

Rozwój zrównoważonych technologii informatycznych w perspektywie czwartej rewolucji przemysłowej

Streszczenie

Artykuł przedstawia obecny stan wiedzy na temat wykorzystania technologii informatycznych we wdrażaniu zasad zrównoważonego rozwoju w kontekście czwartej rewolucji przemysłowej w Polsce. W pracy posłużono się metodą przeglądu literatury akademickiej oraz raportów i publikacji wybranych organizacji branżowych działających w sektorze przemysłu. Przedstawiono charakterystykę niemieckiej koncepcji Przemysłu 4.0 w porównaniu ze zbliżonymi koncepcjami innych państw, a także omówiono pojęcie zrównoważonego rozwoju oraz znaczenie technologii w jego wdrażaniu. Na podstawie analizy literatury naukowej i raportów branżowych wyciągnięto wnioski i zaproponowano rekomendacje.

Słowa kluczowe: Industry 4.0, czwarta rewolucja przemysłowa, cyfryzacja, ICT, zrównoważony rozwój

Abstract

The article presents the current state of knowledge on the use of ICT technologies in implementing the principles of sustainable development in the context of the fourth industrial revolution in Poland. The methods used in this work include reviews of academic literature as well as reports and publications from selected industry organizations. The characteristics of the German concept of Industry 4.0 are presented in comparison with similar concepts from other countries, along with the concept of sustainable development and the importance of technology in implementing sustainable development principles. Based on the analysis of scientific literature and industry reports, conclusions were drawn and recommendations were proposed.

Keywords: Industry 4.0, fourth industrial revolution, digital transformation, ICT, sustainable development

Wstęp

Rewolucją przemysłową określa się okres na przełomie XVII i XIX wieku, który charakteryzował się przejściem z produkcji ręcznej, bądź z produkcji z pomocą zwierząt, do produkcji z użyciem maszyn (Barna, 2021). Wynalezienie maszyny parowej, a następnie jej coraz szersze zastosowanie w fabrykach w Wielkiej Brytanii na zawsze zmieniło sposób wytwarzania dóbr konsumpcyjnych. Pozwoliło na ich wytwarzanie na niespotykaną dotąd skalę, jak również ich dostępność dla coraz większej liczby odbiorców. Kolejne rewolucje przemysłowe miały miejsce na przełomie XIX i XX wieku (przemysł 2.0 – rewolucja technologiczna) wprowadzająca linię produkcji seryjnej oraz pod koniec XX wieku (przemysł 3.0 – rewolucja cyfrowa), która charakteryzowała się zastosowaniem automatyki przemysłowej, sterowników oraz oprogramowania przemysłowego (Barna, 2021; Iwański, Gracel, 2016).

¹ mgr inż., ORCID: 0000-0002-4130-2705, e-mail: patryk.morawiec@edu.uekat.pl

Obecny rozwój technologii oraz metod produkcji stanowi tzw. czwartą rewolucję przemysłową – kolejną odsłonę wykorzystania postępu technologicznego w dziedzinie przemysłu, której główne założenia opierają się na użyciu sieci wykorzystywanej przez urządzenia (Internet rzeczy) oraz wprowadzeniu usług do środowiska produkcyjnego (Kagermann i in., 2013).

Przyjęte przez społeczność międzynarodową w 2015 roku cele zrównoważonego rozwoju zakładają do roku 2030 znaczne zredukowanie ubóstwa, nierówności społecznych, rozwój opieki zdrowotnej i edukacji oraz promowanie dobrobytu osiąganego poprzez wdrażanie zasad zrównoważonego rozwoju (Berawi, 2019). Założenia te stanowią kontynuację przyjętych w 2000 roku Celów Milenijnych ONZ (ang. *MDG – Millenium Development Goals*), które choć nie zostały zrealizowane w pełni, znacząco przyczyniły się do zmiany sytuacji ekonomiczno-społecznej światowej populacji (Grupa Zagranica, 2015; Organizacja Narodów Zjednoczonych, 2015). Od rozwoju technologicznego oczekuje się, że będzie wspierać powyższe cele (Kupilas i in., 2022), a także wspomagać społeczeństwo w działaniach zmierzających do wdrażania zmian natury politycznej i społecznej (Beder, 2000).

Celem publikacji jest przedstawienie i uporządkowanie obecnego stanu wiedzy na temat technologii informatycznych w ramach tzw. czwartej rewolucji przemysłowej wykorzystywanych w celu wspierania zasad zrównoważonego rozwoju.

Metody badawcze zastosowane w artykule obejmują krytyczną analizę literatury pochodzącej głównie z ostatnich 5 lat (tj. lata 2019-2023), jak również analizę raportów i publikacji branżowych dotyczących technologii informatycznych w obszarze zrównoważonego rozwoju i trendów rozwojowych branż we wdrażaniu zasad zrównoważonego rozwoju.

Artykuł zawiera wnioski i rekomendacje dotyczące możliwego wykorzystania technologii informatycznych we wdrażaniu zasad zrównoważonego rozwoju w organizacjach i będzie stanowił przydatny zestaw informacji dla osób odpowiedzialnych za politykę rozwojową w przedsiębiorstwach oraz organizacjach publicznych, ze szczególnym uwzględnieniem polityki społecznej odpowiedzialności oraz środowiskowej.

