

## **PROPOZYCJA NOWEJ METODY OCENY WIZUALNEGO ODDZIAŁYWANIA ELEKTROWNI WIATROWYCH NA KRAJOBRAZ**

### **Wstęp**

W ostatniej dekadzie sytuacja w energetyce wiatrowej w Polsce rozwijała się dynamicznie. Według Raportu pn. Energetyka Wiatrowa w Polsce 2015 moc farm wiatrowych na koniec czerwca 2015 r. wyniosła 4,1 GW, co stanowi około 10,8% całkowitej mocy zainstalowanej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym. Łączna liczba elektrowni wiatrowych w kraju wynosi 981 szt. Zgodnie z zapisami dyrektywy 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, docelowy jej udział w Polsce w końcowym zużyciu w 2020 r. ma wynieść 15%. Biorąc pod uwagę ostatnie zmiany legislacyjne (ustawa z dn. 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych [Dz. U. z 2016 r. poz. 961]) należy się spodziewać zahamowania rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce.

Korzyści związane z pozyskiwaniem energii ze źródeł odnawialnych są powszechnie znane. Jednak obszar, na jaki oddziałują elektrownie wiatrowe, jest większy niż w przypadku lokalizowania konwencjonalnych elektrowni. Przed przystąpieniem do budowy elektrowni wiatrowej należy przeprowadzić szczegółowe analizy w zakresie ich potencjalnego oddziaływania na środowisko m.in. w zakresie emisji hałasu, oddziaływania na ptaki i nietoperze, oddziaływania na krajobraz. W zakresie metod obliczania hałasu zostały opracowane modele matematyczne i określone metody oceny. Powstały projekty wytycznych dotyczące oceny oddziaływania elektrowni wiatrowych na ptaki (Chylarecki i in. 2011) i nietoperze (Kepel i in. 2011). Ocena oddziaływania wizualnego elektrowni wiatrowych na krajobraz jest jednym z najbardziej subiektywnych czynników wpływających na decyzje o potencjalnej ich lokalizacji.

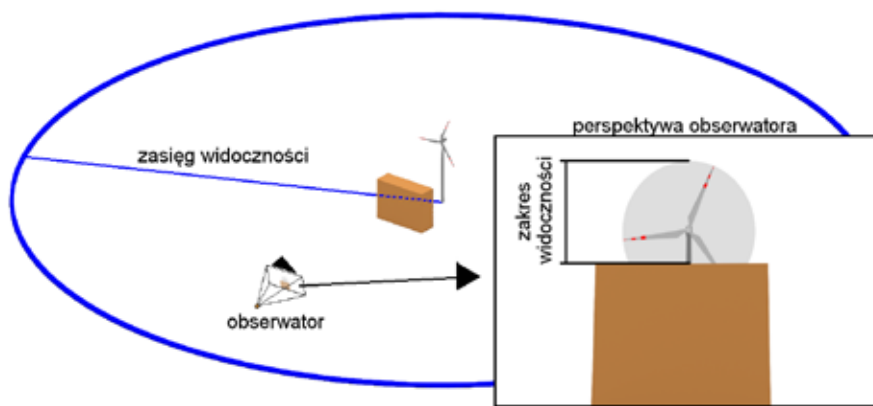
Dotychczas na świecie wypracowano kilka metod wizualnej oceny oddziaływania elektrowni wiatrowych na krajobraz (Hurtado i in. 2004; Bishop i Miller 2007; Rodrigues i in. 2010; Molina-Ruiz i in. 2011; de Vries i in. 2012; Minelli i in. 2014; Manchado i in. 2015). Cały czas jednak poszukuje się metod, które pozwolą w jak największym stopniu zobjektywizować proces oceny wizualnego wpływu elektrowni wiatrowych na krajobraz.

Degórski i in. (Energetyka wiatrowa 2012) podkreślają, że wszystkie opracowane do tej pory metody nie pozwalają w prosty i obiektywny sposób ocenić wpływu elektrowni wiatrowych na estetykę krajobrazu, tak aby ocena taka mogła być podstawą unormowań prawnych. Myczkowski i in. (2012) informują, że brak instrukcji i procedur związanych z ocenami wpływu instalacji na krajobraz, stwarza dowolne możliwości interpretacji problemu. Natomiast Stryjecki i Mielniczuk (2011) podkreślają, że kwestie związane z oddziaływaniem elektrowni wiatrowych na krajobraz wymagają pilnie dalszych badań i prac, uszczegóławiających i poszerzających wiedzę z tego zakresu.

Widzialność elektrowni wiatrowej związana jest przede wszystkim z odległością obserwatora (Bishop i Miller 2007, de Vries i in., 2012), ale również zależna jest od rzeźby i pokrycia terenu, warunków jej oświetlenia, warunków atmosferycznych oraz od tego, czy elektrownia wiatrowa pracuje, czy znajduje się w spoczynku (Bishop i Miller 2007). Analiza widoczności elektrowni wiatrowych na terenie Europy prowadzona jest już od początku lat 90. ubiegłego stulecia. Maksymalny zasięg widoczności elektrowni wiatrowych o wysokości od 45 do 55 m wynosił maksymalnie do 20 km, natomiast elektrowni o wysokości od 70 do 95 m nawet do 30 km (Campaign for the Protection of Rural Wales 1999). Na przełomie wieków budowane były coraz wyższe elektrownie wiatrowe, a zasięg ich widoczności zdaniem Bishopa (2002) może przekraczać 30 km. Miller i in. (2010) sugerują, że maksymalny zasięg analizy powinien wynosić nie więcej niż 35 km. Natomiast Vissering i in. (2011) uważają, że analiza widoczności wysokich elektrowni wiatrowych położonych w otwartym terenie powinna wynosić około 40 km. Degórski i in. (Energetyka wiatrowa 2012), powołując się na badania Europejskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej, wyróżnili odnośnie do terenów nizinnych cztery strefy oddziaływania elektrowni wiatrowych na krajobraz. Strefa IV – najbardziej zewnętrzna, położona jest w odległości większej niż 7 km, jak pisze Degórski, w tej strefie elektrownie wiatrowe wydają się niewielkich rozmiarów i nie wyróżniają się znacząco w otaczającym je krajobrazie, a obrotowy ruch łopat wirnika z takiej odległości jest właściwie niedostrzegalny.

