



Politechnika Warszawska
Filia w Płocku



**Kolegium Nauk Ekonomicznych
i Społecznych w Płocku**
Politechnika Warszawska

Politechnika Warszawska
Kolegium Nauk Ekonomicznych i Społecznych

Przedsiębiorstwa w gospodarce cyfrowej

Redakcja naukowa

Marlena Piekut

Wioletta Pomaranik



SPONSOR

Płock 2025

Przedsiębiorstwa w gospodarce cyfrowej **Enterprises in the digital economy**

Redakcja naukowa

dr hab. inż. Marlena Piekut, prof. PW
Kolegium Nauk Ekonomicznych i Społecznych, Politechnika Warszawska
dr Wioletta Pomaranik
Kolegium Nauk Ekonomicznych i Społecznych, Politechnika Warszawska

Recenzenci

dr hab. Aneta Ejsmont
Kolegium Nauk Ekonomicznych i Społecznych, Politechnika Warszawska
dr hab. Magdalena Majchrzak, prof. PW
Kolegium Nauk Ekonomicznych i Społecznych, Politechnika Warszawska
dr hab. n. prawn. Jolanta Pacian, prof. UM
Pracownia Prawa Medycznego i Farmaceutycznego Uniwersytet Medyczny
w Lublinie

ISBN 978-83-973400-2-2

Afiliacja

Politechnika Warszawska, Kolegium Nauk Ekonomicznych
i Społecznych, 09-400 Płock, ul. Łukasiewicza 17

Projekt okładki: mgr Monika Rutkowska-Ryciak

PATRON HONOROWY:



Samorząd Województwa Mazowieckiego
Współorganizator przedsięwzięcia naukowego



Marszałek
Województwa
Mazowieckiego

Sponsorzy



blisspoint.space

Odpowiedzialność za treść poszczególnych rozdziałów ponoszą ich autorzy.
Redaktorzy naukowi nie odpowiadają za ewentualne naruszenia praw autorskich ani niezetelność
bibliograficzną zawartą w tekstach nadesłanych przez autorów.

© Copyright by Politechnika Warszawska,
Kolegium Nauk Ekonomicznych i Społecznych w Płocku
Płock 2025

<http://www.pw.plock.pl/>

SPIS TREŚCI

Wstęp	5
--------------------	---

Część I.

Cyfrowa transformacja przedsiębiorstw

Rozdział I. Technologie ICT - wyzwania i szanse cyfrowej transformacji polskich firm (<i>Burżacka Monika, Stępnia-Kucharska Anna</i>)	8
--	---

Rozdział II. Zmiany w wykorzystaniu sztucznej inteligencji przez MŚP w Europie: dane z lat 2021– 2024 (<i>Wojciech Nowakowski</i>)	25
---	----

Rozdział III. Technologie Przemysłu 4.0 i systemy zarządzania w polskich przedsiębiorstwach: Analiza trendów wdrożeniowych na przykładzie Bydgoskiego Klastra Przemysłowego Doliny Narzędziowej (<i>Anna Tatarczak, Piotr Wojciechowski</i>)	40
---	----

Rozdział IV. Systemowa integracja LCA w zarządzaniu projektami architektonicznymi – od modeli klasycznych po podejścia zrównoważone (<i>Dawid Wilhelm Wirth</i>)	52
---	----

Część II.

Finanse i nowe technologie

Rozdział V. Ekonomiczne i prawne wyzwania w bankowości w dobie cyfryzacji (<i>Kamila Wojciechowska-Łapszo</i>)	70
---	----

Rozdział VI. Sztuczna inteligencja w finansach: zastosowania, wyzwania i perspektywy (<i>Anna Stępnia-Kucharska, Katarzyna Osiecka-Sajnog</i>)	79
---	----

Rozdział VII. E-księgowość: Trend czy obowiązek w nowoczesnym zarządzaniu finansami? (<i>Monika Burżacka</i>)	93
--	----

Rozdział VIII. Zmienność notowań giełdowych spółek technologicznych w państwach z grupy G8 oraz Polski w latach 2021-2025 (<i>Emil Zelma</i>)	108
--	-----

Część III.

Kapitał ludzki w gospodarce cyfrowej

Rozdział IX. Sztuczna inteligencja w procesie selekcji talentów: korzyści, ograniczenia i wyzwania dla współczesnych organizacji (*Liliana Hawrysz*)..... 123

Rozdział X. Sztuczna inteligencja w procesie rekrutacji i selekcji kandydatów do pracy (*Małgorzata Schulz*) 134

Część IV.

Marketing i zachowania konsumenckie

Rozdział XI. Ewolucja trendów marketingowych w mediach społecznościowych na przykładzie platformy Instagram (Meta) (*Krzysztof Buczkowski*) 148

Rozdział XII. Miarodajność wykrywania polaryzacji w danych tekstowych (*Michał Gulewicz*) 158

Rozdział XIII. Rola innowacyjnych technologii cyfrowych w ograniczaniu strat żywności. Wyzwania projektu FoodConscious (*Agnieszka Tul-Krzyszczuk, Edyta Skarzyńska, Beata Bilśka, Marzena Tomaszewska, Olena Kulykovets*) 173

WSTĘP

Cyfryzacja stała się jednym z kluczowych czynników kształtujących współczesną gospodarkę. Postępujące zmiany technologiczne wpływają na sposób funkcjonowania przedsiębiorstw, instytucji publicznych, a także całych społeczeństw. Gwałtowny rozwój sztucznej inteligencji, systemów informatycznych, automatyzacji procesów oraz platform cyfrowych prowadzi do głębokich przekształceń organizacyjnych, finansowych i społecznych. W gospodarce cyfrowej rośnie znaczenie elastyczności, innowacyjności oraz zdolności do szybkiej adaptacji – nie tylko w dużych korporacjach, lecz także w małych i średnich przedsiębiorstwach, które coraz częściej sięgają po nowe technologie w różnych obszarach swojej działalności.

Niniejsza monografia poświęcona jest wybranym zagadnieniom związanym z funkcjonowaniem przedsiębiorstw w warunkach dynamicznej transformacji cyfrowej. W sposób przekrojowy prezentuje aktualne problemy, wyzwania oraz perspektywy rozwoju gospodarki cyfrowej, ze szczególnym uwzględnieniem polskich realiów. Opracowanie składa się z czterech części, z których każda porusza odmienny, ale istotny z punktu widzenia współczesnych procesów gospodarczych, obszar badawczy.

Pierwsza część monografii koncentruje się na cyfrowej transformacji przedsiębiorstw. Uwzględnione zostały tu zarówno ogólne wyzwania i szanse związane z wykorzystaniem technologii ICT w polskich firmach, jak i zmiany w zakresie wykorzystania sztucznej inteligencji przez małe i średnie przedsiębiorstwa w Europie. Zwrócono uwagę na rozwój technologii Przemysłu 4.0 oraz implementację nowoczesnych systemów zarządzania w przedsiębiorstwach zrzeszonych w Bydgoskim Klastrze Przemysłowym Doliny Narzędziowej. Podjęto również temat integracji oceny cyklu życia (LCA) w zarządzaniu projektami architektonicznymi, z uwzględnieniem podejść klasycznych i zrównoważonych.

Druga część opracowania poświęcona jest zagadnieniom finansowym oraz nowym technologiom w zarządzaniu finansami. Uwzględniono tu kwestie ekonomiczne i prawne związane z funkcjonowaniem sektora bankowego w dobie cyfryzacji, a także omówiono znaczenie sztucznej inteligencji w finansach – zarówno pod względem zastosowań, jak i wyzwań regulacyjnych. Szczególną uwagę zwrócono na rozwój e-księgowości, jej wpływ na zarządzanie finansami oraz konsekwencje dla działalności operacyjnej firm. Ostatni rozdział tej części przedstawia analizę zmienności notowań giełdowych spółek technologicznych w państwach G8 oraz w Polsce w latach 2021–2025, w kontekście globalnych przemian gospodarczych.

Trzecia część monografii skupia się na roli kapitału ludzkiego w warunkach gospodarki cyfrowej. Szczegółowo przedstawiono zagadnienia związane z wykorzystaniem sztucznej inteligencji w procesach selekcji i rekrutacji pracowników. Podjęto refleksję nad korzyściami, ograniczeniami i wyzwaniem etycznymi, organizacyjnymi i społecznymi, jakie niesie ze sobą wdrażanie nowoczesnych narzędzi w obszarze zarządzania zasobami ludzkimi. Analizie poddano również postawy kandydatów wobec stosowania AI w rekrutacji oraz zmiany zachodzące na rynku pracy pod wpływem pandemii.

Czwarta część monografii koncentruje się na marketingu cyfrowym oraz zmieniających się zachowaniach konsumenckich. Analizowane są tu między innymi współczesne trendy marketingowe w mediach społecznościowych, ze szczególnym uwzględnieniem platformy Instagram, a także zagadnienia związane z automatycznym wykrywaniem polaryzacji w danych tekstowych. Podjęty został również temat roli innowacyjnych technologii cyfrowych w ograniczaniu strat żywności, w ramach którego zaprezentowano wyniki międzynarodowego projektu badawczego FoodConscious. Część ta ukazuje, w jaki sposób narzędzia cyfrowe wspierają nie tylko komunikację marketingową i analizę postaw konsumenckich, lecz także przyczyniają się do realnych działań na rzecz zrównoważonego rozwoju.

Monografia stanowi zbiór rozdziałów naukowych podejmujących aktualne i złożone problemy gospodarki cyfrowej. Zgromadzone opracowania ukazują szerokie spektrum zagadnień – od technologicznych i organizacyjnych, po finansowe, prawne i społeczne. Zawarte w nich analizy empiryczne i przeglądy literatury pozwalają nie tylko zrozumieć mechanizmy zachodzących zmian, ale również wskazują potencjalne kierunki rozwoju i obszary wymagające dalszych badań.

Publikacja adresowana jest do badaczy, studentów oraz praktyków zainteresowanych problematyką transformacji cyfrowej przedsiębiorstw. Jej interdyscyplinarny charakter czyni ją wartościowym źródłem wiedzy na temat współczesnych wyzwań i szans w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu gospodarczym.

Część I.

**Cyfrowa transformacja
przedsiębiorstw**

Rozdział I.

TECHNOLOGIE ICT – WYZWANIA I SZANSE CYFROWEJ TRANSFORMACJI POLSKICH FIRM

Burżacka Monika ¹, Stępnia-Kucharska Anna ²

Streszczenie

Współczesna gospodarka, oparta na wiedzy i technologii, stawia przed przedsiębiorstwami coraz większe wyzwania w zakresie efektywności, elastyczności i innowacyjności. W odpowiedzi na nie, coraz więcej firm sięga po rozwiązania z zakresu ICT (Information and Communication Technologies), które zmieniają sposób funkcjonowania organizacji. ICT umożliwiają firmom szybkie przetwarzanie i wymianę informacji, automatyzowanie rutynowych procesów, efektywne zarządzanie projektami i zadaniami, ale także wspierają komunikację wewnętrzną i zewnętrzną zwiększając elastyczność organizacyjną i adaptacyjność oraz są kluczowe dla utrzymania konkurencyjności na rynku. Celem niniejszego rozdziału jest analiza wybranych technologii ICT stosowanych w przedsiębiorstwach, zidentyfikowanie głównych motywów, barier ich wdrażania oraz ocena korzyści, jakie przynoszą one w różnych obszarach działalności.

Słowa kluczowe: ICT, przedsiębiorstwo, gospodarka cyfrowa.

Summary

The modern economy, based on knowledge and technology, poses increasing challenges to companies in terms of efficiency, flexibility and innovation. In response, more and more companies are reaching for ICT (Information and Communication Technologies) solutions that change the way organizations function. ICT enables companies to quickly process and exchange information, automate routine processes, effectively manage projects and tasks, but also supports internal and external communication, increases organizational flexibility and adaptability and is crucial for maintaining competitiveness on the market. The aim of this chapter is to analyze selected ICT technologies used in companies, identify the main motives, barriers to their implementation and assess the benefits they bring in various areas of activity.

Key words: ICT, enterprise, digital economy.

JEL: M15, O33

¹ Politechnika Warszawska, KNEiS, monika.burzacka@pw.edu.pl

² Politechnika Warszawska, KNEiS, anna.stepniak@pw.edu.pl

Wprowadzenie

Współczesna gospodarka, oparta na wiedzy i technologii, stawia przed przedsiębiorstwami coraz większe wyzwania w zakresie efektywności, elastyczności i innowacyjności. W odpowiedzi na nie, coraz więcej firm sięga po rozwiązania z zakresu ICT (Information and Communication Technologies), które stają się nie tylko narzędziem wspomagającym codzienną działalność, ale również czynnikiem strategicznym wpływającym na rozwój i konkurencyjność organizacji. Technologie informacyjno-komunikacyjne obejmują szeroki wachlarz rozwiązań – od systemów do zarządzania przedsiębiorstwem (ERP), przez narzędzia komunikacji z klientem (CRM), po rozwiązania chmurowe, analitykę danych czy automatyzację procesów.

Rosnące zainteresowanie ICT wynika zarówno z postępującej cyfryzacji, jak i z potrzeby szybkiego dostosowywania się do zmian rynkowych, rosnących oczekiwań klientów oraz wymogów regulacyjnych. Dla wielu przedsiębiorstw wdrożenie technologii ICT staje się warunkiem przetrwania i dalszego rozwoju – zwłaszcza w kontekście globalizacji, pracy zdalnej i rosnącego znaczenia bezpieczeństwa danych.

Celem niniejszego rozdziału jest analiza wybranych technologii ICT stosowanych w przedsiębiorstwach, zidentyfikowanie głównych motywów, barier ich wdrażania oraz ocena korzyści, jakie przynoszą one w różnych obszarach działalności.

1. Przegląd technologii ICT wykorzystywanych w przedsiębiorstwach

Technologie informacyjno-komunikacyjne (ICT) stanowią fundament funkcjonowania współczesnych przedsiębiorstw. Umożliwiają one automatyzację procesów, usprawnienie komunikacji, analizę danych oraz tworzenie nowych modeli biznesowych.

Systemy ERP (Enterprise Resource Planning) to systemy informatyczne w przedsiębiorstwie zaprojektowane do integracji i optymalizacji procesów biznesowych oraz transakcji w przedsiębiorstwie [Moon 2007: 235-236]. Umożliwiają one zintegrowane zarządzanie kluczowymi procesami przedsiębiorstwa, takimi jak księgowość, logistyka, produkcja, sprzedaż czy kadry. Dzięki centralizacji danych i automatyzacji procesów systemy te pozwalają na zwiększenie efektywności operacyjnej, poprawę kontroli nad zasobami oraz lepsze planowanie i podejmowanie decyzji strategicznych czy predykcję trendów i potrzeb biznesowych [ERP-VIEW.pl].