Zrównoważony rozwój w technologiach informatycznych

Pojęcie zrównoważonego rozwoju (ang. *sustainable development*) po raz pierwszy pojawia się w kontekście międzynarodowym w 1987 roku w pracy Światowej Komisji ds. Środowiska i Rozwoju w raporcie pt. „Nasza wspólna przyszłość”, szerzej znanej jako raport Brundtland od nazwiska przewodniczącej komisji. W pracy Komisji zjawisko to jest wyjaśnione jako rozwój, który zaspokaja potrzeby teraźniejszości w sposób nie umniejszający przyszłym pokoleniom możliwości zaspokojenia ich potrzeb (Światowa Komisja ds. Środowiska i Rozwoju, 1987). Zrównoważony rozwój łączy w sobie dwie kluczowe koncepcje: pojęcie potrzeb rozumianych jako podstawowe potrzeby ubogich, którym należy nadać priorytet nadrzędny oraz pojęcie ograniczeń narzuconych przez stan technologiczny i organizację społeczeństwa dla możliwości środowiska do zaspokajania obecnych

i przyszłych potrzeb (Światowa Komisja ds. Środowiska i Rozwoju, 1987). Po opublikowaniu raportu Brundtland powstało ponad 500 różnych definicji tłumaczących zjawisko zrównoważonego rozwoju, z czego w samej literaturze polskiej ok. 50, co związane jest przede wszystkim ze złożoną naturą pojęcia i jego interdyscyplinarnością (Rutecka, 2023). Braki w definicji komisji dostrzeżono oraz podjęto próby jej doprecyzowania już na początku lat 90. XX wieku, wskazując przede wszystkim na makroekonomiczny wymiar zrównoważonego rozwoju, nie tylko ekologiczno-społeczny (Brooks, 1990).

Choć zjawisko to znane było już znacznie wcześniej, szersze dyskusje na temat zrównoważonego rozwoju zaczęto wprowadzać w różnych dyscyplinach naukowych w latach 90. XX wieku (Wieczorek-Kosmala, 2022).

W kontekście technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) zrównoważony rozwój jest tematem wielu opracowań m.in. Chofreh i in. zaproponowali podejście uwzględniające zasady zrównoważonego rozwoju w projektach wdrożeniowych systemów klasy ERP (Chofreh i in., 2018, 2019). Z kolei Carboni i in. opracowali podręcznik zarządzania projektami w sposób zrównoważony (Carboni i in., 2020), a Larsson i Larsson podkreślili znaczenie współpracy zespołowej dla zarządzania projektem w sposób zrównoważony (Larsson, Larsson, 2020). Dojrzałość zrównoważonych technologii ICT była przedmiotem badań Curry'ego i Donnellana (Curry, Donnellan, 2012). Podejście holistyczne w budowie zrównoważonego społeczeństwa informacyjnego obejmującego aspekty zarówno technologiczne jak i społeczne przedstawiła Ziemba (Ziemba, 2013, 2017).

Przemysł 4.0

Koncepcja czwartej rewolucji przemysłowej jako pierwsza pojawiła się w Niemczech w 2011 roku podczas targów Hannover Messe poświęconych rozwojowi technologii przemysłowych (Nosalska i in., 2019). Niemiecki rząd przedstawił wówczas propozycje rozwiązań opartych na cyfryzacji, automatyzacji oraz adaptacji nowych technologii przeznaczonych głównie dla organizacji globalnych łańcuchów dostaw, jak również przedstawił potencjalne korzyści oraz możliwości wynikające z przyjęcia tych rozwiązań takie jak zwiększenie konkurencyjności na rynku, podniesienie poziomu industrializacji, czy możliwość zindywidualizowania produkcji dla potrzeb klienta (Kagermann i in., 2013). Wizja nazwana Industrie 4.0, w tłumaczeniu Przemysł 4.0 stała się popularna w 2016 roku, gdy podczas konferencji Światowego Forum Ekonomicznego w Davos przyjęto hasło „Mastering the Fourth Industrial Revolution” (Pfeiffer, 2017).

Technologie informacyjno-komunikacyjne w Przemysle 4.0 mają według założeń spełniać rolę integratora procesów realizowanych w skali globalnej przez różnorodnych partnerów (Bielecki, 2022). Założeniem Przemysłu 4.0 jest połączenie w przyszłości przez sieć wszystkich zachodzących w organizacji procesów biznesowych takich jak zaopatrzenie, serwis, produkcja, obsługa klienta (Kagermann i in., 2016).

Z punktu widzenia technicznego najważniejszymi technologiami tzw. aktywatorami czwartej rewolucji przemysłowej są m. in. big data, blockchain, technologie

chmurowe, systemy cyberfizyczne, Internet rzeczy, technologie symulacji (np. cyfrowy bliźniak) oraz sieć 5G (Morawiec, Sołtysik-Piorunkiewicz, 2023).

Według twórców koncepcji, Przemysł 4.0 stanowi również odpowiedź na część problemów, z którymi mierzy się współczesny świat m. in. konieczność zapewnienia efektywności energetycznej ze względu na ograniczenia zasobów, zmiany demograficzne, oraz zanieczyszczenie środowiska (Kagermann i in., 2013), co wpisuje się również w strategię zrównoważonego rozwoju. Znajduje to potwierdzenie również w innych badaniach o charakterze przeglądu literatury np. w przypadku zastosowania wsparcia technologii informatycznych w maszynach produkcyjnych pozwala osiągnąć wysoki poziom efektywności operacyjnej, a z kolei wdrożenie zaawansowanych rozwiązań produkcyjnych (robotyzacja, czujniki), produkcji przyrostowej (druk 3D) oraz chmury obliczeniowej i Internetu rzeczy są w stanie zoptymalizować procesy produkcyjne (Felsberger, Reiner, 2020).

Obok modelu niemieckiego powstały na przestrzeni kolejnych kilku lat również koncepcje alternatywne dla rozwoju technologii w przemyśle pod patronatem rządów innych państw, z których warto wymienić opisane w tabeli 1 modele.

