



UNIWERSYTET SZCZECIŃSKI
**INSTYTUT EKONOMII
I FINANSÓW**

Przemysław Starzyński

Autoreferat pracy doktorskiej

**Elektromobilność jako determinanta zrównoważonego rozwoju
inteligentnych miast w Polsce**

Promotor: dr hab. Wojciech Drożdż, prof. US

Promotor pomocniczy: dr Marcin Rabe

Recenzenci:

prof. dr hab.inż. Jacek Kamiński

Polska Akademia Nauk

dr hab. Dariusz Tłoczyński, prof. UG

Uniwersytet Gdański

Szczecin 2023

Spis treści

1. Uzasadnienie wyboru tematu	3
2. Cel pracy oraz hipoteza badawcza	5
3. Struktura pracy	6
4. Źródła i metody badawcze	7
5. Charakterystyka i wyniki przeprowadzonych badań	9
5.1. Opis postępowania badawczego	9
5.2. Wyniki przeprowadzonych badań	10
6. Model pożądanych rozwiązań dla zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce w kontekście elektromobilności	11
6.1. Główne założenia metody hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych	11
6.2. Założenia opracowanego modelu	13
6.3. Modelowanie pożądanych rozwiązań	15
6.4. Scenariusze rozwoju elektromobilności w Polsce	17
7. Wnioski końcowe	21
8. Bibliografia	22

1. Uzasadnienie wyboru tematu

Koncepcja inteligentnego miasta (*smart city*) jest definiowana na wiele różnych sposobów. Według Komitetu Miast Cyfrowych i Opartych na Wiedzy inteligentne miasto to takie, w którym technologie informacyjne i komunikacyjne (ICT) są implementowane, celem zwiększania efektywności wykorzystania dostępnej infrastruktury oraz poprawy świadomości mieszkańców z możliwości jej wykorzystania. W szerszej definicji inteligentne miasto to obszar, w którym inwestycje w kapitał ludzki i społeczny oraz w infrastrukturę komunikacyjną aktywnie promują zrównoważony rozwój gospodarczy i wysoką jakość życia, w tym mądre gospodarowanie zasobami naturalnymi. Przykłady inteligentnych miast występują w różnych wariantach, typach, konfiguracjach oraz rozmiarach. Wynika to z unikalnego charakteru każdego miasta, które posiada indywidualną historię, przemysł oraz własną strategię w zakresie ścieżek rozwoju. Według Parlamentu Europejskiego ewolucję koncepcji inteligentnych miast kształtuje zróżnicowany udział czynników technologicznych, ekonomicznych, biznesowych, regulacyjnych i społecznych, determinujących kierunek rozwoju danego miasta¹. Dlatego też, wdrażanie tej koncepcji w różnych regionach przebiega w inny sposób, w zależności od kluczowych celów realizowanych na danym obszarze, wdrażanych polityk oraz instrumentów wsparcia, a także świadomości obywateli w zakresie nowych technologii oraz zrównoważonego rozwoju.

Obecnie ponad 55% światowej populacji mieszka w miastach. W 2007 roku po raz pierwszy liczba mieszkańców miast przewyższyła liczbę osób mieszkających na wsi. Prognozuje się, że udział ten wzrośnie do 68% do 2050 roku². W Polsce udział ludności w miastach wynosi około 60%, co przekłada się na liczbę 22 905,1 tys. osób w 2020 roku³. Wzrastająca liczba ludności w miastach sprawia, że na obszarach zurbanizowanych pojawiają się nowe wyzwania dotyczące między innymi zagospodarowania powierzchni dla coraz większej liczby mieszkańców, rozwiązań transportowych i komunikacyjnych, zapewnienia bezpieczeństwa i komfortowych warunków życia, dostępu do usług publicznych, a także dotyczące ochrony środowiska. Inteligentne miasta są zatem odpowiedzią na połączenie dynamicznej urbanizacji związanej z napływem społeczeństwa do ośrodków miejskich wraz

¹ European Parliament, Mapping smart cities in the EU, Brussels, 2014.

²Organizacja Narodów Zjednoczonych, *Ludność w miastach do 2050 roku* [Online] <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> [Dostęp: 18.10.2021 r.].

³ Bank Światowy, *Udział ludności w miastach* [Online] <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS> [Dostęp: 18.10.2021 r.].

z koncepcją zrównoważonego rozwoju. Termin inteligentne miasta jest często używany w odniesieniu do niemal każdej inicjatywy miejskiej opartej na technologii, obejmującej różne aspekty życia w mieście takie, jak jakość życia i dobrobyt, zrównoważony rozwój, spójność społeczną, wzrost gospodarczy oraz ukierunkowanie na zarządzanie aktywami służące modernizacji i rozbudowie miast⁴.

Rosnącym, dużym problemem we współczesnych miastach jest transport i przemieszczanie się ludzi. Staje się to wyzwaniem cywilizacyjnym ponieważ przy rosnącej mobilności oczekiwane jest zmniejszenie kongestii, wypadków i emisji zanieczyszczeń⁵. Jednym z komponentów inteligentnych miast jest inteligentna mobilność (*smart mobility*), dotycząca procesów i działań związanych z transportem publicznym i prywatnym oraz szeroko rozumianą logistyką. Jest to nie tylko uwzględnienie inteligentnych rozwiązań w obszarze technologii informacyjno-komunikacyjnych, ale także – a w ostatnich latach nawet przede wszystkim – dążenie to zwiększenia udziału nisko lub zeroemisyjnych środków transportu⁶. Jednym z takich kierunków jest elektryfikacja dotychczasowych pojazdów w miastach, czyli rozwój elektromobilności. Ponieważ transport jest jednym z kluczowych działów gospodarki, wprowadzenie nowych rozwiązań wymaga uwzględnienia szeregu różnych czynników. Wśród nich znajdują się zarówno czynniki techniczne, ekonomiczne i biznesowe, jak również regulacyjne, polityczne i społeczne.

Główną zaletą pojazdów elektrycznych jest brak bezpośrednich emisji zanieczyszczeń i dwutlenku węgla do atmosfery podczas ich użytkowania, co znacząco wpływa na poprawę jakości powietrza w terenach zabudowanych. Podczas eksploatacji takich pojazdów występują natomiast emisje pośrednie, pochodzące z procesów wytwarzania energii elektrycznej. Dlatego też, emisyjność samochodów elektrycznych jest bezpośrednio powiązana ze strukturą paliwową jednostek wytwórczych. Chociaż udział paliw kopalnych zarówno w światowej, jak i krajowej gospodarce jest nadal znaczący, należy zwrócić uwagę, że postępująca obecnie transformacja energetyczna oraz dekarbonizacja systemów elektroenergetycznych skutkuje zwiększeniem udziału jednostek wytwórczych bazujących na odnawialnych źródłach energii.

⁴ W. Drożdż, K. Hajdrowski, *Koncepcje rozwoju idei miast inteligentnych* [w:] *Wyzwania cywilizacyjne we współczesnej gospodarce. Wybrane aspekty*, red. W. Drożdż, M. Dźwigoł-Barosz, Wydawnictwo Adam Marszałek, Toruń 2019, s. 102.

⁵ W. Drożdż, *Transport in Modern Cities and Metropolises* [w:] W. Drożdż, R. Miśkiewicz, J. Pokrzywniak, F. Elżanowski, *Urban Electromobility in the Context of Industry 4.0*, Wydawnictwo Adam Marszałek, Toruń 2019, s. 48-49.

⁶ W. Drożdż, *Transport nowoczesnych metropolii* [w:] *Elektromobilność w rozwoju miast*, red. W. Drożdż, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2018, s. 117–139.

Elektromobilność stanowi nieodłączny element zrównoważonego rozwoju miast, należy się zatem spodziewać, że tempo rozwoju elektryfikacji krajowego transportu wpłynie na dynamikę wdrażania koncepcji inteligentnych miast w Polsce. Prowadzenie polityki energetycznej, wdrażanie regulacji oraz mechanizmów wsparcia ukierunkowanych na wzrost udziału pojazdów elektrycznych w krajowym sektorze transportu będzie miało pozytywny wpływ na przyspieszenie implementacji zaawansowanych rozwiązań technologii informacyjno-komunikacyjnej w polskich miastach. Kluczowym aspektem determinującym rozwój elektromobilności jest również prowadzenie działań zwiększających świadomość społeczeństwa w zakresie ochrony środowiska, zrównoważonego rozwoju i korzyści wynikających z elektryfikacji transportu. Przyjmuje się, że dzięki wysokiemu poziomowi rozwoju społecznego obecni liderzy wdrażania elektromobilności umocnią swoją pozycję, pozostawiając inne gospodarki narodowe w roli outsiderów lub spóźnionych naśladowców⁷.

Reasumując, obecny stan badań w zakresie rozwoju inteligentnych miast w Polsce, w obrębie dyscypliny naukowej ekonomia i finanse, z przyczyn obiektywnych ma charakter fazy początkowej. Nieliczne opracowania bazują przede wszystkim na dotychczasowych doświadczeniach polskich miast, bądź próbach implementacji wyników badań światowych w tym zagadnieniu na płaszczyznę polskich uwarunkowań. Podobnie jak prace badawcze, dotyczące rozwoju elektromobilności w Polsce, najczęściej skupione są one na wąskim spectrum problematyki. Wydaje się istotne, aby połączyć aktualne i rozwijane obecnie w światowej literaturze przedmiotu zagadnienie rozwoju miast inteligentnych z istotnością procesu rozwoju elektryfikacji transportu drogowego w polskich miastach. Stanowi to o zidentyfikowaniu luki badawczej, której próbą częściowego wypełnienia jest stworzona dysertacja.

2. Cel pracy oraz hipoteza badawcza

Celem głównym rozprawy było **Wyznaczenie pożądanego scenariuszy zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce, przy udziale elektromobilności.** Cel główny uzupełniały określone w pracy następujące **cele pomocnicze**:

- a) analiza ekonomicznych, technologicznych, regulacyjnych oraz społecznych uwarunkowań rozwoju elektromobilności w Polsce;
- b) ocena rozwoju elektromobilności na tle innych krajów Unii Europejskiej;

⁷ W. Drożdż, J. Dowejko, *Electromobility in selected national economies* [w:] *Electromobility as a megatrend of contemporary economy*, red. W Drożdż, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2021, s. 61.

- c) budowa wielokryterialnego modelu pożądanych rozwiązań dla zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce w kontekście elektromobilności;
- d) sformułowanie wniosków na podstawie opracowanego modelu.

