

HUBERT IGLIŃSKI

Uniwersytet WSB Merito w Poznaniu
Wydział Finansów i Bankowości
e-mail: hubert.iglinski@poznan.merito.pl

ZUZANNA MISIEK

Uniwersytet WSB Merito w Poznaniu
Wydział Finansów i Bankowości
e-mail: misiek_zuzanna@interia.pl

JULIA OLSZEWSKA

Uniwersytet WSB Merito w Poznaniu
Wydział Finansów i Bankowości
e-mail: olszewskajulia66@gmail.com

Algorytm oceny użyteczności lokalizacji stacji ładowania pojazdów elektrycznych¹

Streszczenie. Transport, w szczególności transport drogowy, jest obok energetyki i przemysłu jednym z największych emitentów gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń, negatywnie wpływających na klimat, zdrowie ludzi i środowisko naturalne. Mimo wielu kontrowersji wydaje się, że kluczowym środkiem do ograniczenia kosztów zewnętrznych transportu jest jego elektryfikacja. Pojazdy elektryczne ze względu na ograniczony zasięg i długi czas potrzebny na ładowanie wymagają rozbudowanej sieci punktów ładowania. Niska dostępność tej sieci — a z tym mamy do czynienia w Polsce — hamuje rozwój elektromobilności. Dlatego też celem niniejszego artykułu jest prezentacja autorskiego algorytmu oceny lokalizacji stacji ładowania maksymalizującej ich użyteczność dla osób eksploatujących elektryczne samochody osobowe. Opierając się na przeprowadzonych w ramach projektu dyplomowego badaniach wśród obecnych i potencjalnych użytkowników oraz studiach literatury przedmiotu, stworzono narzędzie do oceny potencjalnych i istniejących lokalizacji stacji ładowania. Jego główną zaletą jest kompleksowość i równocześnie łatwość użycia. Stąd też powinno ono powszechnie służyć samorządom lokalnym do oceny planowanych na ich obszarze stacji ładowania.

Słowa kluczowe: transport, elektromobilność, stacje ładowania, przydatność

<https://doi.org/10.58683/dnswsb.1962>

¹ Artykuł został przygotowany na podstawie projektu dyplomowego autorek Zuzanny Misiek i Julii Olszewskiej pt. „Projekt algorytmu decyzyjnego rozmieszczenia ładowarek do samochodów elektrycznych”, napisanej pod kierunkiem dr. Huberta Iglińskiego.

1. Wprowadzenie

Współczesne systemy transportowe, zwłaszcza w krajach rozwiniętych, a do tej grupy należy również Polska, opierają się w przeważającej mierze na transporcie drogowym. Widać to zarówno w przewozach ładunków, jak i osób. W ostatniej dekadzie w Unii Europejskiej, będącej dobrą egzemplifikacją ogólnoświatowych trendów, udział transportu drogowego w przewozach ładunków (z wyłączeniem transportu morskiego) liczonych pracą przewozową wzrósł z 70% w 2013 roku do 74,7% w 2022 roku. Podobny trend można zauważyć w przewozach osób. W badanym okresie udział indywidualnego transportu samochodowego zwiększył się z 78,8% do 80,3%. W Polsce umocnienie się transportu drogowego w roli dominującej gałęzi transportu było jeszcze bardziej znaczące – z 77,7% do aż 83,1% w przewozach ładunków² i z 76,7% do 81,5% w przewozach osób samochodami osobowymi (EU Transport in figures, 2024).

Taka dominacja transportu drogowego wynika z szeregu immanentnych zalet, jakie on posiada: największa dostępność, elastyczność, bezpośredniość, spora prędkość handlowa, w szczególności na małych i średnich dystansach, a także uniwersalność. Transport ten niesie jednak za sobą również szereg niekorzystnych zjawisk. Wspólnym terminem je opisującym jest pojęcie kosztów zewnętrznych transportu. Można je zdefiniować jako różnicę pomiędzy wszystkimi kosztami społecznymi ponoszonymi na realizację procesów transportowych a kosztami prywatnymi ponoszonymi przez przewoźników i osoby prywatne (Bąk, 2009).

Najważniejszymi z kosztów zewnętrznych generowanych przez transport drogowy są:

- zmiany klimatyczne będące skutkiem emitowania gazów cieplarnianych, w szczególności dwutlenku węgla (CO₂),
- zanieczyszczenia atmosfery w efekcie emisji cząstek stałych (PMS) i tlenków azotu (NO_x),
- koszty wypadków w części niepokrytej przez ubezpieczenia,
- hałas i wibracje,
- zajętość terenu i jego zeszpecenie.

W celu ograniczenia kosztów zewnętrznych transportu, a przede wszystkim dla uniknięcia katastrofy klimatycznej, ponieważ globalnie transport generuje

² Tak duży wzrost wynikał w szczególności z bardzo znacznego wzrostu pracy przewozowej realizowanej przez firmy transportowe zarejestrowane w Polsce w przewozach międzynarodowych z ok. 147 do 245 mld tkm w latach 2013–2022. Przełożyło się to na wzrost pracy przewozowej w statystykach Polski, choć spora jej część w formie kabotażu i *cross-trade* służyła w większości pozostałym krajom UE.

ok. 20% gazów cieplarnianych, a w Unii Europejskiej nawet ok. 25%, w tym za ponad 75% odpowiada transport drogowy (EU Transport in figures, 2024), dynamicznie rozwijane są prace nad paliwami i napędami alternatywnymi, zwłaszcza pojazdami elektrycznymi. Przyjmuje się bowiem, że samochody elektryczne nie emitują gazów cieplarnianych, zwłaszcza w miejscu, w którym się poruszają. Nie generują też zanieczyszczeń tlenkami azotu i cząstkami stałymi³ oraz znacznie redukują emisję hałasu, a w szczególności wibracji.

