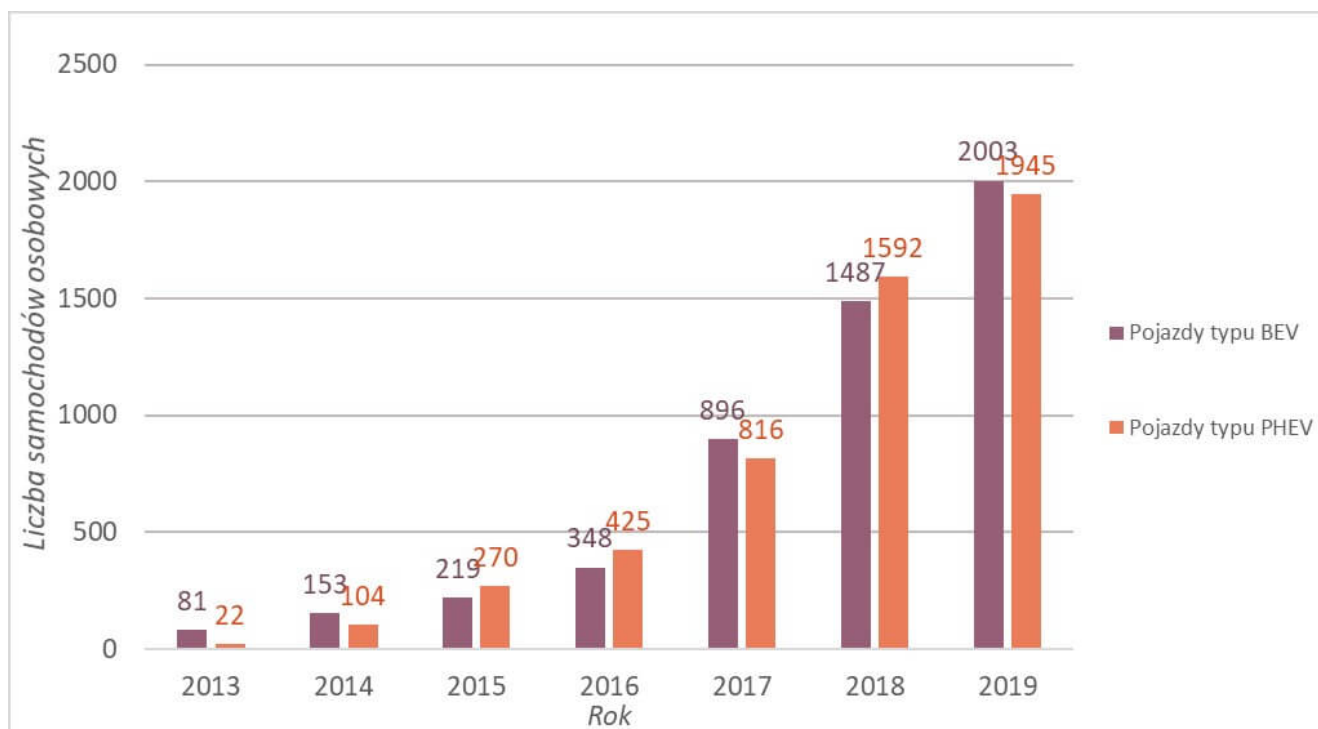


W drodze do elektromobilności z narzędziami GIS

Coraz większa liczba pojazdów na świecie przyczynia się do wzrostu zanieczyszczenia otaczającej nas przestrzeni. Tego typu sytuacja jest szczególnie zauważalna w obszarach intensywnie zurbanizowanych, które charakteryzują się dużą ilością pojazdów o napędzie konwencjonalnym. Miasta chcąc stworzyć środowisko bardziej przyjazne dla zdrowia jego mieszkańców podejmują się różnych działań proekologicznych. Jednym z zagadnień adaptujących działania mające na celu ochronę środowiska jest elektromobilność.

Czym jest elektromobilność?

Elektromobilność rozumie się jako zespół zagadnień i środków mających na celu wdrażanie pojazdów elektrycznych na rynku motoryzacyjnym. Pojazd elektryczny zgodnie z ustawą z dnia 20 czerwca 1997 roku – Prawo o ruchu drogowym definiowany jest jako pojazd „(...)wykorzystujący do napędu wyłącznie energię elektryczną akumulowaną przez podłączenie do zewnętrznego źródła zasilania”. W ciągu ostatnich lat widoczna jest akcja promująca pojazdy elektryczne, która dotyczy zarówno publicznego oraz prywatnego sektora transportu, choć wciąż liczba pojazdów w naszym kraju jest niewielka. Flotę osobowych samochodów elektrycznych w Polsce pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Flota osobowych samochodów elektrycznych w Polsce. BEV – Pojazd o napędzie akumulatorowym (elektrycznym), PHEV – elektryczne pojazdy hybrydowe typu plug-in z 2 rodzajami zasilania. Źródło: European Alternative Fuels Observatory, 2019

Wdrażanie elektromobilności w Polsce jest aktualnie jednym z najczęściej poruszanych tematów dotyczących sektora transportu. Jest to tematyka obecnie żywo dyskutowana, która w polskim ustawodawstwie obligowana jest poprzez wydaną w 2018 roku ustawę o elektromobilności i paliwach alternatywnych. W ustawie znajdują się przepisy wskazujące planowane ilości punktów ładowania zainstalowanych w ogólnodostępnych stacjach ładowania w gminach do dnia 31 grudnia 2020 roku. Wymagana liczba punktów ładowania w gminie uzależniona jest od liczby jej mieszkańców, liczby pojazdów ogółem oraz liczby pojazdów samochodowych przypadających na 1000 mieszkańców (szczegółowe dane pokazano w tabeli 1). Gminy stają zatem przed nie lada wyzwaniem, na którego realizację nie mają zbyt wiele czasu. Uwzględniając fakt, iż infrastruktura pojazdów elektrycznych jest w początkowej fazie rozwoju ważnym jest jej zaprojektowanie w przemyślny, odpowiednio sprecyzowany sposób.