Celem pracy było opracowanie nowej kwantytatywnej metody oceny widoczności elektrowni wiatrowych, która integruje modelowanie w śro-

dowisku GIS z narzędziami grafiki 3D. Metoda pozwala na określenie zakresu i zasięgu widoczności elektrowni wiatrowej oraz pięciostopniową ocenę jej oddziaływania na krajobraz. Zasięg widoczności oznacza obszar, z którego elektrownia wiatrowa jest widoczna, natomiast zakres widoczności oznacza, jaka część elektrowni wiatrowej jest widziana przez obserwatora (ryc. 1).

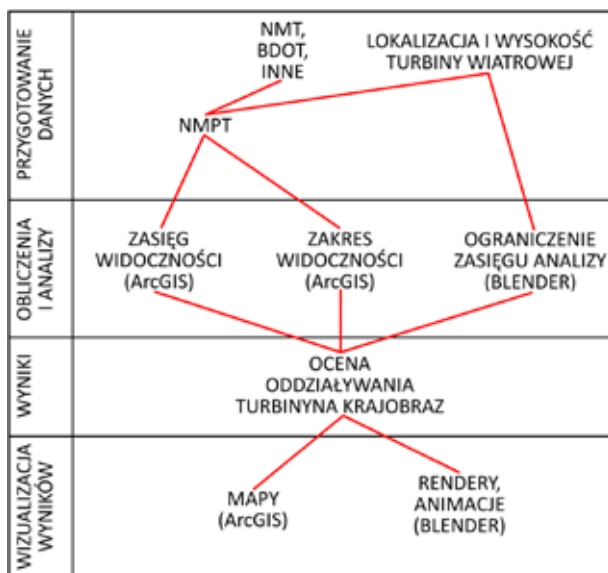


Ryc. 1. Zakres i zasięg widoczności elektrowni wiatrowej

## Materiały i metody

Ocenę oddziaływania elektrowni wiatrowej na krajobraz wykonano według schematu (ryc. 2). Wykorzystano dane pochodzące z bazy Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK). Na ich podstawie utworzono numeryczny model pokrycia terenu (NMPT), który podzielono na dwa etapy. W pierwszym pozyskano dane dotyczące numerycznego modelu terenu w postaci zbioru punktów o interwale siatki wynoszącej co najmniej 100 m, które udostępniane są nieodpłatnie. Następnie na ich podstawie utworzono numeryczny model terenu (NMT) w postaci GRID, o rozdzielczości przestrzennej 10 m, za pomocą programu ArcGIS (ESRI) z rozszerzeniem 3D Analyst. W drugim etapie, NMT uzupełniono elementami pokrycia terenu, wykorzystując dane zawarte w Bazie Danych Obiektów Topograficznych (BDOT). Wysokości budynków określono w sposób uproszczony, mnożąc liczbę kondygnacji przez wysokość kondygnacji, za którą przyjęto 3 m. Wysokość natural-

nych form pokrycia terenu: lasów i zadrzewień, określono na podstawie informacji zawartych w Banku Danych o Lasach Generalnej Dyrekcji Lasów Państwowych. W ten sposób utworzony NMPT był podstawą do dalszych obliczeń i analiz związanych z określeniem widoczności elektrowni wiatrowej.



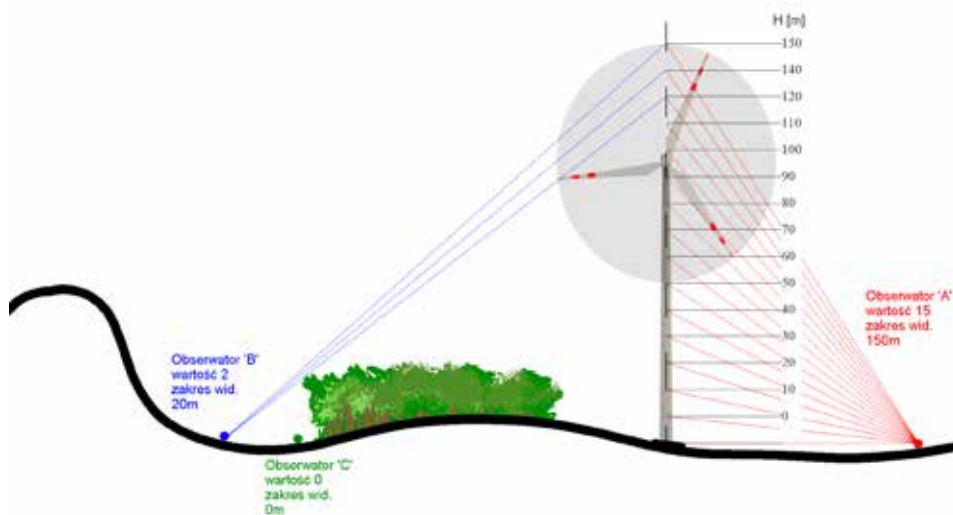
Ryc. 2. Schemat pracy

Następnie utworzono warstwę wektorową (shapefile), na której wskaza-  
no lokalizację elektrowni wiatrowej oraz określono jej wysokość. Przyjęto, że  
elektrownia zlokalizowana będzie w granicach Metropolii Poznań, a jej wyso-  
kość wynosić będzie 150 m.

Ocenę zasięgu widoczności elektrowni wiatrowej wykonano za pomocą  
narzędzia Viewshed dostępnego w programie ArcGIS z rozszerzeniem Spa-  
tial Analyst. Podczas analizy uwzględniono krzywiznę ziemi, wprowadzając  
współczynnik korygujący. Wynikiem analizy była rastrowa mapa o rozdziel-  
czości 10 m, na której wartość 0 oznacza brak widoczności elektrowni wiatro-  
wej, a 1 jej widoczność.

