



UNIWERSYTET SZCZECIŃSKI
SZKOŁA DOKTORSKA

ALEKSANDRA BĄCZKIEWICZ

AUTOREFERAT ROZPRAWY DOKTORSKIEJ:

NEW MULTI-CRITERIA METHODS FOR ASSESSING SUSTAINABLE ENERGY POLICY

DZIEDZINA NAUKI: NAUKI SPOŁECZNE

DYSCYPLINA: NAUKI O ZARZĄDZANIU I JAKOŚCI

PROMOTOR: dr hab. inż. Jarosław Wątróbski, prof. US

PROMOTOR POMOCNICZY: dr hab. inż. Wojciech Sałabun, prof. IŁ-PIB

Szczecin 2024

SPIS TREŚCI

| | |
|---|----|
| 1. Artykuły naukowe stanowiące cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych .. | 3 |
| 2. Uzasadnienie wyboru tematu w kontekście oryginalności analizowanego problemu badawczego | 5 |
| 3. Cele badawcze | 6 |
| 4. Metodyka badawcza | 7 |
| 5. Streszczenie dysertacji | 8 |
| 6. Streszczenie artykułów wchodzących w skład dysertacji | 10 |
| 7. Pozostała aktywność naukowa i organizacyjna doktorantki | 17 |
| Bibliografia | 19 |

1. ARTYKUŁY NAUKOWE STANOWIĄCE CYKL POWIĄZANYCH TEMATYCZNIE ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH

Prezentowana rozprawa doktorska składa się z 13 artykułów w czasopismach naukowych i recenzowanych materiałach konferencyjnych, poświęconych nowatorskim autorskim metodom wielokryterialnym:

[A1] Wątróbski, J., Bączkiewicz, A., Ziemia, E., Sałabun, W. (2022). Sustainable cities and communities assessment using the DARIA-TOPSIS method. *Sustainable Cities and Society* 83, 103926. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103926> .

[A2] Bączkiewicz, A., Wątróbski, J. (2022). Multi-criteria temporal assessment of affordable and clean energy systems in European countries using the DARIA-TOPSIS method. *Procedia Computer Science* 207, 4442–4453. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.508> .

[A3] Bączkiewicz, A., Wątróbski, J., Jankowski, J., Sałabun, W. (2024). Multi-criteria Temporal Intelligent Decision Support System for Sustainable Energy Mix Assessment, In: *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*, Springer. pp. 95–106. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4985-0_8 .

[A4] Bączkiewicz, A., Wątróbski, J., Karczmarczyk, A. (2024). A Novel Multi-Criteria Temporal Decision Support Method - Sustainability Evaluation Case Study, In: *International Conference on Computational Science*, Springer. pp. 189–203. https://doi.org/10.1007/978-3-031-63751-3_13 .

[A5] Bączkiewicz, A., Wątróbski, J., Karczmarczyk, A. (2022). Towards Multi-Criteria Temporal Sustainability Assessment, In: *AMCIS 2022 Proceedings*. 6., Association for Information Systems, AIS Electronic Library (AISeL). pp. 1–5. https://aisel.aisnet.org/amcis2022/sig_green/sig_green/6 .

[A6] Bączkiewicz, A. (2022). Temporal SWARA-SPOTIS for multi-criteria assessment of European countries regarding sustainable RES exploitation, In: *Special Sessions in the Advances in Information Systems and Technologies Track of the Conference on Computer Science and Intelligence Systems*, Springer. pp. 171–191. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29570-6_9 .

[A7] Wątróbski, J., Bączkiewicz, A., Rudawska, I. (2023). A Strong Sustainability Paradigm based Analytical Hierarchy Process (SSP-AHP) method to evaluate sustainable healthcare systems. *Ecological Indicators* 154, 110493. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110493> .

[A8] Bączkiewicz, A., Wątróbski, J. (2023). Selection of floating photovoltaic system considering strong sustainability paradigm using SSP-COPRAS method, In: *2023 18th Conference on Computer Science and Intelligence Systems (FedCSIS)*, IEEE. pp. 901–905. <https://doi.org/10.15439/2023F492> .

[A9] Bączkiewicz, A., Wątróbski, J. (2023). Multi-criteria Assessment of the Sustainable Share of Renewable Energy Sources in European Countries Using the SSP-TOPSIS Method, In: *European Conference on Artificial Intelligence*, Springer. pp. 255–267. https://doi.org/10.1007/978-3-031-66761-9_21 .

- [A10] Bączkiewicz, A., Wątróbski, J., Król, R. (2024). A Novel Multi-criteria Approach Supporting Strong Sustainability Assessment, In: International Conference on Computational Collective Intelligence, Springer. pp. 28–40. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70816-9_3.
- [A11] Bączkiewicz, A., Wątróbski, J., Król, R. (2024). A New Approach to Assessing the Sustainable Share of Renewable Energy Sources in the Energy Economies of European Countries Supporting the Strong Sustainability Paradigm, *Procedia Computer Science*. (Publication in press)
- [A12] Wątróbski, J., Bączkiewicz, A., Sałabun, W. (2022). New multi-criteria method for evaluation of sustainable RES management. *Applied Energy* 324, 119695. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119695>.
- [A13] Wątróbski, J., Bączkiewicz, A., Król, R., Sałabun, W. (2022). Green electricity generation assessment using the CODAS-COMET method. *Ecological Indicators* 143, 109391. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109391>.

2. UZASADNIENIE WYBORU TEMATU W KONTEKŚCIE ORYGINALNOŚCI ANALIZOWANEGO PROBLEMU BADAWCZEGO

Zrównoważony rozwój stał się paradygmatem wzrostu gospodarczego, równości społecznej i ochrony środowiska. Ocena zrównoważonego rozwoju ma na celu monitorowanie i ocenę stopnia, w jakim różne aspekty danej organizacji, branży lub systemu spełniają kluczowe cele zrównoważonego rozwoju. W tym sensie jest to rodzaj oceny wyników, która jest postrzegana jako proces gromadzenia, obliczania i komunikowania skwantyfikowanych konstrukcji do celów zarządczych [1] na różnych poziomach: globalnym, krajowym czy sektorowym. Celem tego procesu jest zawsze to samo – śledzenie, monitorowanie i poprawa wydajności danego systemu lub organizacji.

Bardzo ważnym elementem zrównoważonego rozwoju jest realizacja właściwej, zrównoważonej polityki energetycznej krajów i regionów. Odnawialne źródła energii (OZE) odgrywają tutaj rolę zasadniczą. Przykładowo, cele Unii Europejskiej na rok 2030 zakładają redukcję emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 40% w stosunku do poziomów z 1990 r., zwiększenie udziału energii odnawialnej w całkowitym zużyciu energii do co najmniej 32% i wzrost efektywności energetycznej o co najmniej 32,5% [2]. Unia Europejska jest obecnie światowym liderem w dynamice tych zmian [3]. Poszukiwanie nowych odnawialnych źródeł energii i zwiększanie ich wykorzystania w gospodarce jest motywowane ciągłymi wahaniami cen paliw kopalnych, rosnącym zapotrzebowaniem na energię i wymaganą redukcją emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń do atmosfery [4]. Na zwiększanie udziału energii opartej na OZE wpływa wiele czynników, klasyfikowanych jako czynniki społeczno-ekonomiczne, geograficzne i polityczne [5]. Właściwa, zrównoważona polityka energetyczna i głębokie zaangażowanie w reagowanie na wyzwania klimatyczne są niezbędne do osiągnięcia celów stawianych w poszczególnych krajach europejskich, zmniejszenia zanieczyszczenia atmosfery i zwiększenia niezależności energetycznej [6, 7].