Systemy CRM (Customer Relationship Management) wspierają zarządzanie relacjami z klientami poprzez gromadzenie, analizę i wykorzystywanie danych o

klientach [Wyród-Wróbel 2019: 76]. Umożliwiają one personalizację oferty, poprawę jakości obsługi, zwiększenie satysfakcji i lojalności klientów, identyfikacją najważniejszych klientów oraz skuteczniejsze działania marketingowe. CRM staje się niezbędnym narzędziem w kontekście rosnących oczekiwań konsumentów i silnej konkurencji rynkowej i opiera się na czterech założeniach [Bai, Qin: 2016: 112-114]: (1) Klientami należy zarządzać jako ważnymi aktywami; (2) Rentowność klientów jest różna - nie wszyscy klienci są równie pożądanymi; (3) Klienci różnią się potrzebami, preferencjami, zachowaniami zakupowymi i wrażliwością cenową; (4) Rozumiejąc czynniki wpływające na klientów i ich rentowność, firmy mogą dostosować swoją ofertę, aby zmaksymalizować całkowitą wartość swojego portfela klientów.

Bardzo istotną grupą są specjalistyczne aplikacje, które wspomagają zarządzanie finansami, płacami i dokumentacją pracowniczą. Automatyzacja procesów księgowych i kadrowych zmniejsza ryzyko błędów, przyspiesza realizację obowiązków podatkowych oraz pozwala na lepszą kontrolę kosztów. W kontekście zmian regulacyjnych, takich jak wprowadzenie Krajowego Systemu e-Faktur (KSeF) w Polsce, znaczenie nowoczesnych rozwiązań księgowych dodatkowo wzrasta, a w niektórych obszarach staje się wręcz niezbędne. Aplikacje tego typu są również szeroko wykorzystywane w logistyce, transporcie czy gospodarce magazynowej [Gryncewicz, Kostrzewa 2010: 179-181; Grabińska i in. 2020: 26-28].

Komunikacja biznesowa również uległa istotnym zmianom, które uległy gwałtownemu przyspieszeniu w wyniku wybuchu pandemii Covid-19. Wideokonferencje, platformy do komunikacji zespołowej (np. Microsoft Teams, Slack) oraz narzędzia do pracy zdalnej miały być tymczasową odpowiedzią na ograniczone możliwości funkcjonowania, a w wielu firmach stały się standardem, który z jednej strony pozwala na redukcję kosztów, a z drugiej ułatwia pracę wielu pracownikom. Umożliwiają one efektywną komunikację wewnętrzną, współpracę w czasie rzeczywistym oraz integrację zespołów rozproszonych geograficznie. Zmieniły się również strategie informacyjne firm, które ewoluowały od odgórnych, zorientowanych na wydawanie poleceń komunikatów (monologu) do bardziej nieformalnych, bezpośrednich i osobistych [Stawicka 2023: 241]. Interaktywność zmieniła komunikację w dwukierunkowy dialog, umożliwiając kierownictwu lepsze reagowanie na potrzeby pracowników [Verčič, Špoljarić 2020].

Technologie chmurowe (cloud computing) całkowicie zmieniły zasady przechowywania i przesyłania informacji, pozwalając przezwyciężyć ograniczenia przestrzeni fizycznej i otworzyły nowy wymiar internetu. „Cloud Computing jest modelem dystrybucji rozwiązań teleinformatycznych, które będąc dostępne dla odbiorców przez Internet, cechują się wysoką dostępnością,

elastycznością oraz niezawodnością i są opłacane przy uwzględnieniu faktycznego zużycia z zasobów” [Zadworny, Kłak 2019: 95]. Oferują one przedsiębiorstwom elastyczny dostęp do zasobów informatycznych, takich jak serwery, bazy danych czy oprogramowanie, bez konieczności inwestowania w kosztowną infrastrukturę lokalną. Przejście na rozwiązania chmurowe umożliwia szybkie skalowanie działalności, obniżenie kosztów utrzymania IT oraz zwiększenie bezpieczeństwa danych dzięki zaawansowanym mechanizmom ochrony stosowanym przez dostawców usług chmurowych. Cloud computing to także naturalne środowisko tworzenia aplikacji, które pozwala korzystać z gotowych komponentów i rozwiązań, ułatwiających pracę [ITwiz 2024].

Systemy Business Intelligence (BI) i Big Data umożliwiają przekształcanie dużych zbiorów danych w informacje wspierające procesy decyzyjne. Analiza danych w czasie rzeczywistym pozwala na identyfikację trendów rynkowych, optymalizację działań operacyjnych oraz tworzenie bardziej precyzyjnych strategii biznesowych. W erze gospodarki cyfrowej zdolność do efektywnego wykorzystywania danych staje się kluczowym źródłem przewagi konkurencyjnej. Z tego powodu aplikacje Bi i Big Data należą do najdynamiczniej rozwijających się systemów informatycznych [Pastuszek 2023]. Rozwój tej technologii jest prawie sześciokrotnie szybszy niż średnia dynamika rozwoju rynku IT [Reinsel, Ganz, Rydning 2018], a prognozy wskazują dalszy wzrost na poziomie 23% rocznie [Wyrembek 2022: 20].

Według badań przeprowadzonych przez Grant Thornton [2024] aż 40% firm w Polsce doświadczyło w ostatnim roku ataku cybernetycznego, a w ciągu kilku najbliższych lat będzie tego doświadczało regularnie niemal każde przedsiębiorstwo. Wzrost zagrożeń cybernetycznych powoduje, że przedsiębiorstwa coraz częściej inwestują w rozwiązania zapewniające ochronę danych i systemów informatycznych. Wśród stosowanych technologii znajdują się zapory sieciowe, systemy antywirusowe, narzędzia do wykrywania i reagowania na incydenty (EDR, SIEM) oraz rozwiązania do zarządzania tożsamością i dostępem (IAM).

Z kolei, technologie RPA (Robotic Process Automation) pozwalają na automatyzację powtarzalnych, rutynowych zadań poprzez wykorzystanie tzw. robotów programowych. Wdrożenie RPA przyczynia się do zwiększenia efektywności operacyjnej, redukcji kosztów pracy oraz poprawy jakości świadczonych usług poprzez eliminację błędów ludzkich.

2. Motywy wdrażania technologii ICT

Decyzja o wdrożeniu technologii informacyjno-komunikacyjnych w przedsiębiorstwie wynika z wielu czynników – zarówno wewnętrznych, jak i

zewnętrznych. W dynamicznym i konkurencyjnym otoczeniu gospodarczym ICT staje się narzędziem nie tylko wspierającym codzienne funkcjonowanie organizacji, ale również umożliwiającym osiągnięcie przewagi strategicznej. Poniżej przedstawiono główne motywy, które skłaniają przedsiębiorstwa do inwestycji w nowoczesne rozwiązania technologiczne.

Jednym z podstawowych powodów wdrażania ICT jest chęć zwiększenia efektywności operacyjnej. Automatyzacja powtarzalnych czynności, integracja danych oraz dostęp do informacji w czasie rzeczywistym przyczyniają się do optymalizacji procesów, skrócenia czasu realizacji zadań i redukcji błędów ludzkich. Wzrost poziomu dojrzałości procesowej w organizacji wpływa dodatkowo na poprawę wyników biznesowych, a także prowadzi do zwiększenia elastyczności, innowacji, a w rezultacie szybszego rozwoju organizacji [Pinto, dos Santos 2020: 108-126; Woźniak, Sliż, Wycinka 2023: 246]. Technologie takie jak ERP czy RPA pozwalają na lepsze zarządzanie zasobami, planowanie produkcji, kontrolę stanów magazynowych czy monitorowanie wydajności pracowników, a więc na lepszą koordynację działań w ramach całej organizacji. Poza tym, umożliwiają szybkie generowanie raportów oraz analizę danych w czasie rzeczywistym, a także uprządkowanie danych oraz swobodny przepływ informacji między poszczególnymi komórkami i działami, równocześnie zmniejszając ryzyko popełnienia błędów, skracając czas realizacji projektów oraz zapewniając ciągły nadzór. Przedsiębiorstwa zyskują pełniejszy wgląd w funkcjonowanie swoich procesów operacyjnych, co pozwala na szybsze identyfikowanie problemów i podejmowanie trafniejszych decyzji biznesowych.

Poza tym, wdrażanie rozwiązań ICT często wiąże się z możliwością optymalizacji kosztów prowadzenia działalności [Woźniak 2018]. Automatyzacja pracy, migracja danych do chmury czy wdrożenie zdalnych form komunikacji pozwalają ograniczyć wydatki związane z zatrudnieniem, infrastrukturą IT, energią czy logistyką. Chmurowe modele subskrypcyjne (Software as a Service, SaaS) pozwalają na elastyczne dostosowywanie zakresu usług do aktualnych potrzeb bez konieczności inwestowania w kosztowną infrastrukturę sprzętową. Pomimo początkowych nakładów inwestycyjnych, długofalowo technologie informatyczne generują realne oszczędności.

W erze transformacji cyfrowej przedsiębiorstwa, które efektywnie wdrażają technologie ICT, zyskują zdolność do szybkiego reagowania na zmiany rynkowe, wprowadzania innowacji produktowych i procesowych oraz eksplorowania nowych kanałów sprzedaży (np. e-commerce, platformy mobilne). Dzięki analizie danych (Business Intelligence, Big Data) przedsiębiorstwa mogą lepiej identyfikować potrzeby klientów, przewidywać zmiany rynkowe oraz dostosowywać swoją ofertę [Woźniak, Pawlak 2018: 32-35]. Elastyczne modele działania oparte na ICT sprzyjają także szybkiemu reagowaniu na zmieniające

się warunki gospodarcze. Dzięki ICT możliwe jest także efektywniejsze działanie na rynkach międzynarodowych oraz współpraca z partnerami biznesowymi w trybie ciągłym [Kisielnicki 2010: 260]. Dzięki rozwiązaniom chmurowym i elastycznym platformom IT przedsiębiorstwa mogą szybko dostosowywać swoje zasoby do zmieniających się potrzeb biznesowych. Skalowanie działalności – zarówno w wymiarze geograficznym, jak i operacyjnym – staje się prostsze, szybsze i bardziej ekonomiczne. ICT pozwala również na łatwiejsze wchodzenie na nowe rynki oraz rozwijanie nowych kanałów sprzedaży.

Niezaprzeczalnym atutem tego rodzaju rozwiązań jest lepsze zarządzanie relacjami z klientami i partnerami biznesowymi. Nowoczesne systemy CRM, chat-boty, portale samoobsługowe czy narzędzia analityczne pozwalają na bardziej efektywną i spersonalizowaną obsługę klientów. Obecnie to m.in. jakość relacji przedsiębiorstwo – klient stanowi jeden z kluczowych komponentów kreowania przewagi konkurencyjnej. Przedsiębiorstwa, które potrafią lepiej rozumieć potrzeby swoich odbiorców i szybciej na nie reagować, zyskują przewagę konkurencyjną i budują lojalność klientów. ICT umożliwia też monitorowanie satysfakcji klientów i szybkie reagowanie na nieprawidłowości.

Należy ponadto zauważyć, że w wielu branżach zastosowanie ICT jest związane z koniecznością spełnienia wymogów prawnych i branżowych. Przykładowo, w Polsce obowiązek raportowania faktur elektronicznych poprzez Krajowy System e-Faktur (KSeF), a także wymogi RODO dotyczące ochrony danych osobowych wymuszają stosowanie odpowiednich rozwiązań technologicznych. Firmy wdrażają systemy zapewniające zgodność z przepisami, co pozwala uniknąć sankcji prawnych i reputacyjnych.

Pandemia COVID-19 znacząco przyspieszyła adaptację technologii umożliwiających zdalne zarządzanie przedsiębiorstwem. Narzędzia do wideokonferencji, współdzielenia dokumentów, zarządzania projektami czy kontroli czasu pracy stają się nieodzownym elementem nowoczesnego środowiska pracy. Przedsiębiorstwa wdrażają ICT nie tylko po to, by umożliwić pracę zdalną, ale również by zwiększyć atrakcyjność zatrudnienia i elastyczność organizacyjną.

Równie istotna jest kwestia zagwarantowania bezpieczeństwa prowadzonej działalności. Nowoczesne rozwiązania ICT obejmują zaawansowane systemy ochrony przed zagrożeniami cybernetycznymi, szyfrowanie danych oraz zarządzanie tożsamością i dostępami. Wdrażanie takich technologii pozwala przedsiębiorstwom minimalizować ryzyko naruszeń bezpieczeństwa, utraty danych oraz ataków hakerskich, co jest szczególnie istotne w dobie rosnącej liczby cyberzagrożeń. W przypadku części podmiotów wprowadzenie takich technologii wynika z obowiązków zawartych w Dyrektywach NIS2 i DORA [2022]. Pierwsza z nich dotyczy bezpieczeństwa cybernetycznego w 18

krytycznych (kluczowych i ważnych) sektorach gospodarki, a druga podmiotów z sektora finansowego.

3. Bariery i wyzwania we wdrażaniu ICT

Mimo licznych korzyści wynikających ze stosowania technologii ICT, proces ich wdrażania w przedsiębiorstwach nie jest pozbawiony trudności. Organizacje muszą stawić czoła zarówno barierom technologicznym, jak i organizacyjnym, finansowym czy kulturowym. Największym wyzwaniem, które stoją przed przedsiębiorstwami są wysokie koszty inwestycyjne. Znaczące koszty początkowe obejmują nie tylko zakup licencji, sprzętu czy usług chmurowych, ale także koszty szkoleń pracowników, dostosowania procesów biznesowych oraz integracji z istniejącymi systemami. Wysokie koszty, ograniczone fundusze i brak wiedzy technicznej stanowią istotne bariery utrudniające upowszechnianie technologii ICT, szczególnie wśród MŚP.

Ponadto, efektywne wdrażanie i wykorzystywanie ICT wymaga odpowiednio wykwalifikowanej kadry. Niedobór specjalistów IT, analityków danych czy ekspertów ds. cyberbezpieczeństwa stanowi poważne wyzwanie, zwłaszcza w mniejszych organizacjach. W 2023 roku aż 15% dużych polskich przedsiębiorstw miało trudne do obsadzenia stanowiska dla specjalistów ICT [GUS 2024: 87]. Braki kompetencyjne mogą prowadzić do niewłaściwego wykorzystania technologii, a w konsekwencji – do nieosiągnięcia zamierzonych korzyści, ale przede wszystkim brak specjalistów oznacza większe ryzyko wycieku danych, trudności w szybkim reagowaniu na incydenty oraz poważne straty finansowe i wizerunkowe [Kulpa 2024].

Wprowadzenie nowych technologii wiąże się często ze zmianą utrwalonych sposobów pracy, co może wywoływać opór wśród pracowników i kadry zarządzającej. Obawy przed utratą pracy, konieczność nauki nowych narzędzi czy niepewność co do efektów transformacji cyfrowej mogą utrudniać adaptację technologii. Sukces wdrożenia ICT wymaga więc odpowiedniego zarządzania zmianą i budowania kultury otwartości na innowacje.

Poza tym, mogą pojawić się trudności integracji dotychczasowych rozwiązań technologicznych. Wiele przedsiębiorstw korzysta z różnych, często przestarzałych systemów informatycznych, które mogą być trudne do zintegrowania z nowymi rozwiązaniami. Brak kompatybilności technologicznej, konieczność migracji danych czy ryzyko zakłóceń w działaniu operacyjnym stanowią istotne wyzwania techniczne i organizacyjne.

