



UNIWERSYTET SZCZECIŃSKI
INSTYTUT ZARZĄDZANIA

RADOSŁAW MICHAŁ DEPCZYŃSKI

**MODELOWANIE ZRÓWNOWAŻENIA FIRMY PRODUKCYJNEJ Z UŻYCIEM
METOD WIELOKRYTERIALNEGO WSPOMAGANIA DECYZJI**

AUTOREFERAT ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

DZIEDZINA NAUKI: NAUKI SPOŁECZNE
DYSCYPLINA: NAUKI O ZARZĄDZANIU I JAKOŚCI

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

Szczecin 2025

SPIS TREŚCI

Część I. Streszczenie	3
Część II. Spis artykułów naukowych stanowiących rozprawę doktorską.....	4
1. Uzasadnienie wyboru tematu w kontekście oryginalności analizowanego problemu badawczego.....	6
2. Cele badawcze	8
3. Metody badawcze	9
4. Wyniki badań.....	10
5. Implikacje praktyczne.....	17
6. Wskazanie wkładu doktoranta w dziedzinę nauk społecznych, dyscyplinę nauki o zarządzaniu i jakości	18
7. Podsumowanie	20
Bibliografia.....	22

CZĘŚĆ I. STRESZCZENIE

Aktualnie przedsiębiorstwa produkcyjne funkcjonują w środowisku, które wymaga od nich nie tylko generowania zysków, ale także działania z uwzględnieniem odpowiedzialności społecznej i środowiskowej. Rozwój koncepcji zrównoważonego rozwoju, bazujący na równoważeniu aspektów ekonomicznych, ekologicznych i społecznych, staje się fundamentem przekształceń strategicznych i operacyjnych, jakie zachodzą w przedsiębiorstwach na całym świecie. Literatura przedmiotu ukazuje szereg działań o charakterze zarówno strategicznym jak i operacyjnym wspierających integrację wymogów zrównoważonego rozwoju z celami biznesowymi firmy. Jednocześnie istnieje wyraźna luka badawcza wskazująca na brak szczegółowych wytycznych i modeli wspomaganie decyzji takich działań dla przedsiębiorstw produkcyjnych. W tym zakresie dysertacja stanowi odpowiedź na istniejące wyzwania naukowe i praktyczne. W pracy zidentyfikowano kluczowe dla realizacji zrównoważonych praktyk obszary działań przedsiębiorstwa produkcyjnego. Obejmowały one ocenę i selekcję zrównoważonego dostawcy, modelowanie energochłonności procesu produkcji, jak również zrównoważoną gospodarkę odpadami. Dla każdego z nich opracowano formalne modele oparte na kwerendzie literaturowej oraz metodyce wielokryterialnego wspomaganie decyzji. W celu obiektywizacji uzyskanych wyników wykorzystano szereg szczegółowych metod wielokryterialnych – w tym Promethee II, VIKOR, TOPSIS czy AHP. Przeprowadzone badania w zakresie analizy wrażliwości ukazały duże możliwości analityczne oraz potencjał praktyczny opracowanych modeli. Tym samym dysertacja dostarcza decydentom unikalne narzędzia badawcze oraz modele decyzyjne o dużym potencjale do wykorzystania w przedsiębiorstwach produkcyjnych.

CZĘŚĆ II. SPIS ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH STANOWIĄCYCH ROZPRAWĘ DOKTORSKĄ

1. **Depczyński R.**, Secka J., Cheba K., D'Alessandro C., Szopik-Depczyńska K., *Decision-making approach in sustainability assessment in steel manufacturing companies - systematic literature review* Sustainability (IF 3.3), 2023, vol. 15(15), 11614. <https://doi.org/10.3390/su151511614>
2. **Depczyński R.**, *Transformation towards sustainability on the example of a SME steel processing enterprise*, Procedia Computer Science, 2023, vol. 225, 4683-4699. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.467>
3. **Depczyński R.**, *MCDA based approach to supplier evaluation – steel industry enterprise case study*, Procedia Computer Science, 2021, vol. 192, 5081-5092. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.286>
4. **Depczyński R.**, Watróbski, J., *How to assess sustainable suppliers using multi-criteria methods? Steel company case study*, International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems, 2024, 1st January, 1 – 27. DOI: 10.3233/KES-230563
5. **Depczyński R.**, *Product groups, raw materials and waste management towards sustainable development – systematic literature review* [w:] Młodzi Naukowcy 2.0 Tom2, pod red. J. Korpysy, P. Niedźwiedzkiej-Rystwej, A. Łabuza, P. Bełtowskiej, Wydawnictwo Fundacji Centrum Badań Socjologicznych, Szczecin 2022, s. 420-432. DOI: 10.14254/978-83-966582-4-1
6. **Depczyński R.**, *The assessment of product groups and efficiency in the use of raw materials and waste management towards sustainable development – case study of the steel manufacturing company in Poland*, Procedia Computer Science, 2022, vol. 207, 4306-4317. [10.1016/j.procs.2022.09.494](https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.494).
7. **Depczyński R.**, *Assessing raw material efficiency and waste management for sustainable development- Multi-Criteria Decision Analysis based approach*, Production Engineering Archives, 2024, vol. 30(4), 537-550. DOI: 10.30657/pea.2024.30.50
8. **Depczyński R.**, *Energy and labor intensity of manufacturing processes towards sustainable development – systematic literature review and the SWOT analysis for the steel manufacturing company*, Scientific Journals Maritime University of Szczecin, 2022, no. 72(144). <http://dx.doi.org/10.17402/549>

9. **Depczyński R.**, *Sustainability modelling in energy and labor intensity of manufacturing processes*, Scientific Journal of the Maritime University of Szczecin, 2024, artykuł przyjęty do druku, in press
10. **Depczyński R.**, *Ocena wdrażania innowacji produktowych i procesów biznesowych (studium przypadku)* [w:] *Innowacje i przedsiębiorczość w warunkach zmieniającej się dynamicznie gospodarki*”, red. R. Tylżanowski, Wyd. VOLUMINA, Szczecin 2022, ss. 79-93.
11. Kizielewicz B., Więckowski J., Shekhovtsov A., Wątróbski J., **Depczyński R.**, Sałabun W., *Study towards time-based MCDA ranking analysis - supplier selection case study*, Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering (IF 10.1), 2021, vol. 19(3), 381-399. <https://doi.org/10.22190/FUME210130048K> (100 pkt.).

1. UZASADNIENIE WYBORU TEMATU W KONTEKŚCIE ORYGINALNOŚCI ANALIZOWANEGO PROBLEMU BADAWCZEGO

Nowoczesne firmy produkcyjne funkcjonują w środowisku, które wymaga od nich nie tylko generowania zysków, ale także działania z uwzględnieniem odpowiedzialności społecznej i środowiskowej [1]. Rozwój koncepcji zrównoważonego rozwoju, bazujący na równoważeniu aspektów ekonomicznych, ekologicznych i społecznych, staje się fundamentem przekształceń strategicznych i operacyjnych, jakie zachodzą w przedsiębiorstwach na całym świecie [2]. Celem prezentowanej rozprawy doktorskiej jest przedstawienie innowacyjnego podejścia metodycznego do wspierania procesu decyzyjnego w przedsiębiorstwach produkcyjnych, które dąży do integracji wymogów zrównoważonego rozwoju.