W Polsce również daje się zauważyć ten trend, jednak zmiany są wciąż dość powolne, zwłaszcza w zakresie infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych. Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych (2018) nałożyła na samorządy istotne obowiązki w zakresie instalacji tego typu punktów, jednak samorządom wciąż brakuje doświadczenia w tej sferze i oczywiście środków finansowych do ich budowy. Brak łatwo dostępnych i dobrze zaprojektowanych (nieograniczających ich użyteczności) stacji do ładowania jest jedną z kluczowych barier rozwoju elektromobilności.

Stąd też celem niniejszego artykułu jest prezentacja autorskiego algorytmu oceny lokalizacji stacji ładowania maksymalizującej użyteczność korzystania z nich przez osoby eksploatujące elektryczne samochody osobowe.

2. Poziom rozwoju elektromobilności na świecie i w Polsce

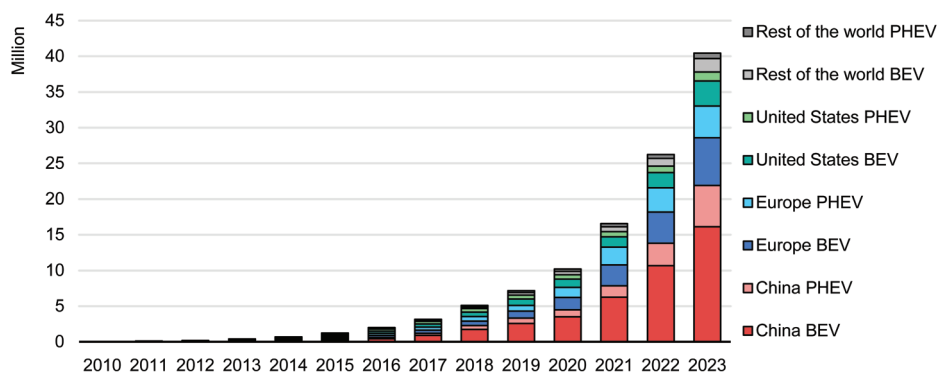
Choć nie jest to powszechnie znane, niezaprzeczalnym faktem pozostaje, że samochody elektryczne pojawiły się na długo przed spalinowymi, już bowiem w połowie XIX wieku. Jednymi z pierwszych ich konstruktorów byli Robert Davidson i Thomas Davenport – wynalazca pierwszego amerykańskiego silnika na prąd zmienny, jednak prawdziwie udaną konstrukcją drogową był pojazd Gastona Plante'a z 1859 roku zasilany energią elektryczną pochodzącą z akumulatorów kwasowo-ołowiowych własnego pomysłu (Britannica, 2024). Niestety, dynamiczny rozwój prac nad silnikami spalinowymi w drugiej dekadzie XX wieku sprawił, że

³ Należy mieć jednak świadomość, że gazy cieplarniane powstają podczas produkcji energii elektrycznej, w szczególności w Polsce, której system elektro-energetyczny wciąż w przeważającej mierze opiera się na spalaniu wysokoemisyjnego węgla kamiennego i brunatnego. Ponadto z uwagi na zasiarczenie węgla emitowane są znaczące ilości dwutlenku siarki, tlenków azotu oraz cząstek stałych (KOBiZE, 2022). Z tego też względu masowy rozwój elektromobilności w Polsce, bez radykalnego zmniejszenia udziału węgla na rzecz odnawialnych źródeł energii (OZE) w strukturze produkcji energii elektrycznej, może nawet potęgować emisję gazów cieplarnianych w całym cyklu W2W (*well-to-wheel*) zamiast ją zmniejszać. Istotne koszty zewnętrzne powstają również przy pozyskiwaniu surowców do produkcji akumulatorów, w szczególności litu i kobaltu, oraz wciąż trudne do dokładnego ustalenia koszty utylizacji lub recyklingu akumulatorów. Kwestie te, choć fundamentalne, nie są przedmiotem niniejszego artykułu i nie będą dalej rozwijane.

samochody elektryczne prawie zanikły. Na nowo na rynek wprowadziła je Tesla Elona Muska, w 2008 roku rozpoczynając produkcję modelu Tesla Roadster. Jednak prawdziwy przełom przyniósł model s z 2011 roku oraz kolejni producenci, głównie chińscy, którzy szybko podążyli jej śladem, tylko w przeciwieństwie do Tesli skierowali swoją ofertę również do mniej zamożnych klientów.

W 2008 roku na świecie było nieco ponad 6,5 tys. samochodów elektrycznych – BEV – *Battery Electric Vehicle* (samochodów czerpiących energię wyłącznie z akumulatorów). W kolejnych latach pojawiły się również samochody elektryczne PHEV – *Plug-In Hybrid Electric Vehicle* (pojazdy z napędem hybrydowym spalinowo-elektrycznym, z możliwością doładowania ich w sieci elektrycznej), a ich sprzedaż szybko zaczęła rosnąć i już po 7 latach przekroczyła 1 mln sztuk (Global EV Outlook 2020, 2020). To był jedynie początek. Produkcję samochodów elektrycznych podjęli również producenci europejscy, zwłaszcza niemieccy, ale też amerykańscy i sprzedaż zwiększyła się z nieco ponad 1 mln w 2017 roku, przez 3 mln w 2020 roku, do ponad 14 mln w 2023 roku. Całkowita liczba samochodów BEV i PHEV przekroczyła 40 mln na koniec 2023 roku. Najwięcej z nich – blisko 22 mln (54,5%) zarejestrowano w Chinach, a kolejne 11,2 mln (27,9%) w Europie (rys. 1) (Global EV Outlook 2024, 2024).