Na podstawie celów sformułowano **hipotezę badawczą**: Elektromobilność jest determinantą zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce.

3. Struktura pracy

Przygotowana dysertacja posiada charakter studium teoretyczno-empirycznego z elementami postulatycznymi, w ramach którego problematyka badawcza poruszona została we wstępie, pięciu rozdziałach (z czego trzy stanowią część teoretyczną, jeden część empiryczną, a jeden postulatyczną) oraz zakończeniu.

W **rozdziale pierwszym** *Inteligentne miasto w aspekcie zrównoważonego rozwoju* poddano szczegółowej charakterystyce diskutowanych pojęć, celowości ich wdrażania w krajowych gospodarkach oraz ich punktów wspólnych. Ponieważ nieodłącznym elementem inteligentnych miast są technologie informacyjno-komunikacyjne, ich udział przeanalizowany został również w przestrzeni miejskiej.

Drugi rozdział pracy zatytułowany jest *Elektromobilność jako forma transportu w nowoczesnych miastach*. W ramach tej części scharakteryzowano stan dotychczasowych badań w zakresie roli elektromobilności w zrównoważonym rozwoju inteligentnych miast. Elektromobilność została scharakteryzowana jako nieodłączny element zrównoważonego rozwoju. Analizie poddano także potrzeby transportowe mieszkańców i ich wpływ na rozwój elektromobilności.

Uwarunkowania rozwoju elektromobilności w Polsce to tytuł **trzeciego rozdziału** pracy. W tej części poddano ocenie pakiet elektromobilności prezentujący kluczowe postanowienia i regulacje w kontekście elektryfikacji krajowego transportu. W rozdziale zaprezentowano również instrumenty wsparcia w kontekście rozwoju elektromobilności oraz obowiązki samorządów i operatorów sieci dystrybucyjnych w kontekście rozbudowy infrastruktury ładowania.

W **czwartym rozdziale** *Analiza i Ocena rozwoju elektromobilności w Polsce na tle wybranych krajów Unii Europejskiej* zawarto analizę i autorską ocenę rozwoju elektromobilności w Polsce na tle wybranych krajów Unii Europejskiej. W tym celu opracowano wskaźniki służące do porównania rozwoju elektromobilności w Polsce i w innych

krajach europejskich, w zakresie rynku motoryzacyjnego oraz ogólnodostępnych punktów ładowania. Opracowane wskaźniki zostały wykorzystane do przeprowadzenia oceny stanu rozwoju krajowego sektora elektromobilności.

Model pożądaných rozwiązań dla zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce w kontekście elektromobilności to piąty rozdział. Biorąc pod uwagę wcześniejsze części pracy, przedstawiony tu został model pożądaných rozwiązań dla zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce w kontekście elektromobilności. Zaprezentowano kluczowe założenia, problem badawczy, rozważane kryteria oraz analizowane warianty w kontekście rekomendowanych rozwiązań dla rozwoju elektromobilności. Rozdział zawiera również dyskusję otrzymaných wyników.

W **zakończeniu** zawarto kluczowe wnioski oraz kierunki dalszych badań w obszarze elektromobilności jako determinanty zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce.

4. Źródła i metody badawcze

Przeprowadzone badania zostały oparte na krajowych oraz zagranicznych źródłach literaturowych, głównie z zakresu elektromobilności, inteligentnych miast, zrównoważonego rozwoju oraz transportu (łącznie 126 pozycji). Ponadto, skorzystano z zasobów informacyjnych dostępnych na zagranicznych oraz polskich portalach internetowych, poruszających tematykę zrównoważonego rozwoju, transportu, elektromobilności, programów wsparcia oraz aktualnych tendencji zachodzących w (w pracy odwołano się do 29 źródeł internetowych).

W ramach badań zastosowano krytyczną analizę literatury naukowej oraz ujęcie teoretyczne zagadnień dotyczących obecnego stanu badań w zakresie koncepcji inteligentnego miasta w aspekcie zrównoważonego rozwoju, roli elektromobilności w zrównoważonym rozwoju inteligentnych miast oraz uwarunkowań rozwoju elektromobilności w Polsce. W pracy wykorzystano dokumenty źródłowe, takie jak: akty prawne, dokumenty strategiczne, sprawozdania, raporty tematyczne oraz dane statystyczne obrazujące obszar elektromobilności oraz zrównoważonego rozwoju. Jednocześnie dokonano analizy wtórnej dokumentów i baz danych polegającej na gromadzeniu i porządkowaniu danych, szukaniu zależności pomiędzy nimi i wykonaniu obliczeń. Wykorzystano w tym celu dokumenty i bazy danych publikowane przez krajowe i europejskie stowarzyszenia i organizacje w zakresie pojazdów o napędzie elektrycznym oraz ogólnodostępnych punktów ładowania.

W części empirycznej zastosowano metodę analizy wtórnej dokumentów, metodę wnioskowania czy badań porównawczych, dzięki którym możliwa była ocena stanu elektromobilności w Polsce.

Z kolei w części postulatywnej posłużono się metodą analizy wielokryterialnej oraz badaniami ankietowymi, dzięki którym określono zbiór wariantów decyzyjnych rozwoju elektromobilności oraz zdefiniowano zbiór kryteriów do oceny tych wariantów. Zagadnienia częściowe wraz z przyporządkowanym im metodom badawczym przedstawiono w układzie tabelarycznym (tabela 1).

Tabela 1. Zastosowane metody badawcze

Nr rozdziału	Zagadnienie	Metoda badawcza
1.	Inteligentne miasto w aspekcie zrównoważonego rozwoju	- krytyczna analiza literatury przedmiotu - metoda wnioskowania
2.	Elektromobilność jako forma transportu w nowoczesnych miastach	- krytyczna analiza literatury przedmiotu - metoda wnioskowania
3.	Uwarunkowania rozwoju elektromobilności w Polsce	- krytyczna analiza literatury przedmiotu - metoda wnioskowania
4.	Analiza i ocena rozwoju elektromobilności w Polsce na tle wybranych krajów unii europejskiej	- analiza wtórna dokumentów - metoda badań porównawczych - metoda wnioskowania
5.	Model pożądanego rozwoju zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce w kontekście elektromobilności	- metoda analizy wielokryterialnej - metoda wnioskowania

Źródło: opracowanie własne

5. Charakterystyka i wyniki przeprowadzonych badań

5.1. Opis postępowania badawczego

Przyjęty schemat postępowania badawczego pozwolił na realizację celów pracy i weryfikację hipotezy badawczej. W ramach pracy przeprowadzono analizę i ocenę rozwoju elektromobilności w Polsce na tle wybranych krajów Unii Europejskiej. Analizie poddano 25 krajów członkowskich Unii Europejskiej (Austria, Belgia, Chorwacja, Cypr, Czechy, Dania, Estonia, Finlandia, Francja, Grecja, Hiszpania, Irlandia, Litwa, Luksemburg, Łotwa, Holandia, Niemcy, Polska, Portugalia, Rumunia, Słowacja, Słowenia, Szwecja, Węgry, Włochy) oraz Wielką Brytanię, czyli łącznie 26 państw. Horyzont czasowy analizy objął swoim zakresem pięć ostatnich lat, to jest lata 2016–2020. Badanie zostało podzielone na trzy zasadnicze etapy.

W etapie pierwszym scharakteryzowano oraz porównano poszczególne rynki motoryzacyjne o napędzie elektrycznym. Scharakteryzowana została struktura pojazdów elektrycznych oraz opracowane zostały wskaźniki rozwoju elektromobilności w zakresie pojazdów.

Dla zgromadzonych danych obliczono dynamikę wzrostu liczby samochodów zgodnie z równaniem przyrostu względnego łańcuchowego dla liczby pojazdów ogółem (1), dla liczby pojazdów elektrycznych oraz równaniem przyrostu względnego o stałej podstawie (2) dla liczby pojazdów ogółem oraz dla liczby pojazdów elektrycznych.

$$\bigwedge_{p \in P} \bigwedge_{k \in K} \bigwedge_{s \in S} d_{(t/t-1),p,k,s} = \frac{EV_{t,p,k,s} - EV_{(t-1),p,k,s}}{EV_{(t-1),p,k,s}} * 100\% \quad (1)$$

$$\bigwedge_{p \in P} \bigwedge_{k \in K} d_{2020/2016,p,k} = \frac{N_{2020,p,k} - N_{2016,p,k}}{N_{2020,p,k}} * 100\% \quad (2)$$

Następnie opracowano wskaźniki rozwoju elektromobilności, celem określenia rozwoju rynku motoryzacyjnego pojazdów elektrycznych w szerszym kontekście, uwzględniającym charakterystyki poszczególnych państw. W tym celu opracowano oraz obliczono dla każdego państwa i każdego rodzaju pojazdu elektrycznego następujące wskaźniki w 2020 roku:

- wskaźnik α , określający liczbę pojazdów elektrycznych w przeliczeniu na 1000 mieszkańców każdego kraju,

- wskaźnik β , określający liczbę pojazdów elektrycznych w przeliczeniu na 1 km² powierzchni każdego kraju,
- wskaźnik γ , określający udział pojazdów elektrycznych w całkowitej liczbie pojazdów w każdym kraju.

W drugim etapie zidentyfikowano oraz scharakteryzowano ogólnodostępne punkty ładowania pojazdów elektrycznych. W tym celu opracowano, obliczono oraz przeanalizowano następujące wskaźniki rozwoju elektromobilności w zakresie infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych w 2020 roku:

- wskaźnik δ , określający liczbę ogólnodostępnych punktów ładowania w przeliczeniu na liczbę osobowych samochodów elektrycznych w każdym kraju,
- wskaźnik λ , określający liczbę ogólnodostępnych punktów ładowania w przeliczeniu na liczbę wszystkich pojazdów elektrycznych w każdym kraju,
- wskaźnik α' , określający liczbę ogólnodostępnych punktów ładowania w przeliczeniu na 1000 mieszkańców każdego kraju,
- wskaźnik β' , określający liczbę ogólnodostępnych punktów ładowania w przeliczeniu na 1 km² powierzchni każdego kraju,
- wskaźnik θ , określający liczbę ogólnodostępnych punktów ładowania w przeliczeniu na 1 km autostrad dostępnych w każdym kraju.