Skuteczne planowanie polityki energetycznej, wdrażanie założonych celów lub wybór najkorzystniejszych alternatyw dla wdrażania planów lub inwestycji wymaga odpowiednich narzędzi. Narzędzia te powinny umożliwiać wielowymiarową ocenę złożoności problemów OZE. Ponadto powinny być łatwe w zastosowaniu i zapewniać obiektywne i powtarzalne wyniki [8]. Tradycyjne podejście jednokryterialne bierze pod uwagę tylko najistotniejsze atrybuty analizowanego problemu. Jednak już sama definicja zrównoważonego rozwoju wskazuje, że decydenci podejmują decyzje dotyczące zrównoważonego rozwoju w oparciu o wiele, często sprzecznych kryteriów z obszarów ekologicznych, ekonomicznych, społeczno-kulturowych i politycznych [9, 10]. Metody wielokryterialnej analizy decyzji (MCDA) wydają się tutaj odpowiednie i mają tę przewagę nad podejściami jednokryterialnymi, że zapewniają ocenę w formie zintegrowanego wyniku uwzględniającego wiele kryteriów lub atrybutów [11, 12, 13].

Studia literaturowe potwierdzają szeroką stosowalność wielokryterialnych modeli w domenie zrównoważenia, w tym w obszarze polityki energetycznej. Modele takie zawierają odpowiednią strukturę (kompletny zestaw alternatyw i kryteriów), jak również posiadają duże możliwości analityczne [14, 15, 16]. Pomimo faktu, że wykorzystanie metod MCDA w ocenie zrównoważonego rozwoju jest powszechne, ważne jest, aby zauważyć, że metody MCDA nie są pozbawione wad [17, 18, 19, 20]. Analizując warstwę metodologiczną problemu,

ważne jest, aby wskazać ograniczenia algorytmów modelowania preferencji i agregacji w metodach MCDA, do których należą:

- Brak ilościowej oceny wariantu decyzyjnego w ostatecznym rankingu. Jest to problem dotyczący większości metod MCDA Szkoły Europejskiej, co znacznie ogranicza użyteczność indeksów tworzonych przy ich użyciu.
- Liniowy efekt kompensacji kryteriów, który nie zawsze jest właściwy. Jest to problem dotyczący głównie metod MCDA Szkoły Amerykańskiej i w praktyce uniemożliwia realizację paradygmatu silnego zrównoważonego rozwoju (Strong Sustainability Paradigm - SSP). W wielu przypadkach oceny zrównoważonego rozwoju wymagana jest ocena zarówno słabo, jak i silnie zrównoważonych wariantów, dlatego też opracowanie metody pozwalającej na modelowanie SSP wydaje się szczególnie interesujące.
- Uproszczony mechanizm agregacji danych, wykorzystujący pojedynczą wejściową macierz decyzyjną. W praktyce uniemożliwia to analizę złożonych zbiorów danych oraz tym samym ocenę dynamiki zmian modelowanej dziedziny (lub problemu). Wyłączenie z procesu oceny analizy zmienności danych skutkuje utratą istotnych informacji o dynamice zmian, jak również trendach ocenianych obiektów.
- Istniejące metody i wskaźniki oparte na metodach MCDA w sposób ograniczony uwzględniają nieprecyzję danych pomiarowych i preferencji, wymagając jednocześnie dużego nakładu wiedzy eksperckiej w procesie gromadzenia danych oraz zaangażowania analityka systemowego w procesie budowy modelu.

Na bazie powyższego sformułowano następujące **pytania badawcze**:

- Jak oceniać zrównoważoną politykę energetyczną za pomocą metod MCDA, biorąc pod uwagę redukcję kompensacji kryteriów i dynamikę modelowanej domeny? Jakże metody MCDA należy opracować w tym celu?
- Ponieważ różne metody MCDA dostarczają różnych wyników, w jaki sposób można obiektywnie wybrać właściwą technikę agregacji w opracowanych nowych metodach i jak ocenić dokładność opracowanych metod?
- W jaki sposób w opracowanych metodach uwzględnić niepewność danych i dokładność modelu? Jak jednocześnie zminimalizować wysiłek kognitywny decydenta / ekspertów, a przez to subiektywizm ocen w opracowanych modelach?
- W jaki sposób dostarczyć ram modelowych oraz niezbędnych algorytmów wraz z elementami środowiska programistycznego dla celów praktycznego wykorzystania autorskich metod przez środowisko naukowe i praktyków?

3. CELE BADAWCZE

Powyższe pytania badawcze stanowią o przyjętym celu badań. **Celem badań jest opracowanie nowych metod MCDA oceny zrównoważonej polityki energetycznej.** Precyzując cel badań należy wskazać, że metody, które mają zostać opracowane, będą uwzględniać podstawy metodologii MCDA i będą posiadać następujące właściwości:

- Nowe metody MCDA powinny obejmować **paradygmat silnego zrównoważonego rozwoju (SSP).**

- Nowe metody powinny umożliwiać włączenie do procesu oceny **dynamiki zmian ocen** zarówno obiektów, jak i samej domeny oceny.
- Nowe metody powinny pozwalać oceniać zrównoważony rozwój w przypadkach charakteryzujących się **niepewnością danych** i częściowym brakiem danych. Dodatkowo, należy podjąć wysiłki w celu zapewnienia bardziej obiektywnych ocen poprzez zmniejszenie zaangażowania czynników ludzkich i częściowe zastąpienie roli decydenta w procesie decyzyjnym.
- Obiektywizacja uzyskanych wyników badań wymaga, aby opracowane rezultaty uzyskane z użyciem autorskich metod MCDA zostały porównane z wynikami pozyskanymi z użyciem metod wzorcowych.

Tak zdefiniowany cel rozprawy został zdekomponowany na poniższą wiązkę **celów szczegółowych**:

1) Cele teoriopoznawcze:

- a) analiza i ocena istniejących metod i technik wielokryterialnego wspomaganie decyzji;
- b) analiza i ocena istniejących metod oceny polityki energetycznej.

2) Cele metodologiczne:

- a) identyfikacja podstaw metodycznych i składowych formalnych autorskich metod oceny polityki energetycznej;
- b) opracowanie postaci formalnej, algorytmu oraz implementacji autorskich metod oceny polityki energetycznej;
- c) weryfikacja autorskich metod oceny polityki energetycznej;
- d) studia porównawcze autorskich metod oceny polityki energetycznej na tle metod referencyjnych.