Ocena zakresu widoczności elektrowni wiatrowej polegała na 14-krotnym  
powtórzeniu analizy z wykorzystaniem narzędzia Viewshed. W kolejnych  
krokach, wysokość elektrowni obniżano o 10 m. Uzyskano w ten sposób łącz-  
nie 15 map rastrowych. W celu określenia zakresu widoczności elektrowni  
wiatrowej uzyskane wyniki zsumowano, wykorzystując narzędzie Raster  
Calculator, dostępne w programie ArcGIS. W wyniku takiego postępowania  
uzyskano mapę rastrową, na której wartości wynosiły od 0 do 15. Wartości te







określają, ile 10-metrowych segmentów (licząc od góry) elektrowni wiatrowej jest widocznych dla obserwatora. Gdy wartość w komórce wynosi 15 – oznacza to, że cała elektrownia wiatrowa jest widoczna (obserwator A), 2 oznacza, że 20 m elektrowni jest widoczne, licząc od góry (obserwator B), 0 oznacza to, że elektrownia jest niewidoczna (obserwator C). Zastosowany sposób postępowania przedstawiono na rycinie 3.



Ryc. 3. Schemat wyznaczenia zakresu widoczności elektrowni wiatrowej

Do ograniczenia zasięgu przestrzennego analizy oddziaływania elektrowni wiatrowej na krajobraz przeprowadzono symulacje 3D w programie Blender wersja 2.74. Blender jest profesjonalnym darmowym programem, pozwalającym na tworzenie wizualizacji i animacji 3D. Program Blender wykorzystano do symulacji widoczności elektrowni wiatrowej z perspektywy frontalnej. Podczas symulacji założono najbardziej niekorzystny wariant pod względem widoczności: elektrownia wiatrowa ma kolor czarny, natomiast tło ma kolor biały. Łopaty wirnika elektrowni wiatrowej będą przedstawione jako koło na nich opisane (ryc. 4).

Do każdego z wariantów przygotowano rendery (zdjęcia wykonane w programie Blender) w zakresie od 1 km do 20 km, z krokiem co 1 km. Podczas symulacji uwzględniono pełną zmienność zakresu widoczności elektrowni wiatrowej w zakresie od 10 do 150 m. Rendery zostały przygotowane z rozdzielczością 1920 × 1080 pikseli przy założeniu wirtualnej kamery o rozmiarze matrycy odpowiadającej pełnej klatce (36 × 24 mm) i ogniskowej obiektywu równej 50 mm. Na podstawie renderów określono procentowo powierzchnię zajmowaną przez elektrownie wiatrową w odniesieniu do całkowitego pola widoku.

	80 m	150 m
1 km		
5 km		
10 km		

Ryc. 4. Widoczność elektrowni wiatrowej na renderach (zakres widoczności 80 i 150 m – odległość 1 km, 5 km, 10 km)

Za pomocą dostępnej wtyczki Blender GIS addon możliwe było zaimportowanie plików rastrowych i wektorowych ze środowiska GIS do środowiska Blender. Pozwoliło to na budowę trójwymiarowego realistycznego modelu analizowanego obszaru na podstawie NMT i plików shape oraz umieszczenie w nim modelu elektrowni wiatrowej (ryc. 5).



Ryc. 5. Model elektrowni wiatrowej opracowany w programie Blender

Weryfikację poprawności zbudowanego modelu elektrowni wiatrowej przeprowadzono, porównując model z fotografiami pracujących elektrowni wiatrowych – przykład dla obserwatora znajdującego się w odległości 3 km od elektrowni wiatrowej przedstawiono na rycinie 6. Fotografie wykonano za pomocą aparatu Canon EOS 50D z matrycą APSc i obiektywem z ogniskową 31 mm. Ustawienia takie stanowią ekwiwalent ustawień aparatu, za pomocą którego w programie Blender wykonano rendery. Wynik porównania wskazuje, że ustawienia modelu w programie Bender odpowiadają rzeczywistości.



Ryc. 6. Porównanie istniejącej elektrowni wiatrowej z modelem zbudowany w programie Blender

Analiza fotorealistycznych renderów oraz animacji w odniesieniu do procentowej powierzchni zajmowanej przez elektrownię wiatrową w całkowitym polu widoku pozwoliła na ograniczenie zasięgu analizy. Założono, że gdy elektrownia na renderze zajmuje mniej niż 0,02%, to jej widoczność jest mocno ograniczona, co stanowi podstawę do zawężenia zasięgu analizy przestrzennej. W wyniku przyjętych wyżej opisanych założeń obliczono, że analiza zasięgu oddziaływania elektrowni wiatrowych na krajobraz powinna zostać ograniczona do 12 km w przypadku widoku frontalnego.

Aby zaproponowana metodyka mogła być wykorzystywana w praktyce do oceny oddziaływania elektrowni wiatrowych na krajobraz, zaproponowano pięciostopniową skalę oceny. Skalę opracowano na podstawie analizy pól powierzchni zajmowanych przez elektrownię na renderach oraz wizualizacji przeprowadzonych w programie Blender (tabela 1).