W trzecim etapie przeprowadzono analizę porównawczą rozwoju rynku motoryzacyjnego pojazdów elektrycznych oraz sieci ogólnodostępnych punktów ładowania pomiędzy Polską a pozostałymi krajami Unii Europejskiej i Wielką Brytanią. W tym celu opracowano uszeregowane wykresy kolumnowe, odzwierciedlające rankingi poszczególnych państw w zakresie analizowanych parametrów i wskaźników, jednoznacznie wskazując miejsce Polski na każdej liście, wskazując tym samym na poziom zaawansowania sektora rozwoju krajowej elektromobilności na tle innych państw. Rankingi zostały opracowane dla wszystkich czterech kategorii pojazdów (samochody osobowe, lekkie samochody dostawcze, ciężkie samochody dostawcze oraz autobusy) z uwzględnieniem rodzaju pojazdu elektrycznego (BEV, PHEV) oraz ogólnodostępnych punktów ładowania.

5.2. Wyniki przeprowadzonych badań

Przeprowadzona analiza wykazała, że Polska w rozwoju elektromobilności jest na najniższym poziomie w Unii Europejskiej. W analizie uwzględniono parametry

charakteryzujące każde z państw, czyli liczbę ludności, powierzchnię oraz udział pojazdów elektrycznych w pojazdach ogółem. W zakresie rozwoju rynku motoryzacyjnego samochodów osobowych, lekkich samochodów dostawczych oraz ciężkich Polska znajduje się na ostatnich miejscach we wszystkich zaprezentowanych rankingach. Inaczej przedstawia się sytuacja dotycząca krajowej liczby autobusów na tle innych krajów Unii Europejskiej i Wielkiej Brytanii. W zakresie bezwzględnej liczby autobusów elektrycznych Polska znajduje się wśród państw z ich największą liczbą, zajmując 7 i 6 miejsce. Natomiast uwzględniając całkowitą liczbę autobusów w kraju, Polska zajmuje w rankingach ostatnie miejsca.

Przeprowadzone analizy w zakresie ogólnodostępnych punktów ładowania w poszczególnych krajach w 2020 roku, pokazują, że Polska znajduje się na 13 pozycji. Jednak również w tym przypadku obserwowana jest dysproporcja pomiędzy krajami znajdującymi się na pierwszych dziesięciu miejscach, a pozostałymi. Oznacza to, że pomimo 13 miejsca, Polska znajduje się w grupie państw z najmniejszą liczbą punktów ładowania. Po uwzględnieniu liczby mieszkańców, powierzchni kraju, długości autostrad okazuje się, że Polska jest wśród ostatnich na tle krajów Unii Europejskiej i Wielkiej Brytanii. Przeprowadzone analizy w zakresie ogólnodostępnych punktów ładowania, dowodzą, że punkty ładowania rozwijają się proporcjonalnie do rozwoju rynku pojazdów elektrycznych w Polsce. Oznacza to, że zarówno na poziomie kraju, jak i na poziomie jego miast istnieje duży potencjał do wdrażania rozwiązań ukierunkowanych na przyspieszenie dynamiki rozwoju elektryfikacji transportu drogowego.

Chociaż rozwój elektromobilności jest obserwowany na poziomie europejskim, dynamika tego rozwoju jest różna w poszczególnych krajach. Wśród przyczyn tych różnic wskazać należy zarówno czynniki (a) ekonomiczne, określające między innymi poziom zamożności społeczeństwa i dostępność aut w gospodarstwach domowych, (b) technologiczne, określające na przykład dostęp do pojazdów elektrycznych oraz infrastruktury towarzyszącej, (c) społeczne, określające między innymi świadomość społeczeństwa w zakresie rozwiązań ekologicznych i wpływu transportu na środowisko.

6. Model pożądaných rozwiązań dla zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce w kontekście elektromobilności

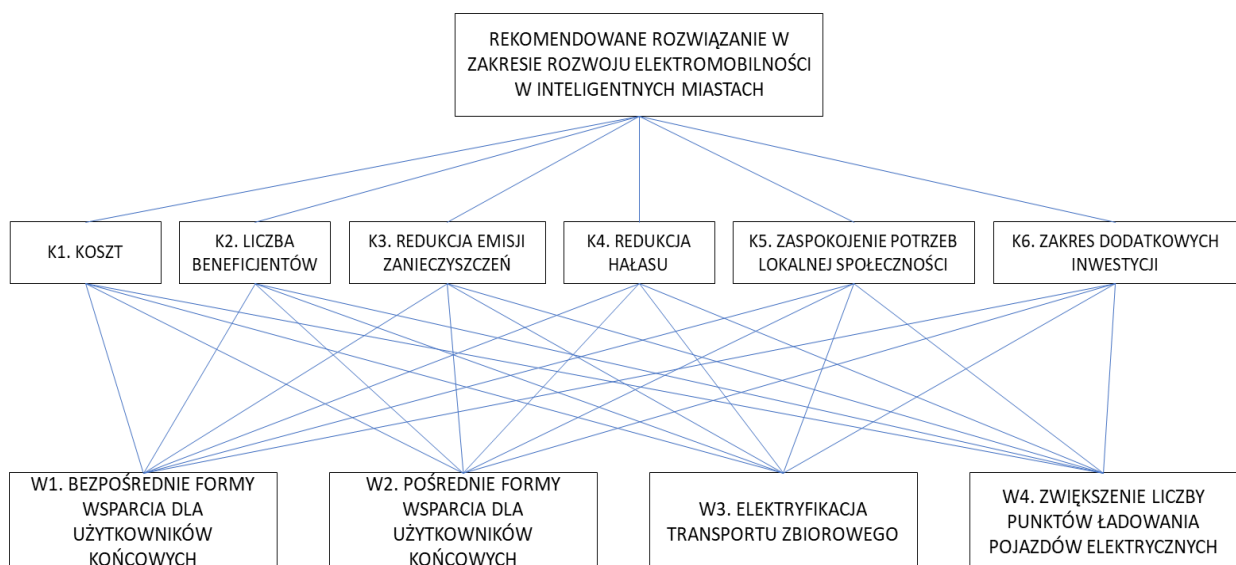
6.1. Główne założenia metody hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych

Analizy przeprowadzone w części empirycznej podkreślają złożoność wskaźników elektromobilności w kontekście zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast. Rozwój

elektromobilności, przy realizacji zasad zrównoważonego rozwoju, powinien spełniać oczekiwania różnych grup interesariuszy. Dlatego też model pożądanych rozwiązań nie powinien ograniczać się do jednego kryterium, a uwzględniać czynniki różnych kategorii (m.in. kryteria ekonomiczne, technologiczne, środowiskowe i społeczne).

W świetle zaprezentowanych uwarunkowań, podejściem do opracowania modelu pożądanych rozwiązań dla zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce w kontekście elektromobilności, było zastosowanie metody analizy wielokryterialnej. Mając na uwadze przeprowadzoną analizę literatury w zakresie zastosowania metod wielokryterialnych, do analizy pożądanych rozwiązań dla zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce w kontekście elektromobilności zdecydowano się wykorzystać metodę hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*). Wśród zalet metody AHP wymieniane są: szeroki zakres dziedzin, w których może być implementowana, możliwość skalowania, ograniczone zapotrzebowanie na dane wejściowe oraz możliwość przedstawienia złożonych zagadnień w postaci prostszych do analizy układów hierarchicznych. Wadami jest natomiast trudność w modelowaniu współzależności pomiędzy kryteriami i wariantami decyzyjnymi. Podsumowując, metoda AHP jest stosowana do problemów transportowych, które są możliwe do rozwiązania poprzez porównanie rozważanych rozwiązań względem siebie parami i nie wymagają stosowania złożonych metod optymalizacyjnych. Schemat opracowanego modelu z wykorzystaniem podejścia wielokryterialnej metody hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych został zaprezentowany na Rys. 6.1.

Rys. 6.1. Struktura hierarchicznego modelu zrównoważonego rozwoju elektromobilności w inteligentnych miastach



Źródło: opracowanie własne

Model hierarchiczny został następnie przetransponowany do postaci kwestionariusza ankietowego. Analizie poddano odpowiedzi udzielone przez 13 ekspertów branżowych. Jest to grupa reprezentatywna dla wybranej metody (AHP). W tej metodzie kluczowy jest dobór respondentów, dlatego też do badania wybrano grupę z sektora, posiadającą wieloletnie doświadczenie w analizie procesów systemów energetycznych i transportowych. Większa liczba odpowiedzi wymagana byłaby przy badaniu satysfakcji pasażerów podróżujących komunikacją miejską (odpowiedzi może udzielić każdy korzystający z tego rodzaju transportu), a mniejsza w przypadku złożonych zagadnień z pogranicza energetyki, transportu oraz środowiska (ponieważ merytorycznie wartościowe odpowiedzi może udzielić jedynie ograniczona liczba osób posiadających wykształcenie i doświadczenie w wymienionych obszarach). W przypadku stosowania podejścia bazującego na metodyce AHP, kluczowym etapem jest kontrola zgodności ocen w macierzach porównań parami. W tym celu zastosowano współczynnik CR (ang. consistency ratio), który stanowi stosunek indeksu spójności CI obrazujący odchylenie od zgodności do indeksu losowego Saaty'ego RI będącego wskaźnikiem, którego wartość jest uzależniona od liczby rozważanych wariantów n .

6.2. Założenia opracowanego modelu

Celem badania był wybór rekomendowanego rozwiązania (scenariusza) w zakresie zrównoważonego rozwoju elektromobilności w inteligentnych miastach. Przeprowadzona analiza literatury, raportów krajowych i międzynarodowych, a także merytoryczne wskazówki od ekspertów dziedzinowych umożliwiły opracowanie zestawu kryteriów, które powinny zostać uwzględnione przy wyborze najkorzystniejszego rozwiązania. Zastosowane kryteria uwzględniają zarówno aspekty ekonomiczne, technologiczne, jak i środowiskowe oraz społeczne.

Opracowane zostały cztery warianty, stanowiące rozważane rozwiązania modelu zrównoważonego rozwoju elektromobilności w inteligentnych miastach:

- W1. Bezpośrednie formy wsparcia dla użytkowników końcowych – rozwiązanie ukierunkowane na wdrażanie programów finansujących m.in. zakup pojazdów elektrycznych, dofinansowania na prywatne punkty ładowania, zwolnienie z podatków i opłat podczas zakupu i rejestracji pojazdów elektrycznych.
- W2. Pośrednie formy wsparcia dla użytkowników końcowych – rozwiązanie ukierunkowane na inne formy wsparcia niż wymienione w W1, m.in. zwolnienie z opłat za parkowanie w strefach płatnego parkowania, możliwość korzystania z pasów

przeznaczonych dla komunikacji miejskiej, taksówek i pojazdów uprzywilejowanych, wydawanie karty posiadacza ekologicznego pojazdu uprawniającej do różnych zniżek.