Tabela 1. Alternatywne dla Industry 4.0 koncepcje rozwoju przemysłu w poszczególnych państwach

Nazwa koncepcji	Państwo	Opis
Made in China 2025	Chiny (Chińska Republika Ludowa)	Strategia Komunistycznej Partii Chin opracowana w 2015, mająca na celu utrzymanie dominującej pozycji kraju w produkcji przemysłowej na świecie (<i>Made in China 2025</i> , 2018). Działania obejmują koncentrowanie się na inteligentnej produkcji w kluczowych 10 obszarach gospodarki (Geodecki, 2020) Chin.
Society 5.0	Japonia	Termin określający społeczeństwo przyszłości lub superinteligentne społeczeństwo, wprowadzony w 2016 w Japonii. Charakteryzuje społeczeństwo, które powinno dążyć do osiągnięcia wysokiego stopnia konwergencji pomiędzy światem fizycznym, a cyberprzestrzenią oraz być społeczeństwem antropocentrycznym, które przy wsparciu nauki i technologii jest w stanie przewycięzać problemy społeczne przy jednoczesnym zapewnieniu dalszego rozwoju gospodarki (Dautaj & Rossi, 2022).
Les usines du future (fabryki przyszłości)	Francja	Program zapoczątkowany we wrześniu 2013, mający za zadanie modernizację narzędzi przemysłowych oraz przekształcenie modelu gospodarczego za pomocą technologii cyfrowych jako odpowiedź na główne wyzwania społeczne w erze cyfrowej (<i>Découvrez l'Usine du Futur</i> , 2022).

Made Different	Belgia	Program zainicjowany w 2013 we Flandrii, następnie rozszerzony również o region Walonii. Celem projektu jest zwiększenie poziomu konkurencji przemysłu poprzez wspieranie transformacji cyfrowej procesów produkcyjnych (Europejska Platforma Współpracy Klastrow, 2022).
Smart Industries	Holandia	Inicjatywa opracowana w listopadzie 2014 opierająca się na 3 filarach. Projekt ma na celu zwiększenie produkcji przemysłowej oraz wzmocnienie pozycji holenderskiego sektora przemysłu (The Netherlands: Smart Industry, 2017).

Źródło: opracowanie własne.

Część autorów zwraca również uwagę na zmiany zachodzące w strukturze społecznej na poziomie zatrudnienia obejmujące zarówno procesy podejmowania decyzji, sposoby zarządzania organizacjami, zmiany w relacjach pomiędzy pracodawcą i pracownikami (Vadie & Lipták, 2023).

W Polsce, w sektorze przemysłowym obserwowana jest stopniowa adaptacja niemieckiej koncepcji Przemysłu 4.0 wspierana przez Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii, poprzez powołaną do tego celu fundację Platforma Przemysłu Przyszłości (Kampa, 2021). Mimo braku własnej, spójnej ogólnonarodowej strategii cyfryzacji przemysłu, istnieją również programy realizowane przez Ministerstwo Cyfryzacji (program Przemysł+) oraz Agencję Rozwoju Przemysłu (program Czysty Przemysł). Pierwszy z programów zakłada rozwój gospodarki cyfrowej w Polsce w oparciu o dane i rozwijanie dziedzin związanych z ich zbieraniem, przetwarzaniem i analizą np. budową centrów danych, rozwiązań zaawansowanej analityki danych i sztucznej inteligencji (*Gospodarka Oparta o Dane – Przemysł +*, 2018). Drugi program zakłada skupienie się na rozwoju obszarów związanych ze środowiskiem i docelowo osiągnięcie pozycji lidera w trzech obszarach strategicznych gospodarki: produkcji wodoru i morskiej energetyce wiatrowej, tworzeniu specjalnych stref ekonomicznych i parków przemysłowych oraz finansowaniu inwestycji przedsiębiorstw (*Strategia Czysty Przemysł – Agencja Rozwoju Przemysłu S.A.*).

Charakterystyka polskiego sektora przemysłowego

Przemysł stanowi jeden z trzech sektorów gospodarki narodowej obok sektora rolnictwa (obejmującego zasięgiem również rybołówstwo, leśnictwo i łowiectwo) zajmującego się wytwarzaniem płodów rolnych, chowem zwierząt jak również wstępną obróbką tych produktów, a także obok sektora usług odpowiadającego za dostarczanie produktów w formie usługi (świadczeń) dla odbiorców indywidualnych i instytucjonalnych nie mającego charakteru produkcyjnego (Kaliński).

Według danych Głównego Urzędu Statystycznego wartość produkcji sprzedanej ogółem wyrobów własnych producentów klasyfikowana w sekcjach „produkty górnictwa i wydobywania” oraz „produkty przetwórstwa przemysłowego” wynio-