Tabela 1. Skala oddziaływania elektrowni wiatrowych

Procentowy udział elektrowni wiatrowej w odniesieniu do pola widoku (%)	Skala oceny	Oddziaływanie
> 1,02	5	bardzo silne
0,27 – 1,01	4	silne
0,07 – 0,26	3	znaczące
0,04 – 0,06	2	umiarkowane
0,02 – 0,03	1	słabe

Zaproponowaną skalę oddziaływania elektrowni wiatrowych na krajobraz w zależności od zakresu jej widoczności, odległości i położenia obserwatora przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Skala ocen oddziaływania elektrowni wiatrowej o wysokości na 150 m na krajobraz

Odległość [km]	Zakres widoczności elektrowni wiatrowej [m]														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
1	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
4	0	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
9	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

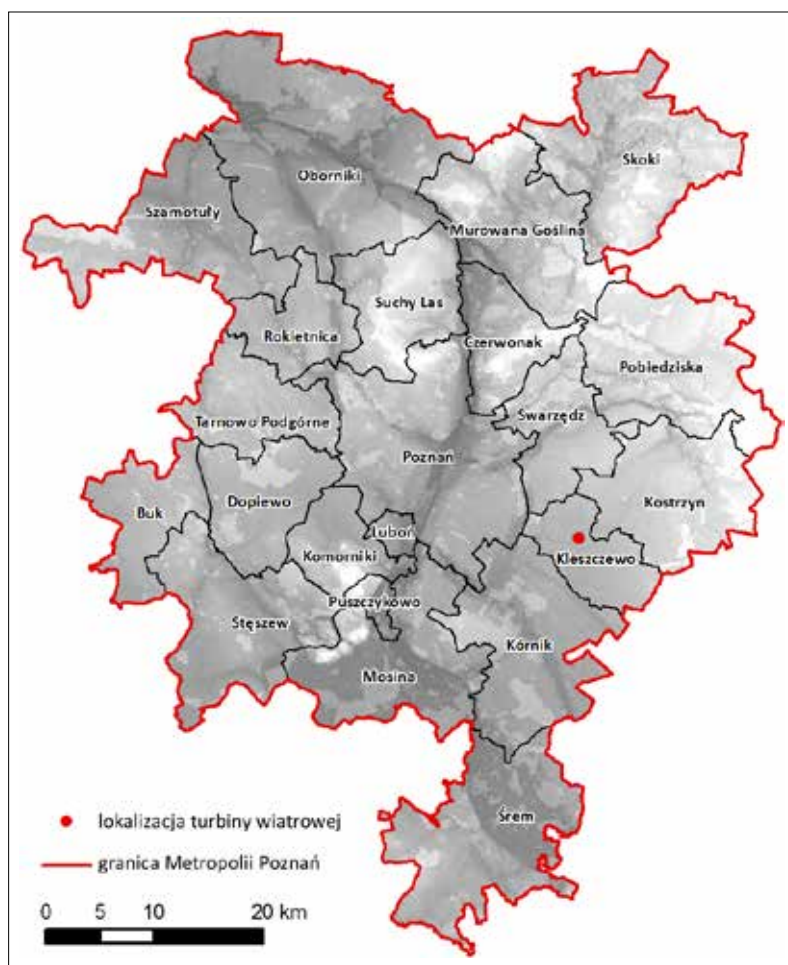
## Wyniki

Użyteczność opracowanej metodyki przedstawiono na przykładzie obszaru Metropolii Poznań, w której rozważa się możliwości budowy instalacji do produkcji energii ze źródeł odnawialnych w tym elektrowni wiatrowych. Metropolia Poznań w granicach opisanych w Koncepcji Kierunków Rozwoju Metropolii Poznań (Kaczmarek 2016) zajmuje około 11% województwa wielkopolskiego, zamieszkuje ją około 1 mln osób, co stanowi około 30% mieszkań-



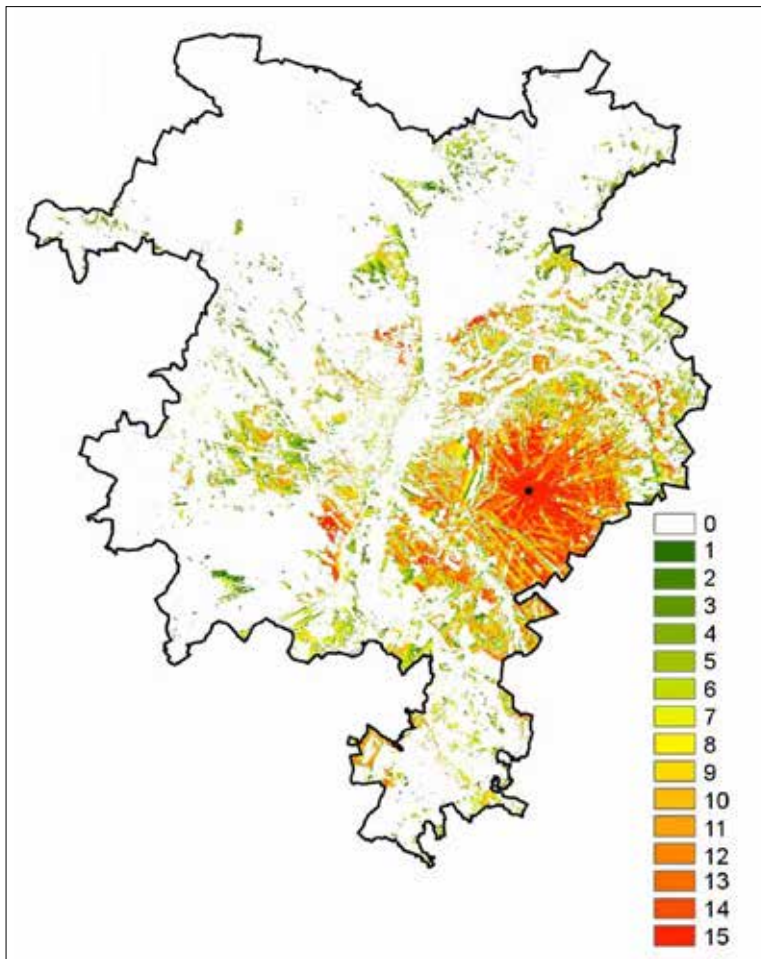
ców województwa wielkopolskiego. Metropolię tworzy miasto Poznań oraz 21 gmin (Buk, Czerwonak, Dopiewo, Kleszczewo, Komorniki, Kostrzyn, Kórnik, Luboń, Mosina, Murowana Goślina, Oborniki, Pobiedziska, Puszczykowo, Rokietnica, Skoki, Stęszew, Suchy Las, Swarzędz, Szamotuły, Śrem, Tarnowo Podgórne), które otaczają miasto w układzie dwóch pierścieni. Na podstawie wybranych kryteriów środowiskowych i prawnych w jej granicach wyznaczono potencjalne miejsca, w których możliwa byłaby budowa wież elektrowni wiatrowych (Pyszny i in. 2015).