- W3. Elektryfikacja transportu zbiorowego – rozwiązanie ukierunkowane na wsparcie finansowe na wymianę spalinowych środków komunikacji publicznej na pojazdy elektryczne zarówno w obrębie miasta, jak i dla pojazdów pokonujących trasy międzymiastowe.
- W4. Zwiększenie liczby punktów ładowania pojazdów elektrycznych – rozwiązanie, którego celem jest takie dostosowanie infrastruktury, aby użytkownicy końcowi zdecydowali się na zakup pojazdów elektrycznych bez obawy o zbyt małą liczbą punktów ładowania m.in. przy obiektach użyteczności publicznej, stacjach, galeriach handlowych.

Kryteria rozważane w wielokryterialnym modelu AHP określono jako następujące:

- K1. Koszt – oznaczający całkowity koszt wprowadzenia rozważanego rozwiązania ponoszony przez decydentów.
- K2. Liczba beneficjentów – liczba ludności, która bezpośrednio skorzysta na wprowadzonym rozwiązaniu.
- K3. Redukcja emisji zanieczyszczeń – poziom redukcji emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego do powietrza wskutek wprowadzenia danego rozwiązania.
- K4. Redukcja hałasu – poziom redukcji hałasu wskutek implementacji danego rozwiązania.
- K5. Zaspokojenie potrzeb lokalnej społeczności – poziom spełnienia transportowych potrzeb społeczeństwa wskutek wprowadzenia danego rozwiązania.
- K6. Zakres dodatkowych inwestycji infrastrukturalnych – poziom dodatkowych inwestycji infrastrukturalnych (ich zakres oraz koszt) koniecznych do przeprowadzenia na skutek wdrożenia danego rozwiązania.

Kwestionariusze zostały przygotowane zgodnie z metodyką, w której zbyt duża liczba kryteriów wpływa na zmniejszenie koncentracji i motywacji u respondentów, a w konsekwencji na zmniejszenie wskaźnika dobrze wypełnionych ankiet. Oprócz tabeli kwestionariusz zawierał pytania doprecyzowujące analizowane zagadnienie. Tabela 6.1. przedstawia formę w jakiej pytania zostały zadawane ekspertom.

Tab. 6.1. Schemat pytania w opracowanym kwestionariuszu

KRYTERIUM	Stopień przewagi									KRYTERIUM
	Całkowita przewaga	Bardzo mocna przewaga	Mocna przewaga	Słaba przewaga	Równe znaczenie	Słaba przewaga	Mocna przewaga	Bardzo mocna przewaga	Całkowita przewaga	
Koszt proponowanego rozwiązania										Liczba beneficjentów
Koszt proponowanego rozwiązania										Redukcja emisji zanieczyszczeń
Koszt proponowanego rozwiązania										Redukcja hałasu
Koszt proponowanego rozwiązania										Zaspokojenie potrzeb lokalnej społeczności
Koszt proponowanego rozwiązania										Mniejszy zakres dodatkowych inwestycji

Źródło: opracowanie własne

6.3. Modelowanie pożądaných rozwiązań

Kwestionariusze uzupełnione przez ekspertów z zakresu transportu i energetyki, przy wykorzystaniu skali werbalnej, zostały przetransponowane do zapisu w postaci liczbowej. Zastosowanie skali Saaty’ego umożliwiło transpozycje w sposób następujący:

- dla kryteriów znajdujących się po prawej stronie tabeli:
 - całkowita przewaga – waga 9,
 - bardzo mocna przewaga – waga 7,
 - mocna przewaga – waga 5,
 - słaba przewaga – waga 3,
- dla kryteriów znajdujących się po lewej stronie tabeli:
 - całkowita przewaga – waga 1/9,
 - bardzo mocna przewaga – waga 1/7,
 - mocna przewaga – waga 1/5,
 - słaba przewaga – waga 1/3,
- w przypadku równego znaczenia obu kryteriów – waga 1.

W kolejnym kroku uśredniono wagi porównań kryterium parami, uzyskując w ten sposób wyniki zaprezentowane w Tab. 6.2. Analiza macierzy porównań kryteriów parami wskazała, że największe znaczenie przy wyborze rozwiązania w zakresie zrównoważonego rozwoju elektromobilności w inteligentnych miastach ma kryterium K1. Koszt, odzwierciedlający całkowity koszt wprowadzenia rozważanego rozwiązania ponoszony przez decydentów.

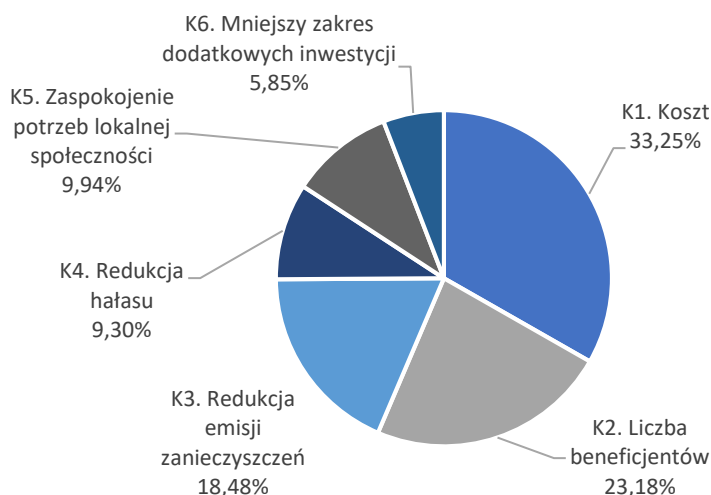
Tab. 6.2. Macierz porównań kryteriów parami

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Priorytet
K1	1,000	3,119	1,985	3,256	2,446	3,554	0,332
K2	0,321	1,000	2,593	3,891	2,368	2,624	0,232
K3	0,504	0,386	1,000	4,210	2,221	2,846	0,185
K4	0,307	0,257	0,238	1,000	2,021	2,221	0,093
K5	0,409	0,422	0,450	0,495	1,000	3,256	0,099
K6	0,281	0,381	0,351	0,450	0,307	1,000	0,059

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego

Udział priorytetów poszczególnych kryteriów wynikający z przeprowadzonych badań ankietowych z ekspertami dziedzinowymi przedstawia Rys. 6.2. Jak wspomniano, najwyższy priorytet, ma kryterium kosztowe (33,25%). Następnym istotnym parametrem jest liczba beneficjentów, która skorzysta na wprowadzonym rozwiązaniu (23,18%). Kryterium określające poziom redukcji emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego do powietrza wskutek wprowadzenia danego rozwiązania znajduje się na trzecim miejscu (18,48%). Udział pozostałych kryteriów wynosi poniżej 10%: zaspokojenie potrzeb lokalnej społeczności (9,94%), redukcja hałasu wskutek implementacji danego rozwiązania (9,30%) oraz zakres dodatkowych inwestycji infrastrukturalnych koniecznych do przeprowadzenia na skutek wdrożenia danego rozwiązania (5,85%).

Rys. 6.2. Priorytety poszczególnych kryteriów



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego

Wskaźniki wykorzystane do oceny zgodności parami dla przeprowadzonej analizy osiągają następujące wartości:

- wartość własna macierzy $\lambda_{max} = 6,6181$,

- indeks spójności $CI = 0,1236$,
- współczynnik spójności $CR = 0,0989$.

Zgodnie z metodyką AHP, wartość współczynnika spójności na poziomie poniżej 0,1 (poniżej 10%) oznacza, że wyniki są akceptowalne. W przeciwnym wypadku należałoby powtórzyć badanie. Dla przeprowadzonej analizy wartość współczynnika spójności CR wyniosła 0,0989 (9,89%) co należy interpretować jako zachowaną zgodność otrzymanych wyników.

6.4. Scenariusze rozwoju elektromobilności w Polsce

Eksperti zostali również poproszeni o porównanie parami poszczególnych wariantów względem istotności każdego z analizowanych kryteriów. Oznacza to, że dla każdego z analizowanych kryteriów (tj. koszt, liczba beneficjentów, redukcja emisji zanieczyszczeń, redukcja hałasu, zaspokojenie potrzeb lokalnej społeczności oraz zakres dodatkowych inwestycji infrastrukturalnych) porównano parami opracowane warianty, tj.

- W1. Bezpośrednie formy wsparcia dla użytkowników końcowych,
- W2. Pośrednie formy wsparcia dla użytkowników końcowych,
- W3. Elektryfikacja transportu zbiorowego,
- W4. Zwiększenie liczby punktów ładowania pojazdów elektrycznych.

Analogicznie jak w przypadku porównań parami kryterium, odpowiedzi udzielone przez ekspertów z energetyki i transportu przy wykorzystaniu skali werbalnej zostały przetransponowane do zapisu w postaci liczbowej z zastosowaniem skali Saaty'ego oraz uśrednione. Następnie obliczone zostały wagi wektorów.

Udzielone odpowiedzi wskazują, że biorąc pod uwagę koszt rozwiązania (kryterium K1) najkorzystniejszym wariantem jest wariant obejmujący pośrednie formy wsparcia dla użytkowników końcowych (W2). Waga wektora i w konsekwencji priorytet dla tego wariantu wynosi 39% (Tab. 6.3). Oznacza to, że – według ekspertów – to rozwiązanie charakteryzowałoby się najmniejszym kosztem wdrożenia. Następnym rozwiązaniem – z perspektywy kosztów rozwiązania – są bezpośrednie formy wsparcia dla użytkowników końcowych (W1), posiadające priorytet na poziomie 36%. Rozwiązanie ukierunkowane na elektryfikację transportu zbiorowego (W3) posiada priorytet 16%. Najniższą wagę stanowi rozwiązanie polegające na zwiększeniu liczby punktów ładowania pojazdów elektrycznych (W4) – 9%.