Działania proekologiczne stanowią jedynie jeden z filarów zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw produkcyjnych [3]. Literatura przedmiotu wskazuje, że równie istotne są też wymiary ekonomiczny oraz społeczny [4]. Z jednej strony, sektor produkcyjny jest odpowiedzialny za znaczną część globalnych emisji CO₂ oraz zużycia energii [5], co przy obecnym tempie wzrostu gospodarczego i wyczerpywaniu zasobów naturalnych wymaga wdrożenia innowacyjnych rozwiązań technologicznych oraz optymalizacji procesów [6]. Z drugiej strony, presja ze strony regulacji prawnych, rosnące oczekiwania społeczne i potrzeby klientów powodują, że firmy muszą dostosować swoje strategie produkcyjne do wymogów zrównoważonego rozwoju [7]. W Polsce sektor produkcyjny intensywnie analizuje efektywność energetyczną, zarządzanie zasobami pracy oraz minimalizację odpadów [8], co sprzyja rozwijaniu modelu zrównoważonego rozwoju na poziomie krajowym i międzynarodowym [9].

Problematyka zrównoważonego rozwoju jest szeroko poruszana w literaturze przedmiotu. Analiza poszczególnych prac [10, 11, 12, 13] wyraźnie uwypukla lukę badawczą – w dotychczasowych badaniach, przykładowo [14, 15, 16, 17, 18, 19] analizowano jedynie poszczególne aspekty zrównoważonego rozwoju, takie jak gospodarka odpadami czy efektywność energetyczna. Jednak niewiele prac podejmuje próbę całościowego ujęcia problemu, które łączyłoby wszystkie aspekty zrównoważonego rozwoju w firmie produkcyjnej. Brak jest również analizy interakcji między nimi. Proponowana holistyczna perspektywa tym samym powinna dostarczyć decydentom narzędzia do podejmowania racjonalnych, zrównoważonych decyzji [20, 21, 22].

Literatura przedmiotu ukazuje że szereg problemów modelowania zrównoważenia może być modelowanych z użyciem metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji (MCDA) [23,

24, 25]. Ważną cechą metod MCDA jest możliwość jednoczesnego uwzględnienia wielu, często sprzecznych kryteriów, takich jak przykładowo: efektywność energetyczna, zarządzanie zasobami, gospodarka odpadami oraz ergonomia i bezpieczeństwo pracy w jednym modelu, a w konsekwencji rekomendacja „zrównoważonej” decyzji. Rozwiązania takie są kluczowe z punktu widzenia przedsiębiorstw, które dążą do realizacji długoterminowych strategii zrównoważonego rozwoju [26, 27, 28]. Należy dodatkowo zaznaczyć, że metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji pozwalają na dokładną analizę zarówno kosztów, jak i korzyści wynikających z implementacji rozwiązań zrównoważonych [29, 30, 31]. To z kolei powoduje, że przedsiębiorstwa zyskują zdolność adaptacji do zmieniających się wymagań rynku i regulacji, co jest istotne w obliczu globalnych wyzwań [32].

Na tle literatury, zastosowanie metod MCDA do całościowego modelowania zrównoważenia przedsiębiorstw produkcyjnych jest podejściem nowatorskim i wypełnia istotną lukę badawczą. Tradycyjnie, przedsiębiorstwa produkcyjne ograniczały swoje działania do optymalizacji ekonomicznej [33]. Wprowadzenie MCDA jako narzędzia integrującego kryteria społeczne, środowiskowe i ekonomiczne, pozwala w sposób kompleksowy modelować przedsiębiorstwo. Jest to zagadnienie kluczowe z punktu widzenia paradygmatów nowoczesnego zarządzania [34, 35, 36], jak również teorii oraz praktyk zrównoważonego rozwoju w sektorze produkcyjnym [37].

Domniemaną korzyść stanowi rozwój metod wielokryterialnych oraz modeli oceny zrównoważenia w kontekście zarządzania łańcuchem dostaw (SSCM, ang. Sustainable Supply Chain Management), zrównoważonego zarządzania odpadami, jak też zrównoważone modelowanie energochłonności w procesie produkcji. Selekcja dostawców spełniających kryteria ekologiczne i społeczne jest nie tylko ważna z perspektywy realizacji celów zrównoważonego rozwoju, ale także stanowi element przewagi konkurencyjnej i budowania pozytywnego wizerunku firmy na rynku. Równie istotny obszar problemu stanowi gospodarka odpadami w przedsiębiorstwie produkcyjnym [38, 39]. W wielu pracach wskazuje się na konieczność budowy dedykowanych modeli w gospodarce odpadami przedsiębiorstw produkcyjnych oraz ich integrację z pozostałymi perspektywami zrównoważenia w przedsiębiorstwie. Ostatni z analizowanych obszarów zrównoważenia – energochłonność procesu produkcji nabiera szczególnego znaczenia w dobie aktualnych wyzwań energetycznych. Oczywiście znajduje to potwierdzenie w literaturze przedmiotu [40,41]. Zdaniem [42, 43, 44] odpowiednie modelowanie i integracja tych trzech, wskazanych powyżej obszarów (selekcja zrównoważonego dostawcy, gospodarka odpadami oraz energochłonność

procesu produkcji) stanowią kluczowe obszary działalności firmy która dąży do integracji wymogów zrównoważonego rozwoju.

Podsumowując, temat rozprawy doktorskiej pt. „Modelowanie zrównoważenia firmy produkcyjnej z użyciem metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji” jest nie tylko istotny, ale również oryginalny w kontekście aktualnych wyzwań gospodarczych oraz potrzeb współczesnych przedsiębiorstw. Sam wybór tematu rozprawy doktorskiej pt. „Modelowanie zrównoważenia firmy produkcyjnej z użyciem metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji” nie tylko odpowiada na kluczowe potrzeby współczesnych przedsiębiorstw, ale również stanowi odpowiedź na podnoszone w literaturze przedmiotu wyzwania badawcze. Domniemaną korzyść stanowi opracowanie i wdrożenie metod i modeli wielokryterialnego wspomaganie decyzji w kluczowych obszarach zarządzania zrównoważonym rozwojem przedsiębiorstwa produkcyjnego stanowiąc jednocześnie strategiczny krok, który wspiera firmy w budowaniu długotrwałej konkurencyjności i adaptacji do zmieniających się wyzwań rynkowych, środowiskowych i społecznych oraz zapewniając jednocześnie wkład w osiągnięcie globalnych celów zrównoważonego rozwoju.

2. CELE BADAWCZE

Główny cel badawczy to opracowanie wielokryterialnych modeli wspomaganie decyzji (MCDA) wspierających zrównoważony rozwój przedsiębiorstwa produkcyjnego, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów zrównoważonej selekcji dostawców, zrównoważonego zarządzania odpadami oraz efektywności energetycznej procesów produkcyjnych.

Sformułowano następujące **cele szczegółowe**, które odzwierciedlone są w poszczególnych, artykułach naukowych i recenzowanych materiałach konferencyjnych stanowiących przedmiot niniejszej rozprawy doktorskiej:

1. Analiza możliwości wykorzystania metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji w ocenie zrównoważonego rozwoju w przedsiębiorstwach produkcyjnych, a w szczególności identyfikacja podstawowych metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji i wskaźników zrównoważonego rozwoju w przemyśle oraz wskazanie nowych kierunków badań nad ich wykorzystaniem.
2. Identyfikacja obszarów oraz kryteriów transformacji analizowanego przedsiębiorstwa produkcyjnego wspierających zrównoważony rozwój.

