów (np. różnych parków krajobrazowych); porównanie takie może obejmować wartości maksymalne VEI oraz liczbę skupień wysokich wartości w obrębie sieci tras turystycznych. Wartości VEI nie mogą być utożsamiane z polem ekspozycji czynnej, a więc z obszarem widocznym z konkretnego punktu widokowego. Odniesienie

Tabela 1. Wielkość pola ekspozycji czynnej (powierzchni widzianej w ramach panoramy) oraz maksymalny zasięg widoku punktów widokowych wskazanych w SPK

Nr punktu widokowego	Pole ekspozycji czynnej (ha)	Maksymalny zasięg widoku (km)
1	325,89	10,02
2	589,10	11,02
3	1112,74	11,77
4	509,81	10,36
5	1198,92	13,24
6	901,19	13,66
7	336,93	8,80
8	657,18	11,25
9	221,88	16,25
10	765,12	10,82
11	450,36	14,32
12	1321,40	12,85
13	1460,23	13,39
14	1248,69	15,36
15	599,96	11,74
16	436,01	9,23
17	1129,07	9,75
18	1039,90	17,43
19	1282,29	15,89
20	1309,57	14,51
21	1258,35	7,27
22	1517,21	13,00
23	899,56	8,94
24	818,76	10,12
25	954,06	11,25
26	336,63	10,24
27	1490,83	10,11
28	1477,49	8,97
29	1110,68	9,65
30	1558,74	13,78
31	1037,61	13,51
32	359,74	10,44
33	375,09	9,17
34	217,46	12,31
35	184,71	6,34
36	243,94	6,44
37	236,75	7,78
38	910,98	10,64
39	1204,60	12,38
40	1940,24	10,35
41	832,01	10,22
42	767,97	12,30
43	450,38	8,22
44	771,20	8,10
45	931,04	8,85

Źródło: opracowanie własne.

takie jest możliwe tylko wtedy, gdy VEI jest obliczany metodą *viewshed*. Istnieją przesłanki interpretacyjne, które wskazują na większą przydatność metody *reverse viewshed* niż metody tradycyjnej *viewshed* do przeliczenia wyników analizy widoczności na procentowe wartości VEI. Zastosowanie metody *viewshed* jest możliwe, a jej użyteczność w zakresie wspomagania decyzji o lokalizacji punktów widokowych jest podobna do VEI obliczonego na podstawie *reverse viewshed*, ale należy zachować świadomość, że maksymalne wartości tak wyznaczonego VEI mogą dotyczyć pikseli zlokalizowanych na obszarach zabudowy (dachy budynków) lub szczytach koron drzew. Porównanie VEI obliczonego metodą *viewshed* i *reverse viewshed* przedstawiono na rycinie 6.



Ryc. 6. Porównanie wyników analiz widoczności obliczonych algorytmem: A – *viewshed* i B – *reverse viewshed*. W przypadku metody *viewshed* wysokie wartości liczby widocznych pikseli wskazywane są nie tylko na gruncie, a więc miejscach właściwych do lokalizacji naturalnych punktów widokowych, ale również na dachach budynków i w koronach drzew – wymaga to szczególnej uwagi ze strony operatora GIS wyznaczającego punkty widokowe. Zakresy wartości wynikowych *viewshed* i *reverse viewshed* różnią się, dlatego stosując procentowe przeliczenie do VEI, należy zachować spójność metodyczną podczas porównywania dwóch różnych obszarów. Wartości VEI-*viewshed* opisują, jaki procent powierzchni badanego krajobrazu jest widoczny z wybranego punktu widokowego

Doświadczenie wynikające z praktyki zastosowania VEI do wyznaczania punktów widokowych (VEI był stosowany również w planie ochrony Kazimierskiego i Nadwieprzańskiego PK) wskazuje, że zastosowanie metody *reverse viewshed* daje lepsze rezultaty w zakresie identyfikacji punktów widokowych o umiarkowanych wartościach VEI, wynikających z czułość metody na efekt brzegowy a w rzeczywistości zapewniających dobrą ekspozycję panoramy.