Tab. 6.3. Macierz porównań wariantów parami względem kryterium K1. Koszt

	W1	W2	W3	W4	Priorytet
W1	1,00	1,70	1,67	3,13	0,36
W2	0,59	1,00	4,44	4,53	0,39
W3	0,60	0,23	1,00	2,35	0,16
W4	0,32	0,22	0,42	1,00	0,09

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego

Tab. 6.4 prezentuje macierz porównań wariantów parami względem kryterium liczby beneficjentów, którzy skorzystają z wdrożonego rozwiązania (K2). Największy priorytet posiada wariant bezpośrednich form wsparcia dla użytkowników końcowych (W1), który wynosi 42%. Rozwiązanie związane z elektryfikacją transportu zbiorowego (W3) posiada priorytet na poziomie 27%. Wariant obejmujący pośrednie formy wsparcia dla użytkowników końcowych (W2) ma wagę wektora równą 19%, a wariant polegający na zwiększeniu liczby punktów ładowania pojazdów elektrycznych (W4) – 12%.

Tab. 6.4. Macierz porównań wariantów parami względem kryterium K2. Liczba beneficjentów

	W1	W2	W3	W4	Priorytet
W1	1,00	2,92	2,10	1,94	0,42
W2	0,34	1,00	1,11	1,45	0,19
W3	0,48	0,90	1,00	4,90	0,27
W4	0,52	0,69	0,20	1,00	0,12

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego

Ocena wariantów pod względem kryterium redukcji emisji zanieczyszczeń (K3) wskazuje, że najwyższy priorytet jest obserwowany w przypadku elektryfikacji transportu zbiorowego (W3) i wynosi 46% (Tab.6.5). Wariant ukierunkowany na bezpośrednie formy wsparcia dla użytkowników końcowych (W1) posiada priorytet 26%, wariant pośrednich form wsparcia dla użytkowników końcowych (W2) – 19%. Również w tym przypadku wariant ukierunkowany na zwiększenie liczby punktów ładowania pojazdów elektrycznych (W4) posiada najniższy priorytet – 10%. W konsekwencji, szacuje się, że wdrożenie tego rozwiązania w najmniejszym stopniu wpłynie na redukcję emisji zanieczyszczeń z sektora transportu.

Tab. 6.5. Macierz porównań wariantów parami względem kryterium K3. Redukcja emisji zanieczyszczeń

	W1	W2	W3	W4	Priorytet
W1	1,00	3,20	0,31	2,02	0,26
W2	0,31	1,00	0,90	1,96	0,19
W3	3,22	1,11	1,00	5,46	0,46
W4	0,50	0,51	0,18	1,00	0,10

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego

Zbliżone wyniki są obserwowane w przypadku kryterium dotyczącego redukcji hałasu (K4). Największy priorytet – na poziomie 50% – posiada wariant obejmujący elektryfikację transportu zbiorowego (W3) (Tab. 6.6). Następnie jest wariant bezpośredniego wsparcia dla użytkowników końcowych (W1) – 26%, pośredniego wsparcia (W2) – 15% oraz ukierunkowany na zwiększenie liczby punktów ładowania pojazdów elektrycznych (W4) – 9%.

Tab. 6.6. Macierz porównań wariantów parami względem kryterium K4. Redukcja hałasu

	W1	W2	W3	W4	Priorytet
W1	1,00	3,09	0,28	2,72	0,26
W2	0,32	1,00	0,52	1,77	0,15
W3	3,51	1,93	1,00	5,00	0,50
W4	0,37	0,57	0,20	1,00	0,09

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego

Tab. 6.7 prezentuje macierz porównań wariantów parami względem kryterium K5, czyli poziomu zaspokojenia potrzeb lokalnej społeczności. W tym przypadku obserwowane są niewielkie różnice pomiędzy poziomami priorytetów dla trzech pierwszych wariantów. Rozwiązanie ukierunkowane na bezpośrednie formy wsparcia (W1) charakteryzuje się wagą wektora na poziomie 34%, rozwiązanie pośrednich form wsparcia (W2) – 29%, a elektryfikacja transportu zbiorowego – 25%. Najmniejszy wpływ na realizację analizowanego kryterium ma zwiększenie liczby punktów ładowania pojazdów elektrycznych (W4) – 13%.

Tab. 6.7. Macierz porównań wariantów parami względem kryterium K5. Zaspokojenie potrzeb lokalnej społeczności

	W1	W2	W3	W4	Priorytet
W1	1,00	2,52	1,56	1,03	0,34
W2	0,40	1,00	2,40	2,27	0,29
W3	0,64	0,42	1,00	4,43	0,25
W4	0,97	0,44	0,23	1,00	0,13

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego

Ostatnie porównanie wariantów parami obejmuje kryterium zakresu dodatkowych inwestycji infrastrukturalnych (K6), którego wyniki zostały zaprezentowane w Tab. 6.8. W tym przypadku rozwiązaniem, dla którego wymagany jest najmniejszy poziom inwestycji, są bezpośrednie formy wsparcia (W1) z priorytetem na poziomie 58%. Następnie są pośrednie formy wsparcia (W2) – 24%, elektryfikacja transportu zbiorowego (W3) – 12% oraz zwiększenie liczby punktów ładowania pojazdów elektrycznych (W4) – 6%.

Tab. 6.8. Macierz porównań wariantów parami względem kryterium K6. Mniejszy zakres dodatkowych inwestycji infrastrukturalnych

	W1	W2	W3	W4	Priorytet
W1	1,00	4,23	4,72	5,49	0,58
W2	0,24	1,00	3,64	3,42	0,24
W3	0,21	0,27	1,00	3,70	0,12
W4	0,18	0,29	0,27	1,00	0,06

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego

Zaprezentowane powyżej tabele, wraz z ich analizą stanowią odpowiedź, które z tych rozwiązań byłoby rekomendowane w przypadku analizy wariantów pojedynczo, względem poszczególnych kryteriów. Zastosowanie wielokryterialnej metody hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych (metody AHP) umożliwiło natomiast porównanie analizowanych wariantów z uwzględnieniem wszystkich kryteriów jednocześnie.

Wyniki tego porównania zostały zaprezentowane w Tab. 6.9. Przedstawiono w niej macierz priorytetów umożliwiającą wybór rekomendowanego rozwiązania w zakresie zrównoważonego rozwoju elektromobilności. Interpretacja macierzy tabeli wraz z dodatkowymi obliczeniami umożliwiła uzyskanie końcowych wektorów skali, i w konsekwencji, procentowy udział rozważanych wariantów w rozważanym problemie decyzyjnym.

Tab. 6.9. Priorytety wariantów rozwoju elektromobilności w porównaniu z analizowanymi kryteriami

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Końcowy wektor skali	%
W1	0,889	0,418	0,258	0,257	0,335	0,581	0,3566	35,66%
W2	0,021	0,194	0,186	0,152	0,287	0,235	0,2658	26,58%
W3	0,058	0,271	0,455	0,498	0,246	0,122	0,2774	27,74%
W4	0,032	0,117	0,100	0,093	0,132	0,062	0,1002	10,02%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kwestionariusza ankietowego

W konsekwencji, przeprowadzona analiza wielokryterialna wykazała, że najkorzystniejszym rozwiązaniem w zakresie zrównoważonego rozwoju elektromobilności w inteligentnych miastach jest wariant bezpośrednich form wsparcia dla użytkowników końcowych, wśród których znajdują się takie rozwiązania jak: wdrażanie programów finansujących m.in. zakup pojazdów elektrycznych, dofinansowania na prywatne punkty ładowania, zwolnienie z podatków i opłat podczas zakupu i rejestracji pojazdów elektrycznych. Końcowy wektor skali dla tego rozwiązania wyniósł 35,66%.

Drugim wariantem w zakresie rekomendowanych rozwiązań rozwoju elektromobilności z uwzględnieniem potrzeb różnych interesariuszy jest elektryfikacja transportu zbiorowego (27,74%). Pośrednie formy wsparcia są trzecim rozwiązaniem pod względem rozważanych kryteriów (26,58%), chociaż przewaga wariantu polegającego na elektryfikacji transportu zbiorowego nie jest duża. Najmniej korzystnym rozwiązaniem dla analizowanego problemu badawczego jest wariant ukierunkowany na zwiększenie liczby punktów ładowania pojazdów elektrycznych celem zachęcenia społeczeństwa do elektryfikacji pojazdów we własnym zakresie (10,02%).

Przeprowadzona analiza wskazuje, że opracowywanie polityk zrównoważonego rozwoju elektromobilności w inteligentnych miastach powinno zostać ukierunkowane na systemy wsparcia dla użytkowników pojazdów samochodowych. Przyjęcie proponowanego scenariuszu rozwoju w największym stopniu umożliwi zwiększenie poziomu elektryfikacji krajowego sektora transportu drogowego z uwzględnieniem czynników nie tylko ekonomicznych, ale również środowiskowych i społecznych – co doskonale wpisuje się w definicję zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast.

7. Wnioski końcowe

Wyniki przeprowadzonych prac badawczych wskazują, że planowanie działań i przygotowywanie dokumentów strategicznych w zakresie zrównoważonego rozwoju elektromobilności w inteligentnych miastach, powinno obejmować przede wszystkim bezpośrednie systemy wsparcia dla użytkowników pojazdów samochodowych. Przyjęcie proponowanego scenariusza rozwoju w największym stopniu umożliwi zwiększenie poziomu elektryfikacji krajowego sektora transportu drogowego z uwzględnieniem czynników nie tylko ekonomicznych, ale również środowiskowych i społecznych. Proponowane podejście uwzględni założenia koncepcji zrównoważonego rozwoju oraz inteligentnych miast. Sformułowane powyżej wnioski na podstawie wyników opracowanego modelu pożądaných rozwiązań dla zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce w kontekście elektromobilności potwierdzają również realizację czwartego celu częściowej pracy doktorskiej. W związku z powyższym, należy również stwierdzić, że został osiągnięty główny cel pracy.

Mając na uwadze wyniki przeprowadzonych prac badawczych, należy również potwierdzić prawdziwość hipotezy badawczej: Elektromobilność jest determinantą zrównoważonego rozwoju inteligentnych miast w Polsce. Co więcej zrównoważony rozwój

inteligentnych miast jest nieodłącznie związany ze zrównoważonym rozwojem sektora transportu, w którym to elektromobilność stanowi kluczowy element.