3. Budowa modeli wielokryterialnego wspomaganie decyzji dla potrzeb selekcji dostawców przedsiębiorstwa produkcyjnego, uwzględniając pryncypia zrównoważonego rozwoju.
4. Strukturalizacja i budowa modelu wielokryterialnego wspomaganie decyzji dla potrzeb efektywnego zarządzania surowcami i odpadami w kontekście zrównoważonego rozwoju w przedsiębiorstwie produkcyjnym.
5. Wielokryterialne modelowanie zrównoważenia procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwie ze szczególnym uwzględnieniem energochłonności procesów .

3. METODY BADAWCZE

W ramach prezentowanego cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych wykorzystano szereg metod badawczych stosowanych w naukach o zarządzaniu i jakości. Są to w szczególności:

- **Systematyczny przegląd literatury** (Systematic Literature Review) - w artykułach dokonano przeglądu literatury naukowej w celu analizy obecnych badań nad zrównoważonym rozwojem, w szczególności w kontekście przedsiębiorstw produkcyjnych.
- **Analiza bibliometryczna przy użyciu oprogramowania VOSviewer** - użycie oprogramowania VOSviewer umożliwiło klasyfikację i wizualizację literatury oraz analizę klastrów tematycznych, co ułatwiło rozpoznanie głównych trendów badawczych w obszarze zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw produkcyjnych.
- **Studium przypadku** (Case Study) - w badaniach wykorzystano metodę studium przypadku do analizy konkretnych przedsiębiorstw produkcyjnych w Polsce, co pozwoliło na zidentyfikowanie specyficznych problemów oraz opracowanie praktycznych rozwiązań. Studium przypadku obejmowało również wywiady z pracownikami.
- **Analiza SWOT** (SWOT Analysis) - metoda ta była stosowana do oceny mocnych i słabych stron, szans oraz zagrożeń związanych z wdrożeniem zasad zrównoważonego rozwoju w procesach produkcyjnych, w tym zarządzaniem energią i energochłonnością procesu produkcji.
- **Analiza dokumentacji oraz konsultacje z ekspertami** - badania obejmowały analizę wewnętrznej dokumentacji firmowej oraz sesje konsultacyjne z ekspertami branżowymi

w celu weryfikacji i dostosowania kryteriów oceny dostawców oraz procesów produkcyjnych do standardów zrównoważonego rozwoju.

- **Ocena efektywności energetycznej** - badania koncentrowały się na pomiarach intensywności zużycia energii oraz pracy, co obejmowało również wykorzystanie narzędzi Lean Manufacturing i Industry 4.0 w celu optymalizacji procesów produkcyjnych.
- **Panele eksperckie** - panele eksperckie były wykorzystywane do gromadzenia informacji o praktykach firm i ocenianiu ich zgodności z kryteriami zrównoważonego rozwoju. Te metody jakościowe uzupełniały badania ilościowe i analizy danych.
- **Wielokryterialna Analiza Decyzyjna** (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA) – w badaniach wykorzystano analizę wielokryterialną do budowy modeli: oceny zrównoważonego dostawcy, zrównoważonej gospodarki odpadkami oraz efektywności energetycznej procesów produkcyjnych. W zależności od specyfiki problemu, wykorzystano różne metody i techniki MCDA, takie jak: AHP (Analytic Hierarchy Process), PROMETHEE II, TOPSIS oraz VIKOR.

4. WYNIKI BADAŃ

Poniżej zaprezentowane zostały wyniki badań zrealizowanych w ramach prac stanowiących cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Badania te koncentrują się na kluczowych aspektach, takich jak efektywność wykorzystania surowców, zarządzanie odpadami, ocena dostawców oraz optymalizacja procesów produkcyjnych z uwzględnieniem energochłonności procesów. Każdy z artykułów wnosi istotny wkład w zrozumienie znaczenia zrównoważonego rozwoju w kontekście działalności przemysłowej, jak i roli metod wielokryterialnych w podejmowaniu decyzji w zakresie zrównoważonego rozwoju, co jest szczególnie istotne dla sektora przemysłowego.

Badania zaprezentowane w artykule [A1] „**Decision-making approach in sustainability assessment in steel manufacturing companies - systematic literature review**” koncentrują się na ocenie zrównoważonego rozwoju w branży stalowej poprzez zastosowanie metod wspierających podejmowanie decyzji. Przegląd systematyczny literatury ujawnił kluczowe aspekty, takie jak identyfikacja odpowiednich materiałów i wskaźników zrównoważonego rozwoju, które mogą wspierać procesy decyzyjne w produkcji stali. Wyniki badań wskazują na istotną rolę takich wskaźników, które integrując kryteria ekologiczne, ekonomiczne i społeczne, mogą wspomóc tworzenie strategii zrównoważonego rozwoju. Analiza uwypukla,

że sektor stalowy nadal w niewielkim stopniu stosuje formalne modele decyzyjne do oceny zrównoważonego rozwoju, mimo wzrastającej liczby publikacji w tym zakresie. W artykule zidentyfikowano główne nurty badawcze, takie jak ocena efektywności energetycznej, analiza cyklu życia oraz wybór dostawców, które są kluczowe dla realizacji celów zrównoważonego rozwoju w przemyśle.

Artykuł [A2] pt. **„Transformation towards sustainability on the example of the SME's steel processing enterprise”** analizuje proces transformacji przedsiębiorstwa przetwórstwa stali w kierunku zrównoważonego rozwoju. Badania koncentrują się na wdrażaniu trzech kluczowych filarów zrównoważonego rozwoju: ekonomicznego, środowiskowego i społecznego. Przeprowadzono analizę struktury produkcji, przepływu informacji oraz schematu rozwiązywania problemów decyzyjnych w celu zwiększenia potencjału zrównoważonego rozwoju firmy. Wyniki pokazują, że poprzez staranny dobór kryteriów oraz optymalizację procesów decyzyjnych firma może skutecznie wspierać swoje cele zrównoważonego rozwoju, zwiększając efektywność wykorzystania zasobów, minimalizując negatywny wpływ na środowisko i promując odpowiedzialne podejście produkcyjne. Analiza wykazała, że uwzględnienie kryteriów środowiskowych, społecznych i ekonomicznych w codziennych operacjach produkcyjnych pozwala nie tylko na zmniejszenie zużycia energii i surowców, ale także na wzmocnienie relacji z dostawcami oraz poprawę warunków pracy. W ten sposób przedsiębiorstwo jest w stanie nie tylko osiągnąć większą konkurencyjność, lecz także zbudować długoterminową wartość, odpowiadając na rosnące wymagania dotyczące zrównoważonego rozwoju w branży stalowej.

W artykule [A3] pt. **„MCDA based approach to supplier evaluation – steel industry enterprise case study”** przedstawiono wyniki badań nad oceną dostawców w przedsiębiorstwie przetwórstwa stali z wykorzystaniem metod wielokryterialnych (MCDA). Badanie pokazuje, że tradycyjne kryteria oceny dostawców, takie jak koszt, jakość i terminowość dostaw, są niewystarczające w kontekście wymogów zrównoważonego rozwoju. W badanym przedsiębiorstwie przeprowadzono analizę z wykorzystaniem metody AHP, co pozwoliło na wyłonienie trzech kluczowych dostawców spośród jedenastu ocenianych. Wyniki wskazują, że wprowadzenie kryteriów zgodnych z zasadami zrównoważonego rozwoju mogłoby znacząco wpłynąć na poprawę efektywności zarządzania łańcuchem dostaw oraz na wzmocnienie pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstwa.