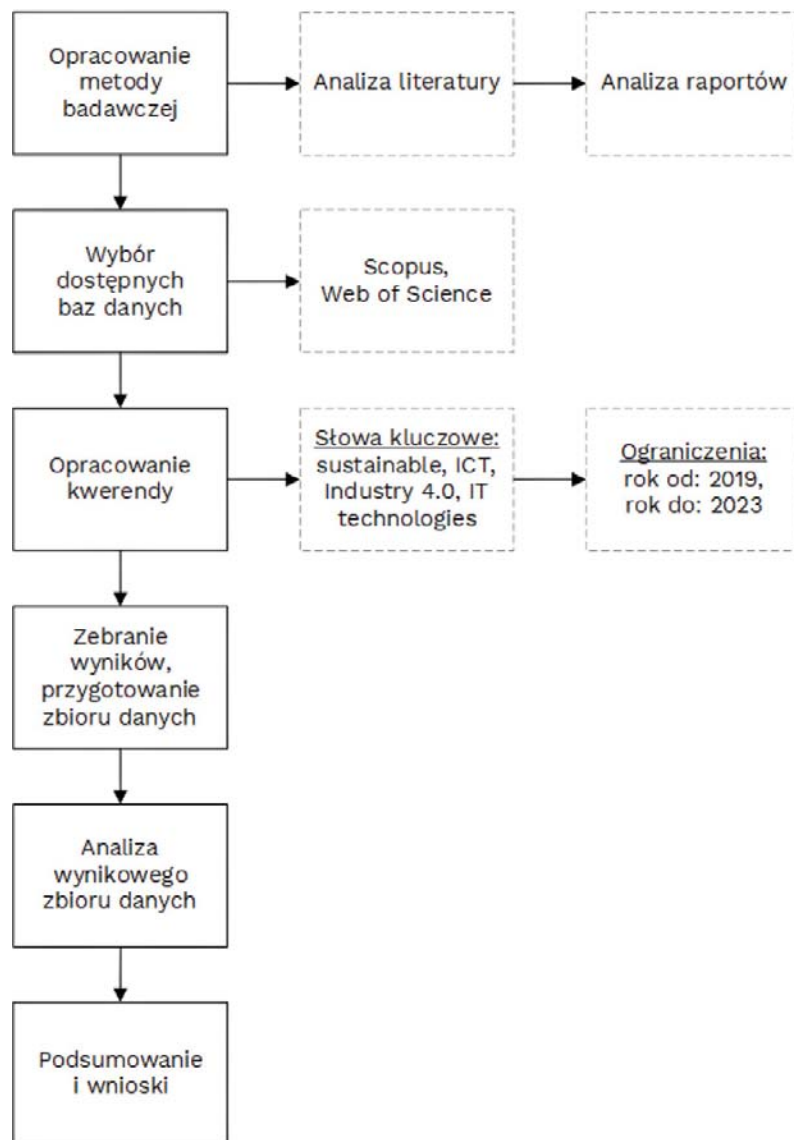
sła 1 872 484,8 mln PLN i była wyższa o 30,4% w stosunku do roku poprzedniego (Walkowska i in., 2023).

Sam przemysł – w sposób ogólny można zdefiniować jest jako sektor gospodarki obejmujący produkcję materialną – czyli wydobywanie zasobów przyrody i ich przetwarzanie na dobra konsumpcyjne i środki produkcji przy użyciu maszyn i zastosowaniu podziału pracy na masową skalę (Kaliński). Wyróżnia się również wiele innych definicji dotyczących bardziej szczegółowej klasyfikacji konkretnych typów przemysłu np. przemysłu wydobywczego offshore rozumianego jako działalność gospodarczą oferującą rozwiązania produkcyjne związane z wydobywaniem surowców oraz pozyskiwaniem energii odnawialnej na morzu (Czapliński, 2015).

Problematyczne, z kolei może stać się sklasyfikowanie nowego rodzaju produktów takich jak oprogramowanie, czy dobra cyfrowe bądź produkty NFT (nie-wymienialny token) z jednej strony będące produktem, z drugiej strony jednak sposób ich wytworzenia ma więcej wspólnego z realizacją usługi i nie powstaje w wyniku fizyczny obiekt. Jak wskazuje Gierańczyk część produkcji przemysłowej, takiej która nie jest związana z przetwarzaniem materialnego substratu podlega „usługowieniu”, np. w formie zlecenia części zadań podwykonawcom, których efektem jest powstanie produktu bądź usługi w formie elektronicznej (tzw. outtasking) (Gierańczyk, 2008).

Materiał i metody

W badaniu posłużono się metodami krytycznej analizy literatury oraz ogólnodostępnych źródeł statystycznych. Schemat metodyki badawczej przedstawiono na rysunku 1. Analizowaną literaturę stanowią pozycje literaturowe z okresu ostatnich 5 lat, tj. 2019-2023. Źródła literaturowe zostały znalezione przy pomocy kwerendy do baz danych Scopus i Web of Science. Wnioski z przeprowadzonej analizy przedstawiono w tabeli 2. Ponadto posłużono się źródłami branżowymi z dziedziny szeroko pojętego przemysłu. Przeanalizowano raporty organizacji zrzeszających różne gałęzie przemysłu pod kątem zastosowania zrównoważonych technologii informatycznych oraz czwartej rewolucji przemysłowej. Wykaz organizacji wraz z przeanalizowanymi raportami oraz płynącymi z nich wnioskami przedstawiono w tabeli 3.



Rysunek 1. Schemat przyjętej metodyki badawczej

Źródło: opracowanie własne.

Analiza literatury objęła zapytania do 2 baz danych: Scopus oraz Web of Science według następującej kwerendy zapytań do obu baz:

- sustainable AND ict AND industry 4.0

Spośród znalezionych 196 wyników wyszukiwania, ograniczeniu do 154 artykułów w zadanym przedziale czasowym i usunięciu 62 duplikatów, do dalszej analizy wybrano 92 źródła, które następnie selektywnie zostały wybrane na podstawie spełnionych kryteriów tematycznych – zgodność z tematyką przemysłu 4.0, obszar zrównoważonego rozwoju, wykorzystanie technologii ICT według tytułu oraz słów kluczowych. Wybrane artykuły dotyczyły głównie zarządzania produkcją w sposób zrównoważony, wdrażaniu zasad zrównoważonego rozwoju w zarządzaniu projektami oraz znaczenia edukacji i współpracy zespołowej.