Wdrażanie nowych rozwiązań ICT wiąże się z koniecznością zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa informacji. Błędy w konfiguracji systemów, luki w zabezpieczeniach czy nieprzestrzeganie zasad ochrony danych

osobowych (np. RODO) mogą prowadzić do poważnych incydentów, strat finansowych oraz utraty zaufania klientów i partnerów.

W dzisiejszym biznesie czas nie jest sprzymierzeńcem. Szybkie tempo rozwoju technologii powoduje, że rozwiązania wdrożone dziś mogą w krótkim czasie stać się przestarzałe. Konieczność ciągłego aktualizowania systemów, dostosowywania się do nowych standardów oraz inwestowania w rozwój kompetencji stanowi dla wielu firm istotne wyzwanie w kontekście długoterminowego zarządzania ICT.

Podsumowując, można wskazać sześć potencjalnie krytycznych czynników dla pomyślnego wdrożenia ICT w przedsiębiorstwach: wsparcie finansowe, rozwój umiejętności technicznych, zaangażowanie kierownictwa, orientację strategiczną, elastyczną strukturę organizacyjną oraz współpracę zewnętrzną.

4. Poziom zaawansowania ICT w polskich przedsiębiorstwach

W ostatnich latach cyfryzacja stała się kluczowym elementem strategii rozwoju przedsiębiorstw na całym świecie. W celu dokonania odpowiednich pomiarów, Eurostat opracował syntetyczny wskaźnik obrazujący poziom cyfryzacji w krajach UE tzw. wskaźnik intensywności cyfrowej (ang. Digital Intesity Index). Wskaźnik przyporządkowuje przedsiębiorstwo do jednego z czterech poziomów intensywności cyfrowej, a sama klasyfikacja dokonywana jest na podstawie otrzymanych punktów po spełnieniu określonych warunków. np. posiadanie oprogramowania typu CRM, zakup płatnych usług w chmurze obliczeniowej czy posiadanie łącza internetowego o prędkości przynajmniej 30 mb/s, za każdy można otrzymać 1 punkt (szerzej: GUS 2024:104-105).

Poziom 0-3 punktów plasował dany kraj w grupie o bardzo niskim poziomie intensywności cyfrowej, 4–6 – poziom niski, 7–9 – wysoki oraz 10–12 - bardzo wysoki. W 2024 r. ponad dwie trzecie przedsiębiorstw zostało zaliczone do grupy o bardzo niskiej lub niskiej intensywności cyfrowej. Wysoki lub bardzo wysoki poziom intensywności wystąpił w przypadku 33,2% przedsiębiorstw. Zdecydowanie pozytywnym zjawiskiem jest spadek odsetka przedsiębiorstw o bardzo niskim poziomie intensywności cyfrowej (zob. Tab. 1).

Tabela 1. Poziom intensywności cyfrowej przedsiębiorstw w latach 2019-2024 (w %)

Wyszczególnienie	2019	2021	2022	2023	2024
Bardzo niski	60,4	58,7	37,8	48,5	30,0
Niski	29,0	27,2	33,4	30,5	36,8
Wysoki	9,8	12,2	25,1	17,1	27,3
Bardzo wysoki	0,9	1,9	3,8	3,9	5,9

Źródło: GUS [2020-2024: 105].

Największy odsetek firm zaklasyfikowanych do grupy o wysokiej lub bardzo wysokiej intensywności cyfrowej odnotowano wśród jednostek dużych (93,0%), najmniejszy zaś – wśród jednostek małych (26,7%) (zob. Tab. 2).

Tabela 2. Poziom intensywności cyfrowej przedsiębiorstw wg klas wielkości w 2024 r.
(w %)

Wyszczególnienie	Bardzo niski	Niski	Wysoki	Bardzo wysoki
Małe	34,7	38,7	23,1	3,6
Średnie	10,8	33,6	44,1	11,5
Duże	0,7	6,3	56,2	36,8
Ogółem	30,0	36,8	27,3	5,9

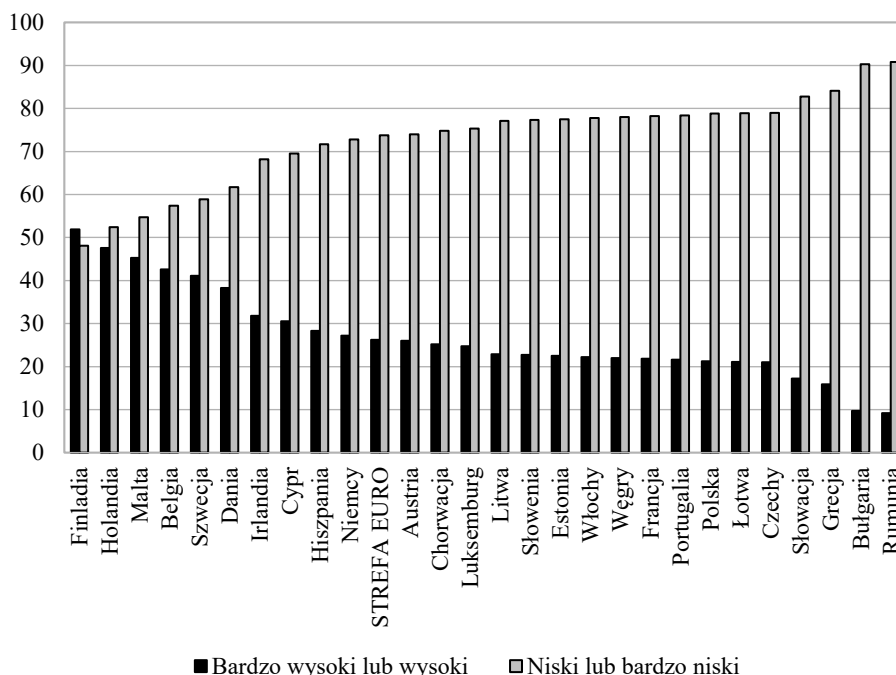
Źródło: GUS [2024: 105].

Z punktu widzenia rodzaju prowadzonej działalności, wysokim lub bardzo wysokim stopniem intensywności charakteryzowały się najczęściej podmioty zajmujące się informacją i komunikacją (88,0%), natomiast największy odsetek przedsiębiorstw o bardzo niskiej intensywności cyfrowej odnotowano w sekcji budownictwo (46,9%). Należy jednak podkreślić, że z uwagi na podział terytorialny kraju oraz rozmieszczenie podmiotów, zróżnicowanie poziomu intensywności cyfrowej nie było tak duże jak w przypadku rodzaju prowadzonej działalności. Najwyższy odsetek firm o wysokim lub bardzo wysokim poziomie intensywności występował w województwie mazowieckim (47,4%), natomiast najniższy – w województwach lubelskim i warmińsko-mazurskim (odpowiednio 22,2% i 22,5%). Z kolei najwyższy udział przedsiębiorstw o bardzo niskim poziomie intensywności zanotowano w województwie warmińsko-mazurskim (40,8%), a najniższy – w mazowieckim (21,7%) [GUS 2024: 107].

Mimo to, przedsiębiorstwa działające w Polsce odbiegają jeszcze od standardów europejskich (zob. Wykres 1).

Dane znajdują również potwierdzenie w raporcie Polskiego Funduszu Rozwoju (PFR), zgodnie z którym, na koniec 2023 roku jedynie 21,2% polskich przedsiębiorstw osiągnęło wysoki lub bardzo wysoki poziom intensywności cyfrowej, co plasuje Polskę na 21. miejscu wśród krajów Unii Europejskiej. Dla porównania, liderzy rankingu, tacy jak Finlandia i Holandia, osiągają odpowiednio 51,9% i 47,6%

Wykres 1. Przedsiębiorstwa według poziomu wskaźnika intensywności cyfrowej w krajach Unii Europejskiej w 2023 r. (w %)

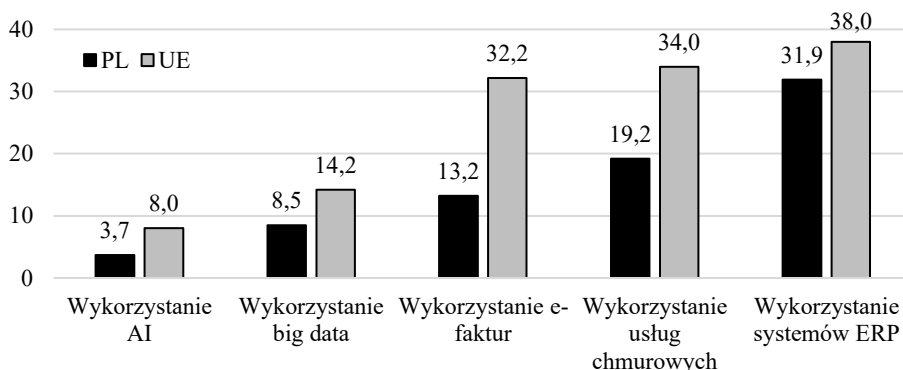


Źródło: PFR [2024: 5].

Z powyższego wykresu wynika jednoznacznie, że Polska, choć sprawnie nadrabia zaległości, względem zaawansowania technologicznego firm plasuje się poniżej średniej unijnej, co świadczy o realnym opóźnieniu rozwoju w tym zakresie. Zaistniała sytuacja wynika między innymi z dojrzałości cyfrowej. W kontekście wyników analizy przeprowadzonej przez PFR [2024: 6] wśród blisko 500 firm z sektora małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) wykazała, że 73% to firmy o tradycyjnym podejściu, 16% jest rozwiniętych cyfrowo, a zaledwie 4% uznano za innowacyjne. Ponadto, tylko 19% firm posiada strategię lub plan cyfryzacji, a 44% nie wdrożyło ani nie przebudowało swoich procesów biznesowych pod kątem technologii cyfrowych w ostatnich latach.

Innym miernikiem jest tzw. DESI, tj. indeksu gospodarki cyfrowej i społeczeństwa cyfrowego. Z raportu Komisji Europejskiej wynika, że w 2023 roku jedynie 3,7% polskich firm korzystało ze sztucznej inteligencji, podczas gdy średnia unijna wynosiła 8%. W zakresie analizy dużych zbiorów danych (big data) odsetek ten wynosił 19,3% w Polsce, w porównaniu do 33,2% w UE (zob. Wykres 2).

Wykres 2. DESI 2023 – wynik Polski na tle UE (w %)



Źródło: PFR [2024: 6].

Wszystkie dostępne analizy w badanym obszarze potwierdzają, że przedsiębiorstwa wyraźnie dostrzegają pilną potrzebę zwiększenia efektywności przedsiębiorstw poprzez zastosowanie narzędzi, za pomocą których można w sposób zautomatyzowany optymalizować procesy biznesowe lub zadania. Tworzenie takich narzędzi umożliwiają technologie oparte na sztucznej inteligencji (AI). W latach 2021-2024 ponad dwukrotnie wzrósł odsetek przedsiębiorstw wykorzystujących AI (zob. Tab. 3).

Tabela 3. Przedsiębiorstwa wykorzystujące technologię AI w latach 2021-2024 (w %)

Wyszczególnienie	2021	2023	2024
Małe	1,9	2,2	4,0
Średnie	5,0	6,5	10,4
Duże	17,5	24,4	33,0
Ogółem	2,9	3,7	5,9

Źródło: GUS [2021-2024: 98].

W zależności od wielkości firmy oraz rodzaju prowadzonej działalności, odsetek przedsiębiorstw stosujących AI wykazuje istotne zróżnicowanie. Największy udział podmiotów korzystających z narzędzi sztucznej inteligencji odnotowano wśród dużych firm (33,0% - 2024), a najmniejszy odsetek występuje wśród małych przedsiębiorstw (4,0% - 2024). Nie byłoby to możliwe bez odpowiedniej struktury informatycznej. W latach 2019-2023 widoczny jest wzrost odsetka przedsiębiorstw, które poniosły nakłady na zakup sprzętu ICT (zob. Tab. 4).

Tabela 4. Przedsiębiorstwa, które poniosły nakłady na zakup sprzętu ICT
w latach 2019-2023 (w %)

Wyszczególnienie	2019	2020	2021	2022	2023
Zakup sprzętu informatycznego i/lub sprzętu telekomunikacyjnego	37,8	39,0	37,7	35,8	38,1
Zakup sprzętu informatycznego	34,3	36,0	34,3	32,9	34,4
Zakup sprzętu telekomunikacyjnego	21,9	20,3	20,4	18,4	21,0

Źródło: GUS [2021-2024: 98].

W 2023 r. łączna wartość nakładów poniesionych przez przedsiębiorstwa na zakup sprzętu informatycznego i/lub telekomunikacyjnego ICT wyniosła 9,9 mld zł, przy czym prawie 74% tej kwoty wydatkowały przedsiębiorstwa duże, co wydaje się być naturalnym zjawiskiem z uwagi na nieporównywalne możliwości finansowania tego rodzaju inwestycji (zob. Tab. 5).

Tabela 5. Nakłady poniesione przez przedsiębiorstwa na wybrany sprzęt ICT według klas wielkości w 2023 r. (w mln zł)

	Zakup sprzętu informatycznego i/lub sprzętu telekomunikacyjnego	Zakup sprzętu informatycznego	Zakup sprzętu telekomunikacyjnego
Małe	1.137,4	912,4	225,2
Średnie	1.443,1	1.192,8	250,7
Duże	7.327,2	4.823,6	2.503,6
Ogółem	9.907,7	6.928,8	2.979,5

Źródło: GUS [2024: 103].

Należy zaznaczyć, że dynamiczny rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych powoduje konieczność podnoszenia kompetencji w zakresie ICT osób zatrudnionych w przedsiębiorstwach. W tym celu firmy organizują szkolenia, stwarzając pracownikom możliwość poszerzania wiedzy z tego obszaru. Coraz większa część przedsiębiorstw organizuje tego typu szkolenia, jednak wydaje się, że w obliczu tak szybkiego postępu technologicznego odsetek ten jest cały czas zbyt mały (zob. Tab. 6).

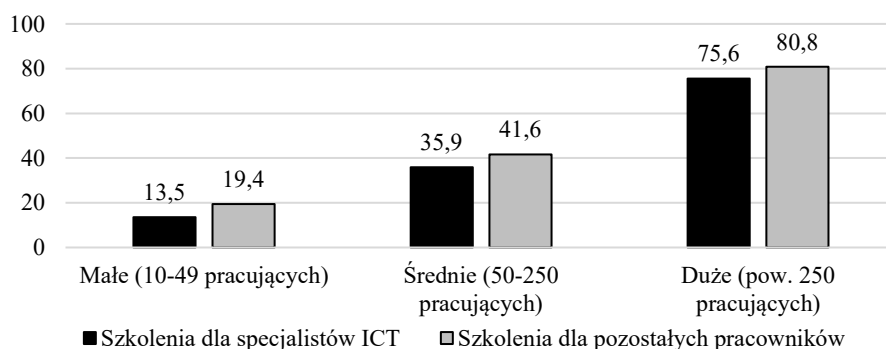
Tabela 6. Przedsiębiorstwa zapewniające szkolenia z zakresu ICT w latach 2019-2023
(w %)

Wyszczególnienie	2019	2021	2023
Szkolenia dla specjalistów ICT	7,8	10,0	19,0
Szkolenia dla pozostałych pracowników	15,9	23,0	24,8

Źródło: GUS [2020-2024: 89].