Analizy i badania przeprowadzone w niniejszej pracy doktorskiej stanowią pierwsze tego rodzaju w zakresie zarówno oceny elektromobilności w Polsce na tle innych państw, jak również wyboru scenariusza rozwoju elektromobilności z zastosowaniem opracowanego modelu bazującego na wielokryterialnej metodzie hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych. Opracowanie autorskich wskaźników rozwoju elektromobilności umożliwiło porównanie rozwoju elektryfikacji transportu drogowego z uwzględnieniem parametrów charakteryzujących poszczególne państwa, a nie tylko poprzez odniesienie się do liczb bezwzględnych charakteryzujących rynek samochodów elektrycznych i ogólnodostępnych punktów ładowania. Przyjęcie założeń metody AHP umożliwiło natomiast uwzględnienie różnych kryteriów będących odzwierciedleniem potrzeb różnych grup interesariuszy oraz wybór rekomendowanego rozwiązania na podstawie wag poszczególnych kryteriów. Otrzymane wyniki mogą stanowić wkład zarówno w rozwój dziedzin naukowych obejmujących rozwój rynku samochodów elektrycznych, jak również mogą okazać się przydatne dla decydentów na poziomie krajowym i lokalnym w zakresie efektywnych rozwiązań w zakresie elektromobilności, z uwzględnieniem kryteriów ekonomicznych, środowiskowych, technicznych i społecznych.

Mając na uwadze niedoskonałość próby podjęcia badań w tej tematyce, można wskazać kierunki dalszych badań, które mogłyby obejmować rozbudowę opracowanego modelu o subkryteria, celem odzwierciedlenia większej liczby potrzeb interesariuszy, czy też uzupełnienie generalnej analizy o studium przypadku konkretnego miasta, w którym oprócz zdefiniowanych kryteriów i wariantów na poziomie krajowym, dodane zostaną kryteria, subkryteria i warianty na poziomie lokalnym, umieszczone przez organy administracyjne w miejskich dokumentach strategicznych i rozważane do implementacji w najbliższych latach.

8. Bibliografia

1. Anthony Jnr. B., *Integrating Electric Vehicles to Achieve Sustainable Energy as a Service Business Model in Smart Cities*, *Frontiers in Sustainable Cities* 2021, 3, s. 685716. DOI: 10.3389/frsc.2021.685716.
2. Bachanek K., *Electromobility in public transport – good practices and experiences of cities in Poland*, *Economics and Organization of Logistics*, 2020, 5(1), s. 79–94. DOI: 10.22630/EIOL.2020.5.1.7.

3. Baraniak J., Pawlicki B., Wincenciak S., *Elektromobilność: szanse i zagrożenia dla sieci dystrybucyjnej*, Przegląd elektrotechniczny, 2020, 96(5), s. 14–19. DOI:10.15199/48.2020.05.02.
4. Basbas S., Makridakis C. M., *a review of the contribution of multi-criteria analysis to the evaluation process of transportation projects*, International Journal of Sustainable Development and Planning, 2007, 2(4), s. 387–407. DOI: 10.2495/SDP-V2-N4-387-407.
5. Becker J., *Analiza funkcjonalna metod ilościowych na potrzeby systemu wspomaganie decyzji*, Metody ilościowe w badaniach ekonomicznych, 2011, 12(2), s. 21–36.
6. Bednarczyk M., Bielski B., *Is electromobility in the supply network a good way to increase innovation?*, Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie, 2021, 48(1), s. 17–28. DOI: 10.12775/AUNC_ZARZ.2021.01.002.
7. Bednarek J. M., *Elektromobilność w kontekście poprawy jakości powietrza. Analiza porównawcza konwencjonalnych i alternatywnych napędów w pojazdach na przykładzie m.st. Warszawy*. Praca Magisterska, Politechnika Warszawska, 2021.
8. Bernacki D., Lis Ch., *Exploring the Sustainable Effects of Urban-Port Road System Reconstruction*, Energies 2021, 14(20), s. 6512. DOI: 10.3390/EN14206512.
9. Bernacki D., Lis Ch., *Investigating the Sustainable Impact of Seaport Infrastructure Provision on Maritime Component of Supply Chain*, Energies, 2021, 14(12), s. 3519. DOI: 10.3390/EN14123519.
10. Bernacki D., Lis Ch., *Rozwój przewozów morsko-lądowych związany z rozbudową infrastruktury w porcie Szczecin*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu i Logistyka, 2017, 62, s. 341–350.
11. Bernacki D., Lis Ch., *Transport and economic effects related to navigational restoration of the Lake Dąbie fairway*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2019, 59, s. 53–61. DOI: 10.17402/352.
12. Bibri S. E., Krogstie J., *Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review*, Sustainable Cities and Society, 2017, 31, s. 183–212. DOI: 10.1016/J.SCS.2017.02.016.
13. Bielski B., Drzymała D., *Managing supply networks based on the smart city concept – a review of good practices*, Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie, 2021, 48(2), s. 7–15. DOI: 10.12775/AUNC_ZARZ.2021.02.001.
14. Błaś A., Boć J., Jeżewski J., *Administracja publiczna*, Wyd. Kolonia Limited, Wrocław 2003.
15. Bobowski S., *Międzynarodowy podział pracy w gospodarce globalnej XXI w.*, Wyzwania

- gospodarki globalnej – Prace i Materiały Inst. Handlu Zagranicznego Uniwersytetu Gdańskiego, 2012, 31(1), s. 184–198.
16. Bojda K., Sołtysik M., *Wpływ elektromobilności na rozwój gmin i klastrów energii przy wykorzystaniu możliwości stymulacji cennikowej*, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, 2018, 107, s. 119–134. DOI: 10.24425/123717.
 17. Borys T., *Pomiar zrównoważonego rozwoju transportu* [w:] *Ekologiczne problemy zrównoważonego rozwoju* (red.) Kielczewski D., Dobrzyńska B., Wyd. Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Białymstoku, Białystok 2009, s. 3–21.
 18. Bouzguenda I., Alalouch C., Fava N., *Towards smart sustainable cities: a review of the role digital citizen participation could play in advancing social sustainability*, Sustainable Cities and Society, 2019, 50, s. 101627. DOI: 10.1016/J.SCS.2019.101627.
 19. Brdulak J., Pawlak P., *Elektromobilność czynnikiem zmian jakościowych polskiego transportu samochodowego*, Kwartalnik Nauk o Przedsiębiorstwie, 2021, 1(58), s. 31–42. DOI: 10.33119/KNOP.2020.58.1.3.
 20. Broniewicz E., Ogrodnik K., *Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 83, s. 102351. DOI: 10.1016/J.TRD.2020.102351.
 21. Calvillo C. F., Sánchez-Miralles A., Villar J., *Energy management and planning in smart cities*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 55, s. 273–287. DOI: 10.1016/J.RSER.2015.10.133.
 22. Canizes B., Soares J., Costa A., Pinto T., Lezama F., Novais P., Vale Z., *Electric Vehicles' User Charging Behaviour Simulator for a Smart City*, Energies, 2019, 12(8), s. 1470. DOI: 10.3390/EN12081470.
 23. Chomiak-Orsa I., *Znaczenie technologii informacyjno-komunikacyjnej w zrównoważonym rozwoju miast*, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, 2016, 23(1), s. 36–45. DOI: 10.17512/znpcz.2016.3.1.04.
 24. Chudy A., *Battery swapping stations for electric vehicles*, Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, 2021, 11(2), s.36–39. DOI: 10.35784/IAPGOS.2654
 25. Chudy A., *Rola elektromobilności w ograniczeniu emisji zanieczyszczeń powietrza i gazów cieplarnianych*, [w:] *Wybrane zagadnienia z zakresu ochrony i zagrożeń środowiska*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, Lublin 2021. DOI: 10.24326/mon.2021.6.
 26. Cywiński M., *Koncepcja Smart City w kształtowaniu polityki transportowej miasta Gorzów*

- Wielkopolski, Zeszyty Naukowe ZPSB Firma i Rynek*, 2020, 2(58), s. 28–35.
27. Dameri R. P., *Using ICT in Smart City* [w:] *Smart City Implementation. Progress in IS*, Wyd. Springer, Cham 2017, s. 45–65. DOI: 10.1007/978-3-319-45766-6_3.
 28. Deluka-Tibljaš A., Karleuša B., Dragičević N., *Review of multicriteria-analysis methods application in decision making about transport infrastructure*, *Građevinar*, 2013, 65(7), s. 619–631. DOI: 10.14256/JCE.850.2013.
 29. Drożdż W., Bilan Y., Rabe M., Streimikiene D., Pilecki B., *Optimizing biomass energy production at the municipal level to move to low-carbon energy*, *Sustainable Cities and Society*, 2022, 76, s. 103417. DOI: 10.1016/J.SCS.2021.103417.
 30. Drożdż W., Dowejko J., *Electromobility in selected national economies* [w:] *Electromobility as a megatrend of contemporary economy* (red.) Drożdż W., Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2021, s. 43–61.
 31. Drożdż W., Elżanowski F., Dowejko J., Brożyński B., *Hydrogen Technology on the Polish Electromobility Market. Legal, Economic, and Social Aspects*, *Energies*, 2021, 14(9), s. 2357. DOI: 10.3390/en14092357.
 32. Drożdż W., Hajdrowski K., *Koncepcje rozwoju idei miast inteligentnych*, [w:] *Wyzwania cywilizacyjne we współczesnej gospodarce* (red.) Drożdż W., Dźwigoł-Barosz M., Wyd. Adam Marszałek, Toruń 2019, s. 101–123.
 33. Drożdż W., Kinelski G., Czarnecka M., Wójcik-Jurkiewicz M., Marouskova A., Zych G., *Determinants of Decarbonization – How to Realize Sustainable and Low Carbon Cities?* *Energies*, 2021, 14(9), s. 2640. DOI: 10.3390/en14092640.
 34. Drożdż W., Kopiczko M., *The use of IT systems in the power industry on the example of the Polish Electricity Distribution System Operator*, *Procedia Computer Science*, 2021, 192, s. 4900–4912. DOI: 10.1016/J.PROCS.2021.09.268.
 35. Drożdż W., Mróz-Malik O., Kopiczko M., *The future of the polish energy mix in the context of social expectations*, *Energies*, 2021, 14(17), s. 5341. DOI: 10.3390/en14175341.
 36. Drożdż W., Radziński M., Mathews A., *The role of DSOs in the development of recharging points for electric vehicles* [w:] *Electromobility as a megatrend of contemporary economy* (red.) Drożdż W., Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2021, s. 25-41.
 37. Drożdż W., Starzyński P., *Economic conditions of the development of electromobility in Poland at the background of selected countries*, *European Journal of Service Management*, 2018, 4(28), s. 133–140. DOI: 10.18276/ejsm.2018.28/2-16.
 38. Drożdż W., Szczerba P., Kruszyński D., *Issues related to the development of electromobility from the point of view of Polish utilities*, *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*,

