



## Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG

2019, 22(2), 20-33

DOI 10.4467/2543859XPKG.19.008.11148

Otrzymano (Received): 14.04.2019

Otrzymano poprawioną wersję (Received in revised form): 20.06.2019

Zaakceptowano (Accepted): 21.06.2019

Opublikowano (Published): 28.06.2019

# KRYTERIA OCENY LOKALIZACJI PUNKTÓW ŁADOWANIA SAMOCHODÓW ELEKTRYCZNYCH. STUDIUM PRZYPADKU: SIĘĆ PUNKTÓW ŁADOWANIA W POZNANIU

*Criteria for the appraisal of the location of electric vehicle charging stations. Case study: network of charging stations in Poznan*

Patrycja Szymańska (1), Aleksandra Szczur (2), Paweł Zmuda-Trzebiatowski (3)

(1) Wydział Inżynierii Transportu, Politechnika Poznańska, Piotrowo 3, 61-138 Poznań

e-mail: patrycja.w.szymanska@student.put.poznan.pl

(2) Wydział Inżynierii Transportu, Politechnika Poznańska, Piotrowo 3, 61-138 Poznań

e-mail: aleksandra.t.szczur@doctorate.put.poznan.pl

(3) Zakład Systemów Transportowych, Politechnika Poznańska, Piotrowo 3, 61-138 Poznań

e-mail: pawel.zmuda-trzebiatowski@put.poznan.pl (autor korespondujący)

### Cytacja:

Szymańska P., Szczur A., Zmuda-Trzebiatowski P., 2019, Kryteria oceny lokalizacji punktów ładowania samochodów elektrycznych. Studium przypadku: sieć punktów ładowania w Poznaniu, *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 22(2), 20–33.

**Streszczenie:** W artykule podjęto problematykę oceny lokalizacji punktów ładowania samochodów elektrycznych. W szczególności skupiono się na zidentyfikowaniu potencjalnych kryteriów oceny ich sieci. Założono, że wyznaczenie wartości tych kryteriów powinno być możliwe przy wykorzystaniu publicznie dostępnych w Polsce źródeł danych, np. takich które zostały udostępnione przez Główny Urząd Statystyczny, Główny Urząd Geodezji i Kartografii czy też w ramach projektów Urban Atlas lub OpenStreetMap. Ostatecznie zaproponowano zbiór kryteriów oceny, które mieściły się w sześciu kategoriach i pokrywały aspekty: kosztowe, udziału ładowarek dużej mocy, związane z dostępnością przestrzenną, a także integracją sieci ładowarek samochodów elektrycznych z systemem publicznego transportu zbiorowego. Tak opracowany zbiór kryteriów został zastosowany do oceny sieci punktów ładowania w Poznaniu dla stanu obecnego oraz trzech opracowanych przez autorów wariantów predykcyjnych, które spełniają wymagania ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych.

**Słowa kluczowe:** elektromobilność, ocena lokalizacji, Poznań, punkty ładowania

**Abstract:** The article discusses the problem of appraisal of the location of electric car charging stations. The article is focused on identifying potential criteria for assessing the network of charging points. It was assumed that the determination of the value of these criteria should be possible by using publicly available data sources in Poland, e.g. those that were made available by the Central Statistical Office of Poland, Head Office of Geodesy and Cartography or as part of Urban Atlas or OpenStreetMap projects. Finally, a set of evaluation criteria was proposed, which were classified to six categories and covered the aspects of: cost, the share of high power charging stations, spatial accessibility as well as the integration of electric car charger network with the public transport system. The set was used to assess the network of charging stations in Poznan for the present state and three forecasting variants developed by the authors, which meet the requirements of the Act on electromobility and alternative fuels.

**Key words:** charging stations, e-mobility, location assessment, Poznan

## 1. Wstęp

Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. 2018 poz. 317) nałożyła na gminy obowiązek monitorowania stopnia rozwoju sieci ogólnodostępnych punktów ładowania pojazdów elektrycznych. W przypadku stwierdzenia, że liczba punktów ładowania jest niewystarczająca względem ustawowych wytycznych, na jednostkach samorządu terytorialnego (JST) ciąży także obowiązek podjęcia działań planistycznych w tym zakresie.

Problematyka związana z lokalizacją obiektów punktowych w transporcie jest dość szeroko podejmowana w literaturze (por. np. Merkisz-Guranowska i in., 2016; Sawicki, Fierek, 2018). Punkty ładowania samochodów elektrycznych, podobnie jak inne obiekty transportowe, cechuje wzajemne oddziaływanie na siebie – na ocenę danej lokalizacji ma wpływ lokalizacja innych punktów w sieci. Stąd zasadnym może być sformułowanie problemu lokalizacji, jako problemu wyboru najbardziej pożądanej struktury sieci spośród opracowanych wariantów lub problemu stworzenia rankingu takich wariantów. W pracy R. Pagany i in. (2018) przedstawiono przegląd 661 prac naukowych podejmujących zagadnienia lokalizacji stacji ładowania. Zakres czasowy przeglądu obejmował lata 1986-2016, przy czym zdecydowana większość prac została opublikowana po roku 2012. Jednym z elementów przeglądu było określenie kryteriów, które zostały wykorzystane do oceny lokalizacji punktów ładowania. Oprócz typowych kryteriów związanych z kosztami wybudowania infrastruktury, wskazano na kryteria przyjmujące perspektywę użytkownika, takie jak zapotrzebowanie na podróże, czas podróży czy odległość punktu ładowania od źródła i celu podróży, a także kryteria przyjmujące perspektywę trasy, takie jak długość podróży, kongestia ruchu, czy tworzenie się kolejek. Przyjętymi w pracy R. Pagany i in. (2018) danymi wejściowymi do modeli były m.in. dane statystyczne ze spisów powszechnych czy dane o podróżach samochodów elektrycznych lub o napędzie konwencjonalnym.

Minimalizacja liczby punktów, które pozwalają zaspokoić oszacowane zapotrzebowanie stanowiło też kryterium optymalizacji w części późniejszych prac (Bouguerra, Layeb, 2019; Efthymiou i in., 2017). W pracy D. Efthymiou i in. (2017) do rozwiązania problemu posłużono się macierzą „źródło–cel” podróży pojazdów o napędzie konwencjonalnym oraz wykorzystano solver dostępny publicznie na zasadach open-source. W pracy S. Bouguerry i S. Layeba (2019) problem ustalania lokalizacji punktów ładowania został połączony z problemem ustalania ich liczebności w obrębie danej lokalizacji. Dodatkowym kryterium

optymalizacji była także niezbędna do przebycia pieszo odległość między punktem ładowania a miejscem pracy. Z kolei w pracy H. Wanga i in. (2019) przy wyznaczaniu zapotrzebowania w mieście wydzielono grupy użytkowników indywidualnych oraz pracujących na jedną i dwie zmiany e-taksówek, a dla miejsc podaży dwie kategorie punktów ładowania – normalnej i dużej mocy.

Należy w tym miejscu zauważyć, że o ile można dostrzec pewną przydatność informacji o popycie lub podaży transportu, dostępnej w modelach transportowych do ustalania minimalnej wymaganej liczby punktów ładowania, to modele takie nie są w praktyce dostępne w każdym mieście, a ich przygotowanie może być dość kosztowne. Ponadto często są to modele w skali makro, które pozwalają na jedynie przybliżone określenie lokalizacji punktów ładowania. Z kolei wykorzystywanie ankiet dotyczących mobilności wiąże się z ryzykiem powstania pozytywnych sprzężeń zwrotnych pomiędzy decyzjami lokalizacyjnymi podejmowanymi przez decydentów, a decyzjami dotyczącymi posiadania samochodów elektrycznych podejmowanymi przez użytkowników. W skrajnych sytuacjach sprzężenia te mogą skutkować trwałym zmniejszeniem atrakcyjności niektórych obszarów z perspektywy użytkowników samochodów elektrycznych oraz jednocześnie obniżeniem atrakcyjności samochodów elektrycznych dla niektórych grup użytkowników, które dotychczas wykorzystywały pojazdy z napędem konwencjonalnym. Problem ten da się częściowo rozwiązać stosując w ocenie scenariusze prognostyczne, które zakładają zwiększenie odsetka użytkowników samochodów elektrycznych.