Global electric car stock trends, 2010-2023



IEA. CC BY 4.0.

Notes: BEV = battery electric vehicle; PHEV = plug-in hybrid vehicle. Includes passenger cars only.

Sources: IEA analysis based on country submissions and data from ACEA, EAFO, EV Volumes and Marklines.

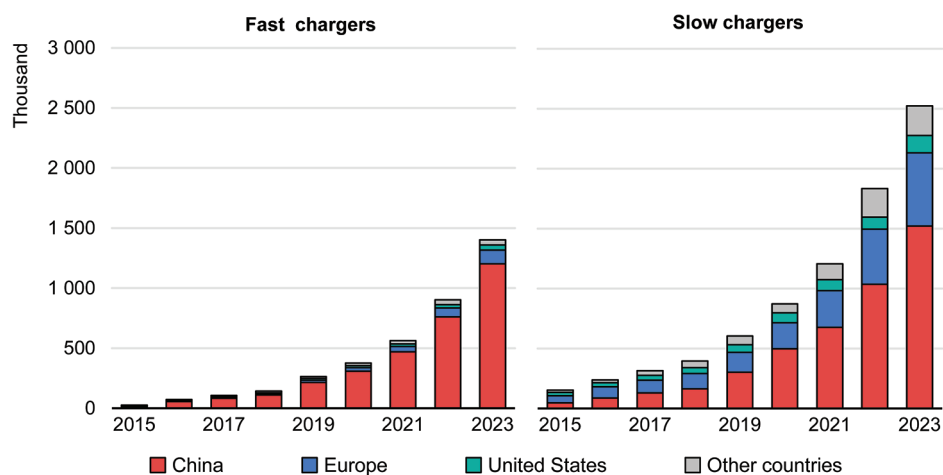
Rys. 1. Liczba zarejestrowanych samochodów elektrycznych (BEV i PHEV) na świecie w latach 2013–2023

Źródło: Global EV Outlook 2024 (2024)

Mimo ambitnych zapowiedzi premiera Morawieckiego z 2016 roku o milionie zarejestrowanych samochodów elektrycznych każdego typu w Polsce do 2025 roku (Money.pl, 2022), na koniec 2023 roku było ich mniej niż 100 tys., dokładnie 51 tys.

BEV i 47,1 tys. PHEV oraz 1,2 tys. autobusów i prawie 6 tys. elektrycznych pojazdów dostawczych i ciężarowych. I choć rynek szybko się rozwija, zwłaszcza w latach 2020 i 2021, kiedy liczba samochodów elektrycznych rosła o 100% rocznie, to w kolejnych latach dynamika wyhamowała do ok. 50% (Licznik elektromobilności, 2024). Można zatem zakładać, że słynny milion zarejestrowanych pojazdów elektrycznych pojawi się w Polsce nie wcześniej niż w 2029 roku.

Installed publicly accessible light-duty vehicle charging points by power rating and region, 2015-2023



IEA. CC BY 4.0.

Note: Values shown represent number of charging points.

Source: IEA analysis based on country submissions.

Rys. 2. Publicznie dostępne punkty do ładowania w latach 2015–2023
Źródło: Global EV Outlook 2024 (2024)

Wraz z liczbą pojazdów elektrycznych szybko rośnie liczba stacji i punktów do ładowania. W 2008 roku publicznie dostępnych było tylko 339 punktów do ładowania i wszystkie one znajdowały się w USA. Już po 5 latach, na koniec 2013 roku, było ich prawie 50 tys., z czego ok. 1/3 znajdowała się w Stanach Zjednoczonych. W 2019 roku liczbę punktów oszacowano na ponad 860 tys., z czego niespełna 80 tys. w USA, za to ponad pół miliona zainstalowano w Chinach (Global EV Outlook 2020, 2020). Z końcem 2023 roku globalna liczba punktów do ładowania osiągnęła liczbę ok. 4 mln i była prawie o połowę wyższa niż rok wcześniej (rys. 2) (Global EV Outlook 2024, 2024). W rezultacie znacznie wzrosła ich dostępność, ponieważ w 2008 roku na jeden publicznie dostępny punkt przypadało prawie 20 samochodów, a w 2023 roku ta wartość zmniejszyła się do ok. 10 oraz poprawiła się jakość

rozumiana jako przede wszystkim moc ładowania. Pierwsze szybkie ładowarki (o mocy powyżej 22 kW) pojawiły się dopiero w 2010 roku i ich udział wynosił mniej niż 9% ogółu, a w 2023 roku stanowiły one już ok. $\frac{1}{3}$ wszystkich punktów. Podobnie jak w przypadku samochodów, najwięcej punktów, łącznie ok. 2,8 mln (68%), znajduje się w Chinach, natomiast w Europie, choć ich liczba szybko rośnie (do ok. 800 tys. na koniec 2023 r.), stanowią one jedynie $\frac{1}{5}$ wszystkich publicznie dostępnych urządzeń.