- 2021, 23(1), s. 49–64. DOI: 10.33223/epj/119074.
39. Drożdż W., Szmigiero M., Dowejko J., *Use of municipal real estate for the construction of public electric vehicle charging stations – legal and economic issues*, *Nieruchomości*, 2020, 3(3), s. 7–21. DOI: 10.5604/01.3001.0014.3517.
40. Drożdż W., *Transport in modern cities and metropolies* [w:] *Urban Electromobility in the context of industry 4.0* (red.) Drożdż W., Wyd. Adam Marszałek, Toruń 2019, s. 17–66.
41. Drożdż W., *Transport nowoczesnych metropolii* [w:] *Elektromobilność w rozwoju miast*, red. Drożdż W., Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018, s. 117–139.
42. Drożdż W., *Virtual Reality Training System as a comprehensive and effective method for delivering technical hands-on training in the field of Distribution System Operators*, *Procedia Computer Science*, 2021, 192, s. 4886–4899. DOI: 10.1016/J.PROCS.2021.09.267.
43. Flaszka J., *Elektromobilność w Polsce - wyzwania i możliwości z uwzględnieniem inteligentnych instalacji OZE*, *Efektywność transportu*, 2017, 18(6), s.1196–1198.
44. Gath-Morad M., Schaumann D., Zinger E., Plaut P. O., Kalay Y. E., *How Smart is the Smart City? Assessing the Impact of ICT on Cities* [w:] *Agent Based Modelling of Urban Systems. ABMUS 2016. Lecture Notes in Computer Science* (red.) Namazi-Rad M. R., Padgham L., Pereze P., Nagel K., Bazzan A., Wyd. Springer, Cham 2017, 10051, s. 189–207. DOI: 10.1007/978-3-319-51957-9.
45. Guille C., Gross G., *a conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation*, *Energy Policy*, 2009 37(11), s. 4379–4390. DOI: 10.1016/J.ENPOL.2009.05.053.
46. Huk K., Bajda N., Bednarek W., Górak A., *Transport miejski w koncepcji logistyki miasta a zrównoważony rozwój*, *Zeszyty Naukowe Małopolskiej Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Tarnowie*, 2021, 51(3), s. 107–125. DOI: /10.25944/znmwse.2021.03.107125.
47. Igliński H., *Comparative analysis of electromobility development level in Central and Eastern Europe countries*, *Problemy Transportu i Logistyki*, 2018, 4(44), s. 15–23. DOI: 10.18276/ptl.2018.44-02.
48. Izdebski H., Kulesza M., *Administracja publiczna – zagadnienia ogólne*, wyd. LIBER, Warszawa 1999.
49. Jagiełło A., *Elektromobilność w kształtowaniu rozwoju drogowego transportu miejskiego w Polsce*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2021.
50. Jarzyna W., Zieliński D., Gopakumar K., *An evaluation of the accuracy of inverter sync angle during the grid's disturbances*, *Metrology and Measurement Systems*, 2020, 27(2), s. 355–371. DOI: 10.24425/MMS.2020.132780.

51. Kacprzak D., *Metoda SAW z przedziałowymi danymi i wagami uzyskanymi za pomocą przedziałowej entropii Shannona*, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2018, 348, s. 144–155.
52. Katedra Informatyki Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, *Wieloatrybutowe podejmowanie decyzji: Analytic Hierarchy Process*, Katowice 2018, s. 1–11.
53. Khan A., Aslam S., Aurangzeb K., Alhussein M., Javaid N., *Multiscale modeling in smart cities: a survey on applications, current trends, and challenges*, Sustainable Cities and Society, 2021, 78, s. 103517. DOI: 10.1016/J.SCS.2021.103517.
54. Khemakhem S., Reikk M., Krichen L., *a Smart Home Power Supervision Strategy Based on Optimal Plug-in Electric Vehicles Integration into Smart City Context for Peak Loads Profiles Flattening*, Arabian Journal for Science and Engineering 2021, 47, s. 3383–3396. DOI: 10.1007/S13369-021-06315-X.
55. Kiritat A., Krejcar O., Kertesz A., Tasgeriten M. F., *Future Trends and Current State of Smart City Concepts: a Survey*, IEEE Access, 2020, 8, s. 86448–86467. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2992441.
56. Kokocińska K. E., *Legal Instruments in the Development of Electromobility in the European Union, with Particular Focus on Planning Acts*, Review of European and Comparative Law, 2021, 44(1), s. 81–102. DOI: 10.31743/RECL.10650.
57. Kołtonowski M., Kołtonowski R., Pałubicki S., *Impact of electromobility development on the electricity market*, Journal of Mechanical and Energy Engineering, 2021, 5(1), s. 53–58. DOI: 10.30464/10.30464/JMEE.2021.5.1.53.
58. Komarnicki P., Wenge C., Pietracho P., *Elektromobilność – integracja pojazdów elektrycznych z infrastrukturą sieci elektroenergetycznej*, Przegląd Elektrotechniczny, 2020, 96(5), s. 1–13. DOI: 10.15199/48.2020.05.01.
59. Komninos, N., *Intelligent cities and globalisation of innovation networks*. Wyd. Routledge. Abingdon 2008.
60. Kos B., Krawczyk G., Tomanek R., *Determinants for the Effective Electromobility Development in Public Transport*, [w:] *Electric Mobility in Public Transport – Driving Towards Cleaner Air. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure* (red.) Krawiec K., Markusik S., Sierpiński G., Wyd. Springer, Cham, 2021, s. 27–51. DOI: 10.1007/978-3-030-67431-1_3.
61. Kramers A., Hojer M., Lovenhagen N., Wangel J., *Smart sustainable cities – Exploring ICT solutions for reduced energy use in cities*, Environmental Modelling & Software, 2014, 56, s. 52–62. DOI: 10.1016/J.ENVSOFT.2013.12.019.

62. Lazaroiu G. C., Roscia M., *Definition methodology for the smart cities model*, Energy, 2012, 47(1), s. 326–332. DOI:10.1016/J.ENERGY.2012.09.028.
63. Lewicki W., Drożdż W., Wróblewski P., Zarna K., *The Road to Electromobility in Poland: Consumer Attitude Assessment*, European Research Studies Journal, 2021, 24(1), s. 28–39. DOI: 10.35808/ERSJ/2026.
64. Lipowicz I., Mędrzycki R., Szmigiero M., *Prawo administracyjne w pytaniach i odpowiedziach*, wyd. LexisNexis, Warszawa 2010.
65. Lom M., Pribyl O., *Smart city model based on systems theory*, International Journal of Information Management, 2021, 56, s. 102092. DOI: 10.1016/J.IJINFOMGT.2020.102092.
66. Łupicka A., Szymczak M., *Zrównoważony transport na obszarach zurbanizowanych – możliwości, kierunki i przykłady rozwoju*, Gospodarka Materiałowa i Logistyka, 2020. 1(1). s. 11–18. DOI: 10.33226/1231-2037.2020.1.2.
67. Macioszek E., *The Role of Incentive Programs in Promoting the Purchase of Electric Cars – Review of Good Practices and Promoting Methods from the World* [w:] *Research Methods in Modern Urban Transportation Systems and Networks. Lecture Notes in Networks and Systems* (red.) Macioszek E., Sierpiński G., Wyd. Springer, Cham 2021, 207, s. 41–58. DOI: 10.1007/978-3-030-71708-7_4.
68. Majchrzak K., Olczak P., Matuszewska D., Wdowin M., *Economic and environmental assessment of the use of electric cars in Poland*, 2021, 24(1), s. 153–168. DOI: 10.33223/epj/130209.
69. Markowska K., Flizowski J., Bieliński K., Tomporowski A., Kruszelnicka W., Kasner R., Bałdowska-Witos P., Mazur Ł., *The Comparative Assessment of Effects on the Power System and Environment of Selected Electric Transport Means in Poland*, Materials (Basel), 2021, 14(16), s. 4556. DOI:10.3390/ma14164556.
70. Mazurek P. A., Chudy A., *Zagadnienia jakości energii stacji ładowania pojazdów elektrycznych*, Przegląd Elektrotechniczny, 2021, 97(4), s. 103–108. DOI: :10.15199/48.2021.04.18.
71. Mazurek P. A., *Wybrane zagadnienia prawne i techniczne w zakresie emc stacji ładowania samochodów elektrycznych*, Przegląd Elektrotechniczny, 2021, 97 (1), s. 156–161. DOI: 10.15199/48.2021.01.31.
72. Mądziel M., *Potrzeby transportowe w odniesieniu do systemów komunikacji miejskiej*, Logistyka, 2016, 17(12), s. 1634–1636.
73. Mercik A., *Elektromobilność w autobusowym transporcie publicznym organizowanym przez Górnośląsko-Zagłębiowską Metropolię jako narzędzie realizacji idei zrównoważonej*

- mobilności*, Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG, 2020, 23(5), s. 18–33. DOI: 10.4467/2543859XPKG.20.029.13246.
74. Miśkiewicz R., *Knowledge transfer in the prospect of industry 4.0 in terms of developing innovative technologies for electromobility*, [w:] *Urban Electromobility in the context of industry 4.0*. (red.) Drożdż W., Wyd. Adam Marszałek, Toruń, 2019, s. 67–90.
75. Miśkiewicz R., *Public transportation and electromobility in Polish and community laws*, *Problemy Transportu i Logistyki*, 2018, 4(44), s. 63–71. DOI: 10.18276/ptl.2018.44-07.
76. Mithchel W. J., *Intelligent cities*. UOC papers – e-Journal on the Knowledge Society 2007, z. 5, s. 3–8.
77. Mora L., Deakin M., *Smart city development as an ICT-driven approach to urban sustainability*, *Untangling Smart Cities*, 2019, s. 19–55. DOI: 10.1016/B978-0-12-815477-9.00002-5.
78. Motowidlak U., *Rozwój transportu a paradygmat zrównoważonego rozwoju*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, 2017, 337, s. 138–52.
79. Mwasilu F., Justo J. J., Kim E. K., Do T. D., Jung J. W., *Electric vehicles and smart grid interaction: a review on vehicle to grid and renewable energy sources integration*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 34, s. 501–516. DOI: 10.1016/J.RSER.2014.03.031.
80. Nagaj R., Korpysa J., *Impact of COVID-19 on the level of energy poverty in Poland*, *Energies*, 2020, 13(18), s. 2020. DOI: 10.3390/en13184977.
81. Nagaj R., *Polityka klimatyczno-energetyczna a ubóstwo energetyczne w Polsce*, *Rynek energii*, 2020, 1, s. 3–10.
82. Olzacki K., *Plan Zrównoważonej Mobilności Miejskiej jako instrument prewencyjnej ochrony środowiska*, [w:] *Strategia wdrażania zielonego ład*, red. Smol M. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2021, s. 93–103.
83. Piotrowski P., Baczyński D., Kapler P., *Wielowariantowe prognozy liczby pojazdów elektrycznych w Polsce do roku 2025 oraz ich wpływ na roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną*, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2022 96(1), s. 138–141. DOI: 10.15199/48.2020.01.30.
84. Połom M., *E-revolution in post-communist country? a critical review of electric public transport development in Poland*, *Energy Research & Social Science*, 2021, 80, s. 102227. DOI: 10.1016/J.ERSS.2021.102227.
85. Prusak A., Stefanów P., Gardian M., *Graficzna forma kwestionariusza w badaniach AHP/ANP*, *Modern Management Review*, 2013, 18(20), s. 171–189.