3) Cele użytkowe:

- a) empiryczna weryfikacja skuteczności autorskich metod oceny polityki energetycznej w wybranych obszarach gospodarczych;
- b) analiza porównawcza wyników autorskich algorytmów w stosunku do istniejących metod.

4. METODYKA BADAWCZA

Metodyka badawcza przyjęta w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej jest zgodna z procedurą analizy systemowej i składa się z następujących etapów:

1. Analiza problematyki wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Etap ten polegał na analizie istniejących teorii, metod i problemów w dziedzinie wielokryterialnego podejmowania decyzji.

Metoda badawcza: przegląd literatury przedmiotu.

2. Analiza problematyki oceny zrównoważonej polityki energetycznej. W tym etapie dokonano analizy problematyki modelowania i oceny zrównoważenia ze szczególnym uwzględnieniem pojęcia modelowania zrównoważonej polityki energetycznej.

Metoda badawcza: przegląd literatury przedmiotu.

3. Identyfikacja referencyjnych metod oraz modeli wielokryterialnego wspomaganie decyzji dla obszaru oceny polityki energetycznej. W tym etapie zidentyfikowano wzorcowe metody oceny polityki energetycznej oraz zidentyfikowano luki metodyczne i praktyczne w zakresie istniejących rozwiązań. Analiza przeprowadzona na podstawie literatury naukowej pozwoliła dodatkowo na identyfikację części składowych modeli takich jak kryteria oceny, obszar problemu decyzyjnego czy warianty decyzyjne.

Metody badawcze: analiza literatury przedmiotu, metoda eksploracyjna, analiza eksperymentów badawczych.

4. Opracowanie metod oceny zrównoważonej polityki energetycznej. Opracowano dedykowane metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji wspierające ocenę polityki energetycznej, uwzględniające niepewność danych modelu, zmienną substytucję czynników oraz dynamikę domeny. Uzyskane wyniki obejmują założenia metod, formalne modele danych oraz algorytmy metody. Rezultatem tego etapu była formalna specyfikacja metod oceny polityki energetycznej.

Metody badawcze: metoda dedukcji, metoda modelowania systemów informatycznych, dowody poprawności algorytmów (dowody indukcyjne i dedukcyjne), implementacja oraz dokumentacja opracowanych algorytmów metod zgodnie z zasadami inżynierii oprogramowania.

5. Weryfikacja praktyczna i ocena metod oceny zrównoważonej polityki energetycznej.

W celu weryfikacji opracowanych metod opracowano szereg dedykowanych modeli oceny polityki energetycznej. W procesie weryfikacji praktycznej każdorazowo ukazano kompleksowe możliwości opracowanych metod dla ważnych obszarów życia gospodarczego. Niezależnie, dla każdej metody autorskiej, przeprowadzono zobiektywizowane testy i symulacje obejmujące złożoność i dokładność metod autorskich w zestawieniu z metodami referencyjnymi.

Metoda badawcza: metoda eksperymentu badawczego, symulacja, analiza statystyczna.

5. STRESZCZENIE DYSERTACJI

Badania prowadzone w ramach niniejszej dysertacji koncentrowały się na opracowaniu nowych metod wielokryterialnych oceny polityki energetycznej. Szczególną uwagę poświęcono modelowaniu dynamiki modelowanej domeny, problemom redukcji kompensacji kryteriów oraz odzwierciedleniu w modelach niepewności danych przy minimalizacji wysiłku kognitywnego decydenta. Wskazane zagadnienia tworzą jednocześnie **trzy podzbiory tematyczne publikacji wchodzących w skład dysertacji:**

Podzbiór artykułów z grupy pierwszej – **artykuły [A1:A6]** koncentruje się na uwzględnieniu zmienności atrybutów w czasie w procesie agregacji danych. W tym celu opracowano szereg nowych podejść wielokryterialnych i poddano je weryfikacji praktycznej w domenie oceny zrównoważonej polityki energetycznej. W artykule [A1] opracowano nową metodę wielokryterialną DARIA-TOPSIS. Metoda ta umożliwia włączenie w proces agregacji miary zmienności atrybutów. W kolejnym artykule [A2] wykorzystano metodę DARIA-TOPSIS w ocenie realizacji polityk energetycznych ukazując tym samym możliwości praktyczne opracowanej metody. W kolejnych artykułach opracowano rozszerzenia

temporalne innych metod MCDA. W artykule [A3] przedstawiono metodę DARIA-EDAS, w której do agregacji zmienności danych wykorzystano miarę Entropii. Jej zastosowanie praktyczne przedstawiono na praktycznym przykładzie oceny realizacji wskaźników zawartych w Celu Zrównoważonego Rozwoju 7 (Sustainable Development Goal 7 - SDG 7) przez wybrane kraje europejskie. Zaproponowana w artykule [A4] metoda DARIA-MARCOS została zastosowana do przykładowego problemu analizy wielokryterialnej dotyczącej realizacji celów zrównoważonego rozwoju uwzględnionych w Celach Zrównoważonego Rozwoju zawartych w SDG 11, koncentrującym się na zrównoważonych miastach i społecznościach. Artykuł [A5] jest poświęcony metodzie Temporal SWARA-SPOTIS, w której metodę SWARA wykorzystano do nadania wartości istotności poszczególnym okresom czasowym uwzględnionym w analizie. W tym artykule metodę Temporal SWARA-SPOTIS wykorzystano do oceny wybranych krajów europejskich na podstawie danych udostępnionych przez Eurostat pod względem realizacji założeń 7 celu zrównoważonego rozwoju SDG 7. Natomiast w artykule [A6] opracowana metoda Temporal SWARA-SPOTIS została zastosowana do oceny zrównoważonego wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE) przez 30 wybranych krajów europejskich w różnych gałęziach gospodarki i przemysłu.

Drugi **podzbiór artykułów [A7:A11]** obejmuje opracowanie rozszerzeń wybranych metod wielokryterialnych o możliwość zmiennej redukcji kompensacji kryteriów zgodnie z paradygmatem silnego zrównoważonego rozwoju. Motywację stanowiła luka badawcza wynikająca z braku uwzględniania paradygmatu silnego zrównoważonego rozwoju, w tym redukcji kompensacji kryteriów, istotnej dla oceny zrównoważonego rozwoju przez popularne kompensacyjne metody MCDA wywodzące się ze szkoły amerykańskiej takie jak TOPSIS, AHP, SPOTIS, VIKOR i inne. Prace badawcze rozpoczęto od opracowania podejścia opartego na klasycznej metodzie AHP. W artykule [A7] proponowane podejście SSP-AHP wykorzystano do oceny zrównoważonych systemów zdrowotnych w wybranych krajach europejskich. W celu potwierdzenia wiarygodności wyników przeprowadzono analizę porównawczą proponowanej metody z referencyjnymi, klasycznymi podejściami MCDA takimi jak TOPSIS, MABAC, CODAS, SPOTIS i PROMETHEE II. Przedstawione podejście posiada szeroką aplikacyjność również w innych dziedzinach wymagających oceny zrównoważonego rozwoju takich jak na przykład ocena realizacji polityki energetycznej. Artykuł [A8] przedstawia kolejną metodę wielokryterialną SSP-COPRAS z możliwością modelowania redukcji kompensacji, którą wykorzystano do oceny płynących systemów fotowoltaicznych. Artykuł [A9] prezentuje metodę SSP-TOPSIS z redukcją kompensacji kryteriów zastosowaną w praktycznym przypadku wielokryterialnej oceny zrównoważonego wykorzystania odnawialnych źródeł energii w gospodarkach wybranych krajów europejskich. W artykule [A10] zaproponowano kolejne podejście uwzględniające modelowanie redukcji kompensacji, którym jest nowo opracowana metoda SSP-VIKOR, dla której przeprowadzono analizę porównawczą i benchmarking z referencyjną metodą SPOTIS. Wykorzystanie praktyczne opracowanej metody SSP-VIKOR zostało przedstawione dla praktycznego problemu oceny osiągnięcia celów SDG 7 (Sustainable Development Goal 7) przez wybrane kraje europejskie. W artykule [A11] opracowano i zaprezentowano nową metodę SSP-SPOTIS, a następnie wykazano jej stosowalność w problemie oceny zrównoważonego udziału OZE w gospodarkach wybranych krajów europejskich.