Minimalna liczba mieszkańców	1 000 000	300 000	150 000	100 000
Minimalna liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych	600 000	200 000	95 000	60 000
Minimalna liczba pojazdów przypadająca na 1000 mieszkańców	700	500	400	400
Minimalna liczba punktów ładowania zainstalowanych w ogólnodostępnych stacjach ładowania	1000	210	100	60

Tab. 1. Klasyfikacja ilości minimalnej liczby punktów ładowania w ogólnodostępnych stacjach ładowania (Dz. U. 2018 poz. 317)

Elektromobilność vs. GIS

Aby rozwój elektromobilności w Polsce był jak najbardziej optymalnie zaplanowany w przestrzeni potrzeba odpowiednich narzędzi, które będą stanowić podporę w przypadku skomplikowanych procesów decyzyjnych. Niewątpliwie przydatne w tym przypadku mogą być systemy informacji przestrzennej, a szczególnie przestrzenne analizy wielokryterialne, które pozwalają na badanie dostępności przestrzennej czy rozmieszczenia przestrzennego obiektów bądź zjawisk. Analiza wielokryterialna (ang. MCE, Multi-Criteria Evaluation) wspomaga odpowiednie planowanie i rozmieszczenie w przestrzeni projektowanych obiektów, w sposób najbardziej korzystny dla użytkowników.

MCE

Głównym celem prezentowanych analiz MCE jest zbadanie dostępności z jednoczesnym wskazaniem obszarów najbardziej optymalnych dla budowy ogólnodostępnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych na Mokotowie – jednej z dzielnic Warszawy. Tworząc podstawę dla realizacji MCE należy zdefiniować kryteria tj. czynniki warunkujące kwalifikację obiektów do zbioru decyzyjnego. Szczególnie przydatne w typowaniu kryteriów były opracowania dotyczące wdrażania elektromobilności w Polsce, które opierały się na ankietach

wybranych grup społecznych. Wynika z nich, że użytkownicy pojazdów elektrycznych preferują lokalizacje, w których mogą aktywnie spędzić czas przeznaczony na naładowanie auta.

Określenie przydatności

W procesie analizy wielokryterialnej duże znaczenie ma rozróżnienie kryteriów pod względem ich przydatności. Szczególnie pożyteczne w tym przypadku może okazać się wykorzystanie kryteriów logiki rozmytej, która cechuje się stopniowaniem przydatności określonych założeń. Zastosowanie funkcji rozmytej lepiej oddaje aspekt rzeczywistości, który rzadko kiedy sprowadza się do zero-jedynkowego postrzegania świata tworząc przy tym rozmaite warianty dalszych działań. Poprzez uwzględnienie różnego typu czynników, czy też preferencji grup, dla których projektowane jest dane rozwiązanie możliwe jest otrzymanie najbardziej optymalnego rozwiązania. Stopniowanie przydatności oznacza spełnienie kryterium w pewnym stopniu, niekoniecznie w 100%. Poprzez przyjęcie logiki rozmytej możliwe jest otrzymanie stopniowego przejścia pomiędzy maksymalną, a minimalną przynależnością do zbioru, dzięki czemu ostateczne wyniki przyjmują postać granic rozmytych.

Zdefiniowanie kryteriów

W ramach przeprowadzonych analiz przyjęto 7 kryteriów rozmytych. Proponowane kryteria uwzględniają zarówno miejsca o największym zagęszczeniu liczby mieszkańców, miejsca, w których pozostawienie pojazdu było pożyteczne i niekłopotliwe (typu: parkingi, stacje benzynowe, garaże podziemne), miejsca łatwo dostępne komunikacyjnie oraz, co najważniejsze miejsca, w których właściciele pojazdu będą spędzać określoną ilość czasu (tab. 2). Za tego typu lokalizacje uznano: miejsca pracy i nauki dorosłych, miejsca związane z aktywnością fizyczną, miejsca z możliwością zrobienia zakupów oraz miejsca związane

z kulturą i rozrywką. Wykorzystując metodę Analitycznego Przetwarzania Hierarchii (AHP) każde z kryteriów otrzymało wagę, która odzwierciedlała istotność każdego z nich względem siebie. Cały proces AHP ma na celu określenie wzajemnych związków pomiędzy kryteriami tj. które z kryteriów jest ważniejsze i o ile, lub które kryteria można uznać za jednakowo ważne.

W ramach MCE należało uwzględnić także bariery tj. czynniki, które rozumiane są jako ograniczenia. Wytypowano 6 kryteriów ostrych, których celem było wyeliminowanie obiektów związanych ze środowiskiem przyrodniczym. Wybrane obiekty wiązały się z brakiem możliwości z prawnego lub fizycznego punktu widzenia lokowania stacji ładowania, czego przykładem mogą być: obszary chronione, tereny lasów, parków itp.

W celu zbadania wpływu wagowania przeprowadzono dwa warianty analizy: 1. wariant, w którym każde kryterium będzie tak samo ważne, oraz wariant 2, który wykorzystywał zróżnicowane wartości wag (jak w tab. 2).