W 2023 r. niespełna jedna trzecia przedsiębiorstw organizowała szkolenia z tematyki ICT dla personelu i zatrudnionych specjalistów z tej dziedziny. Jak wskazują dane statystyczne dostarczone przez GUS, w 2023 roku 31,42% przedsiębiorstw zarejestrowanych w Polsce dostrzegało konieczność podnoszenie kwalifikacji swoich pracowników, zapewniając im szkolenia, również te w podnoszące umiejętności z zakresu ICT (zob. Wykres 4).

Wykres 4. Przedsiębiorstwa zapewniające szkolenia z zakresu ICT w 2023 roku (w %)



Źródło: GUS [2024: 89].

Powyższy wykres wyraźnie wskazuje, że działania w zakresie szkoleń tego były nieczęste w małych podmiotach (odpowiednio 13,5% w zakresie szkoleń dla specjalistów ICT, 19,4% w przypadku pozostałych szkoleń), a ich natężenie wzrastało wraz z rozmiarem firmy. W dużych jednostkach odpowiednio 76,5% oraz 80,8% podmiotów deklarowało działania tego rodzaju. Z dużym prawdopodobieństwem wynika to z możliwości ponoszenia tego rodzaju niemałych wydatków oraz zakresu stosowania innowacyjnych technologii ICT w danej jednostce (zob. Tab. 7).

Tabela 7. Przedsiębiorstwa nie zapewniające szkoleń z zakresu ICT w 2023 roku według powodów

	Przedsiębiorstwa prowadzące działalność ogółem	Nie zapewniające szkoleń			
		Ogółem	Zbyt wysokie koszty szkoleń	Brak potrzeby szkoleń	Inne przyczyny
Małe (10-49 pracujących)	89.370	66.622	19.097	49.469	18.720
	100,00%	74,50%	21.40%	55,40%	20,90%
Średnie (50-249 pracujących)	16.182	7.907	2.298	5.549	2.507
	100,00%	48,90%	14,20%	34,30%	15,50%
Duże (250 i więcej pracujących)	3.802	461	132	250	200
	100,00%	12,10%	3,50%	6,60%	5,30%
Ogółem	109.354	74.990	21.527	55.268	21.427
	100,00%	68,60%	19,70%	50,50%	19,60%

Źródło: GUS [2024: 89].

Z raportu KPMG wynika, że w 2024 roku 33% polskich firm planowało zwiększyć wydatki na transformację cyfrową, co oznacza wzrost o 19 punktów procentowych w porównaniu do 2023 roku. Jednakże tylko 27% firm posiada formalną strategię transformacji cyfrowej, przy czym odsetek ten wynosi 42% w dużych firmach, 27% w średnich i 13% w małych przedsiębiorstwach.

Nie jest to wynik jeszcze satysfakcjonujący, ale wykazujący jednak wyraźny trend wzrostowy. Główne przeszkody w cyfryzacji polskich przedsiębiorstw to wysokie koszty wdrożenia nowoczesnych rozwiązań – wskazywane przez 67% firm, brak wykwalifikowanej kadry technicznej, opór organizacyjny i brak współpracy między działami. Mimo obecnych wyzwań, wiele firm dostrzega korzyści płynące z cyfryzacji.

Wnioski

Znaczenie transformacji cyfrowej wynika z konieczności sprostania wymogom współczesnego rynku. Firmy, które z powodzeniem przekształcają swoje modele biznesowe poprzez implementację inteligentnych systemów analizy danych, sztucznej inteligencji czy automatyzację procesów, mają szansę na budowanie silnych przewag konkurencyjnych. Wdrażanie technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) nie tylko usprawnia codzienną działalność organizacji, ale również umożliwia budowanie trwałej przewagi konkurencyjnej.

Przedsiębiorstwa w Polsce są wciąż w procesie adaptacji do cyfrowej rzeczywistości, a choć dostrzegają korzyści płynące z zastosowania ICT, stoją przed licznymi wyzwaniami – zarówno technologicznymi, jak i organizacyjnymi. Pomimo rosnącej liczby firm wdrażających zaawansowane technologie, Polska

wciąż znajduje się poniżej średniej unijnej, co wskazuje na potrzebę dalszych inwestycji w cyfryzację, zwłaszcza w małych i średnich przedsiębiorstwach.

Z dostępnych raportów wynika jednoznacznie, że poziom cyfryzacji zależy od wielkości firm. Duże firmy, dysponujące większymi zasobami finansowymi i kadrowymi, osiągają wysoki poziom cyfryzacji, natomiast mniejsze organizacje, szczególnie w branżach takich jak budownictwo, pozostają w tyle. To efekt trudności finansowych i braku odpowiednich zasobów, które uniemożliwiają im wdrażanie nowoczesnych technologii. Co więcej, pomimo rosnącego znaczenia sztucznej inteligencji (AI) i analityki danych, tylko niewielki odsetek polskich firm wykorzystuje te technologie, co świadczy o niedostatecznej adaptacji nowoczesnych narzędzi, które mogłyby poprawić konkurencyjność firm na rynku.

Wiele polskich przedsiębiorstw zмага się także z brakiem odpowiednich kompetencji IT, co stanowi poważną barierę dla dalszego postępu w zakresie cyfryzacji. Niedobór specjalistów w dziedzinach takich jak analiza danych, bezpieczeństwo cyfrowe czy sztuczna inteligencja powoduje, że firmy nie są w stanie w pełni wykorzystać potencjału nowych technologii. Ponadto, opór wewnętrzny przed wdrażaniem zmian technologicznych oraz obawy związane z automatyzacją procesów hamują postęp w wielu organizacjach. W przypadku małych firm, wysokie koszty początkowe związane z zakupem sprzętu, licencji i szkoleń stanowią dodatkową przeszkodę, która utrudnia proces implementacji technologii ICT.

Polska wciąż pozostaje poniżej średniej unijnej pod względem cyfryzacji firm, co sugeruje, że kraj ma jeszcze wiele do nadrobienia, aby dorównać cyfrowym liderom takim jak Finlandia czy Holandia. Dodatkowym wyzwaniem jest nierównomierny rozwój cyfryzacji w różnych branżach. Sektor IT i komunikacji wykazuje wyraźnie wyższy poziom zaawansowania technologicznego, podczas gdy branża budowlana pozostaje w tyle. Aby przyspieszyć proces cyfryzacji, konieczne będą inwestycje w infrastrukturę cyfrową oraz wsparcie dla mniejszych firm, w tym dostęp do finansowania zewnętrznego.

Warto również zauważyć rosnącą popularność chmurowych rozwiązań IT, które stają się coraz bardziej powszechne w polskich firmach. Dzięki chmurze firmy mogą poprawić efektywność operacyjną, a także zwiększyć bezpieczeństwo danych, co w kontekście rosnącej liczby cyberzagrożeń ma kluczowe znaczenie.

Podsumowując, przedsiębiorstwa w Polsce stoją przed wieloma wyzwaniami związanymi z adaptacją nowych technologii, ale równocześnie mają przed sobą ogromne szanse. Kluczowe będzie inwestowanie w rozwój kompetencji ICT wśród pracowników i menedżerów oraz systemowe wsparcie rządowe i

prywatne, które umożliwi małym i średnim firmom nadrobienie zaległości technologicznych. Wspieranie rozwoju infrastruktury cyfrowej i promowanie innowacyjnych technologii, takich jak sztuczna inteligencja czy chmura obliczeniowa, będzie kluczowe w zwiększaniu konkurencyjności polskich firm na rynku międzynarodowym.

Bibliografia

Bai F., Qin Y. (2016), The Implementation of Relationship Marketing and CRM: How to Become a Customer-Focused Organization, *Journal of Business & Economic Policy*, 3(2).

DESI (2024), Digital Economy and Society Index (DESI), Poland – Digital Decade Country Report 2024, Komisja Europejska.

Digital Strategy (2024), Poland – 2024 Digital Decade Country Report, European Commission, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/pl/factpages/poland-2024-digital-decade-country-report>.

DORA (2022), Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2554 z dnia 14 grudnia 2022 r. w sprawie operacyjnej odporności cyfrowej sektora finansowego, Dz.U. L 333/1 z 27.12.2022.

ERP-VIEW.PL, Od Integracji do innowacji: Rola systemów ERP w kształtowaniu przyszłości przedsiębiorstw, www.erp-view.pl.

Grabińska A., Pawełszek I., Ziora L. (2020), Informatyczne wspomaganie procesów logistycznych, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.

Grant Thornton (2024), Zamek z papieru. Cyberbezpieczeństwo w polskich firmach.

Gryncewicz W., Kostrzewa A. (2010), CRM jako narzędzie wspierające system informacyjny logistyki, *Prace Naukowe UE we Wrocławiu. Informatyka Ekonomiczna* Nr 88.

GUS (2020-2024), Społeczeństwo informacyjne w Polsce, GUS, Warszawa – Szczecin.

ITwiz (2024), <https://itwiz.pl/5> trendów w obszarze cloud computing na 2024 rok – Itwiz.

Kisielnicki J. (2010), Rola ICT w tworzeniu konkurencyjnej gospodarki Polski na globalnym rynku. O procesie transformacji i miejscu w niej ICT [w:] Korczak J., Chomiak-Orsa I., Sroka H. (red.), *Systemy informacyjne w zarządzaniu*, Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.

KPMG Polska, Blisko – cyfryzacja biznesu w Polsce. Firmy powinny przyspieszyć obrany kurs, <https://kpmg.com/pl/pl/home/media/press-releases/2024/04/media-press-blisko-cyfryzacja-biznesu-w-polsce-firmy-powinny-przyspieszyc-obrany-kurs.html>.

KPMG Polska, Cyfryzacja biznesu w Polsce – firmy powinny przyspieszyć obrany kurs, kpmg.com.

Kulpa P. (2024), Sektor MŚP: brak specjalistów ds. cyberbezpieczeństwa, <https://businessman.pl>.

Moon B. Y. (2007), Enterprise Resource Planning (ERP): a review of the literature, *Mechanical and Aerospace Engineering*, 4(3).

NIS2 (2022), Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2555 z dnia 14 grudnia 2022r. w sprawie środków na rzecz wysokiego wspólnego poziomu cyberbezpieczeństwa na terytorium Unii, Dz.U. L 333 z 27.12.2022.

Pastuszek Z. (2023), *Przedsiębiorstwo w gospodarce 4.0. Chmura zarządzania*, Wyd. UMCS, Toruń.

Pinto J., dos Santos V. (2020), Assessing the Relationship between BPM Maturity and the Success of Organizations [in:] Shilhavy R. (ed.), *Proceedings of the 9th Computer Science Online Conference*, Springer.

PRF (2024), Stan cyfryzacji w polskich przedsiębiorstwach i gospodarce. Raport PFR 2024.

Reinsel D., Gantz J., Rydning J. (2018), The Digitization of the World From Edge to Core. IDC, <https://resources.moredirect.com>.

Stawicka E. (2023), Zmiany w komunikacji wewnętrznej w organizacjach w dobie postpandemicznej, *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 67(5).

Verčič A. T., Špoljarić A. (2020), Managing Internal Communication: How the Choice of Channels Affects Internal Communication Satisfaction, *Public Relations Review*, 46(3).

Woźniak J. (2018), Obszary i przesłanki wdrażania technologii teleinformatycznych w przedsiębiorstwach z rynku NewConnect [w:] Woźniak J., Zaskórski P., Pawlak K. (red.), *Technologie teleinformatyczne w gospodarce informacyjnej i komunikowaniu się współczesnych przedsiębiorstw: perspektywa rynku NewConnect*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.

Woźniak J., Pawlak K. (2018), Zasoby informacyjne i procesy komunikowania się w przedsiębiorstwie [w:] Woźniak J., Zaskórski P., Pawlak K. (red.), *Technologie teleinformatyczne w gospodarce informacyjnej i komunikowaniu się współczesnych przedsiębiorstw: perspektywa rynku NewConnect*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.

Woźniak M., Sliż P., Wycinka E. (2023), Wpływ implementacji technologii ICT na dojrzałość procesową i projektową na przykładzie dużych organizacji w Polsce, *Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów SGH, Zeszyt Naukowy* Nr 195.

Wyrembek M. (2022), Wpływ technologii Big data na zarządzanie łańcuchem dostaw, *Wyższa Szkoła Logistyki w Poznaniu*.

Wyród-Wróbel J. (2019), Zarządzanie relacjami z klientami [w:] Biesog G., Jakubiec M. (red.), *Współczesne koncepcje zarządzania*, Akademia Techniczno-Humanistyczna, Białystok.

Zadworny W., Kłak M. (2019), Charakterystyka i obszary zastosowań chmur obliczeniowych Cloud Computing w nowoczesnym modelowaniu biznesu, *Współczesne Problemy Zarządzania* Nr 15.

Rozdział II.

ZMIANY W WYKORZYSTANIU SZTUCZNEJ INTELIGENCJI PRZEZ MŚP W EUROPIE: DANE Z LAT 2021–2024

*Wojciech Nowakowski*³

Streszczenie

Celem rozdziału jest analiza zmian w poziomie wykorzystywania narzędzi sztucznej inteligencji (AI) przez małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP) w krajach europejskich w latach 2021–2024. W badaniu wykorzystano dane Eurostatu dla 32 państw europejskich. Za pomocą analizy skupień metodą K-średnich pogrupowano wszystkie badane państwa na 4 grupy różniące się poziomem wykorzystywania AI przez MŚP. Kraje Europy Zachodniej i Północnej charakteryzują się większą ilością MŚP które wykorzystują narzędzia AI niż państwa Europy Wschodniej i Południowej. Badania potwierdziły również rosnące nierówności między poszczególnymi klastrami w wykorzystywaniu AI. Przedstawione w rozdziale wyniki wskazują na istotnie statystyczny wzrost odsetka MŚP korzystających z AI, ze średnią roczną dynamiką na poziomie 1,8 punktu procentowego. W pracy podkreślono potrzebę kontynuowania badań nad społeczno-gospodarczymi determinantami adopcji AI, aby lepiej wspierać transformację cyfrową sektora MŚP w Europie.

Słowa kluczowe: sztuczna Inteligencja, sektor MŚP, gospodarka cyfrowa, analiza klastrów

Summary

The aim of this chapter is to analyze changes in the level of artificial intelligence (AI) adoption by small and medium-sized enterprises (SMEs) in European countries between 2021 and 2024. The study uses Eurostat data from 32 European countries. Based on k-means cluster analysis, all countries were grouped into four clusters differing in the level of AI use among SMEs. Western and Northern European countries are characterized by a higher proportion of SMEs using AI tools compared to Eastern and Southern Europe. The study also confirms growing inequalities between clusters in terms of AI adoption. The results presented in the chapter indicate a statistically significant increase in the share of SMEs using AI, with an average annual growth rate of 1.8 percentage points. The study highlights the need for continued research on the socio-economic determinants of AI adoption in order to better support the digital transformation of the SME sector in Europe.