Ostatni **podzbiór artykułów [A12] oraz [A13]** obejmuje prace nad rozwinięciami metody COMET. W swej aktualnej formie metoda COMET pozwala uwzględniać niepewność danych modelu, niemniej złożoność obliczeniowa metody oraz wysiłek decydenta wymagany

do budowy modelu są znaczne. Niedostatki te w znacznej części zredukowano w artykułach [A12] oraz [A13]. W artykule [A12] opracowano metodę hybrydową V-COMET opartą na metodzie COMET i uwzględniającą jej zalety takie jak uwzględnienie nieprecyzji i niepewności danych poprzez zastosowanie liczb rozmytych. W proponowanym podejściu metodę COMET rozszerzono o moduł oceniający automatycznie obiekty charakterystyczne z wykorzystaniem innej metody wielokryterialnej VIKOR. Wprowadzone rozszerzenie automatyzuje i ułatwia procedurę poprzez eliminację konieczności angażowania ekspertów do wykonania porównań obiektów charakterystycznych, eliminuje subiektywność procedury oraz możliwość popełnienia w niej błędu, z zachowaniem wszystkich zalet metody COMET takich jak uwzględnianie nieprecyzji i niepewności danych i zapobieganie zjawisku odwracania rankingów. Dokonano analizy porównawczej wyników V-COMET dla referencyjnych metod MCDA takich jak TOPSIS, VIKOR i PROMETHEE II. Wykorzystanie V-COMET przedstawiono dla praktycznego przykładu oceny realizacji zrównoważonej polityki energetycznej ze szczególnym uwzględnieniem udziału odnawialnych źródeł energii przez wybrane kraje europejskie. W publikacji [A13] opracowano podejście CODAS-COMET, w której moduł automatycznej oceny obiektów charakterystycznych jest oparty o metodę CODAS. Dla metody CODAS-COMET przeprowadzono benchmarking oraz analizę niepewności uwzględniającą CODAS-COMET i TOPSIS-COMET. Zastosowanie CODAS-COMET zaprezentowano dla praktycznego problemu udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej w 16 województwach Polski. W artykułach udostępniono repozytoria z zaimplementowanymi w języku Python metodami V-COMET i CODAS-COMET.

6. STRESZCZENIE ARTYKUŁÓW WCHODZĄCYCH W SKŁAD DYSERTACJI

W artykule [A1] zaproponowano innowacyjną metodę oceny zrównoważonego rozwoju, która integruje podejście MCDA ze zmiennością wyników wydajności alternatyw, zwaną Data vARIability Assessment Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (metoda DARIA-TOPSIS). Opracowaną metodę wykorzystano do oceny zrównoważonych miast i społeczności w 26 krajach europejskich. Analizy oparte na zmienności wyników w czasie przeprowadzone przy użyciu metody DARIA-TOPSIS dla zagregowanych danych dla krajów i indywidualnych wymiarów zrównoważonego rozwoju udowodniły przydatność, adekwatność i skuteczność nowego podejścia w obszarze zrównoważonych miast i społeczeństw.

Wyniki przeprowadzonego badania wskazują także na przydatność w innych dziedzinach zrównoważonego rozwoju niż ocena zrównoważonego rozwoju miast i społeczeństw, dlatego proponowaną metodę zaplanowano do wykorzystania w praktycznym problemie rozważanym w niniejszej rozprawie doktorskiej, czyli ocenie realizacji zrównoważonej polityki energetycznej przez kraje europejskie.

Wartością dodaną artykułu jest udostępnienie w publicznym repozytorium GitHub opracowanej i zaimplementowanej metody DARIA-TOPSIS w języku Python (pydaria), w której udostępniono pięć różnych technik pomiaru zmienności do wyboru: opartą na współczynniku Giniego, entropii, odchyleniu standardowym, wariancji statystycznej

i współczynnika wariancji. W artykule zamieszczono także analizę porównawczą wyników dla wymienionych metod zmienności.

Artykuł ma 106 cytowań według Google scholar na dzień 19.10.2024.

Celem **artykułu [A2]** jest przedstawienie zastosowania metody o nazwie Data vARIability Assessment Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (metoda DARIA-TOPSIS) do wielokryterialnej oceny czasowej krajów europejskich w zakresie przystępnej cenowo i czystej energii. Ten aspekt zrównoważonego rozwoju został uwzględniony w 7 Celu Zrównoważonego Rozwoju zaproponowanym przez Organizację Narodów Zjednoczonych w Agendzie 2030. Temporalna metoda DARIA-TOPSIS została wykorzystana do oceny dynamiki wyników w czasie. Metoda DARIA-TOPSIS łączy w sobie metodę o nazwie Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) do oceny wielokryterialnej z opartą na współczynniku Giniego miarą zmienności wyników. Oceniono kraje europejskie względem realizacji SDG 7 dla lat 2016-2020. W niniejszej pracy badawczej zbudowano trzy modele oceny: z uwzględnieniem wszystkich kryteriów, dla wymiaru obejmującego wskaźniki dotyczące konsumpcji energii odnawialnej (Energy consumption) i dostarczanie energii odnawialnej (Energy supply). Metoda ta pozwoliła zidentyfikować kraje z najlepszymi wynikami w zakresie wdrażania zrównoważonych polityk energetycznych skoncentrowanych na przystępnej cenowo i czystej energii, w tym Norwegię, Islandię i Szwecję.