Na koniec 2023 roku w Polsce było prawie 3300 ogólnodostępnych stacji wyposażonych w nieco ponad 5,9 tys. punktów do ładowania. Większość z nich to ładowarki prądu przemiennego z mocą do 22 kW, czyli tzw. wolne. Tylko co czwarta ładowarka pozwala ładować samochody prądem stałym o większej mocy, i to one są bardziej oczekiwane przez klientów, zwłaszcza kiedy zależy im, aby w punkcie ładowania spędzić jak najmniej czasu. Ponadto ładowarki charakteryzują się znaczną koncentracją. Blisko 40% punktów znajduje się w 10 największych polskich miastach, na czele z Warszawą, gdzie na koniec 2023 roku było ich ok. 600 (Licznik elektromobilności, 2024), co z punktu widzenia systemowego nie jest zbyt korzystne. Natomiast z punktu widzenia mieszkańców stolicy, ale też Gdańska, Szczecina, Poznania, Krakowa i Katowic (gdzie jest ich najwięcej, powyżej 200 w każdym z miast), zwłaszcza tych jeżdżących głównie lokalnie, duża koncentracja punktów do ładowania w ich miastach stanowi zaletę.

Pomimo rozwoju sieci ładowania w Polsce porównanie do innych państw Unii Europejskiej wypada bardzo słabo. Na koniec 2023 roku w UE dostępnych było ponad 600 tys. punktów ładowania. Najwięcej w Holandii – 145 tys. punktów, w Niemczech 126 tys. i we Francji ok. 105 tys. Tym samym sieć dostępna w Polsce stanowiła mniej niż 1% łącznej liczby, podczas gdy powierzchnia Polski stanowi 7,4% powierzchni wspólnoty, a populacja odpowiednio 8,4%. Co więcej, w Polsce na jeden punkt ładowania przypadało prawie 17 pojazdów osobowych (BEV i PHEV). Średnia dla UE wynosiła ok. 12,5 pojazdu, choć w przypadku Holandii jest to tylko 5 pojazdów na 1 punkt ładowania (EAFO, 2024).

Także Warszawie z liczbą ok. 600 dostępnych punktów daleko do unijnych miast liderów. Według portalu EV.Magazine (Swallow, 2023) w I połowie 2023 roku w Amsterdamie dostępnych było 4800 punktów ładowania, w Paryżu ponad 2,2 tys., a w Berlinie powyżej 2000. Uwzględniając liczbę ludności i powierzchnię powyższych miast, okazuje się, że w Warszawie wiosną 2023 roku znajdowała się średnio 1 ładowarka na 1 km², podczas gdy w Amsterdamie były 22, w Paryżu 19, a w Berlinie ok. 2,5. Natomiast gęstość populacyjna wynosiła w stolicy Polski 0,3 punktu na 1000 mieszkańców, w Amsterdamie 5,8, a w Paryżu i Berlinie odpowiednio 1 i 0,5.

3. Pojęcie użyteczności lokalizacji punktów ładowania samochodów elektrycznych

Zgodnie z założeniami wspólnotowego programu Fit For 55 do końca 2025 roku liczba ogólnodostępnej infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych w Polsce powinna wynosić ponad 40 tysięcy! To aż 8 razy więcej niż obecnie, dlatego przy rozbudowie sieci infrastruktury, w warunkach ograniczonych zasobów finansowych i rzeczowych oraz bardzo krótkim okresie do realizacji tego planu, tak ważną jest maksymalizacja użyteczności korzystania z niej, niedogodne umiejscowienie stacji lub dobór złych parametrów użytkowych może być bowiem równie poważną przeszkodą w rozwoju niskoemisyjnego transportu na masową skalę, co ich niewystarczająca liczba.

Według najprostszej definicji użyteczność oznacza cechę przynoszącą pożytek, odpowiadającą na określone potrzeby lub pomagającą w czymś (Słownik języka polskiego, 2024). Ekonomiczne ujęcie tego zagadnienia określa je także jako zadowolenie z konsumpcji, czyli zdolność dobra do zaspokajania potrzeb. Jest to subiektywna miara określająca przyjemność i satysfakcję jednostki z korzyści płynących z użytkowania określonych towarów i usług. Natomiast w normie ISO 9241-11 (2018) użyteczność (ang. *usability*) zdefiniowano jako skuteczność, wydajność i satysfakcję, z jaką określone jednostki osiągają cele w określonych środowiskach.

W kontekście lokalizowania infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych ocena kryteriów użyteczności będzie związana z weryfikacją opinii jej użytkowników. Dzięki temu możliwe będzie wskazanie, które aspekty wpłyną na maksymalizację użyteczności stacji ładowania dla grupy docelowej.

4. Autorski algorytm oceny użyteczności lokalizacji punktów ładowania samochodów elektrycznych

Na podstawie badań dostępnej literatury przedmiotu (Urząd Dozoru Technicznego, 2023; De Bruyckere & Burger, 2022; Charly, Thomas, Foley & Caulfield, 2023; Szymańska, Szczur & Zmuda-Trzebiatowski, 2019) i badań ankietowych użytkowników samochodów elektrycznych (aktualnych i potencjalnych) dotyczących doświadczeń i preferencji ładowania ich pojazdów (lokalizacji, czasu ładowania, typu złącza, mocy ładowarki itp.), przeprowadzonych w październiku i listopadzie 2023 roku na grupie 112 respondentów zamieszkujących Poznań i powiat poznań-

ski, uznano, że kluczowymi obszarami oceny użyteczności lokalizacji punktów ładowania pojazdów elektrycznych są:

- ranga punktu ładowania,
- dostępność przestrzenna punktu,
- wygoda użytkowania.