Key words: Artificial Intelligence, SME sector, digital economy, cluster analysis

JEL: O33, L26, M15, C38

³ Uniwersytet Warszawski, Digital Economy Lab, w.nowakowski@delab.uw.edu.pl

Wprowadzenie

W ostatnich latach sztuczna inteligencja (AI – z ang. Artificial Intelligence) staje się narzędziem coraz chętniej wykorzystywanym w życiu codziennym, ale również i przez przedsiębiorców. Świadczy o tym liczba użytkowników korzystających z takich rozwiązań jak ChatGPT. Na początku 2025 r. dyrektor operacyjny OpenAI, Brad Lightcap, podał, że z Chat GPT korzysta 400 milionów użytkowników tygodniowo. Od stycznia 2025 r. jest to 8. najczęściej odwiedzana strona internetowa na świecie, plasująca się tuż za takimi gigantami technologicznymi jak Google, YouTube i Facebook. Warto zwrócić uwagę na to, jak szybko Chat GPT zgromadził nowych użytkowników w okresie niecałych 3 lat. Innym gigantom technologicznym należącym do GAFA (Google, Amazon, Apple, Meta) zbieranie tak dużej liczby użytkowników zajęło znacznie więcej czasu.

Sztuczna inteligencja staje się coraz powszechniej wykorzystywana w biznesie, między innymi dzięki relatywnie niskim barierom wejścia, takim jak dostępność w modelach subskrypcyjnych oraz intuicyjny interfejs użytkownika. Szczególnie istotne jest to dla małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP), które nie dysponują wielomilionowymi budżetami na rozwój własnych rozwiązań AI, a mimo to mogą korzystać z gotowych, komercyjnych narzędzi opartych na sztucznej inteligencji. Sztuczna inteligencja wywołuje rewolucję w biznesie, gospodarce i społeczeństwie, zmieniając interakcje i relacje społeczne i biznesowe [Bharadiya i in. 2023: 12].

Firmy odkrywają nowe metody poprawy wyników poprzez wykorzystanie AI i uczenia maszynowego. Używając rozwiązań opartych na AI, MŚP mogą osiągnąć znaczne oszczędności kosztów, usprawnić podejmowanie decyzji i zapewnić efektywne wykorzystanie zasobów [Bharadiya i in. 2023: 13]

Zastosowanie przez firmy sztucznej inteligencji pozytywnie wpływa na poprawę ich konkurencyjności poprzez większe zdolności do realizowania określonych celów przedsiębiorstwa, jakimi są udział w rynku oraz zwiększenie obrotu i zysku [Agrawal i in. b.d.: 8; Hamilton i in. 2023: 18; Tominc i in. 2023: 5]. Wzmacnianie konkurencyjności stanowi kluczowy element rozwoju przedsiębiorstw, dlatego wiele państw podejmuje działania wspierające wdrażanie rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji, oferując firmom różnorodne instrumenty zachęt. Z tego powodu rozwój AI jest jednym z priorytetów w Unii Europejskiej. W raporcie „The Future of European Competitiveness: A Competitiveness Strategy for Europe” Mario Draghi wskazuje, że AI ma duże znaczenie dla utrzymania pozycji lidera przez europejskie firmy w takich sektorach jak farmacja, motoryzacja, transport czy energetyka. Znaczenie sztucznej inteligencji dla konkurencyjności europejskiej

gospodarki znajduje również odzwierciedlenie w dokumentach strategicznych Komisji Europejskiej. W komunikacie „Cyfrowa dekada Europy: cele cyfrowe na 2030 r.” wskazano, że jednym z głównych celów jest to, aby do 2030 roku co najmniej 75% przedsiębiorstw w UE wykorzystywało rozwiązania oparte na chmurze, sztucznej inteligencji lub dużych zbiorach danych [Komisja Europejska].

Głównym celem pracy jest analiza poziomu wykorzystania narzędzi sztucznej inteligencji przez małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP) w państwach europejskich w latach 2021–2024 z wykorzystaniem analizy skupień. Przeprowadzona analiza pozwala na zobrazowanie aktualnego stanu adaptacji AI przez MŚP oraz na wskazanie krajów o najwyższym i najniższym poziomie wdrożeń. Pozwoli to na dalsze badania nad determinantami wpływającymi na adaptację AI w sektorze małych i średnich firm.

Obserwacja poziomu wykorzystania narzędzi sztucznej inteligencji w sektorze małych i średnich przedsiębiorstw ułatwi przedstawienie i zrozumienie obecnych trendów w zastosowaniu AI do budowania przewagi konkurencyjnej. Stabilny rozwój gospodarczy państw Unii Europejskiej w dużej mierze opiera się na zrównoważonym wzroście sektora małych i średnich przedsiębiorstw. Kluczowe znaczenie ma zapewnienie wszystkim firmom równych warunków konkurencji oraz powszechnego dostępu do technologii opartych na sztucznej inteligencji, co pozwoli uniknąć pogłębiania się nierówności technologicznych, a w konsekwencji także społeczno-ekonomicznych. Jest to szczególnie ważne w kontekście małych i średnich przedsiębiorstw, które są fundamentem gospodarki Unii Europejskiej [Lukacs b.d.; Muhammad i in. 2025: 5; Wei i Pardo 2022: 3].

1. Dane i metodologia

W badaniu wykorzystano dane Eurostatu, które dostarczają informacji na temat procentowego udziału małych i średnich przedsiębiorstw wykorzystujących co najmniej jedno narzędzie oparte na rozwiązaniach sztucznej inteligencji.

W badaniu zastosowano definicję sztucznej inteligencji, którą proponuje Eurostat [b.d.]: Sztuczna inteligencja odnosi się do systemów, które wykorzystują technologie takie jak: eksploracja tekstu, wizja komputerowa, rozpoznawanie mowy, generowanie języka naturalnego, uczenie maszynowe, głębokie uczenie się w celu gromadzenia i/lub wykorzystywania danych do przewidywania, rekomendowania lub decydowania, z różnym poziomem autonomii, o najlepszym działaniu w celu osiągnięcia określonych celów.

Dane zostały umieszczone na stronie Eurostatu w zakładce „Nauka, technologia, cyfryzacja” w sekcji „Gospodarka i społeczeństwo cyfrowe”. W

badaniu uwzględniono łącznie 32 państwa: kraje Unii Europejskiej oraz dodatkowo Norwegię, Czarnogórę, Bośnię i Hercegowinę, Serbię oraz Turcję, dla których dostępne były dane o odsetku małych i średnich przedsiębiorstw korzystających z przynajmniej jednego rozwiązania sztucznej inteligencji w latach 2021, 2023 i 2024. Rok 2022 został pominięty w powodu braku danych dla wszystkich badanych państw. Dostępność danych umożliwiła wykonanie analizy skupień, a następnie porównanie powstałych klastrów oraz pozwoliła na wyznaczenie trendu liniowego (zob. Tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka próby

Zmienna	Parametr	2021	2023	Zmiana względem 2021	2024	Zmiana względem 2021	test	p- value
Odsetek przedsiębiorstw małych i średnich firm korzystających przynajmniej z jednego rozwiązania sztucznej inteligencji	N	32	32	32	32	32	Friedmana	<0,001
	Średnia	6,58	7,2 (3,78)	0,619 (2,088)	12,73 (6,94)	6,156 (3,633)		
	Mediana	5,94	5,96 (4,43 – 10,09)	0,805 (0,068 – 1,82)	10,05 (7,63 – 19,47)	5,15 (3,258 – 8,835)		
	Zakres	0,77 – 22,61	1,28 – 14,08	-8,53 – 3,25	2,78 – 26,43	1,24 – 14,85		

Źródło: opracowanie własne.

W celu przedstawienia charakterystyki badanej grupy wykorzystano statystyki opisowe: średniej, mediany, odchylenie standardowe oraz zakresu. Wykorzystane w analizie dane miały charakter powtarzalnych pomiarów dla tych samych państw w trzech następujących po sobie punktach czasowych (2021, 2023 i 2024); aby ocenić poziom istotności zmian, wykorzystano nieparametryczny test Friedmana. Wybór tej metody podyktowany był niespełnieniem założeń o normalności rozkładu danych. Ponieważ różnice okazały się statystycznie istotne, przeprowadzono dodatkową analizę post-hoc z wykorzystaniem testów Wilcoxona z poprawką Bonferroniego, uwzględniającą wielokrotność porównań pomiędzy latami (zob. Tab. 2).

Tabela 2. Testy Wilcoxona z poprawką na wielokrotne testowanie Bonferroniego w ramach analizy post-hoc

Porównanie	p-value	p-value skorygowane
2021-2023	0,0059	0.0177
2021-2024	<0,001	<0,001
2023-2024	<0,001	<0,001

Źródło: opracowanie własne.

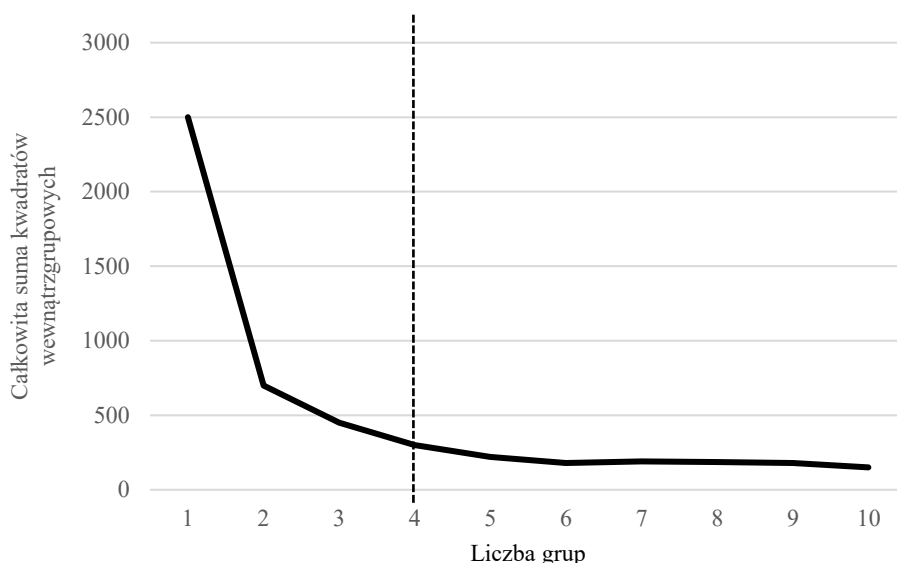
Aby zrealizować cel badawczy postawiony w pracy, w następnym kroku wykonano analizę skupień przy użyciu metody k-średnich z algorytmem MacQueena [1967].

Metoda k-średnich należy do metod podziałowych analizy skupień. Metody podziałowe polegają na dzieleniu całego zbioru obiektów zgodnie z ogólną zasadą maksymalizacji wariancji pomiędzy poszczególnymi grupami, przy jednoczesnej minimalizacji wariancji wewnątrz badanych grup [Pietrzykowski i Kobus 2006: 302]. Celem głównym analizy skupień jest wyodrębnienie ze zbioru danych naturalnych skupień – są to skupienia, które można w sensowny sposób interpretować [Wołyński i Górecki 2013: 10]. Istotą i zaletą analizy skupień jest zredukowanie liczby informacji do kilku podstawowych skupień, co pozwala na łatwe zorientowanie się w danym zjawisku oraz wyciągnięcie wniosków uogólniających [Pietrzykowski i Kobus 2006: 302].

Użycie metody analizy skupień polega na obliczeniu środka klastra – centroidów, które są zróżnicowane, podczas gdy obiekty wewnątrz grupy są jednorodne. Do wyboru optymalnej liczby klastrów wykorzystano metodę wykresu ospiska („elbow method”). Umożliwiło to podział badanych państw na 4 klastry. Metoda ta pozwala wskazać optymalną liczbę klastrów na podstawie zależności pomiędzy liczbą klastrów a sumą kwadratów odchyleń wewnątrz klastrów.

Wykres 1. przedstawia ospiska bazujące na całkowitej sumie kwadratów wewnątrzgrupowych.

Wykres 1. Osypiska bazujące na całkowitej sumie kwadratów wewnątrzgrupowych



Źródło: opracowanie własne.

Dane zwizualizowano w przestrzeni dwuwymiarowej, która umożliwia ocenę składu skupień.

Przed przystąpieniem do analizy dane poddano standaryzacji z uwzględnieniem zmienności charakterystycznej dla poszczególnych lat: od każdej wartości odejmowano średnią dla danego roku, a następnie wynik dzielono przez odchylenie standardowe w tym samym roku.

Aby zbadać zmiany w poziomie wykorzystania przynajmniej jednego narzędzia AI przez MŚP w latach 2021-2024, wykorzystano liniowy model mieszany z efektem losowym. Umożliwiło zauważenie potencjalnych różnic bazowych pomiędzy państwami oraz pozwoliło na ujęcie zależności wewnątrzgrupowych, które mogą wynikać z powtarzania pomiarów. Wykorzystanie tego podejścia było dodatkowo uzasadnione przez duże różnice między poziomami pomiarów pomiędzy państwami.

Zastosowany w pracy liniowy model z efektami losowymi:

$$Odsetek_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Rok_j + u_i + \varepsilon_{ij}$$

gdzie: $Odsetek_{ij}$ to wartość zmiennej dla kraju i i roku j ;

β_0 to wyraz wolny;

β_1 to efekt zmiennej „Rok” (traktowanej jako zmienna ilościowa);

u_i to losowy efekt specyficzny dla kraju;

ε_{ij} to składnik losowy błędu.

Za poziom istotności w pracy przyjęto $p=0,05$, wskazując jednak również na wyniki statystycznie istotne dla poziomów $p=0,01$ oraz $p=0,001$.

2. Wyniki

Analiza skupień podzieliła, pod względem odsetka małych i średnich przedsiębiorstw korzystających z przynajmniej jednego narzędzia AI, wszystkie badane państwa na cztery różniczne klastry.

Klaster 1 – kraje o wysokim poziomie wykorzystania sztucznej inteligencji w małych i średnich przedsiębiorstwach, do których zaliczamy 10 państw:

1. Belgia,
2. Niemcy,
3. Luksemburg,
4. Malta,
5. Holandia,
6. Austria,
7. Słowenia,
8. Finlandia,
9. Szwecja,
10. Norwegia.

Klaster 2 – kraje o średnim poziomie wykorzystania sztucznej inteligencji w małych i średnich przedsiębiorstwach, do których zaliczamy 13 państw:

1. Czechy,
2. Estonia,
3. Irlandia,
4. Grecja,
5. Hiszpania,
6. Francja,
7. Chorwacja,
8. Włochy,
9. Łotwa,
10. Litwa,
11. Portugalia,
12. Słowacja,
13. Czarnogóra.