W artykule [A3] ukazano inteligentny system wspomagania decyzji, który umożliwia wielokryterialną ocenę, biorąc pod uwagę dynamikę czasową wydajności ocenianych alternatyw. Struktura tego DSS jest oparta na nowej metodzie o nazwie DARIA-EDAS (Data vARIability Assessment- Evaluation based on Distance from Average Solution). Ta wielokryterialna temporalna metoda analizy decyzyjnej (Temporal MCDA) umożliwia ocenę alternatyw z jednoczesnym uwzględnieniem wielu kryteriów oceny i integrację czasową uzyskanych wyników w jeden jednoznaczny wynik w formie wartości oceny i rankingów. Wydajność proponowanego DSS została zademonstrowana w tym badaniu na przykładzie wielokryterialnej oceny czasowej wdrażania 7 Celu Zrównoważonego Rozwoju (SDG 7) przez wybrane kraje europejskie. Metodyczne ramy proponowanego DSS zapewniają szybką, zautomatyzowaną i obiektywną ocenę wielokryterialnego problemu podejmowania decyzji w czasie i dają jednoznaczny, łatwy do zinterpretowania wynik. Uzyskane wyniki potwierdziły przydatność opracowanego DSS w wielokryterialnej ocenie czasowej zrównoważonego rozwoju w zakresie zrównoważonego miksu energetycznego.

Celem **artykułu [A4]** jest przedstawienie inteligentnego systemu wspomagania decyzji, który umożliwia wielokryterialną ocenę, biorąc pod uwagę czasową zmienność wyników osiąganych przez oceniane alternatywy. Ramy tego systemu wspomagającego decyzje (DSS) są utworzone w oparciu o metodę zwaną DARIA-MARCOS. Zaproponowana metoda została zastosowana do przykładowego problemu analizy wielokryterialnej dotyczącej realizacji celów zrównoważonego rozwoju uwzględnionych w Celach Zrównoważonego Rozwoju zawartych w SDG 11, koncentrującym się na zrównoważonych miastach i społecznościach. SDG 11 ma na celu promowanie rozwoju w kierunku uczynienia

miast i osiedli ludzkich sprzyjającymi włączeniu społecznemu, bezpiecznymi, odpornymi i zrównoważonymi. Ramy metodyczne wdrożone w demonstrowanym DSS zapewniają wydajną, zautomatyzowaną i obiektywną ocenę wielokryterialnego, czasowego problemu decyzyjnego oraz umożliwiają uzyskanie jednoznacznego, klarownego wyniku. Uzyskane w badaniu wyniki potwierdziły użyteczność proponowanego DSS w wielokryterialnej ocenie czasowej zrównoważonego rozwoju, skoncentrowanej na zrównoważonych miastach i społecznościach.

W artykule [A5] zaproponowano ramy modelowe oparte na nowo opracowanej hybrydowej metodzie Temporal SWARA-SPOTIS przeznaczonej do czasowej oceny zrównoważonego rozwoju z uwzględnieniem dynamiki wyników w obserwacji długoterminowej. Proponowana metoda agreguje wyniki ocen uzyskanych w różnych okresach, w tym priorytetyzację ekspercką poszczególnych okresów. Praktyczne zastosowanie proponowanej metody obejmuje ocenę zrównoważonego rozwoju krajów europejskich w kierunku czystego, wydajnego i niedrogiego systemu energetycznego. W przypadku zaproponowanego hybrydowego podejścia metoda priorytetyzacji SWARA została wykorzystana do nadania wag poszczególnym okresom czasowym. Jako wagi kryteriów zastosowano obiektywną metodę wyznaczania wag MEREC. W ocenie uwzględniono dane pobrane z Eurostatu z lat 2015-2020 zebrane dla wybranych krajów europejskich pod względem realizacji założeń 7 celu zrównoważonego rozwoju SDG 7. W badaniu najlepsze rezultaty osiągnęły kraje skandynawskie takie, jak Norwegia, Islandia, Szwecja, Finlandia oraz Dania, co świadczy o wysokim udziale OZE w rozważanych w modelu gałęziach gospodarki.

Artykuł [A6] ma na celu przedstawienie nowej temporalnej metody SWARA-SPOTIS znajdującej zastosowanie w wielokryterialnej czasowej ocenie wyników alternatyw. Proponowana metoda łączy w sobie metodę Step-Wise Weights Assessment Ratio Analysis (SWARA) do określania istotności poszczególnych okresów oraz metodę stabilnych preferencji w kierunku idealnego rozwiązania (SPOTIS) do wielokryterialnej oceny alternatyw. Opracowana metoda została zastosowana do budowy modelu oceny zrównoważonego wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE) przez kraje europejskie w różnych gałęziach gospodarki i przemysłu, z uwzględnieniem wielu kryteriów i dynamiki zmian uzyskanych wyników w czasie. Zastosowanie proponowanej metody przedstawiono na ilustracyjnym przykładzie obejmującym ocenę 30 wybranych krajów europejskich w okresie pięciu lat 2015-2019 na podstawie danych z Eurostatu. Zaprezentowane podejście dowiodło swojej przydatności w badanym problemie i pozwoliło na uzyskanie wiarygodnych i prostych wyników wskazując, że najlepiej ocenianymi krajami pod względem zrównoważonego wykorzystania OZE są przede wszystkim kraje skandynawskie.

W pracy [A7] opracowano metodę Strong Sustainability Paradigm based Analytical Hierarchy Process (SSP-AHP). SSP-AHP redukuje substytucję kryteriów poprzez promowanie alternatyw, które osiągają dobre wartości wydajności we wszystkich kryteriach, co jednocześnie oznacza zrównoważony rozwój. Wyniki badań oferują wgląd w podstawowe domeny, poddomeny i wskaźniki, które wspierają bardziej kompleksową ocenę

zrównoważonego rozwoju społecznego systemów opieki zdrowotnej. Ramy skonstruowane w tym badaniu składają się z pięciu głównych obszarów: równości, jakości, responsywności, pokrycia finansowego i adaptowalności. Proponowany zestaw wskaźników może również służyć jako instrument odniesienia, zapewniając przejrzystość w zakresie podstawowych aspektów wyników, które mają być mierzone i raportowane, a także wspierając decydentów w podejmowaniu decyzji dotyczących strategii sektorowych w opiece zdrowotnej. Ponadto przedstawione podejście może być pomocne podczas przeprowadzania porównań międzynarodowych w innych dziedzinach zrównoważonego rozwoju niż ocena systemów zdrowotnych, na przykład ocena realizacji polityki energetycznej ze szczególnym uwzględnieniem zrównoważonego udziału OZE w różnych dziedzinach gospodarki. W artykule zamieszczono wyniki analizy porównawczej proponowanego podejścia z referencyjnymi klasycznymi podejściami MCDA.

Praca [A8] przedstawia badania obejmujące wybór konstrukcji pływających systemów fotowoltaicznych (Floating Photovoltaic - FPV) w polskich warunkach z wykorzystaniem metody wielokryterialnej uwzględniającej redukcję kompensacji kryteriów zgodnie z paradygmatem silnego zrównoważonego rozwoju. Zastosowana metoda nosi nazwę SSP-COPRAS. Wyboru dokonano spośród czterech projektów FPV i jednego referencyjnego konwencjonalnego naziemnego systemu fotowoltaicznego (GMPV). Wyniki dowiodły, że system FPV ma zauważalny potencjał, aby uczynić go konkurencyjnym w stosunku do GMPV, zwłaszcza gdy kryteria techniczne i kryteria redukcji kompensacji odgrywają ważną rolę. Jednak wyższe oceny GMPV, zwłaszcza pod względem ekonomicznym, pokazują, że FPV musiałby osiągnąć wyższą dojrzałość produktu, aby stać się realnie konkurencyjnym.