Na potrzeby niniejszej pracy przyjęto, że w jednej z wyznaczonych lokalizacji (ryc. 7) powstanie elektrownia wiatrowa typu GE 2.5 MW firmy General Electric. Wysokość wieży wynosi 105 m, a rozpiętość łopat wirnika wynosi 90 m.



Ryc. 7. Położenie potencjalnej lokalizacji elektrowni wiatrowej w granicach Metropolii Poznań

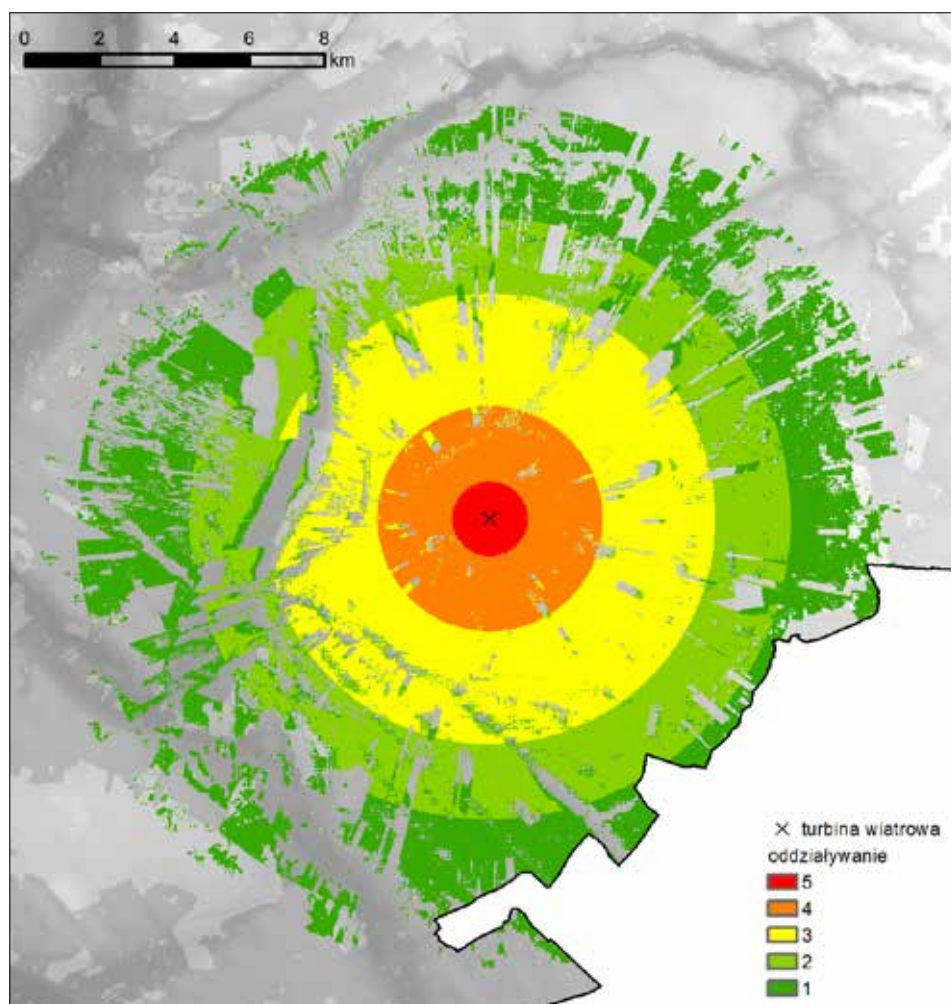
Dla całej Metropolii Poznań opracowano NMPT, który był podstawą przeprowadzenia analizy zasięgu i zakresu widoczności elektrowni wiatrowej w środowisku GIS. Przeprowadzone obliczenia za pomocą narzędzia Viewshed wykazały, że zasięg widoczności elektrowni wiatrowej przekracza 30 km, a obszar objęty oddziaływaniem ma powierzchnię 675 km<sup>2</sup>. Stanowi to około 22% powierzchni całej Metropolii Poznań. Zasięg i zakres widoczności przedstawiono na rycinie 8.



Ryc. 8. Zasięg i zakres widoczności elektrowni wiatrowej

Zgodnie z opracowaną metodyką przygotowano uproszczone rendery – czarna elektrownia wiatrowa na białym tle, z których obliczono procentowy udział elektrowni wiatrowej w całkowitym polu widoku. W metodzie założono, że z każdej pozycji wiatrak widoczny jest w pozycji frontальной, a widzialność nie jest zakłócona warunkami atmosferycznymi, co

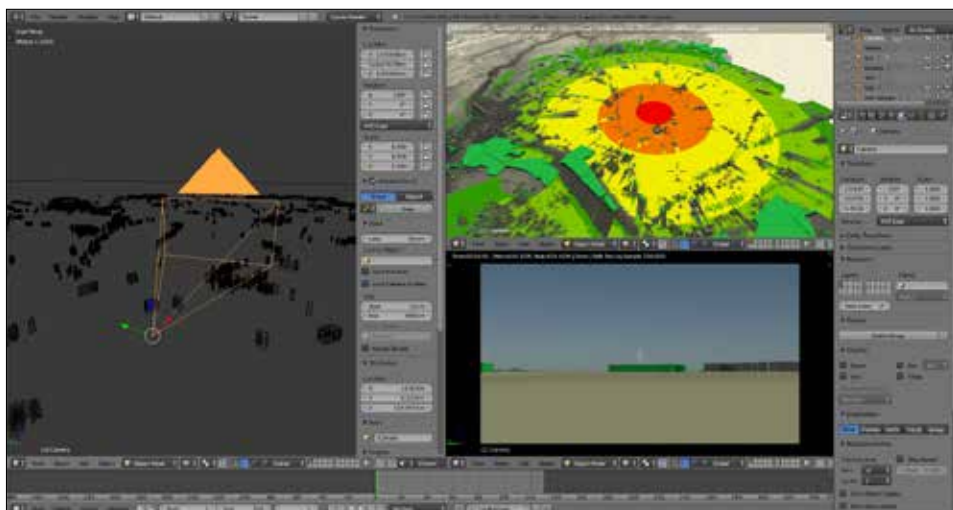
stanowi najbardziej niekorzystną sytuację widzialności elektrowni wiatrowej. Następnie korzystając z animacji i fotorealistycznych renderów, dokonano ograniczenia zasięgu analizy do 12 km. W ten sposób zakres analizy oddziaływania elektrowni wiatrowej na krajobraz został zmniejszony z 675 km<sup>2</sup> w przypadku zastosowania metody bazującej na Viewshed do 240,91 km<sup>2</sup>. Przyjęto, że poza tym zakresem elektrownia wiatrowa może być widoczna, ale jej oddziaływanie na krajobraz jest nieznaczące. Uzyskane wyniki pokazują, że zakres oddziaływania stopniowo zmniejsza się. Wynika to z odległości obserwatora od elektrowni wiatrowej oraz zakresu jej widoczności.