Klaster 3 – kraje o niskim poziomie wykorzystania sztucznej inteligencji w małych i średnich przedsiębiorstwach, do których zaliczamy 8 państw:

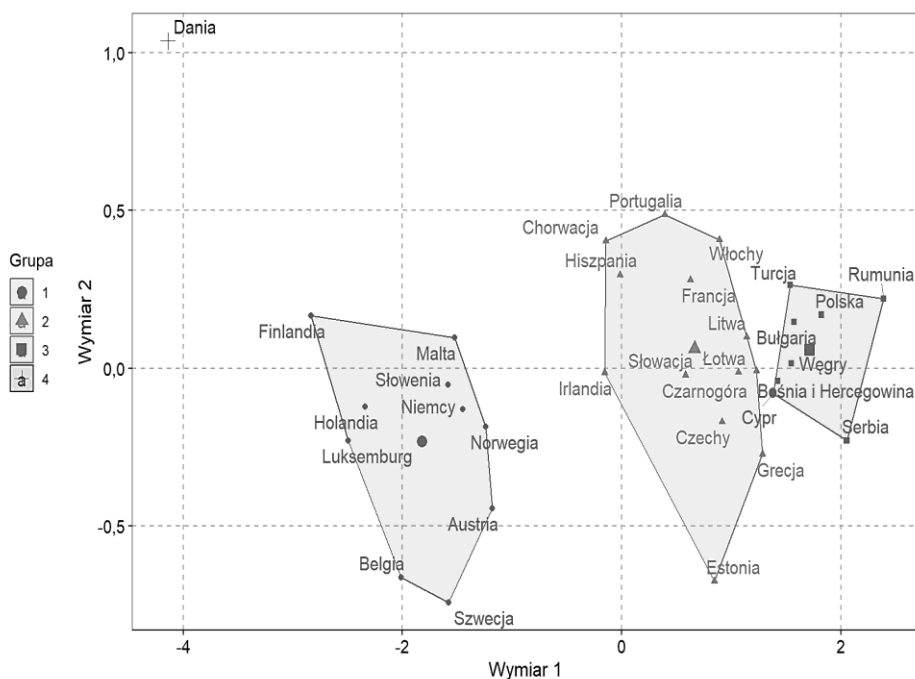
1. Bułgaria,
2. Cypr,
3. Węgry,

4. Polska,
5. Rumunia,
6. Bośnia i Hercegowina,
7. Serbia,
8. Turcja.

Klaster 4 – specyficzna grupa licząca tylko jeden kraj o najwyższym poziomie wykorzystania sztucznej inteligencji w małych i średnich przedsiębiorstwach, czyli Danię – wyraźnie odstającą od pozostałych państw.

Na wykresie 2 zaprezentowano rozmieszczenie państw w poszczególnych klastrach skupień.

Wykres 2. Podział krajów na grupy zgodnie z wynikami metody k-średnich



Źródło: opracowanie własne.

Analiza skupień pozwoliła przedstawić, że w krajach Europy Zachodniej oraz Europy Północnej z narzędzi sztucznej inteligencji korzysta więcej małych i średnich przedsiębiorstw niż w krajach Europy Wschodniej i Południowej.

W ramach analizy skupień zostały wyliczone środki poszczególnych klastrów zwane centroidami (zob. Tab. 3).

Tabela 3. Centroidy dla poszczególnych grup

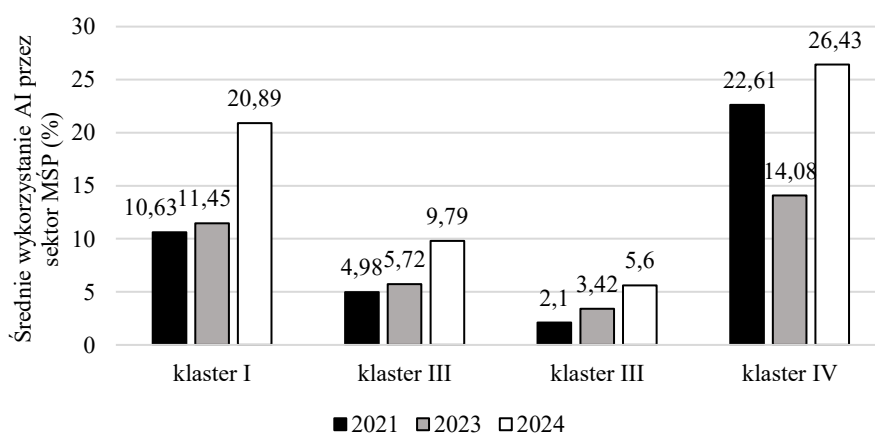
Grupa	Rok 2021	Rok 2023	Rok 2024
1	10,63	11,45	20,89
2	4,98	5,72	9,79
3	2,10	3,42	5,60
4	22,61	14,08	26,43

Źródło: opracowanie własne.

Interpretacja wyników centroidów dla czterech klastrów w latach 2021-2024 pokazuje bardzo zróżnicowaną dynamikę zmian. Zauważalne są bardzo duże wzrosty w ostatnich badanych latach, między rokiem 2023 a 2024. Należy zwrócić uwagę, że klaster I, II i III rosły nieprzerwanie od 2021 roku, jednak dynamika zmian jest znacznie wyższa w ostatnim badanym roku. Pokazuje to wzrost zainteresowania europejskich MŚP narzędziami AI. Jedyne spadki centroidu wystąpił w Danii, która miała bardzo wysoki odsetek firm MŚP korzystających z AI w 2021 roku, potem zanotowała spadek w 2023 roku, by w 2024 roku wrócić do poziomu wyższego niż w 2021 roku, stając się absolutnym liderem w omawianym procesie.

Aby przedstawić, jak zmienia się średnie wykorzystanie narzędzi AI przez MŚP w poszczególnych klastrach, w rozdziale policzono średnią arytmetyczną odsetka małych i średnich firm, które wykorzystują przynajmniej jedno narzędzie AI, dla wszystkich dostępnych lat (zob. Wykres 3).

Wykres 3. Średnie wykorzystanie AI przez sektor MŚP w procentach w latach 2021-2024



Źródło: opracowanie własne.

We wszystkich badanych klastrach wykorzystanie AI przez małe i średnie przedsiębiorstwa między 2021 a 2024 rokiem rosło wraz z czasem. Należy jednak zwrócić uwagę na to, jak duże są zmiany w poszczególnych klastrach. W klastrze I, obejmującym państwa, w których największy odsetek firm MŚP korzysta z rozwiązań AI, odnotowano najwyższy wzrost: średni poziom adaptacji AI wzrósł z 10,63% w 2021 roku do 20,89% w 2024 roku, co oznacza skok o ponad 10 punktów procentowych. W klastrze II, obejmującym państwa o średnim odsetku MŚP korzystających z rozwiązań AI, nastąpił wzrost z 4,98% w 2021 roku do 9,79% w 2024 roku, co oznacza skok o prawie 5 punktów procentowych. Klaster III, obejmujący państwa, w których najmniej małych i średnich firm korzysta z rozwiązań AI, odnotował wzrost z poziomu 2,1% w 2021 do 5,6% w 2024 roku, co przekłada się na skok o 3,5 punktu procentowego.

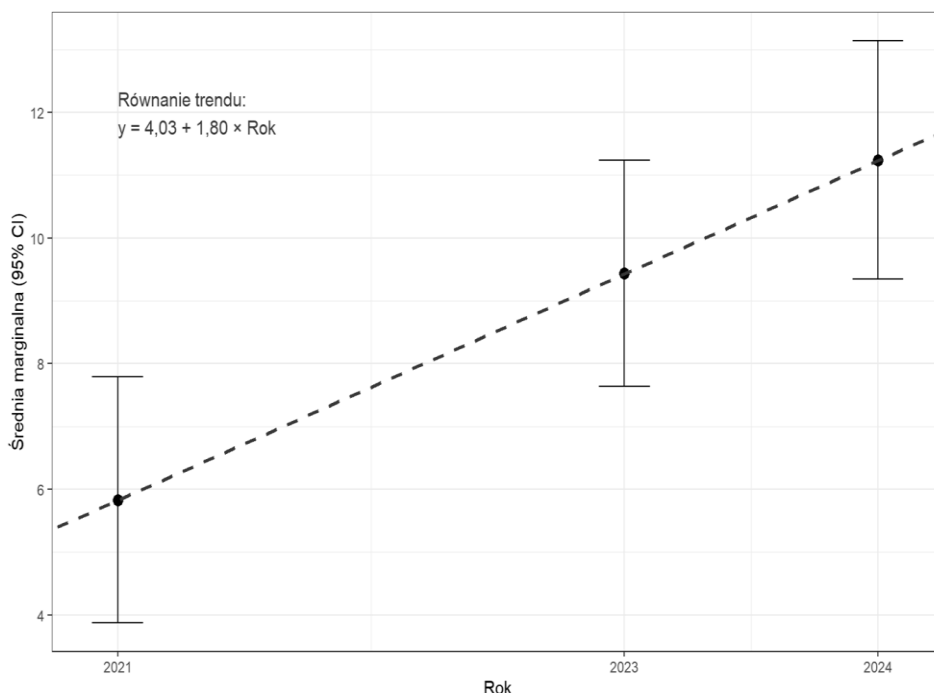
We wszystkich 3 klastrach średnia wykorzystania rozwiązań AI przez MŚP rosła, jednak należy zauważyć, że największy wzrost wystąpił między rokiem 2023 a 2024 we wszystkich badanych klastrach, może to być spowodowane coraz większym wyborem narzędzi, które wykorzystują rozwiązania AI i pomagają w prowadzeniu firmy. Dodatkowo widać też, że odsetek państw, które są liderami pod względem wykorzystania sztucznej inteligencji przez małe i średnie przedsiębiorstwa, rośnie znacznie szybciej niż krajów o średnim czy niskim poziomie. Sugeruje to, że opłaca się być cyfrowym liderem.

Klaster IV jest specyficzny, ponieważ obejmuje tylko jedno państwo: Danię – tak więc wyniki pokazane na wykresie przedstawiają tylko sytuację w tym kraju. Co ciekawe, jest to jedyny klaster o tak wysokim wykorzystaniu AI przez firmy, a mimo to jedyny klaster, który między rokiem 2021 a 2023 zanotował spadek odsetka małych i średnich firm korzystających z AI. W Danii zaobserwowano ten spadek między 2021 (22,61%) a 2023 rokiem (14,08%), po czym nastąpił gwałtowny wzrost do poziomu 26,43% w 2024 roku. Mimo różnic w tempie i poziomie wdrażania AI w poszczególnych klastrach ogólny trend wskazuje na rosnące zainteresowanie i intensyfikację adaptacji AI w sektorze MŚP w Europie, przy czym największą dynamikę zmian obserwuje się w ostatnim roku analizy.

Wzrost zainteresowania wykorzystaniem AI przez MŚP w Europie został również sprawdzony poprzez wykorzystanie liniowego modelu z efektami losowymi. Wyniki liniowego modelu mieszanego wykazały istotny statystycznie wzrost odsetka małych i średnich przedsiębiorstw korzystających z co najmniej jednego rozwiązania opartego na sztucznej inteligencji w latach 2021-2024. Wartość wyrazu wolnego wynosiła 4,03 (95% CI: 1,87–6,19; $p < 0,001$). Współczynnik zmiennej „Rok” wynosił 1,80 (95% CI: 1,31–2,30; $p < 0,001$), co wskazuje, że w każdym kolejnym analizowanym roku (począwszy od 2021 – ten

pomiar traktowany jest jako pierwszy, a każdy kolejny rok to kolejna cyfra rzeczywista) odsetek przedsiębiorstw korzystających z AI wzrastał średnio o 1,8 punktu procentowego (zob. Wykres 4).

Wykres 4. Średnie marginalne wraz z 95% przedziałami ufności z naniesioną linią trendu



Źródło: opracowanie własne.

Rosnący trend liniowy potwierdza zauważone w analizie centroidów oraz średnich zmiany wskazujące, że wraz z czasem rośnie zainteresowanie wykorzystywaniem narzędzi AI przez sektor MŚP w Europie. Przyczyn tych zmian może być bardzo dużo i mogą wynikać z wielu czynników społeczno-gospodarczych, celem kolejnych badań naukowych powinna być pogłębiona analiza czynników społeczno-gospodarczych w obrębie klastra, tak aby wskazać czynniki, które w istotny sposób wpływają na poziom adaptacji AI w małych i średnich przedsiębiorstwach.

Wnioski

Przeprowadzone badanie dotyczące odsetka małych i średnich europejskich firm, które w latach 2021-2024 korzystały przynajmniej z jednego narzędzia AI, wskazuje kilka kluczowych wniosków dotyczących zróżnicowania

i dynamiki omawianego procesu. W Europie już widać geograficzny podział pod względem liczby firm korzystających z rozwiązań AI. Państwa Europy Zachodniej i Północnej notują znacznie wyższy odsetek małych i średnich przedsiębiorstw, które korzystają z AI, niż kraje Europy Wschodniej i Południowej. Przyczyn obserwowanego zróżnicowania można upatrywać w wielu czynnikach społeczno-gospodarczych, takich jak choćby edukacja, infrastruktura techniczna czy polityka wewnętrzna. W dalszych badaniach warto pogłębić analizę o czynniki społeczno-gospodarcze, w tym poziom wykształcenia czy umiejętności cyfrowe w społeczeństwie. Uzupełnienie analizy o te zmienne może dostarczyć cennych informacji na temat mechanizmów sprzyjających lub hamujących rozwój sztucznej inteligencji w sektorze małych i średnich przedsiębiorstw.

Wśród wszystkich badanych państw Dania jest niekwestionowanym liderem wykorzystania narzędzi AI przez MŚP. W analizie skupień została ona wyodrębniona jako osobny klaster, prezentując najwyższy wśród wszystkich państw europejskich odsetek małych i średnich przedsiębiorstw korzystających z AI w 2021 i 2024 roku.

Przedstawiona w badaniu analiza centroidów oraz średnich poziomów wykorzystania AI przez MŚP w każdym z klastrów wskazała na stały wzrost odsetka firm w omawianym procesie. Warto zauważyć, że największy skok odnotowano w klastrze I, co wskazuje na to że szybciej pogłębia się różnica pomiędzy liderami technologicznymi a krajami o niższym poziomie wykorzystania systemów AI w sektorze MŚP. Przyczyną tego może być wewnętrzna presja firm, które działają w danym państwie: jeśli więcej podmiotów korzysta z narzędzi AI, to inne przedsiębiorstwa, chcąc optymalizować działania i zwiększać konkurencyjność, muszą się dostosowywać do zmieniającego się otoczenia rynkowego.

Wzrost odsetka firm wykorzystujących AI jest również widoczny w wynikach liniowego modelu mieszanego, gdzie wykazano że w okresie 2021-2024 odsetek firm MŚP korzystających z AI istotnie statystycznie wzrastał średnio o 1,8 punktu procentowego rocznie ($p < 0,001$), co potwierdza ogólny trend rosnącej popularności wykorzystania narzędzi sztucznej inteligencji w europejskim sektorze MŚP. Tych zmian również można upatrywać w działalności konkurencyjnej zarówno na rynku krajowym, jak i europejskim.