Artykuł zawiera implementację metody SSP-COPRAS, repozytorium GitHub, podstawy i założenia nowo opracowanej metody, analizę wrażliwości ze względu na modyfikację istotności wag grup kryteriów technicznych i ekonomicznych osobno, co umożliwia wskazanie potencjału ocenianych systemów oraz analizę wrażliwości ze względu na stopień redukcji kompensacji kryteriów w formie modyfikacji współczynnika zrównoważenia.

W artykule [A9] przedstawiono nowo opracowaną metodę Strong Sustainability Paradigm based Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (SSP-TOPSIS) obejmującą modelowanie redukcji kompensacji kryteriów. Proponowana metoda opiera się na znanym algorytmie Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), a innowacyjny krok redukcji kompensacji kryteriów sprawia, że technika ta nadaje się do oceny wymagającej uwzględnienia paradygmatu silnego zrównoważenia.

Opracowana metoda została zastosowana w praktycznym przypadku wielokryterialnej oceny zrównoważonego wykorzystania odnawialnych źródeł energii w gospodarkach wybranych krajów europejskich. Atrybuty modelu SHARES (Short assessment of renewable Energy sources - Krótka ocena odnawialnych źródeł energii) zaproponowanego przez Eurostat (urząd statystyczny Unii Europejskiej) obejmującego wytwarzanie energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) i jej zużycie w różnych gałęziach gospodarki zostały wykorzystane jako kryteria dla ram badawczych. Badania przeprowadzono dla wielu przypadków, biorąc pod uwagę kryterialne modelowanie redukcji

kompensacji. Wyniki wskazały Szwecję jako najbardziej zrównoważony kraj pod względem eksploatacji OZE. Inne kraje, które uzyskały dobre wyniki, to Austria, Niemcy i Holandia.

Dodatkowy wkład stanowi implementacja metody SSP-TOPSIS w języku Python udostępniona w otwartym repozytorium GitHub.

Celem **artykułu [A10]** jest przedstawienie nowo opracowanej metody SSP-VIKOR (Strong Sustainability Paradigm-based VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) opartej na klasycznej metodzie VIKOR, ale z uwzględnieniem możliwości modelowania redukcji liniowej kompensacji kryteriów. Zastosowanie zaproponowanej metody zostało przedstawione dla praktycznego problemu oceny osiągnięcia celów SDG 7 (Sustainable Development Goal 7) przez wybrane kraje europejskie. Przeprowadzono również analizę porównawczą z referencyjną metodą SPOTIS (Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution) rozszerzoną o możliwość redukcji kompensacji w celu potwierdzenia wiarygodności wyników. Wyniki potwierdzają przydatność metody SSP-VIKOR w wielokryterialnych problemach decyzyjnych dotyczących zrównoważonego rozwoju oraz wiarygodność otrzymanych wyników.

Dodatkowy wkład stanowi otwarte repozytorium GitHub zawierające implementacje metod SSP-VIKOR i SSP-SPOTIS w języku Python.

W artykule [A11] zaproponowano, opracowano i zaimplementowano metodę SSP-SPOTIS (Strong Sustainability Paradigm based Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution) do modelowania redukcji liniowej kompensacji kryteriów.

Metoda SSP-SPOTIS ma kilka zalet, takich jak odporność na odwracanie rankingów, prosty algorytm i możliwość indywidualnego określania rozwiązań referencyjnych. Wspomniane zalety, w połączeniu z uwzględnieniem silnego paradygmatu zrównoważonego rozwoju, sprawiają, że proponowane podejście jest przydatne w praktycznych problemach oceny zrównoważonego rozwoju. W tym artykule wykazano przydatność SSP-SPOTIS do problemu oceny zrównoważonego udziału OZE w gospodarkach wybranych krajów europejskich. Uzyskane wyniki wskazują, że najbardziej zrównoważony udział OZE reprezentują kraje nordyckie, takie jak Szwecja, Norwegia, Dania i Finlandia. Ponadto Estonia i Austria również znalazły się wśród krajów o wysokiej punktacji.

W publikacji [A12] przedstawiono nową metodę V-COMET do oceny zrównoważonego zarządzania odnawialnymi źródłami energii (OZE) w krajach europejskich. Opracowana i zaimplementowana metoda V-COMET jest oparta na metodzie regułowej COMET uwzględniającej reprezentację wartości alternatyw względem kryterium w formie liczb rozmytych (np. trójkątnych), do budowy modelu wykorzystuje hierarchizację i dekompozycję, co umożliwia znaczną redukcję porównań parami obiektów charakterystycznych. Zamiast bezpośredniego porównywania alternatyw porównywane są obiekty charakterystyczne. Metoda jest odporna na zjawisko odwracania rankingów, co oznacza, że usunięcie lub dodanie jakiejś nowej alternatywy ze zbioru alternatyw nie powoduje zmian w rankingach. Metoda VIKOR w proponowanym podejściu została natomiast

wykorzystana do automatycznej oceny obiektów charakterystycznych, która zastępuje pracochłonne i subiektywne porównywanie parami dokonywane przez decydentów.

Praktycznym problemem oceny wielokryterialnej, dla którego zademonstrowano opracowaną metodę jest ocena udziału odnawialnych źródeł energii w wybranych 30 państwach europejskich na podstawie danych SHARES udostępnionych w Eurostacie dla lat 2015-2019 (5 lat), wśród kryteriów oceny modelu są:

- kryteria opisujące udział OZE w generowaniu energii ze źródeł odnawialnych,
- konsumpcja energii ze źródeł odnawialnych w transporcie,
- w ogrzewaniu i chłodzeniu,
- całkowita konsumpcja energii ze źródeł odnawialnych.

Łącznie model decyzyjny uwzględnia 15 kryteriów. Przeprowadzono ocenę wielokryterialną dla trzech jednostek: KTOE, procentowy udział OZE i TOE na osobę, czyli z oceną udziału OZE z uwzględnieniem populacji. Z punktu widzenia obiektywnej oceny oraz tematu wykorzystania energii ocena z uwzględnieniem wykorzystania energii z OZE w kontekście populacji jest bardzo ważna i zalecana.

Przeprowadzono także analizę korelacji wyników (rankingów) dla kolejnych lat z wykorzystaniem dwóch współczynników korelacji r_w i WS oraz przykładową symulację ze zwiększaniem udziału pewnych kryteriów dla przykładowego państwa (dla Chorwacji). Dodatkowo wykonano analizę K-Means cluster analysis (Algorytm centroidów k-średnich) z wizualizacją opartą na PCA, która umożliwiła pogrupowanie krajów ze względu na stopień realizacji zrównoważonej polityki energetycznej pod względem wybranych kryteriów oceny. Dokonano analizy porównawczej wyników dla referencyjnych metod MCDA obejmujących TOPSIS, VIKOR i PROMETHEE II. Przeprowadzono także benchmarking V-COMET z wymienionymi referencyjnymi metodami podczas powtarzanych w wielu iteracjach symulacjach losowych.