W pracy C. Csiszára (2019) zaproponowano podejście łączące skalę makro ze skalą mikro. Zaproponowano, że w związku z odmiennym charakterem podróży miejskich i międzymiastowych należy stosować w tych przypadkach różne podejścia do problematyki lokalizacji punktów ładowania. Podczas rozwiązywania problemu w miastach na poziomie mikro zaproponowano wykorzystanie informacji o dostępności miejsc parkingowych. Podejście to zostało rozwinięte o inne kryteria w pracy C. Csiszára i in. (2019). W skali makro uwzględniono w niej ruch lokalny oraz turystyczny, natomiast w skali mikro obiekty handlowe, usługowe (poczta, bank, administracja), przystanki transportu zbiorowego, parkingi Parkuj i Jedź, stacje benzynowe oraz obiekty turystyczne i handlowe.

Pagany i in. (2019) zaproponowali mikroskalowy model, w którym dla potencjalnych publicznych lub quasi-publicznych punktów zainteresowań wyznaczyli poziom zapotrzebowania na usługę ładowania samochodów elektrycznych. Potrzeba ta była

wyznaczana opierając się na takich parametrach, jak przeciętny czas i częstość pobytu użytkowników w danym POI. Ponadto lokalizacja punktów ładowania była ustalana z zachowaniem dostępności pieszej oraz z uwzględnieniem lokalizacji innych punktów.

Natomiast w pracy M. Erbaśa i in. (2018) zaproponowano wielokryterialne podejście do metodyki lokalizacji punktów ładowania, którą zastosowano następnie do ich oceny w Ankarze. Opracowano zbiór 15 kryteriów sklasyfikowanych w trzech kategoriach: środowiskowej/geograficznej (np. odległość zasobów wody, nachylenie terenu, ryzyko trzęsień ziemi), ekonomicznej (koszt gruntów, odległość do źródeł zasilania, liczba posiadanych samochodów elektrycznych) oraz urbanistycznej (np. odległość do skrzyżowań, stacji benzynowych lub innych punktów ładowania). Przynajmniej niektóre ze wskazanych powyżej kryteriów mają charakter lokalny, co sugeruje, że zbiory kryteriów mogą być dostosowywane do charakteru danego miasta lub państwa.

Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych nie zawiera szczegółowych wytycznych odnośnie do lokalizacji punktów ładowania. Wskazuje jedynie minimalną ich liczbę, która powinna powstać w gminach o danej wielkości (art. 60). Wskazane jest w niej jednak, że podczas planowania rozmieszczenia wzmiankowanej infrastruktury należy przeprowadzić konsultacje z mieszkańcami gminy oraz operatorami systemów dystrybucyjnych elektroenergetycznych (art. 62).

Celem niniejszej pracy jest opracowanie zbioru kryteriów, który będzie oparty na publicznie dostępnych w Polsce zbiorach danych oraz będzie mógł być wykorzystany w jednej z metod analizy wielokryterialnej do oceny wariantów lokalizacji punktów ładowania samochodów elektrycznych w miastach. Zbiór ten obejmuje sześć potencjalnych kategorii kryteriów. Uwzględniono w nim zagadnienia związane z kosztami budowy sieci, udziałem ładowarek dużej mocy, a także związane z dostępnością przestrzenną czy integracją sieci ładowarek samochodów elektrycznych z systemem publicznego transportu zbiorowego. Kryteria te zostały następnie zastosowane do oceny wariantów sieci punktów ładowania w Poznaniu. Zbiór wariantów obejmuje wariant reprezentujący obecny stan rozwoju sieci, a także trzy warianty predykcyjne. Przy ich tworzeniu założono, że kolejne punkty ładowania będą powstawać w miejscach, które wynikają ze zidentyfikowanych obecnych trendów rozwojowych sieci ładowania samochodów elektrycznych. Ponadto warianty te spełniają wymagania co do liczby punktów ładowania postawione przez ustawę o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Tak przygotowane warianty

pozwoły na ocenę zmian wartości kryteriów w wyniku zmiany liczby punktów ładowania.

## **2. Kryteria oceny lokalizacji punktów ładowania samochodów elektrycznych**

### **2.1. Koszt budowy punktów ładowania**

Koszty budowy punktów ładowania są różnicowane. Zależą od szczegółów konstrukcyjnych, takich jak moc ładowania, liczba punktów ładowania obsługiwanych przez jedną stację ładowania czy liczba wykorzystanych standardów złącz. Przegląd literatury branżowej (por. np. Piszczatowska, 2017) pozwolił na wyznaczenie szacunkowego kosztu stacji ładowania na 40 tys. zł w przypadku punktu o normalnej mocy ładowania ( $\leq 22$  kW) oraz 80-120 tys. zł w przypadku punktu dużej mocy ( $> 22$  kW). Koszty instalacji urządzeń oszacowano na 20-70 tys. zł /szt.

Kryterium jest minimalizowane. Jego wartość wyznacza się jako sumaryczny koszt zakupu i instalacji nowych punktów ładowania. Warto jednak zauważyć, że koszty te nie muszą być w całości ponoszone przez podmiot, który buduje dany punkt ładowania. Projekty tego typu mogą być dofinansowywane, np. w ramach Funduszu Niskoemisyjnego Transportu. W tej sytuacji wymagane może być dookreślenie czy kryterium dotyczy kosztów globalnych, czy też kosztów ponoszonych tylko przez wybrane podmioty. Koszt ten może być także powiększony o koszt utrzymania w założonym horyzoncie czasu. Szczególnie istotny może być tu charakter własności przestrzeni niezbędnej do utworzenia miejsca postojowego.

### **2.2. Udział punktów ładowania dużej mocy**

Stosowanie kryterium kosztów budowy punktów ładowania w przypadku występowania kilku ich zróżnicowanych cenowo wariantów powoduje zwiększenie preferencji wykorzystywania tańszych rozwiązań – w tym przypadku punktów ładowania normalnej mocy. Stąd zaproponowano też maksymalizowane kryterium udziału w danym wariantcie punktów ładowania dużej mocy. Kryterium to jest wyznaczone jako iloraz liczby punktów dużej mocy do wszystkich punktów ładowania.

### **2.3. Dostępność przestrzenna do punktów ładowania**

Na stronach Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii w ramach państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego nieodpłatnie udostępniane są dane o przebiegu granic administracyjnych JST (geo.stat.gov.pl/inspire, 2019). Na ich podstawie oraz wyło-

nionych w ramach procesu planistycznego lokalizacji punktów ładowania można wyznaczyć miary związane z dostępnością przestrzenną. W niniejszej pracy zaproponowano wykorzystanie dwóch: maksymalnej odległości do punktu ładowania oraz udziału powierzchni JST, która jest dostępna pieszo z punktów ładowania.

Dla obu miar zastosowano metrykę euklidesową. W celu wyznaczenia pierwszej poszukiwany jest taki punkt znajdujący się w granicach administracyjnych JST, który jest najbardziej oddalony od najbliższego mu punktu ładowania. Preferowane są warianty o jak najmniejszej wartości tej odległości. Druga maksymalizowana miara wyznaczona została jako iloraz powierzchni JST znajdującej się w odległości nie większej niż 400 m od najbliższego punktu ładowania do całkowitej powierzchni JST. Stosowanie drugiej miary na celu określenie jaka część miasta będzie dostępna dla użytkownika na potrzeby realizacji celów związanych w podróży w trakcie ładowania samochodu. Autorom niniejszej pracy nie udało się odnaleźć wyników badań dotyczących odległości, jaką są skłonni pokonać użytkownicy samochodów elektrycznych podczas korzystania z usług ładowania. Stąd posłużono się promieniem 400 m, który jest typową wartością przyjmowaną dla przystanków transportu zbiorowego (por. np. Pittman, Day, 2015; Gadziński, 2010) oraz w niektórych pracach dotyczących lokalizacji stacji ładowania (Frade i in., 2011). Odległość ta odpowiada przeciętnie 5 min marszu. Należy jednak zauważyć, że w pracy R. Pagany i in. (2019) zaproponowane zostały także krótsze dystanse w przypadku grupy seniorów (100-250 m w zależności od celu podróży) oraz dla punktów ładowania obsługujących miejsca zakupów (100 m). W tym drugim przypadku wzięto pod uwagę fakt przemieszczania się z bagażem.