Kryteria	Aktywność fizyczna	Zakupy	Kultura, rozrywka	Miejsca pracy i nauki dorosłych	Komunikacja	Liczba mieszkańców	Miejsca strategiczne	Waga
Aktywność fizyczna	0,06	0,02	0,03	0,05	0,03	0,06	0,11	0,05
Zakupy	0,17	0,07	0,18	0,05	0,03	0,04	0,11	0,09
Kultura, rozrywka	0,11	0,02	0,06	0,04	0,05	0,06	0,11	0,06
Miejsca pracy i nauki dorosłych	0,17	0,20	0,24	0,16	0,20	0,09	0,16	0,17
Komunikacja	0,17	0,20	0,12	0,08	0,10	0,06	0,11	0,12
Liczba ludności	0,17	0,27	0,18	0,31	0,30	0,17	0,11	0,22
Miejsca postoju	0,17	0,20	0,18	0,31	0,30	0,52	0,32	0,29
SUMA	1	1	1	1	1	1	1	1

Tab. 2. Zestandaryzowana Macierz Porównań Parami (Metoda AHP) kryteriów oraz wyznaczone wagi kryteriów rozmytych.

Wyznaczenie zasięgów dojazdu

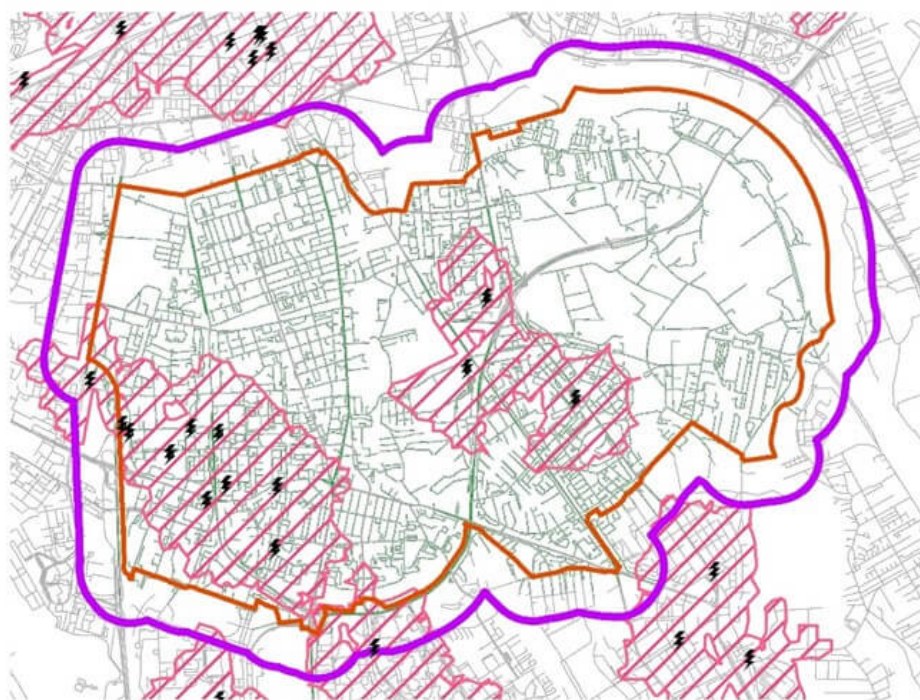
Dane z rejestrów PlugShare, ORPA, EIPA wykorzystano do inwentaryzacji istniejących stacji ładowania pojazdów elektrycznych w skrócie zwanych SŁPE (tab. 3).

Nr	Baza	Lokalizacja	Adres	Typ parkingu	Parking	Liczba stacji	Liczba gniazd	Operator	Otwarte
1	ORPA EIPA PlugShare	Galeria Mokotów	ul. Wołoska 12	Parking centrum handl.	Bezpłatny	1	1 x Typ 2, 1x CCS, 1x CHAdeMO	Greenway	24h
2	ORPA EIPA PlugShare	Parking pod Innogy	ul. Pory 80	Parking naziemny	Bezpłatny	1	2x Typ 2	Innogy	24h
3	ORPA PlugShare	Biurowiec BMW Group	ul. Wołoska 22a	Parking naziemny	Bezpłatny	1	1 x Typ 2, 1 x CCS	Brak informacji	24h
4	EIPA PlugShare	Hotel Sheraton	ul. Suwak 7b	Parking naziemny	Bezpłatny	1	1 x Typ 2	Greenway	24h
5	EIPA PlugShare	Pasaż handlowy	ul. Aleja Wilanowska 361	Parking naziemny	Bezpłatny	1	1 x Typ 2, 1 x CCS,	PGE	24h
6	PlugShare	Centrum handlowe Sadyba Best Mall	ul. Powsińska 31	Parking centrum handl.	Bezpłatny	1	1 x Typ 2, 1 x CCS, 1 x CHAdeMO	Greenway	8.00-22.00

Tab. 3. Przykładowe dane zebrane na potrzebę utworzenia bazy danych istniejących stacji ładowania pojazdów elektrycznych.

Do wyznaczenia zasięgów dojazdu od istniejących stacji wykorzystano rozszerzenie Network Analyst oprogramowania ArcGIS. Na podstawie danych BDOT10k z klas obiektów przedstawiających jezdnie dróg oraz punktowej warstwy istniejących stacji ładowania pojazdów elektrycznych utworzono sieciowy zestaw danych zwany Network Dataset. Utworzono strefy dojazdów (1 km i 2 km) wyznaczone wzdłuż jezdni dróg. Tak otrzymane obszary wykorzystano w ramach identyfikacji miejsc nieobjętych zasięgami wyznaczonymi z każdej stacji ładowania (rys. 2, rys. 3), które stanowiły wzmocnienie systemu decyzyjnego.