Obok omówionych różnic w wynikach działania obu algorytmów dyskusji wymaga terminologia stosowana do opisu tych wyników. Algorytm *viewshed* wyznacza powierzchnię 2D, którą widzi obserwator stojący w wybranym punkcie obserwacyjnym. W literaturze angielskojęzycznej wynik tej analizy określany jest jako „widoczna powierzchnia” (ang. *visible area*) (Dean i in. 1997, Llobera i in. 2003), w literaturze polskojęzycznej istnieje wyraźna tendencja do używania terminu „pole ekspozycji czynnej” opisującej „widok z”. Wykreślone w ten sposób pole widoczności bywa nazywane „wykresem widoczności” (Ozimek 2002,

Ozimek, Ozimek 2009), ale pomimo graficznych podobieństw do grafów widoczności (ang. *visibility graph*) (Natapov i in. 2013) nie może być z nimi utożsamiane (angielskojęzyczny termin *graph* może być przetłumaczony na język polski jako *wykres*, co prowadzi do nieporozumień metodycznych). Algorytm *reverse viewshed* wyznacza obszar, z którego widać obserwatora (ang. *area of visibility*) (Senaratne i in. 2013), innymi słowy – „widok na wybrany obiekt”. W polskojęzycznej praktyce architektury krajobrazu wynik takiej analizy określany jest jako „pole ekspozycji biernej”. W angielskojęzycznej literaturze GIS podział na czynne i bierne pole ekspozycji nie funkcjonuje. W niniejszej pracy do wyznaczenia wartości VEI użyto metody *reverse viewshed*, natomiast na potrzeby dyskusji nad tym podejściem obliczenia VEI powtórzone, używając metody *viewshed*. Podczas wykonywania obliczeń przyjęto założenie, że obserwator znajduje się na wysokości 1,7 m nad poziomem gruntu, co odpowiada przeciętnemu wzrostowi Europejczyka (Kułaga i in. 2011).

Możliwość porównania uzyskanych wyników w zakresie delimitacji punktów widokowych przy wsparciu VEI z osiągnięciami innych autorów jest stosunkowo ograniczona. Aspekt wsparcia metod geoinformacyjnych w zakresie planowania punktów widokowych należy uznać za stosunkowo słabo rozpoznany w literaturze naukowej. Dotychczasowe wsparcie geoinformacyjne bardziej dotyczy punktów obserwacyjnych niż punktów widokowych. Prace badawcze skoncentrowane były na problemie maksymalnego pokrycia badanego obszaru polem widoczności przy możliwie niskich kosztach, nie zaś wyznaczeniem punktów widokowych, które między sobą mogą współdzielić fragment krajobrazu i maksymalizować przepływ kulturowych usług ekosystemowych. Zaprezentowany w pracy wskaźnik podpowiada, gdzie szukać punktów widokowych, bez precyzyjnego określenia miejsca znakowania w terenie. Praktyka zastosowania VEI wskazuje, że punkt widokowy zawsze będzie wymagał weryfikacji terenowej. W tej pracy jako dane źródłowe wykorzystano dane pozyskane 10 lat wcześniej – i podczas wizji terenowych w kilku punktach widokowych zaobserwowano częściowe przesłonięcie przedpola ekspozycji panoramy przez rozwijającą się wegetację wysoką. Monitoring wartości VEI w oparciu o wieloczasowe dane pomiarowe pozwala zidentyfikować nasilenie efektu kurtyn widokowych wynikającego z procesów sukcesji wtórnej lub rozpraszania zabudowy; pozwala diagnozować utratę zasobów fizjonomicznych krajobrazu.

Podsumowanie i wnioski

Punkt widokowy jest jednym z podstawowych elementów tworzących fizjonomiczny zasób krajobrazu, decyduje o jego malowniczości (ang. *imageability*) i warunkuje przepływ wybranych usług ekosystemowych. Dotychczasowe analogowe metody analizy krajobrazu wiążą się z dużym nakładem pracy potrzebnym do wyznaczenia optymalnej sieci punktów widokowych. Zaproponowany w pracy geoprzestrzenny wskaźnik VEI pełni funkcję wspomagającą w tym złożonym procesie. Nie automatyzując go, pozwala zachować autonomię wyborów