Obszary te należy jednak uszczegółowić i w ramach każdego z nich zastosować dodatkowe kryteria pozwalające dokładniej określić użyteczność danej lokalizacji.

Ranga punktu ładowania będzie ustalana poprzez wskaźnik rangi (WR) wyliczony na podstawie oceny 4 kryteriów szczegółowych. Przyjęto, że każdemu z tych kryteriów będą przyznawane następujące punkty:

- za liczbę ładowarek w przeliczeniu na 1 stanowisko postojowe:
 - ▷ WR = 3, jeśli 1 ładowarka przypada na 1 stanowisko;
 - ▷ WR = 1, jeśli 1 ładowarka przypada na 2 stanowiska;

- za wymiary stanowisk postojowych:
 - ▷ WR = 2, dla stacji posiadającej stanowiska przystosowane do postoju samochodów ciężarowych (3,5 m × 8 m);
 - ▷ WR = 1,5, dla stacji posiadającej stanowiska przystosowane do postoju samochodów osobowych użytkowanych przez osoby niepełnosprawne (3,6 m × 5 m);
 - ▷ WR = 1, dla stacji posiadającej stanowiska przystosowane do postoju samochodów osobowych (2,5 m × 5 m);

- za liczbę stanowisk postojowych:
 - ▷ WR = 2, dla stacji posiadającej 5 lub więcej stanowisk postojowych;
 - ▷ WR = 1,75, dla stacji posiadającej 3 lub 4 stanowiska postojowe;
 - ▷ WR = 1,5, dla stacji posiadającej 2 stanowiska postojowe;
 - ▷ WR = 1, dla stacji posiadającej 1 stanowisko postojowe;

- za moc ładowarki (moc ładowarki pozwala także określić przybliżoną szybkość ładowania):
 - ▷ WR = 3, dla ładowarek o mocy >100 (ultraszybkie);
 - ▷ WR = 2,5 dla ładowarek DC, o mocy od 22 do 50 kW (szybkie);
 - ▷ WR = 2 dla ładowarek AC, o mocy 11 do 22 kW (średnio szybkie);
 - ▷ WR = 1, dla ładowarek wykorzystujących prąd zmienny o mocy poniżej 11 kW (wolne).

W rezultacie wskaźnik rangi dla każdej z badanych lokalizacji będzie mieścił się w przedziale od 4 do 10 punktów.

Drugim kluczowym obszarem podlegającym ocenie jest wskaźnik dostępności przestrzennej (DP), określający atrakcyjność lokalizacji stacji ładowania przez pryzmat odległości i czasu, jaki użytkownicy będą musieli poświęcić na dotarcie do niej. Wskaźnik dostępności przestrzennej określać będą dwa kryteria:

- gęstość sieci ładowarek — liczba dostępnych stacji na 100 km dróg publicznych lub gęstość ładowarek na 1 km² w obszarach miejskich;
- intensywność zagospodarowania przestrzennego — mierzona gęstością zaludnienia (liczba osób na 1 km²) lub stosunkiem powierzchni budynków na jednostkę powierzchni danego obszaru (1 m² budynków na 1 km² powierzchni obszaru).

Obliczeń dokonuje się, mnożąc liczbę mieszkańców zamieszkujących dany obszar przez współczynnik z tabeli, a uzyskaną wartość dzieląc przez 1000. Uzyskany wynik pozwoli oszacować, jaką gęstość stacji ładowania na 100 km dróg by osiągnięto, posiadając określoną liczbę stacji ładowania w okolicy, a jednocześnie określić wartość strefy, tj. odległość między stacjami (jednak nie wyznacza rekomendowanej liczby stacji ładowania na danym obszarze). Na przykład, przy gęstości 5 stacji na 100 km drogi maksymalny możliwy zakres odległości między stacjami to 20 km. Jest to maksymalny zasięg wyznaczonej strefy. Zakres odległości wyznaczony przez strefy mierzony jest w linii prostej od najbliższego punktu ładowania. Za przynależność do strefy przyznawane są następujące wartości punktowe:

- DP = 5, dla strefy 1;
- DP = 3, dla strefy 2;
- DP = 1, dla strefy 3.

Najczęściej stosowaną miarą, zwykle w różnego rodzaju zestawieniach i rankingach miast, jest gęstość ładowarek na jednostkę powierzchni, czyli liczba stacji przypadających na 1 km². Trzeba jednak pamiętać, że miasta mają bardzo różną intensywność zabudowy, dużo większą w centrum niż na peryferiach i z tego względu wydaje się, że lepszym rozwiązaniem będzie posłużenie się kryterium: liczba stacji ładowania na 1000 mieszkańców. Dodatkowo kryterium to zostanie poddane kalibracji poprzez podzielenie badanego obszaru na 4 kategorie oraz na 3 strefy (tab. 1). Kategorie dzielą badane obszary od takich o dużej powierzchni i małej liczbie ludności, co jest charakterystyczne dla gmin wiejskich, do obszarów o dużej liczbie ludności skoncentrowanej na małej powierzchni, typowych

dla centrów dużych miast. Strefy natomiast podzielono ze względu na odległość, jaką kierowca będzie musiał przebyć w drodze do stacji ładowania. Strefa numer 1 charakteryzuje się najmniejszą odległością między stacjami ładowania. Strefa numer 2 oznacza odległość pośrednią, natomiast strefa numer 3 – największą.