Strefa dojazdu 1 km do stacji ładowania pojazdów elektrycznych



Legenda

⚡ SŁPE*

□ Dzielnica Mokotów

□ Obszar opracowania

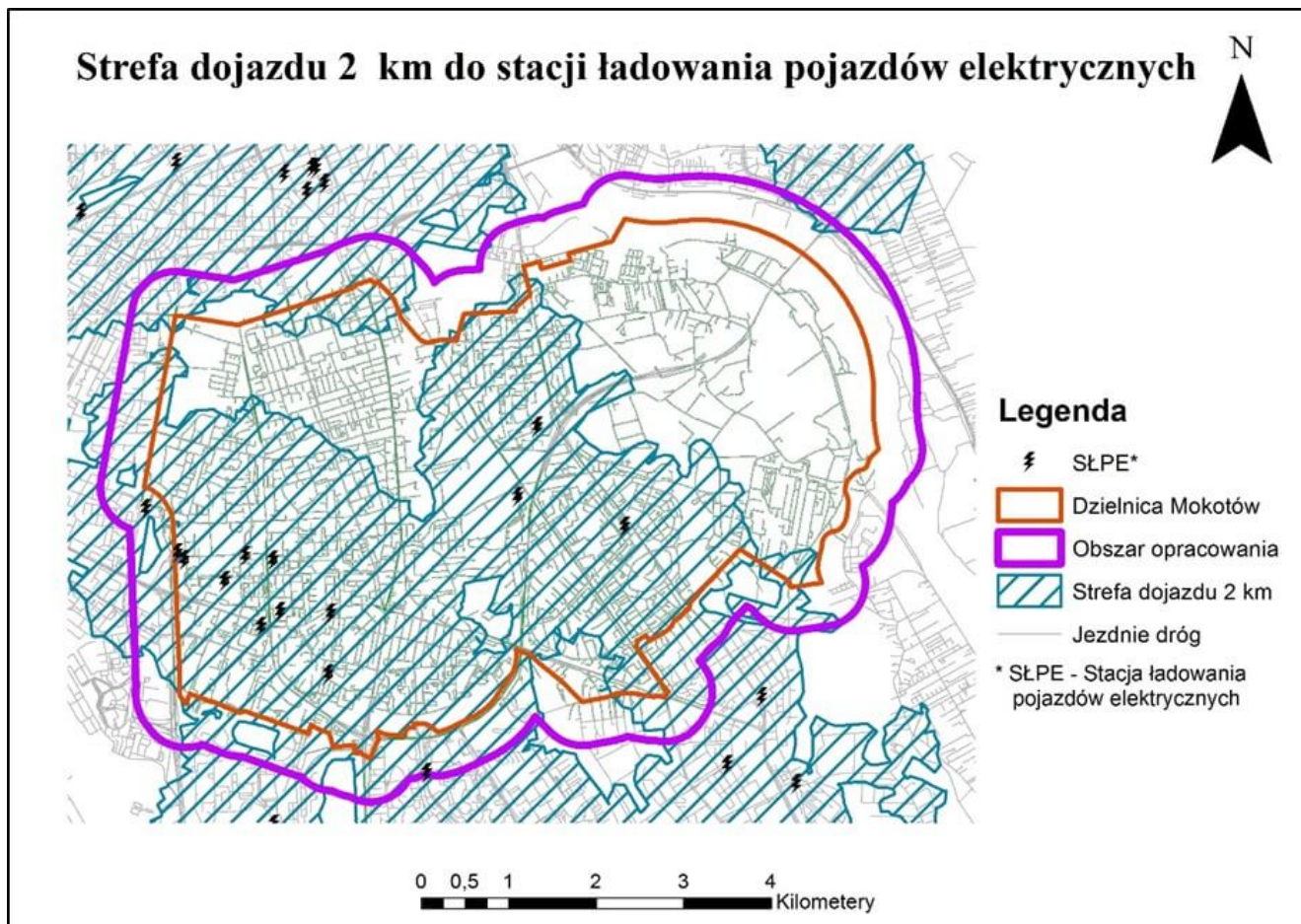
▨ Strefa dojazdu 1 km

— Jezdnie dróg

* SŁPE - Stacja ładowania pojazdów elektrycznych

0 0,5 1 2 3 4 Kilometry

Rys. 2. Jednokilometrowa strefa dojazdu do SŁPE



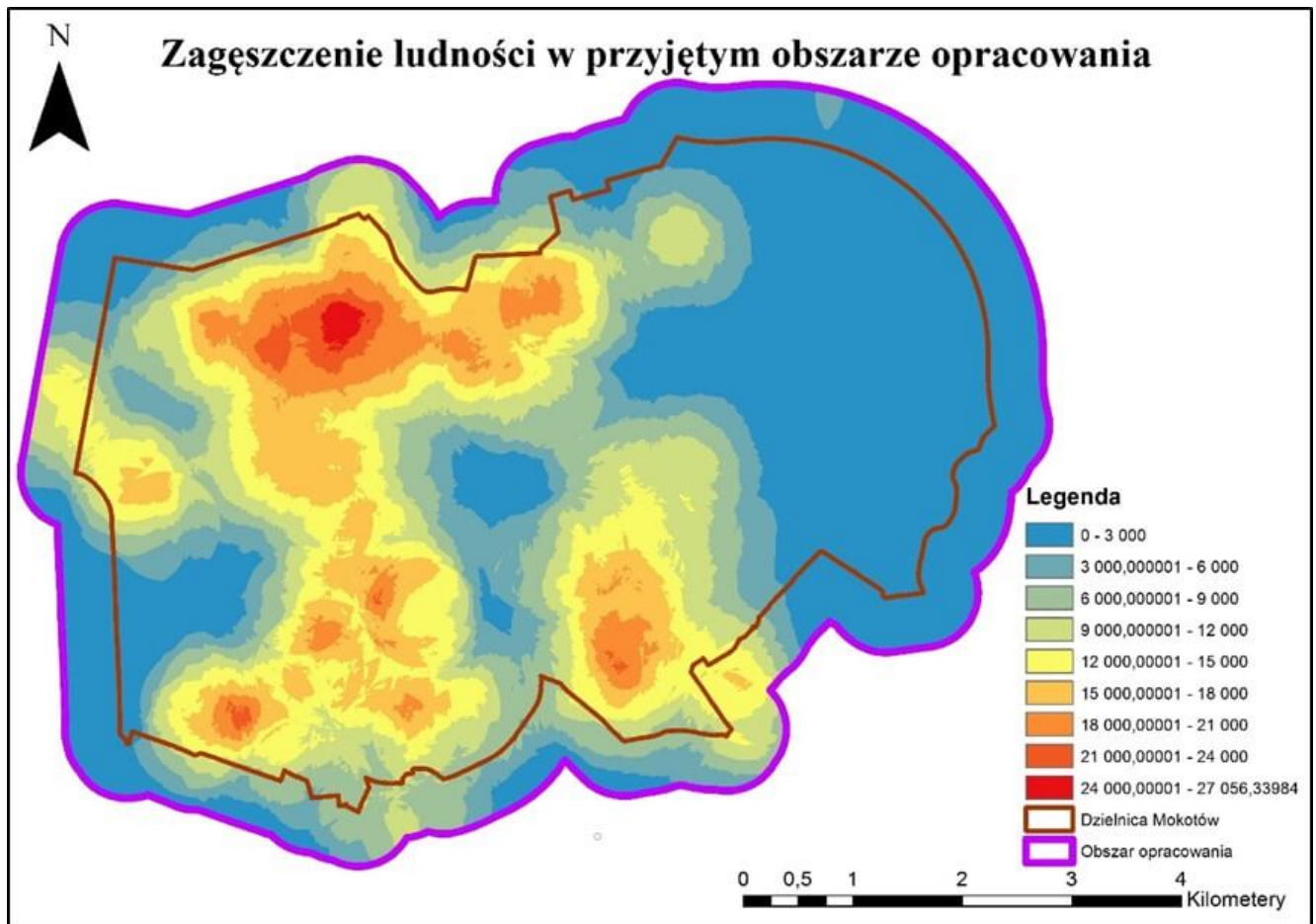
Rys. 3. Dwukilometrowa strefa dojazdu do SŁPE

Analiza geostatystyczna

Analiza geostatystyczna dodatkowo wskazała obszary o dużym zagęszczeniu liczby mieszkańców. Przyjęto, iż duże skupiska mieszkańców będą się wiązać z wzrastającym prawdopodobieństwem występowania osób posiadających pojazdy o napędzie elektrycznym.

Założono, że najbardziej dogodną lokalizacją stacji ładowania będą dla nich obszary znajdujące się w pobliżu miejsca zamieszkania. Liczba mieszkańców danego budynku została wyliczona w oparciu o dane odnośnie powierzchni użytkowej budynku przypadającej na 1 mieszkańca, które publikowane są przez Główny Urząd Statystyczny oraz przy wykorzystaniu założenia stwierdzającego, iż powierzchnia użytkowa budynku stanowi 83% jego powierzchni ogólnej. Zmieniając postać danych

wektorowych poligonowych na punktowe wyznaczono miejsca o dużym natężeniu za pomocą narzędzia Point Density, które wykorzystuje funkcję sąsiedztwa opierając się na zdefiniowanym promieniu wyszukiwania (rys. 4).