dokonywanych przez badacza krajobrazu. Uzyskane wyniki badań potwierdzają zgodność pomiędzy lokalizacją naturalnych punktów widokowych (punkty oznakowane w materiałach źródłowych) a wysokimi wartościami VEI – pozwala to wnioskować o poprawności przyjętego postępowania metodycznego. W celu eliminacji zidentyfikowanego efektu brzegowego zalecane jest obliczenie wartości VEI w zasięgu większym niż bezpośrednie granice analizowanego krajobrazu. Praktyka zastosowania VEI w metodyce sporządzania trzech operatów ochrony walorów krajobrazowych (Szczeczeszyński PK, Kazimierki PK oraz Nadwieprzański PK) pozwala wnioskować o wysokich walorach użytkowych VEI. W ramach dalszych prac metodycznych rozważyć należy wprowadzenie algorytmów wyszukujących wartości maksymalne VEI w zadanych interwałach odległości – umożliwi to nadanie rangi poszczególnym punktom widokowym. Studium przypadku dla SPK i przysłonięcie przedpola ekspozycji panoramy, potwierdza krajobrazowe konsekwencje społeczno-gospodarczych zmian zachodzących w regionie – w wyniku ugorowania i odłogowania pól wchodzi sukcesja wtórna (powrót lasu na obszary nieużytkowane rolniczo) i w rezultacie powstają kurtyny widokowe. Monitoring wartości VEI pozwala na ocenę kierunku, tempa i skali zmian ekspozycji widokowej krajobrazu

Literatura

- Bartkowski T. 1985. Nowy etap dyskusji nad pojęciem krajobrazu. *Czasopismo Geograficzne*, 51(1): 73–79
- Batty M. 2001. Exploring isovist fields: Space and shape in architectural and urban morphology. *Environment and Planning, B*, 28(1): 123–150. <https://doi.org/10.1068/b2725>
- Benedikt M.L. 1979. To Take Hold of Space: Isovists and Isovist Fields. *Environ. Plan.*, B, 6: 47–65.
- Chmielewski S. 2021. Operat ochrony walorów krajobrazowych Szczeczeszyńskiego Parku Krajobrazowego. Narodowa Fundacja Ochrony Środowiska oraz Uniwersytet Marii-Curie Skłodowskiej, Warszawa (mat. niepublikowane).
- Chmielewski S., Bochaniak A., Natapow A., Węzyk P. 2020. Introducing geobia landscape imageability – A Multi-Temporal Case Study of the Nature Reserve “Kózki”, Poland. *Remote Sens.*, 12, 2792. <https://doi.org/10.3390/rs12172792>
- Chvátal V. 1975. A combinatorial theorem in plane geometry. *J. Combin. Theory, B*, 18: 39–41.
- CICE v 5.1. Common International Classification of Ecosystem (<https://cices.eu>; dostęp: 20.10.2022).
- Costanza R., d’Arge R., de Groot R. 1997. The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Dean D.J. 1997. Improving the accuracy of forest viewsheds using triangulated networks and the visual permeability method. *Canadian Journal of Forest Research*, 27: 969–977.
- Doherty M.F. 1984. Computation of Minimal Isovist Sets. Technical Report. Maryland University College Park Centre for Automation Research (ADA157624), 89 (<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA157624>; dostęp: 2.10.2022).
- Fang X., Zhao W., Fu B., Ding J. 2015. Landscape service capability, landscape service flow and landscape service demand: A new framework for landscape services and its use for landscape sustainability assessment. *Progress in Physical Geography*, 39: 817–836.
- Felleman J. 1979. Landscape visibility mapping, theory and practice. School of Landscape Architecture, SUNY, College of Environmental Science and Forestry, New York.
- Fisher P. 1996. Extending the applicability of viewsheds in landscape planning. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62: 1297–1302.