Obecność tak sformułowanych kryteriów w zbiorze skutkuje preferowaniem wariantów o bardziej równomiernym przestrzennym rozłożeniu punktów ładowania. Należy zauważyć, że nie byłoby to spełnione w przypadku wykorzystywania miary średniej odległości, gdyż może ona przyjmować identyczne wartości zarówno dla sieci, w której punkty ładowania są rozłożone równomiernie, jak i takiej, w której występuje obszar dużego zagęszczenia punktów wraz z niewielką liczbą lokalizacji znajdujących się w znacznej odległości od tego zagęszczenia.

#### **2.4. Pokrycie punktami ładowania obszarów gęsto zaludnionych**

Wyznaczone w poprzednim kryterium miary dostępności przestrzennej, jakkolwiek cechujące się małymi wymaganiami dotyczącymi zapotrzebowania na

dane, nie uwzględniają różnicowania zabudowy miast, a zatem przestrzennego różnicowania w ich granicach lokalizacji miejsc zamieszkania oraz innych atraktorów i generatorów ruchu. Jednym ze zbiorów danych, który pozwala uwzględnić to różnicowanie są informacje GUS o gęstości zaludnienia dostępne na siatce kilometrowej ([geo.stat.gov.pl/inspire](http://geo.stat.gov.pl/inspire), 2019). Zbiór ten został przygotowany w oparciu o dane pozyskane w ramach Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań, który był wykonany w 2011 r. Stąd mogą być częściowo nieaktualne, szczególnie dla obszarów granicznych miast czy aglomeracji. Można więc rozważyć ich zastąpienie, zwłaszcza w przypadku dysponowania dokładniejszymi danymi demograficznymi lub ich przybliżeniami, takimi jak powierzchnia i liczba kondygnacji budynków w danym rejonie.

Kryterium to jest w niniejszej pracy wyznaczane jako udział procentowy rejonów miasta, w którym zlokalizowano mniejszą liczbę punktów ładowania samochodów elektrycznych niż wynosi założony standard, który przedstawiany jest jako minimalna liczba punktów ładowania na określoną liczbę mieszkańców na km<sup>2</sup>. Kryterium to jest minimalizowane. W przypadku zaproponowanych danych GUS każdy rejon ma powierzchnię 1 km<sup>2</sup>. Jednak rejon graniczne mogą mieć inną powierzchnię, co należy uwzględnić w obliczeniach przez modyfikację oczekiwanej liczby punktów ładowania. Podobna sytuacja wystąpi w przypadku przyjęcia innego sposobu rejonizacji, np. stosowanego w modelu ruchu danego miasta.

Alternatywnie kryterium to może być wyznaczone, jako iloraz liczby ludności danej JST, która mieszka w odległości nie większej niż 400 m od punktu ładowania, względem całkowitej liczby ludności tej JST. W tym przypadku jest ono maksymalizowane, a obliczenia rozpoczyna się analogicznie, jak w przypadku poprzedniego kryterium od wyznaczenia buforów. Ponadto należy przyjąć tu jednakową gęstość zaludnienia w obrębie całego rejonu. W przypadku danych w siatce kilometrowej powierzchnia rejonu jest większa od powierzchni bufora wyznaczonego dla pojedynczego punktu ładowania. Dlatego uzyskane rezultaty mogą być w zbyt dużym stopniu przybliżone, by można było odróżnić warianty o zbliżonych strukturach sieci punktów ładowania. Stąd lepiej jest wykorzystać dokładniejsze dane dla obwodów spisowych, które także zostały udostępnione przez GUS ([geo.stat.gov.pl/inspire](http://geo.stat.gov.pl/inspire), 2019).

#### **2.5. Pokrycie punktami ładowania obszarów o zabudowie komercyjnej**

W przypadku większych aglomeracji miejskich dostępne są również dane o zagospodarowaniu prze-



strzennym, które zostały opracowane w ramach europejskiego projektu Urban Atlas ([land.copernicus.eu/local/urban-atlas](http://land.copernicus.eu/local/urban-atlas), 2019). W projekcie udostępniono dane aktualne na rok 2006 lub 2012. Dlatego dotyczą ich te same zastrzeżenia, co wzmiankowanych wcześniej danych o gęstości zaludnienia GUS. Jedną z kategorii zagospodarowania wyszczególnioną w projekcie są „jednostki przemysłowe, handlowe, publiczne, wojskowe i prywatne”. W ramach tych obszarów zlokalizowane są zatem dość istotne atraktory ruchu w miastach. Jednocześnie użytkownicy samochodów mogą spędzać tam dość dużo czasu. Stąd warto rozważyć lokalizację punktów ładowania w tych miejscach.

Należy jednak zauważyć, że na kategorię tę częściowo składają się obszary stanowiące przestrzeń zamkniętą, w obrębie której nie można lokalizować publicznie dostępnych punktów ładowania. Co więcej, sam udział tak skategoryzowanej powierzchni może być zróżnicowany w różnych miastach. Stwarza to problemy związane z ewentualną porównywalnością wyników pomiędzy miastami. Kryterium to zostało w niniejszej pracy wyznaczane jako liczba punktów ładowania, które zlokalizowano w obrębie powyższych obszarów oraz jako udział procentowy tych punktów względem wszystkich zaproponowanych w danym wariancie. W obydwu przypadkach jest to kryterium maksymalizowane.

## 2.6. Integracja z publicznym transportem zbiorowym

Kolejnym zaproponowanym kryterium oceny sieci punktów ładowania samochodów elektrycznych jest stopień jej integracji z systemem publicznego transportu zbiorowego. Może być on mierzony jako liczba lub udział procentowy punktów ładowania, które znajdują się w pobliżu (tj. do 400 m) ważniejszych przystanków lub węzłów przesiadkowych. Takie rozmieszczenie sprzyja lepszemu wykorzystaniu sieci ładowarek, szczególnie w sytuacji lokalnego zwiększonego zapotrzebowania na dostęp do punktów ładowania, co może wystąpić np. podczas imprezy masowej. Jeżeli najbliższy punkt jest zajęty, użytkownik może skorzystać z innego i dotrzeć do celu transportem zbiorowym.

W obu przypadkach kryterium to jest maksymalizowane. Sposób wyznaczenia wartości jest analogiczny do poprzednich kryteriów. Dla wybranej transportowej infrastruktury punktowej wyznaczone są bufony. Następnie zlicza się liczbę punktów ładowania, które znajdują się w ich zasięgu. Potem liczba ta jest ewentualnie dzielona przez całkowitą liczbę punktów ładowania wykorzystanych w danym wariancie.

Do wyznaczenia tego kryterium niezbędne są dodatkowo informacje o lokalizacji infrastruktury punktowej transportu zbiorowego. Informacje takie są np. udostępniane za darmo na otwartej licencji w ramach projektu OSM ([openstreetmap.org](http://openstreetmap.org), 2019). Projekt ma charakter wolontariacki. Zawiera informacje o lokalizacjach różnych obiektów, w tym innych potencjalnie przydatnych, takich jak: stacje benzynowe, postoje taksówek, obiekty handlowe czy turystyczne. Jednak pozyskane z jego pomocą dane są narażone na występowanie błędów niekompletności lub nadmiarowości, a liczba tych błędów jest zróżnicowana przestrzennie (por. np. Hochmair i in., 2015; Zia i in., 2019; Zmuda-Trzebiatowski i in., 2017). Stąd konieczna może być ich weryfikacja lub posiłkowanie się innymi źródłami danych, np. będącymi w dyspozycji organizatorów transportu zbiorowego.

## 3. Warianty lokalizacji punktów ładowania w Poznaniu

Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych przewiduje, że na obszarze miasta Poznania powinno znajdować się minimum 210 publicznie dostępnych punktów ładowania pojazdów elektrycznych. W niniejszej pracy rozważane są cztery warianty struktury sieci punktów: W0 reprezentujący stan istniejący (aktualny na styczeń 2019) oraz trzy warianty predykcyjne.

W wariancie W0 54 punkty ładowania zlokalizowane były w pobliżu m.in. takich obiektów, jak: hotele, kompleksy biurowe, centra handlowe, dyskonty czy salony samochodowe.