Wyniki przedstawione w pracy pokazują wzrost wykorzystania narzędzi AI w małych i średnich przedsiębiorstwach działających w Europie. Szeroko pojęta transformacja cyfrowa, której jedną z części jest sztuczna inteligencja, przyspiesza, co może wynikać zarówno ze zwiększonego zainteresowania tym stosunkowo nowym na rynku rozwiązaniem, jak i presji bądź chęci zwiększenia konkurencyjności małych i średnich przedsiębiorstw oraz popularności i niskich

kosztów wejścia w niektóre technologie AI. Jednocześnie zwiększają się różnice w wykorzystaniu AI przez MŚP między poszczególnymi krajami. W dłuższej perspektywie mogą one prowadzić do zwiększania nierówności technologicznych i konkurencyjności w Europie, a co najważniejsze – w samej Unii Europejskiej, w której zrównoważony rozwój wszystkich państw jest bardzo istotny. Wyniki analizy skupień oraz trendów odsetka firm MŚP wykorzystujących AI ukazują potrzebę dalszych badań, które pomogą opracować czynniki społeczno-gospodarcze sprzyjające adaptacji AI. Tak aby mogły wskazywać odpowiednie polityki wspierające, które przyczynią się do wzrostu odsetka firm korzystających z AI oraz wskażą bariery, które blokują sektor MŚP we wdrażaniu AI.

Dyskusja

Przeprowadzona analiza skupień umożliwiła klasyfikację państw europejskich według poziomu wykorzystania narzędzi sztucznej inteligencji przez sektor małych i średnich przedsiębiorstw, co pozwoliło na wyodrębnienie czterech klastrów o zróżnicowanej intensywności adaptacji AI. Następnie analiza średnich wartości oraz centroidów dla poszczególnych klastrów, uzupełniona o estymację trendu przy zastosowaniu liniowego modelu mieszanego z efektami losowymi, pozwoliła na identyfikację zmian, jakie zaszły w okresie 2021-2024 w każdym z wyodrębnionych klastrów.

Wyniki przedstawione w powyższym badaniu wpisują się w aktualne badania naukowe. W opublikowanym w 2023 roku artykule autorzy wskazują na istotne różnice w poziomie wykorzystania sztucznej inteligencji między państwami europejskimi, podkreślając, że kraje Europy Północnej i Zachodniej – takie jak Irlandia, Dania czy Finlandia – wykazują znacznie wyższy poziom rozwoju technologicznego i adaptacji AI niż państwa Europy Wschodniej i Południowej.[Marino i in. 2023: 623]. Przyczyną tych podziałów może być opisany w literaturze naukowej poziom zaufania do sztucznej inteligencji. W krajach takich jak Dania, Holandia i Finlandia ludzie są bardziej pozytywnie nastawieni i ufni wobec tej technologii, podczas gdy we Włoszech, Grecji czy Polsce panuje większy sceptycyzm [Scantamburlo i in., 2025: 11]. Badania trendu i zmian w poziomach wykorzystywania narzędzi AI przez sektor MŚP również wpisują się na najnowsze publikacje naukowe, w których autorzy wskazują, iż firmy coraz chętniej chcą korzystać z rozwiązań AI [Mihai i in. 2023: 4] Wyniki przedstawione w niniejszej pracy obrazują opisane przez innych badaczy zmiany w gospodarce, które ukazują, że cyfrowa transformacja wpływa na poprawę konkurencyjności, wzrost produktywności oraz PKB [Agrawal i in. b.d.: 140; Misch i in. b.d.: 4; Tominc i in. 2023: 6]. Zaobserwowane

zróźnicowanie tempa wzrostu oraz poziomu wykorzystania AI przez MŚP w poszczególnych grupach krajów wskazuje na potrzebę pogłębionych badań nad uwarunkowaniami tych procesów. W szczególności istotne wydaje się zidentyfikowanie czynników determinujących tempo i zakres wdrażania rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji w sektorze MŚP. Zrozumienie tych determinant – zarówno o charakterze społeczno-gospodarczym, jak i instytucjonalnym – może przyczynić się do formułowania bardziej precyzyjnych i skutecznych strategii wsparcia transformacji cyfrowej w sektorze MŚP na poziomie krajowym i europejskim.

Bibliografia

Agrawal A.K., Gans J., Goldfarb A. (2019), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*, University of Chicago Press, Chicago.

Bharadiya J.P., Thomas R.K., Ahmed F. (2023), *Rise of Artificial Intelligence in Business and Industry*, *Journal of Engineering Research and Reports*, 25(3).

Council of the European Union (2024), *The EU Long-Term Budget*, Bruksela (dostęp: 11.06.2024).

Eurostat (b.d.), *Glossary: Artificial intelligence (AI)*, Luksemburg (dostęp: 10.06.2024).

Eurostat (2024), *Procentowy udział małych i średnich przedsiębiorstw wykorzystujących co najmniej jedno narzędzie oparte na rozwiązaniach sztucznej inteligencji*, Luksemburg (dostęp: 09.04.2024).

Hamilton J.R., Tee S., Maxwell S.J. (2023), *AI and Firm Competitiveness*, *Proceedings of the 56th Hawaii International Conference on System Sciences*, Honolulu.

Komisja Europejska (2021), *Cyfrowa dekada Europy: cele cyfrowe na 2030 r.*, Bruksela.

Lukacs E. (b.d.), *The Economic Role of SMEs in World Economy, Especially in Europe*, *European Integration Studies*.

MacQueen J. (1967), *Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations* [in:] Le Cam L., Neyman J. (ed.), *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Vol. 1: Statistics*, University of California Press, Berkeley.

Marino D., Gil Lafuente J., Tebala D. (2023), *Innovations and development of artificial intelligence in Europe: Some empirical evidences*, *European Journal of Management and Business Economics*, 32(5).

Mihai F., Aleca O.E., Gheorghe M. (2023), *Digital Transformation Based on AI Technologies in European Union Organizations*, *Electronics*, 12(11).

Misch F., Park B., Pizzinelli C., Sher G. (2025), *Artificial Intelligence and Productivity in Europe*, *IMF Working Paper WP/25/67*, Washington.

Muhammad S.S., Dey B.L., Kamal M.M., et al. (2025), *Digital transformation or digital divide? SMEs' use of AI during global crisis*, *Technological Forecasting and Social Change*, 217.

- Pasham S.D. (b.d.), AI-Driven Cloud Cost Optimization for Small and Medium Enterprises (SMEs), *International Journal of Advanced Research in Computer Science*.
- Pietrzykowski R., Kobus P. (2006), Zastosowanie modyfikacji metody k-średnich w analizie portfelowej, *Zeszyty Naukowe SGGW – Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, Nr 60.
- Scantamburlo T., Cortés A., Foffano F., et al. (2025), Artificial Intelligence Across Europe: A Study on Awareness, Attitude and Trust, *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*, 6(2).
- Scantamburlo T., Andrighetto G., Tummolini L. (2023), AI, big data, and the future of democracy, *AI & Society*, 38.
- Tominc P., Oreški D., Rožman M. (2023), Artificial Intelligence and Agility-Based Model for Successful Project Implementation and Company Competitiveness, *Information*, 14(6).
- Wei R., Pardo C. (2022), Artificial intelligence and SMEs: How can B2B SMEs leverage AI platforms to integrate AI technologies?, *Industrial Marketing Management*, 107.
- Wołyński W., Górecki J. (2013), *Analiza skupień w badaniach marketingowych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań.

Rozdział III.

TECHNOLOGIE PRZEMYSŁU 4.0 I SYSTEMY ZARZĄDZANIA W POLSKICH PRZEDSIĘBIORSTWACH: ANALIZA TRENDÓW WDROŻENIOWYCH NA PRZYKŁADZIE BYDGOSKIEGO KLAstra PRZEMYSŁOWEGO DOLINY NARZĘDZIOWEJ

Anna Tatarczak ⁴, Piotr Wojciechowski ⁵

Streszczenie

Rozdział analizuje wpływ transformacji cyfrowej na przedsiębiorstwa Bydgoskiego Klastra Przemysłowego Doliny Narzędziowej. Badania z lat 2019 i 2022 dotyczyły wdrożeń technologii Przemysłu 4.0, systemów zarządzania (ERP, CRM, SCM) i certyfikacji jakości (ISO, IATF). Omówiono rozwój koncepcji klastrów, ich rolę w innowacyjności oraz czynniki warunkujące skuteczną cyfryzację. Wyniki wskazują na rosnące znaczenie systemów zarządzania i zróżnicowany poziom cyfryzacji przedsiębiorstw, co podkreśla potrzebę indywidualnego wsparcia i rozwoju kompetencji cyfrowych. Opracowanie stanowi wkład w badania nad cyfrową transformacją klastrów przemysłowych w Polsce.

Słowa kluczowe: klastry przemysłowe, transformacja cyfrowa, Przemysł 4.0, systemy zarządzania, ISO, Bydgoski Klastr Przemysłowy Dolina Narzędziowa

Summary

The chapter examines the impact of digital transformation on companies within the Bydgoszcz Industrial Cluster Tool Valley. Surveys from 2019 and 2022 focused on Industry 4.0 technologies, management systems (ERP, CRM, SCM), and quality certifications (ISO, IATF). It discusses cluster development, innovation potential, and key factors for effective digitalisation. Findings show growing relevance of management systems and varied digital maturity among firms, indicating the need for tailored support and digital skills development. The chapter contributes to the research on digital transformation of industrial clusters in Poland.

Key words: industrial clusters, digital transformation, Industry 4.0, management systems, ISO, Bydgoszcz Industrial Cluster Tool Valley

JEL: L23, O33, R58

⁴ Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, anna.tatarczak@umcs.pl

⁵ Bydgoski Klastr Przemysłowy Dolina Narzędziowa, p.wojciechowski@klastr.bydgoszcz.pl

Wprowadzenie

Idea i pojęcie klastrów została szeroko rozpowszechniona dzięki pracom Michaela Portera, który w 1990 r. opublikował "The Competitive Advantage of Nations". Opracowana przez niego definicja klastra jako geograficznego skupiska powiązanych firm i instytucji, które jednocześnie konkurują i współpracują, zapoczątkowała dynamiczny rozwój badań nad tym zjawiskiem [Porter 2001: 102].

Prezentowane badania przeprowadzone zostały w jednym z Krajowych Klastrow Kluczowych – Bydgoskim Klastrze Przemysłowym Dolinie Narzędziowej, który jest przykładem dynamicznie rozwijającej się inicjatywy skupiającej pełny łańcuch przedsiębiorstw z sektora wytwarzania narzędzi do przetwórstwa tworzyw polimerowych oraz producentów detali z tworzyw dla branż takich jak motoryzacja, opakowania, budownictwo, AGD, medycyna czy elektronika. Klastr powstał w 2006 roku z inicjatywy przedsiębiorców, uczelni wyższej oraz Miasta Bydgoszcz. Potwierdzeniem jego znaczenia jest uzyskanie w 2016 roku statusu Krajowego Klastra Kluczowego (odnawianego w kolejnych latach) oraz wdrożenie w 2023 roku światowego standardu zarządzania organizacjami klastrowymi Gold Label Management Certificate. Znaczenie Bydgoskiego Klastra Przemysłowego dla regionu jest wielowymiarowe. Oprócz stymulowania rozwoju lokalnej gospodarki, klastr przyczynia się do podnoszenia konkurencyjności firm na rynku krajowym i zagranicznym. Inicjatywy realizowane w jego ramach – takie jak wspólne projekty badawcze, programy szkoleniowe i edukacyjne czy działania promocyjne – sprzyjają budowie trwałych relacji biznesowych i wzmacniają pozycję regionu jako miejsca atrakcyjnego dla inwestycji przemysłowych.

Pomimo rosnącego zainteresowania transformacją cyfrową w przemyśle, stosunkowo niewiele badań koncentruje się na empirycznej analizie poziomu wdrożenia technologii Przemysłu 4.0 w małych i średnich przedsiębiorstwach działających w strukturach klastrowych, szczególnie poza głównymi ośrodkami przemysłowymi [Kramarz 2021: 58]. Słabo rozpoznany obszarem pozostaje integracja nowoczesnych technologii cyfrowych – takich jak Internet Rzeczy (IoT), analiza danych (Big Data), systemy ERP i SCM – z codziennymi praktykami zarządczymi i produkcyjnymi firm. W literaturze dominuje podejście przekrojowe lub jednorazowe, brakuje natomiast ujęć panelowych, pozwalających uchwycić dynamikę zmian w czasie [Predygiel i Zalesna 2021: 83]. Niewystarczająco zbadane są również zróżnicowania cyfryzacyjne wynikające z wielkości firm, ich branży, dostępności zasobów czy relacji wewnątrzklastrowych [Lis i Lis 2013: 22].

Celem opracowania jest ocena poziomu wdrożenia rozwiązań cyfrowych – technologii Przemysłu 4.0, zintegrowanych systemów zarządzania oraz norm jakościowych – w przedsiębiorstwach zrzeszonych w Bydgoskim Kłastrze Przemysłowym Dolinie Narzędziowej, a także identyfikacja barier i uwarunkowań transformacji cyfrowej w strukturze klastrowej.

1. Przegląd literatury

Zagadnienie klastrów przemysłowych zajmuje istotne miejsce w literaturze z zakresu zarządzania, ekonomii regionalnej oraz polityki innowacyjności [Wojnicka-Sycz 2017: 12; Mikołajczyk, Kurczewska i Fila 2009: 33; Asheim i Gertler 2005: 295; Sölvell, Lindqvist i Ketels 2003: 27; Akdeve i Ozkánli 2006: 109; Clark 2020: 45; Petropoulou i in. 2024: 10536]. Poczynając od klasycznej definicji zaproponowanej przez Portera, klastry są postrzegane jako geograficznie skoncentrowane grupy współdziałających i konkurujących ze sobą przedsiębiorstw, instytucji badawczych i organizacji wspierających, które działają w powiązanych sektorach i wzmacniają swoją pozycję poprzez wymianę zasobów oraz wiedzy [Porter 2001: 102].

W literaturze, oprócz podstawowego pojęcia klastra, funkcjonują także terminy: inicjatywa klastrowa i organizacja klastrowa. Inicjatywa klastrowa to zorganizowane działanie ukierunkowane na wzrost konkurencyjności klastrów poprzez współpracę firm, administracji i sektora B+R [Sölvell, Lindqvist i Ketels 2003: 27]. Organizacja klastrowa natomiast to formalna struktura z koordynatorem zarządzającym współpracą członków klastra. Jej formy prawne mogą być różne – od stowarzyszeń po spółki prawa handlowego – a do jej zadań należy m.in. reprezentacja zewnętrzna, zarządzanie relacjami wewnętrznymi oraz świadczenie usług na rzecz członków. Zarówno badania empiryczne, jak i opracowania teoretyczne podkreślają rolę kapitału społecznego i dojrzałości organizacyjnej w skutecznym funkcjonowaniu klastrów. Brak zaufania między podmiotami i słabe relacje wewnętrzne ograniczają efekty współpracy i wdrażania innowacji [Asheim i Gertler 2005: 295]. Klastry przyczyniają się do rozwoju regionalnego poprzez wspieranie innowacyjności, specjalizację produkcyjną, przyciąganie inwestycji oraz poprawę jakości zatrudnienia [Wojnicka-Sycz 2017: 12].