Tabela 2. Analiza literatury dotyczącej wykorzystania technologii ICT, przemysłu 4.0 oraz zrównoważonego rozwoju

Źródło	Problematyka
(Chofreh i in., 2019)	Postulat wykorzystania zasad zrównoważonego rozwoju we wdrażaniu technologii ICT – systemów klasy ERP.
(Bildirici, Ersin, 2023)	Zbadanie powiązań pomiędzy przemysłem 4.0 a zrównoważonym rozwojem w kontekście wpływu technologii przemysłu 4.0 na poziom emisji CO ₂ .
(Larsson, Larsson, 2020)	Znaczenie pracy zespołowej w zarządzaniu projektami w zrównoważony sposób.
(Murmura, Bravi, 2021)	Wykorzystanie technologii ICT w modelu inteligentnej pracy i jego postrzeganie przez użytkowników w kontekście korzyści finansowych i środowiskowych.
(Thiede, 2021)	Wsparcie zrównoważonej produkcji z wykorzystaniem technologii ICT i przemysłu 4.0.
(Kupilas i in., 2022)	Budowa modelu dojrzałości cyfrowej organizacji badawczo-rozwojowych z uwzględnieniem zrównoważonego rozwoju.
(Nhamo i in., 2020)	Badanie gotowości wdrożenia przemysłu 4.0 dla potrzeb realizacji celów zrównoważonego rozwoju ONZ przez poszczególne państwa.

Źródło: opracowanie własne.

Raporty branżowe zostały znalezione na stronach internetowych wybranych organizacji branżowych zajmujących się produkcją przemysłową. W wyszukiwarce umieszczonej na stronach organizacji (jeśli była dostępna) wpisano słowa „raport”, „cyfryzacja”, „Przemysł 4.0” w celu znalezienia artykułów lub publikacji poświęconych zagadnieniom transformacji cyfrowej, wdrażania technologii przemysłu 4.0, a także przeszukano ww. strony pod kątem publikacji poświęconym zrównoważonemu rozwojowi.

Tabela 3. Raporty branżowe dotyczące zrównoważonego rozwoju oraz cyfryzacji przemysłu w Polsce

Organizacja	Źródło/a	Wnioski
Polska Izba Przemysłu Chemicznego	(Biuletyn Projektu Chemia 4.0, 2022)	Problemy z pozyskaniem środków na wkład własny stanowią główny problemem dla inwestycji w rozwiązania cyfrowe na liniach produkcyjnych.
Polska Organizacja Przemysłu i Handlu Naftowego	(Przemysł i Handel Naftowy 2022, 2023) (Raport: Zielony transport. Stan obecny i perspektywy)	Konieczność utrzymania obecnej polityki „Zielonego Ładu” w Unii Europejskiej dla celów walki z globalnym ociepleniem jak również zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego państw członkowskich w związku z wojną rosyjsko-ukraińską. Wskazanie na możliwości wykorzystania akumulatorów samochodów elektrycznych jako magazynów energii.
Polska Izba Gospodarki Odpadami	(Patronat: 14. Konferencja „Recykling zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego”, 9-10 maja 2019 r., Warszawa, Hotel Airport Okęcie, 2019)	Izba objęła patronatem organizację konferencji pt. „Recykling zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego” w 2019.
Polski Związek Pracodawców Przemysłu Farmaceutycznego – Krajowi Producenci Leków	(Żakowiecki)	Wskazanie na konieczność współpracy administracji państwowej z branżą farmaceutyczną w celu realizacji „Strategii na rzecz odpowiedzialnego rozwoju”. Celem tej strategii jest zwiększenie udziału przemysłu w gospodarce poprzez poprawę warunków jego funkcjonowania, wykorzystanie potencjału akademickiego w rozwoju gospodarki oraz oparcie o zasady zrównoważonego rozwoju.
Stowarzyszenie Dystrybutorów i Producentów Części Motoryzacyjnych	(Misierewicz, 2023a, 2023b)	Niewielki spadek emisji dwutlenku węgla w działalności firm – producentów części motoryzacyjnych. Konieczność zapewnienia utrzymania spadkowej tendencji w celu osiągnięcia założeń polityki „Zielonego Ładu”, co będzie możliwe tylko w przypadku zwiększenia dochodów przedsiębiorstw i wydatków na inwestycje w zielone technologie. Zmiana rozporządzenia o emisji CO ₂ z kolei wyklucza użycie niektórych technologii mogących pomóc w przyspieszeniu dekarbonizacji oraz paliw neutralnych pod względem emisji CO ₂ .
Polska Federacja Producentów Żywności Związek Pracodawców	(Kubalski, Szczudlik, 2023)	Wskazanie konieczności zapewnienia dbałości o cyberbezpieczeństwo w sektorze przemysłu żywnościowego ze względu na częstsze występowanie ataków na systemy automatyki przemysłowej.
Stowarzyszenie Producentów Cementu	(Mierzwiński i in., 2021)	Raport koncentruje się na zastosowaniu technologii ukierunkowanych na ochronę środowiska. Wskazuje ponadto rolę branży cementowej w ochronie środowiska ze względu na zużywanie znacznych ilości materiałów odpadowych pochodzących z innych branż we własnych procesach produkcyjnych.

Źródło: opracowanie własne.

Ponadto, oprócz organizacji zajmujących się branżami przemysłowymi, dostępny jest również raport Polskiej Organizacji Handlu i Dystrybucji, z którego wnioski dotyczą rozwoju sklepów nowej generacji (wykorzystujących np. kasy samoobsługowe i mobilne) oraz nowych strategii handlowych (omnichannel, e-commerce, sklepy autonomiczne), współpracy ze start-upami oraz wykorzystania technologii również w pozostałych obszarach działalności sklepu (logistyka, relacje z klientami oraz dostawcami, zarządzanie) (Polska Organizacja Handlu i Dystrybucji, 2022).