Warianty predykcyjne różnią się liczbą punktów ładowania. W pierwszym z nich (W1) założono występowanie 210 punktów ładowania. Wykorzystano większość lokalizacji już istniejących. Jednak odrzucano dwie z nich ze względu na brak dostępności całodobowej lub brak spełniania założonych standardów ładowania, tj. zapewnienie możliwości ładowania tylko „z gniazdka” zamiast dedykowanych złącz. Punkty starano się lokalizować zgodnie z dotychczasowymi trendami rozwojowymi w pobliżu większych generatorów i atraktorów ruchu, takich jak centra handlowe, kompleksy biurowe, obiekty administracji rządowej i samorządowej, placówki sportowe i kultury, uczelnie, szkoły czy szpitale oraz na parkingach, stacjach paliw, lotniskach i większych węzłach przesiadkowych, takich jak parkingi Parkuj i Jedź. W przypadku stacji paliw w wariancie W1 skoncentrowano się na polskich sieciach Orlen oraz Lotos (w Poznaniu łącznie 24 lokalizacje), co związane było z planowaną fuzją obu przedsiębiorstw oraz deklarowanym zainteresowaniem firmy Orlen rynkiem elektromobilności ([orlen.pl](http://orlen.pl), 2018).

W wariancie W2 dodano kolejne 40 punktów ładowania – łącznie uzyskując ich 250. Punkty lokalizowano na parkingach. Pierwszeństwo miały lokalizacje, w których pobliżu do tej pory nie znajdowała się przedmiotowa infrastruktura.

W wariancie W3 liczbę punktów zwiększono do 300 przez dodanie kolejnych 50 punktów ładowania. W wariancie tym wykorzystano sieć stacji paliw BP, która posiadała w Poznaniu 16 lokalizacji. Koncern ten poczynił też już pewne inwestycje w elektromobilność poza granicami Polski (biznes.newseria.pl, 2019).

Przy lokalizacji punktów ładowania we wszystkich wariantach predycyjnych pod uwagę brano też dostępną liczbę miejsc postojowych, które są integralną częścią tej infrastruktury. Weryfikacji dostępności dokonywano na podstawie wizyt lokalnych oraz przy

pomocy usługi Google Street View (google.com/streetview, 2019). We wszystkich wariantach predycyjnych zaproponowano budowę zarówno punktów o normalnej, jak i dużej mocy ładowania. Te pierwsze lokalizowano w miejscach, gdzie spodziewano się, że użytkownik może spędzić więcej czasu. Natomiast punkty dużej mocy były proponowane na stacjach benzynowych oraz w miejscach, w których spodziewano się krótszego pobytu użytkowników. Na ryc. 1 przedstawiono lokalizację punktów ładowania dla wszystkich analizowanych wariantów.

Należy podkreślić, że tak skonstruowany zbiór wariantów nie powinien być traktowany jako rekomendacje dla decydentów. Ma on jedynie na celu umożliwić ocenę zmian wartości kryteriów wraz ze wzrostem liczby punktów ładowania.



Ryc. 1. Lokalizacja punktów ładowania dla analizowanych wariantów sieci.

Źródło: opracowanie własne.

## 4. Ocena lokalizacji wariantów punktów ładowania w Poznaniu

### 4.1. Koszt budowy punktów ładowania

Wariant W0, w przeciwieństwie do pozostałych, jest wariantem bezinwestycyjnym, który nie zakłada budowy nowych punktów ładowania samochodów elektrycznych. Koszt w pozostałych wariantach uzależniony jest od liczby nowych punktów o mocy normalnej i dużej. W tab. 1 przedstawiono szczegółowe wyniki.

łącznie 122 takie punkty (58,1%), W2 – 146 (58,4%), a W3 – 178 (59,3%). We wszystkich wariantach wystąpił wzrost o ok. 30% względem wariantu reprezentującego stan obecny.

### 4.3. Dostępność przestrzenna do punktów ładowania

Przebieg granic administracyjnych miasta Poznania pozyskano z bazy Państwowego Rejestru Granic. Na tej podstawie określono dla każdego wariantu maksymalną odległość od punktu ładowania oraz

Tab. 1. Koszty rozbudowy sieci punktów ładowania samochodów elektrycznych dla rozpatrywanych wariantów.

Wyszczególnienie	W0	W1	W2	W3
Liczba nowych punktów normalnej mocy [-]	0	52	68	86
Liczba nowych punktów dużej mocy [-]	0	106	130	162
Koszt całkowity [mln zł]	0	13,72÷25,86	17,08÷32,18	21,36÷37,02

Źródło: opracowanie własne.

Publicznie dostępne dane o kosztach pozwoliły na jedynie dość zgrubne ich oszacowanie – w każdym wariantcie inwestycyjnym mogą się różnić o ponad 50%, tj. nawet o 12-16 mln zł. W3, w którym założono największy rozwój sieci, jest jednocześnie najdroższym wariantem spośród analizowanego zbioru. Warto zauważyć, że w budżecie miasta Poznania w 2019 r. na inwestycje w publiczne drogi gminne przewidziano 143,88 mln zł (bip.poznan.pl, 2019). Inwestycja w punkty ładowania stanowiłaby od 9,5% tej kwoty w wariantcie W1 do nawet 25,7% w wariantcie W3. Obciążenie to byłoby mniejsze w przypadku partycypacji w kosztach innych podmiotów. Przykładowo, sfinansowanie z innych źródeł budowy punktów ładowania dużej mocy zlokalizowanych na stacjach benzynowych obniżyłoby koszty o 2,40-4,56 mln zł dla wariantów W1 i W2 oraz o 4,00-7,60 mln zł w wariantcie W3. Ponadto należy zauważyć, że w literaturze (Baresch, Moser, 2019; Gnann i in., 2015) wskazuje się, że funkcjonowanie sieci publicznie dostępnych punktów ładowania może wymagać dofinansowywania w dość długiej perspektywie czasu.

### 4.2. Udział punktów ładowania dużej mocy

W wariantcie W0 zidentyfikowano 16 punktów ładowania dużej mocy, co stanowi 29,6% wszystkich punktów. Lokalizacje te zostały także wykorzystane w wariantach progностycznych. Wariant W1 zawierał

powierzchnię miasta znajdującą się w odległości do 400 m od najbliższego punktu ładowania. Wyniki przedstawiono w tab. 2 oraz na ryc. 2.

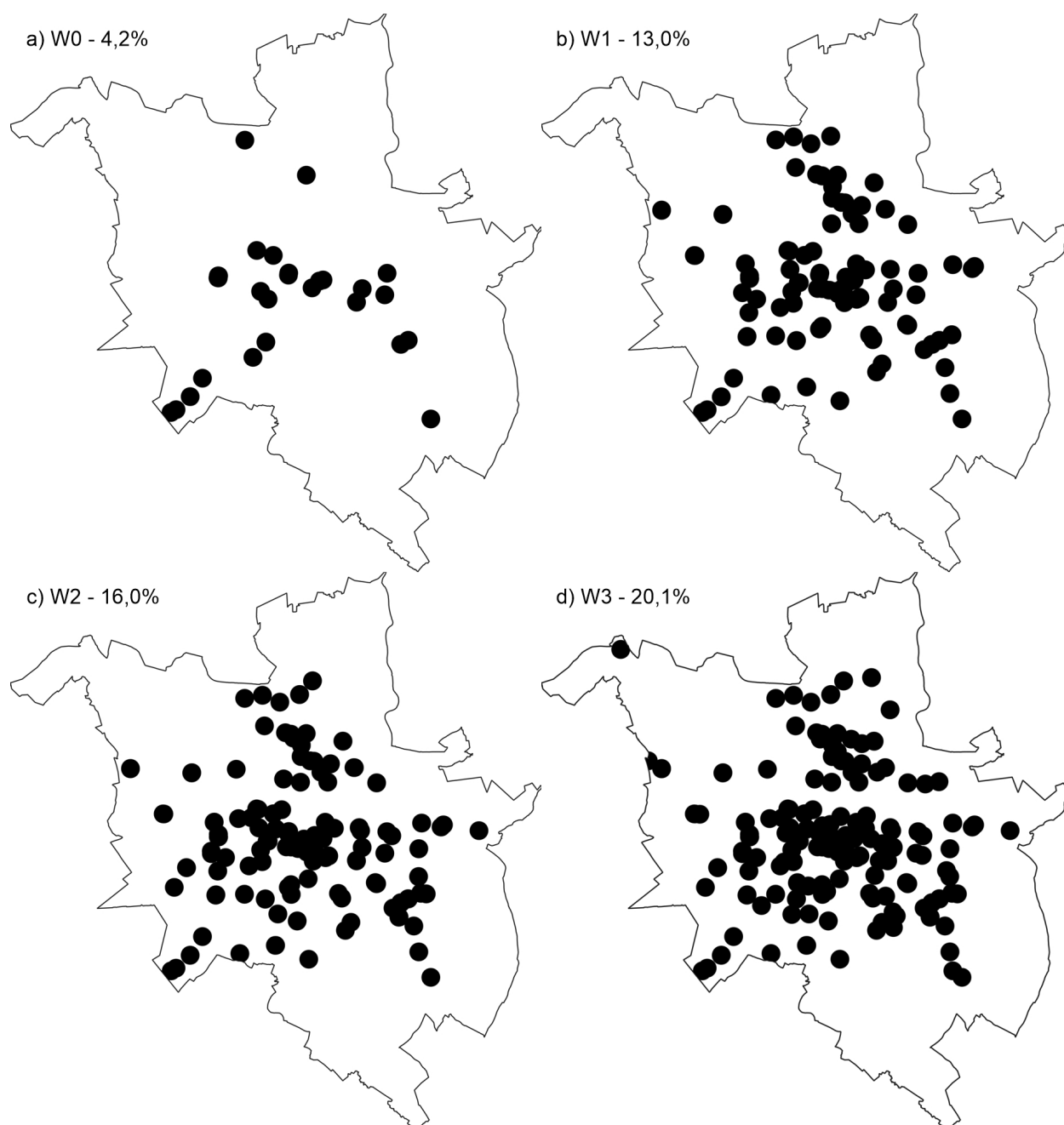
Dodawanie kolejnych punktów ładowania spowodowało zwiększenie powierzchni miasta znajdującej się w niewielkiej odległości od nich. Wartość ta w najlepszym wariantcie nieznacznie przekroczyła 20%, co nie jest zbyt dobrym rezultatem. Warto jednak zauważyć, że w idealnych warunkach liczba punktów niezbędnych do pokrycia powierzchni równoważnej powierzchni Poznania wynosi 521. Po uwzględnieniu przebiegu granic Poznania liczba ta wzrasta do ponad 700, co jest wartością znacząco większą od liczby punktów uwzględnionych w poszczególnych wariantach. Dodatkowy wpływ na niskie wartości kryteriów ma praktyka lokalizacji punktów ładowania blisko siebie w formie sąsiadujących miejsc postojowych. Dzięki temu w danej lokalizacji możliwe jest ładowanie więcej niż jednego samochodu na raz, co jednak negatywnie wpływa na wartości omawianego kryterium.