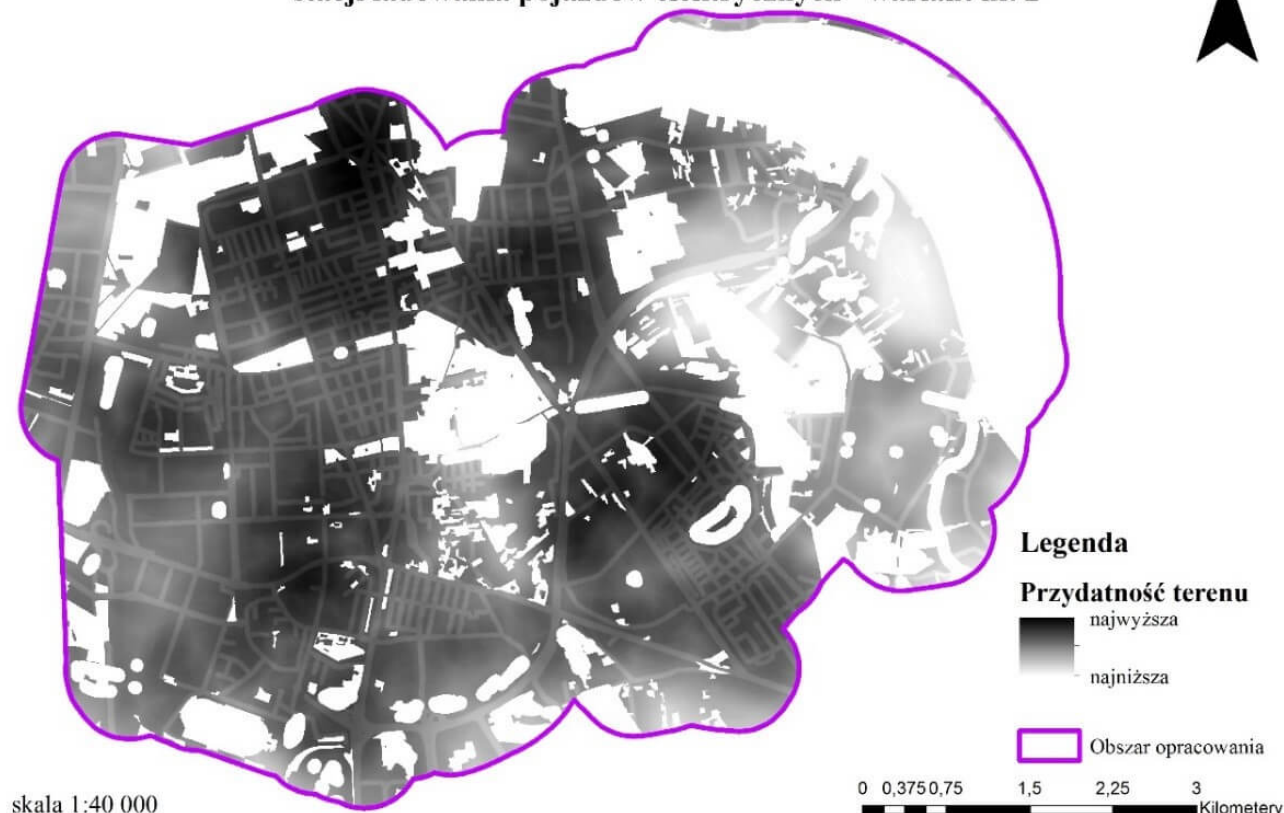


Rys. 4. Zagęszczenie ludności w przyjętym obszarze opracowania – rezultat funkcji "Point Density".

Łączenie wyników

Do połączenia pośrednich wyników wykorzystano metodę ważonej kombinacji liniowej (ang. WLC, Weighted Linear Combination), która umożliwia łączenie kryteriów rozmytych (rys. 5) oraz kryteriów ostrych.

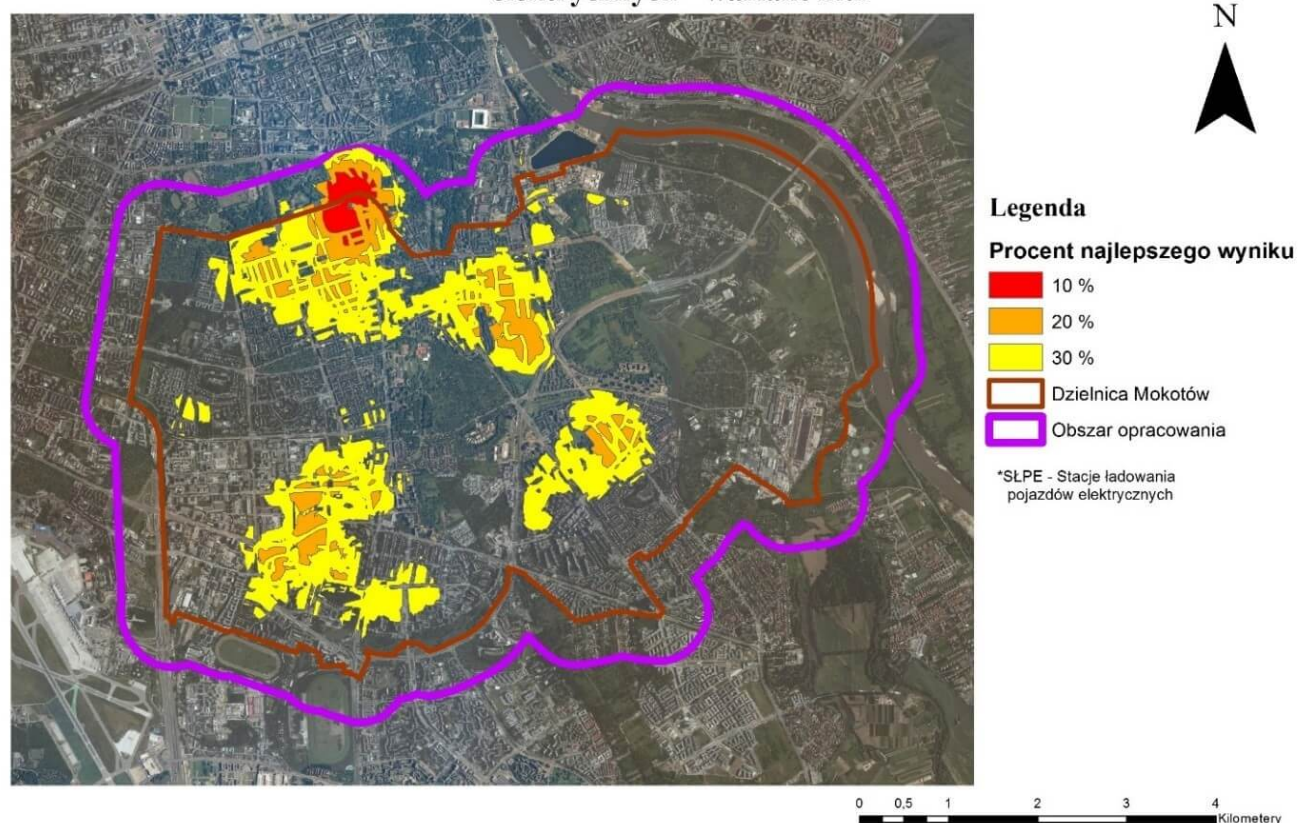
**Mapa przydatności terenów pod lokalizację ogólnodostępnych
stacji ładowania pojazdów elektrycznych - wariant nr. 2**



Rys. 5. Przydatność terenów pod lokalizację ogólnodostępnych SŁPE – wariant nr 2.