- Fry G., Tveit M., Ode Å., Velarde M. 2009. The ecology of visual landscapes: Exploring the conceptual common ground of visual and ecological landscape indicators. *Ecological Indicators*, 9(5): 933–947. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.11.008>
- Gallagher G.L. 1972. A computer topographic model for determining intervisibility. [W:] P. Brock (red.), *The Mathematics of Large Scale Simulation*. Simulation Councils, La Jolla, CA, s. 3–16.
- Heidemann K. 2014. Lidar base specification (ver. 1.2, November 2014): U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 11, chap. B4. <http://dx.doi.org/10.3133/tm11B4>
- Honsberger R. 1976. *Mathematical Gems II*. MAA, Toronto, Canada.
- ISOK 2012. Informatyczny System Osłony Kraju. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa (dane pomiarowe udostępniane za pośrednictwem strony geoportal.gov.pl; dostęp: 2.09.2020).
- Kartpol. 2005. Szczepreszyński Park Krjobrazowy, mapa turystyczno-przyrodnicza 1:50 000. Wydawnictwo Kartpol, Lublin.
- Llobera M. 2003. Extending GIS-based visual analysis: the concept of visualsapes. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(1): 25–48.
- Longley P., Godchild M., Maguire D., Rhind D. 2006. *GIS. Teoria i praktyka*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Natapov A., Czamanski D., Fisher-Gewirtzman D. 2013. Can visibility predict location? Visibility graph of food and drink facilities in the city. *Survey Review*, 45(333): 462–471. <https://doi.org/10.1179/1752270613Y.0000000057>
- Ozimek P. 2002. Zastosowanie algorytmów światła lokalnego w wyznaczaniu wykresów widoczności. Politechnika Krakowska (rozprawa doktorska, promotor: A. Bohm).
- Ozimek P., Ozimek A. 2009. Badanie chłonności krajobrazowej przy użyciu przestrzennego modelu cyfrowego. *Nauka Przyroda Technologie*, 3(1): 1–13.
- Rana S. 2006. *Isovist Analyst – An Arcview extension for planning visual surveillance*. ESRI International User Conference. ESRI (on CD-ROM): 380 New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.
- Raszeja E., Szczepańska M., Galecka-Drozda A., de Mezer E., Wikaniec A. 2022. Ochrona i kształtowanie krajobrazu kulturowego w zintegrowanym planowaniu rozwoju. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Senaratne H., Bröring A., Schreck T. 2013. Using reverse viewshed analysis to assess the location correctness of visually generated VGI. *Transactions in GIS*, 17(3): 369–386. <https://doi.org/10.1111/tgis.12039>
- Shi X., Xue B. 2016. Deriving a minimum set of viewpoints for maximum coverage over any given digital elevation model data. *International Journal of Digital Earth*, 9(12): 1153–1167. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1207718>
- Turner A., Doxa M., O’Sullivan D., Penn A. 2001. From isovists to visibility graphs: A methodology for the analysis of architectural space. *Environment and Planning, B*, 28(1): 103–121. <https://doi.org/10.1068/b2684>
- Tveit M., Ode Å., Fry G. 2006. Key concepts in a framework for analysing visual landscape character. *Landscape Research*, 31(3): 229–255. <https://doi.org/10.1080/01426390600783269>
- Wang Y., Dou W. 2020. A fast candidate viewpoints filtering algorithm for multiple viewshed site planning. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 34: 448–463. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1664743>
- Yaagoubi R., Yarmani M., Kame A., Khemiri W. 2015. HybVOR: A voronoi-based 3D GIS approach for camera surveillance network placement. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(2): 754–782. <https://doi.org/10.3390/ijgi4020754>
- Yu T. i in. 2016. A new algorithm based on region partitioning for filtering candidate viewpoints of a multiple viewshed. *International Journal of Geographical Information Science*, 30(11): 2171–2187. <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1163571>

Visual Exposure Index as landscape vantage points location decision support tool: the Szczepieszki Landscape Park case study

Abstract: Landscape vantage points constitute the basic visual resource of the landscape, enable observation of panoramic panoramas, and thus cultural ecosystem services flows. The panoramic view is the tourist destination itself, therefore the functioning of the vantage points is related to the network of tourist routes. The optimization of the network of vantage points is a key issue of tourist function management as well as landscape physiognomic resources protection. The GIS-based visibility analysis is the most appreciated regarding landscape visual resources; it has theoretical and practical explanations. Theoretically, despite its multi-sensory character, the landscape can be regarded as “areas, as perceived by people”. In consequence, this puts a privilege to GIS software because, since the very beginning of its development, the viewshed algorithm computes the visible area and its reverse version (reverse viewshed) computes the area of visibility. This study applies reverse viewshed in search of landscape vantage points. The study aims to propose the methodology of visual exposure indicator (VEI) calculation, which is a geo-information supporting tool of the vantage point optimization process. The VEI values describe the given place’s suitability for vantage point location in terms of view panorama exposition conditions, which, combined with information about tourist routes, enables the vantage point location optimization. The VEI spatial variability analysis also allows for locating the vantage points so far not pointed on the tourist maps. The study was carried out on the example of the Szczepieszki Landscape Park, as a result, it was proposed to expand the existing network up to 45 viewpoints. The resulting visual landscape resources quantification cannot be equated with visual landscape character and quality assessment; however, the proposed GIS framework provides objective results that precisely localize and measure them. The conclusions and limitations of the method were discussed in the context of geocomputation as well as the landscape conservation plans practises.

Key words: visual exposure index, vantage points, Szczepieszki Landscape Park, landscape physiognomic resources, cultural ecosystem services