Artykuł [A4] pt. **„How to assess sustainable suppliers using multi-criteria methods? - steel company case study”** szczegółowo opisuje wykorzystanie metody PROMETHEE II GDSS w ocenie dostawców przedsiębiorstwa stalowego z uwzględnieniem zrównoważonego

rozwoju. Autorzy ukazują, że w wielokryterialnym podejściu, uwzględniane są nie tylko tradycyjne kryteria, jak cena czy jakość, ale również te związane z ochroną środowiska, etyką pracy oraz wpływem społecznym. W badaniu przeanalizowano zbiór kryteriów, które zostały wybrane po konsultacjach z zespołem ekspertów reprezentujących różne działy firmy, m.in. logistykę, ochronę środowiska, zarządzanie jakością oraz zakupy. W procesie selekcji uwzględniono aspekty takie jak dystans do dostawcy, możliwość cyfrowego obiegu dokumentów, stosowanie standardów ISO (w tym ISO 9001, 14001 i 45001), zarządzanie energią odnawialną oraz emisja CO₂. Metoda PROMETHEE II GDSS pozwoliła na stworzenie rankingu dostawców, gdzie najwyżej oceniono tych, którzy w największym stopniu przyczyniają się do realizacji celów zrównoważonego rozwoju. Wyniki badania wykazały, że wybór odpowiednich dostawców może istotnie wpłynąć na zwiększenie potencjału zrównoważonego rozwoju firmy. Dzięki przyjęciu kryteriów środowiskowych i społecznych, firma może poprawiać efektywność operacyjną, jednocześnie spełniając oczekiwania klientów i interesariuszy, którzy coraz bardziej cenią zaangażowanie przedsiębiorstw w działania proekologiczne. Ponadto, analiza wrażliwości wskazała, że zmiany w ważności kryteriów finansowych i logistycznych znacząco wpływają na pozycje dostawców w rankingu, co potwierdza, że kryteria te są kluczowe w ocenie zrównoważonego rozwoju. Badanie ukazuje, że wdrożenie wielokryterialnej oceny dostawców może nie tylko usprawnić proces decyzyjny, ale również zwiększyć przejrzystość i kontrolę nad łańcuchem dostaw, umożliwiając firmie lepsze dostosowanie się do wymogów zrównoważonego rozwoju bez konieczności dużych inwestycji technologicznych.

W artykule [A5] pt. „**Product groups, raw material and waste management towards sustainable development - systematic literature review**” przeprowadzono systematyczny przegląd literatury na temat zarządzania grupami produktowymi, surowcami oraz gospodarką odpadami w kontekście zrównoważonego rozwoju. Badanie wykazało systematyczny wzrost liczby cytowań publikacji z tej dziedziny, szczególnie od 2013 roku, z najwyższą liczbą w 2020 roku. Jednak pomimo wzrastającego zainteresowania, dostępna baza literaturowa wciąż jest ograniczona, co sugeruje niewielką eksplorację tematu. W badaniu przeanalizowano publikacje za pomocą oprogramowania VOSviewer, co pozwoliło na podział literatury na sześć kluczowych klastrów tematycznych, obejmujących m.in. gospodarkę odpadami, ocenę cyklu życia (LCA), odzysk zasobów oraz łańcuchy dostaw w obiegu zamkniętym. Wyniki przeglądu wskazują, że istnieje potrzeba dalszych badań w zakresie efektywności wykorzystania surowców i gospodarki odpadami w ramach działań na rzecz zrównoważonego rozwoju w przedsiębiorstwach przemysłowych.

W artykule [A6] pt. „**The assessment of product groups and efficiency in the use of raw materials and waste management towards sustainable development – case study of the steel manufacturing company in Poland**” przeprowadzono ocenę efektywności wykorzystania surowców oraz zarządzania odpadami w przedsiębiorstwie produkcji stali, z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju. Badanie bazowało na metodzie studium przypadku i analizie SWOT, a dane zostały zebrane poprzez wywiady z pracownikami. Wyniki wskazują, że zróżnicowanie materiałów i technik wykończenia powierzchni, ma istotny wpływ na poziom emisji oraz ilość generowanych odpadów. Analiza SWOT ujawniła, że efektywne zarządzanie różnymi typami materiałów oraz optymalizacja procesów ochrony antykorozyjnej mogą znacznie zmniejszyć negatywny wpływ produkcji na środowisko. W szczególności wdrożenie technik, które ograniczają ilość odpadów i zwiększają efektywność wykorzystania surowców, wspiera cele zrównoważonego rozwoju firmy i umożliwia lepsze dostosowanie do wymagań ekologicznych rynku.

Artykuł [A7] pt. „**Assessing raw material efficiency and waste management for Sustainable Development - Multi-Criteria Decision Analysis based approach**” szczegółowo analizuje, w jaki sposób wielokryterialna analiza decyzyjna (MCDA) może wspierać zrównoważony rozwój w firmie zajmującej się przetwórstwem stali. W badaniu wykorzystano metody TOPSIS oraz VIKOR wraz z trzema technikami wyznaczania istotności atrybutów: metodą entropii, odchylenia standardowego i CRITIC, aby ocenić cztery produkty w oparciu o dziewięć kluczowych kryteriów, w tym rodzaj materiału, techniki ochrony przed korozją, obróbkę powierzchniową, wielkość oraz wagę konstrukcji. Badanie wykazało, że efektywność w zarządzaniu surowcami i gospodarką odpadami można zwiększyć poprzez dokładną selekcję zleceń, uwzględniającą kryteria zrównoważonego rozwoju. Najbardziej istotne okazały się kryteria związane z metodami antykorozyjnymi i technologiami cięcia, które mają bezpośredni wpływ na ograniczenie odpadów i emisji zanieczyszczeń. Na przykład, produkt wykonany z aluminium, który nie wymaga dodatkowej ochrony powierzchni ani transportu wewnętrznego, został oceniony jako najbardziej zrównoważony. W przypadku produktów, które wymagały bardziej skomplikowanej ochrony antykorozyjnej i obróbki, zauważono wyższe wartości emisji oraz generowanych odpadów. Porównanie wag uzyskanych z różnych metod wyznaczania wag kryteriów wykazało, że wyniki uzyskane za pomocą metody CRITIC były mniej skorelowane z pozostałymi, co sugeruje większą wrażliwość tej metody na różnorodność kryteriów. Metody TOPSIS i VIKOR umożliwiły stworzenie rankingu produktów, w którym najbardziej zrównoważonym wyborem okazał się produkt II, natomiast produkt I został oceniony jako najmniej przyjazny środowisku. Artykuł podkreśla, że

stosowanie ram MCDA może wspierać bardziej świadome decyzje produkcyjne, co nie tylko pozwala na efektywniejsze zarządzanie surowcami, ale także odpowiada na rosnące oczekiwania klientów oraz partnerów biznesowych dotyczące zrównoważonego rozwoju. Wyniki ukazują również potencjał proponowanego modelu – może on być w prosty sposób zaadoptowany w innych branżach i lokalizacjach, co czyni go cennym narzędziem dla szeroko pojętej optymalizacji działań produkcyjnych w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju.