Dodatkowo udostępniono repozytorium z zaimplementowaną metodą V-COMET w Python (pyvcomet), zawierające udostępniony kod i zbiory danych wykorzystane w badaniu. W artykule udostępniono również pseudokod, wzory matematyczne i podstawowe założenia metody, co umożliwia powtarzalność wyników, daje możliwość powtórzenia badań krok po kroku.

Celem **artykułu [A13]** jest przedstawienie nowej hybrydowej metody wielokryterialnej analizy decyzyjnej (MCDA) o nazwie CODAS-COMET przeznaczonej do oceny zrównoważonej produkcji energii elektrycznej z uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii (OZE). Wprowadzone podejście łączy zalety dwóch znanych metod MCDA: Characteristic Object Method (COMET) i Combinative Distance-based ASsessment (CODAS). Ze względu na zalety metody COMET, proponowane podejście umożliwia identyfikację całego modelu domeny, jest odporne na zjawisko odwracania rankingów, jest łatwe do zastosowania i pozwala uzyskać obiektywną i wiarygodną rekomendację na podstawie zgromadzonych danych. Tymczasem połączenie metody COMET z CODAS eliminuje ograniczenia COMET poprzez automatyzację i przyspieszenie procedury porównywania obiektów charakterystycznych. Praktyczne zastosowanie prezentowanej metody obejmuje ocenę szesnastu województw Polski, biorąc pod uwagę zrównoważone

wykorzystanie OZE w dziedzinie wytwarzania energii elektrycznej. Dodatkowym wkładem tego badania jest zbadanie wpływu na wyniki zastosowania metryk odległości innych niż domyślna metryka odległości stosowana w metodzie, na którym koncentruje się niniejszy artykuł, oraz zademonstrowanie projektu i praktycznego zastosowania ram badawczych do wyboru najbardziej odpowiednich metryk odległościowych. Przeprowadzono analizę porównawczą metody CODAS-COMET z podejściem referencyjnym TOPSIS-COMET w celu potwierdzenia wiarygodności wyników. Wyniki wykazały wysoką korelację między wszystkimi końcowymi rankingami i potwierdziły odporność podejścia CODAS-COMET na zmianę metryk w algorytmie. Ponadto wyniki dowiodły, że nasze podejście jest odpowiednim i cennym narzędziem do oceny zrównoważonego rozwoju w domenach energii odnawialnej i innych złożonych kwestii wymagających uwzględnienia wielu kryteriów.

7. POZOSTAŁA AKTYWNOŚĆ NAUKOWA I ORGANIZACYJNA DOKTORANTKI

Łączny Impact Factor artykułów stanowiących podstawę pracy doktorskiej wynosi 34.6, a ich sumaryczna liczba punktów MNiSW jest równa 1440. Łączna liczba publikacji, których Doktorantka jest na ten moment autorką lub współautorką wynosi 61, łączny Impact Factor 74.3, a liczba punktów MNiSW 6120.

W portfolio Doktorantki oprócz artykułów, które składają się na rozprawę doktorską znajdują się także inne artykuły opublikowane w renomowanych światowych periodykach takich jak przykładowo SoftwareX wydawnictwa Elsevier, Sustainable Energy Technologies and Assessments wydawnictwa Elsevier:

Wątróbski, J., Bączkiewicz, A., & Sałabun, W. (2022). pyrepo-mcda—Reference objects based MCDA software package. SoftwareX, 19, 101107. IF: 2.4, punkty MNiSW: 200 <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101107>

Wątróbski, J., Bączkiewicz, A., & Sałabun, W. (2022). Version [1.1]-[pyrepo-mcda—Reference Objects based MCDA Software Package]. SoftwareX, 19, 101197. IF: 2.4, punkty MNiSW: 200 <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101197>

Wątróbski, J., Bączkiewicz, A., Nermend, K., & Sałabun, W. (2023). Version [1.2]-[pyrepo-mcda-Reference Objects based MCDA Software Package]. SoftwareX, 24, 101575. punkty MNiSW: 200, IF: 2.4 <https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101575>

Bączkiewicz, A., Wątróbski, J., Nermend, K., & Sałabun, W. (2024). Version [1.3]-[pyrepo-mcda-Reference objects based MCDA software package]. SoftwareX, 28, 101876. punkty MNiSW: 200, IF: 2.4 <https://doi.org/10.1016/j.softx.2024.101876>

Bączkiewicz, A., & Wątróbski, J. (2022). Crispyn—A Python library for determining criteria significance with objective weighting methods. SoftwareX, 19, 101166. IF: 2.4, punkty MNiSW: 200 <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101166>

Bączkiewicz, A., Wątróbski, J., & Sałabun, W. (2023). Version [1.1]-[Crispyn—A Python library for determining criteria significance with objective weighting methods]. SoftwareX, 24, 101541. punkty MNiSW: 200, IF: 2.4 <https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101541>

Wątróbski, J., Karczmarczyk, A., & Bączkiewicz, A. (2023). Using the TOSS method in semi-autonomous passenger car selection. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 58, 103367. IF: 7.1, punkty MNiSW: 140 <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103367>

Doktorantka w trakcie czterech lat kształcenia w Szkole Doktorskiej z zaangażowaniem wykonywała zaplanowane prace badawcze i pozyskała dodatkowe środki na prowadzenie swoich badań – **jest kierownikiem projektów PRELUDIUM pt. „Nowa metoda oceny zrównoważonej gospodarki energetycznej” i Perły Nauki pt. „Wielokryterialna metoda wspomagająca dobór i ocenę odnawialnych źródeł energii (OZE)”**. Doktorantka jest ponadto wykonawcą w projekcie OPUS pt. „Nowa metoda wielokryterialna oceny zrównoważenia”. Doktorantka prezentowała wyniki swoich badań na 22 międzynarodowych konferencjach naukowych.

Doktorantka prezentowała wyniki prowadzonych badań na szeregu konferencji międzynarodowych z listy ministerialnej MNiSW z liczbą punktów 140, które zgromadziły ponad 1500 uczestników takich jak International Conference on Information Systems Development (ISD), Americas Conference on Information Systems (AMCIS), Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS), International Conference on Computational Science (ICCS), European Conference on Artificial Intelligence (ECAI).