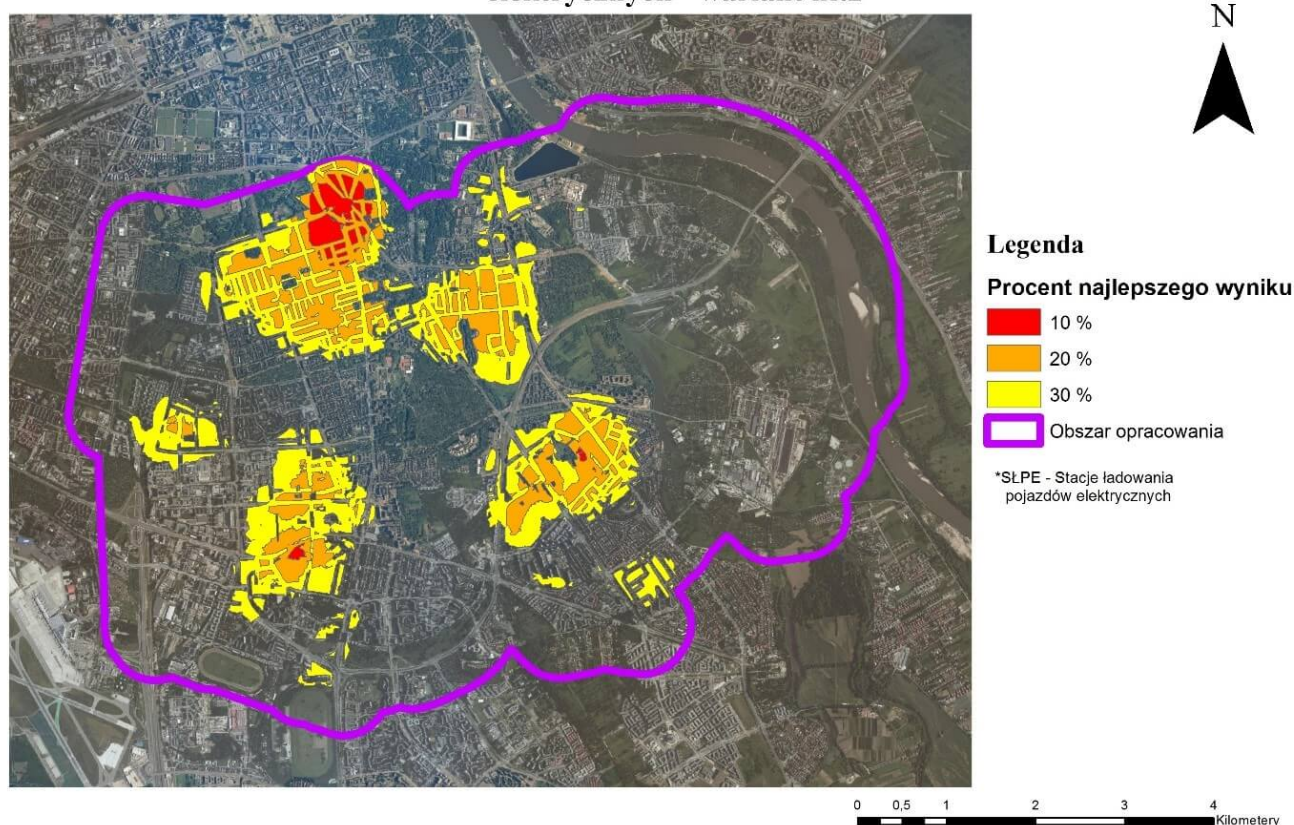
Wynikiem przeprowadzonej analizy dla dzielnicy Mokotów w Warszawie są wyznaczone obszary, które cechują się największą przydatnością, a zatem jednocześnie spełniają założenia największej liczby kryteriów. Porównując warianty metody łączenia kryteriów WLC wskazano na istotność wagowania kryteriów, która rzutuje na ostateczny rezultat. Obydwa warianty (rys. 6 i 7) analizy wielokryterialnej dają przybliżone wyniki, jednak to wariant nr 2 (różne wagi) można uznać za pełniejszy i lepiej oddający oczekiwania użytkowników (rys. 7).

Obszary wskazane jako wartościowe dla lokalizacji ogólnodostępnych stacji ładowania pojazdów elektrycznych - wariant nr.1



Rys. 6. Określenie przydatności wg wariantu nr 1 (równe wagi) pod lokalizację SŁPE.