W artykule [A8] pt. **„Energy and labor intensity of manufacturing processes progressing toward sustainable development: A systematic literature review and SWOT analysis for a steel manufacturing company”** przedstawiono wyniki systematycznego przeglądu literatury oraz analizę SWOT dotyczącą intensywności zużycia energii i pracy w procesach produkcyjnych w przedsiębiorstwie stalowym. Badanie wskazuje, że energochłonność i pracochłonność stanowią kluczowe wyzwania w kontekście realizacji zasad zrównoważonego rozwoju. Wykorzystano analizę VOSviewer, dzięki której zidentyfikowano pięć głównych klastrów badawczych związanych z wpływem procesów produkcyjnych na środowisko oraz ergonomię stanowisk pracy. Przeprowadzona analiza SWOT uwidoczniła mocne i słabe strony poszczególnych procesów produkcyjnych, jak również szanse i zagrożenia związane z ich optymalizacją pod kątem zrównoważonego rozwoju. W szczególności badanie zwraca uwagę na potrzebę automatyzacji niektórych procesów oraz poprawę ergonomii stanowisk, aby zmniejszyć zarówno obciążenie fizyczne pracowników jak i zużycie energii. Wyniki sugerują, że wdrożenie zrównoważonych praktyk, takich jak automatyzacja oraz poprawa efektywności energetycznej, może znacząco wpłynąć na długofalowy rozwój przedsiębiorstwa i jego zgodność z regulacjami środowiskowymi.

Artykuł [A9] pt. **„Sustainability modelling in energy and labor intensity of manufacturing processes”** przedstawia kompleksowy model oceny intensywności energetycznej oraz pracochłonności procesów produkcyjnych, uwzględniając cele zrównoważonego rozwoju w przemyśle. Badania przeprowadzone w artykule mają na celu zoptymalizowanie procesów produkcyjnych, szczególnie pod kątem ograniczenia zużycia energii i poprawy warunków pracy, co przekłada się na minimalizację wpływu na środowisko i poprawę ergonomii pracy.

W ramach analizy autor zastosował wielokryterialne metody decyzyjne TOPSIS i VIKOR oraz techniki wagowania, takie jak metoda entropii i CRITIC, aby dokładnie ocenić cztery różne produkty pod kątem kluczowych kryteriów, takich jak rodzaj materiału, metoda ochrony antykorozyjnej, technologia cięcia, oraz ergonomia pracy. Wyniki wskazują, że aluminium i stal nierdzewna, ze względu na brak konieczności dodatkowych procesów

ochronnych, były oceniane jako najbardziej efektywne z perspektywy energetycznej i ekologicznej. Z kolei produkty wymagające złożonych procesów ochronnych i obróbki, jak DUPLEX (system łączący ocynkowanie i malowanie), uzyskały niższe oceny ze względu na ich wysoką energochłonność i większe obciążenie pracą fizyczną. Ważnym wnioskiem jest odkrycie, że wybór technik wagowania kryteriów znacząco wpływa na ostateczną ocenę produktów. Przykładowo, produkt wykonany z aluminium, oceniany z wagami entropii, uzyskał najwyższą preferencję w metodzie TOPSIS, podczas gdy w metodzie CRITIC, która kładzie większy nacisk na eliminację redundancji informacji między kryteriami, jego preferencja była niższa. Produkt III, wykonany ze stali nierdzewnej, dzięki swojej stabilności w różnych metodach wagowania, był oceniany jako najbardziej zrównoważony, co sugeruje, że jego charakterystyki operacyjne są mniej podatne na zmiany w metodologii oceny. Dodatkowym atutem modelu MCDA jest możliwość identyfikacji obszarów wymagających ulepszeń pod kątem zrównoważonego rozwoju. Wdrożenie kryteriów ergonomicznych i środowiskowych w procesie oceny ujawniło potrzebę automatyzacji niektórych procesów, co nie tylko zwiększa efektywność energetyczną, ale również zmniejsza ryzyko związane z pracą fizyczną. Wyniki badania wspierają hipotezę, że zarządzanie intensywnością pracy oraz zużyciem energii poprzez odpowiedni dobór zamówień może zwiększyć potencjał rozwoju zrównoważonego bez konieczności ponoszenia dużych nakładów inwestycyjnych. Podsumowując, artykuł ukazuje, że wykorzystując proponowany model możemy istotnie zmodyfikować proces produkcji czyniąc go bardziej efektywnym, przyjaznym środowisku i ergonomicznie zoptymalizowanym, co stanowi fundament dla dalszych badań nad zrównoważonym rozwojem w sektorze przemysłowym.

W artykule [A10] pt. **Ocena wdrażania innowacji produktowych i procesów biznesowych (studium przypadku)**” przedstawiono wyniki badań nad wdrażaniem innowacji produktowych i procesowych w badanym przedsiębiorstwie. Artykuł analizuje okres lat 2013–2020, ukazując, jak innowacyjne projekty przyczyniły się do rozwoju i konkurencyjności firmy w branży przetwórstwa stalowego. Firma wdrożyła szereg nowoczesnych rozwiązań, w tym nowe typy konstrukcji stalowych i urządzeń dla sieci trakcyjnych, które zdobyły patenty oraz certyfikaty potwierdzające ich innowacyjność. W obszarze innowacji procesowych przedsiębiorstwo zainwestowało w zaawansowany system ERP, integrujący zarządzanie zasobami, produkcją oraz logistyką, co pozwoliło na optymalizację kosztów i zwiększenie efektywności operacyjnej. Artykuł ukazuje także dążenie firmy do dalszego rozwoju poprzez angażowanie się w nowe projekty badawcze i wdrożeniowe, które przyczyniają się do zrównoważonego rozwoju organizacji.

W artykule [A11] pt. „**Study Towards the Time-Based MCDA Ranking Analysis – A Supplier Selection Case Study**” przeprowadzono analizę wyboru dostawców dla firmy zajmującej się produkcją stali, stosując trzy wielokryterialne metody decyzyjne (MCDA): COMET, TOPSIS i SPOTIS. Celem badania było sprawdzenie, jak różne metody oceny wpływają na wyniki rankingu dostawców w zależności od czasu oraz zastosowanej metody wagowania (metody równych wag, entropii i odchylenia standardowego). Badanie wykazało wysoką korelację między wynikami uzyskanymi przy użyciu różnych metod MCDA, co oznacza, że wybór konkretnej metody nie miał znaczącego wpływu na ostateczne rankingi dostawców w analizowanej sytuacji. Zastosowanie współczynnika korelacji Spearmana oraz współczynnika podobieństwa WS pozwoliło na dokładne porównanie podobieństwa rankingów w różnych miesiącach. Wyniki sugerują, że mimo użycia różnych metod, rankingi dostawców były stabilne, a największe różnice pojawiały się w określonych miesiącach, co podkreśla potrzebę ciągłej analizy i dostosowywania modeli decyzyjnych do zmieniających się warunków rynkowych i specyfikacji dostawców.

Zaprezentowane badania ukazują różnorodność podejść do wdrażania i oceny innowacji oraz zrównoważonego rozwoju w przemyśle. Punktem ciężkości przeprowadzonych badań jest opracowanie autorskich wielokryterialnych modeli decyzyjnych (MCDA) w wyborze dostawców oraz ocenie efektywności wykorzystania surowców, zarządzania odpadami i optymalizacji procesów produkcyjnych.