Podsumowanie i wnioski

Sektor produkcji przemysłowej mimo wielu przeobrażeń na przestrzeni lat nadal pełni istotną rolę w funkcjonowaniu gospodarki narodowej. Wdrażane w wielu krajach rozwiniętych strategie cyfryzacji przemysłu zarówno oryginalne jak i odwołujące się w mniejszym bądź większym stopniu do koncepcji Przemysłu 4.0 zakładają powstawanie fabryk przyszłości, które wykorzystując zaawansowane technologie będą w stanie nie tylko zwiększyć konkurencyjność własną oraz kraju, w którym działają, ale również będą w stanie sprostać wielu oczekiwaniom i problemom współczesnego świata. Do problemów tych należą niewątpliwie zmiany klimatyczne, zanieczyszczenie środowiska naturalnego, zmiany demograficzne społeczeństw i ograniczone zasoby naturalne. Oczekiwania natomiast związane są z działalnością na rzecz przeciwdziałaniu tym niekorzystnym zjawiskom zarówno legislacyjne, jak również na poziomie społecznej odpowiedzialności przedsiębiorstw.

Zarówno źródła literaturowe jak i raporty organizacji branżowych są zgodne w kwestii konieczności inwestycji w technologie informatyczne, jak również inne technologie prowadzące do zmniejszenia kosztów, ograniczenia lub wyeliminowania strat w produkcji przemysłowej, co wpisuje się w strategię polityczne (Europejski Zielony Ład, Agenda 2030) dążące do wprowadzenia zasad zrównoważonego rozwoju.

Krajowe organizacje branżowe sektora produkcji przemysłowej najczęściej jako problemy wskazują na niskie inwestycje przedsiębiorstw związane z nowymi technologiami ze względów finansowych, a także wiele regulacji administracyjnych, w których dochodzi do częstych zmian. Często wskazują również na konieczność kontynuowania europejskiej polityki Zielonego Ładu, dostrzegają możliwości poprawy konkurencyjności gospodarki poprzez inwestycje w technologie oraz wdrażanie zasad zrównoważonego rozwoju. Część wskazuje na konieczność pogłębienia współpracy ze środowiskami akademickimi oraz administracją państwową w zakresie wsparcia konkretnych działań rozwojowych. Niektóre organizacje wskazują również wprost rozwiązania oraz rekomendacje, które należy wdrożyć np. dbałość o cyberbezpieczeństwo, zastosowanie technologii zeroemisyjnych w niektórych branżach lub możliwość wykorzystania odpadów jednych branż jako surowca w innych branżach.

Rekomendacją wynikającą z analiz jest utworzenie spójnego, ogólnokrajowego planu adaptacji technologii cyfrowych do sektora produkcji przemysłowej. Koncepcja przemysłu 4.0 staje się jednak już nieco mało aktualna. Ze względu na dy-

namiczny rozwój sztucznej inteligencji oraz stale zwiększający się udział danych w każdym etapie życia, strategia ta powinna bardziej skupić się na rozwoju w nowym kierunku Przemysłu 5.0 – zbliżającej się kolejnej odsłony rewolucji przemysłowej, w której kluczową rolę odgrywa zrównoważony rozwój oraz skupienie się na kwestiach społecznych (Industry 5.0, 2022).

Przeglądowy charakter oraz skupienie się na przemyśle 4.0 stanowią pewne ograniczenia artykułu. Dalsze badania nad tematyką wsparcia technologicznego w osiągnięciu celów zrównoważonego rozwoju powinny skupiać się na analizie przykładów działań w tym zakresie. Przydatne również będą badania stanowiące pełny, systematyczny przegląd literaturowy wykorzystujące metodę systematycznego mapowania.

Literatura

Artykuły i pozycje książkowe

- 1) Barna, L. E. L. (2021). *The Impact of Digitalization and Industry 4.0 on Business. ERP Systems can be a Solution for Business?* W: A. Dima (red.), *Resilience and Economic Intelligence Through Digitalization and Big Data Analytics*, (98-105). <https://doi.org/10.2478/9788366675704-011>.
- 2) Berawi, M. A. (2019). The Role of Industry 4.0 in Achieving Sustainable Development Goals. *International Journal of Technology*, 10(4), 644-647. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i4.3341>.
- 3) Bielecki, M. (2022). *Total logistic management: Logistyka i łańcuchy dostaw 4.0*. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego. <https://doi.org/10.18778/8220-954-9>.
- 4) Bildirici, M., Ersin, Ö. Ö. (2023). Nexus between Industry 4.0 and environmental sustainability: A Fourier panel bootstrap cointegration and causality analysis. *Journal of Cleaner Production*, 386, 135786. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135786>.
- 5) Brooks, D. (1990). Beyond catch phrases: What does sustainable development really mean? *Quarterly Bulletin of IAALD*, 36(4), 235-236.
- 6) Carboni, J., Duncan, W. R., Gonzalez, M., Milsom, P., Young, M. (2020). *Zrównoważone zarządzanie projektami: Podręcznik GPM*. pm2pm.
- 7) Chofreh, A. G., Goni, F. A., Klemeš, J. J. (2018). Sustainable enterprise resource planning systems implementation: A framework development. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1345-1354. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.096>.
- 8) Chofreh, A. G., Goni, F. A., Malik, M. N., Khan, H. H., Klemeš, J. J. (2019). Evaluation of the sustainable enterprise resource planning implementation steps. *Chemical Engineering Transactions*, 72, 445-450. <https://doi.org/10.3303/CET1972075>.
- 9) Curry, E., Donnellan, B. (2012). Understanding the Maturity of Sustainable ICT. W: J. Vom Brocke, S. Seidel, J. Recker (red.), *Green Business Process Management* (203-216). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27488-6_12.