86. Razmjoo A., Nezhad M. M., Kaigutha L. G., Marzband M., Mirjalili S., Pazhoohesh M., Memon S., Ehyaei M. A., Piras G., *Investigating Smart City Development Based on Green Buildings, Electrical Vehicles and Feasible Indicators*, Sustainability 2021, 13(14), s. 7808. DOI: 10.3390/SU13147808.
87. Rizvi S. A. A., Xin A., Masood A., Iqbal S., Jan M. U., Rehman H., *Electric Vehicles and their Impacts on Integration into Power Grid: a Review*, 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), 2018, s. 1–6. DOI: 10.1109/EI2.2018.8582069.
88. Rucińska D., *Potrzeby transportowe [w:] Transport: nowe wyzwania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016.
89. Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K., *Transport*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
90. Rzczycki A., Malinowska M., Pokorska A., *Analiza uwarunkowań rozwoju elektromobilności w przewozie ładunków*, Problemy Transportu i Logistyki 2018, 4(44), s. 73–84. DOI: 10.18276/ptl.2018.44-08.
91. Saaty T. L., *Decision making – the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP)*, Journal of Systems Science and Systems Engineering 2004, 12, s. 1–35. DOI: 10.1007/S11518-006-0151-5.
92. Saaty T. L., *How to make a decision: The analytic hierarchy process*, European Journal of Operational Research, 2009, 48(1), s. 9–26. DOI: 10.1016/0377-2217(90)90057-I.
93. Saaty T. L., *Mathematical principles of decisions making: The complete theory of the analytical hierarchy process*, Wyd. RWS Publications, Pittsburgh 1994.
94. Saaty T. L., *Multicriteria decision making: the analytic hierarchy process*, Wyd. McGraw-Hill, Nowy Jork, 1980.
95. Sarma S., Sunny S. A., *Civic entrepreneurial ecosystems: Smart city emergence in Kansas City*, Business Horizons, 2017, 60(6), s. 843–853. DOI: 10.1016/J.BUSHOR.2017.07.010.
96. Shaikh P. W., Mouftah H. T., *Intelligent Charging Infrastructure Design for Connected and Autonomous Electric Vehicles in Smart Cities*, IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM), 2021, s. 992–997.
97. Sharif R. A., Pokharel S., *Smart City Dimensions and Associated Risks: Review of literature*, Sustainable Cities and Society, 2021, 77, s. 103542. DOI: 10.1016/J.SCS.2021.103542.
98. Sobol Ł., Dyjakon A., *The Influence of Power Sources for Charging the Batteries of Electric Cars on CO₂ Emissions during Daily Driving: a Case Study from Poland*, Energies, 2020,

- 13(16), s. 4267. DOI: 10.3390/en13164267.
99. Sosik K., *Współczesne miejskie systemy transportowe w kontekście zrównoważonego rozwoju w Polsce*, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, 2020, 39, s. 49–63.
100. Sovacool B. K., Hirsh R. F., *Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition*, Energy Policy 2009, 37(3), s. 1095–1103. DOI: 10.1016/J.ENPOL.2008.10.005.
101. Stahl W., *Rozwiązania V2G i G2V jako sposoby wykorzystania samochodów elektrycznych do zmiany kształtu obciążenia dobowego systemu elektroenergetycznego*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, 2018, 61, s. 69–72. DOI: 10.32016/1.61.15.
102. Starzyński P., *Organizacyjne uwarunkowania rozwoju elektromobilności w Polsce na tle wybranych krajów*, Problemy Transportu i Logistyki, 2018, 4(44), s. 95–103. DOI: 10.18276/ptl.2018.44-10.
103. Stoltman A., *Zastosowanie metody AHP do porównania kryteriów wyboru lokalizacji budowy farmy wiatrowej*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, 2015, 42, s. 187–90.
104. Stryjakiewicz T., Kołsut B., Doszczeczko B., Dyba W., Kisiała W., Kudłak R., Wojtyra B., *Przegląd ekonomiczno-przestrzennych badań rynku samochodów osobowych*, Przegląd Geograficzny 2012, 92(2), s. 249–268. DOI: 10.7163/PrzG.2021.2.6.
105. Svítek M., Skobelev P., Kozhevnikov S., *Smart City 5.0 as an Urban Ecosystem of Smart Services* [w:] Service Oriented, Holonic and Multi-agent Manufacturing Systems for Industry of the Future. SOHOMA 2019. Studies in Computational Intelligence (red.) Borandiu T., Trentesaux D., Leitao P., Giret B., Botti V., Wyd. Springer, Cham, 2019, 853, s. 426–438. DOI: 10.1007/978-3-030-27477-1_33.
106. Szambelańczyk M., *Rynek ładowania pojazdów elektrycznych na tle ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych*, Problemy Transportu i Logistyki, 2018, 4(44), s. 105–111. DOI: 10.18276/ptl.2018.44-11.
107. Szczerbowski R., *Rozwój elektromobilności w aglomeracjach miejskich a system elektroenergetyczny. Cz. 1*, Elektro Info, 2021 (1), s. 79–82.
108. Tompson T., *Understanding the Contextual Development of Smart City Initiatives: a Pragmatist Methodology*, She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation, 2017. 3(3), s. 210–228. DOI: 10.1016/J.SHEJI.2017.11.004.
109. Trajdos M., *Rola kabli i przewodów w obecnym standardzie systemu ładowania pojazdów elektrycznych*, Maszyny Elektryczne: Zeszyty Problemowe, 2021, 2(126), s. 35–

- 39.
110. Tranos E., Ioannides Y. M., *ICT and cities revisited*, Telematics and Informatics, 2020, 55, s. 101439. DOI: 10.1016/J.TELE.2020.101439.
111. Trzaskalik T., *Wielokryterialne wspomaganie decyzji. Przegląd metod i zastosowań*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 2014, 74, s. 239–263.
112. Tułeczki A., Król S., *Modele decyzyjne z wykorzystaniem metody Analytic Hierarchy Process (AHP) w obszarze transportu*, Problemy Eksploatacji, 2007, 2, s. 171–179.
113. Valackien A., Nagaj R., *Shared Taxonomy for the Implementation of Responsible Innovation Approach in Industrial Ecosystems*, Sustainability 2021, 13(17), s. 9901. DOI: 10.3390/SU13179901.
114. Wei H., Zhang Y., Wang Y., Hua W., Jing R., Zhou Y., *Planning integrated energy systems coupling V2G as a flexible storage*, Energy 2022, 239 (B), s. 122215. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2021.122215.
115. Wiktorowska-Jasik A., *Znaczenie działań na rzecz rozwoju elektromobilności w Polsce w realizacji założeń idei transportu zrównoważonego*, Problemy Transportu i Logistyki, 2018 4(44), s. 113–221. DOI: 10.18276/ptl.2018.44-12.
116. Wołek M., Jagiełło A., Wolański M., *Multi-Criteria Analysis in the Decision-Making Process on the Electrification of Public Transport in Cities in Poland: a Case Study Analysis*, Energies 2021, 14(19), s. 6391. DOI: 10.3390/EN14196391.
117. Wróblewski P., Drożdż W., Lewicki W., Dowejko J., *Total Cost of Ownership and Its Potential Consequences for the Development of the Hydrogen Fuel Cell Powered Vehicle Market in Poland*, Energies, 2021, 14(8), s. 2131. DOI: 10.3390/EN14082131.
118. Wróblewski P., Drożdż W., Lewicki W., Miązek P., *Methodology for Assessing the Impact of Aperiodic Phenomena on the Energy Balance of Propulsion Engines in Vehicle Electromobility Systems for Given Areas*, Energies, 2021, 14(8), s. 2314. DOI: 10.3390/en14082314.
119. Wróblewski P., Kupiec J., Drożdż W., Lewicki W., Jaworski J., *The Economic Aspect of Using Different Plug-In Hybrid Driving Techniques in Urban Conditions*, Energies, 2021, 14(12), s. 3543. DOI: 10.3390/EN14123543.
120. Yannis G., Kopsacheili A., Dragomanovits A., Petraki V., *State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector*, Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2020, 7(4), s. 413–431. DOI: 10.1016/J.JTTE.2020.05.005.
121. Yeh H., *The effects of successful ICT-based smart city services: From citizens'*

- perspectives*, Government Information Quarterly, 2017, 34(3), s. 556–565. DOI: 10.1016/J.GIQ.2017.05.001.
122. Yun Y., Lee M., *Smart City 4.0 from the Perspective of Open Innovation*, Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 2019, 5(4), s.92. DOI: 10.3390/JOITMC5040092.
123. Zamasz K., Stęchły J., Komorowska A., Kaszyński P., *The Impact of Fleet Electrification on Carbon Emissions: a Case Study from Poland*, Energies, 2021, 14(20), s. 6595. DOI: 10.3390/en14206595.
124. Zhao F., Fashola O. I., Olarewaju T. I., Onwumere I., *Smart city research: a holistic and state-of-the-art literature review*, Cities, 2021, 119, s. 103406. DOI: 10.1016/J.CITIES.2021.103406.
125. Zielińska A., *Electromobility research: the impact of using renewable energy solutions on the development of electromobility*, Przegląd Elektrotechniczny, 2020, 96(12), p. 123–126. DOI: 10.15199/48.2020.12.24.
126. P. Zmuda-Trzebiatowski, *Dostępność transportowa, a partycypacja w aktywnościach, ubóstwo oraz zagrożenie wykluczeniem społecznym*, Wydawnictwo: Instytut Naukowo-Wydawniczy "SPATIUM". sp. z o.o., 2016, 17(12), s. 754-759.