Ryc. 9. Ocena oddziaływania elektrowni wiatrowej na krajobraz

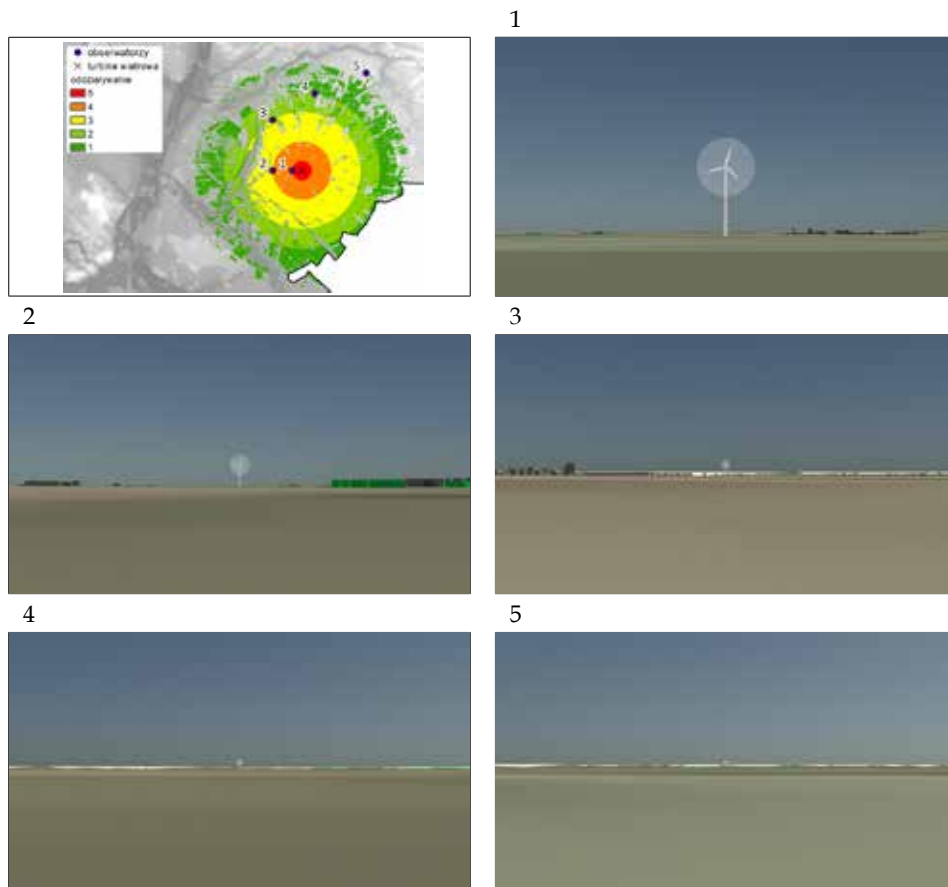
Analiza animacji i renderów w kontekście procentowych udziałów elektrowni wiatrowej w całkowitym polu widoku pozwoliła także na opracowanie pięciostopniowej skali oceny. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń wykazano, że w zasięgu bardzo silnego (kolor czerwony) oddziaływania elektrowni wiatrowej znajdują się tereny o powierzchni 3,13 km<sup>2</sup> (ryc. 9). Najsilniejsze oddziaływanie występuje w zakresie do 1 km od wieży elektrowni wiatrowej. Zakres silnego oddziaływania elektrowni wiatrowej wynosi do 3 km. Łącznie w strefie silnego oddziaływania elektrowni wiatrowej na krajobraz znajduje się teren o powierzchni 23,55 km<sup>2</sup>. Zdecydowanie większa powierzchnia aglomeracji poznańskiej znajduje się w strefie istotnego oddziaływania około 68,78 km<sup>2</sup>. W przypadku stref umiarkowanego i słabego oddziaływania (oznaczonych na rysunku kolorami jasno i ciemno zielonym) obszar jest największy i wynosi łącznie 145,45 km<sup>2</sup>. Wyniki analizy pokazują, że w obrębie wyznaczonych stref oddziaływania elektrowni wiatrowych występują miejsca, w których elektrownia wiatrowa jest niewidoczna lub jej oddziaływanie jest nieznaczące. Wynika to z położenia obserwatora w stosunku do elektrowni wiatrowej oraz zakresu jej widoczności.

Połączenie narzędzi GIS z narzędziami modelowania trójwymiarowego (Blender) pozwala na tworzenie renderów i animacji z dowolnie wybranej lokalizacji, co jest niewątpliwie jedną z największych zalet przedstawionej metody (ryc. 10).



Ryc. 10. Interfejs programu Blender prezentujący widok z wirtualnej kamery

Przykładowo pokazano zakres widoczności elektrowni wiatrowej dla widoku frontального na granicy przedziałów przyjętej skali oceny (ryc. 11).