Wyniki badań wskazują, że integracja kryteriów środowiskowych i społecznych w codziennych operacjach produkcyjnych może znacząco poprawić efektywność operacyjną i wspierać cele zrównoważonego rozwoju. Dodatkowo ukazano, że wdrażanie innowacyjnych praktyk, takich jak automatyzacja procesów, analiza cyklu życia produktów oraz zarządzanie energią, może przyczynić się do redukcji emisji i poprawy ergonomii pracy, jednocześnie wzmacniając konkurencyjność firm. Wyniki z różnych artykułów wskazują, że metody takie jak TOPSIS, COMET czy SPOTIS skutecznie wspierają procesy decyzyjne, zapewniając spójność rankingów w czasie i umożliwiając przedsiębiorstwom lepsze zarządzanie łańcuchem dostaw.

Podsumowując, prace [A1-A11] dostarczają cennych wniosków, podkreślając znaczenie innowacyjności oraz systematycznego podejścia do zrównoważonego rozwoju w przemyśle, co wspiera organizacje w dostosowywaniu się do wyzwań współczesnego rynku i oczekiwań społecznych.

5. IMPLIKACJE PRAKTYCZNE

Utylitarną wartość rozprawy stanowią kolejno:

- Lepsze zarządzanie dostawcami – zastosowanie metod wielokryterialnej analizy decyzyjnej (MCDA) umożliwia precyzyjną selekcję dostawców, uwzględniającą aspekty ekonomiczne, technologiczne oraz środowiskowe. Dzięki temu przedsiębiorstwo może skuteczniej realizować swoje strategiczne cele i wzmacniać pozycję konkurencyjną.
- Optymalizację zużycia zasobów i zarządzanie odpadami – wdrożenie narzędzi oceny efektywności procesów produkcyjnych umożliwia bardziej świadome decyzje dotyczące surowców i gospodarowania odpadami, co redukuje koszty oraz minimalizuje wpływ na środowisko.
- Usprawnienie procesów decyzyjnych w systemie ERP – integracja kart oceny efektywności zamówień z systemem ERP umożliwia bieżącą analizę wpływu poszczególnych działań na zrównoważony rozwój, wspierając podejmowanie decyzji zgodnych z długoterminowymi celami przedsiębiorstwa.
- Wsparcie dla zrównoważonego rozwoju – wprowadzenie strategii oceny dostawców opartej na kryteriach zrównoważonego rozwoju pozwala przedsiębiorstwu na współpracę z partnerami, którzy wspierają cele ekologiczne i społeczne organizacji, co ogranicza ryzyko i koszty operacyjne.
- Poprawa ergonomii i efektywności pracy – analiza procesów produkcyjnych z uwzględnieniem zużycia energii, ergonomii i intensywności pracy sprzyja nie tylko zwiększeniu wydajności, ale również poprawia warunki pracy, co może prowadzić do wyższej satysfakcji i produktywności pracowników.
- Zwiększenie świadomości ekologicznej i społecznej – badania wprowadzone w ramach rozprawy podnoszą świadomość ekologiczną i społeczną w przedsiębiorstwie, co jest zgodne z globalnymi trendami zrównoważonego rozwoju i może pozytywnie wpływać na wizerunek firmy w oczach interesariuszy.

Przedstawione implikacje stanowią wartość dodaną i bezpośrednio przyczyniają się do wzrostu efektywności operacyjnej, innowacyjności oraz trwałości przedsiębiorstwa, co zwiększa jego zdolność do konkurencyjności na współczesnym rynku.

6. WSKAZANIE WKŁADU DOKTORANTA W DZIEDZINĘ NAUK SPOŁECZNYCH, DYSCYPLINĘ NAUKI O ZARZĄDZANIU I JAKOŚCI

Dzięki połączeniu analizy teoretycznej z nowatorskimi rozwiązaniami metodycznymi oraz zrozumieniem praktycznych potrzeb przedsiębiorstw, praca ta rozszerza wiedzę i wzbogaca dyscyplinę nauki o zarządzaniu i jakości w czterech kluczowych obszarach: teoretycznym, metodycznym, poznawczym i utylitarnym.

1. Wartość dodana w obszarze teoretycznym

Praca doktorska dostarcza kompleksowego opracowania teoretycznego, które łączy koncepcje zrównoważonego rozwoju z nowoczesnymi metodami zarządzania. Poprzez analizę literatury i identyfikację kluczowych podejść wielokryterialnej analizy decyzyjnej (MCDA), praca wzbogaca dyskusję teoretyczną na temat integracji aspektów ekonomicznych, środowiskowych i społecznych w zarządzaniu operacyjnym. Przedstawione podejścia teoretyczne stają się podstawą do zrozumienia roli zrównoważonego rozwoju w kontekście zarządzania organizacją oraz wspierają rozwój teorii zarządzania w oparciu o kryteria związane z odpowiedzialnością społeczną i ekologiczną.

2. Wartość dodana w obszarze metodycznym

W obszarze metodycznym praca wnosi istotną innowację – szereg autorskich modeli wykorzystujących zaawansowane metody wielokryterialnej analizy decyzyjnej (np. COMET, SPOTIS, TOPSIS) do oceny i selekcji dostawców oraz optymalizacji procesów produkcyjnych pod kątem zrównoważonego rozwoju. Rozwój i zastosowanie narzędzi oceny efektywności procesów produkcyjnych umożliwia kompleksową ocenę wpływu procesów na zrównoważony rozwój. Przedstawione rozwiązania metodyczne dostarczają jednocześnie menedżerom zaawansowanych narzędzi analitycznych.

3. Wartość dodana w obszarze poznawczym

Wartość dodana pracy w obszarze poznawczym polega na rozszerzeniu wiedzy na temat efektywności zarządzania zasobami i zarządzania dostawcami w kontekście zrównoważonego rozwoju. Badania ukazują złożoność procesów decyzyjnych związanych z wyborem dostawców i optymalizacją procesów pod kątem kryteriów ekologicznych i ergonomicznych, co umożliwia głębsze zrozumienie wpływu tych czynników na ogólną strategię przedsiębiorstwa. Poprzez analizę przypadków oraz zastosowanie metod analitycznych, praca przyczynia się do poszerzenia wiedzy o praktycznych aspektach implementacji zrównoważonych rozwiązań w zarządzaniu operacyjnym przedsiębiorstwem produkcyjnym.

4. Wartość dodana w obszarze utylitarnym

Najbardziej bezpośrednią wartością dodaną pracy jest jej wkład utylitarny, czyli opracowanie praktycznych rozwiązań modelowych oraz wskazówek, które mogą być bezpośrednio stosowane w przedsiębiorstwach przemysłowych. Praca dostarcza praktycznych rekomendacji dla menedżerów dotyczących optymalizacji zużycia energii, zarządzania odpadami, efektywności dostawców oraz poprawy warunków pracy poprzez analizę ergonomii stanowisk.