Warianty progностyczne cechowały się lepszą wartością maksymalnej odległości od punktu ładowania względem wariantu W0. Jednak pomimo zwiększania liczby punktów ładowania, wartość ta nie zmniejszyła się. Jest to związane z tym, że pomimo zwiększenia liczby punktów południowa część Poznania wciąż nie miała zaplanowanej ani jednej ich lokalizacji.

Tab. 2. Maksymalna odległość od punktu ładowania oraz powierzchnia miasta znajdująca się w odległości do 400 m od punktu ładowania.

Wyszczególnienie	W0	W1	W2	W3
Maksymalna odległość od punktu ładowania [km]	10,1	6,5	6,5	6,5
Powierzchnia miasta znajdująca się w odległości do 400 m od pkt. ładowania [km <sup>2</sup> ]	11,0	34,1	41,9	52,5
Udział % powierzchni miasta w odległości do 400 m od punktu ładowania [%]	4,2	13,0	16,0	20,1

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 2. Powierzchnia miasta znajdująca się w promieniu do 400 m od punktu ładowania.

Źródło: opracowanie własne.



#### 4.4. Pokrycie punktami ładowania obszarów gęsto zaludnionych

Granice administracyjne Poznania pokrywały się w części lub całości z 324 poligonami GUS informującymi o gęstości zaludnienia w siatce kilometrowej. W celu określenia standardu dotyczącego wymaganej minimalnej liczby punktów ładowania na obszarach o określonej gęstości zaludnienia wykorzystano informację o liczbie ludności Poznania. Dane Banku Danych Lokalnych GUS ([bdl.stat.gov.pl](http://bdl.stat.gov.pl), 2019) wskazują, że na koniec 2017 r. wynosiła ona 538 633. Stąd zgodnie z ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych jeden punkt ładowania powinien przypadać na 2 565 mieszkańców. W rzeczywistości część punktów ładowania powinna być zlokalizowana w miejscach o niskiej gęstości zaludnienia, przy których mogą znajdować się różnego rodzaju większe atraktory ruchu, takie jak centra biurowe, sportowe czy handlowe. W przypadku rozważanego miasta, które jest stolicą województwa atraktory te mogą mieć oddziaływanie ponadlokalne. Stąd założono, że oczekiwana minimalna liczba stacji w danym rejonie będzie wyznaczana jako zaokrąglony w dół iloraz

wować tylko między wariantami prognostycznymi a W0.

Podczas wyznaczenia udziału procentowego ludności, która mieszka w odległości do 400 m od punktu ładowania przyjęto, że całkowita liczba mieszkańców Poznania wynosiła 554,7 tys.. Wartość ta została wyliczona dla całego miasta z danych GUS o gęstości zaludnienia w obwodach spisowych. Dla W0 wartość tę wyznaczono na 56,3 tys., a dla kolejnych wariantów odpowiednio: 185,7 tys., 214,1 tys. i 269,4 tys. mieszkańców. Wyniki przedstawiono w tab. 3. W najlepszym z analizowanych wariantach W3 w odległości do 400 m od punktu ładowania mieszkało 49% populacji Poznania. Z jednej strony jest to wartość mało satysfakcjonująca. Z drugiej strony analiza dotyczy publicznie dostępnych punktów ładowania. Nie wyklucza ona możliwości instalowania prywatnych ładowarek w gospodarstwach domowych. Prywatna przydomowa infrastruktura może być preferowana przez użytkowników przez wzgląd na niższe koszty ładowania, szczególnie w dłuższej perspektywie czasu, gdy wzrost zapotrzebowania na prąd i związany z tym wzrost kosztów stanie się nieakceptowalny dla podmiotów oferujących obecnie możliwość ładowania za darmo.

Tab. 3. Liczba i udział rejonów Poznania wyznaczonych przez siatkę kilometrową gęstości zaludnienia GUS, w których nie został spełniony warunek umieszczenia minimalnej liczby punktów ładowania oraz liczba ludności w odległości do 400 m od punktu ładowania.

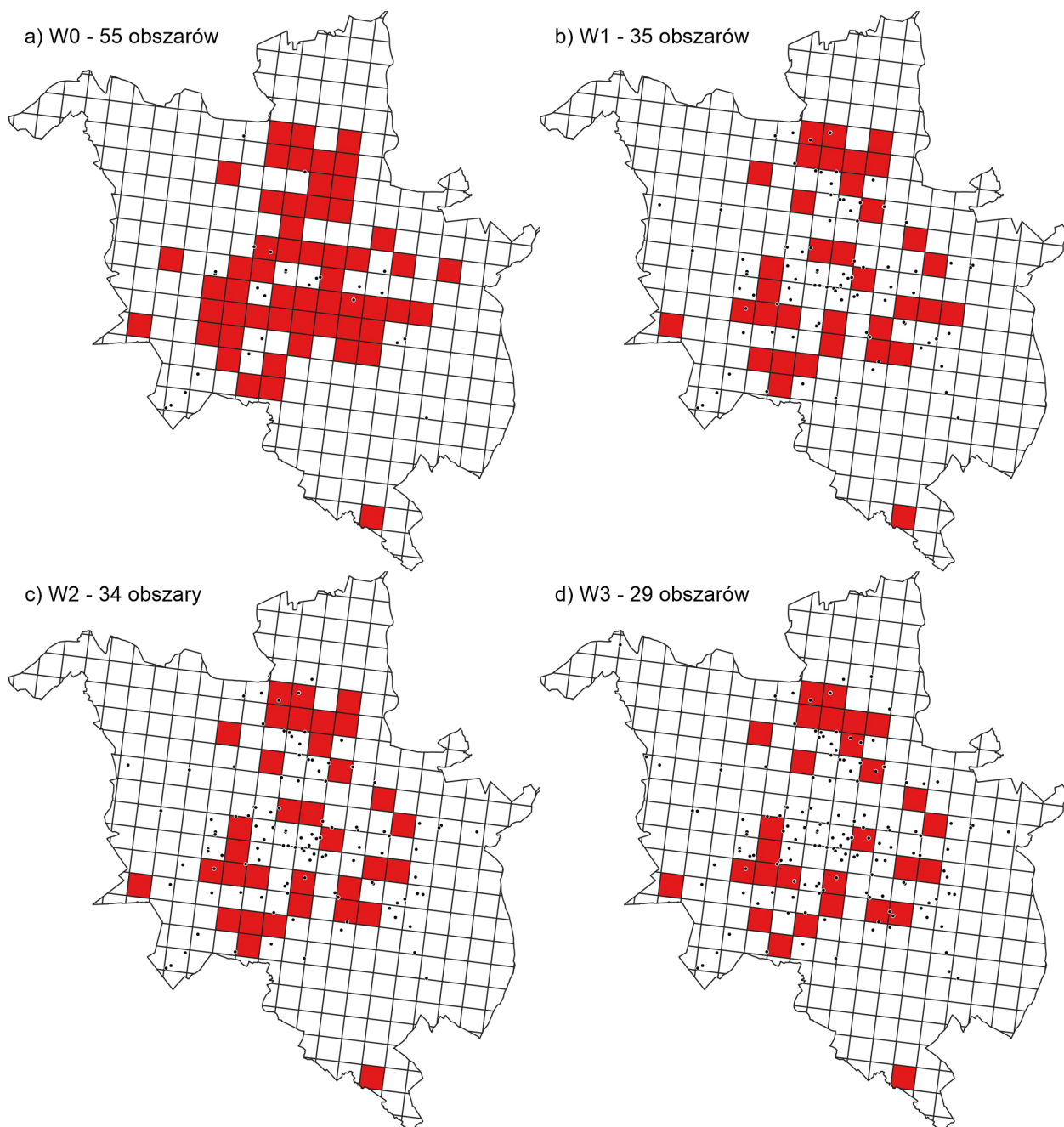
Wyszczególnienie	W0	W1	W2	W3
Liczba rejonów, które nie spełniają założonego standardu [-]	55	35	34	29
Udział procentowy rejonów, które nie spełniają założonego standardu [%]	17	11	10	9
Udział procentowy ludności mieszkającej w odległości do 400 m od pkt. ładowania [%]	10	33	39	49