Ryc. 11. Wyniki wizualizacji 3D z programu Blender na granicy przyjętej skali oceny

## Dyskusja

Od początku XXI w. podejmowane są wysiłki w zakresie opracowania kwantytatywnych metod oceny oddziaływania turbin wiatrowych na krajobraz. Shang i Bishop (2000) określili, że minimalna wielkość obiektu, który może zostać rozpoznany przez człowieka, wynosi  $25 \text{ min}^2$ . Wielkość ta jednocześnie uznana została za wartość graniczną, którą należy przyjmować przy ograniczaniu zasięgu przestrzennego analizy przestrzennej elektrowni wiatrowych. W kolejnych latach obserwowany jest dynamiczny rozwój nowych metod oceny (Hurtado i in. 2004; Torres i in. 2007; Rodrigues i in. 2010; Molina-Ruiz i in. 2011; Minelli i in. 2014) wykorzystujących narzędzia GIS oraz wizualizacje 3D. Na podkreślenie zasługują metody opracowane przez Torresę i in. (2007), które pozwalają na ocenę oddziaływania turbiny na krajobraz za pomocą współczynnika, który przyjmuje wartości od 0 do 1. Wartość tego współczynnika jest łatwa do interpretacji podczas analizy wyników.

Kolejną kwantytatywną metodę opracował Rodrigues i in. (2010), w której ocena prowadzona jest na podstawie tzw. współczynnika percepcji; może on w przypadku pojedynczej turbiny przyjmować wartości z zakresu od 0,001 do 0,1. Stosunkowo duży zakres zmienności współczynnika percepcji utrudnia analizę uzyskanych wyników. Zaproponowana w pracy nowa metoda oceny oddziaływania turbin wiatrowych na krajobraz jako pierwsza pozwala na powiązanie zasięgu i zakresu widoczności. Przedstawione graniczne wartości procentowych udziałów powierzchni elektrowni wiatrowej w odniesieniu do pola powierzchni widoku pozwalają na wykorzystanie metody do oceny wizualnego oddziaływania elektrowni wiatrowych o różnej wysokości i długości łopat wirnika. Zastosowanie narzędzi modelowania 3D pozwala na przygotowanie fotorealistycznych wizualizacji i animacji, które mogą zostać wykorzystane na etapie konsultacji społecznych.

Należy podkreślić, że wiarygodność analiz widoczność elektrowni wiatrowych zależy od poziomu szczegółowości danych wejściowych (Kloucek i in. 2015). W związku z tym sugeruje się prowadzenie analiz na NMT i NMPT, opracowanych na podstawie danych z lotniczego skaningu laserowego.

Wobec coraz większej presji inwestycyjnej i coraz większym nasyceniu krajobrazu istniejącymi elektrowniami wiatrowymi decydenci najczęściej władze samorządowe, stoją przed dylematem pomiędzy uwzględnieniem elektrowni wiatrowych w regionalnych i lokalnych dokumentach planistycznych a problemem wpływu projektowanych elektrowni wiatrowych na środowisko, szczególnie w zakresie dotychczas niemierzalnych, subiektywnie ocenianych oddziaływań takich jak oddziaływanie wizualne elektrowni wiatrowych.

O istotności podjętego tematu świadczy m.in. ustawa z dnia z dnia 24 kwietnia 2015 r. o zmianie niektórych ustaw w związku ze wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu (Dz. U. z 2015 r. poz. 774). Ustawa wprowadza nowy dokument nazwany audytem krajobrazowy, który może stać się narzędziem służącym ochronie krajobrazu. Wyniki przedmiotowej pracy należy traktować jako głos w dyskusji nad zakresem i metodologią sporządzania audytu krajobrazowego, szczególnie na etapie wyznaczania krajobrazów priorytetowych, które należy objąć ochroną.

## Wnioski

1. Opracowana metoda umożliwi ilościową ocenę oddziaływania wizualnego elektrowni wiatrowej na krajobraz i może być wykorzystana jako element prognozy oddziaływania na środowisko i raportu o oddziaływaniu na środowisko.
2. Wskazane jest zweryfikowanie zaproponowanych stopni oceny opartych na ankietyzacji reprezentatywnej grupy osób z zastosowaniem renderów i animacji wykonanych za pomocą programu Blender.
3. Narzędzia wykorzystane na etapie opracowania metody wizualnego oddziaływania elektrowni wiatrowych stanowią użyteczny instrument, który z powodzeniem można wykorzystać na etapie szeroko rozumianych konsultacji społecznych.

4. Autorzy obecnie prowadzą badania mające na celu rozbudowę metody w taki sposób, by uwzględniała widok ukośny i boczny elektrowni wiatrowej oraz prawdopodobieństwo ustawienia łopat wirnika w kierunku, z jakiego najczęściej wieją wiatry.
5. Ponadto metodę oceny wizualnego oddziaływania elektrowni wiatrowej na krajobraz należy rozbudować w taki sposób, by umożliwiała ocenę nie tylko pojedynczej wieży, ale całej farmy wiatrowej.

Opisana w pracy metoda została rozbudowana (Wróżyński i in. 2016) i obecnie dodatkowo uwzględnia widoki boczne i ukośne wież elektrowni wiatrowych oraz dominujący kierunek wiatru.