Każdy z tych obszarów potwierdza, że przedłożona rozprawa doktorska nie tylko poszerza granice wiedzy teoretycznej i metodycznej, lecz również dostarcza użytecznych narzędzi i perspektyw, które mogą być stosowane w praktyce zarządzania jakością oraz strategii zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw. Uprawnia to autora opracowania do stwierdzenia, że **prezentowana rozprawa doktorska, bazująca na cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, jest oryginalnym opracowaniem, które wnosi istotną wartość dodaną do nauk o zarządzaniu i jakości.**

7. PODSUMOWANIE

Doktorant osiągnął wszystkie założone cele badawcze, które zostały sformułowane w ramach rozprawy doktorskiej. Tym samym Doktorant:

1. Zbadał możliwości wykorzystania metod MCDA w ocenie zrównoważonego rozwoju w przedsiębiorstwie przemysłowym, wskazując kluczowe wskaźniki oraz nowe kierunki badawcze w tej dziedzinie.
2. Wykazał, że możliwe jest przekształcenie przedsiębiorstw produkcyjnych w kierunku zrównoważonego rozwoju poprzez wdrożenie odpowiednich modeli wielokryterialnych (a w tym odpowiednich kryteriów oceny) i optymalizacji procesów produkcyjnych, co potwierdzono badaniami przeprowadzonymi na rzeczywistych przykładach w polskim przemyśle stalowym.
3. Opracował i zaimplementował modele MCDA do selekcji dostawców, ukazując, że integracja tych metod pozwala na uwzględnienie kryteriów zrównoważonego rozwoju, takich jak efektywność energetyczna czy zarządzanie odpadami, co zwiększa konkurencyjność przedsiębiorstwa.
4. Przeprowadził procedurę wyboru i oceny dostawców zrównoważonych, wykorzystując metodologię PROMETHEE II GDSS, co pozwoliło na opracowanie praktycznych wytycznych dla przedsiębiorstw przemysłowych.
5. Przeprowadził systematyczny przegląd literatury dotyczący grup produktowych i efektywności zarządzania surowcami, identyfikując kluczowe trendy oraz obszary badawcze związane z gospodarką odpadami i wykorzystaniem surowców w przemyśle.
6. Oceniał efektywność grup produktowych pod kątem zarządzania surowcami i odpadami, wskazując obszary wymagające poprawy oraz kierunki działań sprzyjających zrównoważonemu rozwojowi.
7. Opracował dedykowane modele oraz ocenił efektywność metod MCDA w problemie zarządzania surowcami i odpadami, potwierdzając, że narzędzia te umożliwiają dokładną analizę efektywności środowiskowej w przedsiębiorstwach stalowych.
8. Dokonał wielokryterialnej optymalizacji procesów produkcyjnych pod kątem intensywności energetycznej i pracy, wskazując na rolę ergonomii i efektywności energetycznej jako kluczowych elementów zrównoważonego rozwoju.
9. Wykorzystał metody MCDA w celu identyfikacji strategii wspierających zrównoważony rozwój, takich jak poprawa efektywności operacyjnej przy jednoczesnym ograniczeniu negatywnego wpływu na środowisko.

10. Zrealizował badania nad rolą innowacji i przedsiębiorczości w kontekście zrównoważonego rozwoju, podkreślając znaczenie nowatorskich podejść w procesach decyzyjnych.
11. Przeprowadził analizę porównawczą metod MCDA w selekcji dostawców dowodząc, że różnorodność metod pozwala na elastyczne dopasowanie narzędzi do specyficznych potrzeb przedsiębiorstw, co jest szczególnie istotne w analizach czasowych.

Wszystkie zrealizowane cele badawcze przyczyniły się do pogłębienia wiedzy na temat zastosowania wielokryterialnych metod wspomagania decyzji w zrównoważonym rozwoju przedsiębiorstw przemysłowych. Wyniki pracy dostarczają zarówno ram teoretycznych, jak i praktycznych modeli oraz narzędzi wspierających przedsiębiorstwa w dążeniu do efektywności operacyjnej i środowiskowej, co ma istotne znaczenie dla realizacji globalnych celów zrównoważonego rozwoju.

Powyższe rezultaty potwierdzają, że przyjęte podejście badawcze, bazujące na szczegółowej analizie różnych aspektów zrównoważonego rozwoju, pozwoliło na uzyskanie wartościowych wyników teoretycznych i praktycznych. Wnioski te mogą stanowić podstawę dla dalszych badań i aplikacji w sektorze przemysłowym. Badania przeprowadzone w różnych aspektach zarządzania zrównoważonym rozwojem w przemyśle stalowym oraz analiza zastosowania wielokryterialnych metod wspomagania decyzji (MCDA) wykazały, że możliwe jest efektywne wspieranie procesów decyzyjnych związanych z wyborem dostawców, optymalizacją procesów produkcyjnych oraz zarządzaniem surowcami i odpadami.

BIBLIOGRAFIA

1. Shabbir, M. S., & Wisdom, O. (2020). The relationship between corporate social responsibility, environmental investments and financial performance: evidence from manufacturing companies. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(32), 39946-39957. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10217-0>
2. Méndez-Picazo, M. T., Galindo-Martín, M. A., & Castaño-Martínez, M. S. (2021). Effects of sociocultural and economic factors on social entrepreneurship and sustainable development. *Journal of Innovation & Knowledge*, 6(2), 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2020.06.001>
3. Ranjbari, M., Esfandabadi, Z. S., Zanetti, M. C., Scagnelli, S. D., Siebers, P. O., Aghbashlo, M., ... & Tabatabaei, M. (2021). Three pillars of sustainability in the wake of COVID-19: A systematic review and future research agenda for sustainable development. *Journal of cleaner production*, 297, 126660. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126660>
4. Mies, A., & Gold, S. (2021). Mapping the social dimension of the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128960. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128960>
5. Rehman, A., Ma, H., Ahmad, M., Irfan, M., Traore, O., & Chandio, A. A. (2021). Towards environmental Sustainability: Devolving the influence of carbon dioxide emission to population growth, climate change, Forestry, livestock and crops production in Pakistan. *Ecological indicators*, 125, 107460. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107460>
6. Obradović, T., Vlačić, B., & Dabić, M. (2021). Open innovation in the manufacturing industry: A review and research agenda. *Technovation*, 102, 102221. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102221>
7. Satyro, W. C., de Mesquita Spinola, M., de Almeida, C. M., Giannetti, B. F., Sacomano, J. B., Contador, J. C., & Contador, J. L. (2021). Sustainable industries: Production planning and control as an ally to implement strategy. *Journal of Cleaner Production*, 281, 124781. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124781>
8. Wysocki, J. (2021). Innovative green initiatives in the manufacturing SME sector in Poland. *Sustainability*, 13(4), 2386. <https://doi.org/10.3390/su13042386>
9. Adamowicz, M., & Zwolińska-Ligaj, M. (2020). The “Smart Village” as a way to achieve sustainable development in rural areas of Poland. *Sustainability*, 12(16), 6503. <https://doi.org/10.3390/su12166503>
10. Van Zanten, J. A., & van Tulder, R. (2021). Improving companies' impacts on sustainable development: A nexus approach to the SDGs. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 3703-3720. <https://doi.org/10.1002/bse.2835>
11. Lopez, B. (2020). Connecting business and sustainable development goals in Spain. *Marketing Intelligence & Planning*, 38(5), 573-585. <https://doi.org/10.1108/MIP-08-2018-0367>
12. Izzo, M. F., Ciaburri, M., & Tiscini, R. (2020). The challenge of sustainable development goal reporting: The first evidence from Italian listed companies. *Sustainability*, 12(8), 3494. <https://doi.org/10.3390/su12083494>
13. Pimonenko, T., Bilan, Y., Horák, J., Starchenko, L., & Gajda, W. (2020). Green brand of companies and greenwashing under sustainable development goals. *Sustainability*, 12(4), 1679. <https://doi.org/10.3390/su12041679>
14. Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of cleaner production*, 269, 122263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>
15. Zorpas, A. A. (2020). Strategy development in the framework of waste management. *Science of the total environment*, 716, 137088. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137088>
16. Obaideen, K., Shehata, N., Sayed, E. T., Abdelkareem, M. A., Mahmoud, M. S., & Olabi, A. G. (2022). The role of wastewater treatment in achieving sustainable development goals (SDGs) and sustainability guideline. *Energy Nexus*, 7, 100112. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100112>
17. Chen, M., Sinha, A., Hu, K., & Shah, M. I. (2021). Impact of technological innovation on energy efficiency in industry 4.0 era: Moderation of shadow economy in sustainable development. *Technological Forecasting and Social Change*, 164, 120521. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120521>
18. Popkova, E. G., & Sergi, B. S. (2021). Energy efficiency in leading emerging and developed countries. *Energy*, 221, 119730. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119730>
19. Zhao, L., Chau, K. Y., Tran, T. K., Sadiq, M., Xuyen, N. T. M., & Phan, T. T. H. (2022). Enhancing green economic recovery through green bonds financing and energy efficiency investments. *Economic Analysis and Policy*, 76, 488-501. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.08.019>
20. Dantas, T. E. T., de-Souza, E. D., Destro, I. R., Hammes, G., Rodriguez, C. M. T., & Soares, S. R. (2021). How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable

- Development Goals. Sustainable production and consumption, 26, 213-227. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005>
21. Scoones, I., Stirling, A., Abrol, D., Atela, J., Charli-Joseph, L., Eakin, H., ... & Yang, L. (2020). Transformations to sustainability: combining structural, systemic and enabling approaches. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 42, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.12.004>
 22. Alvino, F., Di Vaio, A., Hassan, R., & Palladino, R. (2021). Intellectual capital and sustainable development: A systematic literature review. *Journal of intellectual capital*, 22(1), 76-94. <https://doi.org/10.1108/JIC-11-2019-0259>
 23. Sousa, M., Almeida, M. F., & Calili, R. (2021). Multiple criteria decision making for the achievement of the UN sustainable development goals: A systematic literature review and a research agenda. *Sustainability*, 13(8), 4129. <https://doi.org/10.3390/su13084129>
 24. 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>
 25. Mecca, B. (2023). Assessing the sustainable development: A review of multi-criteria decision analysis for urban and architectural sustainability. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 30(5-6), 203-218. <https://doi.org/10.1002/mcda.1818>
 26. Kharazishvili, Y., Kwilinski, A., Grishnova, O., & Dzwigol, H. (2020). Social safety of society for developing countries to meet sustainable development standards: Indicators, level, strategic benchmarks (with calculations based on the case study of Ukraine). *Sustainability*, 12(21), 8953. <https://doi.org/10.3390/su12218953>
 27. Van Zanten, J. A., & van Tulder, R. (2021). Analyzing companies' interactions with the Sustainable Development Goals through network analysis: Four corporate sustainability imperatives. *Business Strategy and the Environment*, 30(5), 2396-2420. <https://doi.org/10.1002/bse.2753>
 28. Abbasi, K. R., Hussain, K., Radulescu, M., & Ozturk, I. (2021). Does natural resources depletion and economic growth achieve the carbon neutrality target of the UK? A way forward towards sustainable development. *Resources Policy*, 74, 102341. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102341>
 29. Oppio, A., Caprioli, C., Dell'Ovo, M., & Bottero, M. (2024). Assessing Ecosystem Services through a multimethodological approach based on multicriteria analysis and cost-benefits analysis: A case study in Turin (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 472, 143472. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143472>
 30. Hirsch Hadorn, G. (2022). Which methods are useful to justify public policies? An analysis of cost–benefit analysis, multi-criteria decision analysis, and non-aggregate indicator systems. *Journal for General Philosophy of Science*, 53(2), 123-141. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-009773097>
 31. Henke, I., Carteni, A., & Di Francesco, L. (2020). A sustainable evaluation processes for investments in the transport sector: A combined multi-criteria and cost–benefit analysis for a new highway in Italy. *Sustainability*, 12(23), 9854. <https://doi.org/10.3390/su12239854>
 32. Naradda Gamage, S. K., Ekanayake, E. M. S., Abeyrathne, G. A. K. N. J., Prasanna, R. P. I. R., Jayasundara, J. M. S. B., & Rajapakshe, P. S. K. (2020). A review of global challenges and survival strategies of small and medium enterprises (SMEs). *Economies*, 8(4), 79. <https://doi.org/10.3390/economies8040079>
 33. Ren, S. (2022). Optimization of Enterprise Financial Management and Decision-Making Systems Based on Big Data. *Journal of Mathematics*, 2022(1), 1708506. <https://doi.org/10.1155/2022/1708506>
 34. Rayhan, D. S. A., & Bhuiyan, I. U. (2024). A framework for evaluation of construction and demolition waste management alternatives using MCDA techniques in the context of Dhaka City. *International Journal of Construction Management*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/15623599.2024.2337083>
 35. Zhao, D., Liu, J., Sun, L., Ye, B., Hubacek, K., Feng, K., & Varis, O. (2021). Quantifying economic-social-environmental trade-offs and synergies of water-supply constraints: An application to the capital region of China. *Water research*, 195, 116986. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116986>
 36. Zopounidis, C., Garefalakis, A., Lemonakis, C., & Passas, I. (2020). Environmental, social and corporate governance framework for corporate disclosure: a multicriteria dimension analysis approach. *Management Decision*, 58(11), 2473-2496. <https://doi.org/10.1108/MD-10-2019-1341>
 37. Awasthi, A., Saxena, K. K., & Arun, V. (2020). Sustainability and survivability in manufacturing sector. In *Modern Manufacturing Processes* (pp. 205-219). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819496-6.00011-7>
 38. Sendawula, K., Bagire, V., Mbidde, C. I., & Turyakira, P. (2021). Environmental commitment and environmental sustainability practices of manufacturing small and medium enterprises in Uganda. *Journal of Enterprising Communities: People and Places in the Global Economy*, 15(4), 588-607. <https://doi.org/10.1108/JEC-07-2020-0132>

39. Chen, M., Liu, Q., Huang, S., & Dang, C. (2022). Environmental cost control system of manufacturing enterprises using artificial intelligence based on value chain of circular economy. *Enterprise Information Systems*, 16(8-9), 1856422. <https://doi.org/10.1080/17517575.2020.1856422>
40. Gerami, N., Ghasemi, A., Lotfi, A., Kaigutha, L. G., & Marzband, M. (2021). Energy consumption modeling of production process for industrial factories in a day ahead scheduling with demand response. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 25, 100420. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2020.100420>
41. Yusuf, L. A., Popoola, K., & Musa, H. (2021). A review of energy consumption and minimisation strategies of machine tools in manufacturing process. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(6), 1826-1842. <https://doi.org/10.1080/19397038.2021.1964633>
42. Jain, N., & Singh, A. R. (2020). Sustainable supplier selection under must-be criteria through Fuzzy inference system. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119275>
43. Koul, B., Yakoob, M., & Shah, M. P. (2022). Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*, 206, 112285. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112285>
44. Bhuniya, S., Pareek, S., Sarkar, B., & Sett, B. K. (2020). A smart production process for the optimum energy consumption with maintenance policy under a supply chain management. *Processes*, 9(1), 19. <https://doi.org/10.3390/pr9010019>