Źródło: opracowanie własne.

liczby ludności podzielonej przez 2 565 (przy czym można też wskazać większą gęstość zaludnienia oraz zaokrąglić do liczby całkowitej lub w górę). Po pomnożeniu wyników przez powierzchnię rejonów mierzoną w km<sup>2</sup> ustalono, że na 64 (19,75%) z nich powinny być zlokalizowane minimum 152 (72,38%) punkty ładowania. W tab. 3 przedstawiono udział rejonów nie spełniających tego warunku dla każdego z wariantów. Rycina 3 przedstawia wyniki w formie graficznej.

Zwiększanie liczby punktów ładowania w kolejnych wariantach predykcyjnych spowodowało, że liczba rejonów niespełniających założeń nieznacznie zmniejszyła się. Dużą różnicę można zaobser-

Przykładowo, szacowania przeprowadzone w tym zakresie dla Austrii (Baresch, Moser, 2019) wskazały, że ładowanie samochodów będzie w 88% przypadków dokonywane przy wykorzystaniu domowych instalacji, a publiczne punkty ładowania będą odpowiadały jedynie za 1,7% przypadków. Należy zauważyć, że nie można też wykluczyć sytuacji, w której w trakcie procesu konsultacyjnego ujawnią się podmioty, które mogą być zainteresowane wręcz minimalizacją liczby punktów zlokalizowanych na obszarach zamieszkania. Motywacją do takiego podejścia może być na przykład niewielka dostępność przestrzeni w niektórych częściach miasta, a co za tym idzie większa preferencja jej zagospodarowania w inny sposób.



Ryc. 3. Lokalizacja rejonów z niewystarczającą liczbą zaplanowanych punktów ładowania (oznaczono kolorem czerwonym).

Źródło: opracowanie własne.

#### 4.5. Pokrycie punktami ładowania obszarów o zabudowie komercyjnej

Z danych Urban Atlas aktualnych na rok 2012 wydzielono zlokalizowane w Poznaniu obszary sklasyfikowane jako jednostki przemysłowe, handlowe, publiczne, wojskowe i prywatne. Ich łączna powierzchnia wynosiła 38,05 km<sup>2</sup>, co stanowi 14,5% powierzchni Poznania. Następnie dla każdego wariantu określono

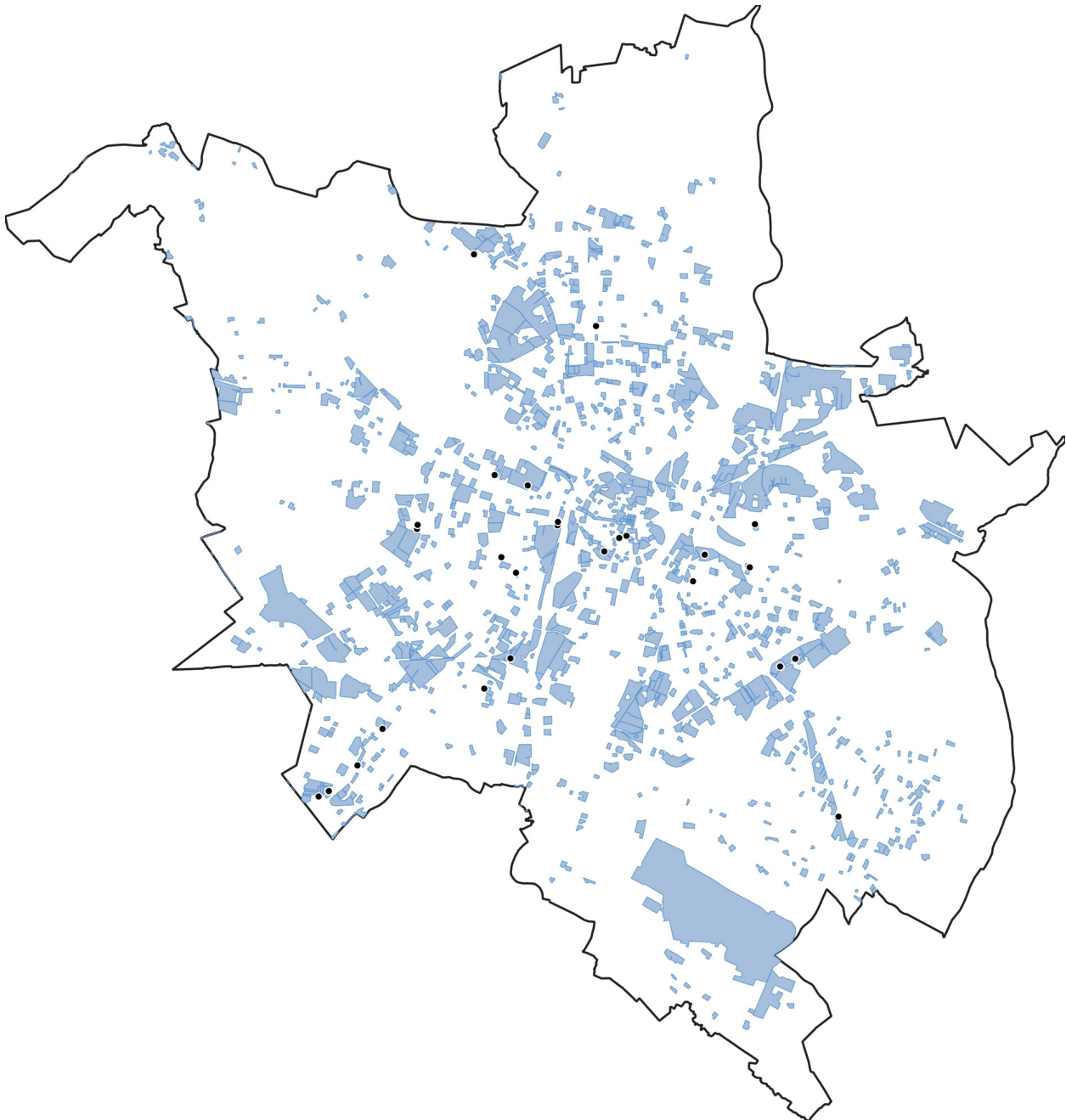
liczbę oraz udział procentowy punktów ładowania zlokalizowanych na tych obszarach. Wyniki przedstawiono w tab. 4 i ryc. 4.