### Literatura

- BISHOP I.D. 2002. Determination of thresholds of visual impact: the case of wind turbines. *Environment and Planning B*, 29: 707-718.
- BISHOP I.D., MILLER D. 2007. Visual assessment of off-shore wind turbines: The influence of distance, contrast, movement and social variables. *Renewable Energy*, 32(5): 814-31. doi:10.1016/j.renene.2006.03.009.
- CAMPAIGN FOR THE PROTECTION OF RURAL WALES. 1999. Annex 3: Memorandum by the Campaign for the Protection of Rural Wales (CPRW). House of Lords Select Committee on European Union, First Report. <http://www.parliament.the-stationeryoffice.co.uk/pa/ld199900/ldselect/ldecom/18/18a04>.
- CHYLARECKI P., KAJZER K., POLAKOWSKI M., WYSOCKI D., TRYJANOWSKI P., WUCZYŃSKI A. 2011. Wytyczne dotyczące ocen oddziaływania elektrowni wiatrowych na ptaki. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- ENERGETYKA WIATROWA 2012. Energetyka wiatrowa w kontekście ochrony krajobrazu przyrodniczego i kulturowego województwie kujawsko-pomorskim. Ekspertyza wykonana przez Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego PAN w Warszawie na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego Województwa Kujawsko-Pomorskiego w Toruniu pod kierunkiem prof. dr. hab. Marka Degórskiego, Warszawa.
- HAISSONG SHANG, BISHOP I.D. 2000. Visual thresholds for detection, recognition and visual impact in landscape settings. *Journal of Environmental Psychology*, 20(2): 125-140. doi:10.1006/jevp.1999.0153.
- HURTADO J.P., FERNANDEZ J., PARRONDO J., BLANCO E. 2004. Spanish method of visual impact evaluation in wind farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8: 483-491. doi:10.1016/j.rser.2003.12.009.
- KACZMAREK T. 2016. Cel i zakres opracowania. W: T. Kaczmarek (red.), *Konceptji Kierunków Rozwoju Przestrzennego Metropolii Poznań* [w druku]. Centrum Badań Metropolitalnych Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.
- KEPEL A., CIECHANOWSKI M., JAROS R. 2011. Wytyczne dotyczące ocen oddziaływania elektrowni wiatrowych na nietoperze. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- KLOUCEK T., LAGNER O., SIMOVA P. 2015. How does data accuracy influence the reliability of digital viewshed models? A case study with wind turbines. *Applied Geography*, 64: 46-54. doi:10.1016/j.apgeog.2015.09.005.
- MANCHADO C., GOMEZ-JAUREGUI V., OTERO C. 2015. A review on the Spanish Method of visual impact assessment of wind farms: SPM2. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49: 756-767. doi:10.1016/j.rser.2015.04.067.

- MILLER D., BELL S., MCKEEN M., HORNE P.L., MORRICE J.G., DONNELLY D. 2010. Assessment of Landscape Sensitivity to Wind Turbine Development in Highland. Summary Report. Macaulay Land Use Research Institute.
- MINELLI A., MARCHESINI I., TAYLOR F.E., ROSA P DE., CASAGRANDE L., CENCI M. 2014. An open source GIS tool to quantify the visual impact of wind turbines and photovoltaic panels. *Environmental Impact Assessment Review*, 49: 70–78. doi:10.1016/j.eiar.2014.07.002.
- MOLINA-RUIZ J., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ M.J., PÉREZ-SIRVENT C., TUDELA-SERRANO M.L., GARCÍA M.L. 2011. Developing and applying a GIS-assisted approach to evaluate visual impact in wind farms. *Renewable Energy*, 36(3): 1125–1132. doi:10.1016/j.renene.2010.08.041.
- MYCZKOWSKI Z., FROCZEK-BRATANIEC H., NOSALSKA P. 2012. Zróżnicowanie uwarunkowań w zakresie ocen oddziaływania elektrowni wiatrowych na krajobraz (na podstawie studium przypadku). W: *Urbanistyczne aspekty lokalizowania farm wiatrowych ze szczególnym uwzględnieniem roli planu zagospodarowania przestrzennego województwa*. Towarzystwo Urbanistów Polskich, Warszawa.
- PYSZNY K., BINDER M., WRÓŻYŃSKI R., WALDMANN K., BEDNAREK R., WÓJCICKI M. 2016. Energetyka odnawialna. W: T. Kaczmarek (red.). *Koncepcji Kierunków Rozwoju Przestrzennego Metropoli Poznań [w druku]*. Centrum Badań Metropolitalnych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.
- RODRIGUES M., MONTANÉS C., FUEYO R. 2010. A method for the assessment of the visual impact caused by the large-scale deployment of renewable-energy facilities. *Environmental Impact Assessment Review*, 30: 240–246. doi:10.1016/j.eiar.2009.10.004.
- STRYJECKI M., MIELNICZUK K. 2011. Wytyczne w zakresie prognozowania oddziaływań na środowisko farm wiatrowych. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska. Warszawa.
- TORRES SIBILLE A.C., CLOQUELL-BALLESTER V.A., CLOQUELL-BALLESTER V.A., DARTON R. 2009. Development and validation of a multicriteria indicator for the assessment of objective aesthetic impact of wind farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(1): 40–66. doi:10.1016/j.rser.2007.05.002.
- VISSERING. J. SINCLAIR. M. MARGOLIS. A. 2011. A visual impact assessment process for wind energy projects. Clean Energy States Alliance.
- VRIES S DE., GROOT M DE., BOERS J. 2012. Eyesores in sight: Quantifying the impact of man-made elements on the scenic beauty of Dutch landscapes: *Landscape and Urban Planning*, 105(1-2): 118–127. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.12.005.
- WRÓŻYŃSKI R., SOJKA M., PYSZNY K. 2016. The application of GIS and 3D graphic software to visual impact assessment of wind turbines. *Renewable Energy*, 96 (part A): 625–635. doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.016.

## Proposal for a new guidelines for landscape and visual impact assessment of wind turbines

### Summary

A new method is presented for assessment of visual impact of wind turbines. The proposed five-point rating scale takes into account two factors: the distance of the observer from wind turbine (visible range) and the visible extent. An attempt to determine the threshold of the visual impact of wind turbine is made. The proposed method combine GIS tools and 3D graphic software Blender. The proposed method was tested on the example of the potential location of the wind turbine in the vicinity of the city of Poznań. The results showed that the maximum distance at which the visual impact of wind turbine should be assessed is not greater than 12 km.

KEY WORDS: Visual impact assessment, wind turbine, Blender, GIS

SŁOWA KLUCZOWE: Ocena wizualnego oddziaływania, elektrownia wiatrowa, Blender, GIS