- 10) Czapliński, P. (2015). Przemysł offshore w Polsce – próba definicji, stan i możliwości rozwoju. *Studies of the Industrial Geography Commission of the Polish Geographical Society*, 29(4), 103-111. <https://doi.org/10.24917/20801653.294.7>.
- 11) Dautaj, M., Rossi, M. (2022). Towards a New Society: Solving the Dilemma Between Society 5.0 and Industry 5.0. W O. Canciglieri Junior, F. Noël, L. Rivest, A. Bouras (Red.), *Product Lifecycle Management. Green and Blue Technologies to Support Smart and Sustainable Organizations* (T. 639, 523-536). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94335-6_37.
- 12) Felsberger, A., Reiner, G. (2020). Sustainable Industry 4.0 in Production and Operations Management: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 12(19), 7982. <https://doi.org/10.3390/su12197982>.
- 13) Gierańczyk, W. (2008). Badanie struktur przemysłowych w Polsce w dobie globalizacji ze szczególnym uwzględnieniem struktury przestrzennej. *Prace Komisji Geografii Przemysłu*, 11, 26-39. <https://doi.org/10.24917/20801653.11.2>.
- 14) Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Securing the future of German manufacturing industry Final report of the Industrie 4.0 Working Group*.
- 15) Kampa, A. (2021). Przemysł 4.0 – Geneza. W M. Fidali (red.), *Przewodnik po technologiach przemysłu 4.0: Praca zbiorowa*. Elamed Media Group.
- 16) Kupilas, K. J., Rodriguez Montequin, V., Diaz Piloneta, M., Alonso Alvarez, C. (2022). Sustainability and digitalisation: Using Means-End Chain Theory to determine the key elements of the digital maturity model for research and development organisations with the aspect of sustainability. *Advances in Production Engineering & Management*, 17(2), 152-168. <https://doi.org/10.14743/apem2022.2.427>.
- 17) Larsson, J., Larsson, L. (2020). Integration, Application and Importance of Collaboration in Sustainable Project Management. *Sustainability*, 12(2), 585. <https://doi.org/10.3390/su12020585>.
- 18) Mierzwiński, A., Mierzwiński, M., Tomaszewski, K., Obłąkowska, K., Moskwik, K. (2021). *Przemysł cementowy w gospodarce odpadami*. Kraków: Instytut Jagielloński.
- 19) Morawiec, P., Sołtysik-Piorunkiewicz, A. (2023). ERP System Development for Business Agility in Industry 4.0 – A Literature Review Based on the TOE Framework. *Sustainability*, 15(5), 4646. <https://doi.org/10.3390/su15054646>.
- 20) Murmura, F., Bravi, L. (2021). Digitization and Sustainability: Smart Working as an ICT Tool to Improve the Sustainable Performance of Companies During the Covid-19 Pandemic. W V. Kumar, J. Rezaei, V. Akberdina, E. Kuzmin (red.), *Digital Transformation in Industry* (T. 44, 97-108). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73261-5_10.
- 21) Nhamo, G., Nhemachena, C., Nhamo, S. (2020). Using ICT indicators to measure readiness of countries to implement Industry 4.0 and the SDGs. *Environmental Economics and Policy Studies*, 22(2), 315-337. <https://doi.org/10.1007/s10018-019-00259-1>.
- 22) Nosalska, K., Piątek, Z. M., Mazurek, G., Rządca, R. (2019). Industry 4.0: Coherent definition framework with technological and organizational interdependencies.

- Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 837-862. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0238>.
- 23) Organizacja Narodów Zjednoczonych. (2015). *The Millennium Development Goals Report 2015*. Organizacja Narodów Zjednoczonych.
 - 24) Pfeiffer, S. (2017). The Vision of “Industrie 4.0” in the Making – A Case of Future Told, Tamed, and Traded. *NanoEthics*, 11(1), 107–121. <https://doi.org/10.1007/s11569-016-0280-3>.
 - 25) Światowa Komisja ds. Środowiska i Rozwoju. (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press.
 - 26) *The Netherlands: Smart Industry* (Digital Transformation Monitor). (2017). Komisja Europejska.
 - 27) Thiede, S. (2021). Digital technologies, methods and tools towards sustainable manufacturing: Does Industry 4.0 support to reach environmental targets? *Procedia CIRP*, 98, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.02.001>.
 - 28) Vadie, A. S., Lipták, K. (2023). Przemysł 4.0: Nowe wyzwania dla rynku pracy i warunków pracy na skutek pojawienia się robotów i automatyzacji. *Studia Ekonomiczne i Regionalne*, 16(3), 434–445.
 - 29) Wieczorek-Kosmala, M. (2022). Welcome to the journal “Studies in Risk and Sustainable Development”! *Studies in Risk and Sustainable Development*, 396, 1-2. <https://doi.org/10.22367/srsd.2022.396.1>.
 - 30) Ziemba, E. (2013). Ku zrównoważonemu społeczeństwu informacyjnemu. *Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych*, 29, 401-425.
 - 31) Ziemba, E. (2017). *Zrównoważone społeczeństwo informacyjne*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach.

Źródła internetowe

- 1) Beder, S. (2000). The Role of Technology in Sustainable Development. *University of Wollongong Research Online*, 1-10. Pobrane z: <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1049&context=artspapers> (dostęp: 05.07.2024).
- 2) *Biuletyn Projektu Chemia 4.0* (2/2022, 25). (2022). Polska Izba Przemysłu Chemicznego. Pobrane z: https://pipc.org.pl/wp-content/uploads/2022/10/Biuletyn-Chemia-4.0-2_2022.pdf (dostęp: 05.07.2024).
- 3) *Découvrez l'Usine du Futur*. (2022). Usine du Futur. Pobrane z: <https://www.usinefutur.fr/decouvrez-lusine-du-futur/> (dostęp: 05.07.2024).
- 4) Europejska Platforma Współpracy Klastrow. (2022). *Made Different*. Pobrane z: <https://clustercollaboration.eu/content/made-different> (dostęp: 05.07.2024).
- 5) Geodecki, T. (2020). Nowoczesny przemysł jako pole walki o samodzielność technologiczną; Przypadek strategii Made in China 2025. *REV4.0*. Pobrane z: <https://rev4.uek.krakow.pl/blog/nowoczesny-przemysl-jako-pole-walki-o-samodzielnosc-technologiczna-wpis-blog/> (dostęp: 05.07.2024).