Każdy kolejny wariant predykcji zakładał lokalizację większej liczby punktów ładowania na obszarach o dominującej zabudowie komercyjnej. Nie przełożyło się to jednak na zwiększenie udziału procentowego takich punktów w zbiorze. Wręcz przeciwnie, po początkowym wzroście względem

Tab. 4. Liczba i udział procentowy punktów ładowania zlokalizowanych na obszarach oznaczonych w projekcie Urban Atlas jako jednostki przemysłowe, handlowe, publiczne, wojskowe i prywatne.

Wyszczególnienie	W0	W1	W2	W3
Liczba punktów ładowania [-]	24	138	162	192
Udział procentowy punktów ładowania [%]	44,4	65,7	64,8	64,0

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 4. Obszar Poznania oznaczony w UrbanAtlas jako jednostki przemysłowe, handlowe, publiczne, wojskowe i prywatne. Czarne punkty wskazują lokalizację punktów ładowania dla wariantu W0.

Źródło: opracowanie własne.

wariantu W0 można zaobserwować nieznaczne zmniejszenie tego udziału.

#### 4.6. Integracja z publicznym transportem zbiorowym

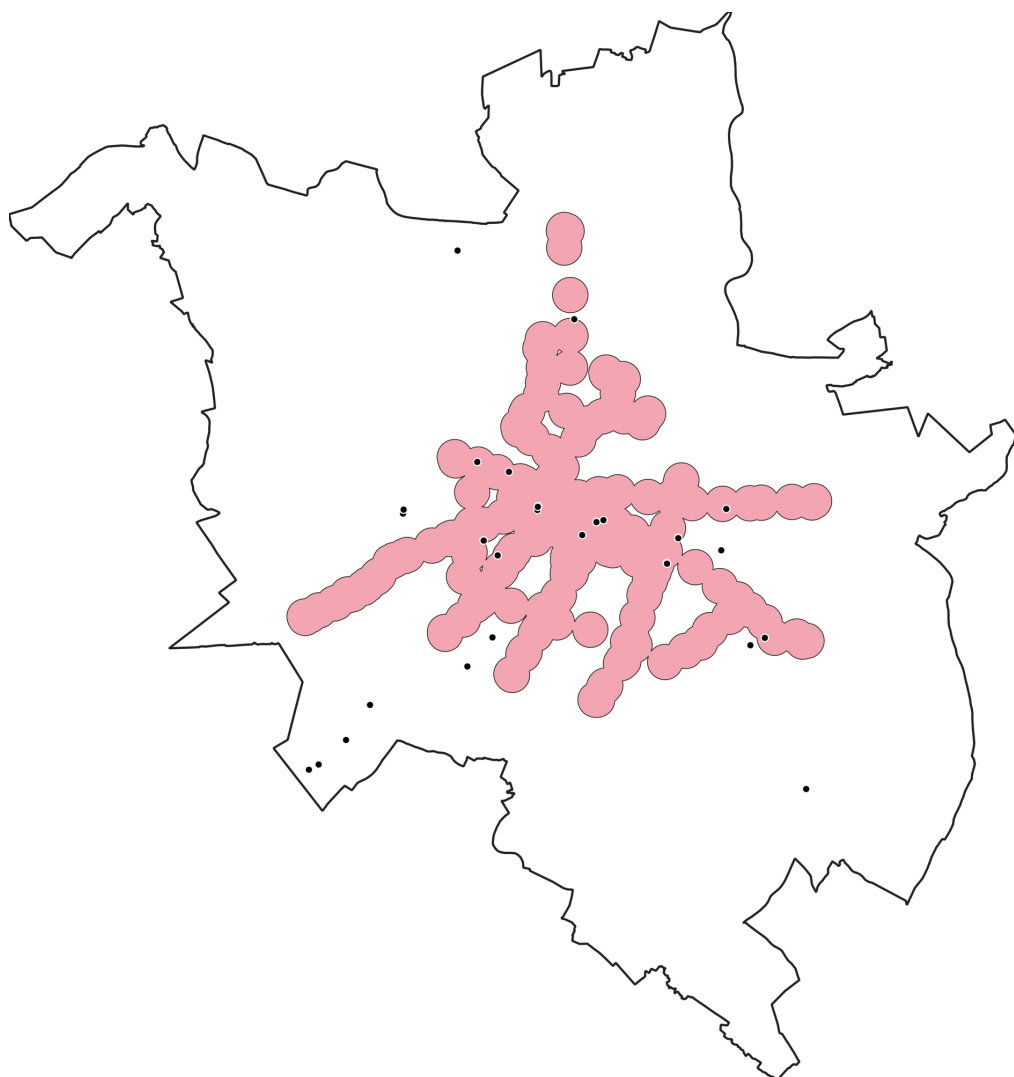
Podczas wyznaczania kryterium dla uproszczenia założono, że uwzględniane będą jedynie przystanki tramwajowe jako oferujące generalnie lepszą dostęp-

ność czasową do usług niż przystanki autobusowe. Na podstawie danych OpenStreetMap wyznaczono lokalizację 301 przystanków tramwajowych. Wyznaczono dla nich bufory o promieniach 400 m. Następnie dla każdego wariantu wyznaczono liczbę i udział procentowy punktów ładowania, które są zlokalizowane w obrębie wyznaczonego bufora. Na tab. 5 i ryc. 5 przedstawiono wyniki.

Tab. 5. Liczba i udział procentowy punktów ładowania, które zlokalizowane są w promieniu 400 m od przynajmniej jednego przystanku tramwajowego.

Wyszczególnienie	W0	W1	W2	W3
Liczba punktów ładowania [-]	29	85	97	119
Udział procentowy punktów ładowania [%]	53,7	40,5	38,8	39,7

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 5. Obszar Poznania znajdujący się w odległości do 400 m od przystanku. Czarne punkty wskazują lokalizacje punktów ładowania dla wariantu W0.

Źródło: opracowanie własne.



Wzrost liczby punktów ładowania w kolejnych wariantach predykcyjnych przełożył się na zwiększenie liczby tych, w pobliżu których był zlokalizowany przynajmniej jeden przystanek tramwajowy. Jednak nie przełożyło się to na wzrost względnej liczby punktów ładowania, które są zintegrowane z systemem miejskiego transportu zbiorowego. W porównaniu do W0 nastąpił nawet spadek tej wartości.

## 5. Dyskusja

Ograniczeniem pracy jest brak uwzględnienia w zbiorze kryteriów kwestii dostępności do źródeł zasilania. Dane te jeśli chodzi o rezerwy mocy nie są publicznie dostępne – są w posiadaniu operatorów systemów dystrybucyjnych elektroenergetycznych. Pewną trudność z uwzględnieniem tego aspektu oceny może sprawiać to, że dostępność energii może być uzależniona nie tylko od innych punktów odbioru, ale też od występowania bądź też nie innych punktów ładowania przyłączonych do tej samej linii. Stąd wydaje się, że sama obecność sieci elektrycznej w pobliżu punktów ładowania może być niewystarczająca, a kryterium to mogłoby zostać uwzględnione jako składowa kryterium kosztowego, tj. koszt niezbędnych inwestycji po stronie operatorów systemów dystrybucji energii.

Zaproponowany zbiór kryteriów nie został też wyczerpany w zakresie dostępności do punktów ładowania niepełnosprawnych użytkowników samochodów elektrycznych. Jego uwzględnienie wymagałoby doprecyzowania obowiązującej w tym zakresie polityki. Stosowne rozporządzenia nie były jednak opublikowane w momencie przygotowywania niniejszej pracy. Nie była więc znana relacja między punktami ładowania, a dotychczasową infrastrukturą parkingową dla osób niepełnosprawnych. W zależności od rozstrzygnięć w tej kwestii można np. sformułować kryterium oceniające udział procentowy kluczowych obiektów dysponujących wystarczającą infrastrukturą w tym zakresie.

Sposób konstrukcji wariantów predykcyjnych dla punktów ładowania w Poznaniu determinuje to, że na wszystkich kryteriach, poza kosztowym oraz niektórych wyrażanych w miarach względnych, najlepszy jest wariant W3. W rzeczywistości wariant ten jest jednocześnie wariantem najbardziej ryzykownym – dotychczasowe tempo rozwoju elektromobilności w Polsce nie jest szybkie. Na koniec czerwca 2019 r. w Polsce zarejestrowanych było 6 092 samochodów elektrycznych (pzpm.org.pl, 2019).