Doktorantka w trakcie edukacji w Szkole Doktorskiej **uzyskała liczne nagrody i wyróżnienia w tym 4 nagrody na międzynarodowych konferencjach oraz nagrodę w konkursie na Najlepszego Młodego Naukowca Uniwersytetu Szczecińskiego w 2023 r.**

Uzyskane nagrody i wyróżnienia

1. Wyróżnienie pracy magisterskiej pt. „Analiza porównawcza zgodności ocen wybranych metod wielokryterialnej analizy decyzji w problemie odnawialnych źródeł energii” przyznane przez Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, na którym została obroniona w dniu 12.07.2021 r.
2. Nagroda Best Paper Award za publikację konferencyjną pt. „Towards Objectification of Multi-Criteria Assessments: a Comparative Study on MCDA Methods” na międzynarodowej konferencji 16-th Conference on Information Systems Management (ISM'2021), FedCSIS 2021 (2-5 września 2021)
3. Wyróżnienie w konkursie o przyznanie Nagrody Prezydenta Miasta Szczecin za najlepszą pracę naukową w 2021 r.
4. Nagroda Santander Universidades dla społeczności akademickiej Uniwersytetu Szczecińskiego w 2021 r.
5. Dyplom za najlepszy referat wygłoszony przez Doktoranta na VII Konferencji Naukowej Informatyka w Zarządzaniu zorganizowanej przez Zachodniopomorski Oddział Polskiego Towarzystwa Informatycznego we współpracy z Katedrą Informatyki w Zarządzaniu i Katedrą Metod Wspomagania Decyzji i Neuronauki Poznawczej Uniwersytetu Szczecińskiego (2-3.12.2021 r.) za referat pt. „Metoda oceny zrównoważonej polityki energetycznej”.
6. Wyróżnienie w konkursie na Najlepszego Młodego Naukowca Uniwersytetu Szczecińskiego w grupie nauk ekonomicznych i prawnych w 2022 r.
7. Nagroda Best Full Paper Award za publikację „Temporal VIKOR A New MCDA Method Supporting Sustainability Assessment”, autorzy: Jarosław Wątróbski, Aleksandra Bączkiewicz, Ewa Ziemia, Wojciech Sałabun, na międzynarodowej konferencji naukowej 30-th International Conference on Information Systems Development (ISD 2022), 31.08-2.09.2022, Cluj Napoca, Romania
8. Nagroda Best Paper Award za publikację „Towards Sustainable Transport Assessment Considering Alternative Fuels Based on MCDA Methods”, autorzy: Jarosław Wątróbski, Aleksandra Bączkiewicz na międzynarodowej konferencji 17-th Conference on Information Systems Management (ISM' 2022), FedCSIS 2022, Sofia, Bulgaria, 4-7.09.2022
9. Nagroda Professor Zdzisław Pawlak Best Paper Awards young researcher distinction za publikację „Towards Temporal Multi-Criteria Assessment of Sustainable RES Exploitation in European Countries” na międzynarodowej konferencji 17-th Conference on Information Systems Management (ISM' 2022), FedCSIS 2022, Sofia, Bulgaria, 4-7.09.2022
10. Laureatka w konkursie na Najlepszego Młodego Naukowca Uniwersytetu Szczecińskiego w grupie nauk ekonomicznych i prawnych w 2023 r.
11. Nagroda Santander dla społeczności akademickiej Uniwersytetu Szczecińskiego za rok 2023.

BIBLIOGRAFIA

1. Pizzi, S., Caputo, A., Corvino, A., & Venturelli, A. (2020). Management research and the UN sustainable development goals (SDGs): A bibliometric investigation and systematic review. *Journal of cleaner production*, 276, 124033. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124033>
2. Child, M., Kemfert, C., Bogdanov, D., & Breyer, C. (2019). Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100% renewable energy system in Europe. *Renewable energy*, 139, 80-101. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.077>
3. Smolović, J. C., Muhadinović, M., Radonjić, M., & Đurašković, J. (2020). How does renewable energy consumption affect economic growth in the traditional and new member states of the European Union?. *Energy Reports*, 6, 505-513. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.09.028>
4. Al-Shetwi, A. Q. (2022). Sustainable development of renewable energy integrated power sector: Trends, environmental impacts, and recent challenges. *Science of The Total Environment*, 822, 153645. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153645>
5. Carty, C., & Claveria, O. (2024). A synergistic analysis of solar and wind energy deployment in Europe. *Environmental Development*, 49, 100967. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.100967>
6. Elavarasan, R. M., Pugazhendhi, R., Irfan, M., Mihet-Popa, L., Khan, I. A., & Campana, P. E. (2022). State-of-the-art sustainable approaches for deeper decarbonization in Europe—An endowment to climate neutral vision. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112204. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112204>
7. Popescu, C., Panait, M., Palazzo, M., & Siano, A. (2022). Energy transition in European Union—Challenges and opportunities. *Energy Transition: Economic, Social and Environmental Dimensions*, 289-312. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3540-4_11
8. Alizadeh, R., Soltanisehat, L., Lund, P. D., & Zamanisabzi, H. (2020). Improving renewable energy policy planning and decision-making through a hybrid MCDM method. *Energy Policy*, 137, 111174. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111174>
9. Colapinto, C., Jayaraman, R., Ben Abdelaziz, F., & La Torre, D. (2020). Environmental sustainability and multifaceted development: multi-criteria decision models with applications. *Annals of Operations Research*, 293(2), 405-432. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03403-y>
10. Neofytou, H., Nikas, A., & Doukas, H. (2020). Sustainable energy transition readiness: A multicriteria assessment index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 109988. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109988>
11. Hottenroth, H., Sutardhio, C., Weidlich, A., Tietze, I., Simon, S., Hauser, W., ... & Viere, T. (2022). Beyond climate change. Multi-attribute decision making for a sustainability assessment of energy system transformation pathways. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156, 111996. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111996>
12. Roy, P. K., & Shaw, K. (2022). Developing a multi-criteria sustainable credit score system using fuzzy BWM and fuzzy TOPSIS. *Environment, Development and Sustainability*, 24(4), 5368-5399. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01662-z>
13. Abo-Zahhad, E. M., Rashwan, A., Salameh, T., Hamid, A. K., Faragalla, A., El-Dein, A. Z., ... & Abdelhameed, E. H. (2024). Evaluation of solar PV-based microgrids viability utilizing single and multi-criteria decision analysis. *Renewable Energy*, 221, 119713.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119713>

14. Boumaiza, A., Sanfilippo, A., & Mohandes, N. (2022). Modeling multi-criteria decision analysis in residential PV adoption. *Energy Strategy Reviews*, 39, 100789. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100789>
15. Francis, A., & Thomas, A. (2023). System dynamics modelling coupled with multi-criteria decision-making (MCDM) for sustainability-related policy analysis and decision-making in the built environment. *Smart and Sustainable Built Environment*, 12(3), 534-564. <https://doi.org/10.1108/SASBE-09-2021-0156>
16. Albawab, M., Ghenai, C., Bettayeb, M., & Janajreh, I. (2020). Sustainability performance index for ranking energy storage technologies using multi-criteria decision-making model and hybrid computational method. *Journal of Energy Storage*, 32, 101820. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101820>
17. Cinelli, M., Burgherr, P., Kadziński, M., & Słowiński, R. (2022). Proper and improper uses of MCDA methods in energy systems analysis. *Decision Support Systems*, 163, 113848. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2022.113848>
18. Martins, M. A., & Garcez, T. V. (2021). A multidimensional and multi-period analysis of safety on roads. *Accident Analysis & Prevention*, 162, 106401. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106401>
19. Malczewski, J., & Jankowski, P. (2020). Emerging trends and research frontiers in spatial multicriteria analysis. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(7), 1257-1282. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1712403>
20. Cinelli, M., Kadziński, M., Miebs, G., Gonzalez, M., & Słowiński, R. (2022). Recommending multiple criteria decision analysis methods with a new taxonomy-based decision support system. *European Journal of Operational Research*, 302(2), 633-651. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.01.011>