- 6) *Gospodarka Oparta o Dane – Przemysł +*. (2018). Ministerstwo Cyfryzacji. Pobrane z: <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/gospodarka-oparta-o-dane-przemysl-> (dostęp: 05.07.2024).
- 7) Grupa Zagranica. (2015). *Raport z realizacji Milenijnych Celów Rozwoju – przegląd postępów i braków*. Grupa Zagranica. Pobrane z: http://globalnepoludnie.pl/IMG/pdf/realizacja_mdg_-_przeglad.pdf (dostęp: 05.07.2024).
- 8) Kagermann, H., Anderl, R., Gausemeier, J., Schuh, G., Wahlster, W. (2016). *Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners (acatech STUDY)*. Herbert Utz Verlag. Pobrane z: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2016/11/acatech_eng_STUDIE_Industrie40_global_Web.pdf (dostęp: 05.07.2024).
- 9) *Industry 5.0*. (2022). Pobrane z: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en (dostęp: 05.07.2024).
- 10) Iwański, T., Gracel, J. (2016). *Przemysł 4.0. Rewolucja już tu jest. Co o niej wiesz?* Astor. Pobrane z: https://www.astor.com.pl/images/Industry_4-0_Przemysl_4-0/ASTOR_przemysl4_whitepaper.pdf (dostęp: 05.07.2024).
- 11) Kaliński, K. *Kryteria podziału i funkcje przemysłu*. Zintegrowana Platforma Edukacyjna Ministerstwa Edukacji Narodowej. Pobrane z: <https://zpe.gov.pl/pdf/PctKRTWvu> (dostęp: 05.07.2024).
- 12) Kubalski, J., Szczudlik, K. (2023, październik 11). *Cyberprzestępczość w sektorze żywnościowym*. Pobrane z: https://www.pfpz.pl/nawosci/?id_news=9183&lang_id=1#q (dostęp: 05.07.2024).
- 13) *Made in China 2025*. (2018). Institute for Security & Development Policy. Pobrane z: <https://isdpeu.org/content/uploads/2018/06/Made-in-China-Background.pdf> (dostęp: 05.07.2024).
- 14) Misierewicz, P. (2023a, październik 31). *Dekarbonizacja transportu ciężkiego: Niewiele opcji na stole – SDCM*. Pobrane z: <https://www.sdcm.pl/dekarbonizacja-transportu-ciezkiego-niewiele-opcji-na-stole/> (dostęp: 05.07.2024).
- 15) Misierewicz, P. (2023b, listopad 2). *Przemysł inwestuje w zielone innowacje, ale utrzymanie tempa inwestycji nie będzie łatwe – SDCM*. Pobrane z: <https://www.sdcm.pl/przemysl-inwestuje-w-zielone-innowacje-ale-utrzymanie-tempa-inwestycji-nie-bedzie-latwe/> (dostęp: 05.07.2024).
- 16) *Patronat: 14. Konferencja „Recykling zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego”, 9-10 maja 2019 r., Warszawa, Hotel Airport Okęcie*. (2019). Pobrane z: https://pigo.org.pl/?ai1ec_event=patronat-14-konferencja-recykling-zuzytego-sprzetu-elektrycznego-elektronicznego-9-10-maja-2019-r-warszawa-hotel-airport-okecie (dostęp: 05.07.2024).
- 17) Polska Organizacja Handlu i Dystrybucji. (2022). *Raport CSR*. Polska Organizacja Handlu i Dystrybucji. Pobrane z: http://pohid.pl/wp-content/uploads/Unorganized/POHID-RAPORT_CSR.pdf (dostęp: 05.07.2024).

- 18) *Przemysł i Handel Naftowy 2022*. (2023). Polska Organizacja Przemysłu i Handlu Naftowego. Pobrane z: <https://popihn.pl/wp-content/uploads/2023/03/RAPORT-ZA-ROK-2022.pdf> (dostęp: 05.07.2024).
- 19) *Raport Zielony Transport – Stan obecny i perspektywy*. Bridge Sp. z o.o. Pobrane z: <https://popihn.pl/wp-content/uploads/2022/11/Raport-Zielony-Transport.pdf> (dostęp: 05.07.2024).
- 20) Rutecka, P. (2023). *Zrównoważony rozwój polskich przedsiębiorstw agroturystycznych* [Rozprawa doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach]. Pobrane z: https://bip.ue.katowice.pl/fileadmin/user_upload/jednostki/komitety-naukowe/doktoraty/rutecka/Rozprawa-doktorska-Paulina-Rutecka.pdf (dostęp: 05.07.2024).
- 21) *Strategia Czysty Przemysł – Agencja Rozwoju Przemysłu S.A.* Pobrane z: <https://arp.pl/pl/o-arp/strategia/> (dostęp: 05.07.2024).
- 22) Walkowska, K., Fidrych, E., Górecki, A., Hodzyńska, M., Korfanty-Rusiniak, K., Kruk, A., Marczak, A., Pazik, A., Szewczuk, K., Tumiłowicz, J. (2023). *Produkcja wyrobów przemysłowych w 2022 r.* Główny Urząd Statystyczny. Pobrane z: https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5477/3/20/1/produkcja_wazniejszych_wyrobow_przemyslowych_w_2022_r.pdf (dostęp: 05.07.2024).
- 23) Żakowiecki, P. (2016). *Zdrowy przemysł. Reindustrializacja krajowej branży farmaceutycznej*. Warszawa: Polityka Insight. Pobrane z: <https://producenci-lekow.pl/raporty/> (dostęp: 05.07.2024).