Ponadto analiza wariantów predykcyjnych wskazała, że zwiększenie liczby punktów ładowania opierające się na przyjętych prawdopodobnych trendach rozwojowych nie musi przekładać się na zwiększenie

dostępności do nich w niektórych częściach miasta. Może więc zaistnieć potrzeba moderowania rozwoju sieci punktów ładowania przez prowadzenie przez władze JST aktywnej polityki w tym zakresie.

Podsumowując, ostateczny kształt rankingu wariantów będzie w analizowanym przypadku uzależniony od poziomu wrażliwości decydenta na wzrost kosztów względem wrażliwości na polepszenie wartości pozostałych kryteriów. Nie można wykluczyć też sytuacji, w której żaden z analizowanych wariantów nie będzie z jego perspektywy satysfakcjonujący.

## 6. Podsumowanie i wnioski

W pracy zaprezentowano propozycje kryteriów oceny lokalizacji punktów ładowania pojazdów elektrycznych, które opierają się na publicznie dostępnych danych. Kryteria te mogą być przydatne do oceny sieci punktów ładowania w różnych polskich miastach, a te związane z projektami OSM i Urban Atlas też w innych krajach. Mogą być także pomocne dla władz samorządowych, na które ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych nałożyła obowiązek sporządzenia planów budowy takiej sieci. Wykorzystanie w metodzie publicznie dostępnych danych sprzyja obniżeniu kosztów analiz. Sprzyja także transparentności procesu decyzyjnego, co ma duże znaczenie w przypadku planowania transportu w sferze publicznej. Transparentność ta może być dodatkowo zwiększona przez wykorzystanie w procesie oceny jednej ze znanych metod analizy wielokryterialnej (por. np. Zmuda-Trzebiatowski, 2016). Warto przy tym zauważyć, że opracowany zbiór kryteriów jest częściowo redundantny, np. niektóre miary są wyznaczane zarówno jako wartości bezwzględne, jak i jako względny udział procentowy. Podczas wykonywania analizy wielokryterialnej należy zrezygnować z tej redundancji. Z drugiej strony, biorąc pod uwagę wielość zróżnicowanych interakcji infrastruktury transportowej z otoczeniem oraz wielość potencjalnych aktorów, którzy mogą być zainteresowani sposobem ukształtowania sieci punktów ładowania samochodów elektrycznych w danej JST, nie można wykluczyć, że pojawi się oczekiwanie uwzględnienia innych kryteriów w procesie oceny. W tym przypadku może być wymagane rozszerzenie zbioru przedstawionego w niniejszej pracy.

## Piśmiennictwo

- Baresch M., Moser S., 2019, Allocation of e-car charging: Assessing the utilization of charging infrastructures by location, *Transportation Research Part A*, 124, 388-395. (DOI 10.1016/j.tra.2019.04.009)
- Bouguerra S., Layeb S., 2019, Determining optimal deployment of electric vehicles charging stations: Case

- of Tunis City, Tunisia, *Case Studies on Transport Policy*, 7/3, 628-642 (DOI 10.1016/j.cstp.2019.06.003)
- BP stawia na ofertę usług cyfrowych oraz ładowanie aut elektrycznych. Będzie także rozwijać stacje własne oraz partnerskie, [biznes.newseria.pl](http://biznes.newseria.pl) [07.02.2019]
- Csiszár C., 2019, Demand Calculation Method for Electric Vehicle Charging Station Locating and Deployment, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(1), 255-265. (DOI 10.3311/PPci.13330)
- Csiszár C., Csonka B., Földes D., Wirth E., Lovas T., 2019, Urban public charging station locating method for electric vehicles based on land use approach, *Journal of Transport Geography*, 74, 173-180. (DOI 10.1016/j.jtrangeo.2018.11.016)
- Efthymiou D., Chrysostomou K., Morfoulaki M., Aifantopoulou G., 2017, Electric vehicles charging infrastructure location: a genetic algorithm approach, *European Transport Research Review*, 9, 27, 1-9. (DOI 10.1007/s12544-017-0239-7)
- Erbaş M., Kabak M., Özceylan E., Çetinkaya C., 2018, Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis, *Energy*, 163, 1017-1031. (DOI 10.1016/j.energy.2018.08.140)
- Frade I., Ribeiro A., Gonçalves G., Antunes A., 2011, Optimal Location of Charging Stations for Electric Vehicles in a Neighborhood in Lisbon, Portugal, *Transportation Research Record*, 2252, 91-98 (DOI 10.3141/2252-12)
- Gadziński J., 2010, *Ocena dostępności komunikacyjnej przestrzeni miejskiej na przykładzie Poznania*, IGSEiGP, Poznań.
- Gnann T., Plötz P., Wietschel M., 2015, How to address the chicken-egg-problem of electric vehicles? Introducing an interaction market diffusion model for EVs and charging infrastructure, *ECEEE Summer Study 2015 proceedings*, 873-884.
- Hochmair H., Zielstra D., Neis P., 2015, Assessing the Completeness of Bicycle Trail and Lane Features in OpenStreetMap for the United States, *Transactions in GIS*, 19(1), 63-81. (DOI 10.1111/tgis.12081)
- Kolejny etap rozwoju elektromobilności w PKN ORLEN*, [orlen.pl](http://orlen.pl) [12.09.2018]
- Licznik elektromobilności: 6 tys. elektryków w Polsce*, [pzpm.org.pl](http://pzpm.org.pl) [16.07.2019]
- Merkisz-Guranowska A., Bieńczyk M., Kiciński M., Zmuda-Trzebiatowski P., 2016, Location of airports – selected quantitative methods, *Logforum*, 12(3), 8. (DOI 10.17270/J.LOG.2016.3.8)
- Pagany R., Camargo L., Dorner W., 2018, A review of spatial localization methodologies for the electric vehicle charging infrastructure, *International Journal of Sustainable Transportation*, 1-17. (DOI: 10.1080/15568318.2018.1481243)
- Pagany R., Marquardt A., Zink R., 2019, Electric Charging Demand Location Model—A User and Destination-Based Locating Approach for Electric Vehicle Charging Stations, *Sustainability*, 11, 2301, 1-15. (DOI 10.3390/su11082301)
- Piszczatowska J., 2017, *Stacje ładowania aut na prąd: ile to kosztuje?*, [wysokienapiecie.pl](http://wysokienapiecie.pl) [31.07.2017]
- Pittman N., Day J., 2015, Locating and quantifying public transport provision with respect to social need in Canberra, Australia, *Australian Planner*, 52(4), 326-336. (DOI 10.1080/07293682.2015.1101007)
- Sawicki P., Fierek S., 2018, The impact of long-term travel demand changes on mixed decision problems of mass transit lines construction and vehicles' depots location, *Technical Transactions*, 6, 103-112. (DOI 10.4467/2353737XCT.18.090.8695)
- Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych*, Dz.U. 2018 poz. 317.
- Wang H., Zhao D., Meng Q., Ong G., Lee D., 2019, A four-step method for electric-vehicle charging facility deployment in a dense city: An empirical study in Singapore, *Transportation Research Part A*, 119, 224-237. (DOI 10.1016/j.tra.2018.11.012)
- Zia M., Cakir Z., Seker D., 2019, Turkey OpenStreetMap Dataset – Spatial Analysis of Development and Growth Proxies, *Open Geosciences*, 11, 140-151. (DOI 10.1515/geo-2019-0012)
- Zmuda-Trzebiatowski P., 2016, *Partycypacyjna ocena miejskich projektów transportowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- Zmuda-Trzebiatowski P., Kiciński M., Fierek S., Bieńczyk M., 2017, Analiza dostępności kosztowej transportu zbiorowego w aglomeracji poznańskiej, *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport*, 119, 517-527.

#### Źródła internetowe:

- [bdl.stat.gov.pl](http://bdl.stat.gov.pl) [18.07.2019]
- [bip.poznan.pl](http://bip.poznan.pl) [18.07.2019]
- [geo.stat.gov.pl/inspire](http://geo.stat.gov.pl/inspire) [18.07.2019]
- [google.com/streetview](http://google.com/streetview) [18.07.2019]
- [land.copernicus.eu/local/urban-atlas](http://land.copernicus.eu/local/urban-atlas) [18.07.2019]
- [openstreetmap.org](http://openstreetmap.org) [18.07.2019]
- [www.gugik.gov.pl/pzgjik](http://www.gugik.gov.pl/pzgjik) [18.07.2019]