Drugim ze szczegółowych kryteriów wyznaczanych w celu określenia wskaźnika dostępności przestrzennej są strefy dostępności pieszej mierzonej w linii prostej między punktem ładowania a najbliższym mu atraktorem ruchu. Za atrakторы ruchu uznać można takie obiekty jak centra handlowe, supermarkety, szkoły, centra logistyczne, hotele, urzędy, budynki biurowe, ośrodki kulturalne i sportowe, fabryki i magazyny, szpitale, parkingi ogólnodostępne, stacje paliw i inne obiekty, które generują zwiększony ruch w pobliżu swojego położenia. Ładowanie samochodu elektrycznego trwa co najmniej kilkadziesiąt minut w przypadku ultraszybkich ładowarek o mocy >100 kW i kilka godzin przy standardowej mocy rzędu 22 kW, dlatego tak ważne jest istnienie powyższych atraktorów w pobliżu punktu ładowania, ponieważ taka lokalizacja znacząco wpływa na użyteczność punktu.

Tabela 1. Rekomendowane wskaźniki liczby stacji ładowania przypadających na 1000 mieszkańców do obliczeń wartości stref maksymalnej odległości między stacjami

Charakterystyka obszaru	Strefa 1	Strefa 2	Strefa 3
Obszar o dużej powierzchni i bardzo małej liczbie ludności, np. obszary wiejskie	4	2,7	2,4
Obszar o dużej powierzchni i umiarkowanej liczbie mieszkańców, w którym zlokalizowane są główne ciągi transportowe	2	1,6	1
Obszar o niewielkiej powierzchni i umiarkowanej liczbie mieszkańców, np. obszary miejskie obejmujące tereny zielone	1,5	1,0	0,7
Obszar o małej powierzchni i bardzo dużej liczbie ludności, np. centra miast, główne dzielnice mieszkalne	0,8	0,6	0,4

Źródło: Opracowanie własne

Podobnie jak w przypadku odległości między stacjami ładowania, w tym przypadku również wyznaczane są trzy takie strefy, punktowane w zależności od odległości, jaką użytkownik stacji ładowania będzie musiał przejść, by dostać się z miejsca pozostawienia samochodu do konkretnego atraktora (DP = 5, dla strefy 1; DP = 3, dla strefy 2; DP = 1, dla strefy 3). Strefa numer 1 jest strefą o najmniejszej odległości między stacją a atraktorem ruchu, strefa numer 2 wyznacza odległość pośrednią, a strefa numer 3 – najdalszą. Zakresy stref zależą będą w tym przypadku od gęstości zagospodarowania przestrzennego. Dla obszarów ulokowanych w centrach miast, charakteryzujących się zgrupowaniem intensywnej zabudowy, będą one wynosiły 150 m dla strefy 1, 250 m dla strefy 2 i 350 m dla

strefy 3. Obszarom o umiarkowanej gęstości zagospodarowania przestrzennego przyporządkowuje się odległości wynoszące 200 m dla strefy 1, 300 m dla strefy 2 i 400 m dla strefy 3. Zakres stref wyznaczony dla obszarów o najmniejszej intensywności zagospodarowania wynosi 300 m dla strefy 1, 600 m dla strefy 2 i 900 m dla strefy 3.

Trzecim i ostatnim ocenianym komponentem jest wskaźnik wygody użytkownika (WU). Wygoda użytkownika określana będzie jako syntetyczny wskaźnik procentowy zbudowany na następujących kryteriach i przypisanych im wartościach:

- czynniki funkcjonalne – max 25%:
 - ▷ prawidłowe oznakowanie, umożliwiające bezproblemowy dojazd do stacji i odróżnienie stanowisk postojowych dla pojazdów EV od stanowisk postojowych dla pojazdów spalinowych (5%)⁴;
 - ▷ dostępność rodzajów gniazd: dla ładowarek AC – typ 1, typ 2, dla ładowarek DC – CSS (Combo 2), CHAdEMO (10%);
 - ▷ dostosowanie do potrzeb użytkowników z niepełnosprawnościami: spełnienie wymagań dotyczących wymiarów, oznakowania, odpowiedniego rodzaju nawierzchni oraz dostępu z chodnika, a także udostępnienie instrukcji ładowania w widocznym miejscu (10%);

- czynniki związane z bezpieczeństwem użytkownika – max 20%:
 - ▷ odpowiednie oświetlenie lokalizacji, wyposażenie w monitoring i środki zapobiegające uszkodzeniu pojazdów (środki ochrony mechanicznej, np. słupki, odbojnice, bariery) (4%);
 - ▷ bezproblemowy dostęp dla służb ratunkowych (4%);
 - ▷ wyposażenie w ochronę przeciwko prądowi piorunowemu (4%);
 - ▷ spełnienie wymagań technicznych dla stacji ładowania i punktów ładowania stanowiących element infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego, zawartych w Rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 26 czerwca 2019 roku (4%);
 - ▷ lokalizacja poza miejscem występowania i składowania substancji łatwopalnych i wybuchowych (4%);

- czynniki infrastrukturalne, wyznaczone przez udział publicznej infrastruktury ładowania do stacji o dużej mocy i stacji o normalnej mocy; czynnik ten jest zmniejszany o 5 punktów procentowych, gdy poziom udziału ładowarek o dużej mocy w publicznej infrastrukturze jest niższy niż 40%

⁴ Spełnienie danego kryterium oznacza przyznanie danej wartości procentowej.