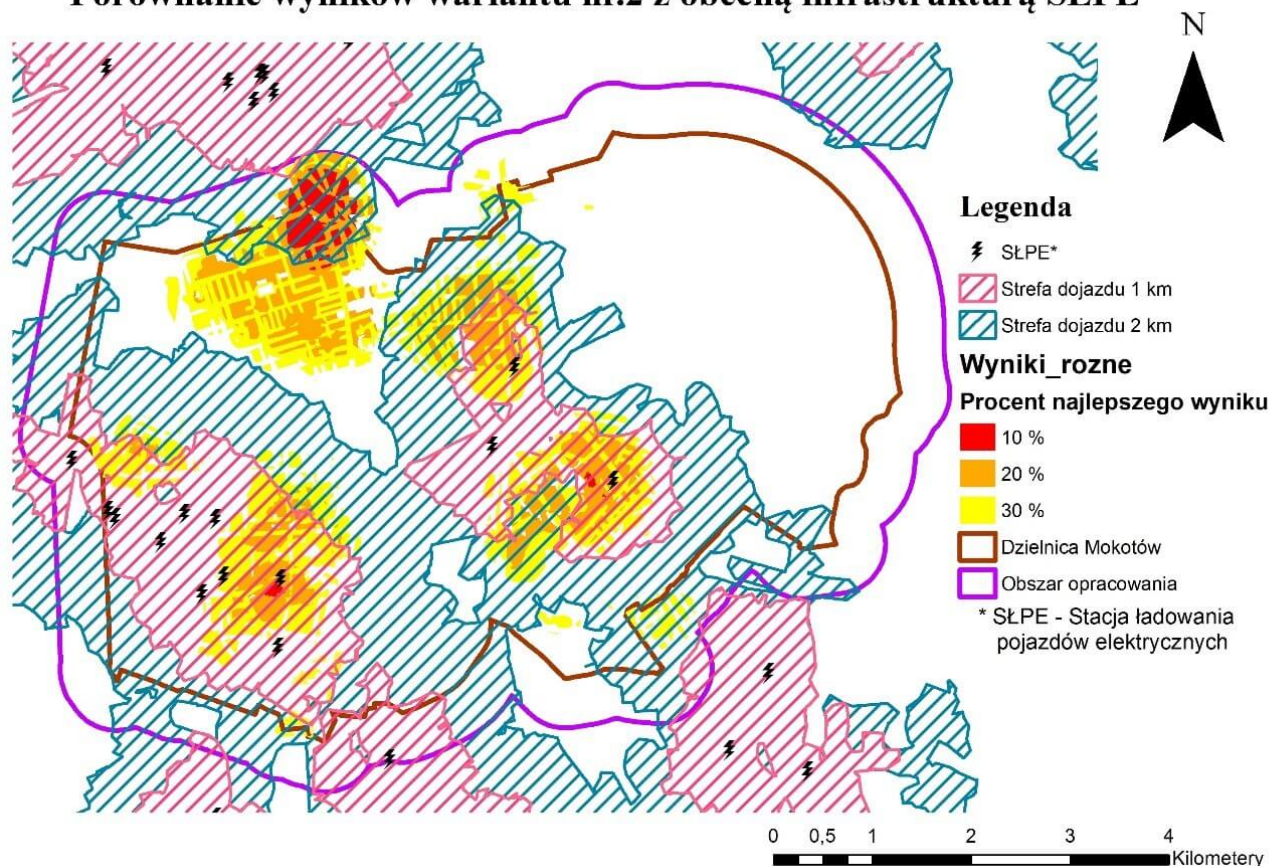
Obszary wskazane jako wartościowe dla lokalizacji ogólnodostępnych stacji ładowania pojazdów elektrycznych - wariant nr.2



Rys. 7. Określenie przydatności wg wariantu nr 2 (różne wagi) pod lokalizację SŁPE.

Nadając kryteriom zróżnicowane wagi odzwierciedla się ich stopień istotności (np. wg opinii publicznej). Wynikowe mapy przydatności zreklasyfikowano mając na celu wyłonienie najlepszych wyników poprzez zawężenie uzyskanego przedziału przydatności. Przyjęto 10, 20 oraz 0% najlepszych wyników, które mogą być najbardziej przydatne w procesie lokalizowania stacji ładowania pojazdów elektrycznych. Uzyskane wyniki (rys. 8) mogą stanowić wskazówkę, które miejsca będą najbardziej korzystne do lokalizacji SŁPE mając na uwadze wcześniej zdefiniowane kryteria.

Porównanie wyników wariantu nr.2 z obecną infrastrukturą SŁPE*



Rys. 8. Porównanie wyników wariantu nr 2 (różne wagi) z obecną infrastrukturą SŁPE.

W aplikacji Model Builder model łączenia kryteriów ostrych utworzono modele automatyzujące przeprowadzone procesy analityczne. Tworzone modele stanowią zestawy gotowych rozwiązań możliwych do wykorzystania dla innych obszarów miasta. Zastosowanie aplikacji Model Builder nie tylko przyspiesza mechanizm podejmowania decyzji, ale i ogranicza ryzyko propagacji błędów oraz implementacji nieodpowiednich danych.

Podsumowanie

Opracowana i przetestowana metodyka może być przydatnym narzędziem w ramach wypełnienia założeń ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Decydenci szybko i dokładnie mogą wyznaczyć obszary, w których stacje ładowania są najbardziej potrzebne oraz takie, które będą najbardziej

optymalne, to znaczy korzystne zarówno dla użytkowników jak i opłacalne dla inwestorów. Wykorzystując obecną sytuację, w której Polska dopiero rozpoczyna budowę omawianej infrastruktury, możliwe jest jej zaprojektowanie w sposób jak najbardziej funkcjonalny. Wzrost liczby punktów ładowania oraz ich odpowiednie zagęszczenie w przestrzeni może być czynnikiem warunkującym rozwój elektromobilności w Polsce. Poprawnie zaprojektowane rozlokowanie punktów ładowania może zachęcić społeczeństwo do zakupu pojazdów elektrycznych. Zastosowanie do tego celu zaproponowanej metodyki, bazującej na analizie wielokryterialnej MCE, analizach geostatystycznych i sieciowych może usprawnić proces podejmowania decyzji stanowiąc dodatkowe, rzetelne źródło informacji przestrzennej. Przy użyciu oprogramowania ArcGIS i dostępnej w nim możliwości automatyzacji procesów, utworzone modele mogą być zastosowane dla dowolnego obszaru opracowania. Przyjęta metodyka może być rozszerzona o parametry techniczne stacji, a także o rodzaje istniejących przyłączy, przewodów elektroenergetycznych oraz ich przepustowości. Taka dodatkowa weryfikacja doprecyzuje możliwość zlokalizowania tego typu inwestycji na określonym terenie.



Model łączenia kryteriów ostrych