- i zmniejsza się o kolejne 5 p.p. za każde 10% mniejszego udziału ładowarek o dużej mocy w publicznej infrastrukturze — max 15%;
- czynniki związane z warunkami drogowymi, czyli częstotliwość ruchu drogowego i występowania zatorów oraz wypadków drogowych, czynnik ten jest zmniejszany o 5 p.p., gdy któreś z wymienionych zjawisk występuje często — max 15%;
 - czynniki kosztowe, wyznaczone przez koszt instalacji urządzenia, koszt jego podłączenia do sieci elektrycznej oraz koszt rocznego utrzymania urządzenia — max 15%;
 - czynniki środowiskowe wynikające z przepisów budowlanych — max 10%.

Ostateczna ocena lokalizacji będzie wartością punktową będącą iloczynem trzech składników: wskaźnika rangi (WR), wskaźnika dostępności przestrzennej (DP) oraz wskaźnika wygody użytkowania (WU).

$$\text{Ocena lokalizacji} = WR \times DP \times WU$$

WR — wskaźnik rangi

DP — dostępność przestrzenna

WU — wygoda użytkowania

Tak wyznaczona ocena lokalizacji danej stacji do ładowania pojazdów elektrycznych mieści się w przedziale od 0 do 100 punktów. Przyjęto, że lokalizacje, w których planuje się budowę stacji do ładowania, a które uzyskały od 0 do 29,99 pkt., nie powinny być realizowane. Lokalizacje z punktacją od 30,00 do 69,99 spełniają część kryteriów i należy przeprowadzić dalszą weryfikację, czy istnieje możliwość jej poprawienia lub czy stacja może zostać wykorzystana i zbudowana w późniejszym okresie rozwoju sieci lub po zmianach zagospodarowania przestrzennego, np. ukończeniu planowanego osiedla. Natomiast lokalizacje, których wynik przekracza 70,00 punktów, powinny być jak najszybciej realizowane, ponieważ będą miały wysoką użyteczność dla osób eksploatujących samochody elektryczne.

5. Ocena przykładowej stacji ładowania samochodów elektrycznych

Do oceny przyjęto niedawno oddaną do użytku stację ładowania POZ 008 i POZ 007 znajdującą się przy ulicy Powstańców Wielkopolskich 1/2 (rys. 3).



Rys. 3. Oceniana stacja do ładowania
Źródło: Fot. J. Olszewska i Z. Misiek

Stacja składa się z 2 punktów ładowania AC o mocy do 22 kW obsługujących 4 stanowiska postojowe przeznaczone dla samochodów osobowych o wymiarach 2,5 m na 5 m. Poszczególne kryteria wskaźnika rangi zostały ocenione zgodnie z tymi wskazanymi w pkt. 4 niniejszego artykułu i łącznie wskaźnik rangi $WR = 5,75$ pkt.

Obszar wokół stacji jest typowo śródmiejski o dużej gęstości zaludnienia i o dużej liczbie atraktorów. Są to przede wszystkim Uniwersytet WSB Merito (do wejścia do rektoratu ok. 30 m, a do budynku CP, gdzie mieści się biblioteka i dziekanat – ok. 200 m), Uniwersytet Ekonomiczny (do wejścia do Collegium Altum ok. 60 m), Uniwersytet Adama Mickiewicza (do Collegium Novum ok. 150 m i jedynie nieco dalej do Wydziału Neofilologii), a także jedno z największych centrów handlowych w Poznaniu – Stary Browar (oddalony o ok. 200 m) i wiele innych punktów handlowych, usługowych i gastronomicznych. Stąd oba wskaźniki dostępności przestrzennej ocenione zostały na 5 pkt. – łącznie $DP = 10$ pkt.

Stacja jest prawidłowo oznakowana i zapewniono bezproblemowy dojazd do niej i odróżnienie stanowisk postojowych dla pojazdów EV od stanowisk postojowych dla pojazdów spalinowych. Niestety, dostępne jest tylko jedno złącze typu 2. Wadą jest również fakt, że jedynie w minimalnym stopniu odpowiada potrzebom osób z niepełnosprawnościami ruchowymi. Dlatego czynniki funkcjonalne oceniono jedynie na 8,5 z 25%. Stacja nie ma osobnego monitoringu, brakuje również

środków zapobiegających uszkodzeniu pojazdów (np. elastyczne słupki), jednak w pełni spełnia pozostałe aspekty kryterium bezpieczeństwa, stąd przyznane 16 na 20%. Pozostałe kryteria z wyjątkiem ostatniego, czynniki środowiskowe wynikające z przepisów budowlanych, były spełnione częściowo, dokładnie w ⅔. Tym samym łączna wartość wskaźnika wygody użytkowania (WU) oceniona została na 64,5%.

Korzystając z przyjętej formuły, wyliczono, iż stacja uzyskała ocenę równą 37,1 pkt. Oznacza to, że lokalizacja spełnia część kryteriów lokalizacyjnych, ale istnieje możliwość poprawienia jej użyteczności poprzez działania niskokosztowe, w szczególności poprawę środków bezpieczeństwa w badanej lokalizacji, takich jak zwiększenie dostępności dla osób niepełnosprawnych, instalacja środków ochrony pojazdów i instalacja monitoringu. Warto również rozważyć dołożenie drugiego typu złącza, najlepiej CCS, ze względu na popularność w Polsce stosujących je marek Audi, BMW, Mercedes i Volkswagen.

6. Podsumowanie

W celu zapobiegnięcia zbliżającej się katastrofie klimatycznej, a raczej złagodzenia i odsunięcia w czasie jej skutków oraz poprawy jakości życia i zdrowia mieszkańców, zwłaszcza miast, konieczne jest podjęcie zdecydowanych i efektywnych działań. Jednym z nich jest rozwój elektromobilności. Ten jednak nie nastąpi bez radykalnej poprawy dostępności stacji ładowania samochodów elektrycznych. Polska ma szczególnie sporo do zrobienia w kwestii elektromobilności, ponieważ w ciągu zaledwie dwóch najbliższych lat (2024–2026) powinna 8-krotnie zwiększyć liczbę punktów do ładowania. Ten plan wydaje się nie do zrealizowania, dlatego tym bardziej należy zadbać o maksymalizację użyteczności planowanych stacji dla ich przyszłych użytkowników. W tym celu konieczne jest stworzenie algorytmu oceny planowanych inwestycji obejmującego najważniejsze dla użytkowników kryteria. Bazując na uprzednich badaniach ankietowych wśród obecnych i potencjalnych użytkowników oraz studiach literatury przedmiotu, zaproponowano takie właśnie autorskie narzędzie. Jego atutem jest kompleksowość, ale równocześnie łatwość w użyciu.

Bibliografia

- Bąk, M. (2009). *Koszty i opłaty w transporcie* (s. 47–51). Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.
- Britannica. (2024, 2 kwietnia). <https://www.britannica.com/biography/Gaston-Plante>
- Charly, A., Thomas, N.J., Foley, A., & Caulfield, B. (2023). Identifying optimal locations for community electric vehicle charging. *Sustainable Cities and Society*, 94. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104573>
- De Bruyckere, L., & Burger, J. (2022). *Standards for EV smart charging: A guide for local authorities* (s. 6–17). Environmental Coalition on Standards, RAP.
- European Alternative Fuels Observatory (EAFO). (2024, 2 kwietnia). <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/interactive-map>
- EU Transport in figures. *Statistical Pocketbook 2024*. (2024). Publications Office of the European Union.
- Global EV Outlook 2020. (2020). International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- Global EV Outlook 2024. (2024). International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>
- ISO. (2018). Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts.
- Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE). (2022). *Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2021 rok* (s. 2–6). https://www.kobize.pl/uploads/materialy/materialy_do_pobrania/wskazniki_emisyjnosci/Wska%C5%BAniki_emisyjno%C5%9Bci_dla_energii_elektrycznej_grudzie%C5%84_2022.pdf
- Licznik elektromobilności. (2024). PZPM. <https://www.pzpm.org.pl/pl/Elektromobilnosc/Licznik-Elektromobilnosci/Rok-2023/GRUDZIEN-2023>
- Money.pl. (2022). *Morawiecki zapowiadał milion aut elektrycznych do 2025 r. Na razie nie ma nawet 50 tys.* <https://www.money.pl/gospodarka/morawiecki-zapowiadal-milion-aut-elektrycznych-do-2025-r-na-razie-nie-ma-nawet-50-tys-6737627455249216a.html>
- Słownik języka polskiego. (2024, 2 kwietnia). <https://sjp.pwn.pl/sjp/uzytecznosc;2534174.html>
- Swallow, T. (2023). *Top 10: Cities for EV Charging*. EV Magazine, <https://evmagazine.com/top10/top-10-cities-providing-ev-charging-solution>
- Szymańska, P., Szczur, A., & Zmuda-Trzebiatowski, P. (2019). Kryteria lokalizacji punktów ładowania samochodów elektrycznych. Studium przypadku: sieć punktów ładowania w Poznaniu. *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 22(2), 20–33. <https://doi.org/10.4467/2543859XPKG.19.008.11148>
- Urząd Dozoru Technicznego. (2023). *Stacje i punkty ładowania pojazdów elektrycznych. Przewodnik UDT dla operatorów i użytkowników — zalecane praktyki*. <https://www.udt.gov.pl/poradniki-i-przewodniki/przewodnik-udt-stacje-i-punkty-ladowania-pojazdow-elektrycznych>
- Ustawa. (2018). Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r. poz. 110, z późn. zm.).

Algorithm for Assessing the Usability of Locating Electric Car Charging Stations

Abstract. Transport, particularly road transport, is one of the largest sources of greenhouse gas emissions and pollutants that negatively impact climate, human health, and the natural environment, alongside the energy and industrial sectors. Despite ongoing controversies, electrification is a crucial solution for reducing the negative external costs associated with transport. However, electric vehicles face challenges due to their limited range and long charging times, necessitating a comprehensive network of charging stations. This network's inadequate availability significantly impedes electromobility advancement, and Poland has substantial work to do in this area. This article aims to develop an original algorithm for assessing the location of charging stations to enhance their usability for electric vehicle users. We have created a tool for evaluating potential and existing charging station locations based on previous surveys of current and potential users and a review of existing literature. The main advantage of this tool is its comprehensiveness and ease of use, making it highly applicable for local authorities to assess planned charging stations within their jurisdictions.

Keywords: transport, electric vehicles, charging stations, usability