W Polsce rozwój struktur klastrowych przyspieszył po akcesji do Unii Europejskiej, czemu sprzyjało wsparcie ze środków unijnych i rozwój systemowych mechanizmów wspierających współpracę międzysektorową [Mikołajczyk, Kurczewska i Fila 2009: 33]. Przykładem wsparcia instytucjonalnego jest system Krajowych Klastrów Kluczowych, wdrażany przez Ministerstwo Rozwoju i Technologii, którego celem jest rozwój ekosystemów o

znaczeniu strategicznym dla gospodarki [Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej 2023].

W kontekście transformacji cyfrowej, badania wskazują, że skuteczna implementacja technologii Przemysłu 4.0 zależy nie tylko od zaplecza technologicznego, ale przede wszystkim od gotowości organizacyjnej oraz kompetencji cyfrowych pracowników [Predygier i Zalesna 2021: 88]. W przypadku sektora MŚP, bariery często mają charakter instytucjonalny i kompetencyjny. Dodatkowo, stopień współpracy w ramach klastra zależy od poziomu jego integracji, formy zarządzania oraz historycznie ukształtowanych relacji [Lis i Lis 2013: 22]. Literatura coraz częściej podkreśla konieczność prowadzenia analiz panelowych i długofalowych, które mogłyby ujawnić rzeczywistą dynamikę zmian technologicznych i organizacyjnych w strukturach klastrowych. Dotychczas dominowały podejścia przekrojowe, nieuwzględniające zmienności w czasie i specyfiki lokalnych uwarunkowań wdrożeniowych [Predygier i Zalesna 2021: 84].

W literaturze coraz częściej podkreśla się, że transformacja cyfrowa w przemyśle stopniowo wykracza poza ramy Przemysłu 4.0, prowadząc do koncepcji Przemysłu 5.0, w której akcentuje się przede wszystkim podejście human-centred, zrównoważony rozwój oraz odporność organizacyjną [Xu i in. 2021; Sharma i in. 2024; Martini i in. 2024]. Przemysł 5.0 nie stanowi całkowitego odejścia od wcześniejszego paradygmatu, lecz jego uzupełnienie o elementy społeczne i środowiskowe, które mają umożliwić budowanie bardziej inkluzywnych i odpornych ekosystemów przemysłowych. Najnowsze analizy wskazują, że rośnie znaczenie powiązania cyfryzacji z gospodarką o obiegu zamkniętym oraz zrównoważoną produkcją [Rajeb i in. 2025]. Coraz częściej zwraca się również uwagę na potrzebę równoważenia roli człowieka i sztucznej inteligencji w procesach przemysłowych [Li i Duan 2025]. W badaniach literaturowych uwypukla się również, że cyfryzacja powinna być postrzegana nie tylko jako proces technologiczny, lecz także jako mechanizm zwiększania odporności firm na zakłócenia [Aheleroff 2022]. Choć niniejsze badanie koncentruje się na implementacji technologii Przemysłu 4.0 w strukturze klastra przemysłowego, to uzyskane wyniki można interpretować jako część szerszej debaty o kierunkach transformacji cyfrowej. Wzrost zastosowania systemów zarządzania, ograniczone wdrożenia norm jakości oraz nierównomierne tempo implementacji rozwiązań Przemysłu 4.0 wskazują, że procesy te mogą stanowić fundament dla przyszłych adaptacji zgodnych z założeniami Przemysłu 5.0, w którym cyfryzacja zostanie powiązana z wymiarami społecznymi, środowiskowymi i organizacyjnymi. Jednocześnie w literaturze brakuje pogłębionych badań empirycznych, które analizowałyby te procesy w strukturach klastrowych polskich MŚP, szczególnie w perspektywie

dynamicznych zmian zachodzących pomiędzy Przemysłem 4.0 a wyłaniającym się paradygmatem Przemysłu 5.0.

Dotychczasowe badania potwierdzają istotną rolę struktur klastrowych w stymulowaniu innowacyjności, współpracy międzyorganizacyjnej oraz rozwoju regionalnego [Wojnicka-Sycz 2017: 12; Mikołajczyk, Kurczewska i Fila 2009: 33; Asheim i Gertler 2005: 295; Sölvell, Lindqvist i Ketels 2003: 27]. Jednocześnie przegląd literatury ukazuje, że wiele analiz ma charakter przekrojowy, a stosunkowo niewiele prac koncentruje się na ujęciach empirycznych uwzględniających dynamikę transformacji cyfrowej w konkretnych strukturach klastrowych. Brakuje szczegółowych analiz integracji technologii Przemysłu 4.0 w sektorze MŚP w kontekście powiązań wewnątrzklastrowych i roli koordynatorów. Luka ta jest szczególnie widoczna w odniesieniu do regionalnych klastrów przemysłowych funkcjonujących poza głównymi ośrodkami gospodarczymi. Tym samym uzasadniona jest potrzeba przeprowadzenia pogłębionych badań empirycznych, które pozwolą uchwycić nie tylko poziom wdrożenia nowoczesnych technologii, ale także zidentyfikować czynniki wspierające i bariery rozwoju cyfrowego w środowisku klastrowym.

Mimo rosnącej liczby opracowań teoretycznych i przekrojowych analiz dotyczących klastrów, nadal brakuje badań empirycznych ukazujących dynamikę cyfryzacji w polskich strukturach klastrowych sektora MŚP. Szczególnie widoczna jest luka badawcza w zakresie longitudinalnych analiz wdrożeń technologii Przemysłu 4.0 oraz ich powiązań z procesami organizacyjnymi i instytucjonalnymi, które mogą stanowić punkt wyjścia do dalszej dyskusji o kierunkach transformacji w stronę Przemysłu 5.0. Niniejsze opracowanie podejmuje próbę wypełnienia tej luki.

2. Metody badawcze

Badania zostały wykonane w dwóch edycjach wśród członków Bydgoskiego Klastra Przemysłowego Doliny Narzędziowej (w latach 2019 i 2022). Badanie miało charakter ilościowy i porównawczy (longitudinalny), umożliwiający analizę zmian zachodzących w czasie. Badanie zostało przeprowadzone metodą CAWI. W roku 2019 ankieta została wysłana do 86 przedsiębiorstw, a badanie wypełniło 81 firm (zwrot wyniósł 94%). W 2022 roku ankieta była wysłana do 113 firm, a w badaniu uczestniczyło 98 przedsiębiorstw (zwrot wyniósł 87%). Próba badawcza miała charakter celowy i obejmowała wyłącznie podmioty zrzeszone w strukturze klastra. Kwestionariusz ankiety zawierał pytania zamknięte, obejmujące trzy kluczowe obszary transformacji cyfrowej:

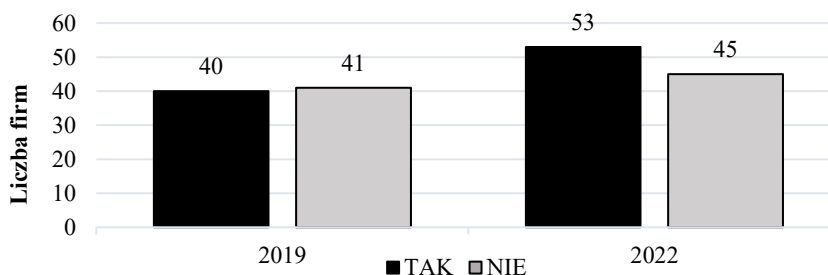
- Czy stosują Państwo rozwiązania Przemysłu 4.0? Uszczegółowiono, iż poprzez rozwiązania Przemysłu 4.0 rozumie się Internet Rzeczy, Big Data, Inteligentne Roboty Przemysłowe, Chmura Danych, Symulacje, Druk 3D.
- Czy stosują Państwo systemy zarządzania? Wskazano następujące systemy zarządzania do wyboru - ERP, CRM, CMS, MRP, DMS, SCM, WMS, RCP, DMS, BI. W badaniu brano pod uwagę wyłącznie przedsiębiorstwa, które wskazały, iż stosują minimum 2 systemy.
- Czy posiadają Państwo wdrożone normy ISO? W tym pytaniu wskazano do wyboru kilka podstawowych norm z możliwością zaznaczenia pozycji INNE i wprowadzenia własnej normy.

Zebrane dane zostały poddane analizie statystycznej obejmującej analizę częstości oraz porównania między dwoma okresami badawczymi.

3. Wyniki i dyskusja

Analiza odpowiedzi na pierwsze pytanie wskazuje, iż w latach 2019 -2022 wzrosła liczba przedsiębiorstw, które wdrażają i stosują rozwiązania Przemysłu 4.0. Liczba ta wzrosła z 40 do 53 (z 49% do 54% firm). Wzrosła również liczba firm, które nie stosują ww. rozwiązań, jednak w ujęciu procentowym jest to wzrost dużo niższy (zob. Wykres 1).

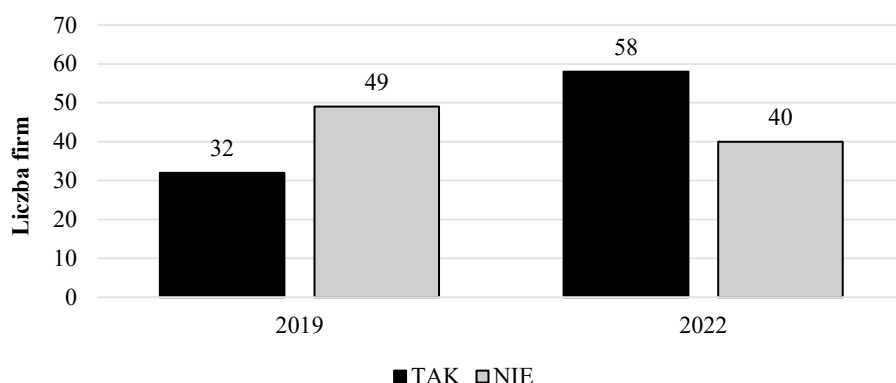
Wykres 1. Czy stosują Państwo rozwiązania Przemysłu 4.0



Źródło: opracowanie własne.

Wyniki uzyskane w pytaniu odnośnie systemów zarządzania wskazują, iż również w tym przypadku rośnie zainteresowanie i potrzeba stosowania tego typu rozwiązań. Należy wskazać, iż wzrost zastosowań takich rozwiązań jest zdecydowanie wyższy niż w przypadku technologii Przemysłu 4.0. Odsetek firm, które wdrożyły przynajmniej dwa systemy zarządzania wzrósł o 20% (z 39% do 59%) (zob. Wykres 2).

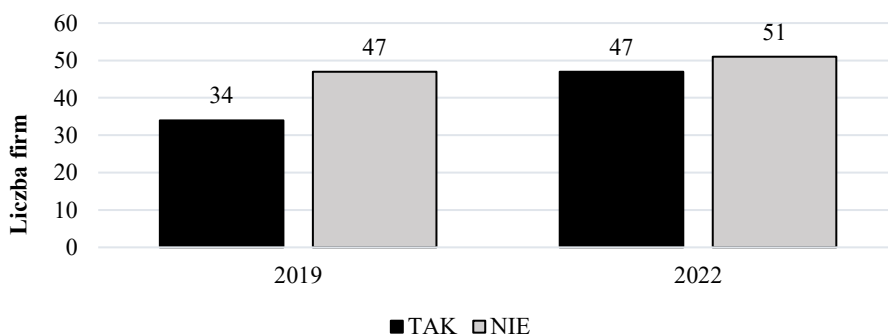
Wykres 2. Czy stosują Państwo systemy zarządzania (przynajmniej dwa ze wskazanych)



Źródło: opracowanie własne.

Zaskakujące wyniki przynoszą odpowiedzi uzyskane na pytanie dotyczące wdrożonych norm ISO (zob. Wykres 3). Również w tym przypadku odsetek przedsiębiorstw, które wdrożyły tego typu rozwiązania wzrósł z 42% do 48%, jednakże ponad połowa zbadanych przedsiębiorstw nie wdrożyła żadnej normy ISO. W dzisiejszej bardzo konkurencyjnej gospodarce opartej na jakości takie wyniki mogą być zaskoczeniem.

Wykres 3. Czy posiadają Państwo wdrożone normy ISO

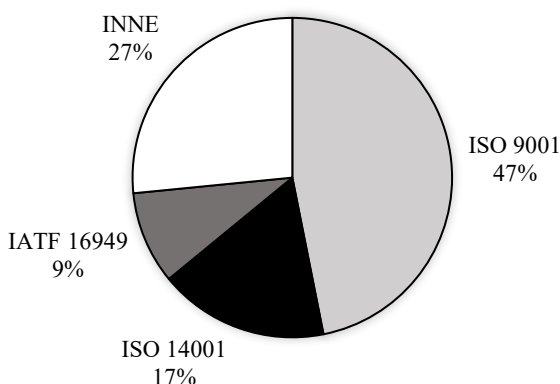


Źródło: opracowanie własne.

W pytaniu trzecim zadano również pytanie uszczegółowiające – jeśli firma wskazała odpowiedź tak, zapytano jakie są to normy (zob. Wykres 4 i Wykres 5). W obu edycjach badań najczęściej wskazywano normę ISO 9001, na drugim miejscu normę 14001, a na trzecim specjalistyczną normę branży automotive IATF 16949. Duża część firm (odpowiednio 27% oraz 35%) wskazało również normy INNE – były to specjalistyczne certyfikaty wymagane w poszczególnych

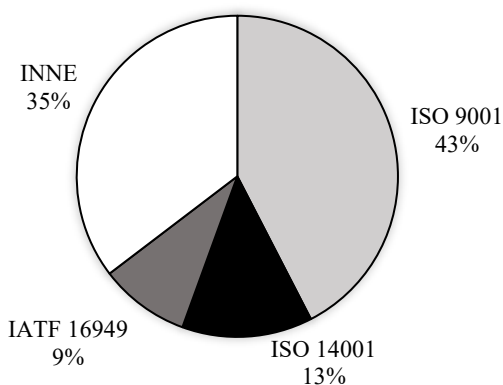
sektorach gospodarki, dla których firmy członkowskie Klastra wytwarzają swoje produkty. Wskazane zostały między innymi takie normy jak: ISO 13485, ISO 50001, ISO 11 135, ISCC PLUS, BRIC, SEDEX, ISO 28000, TS 22163, IS 45001, ISO 3834, ISO 15378, ISO 22000.

Wykres 4. Wyniki szczegółowe wdrożonych norm ISO – 2019 rok



Źródło: opracowanie własne.

Wykres 5. Wyniki szczegółowe wdrożonych norm ISO – 2022 rok



Źródło: opracowanie własne.

Uzyskane wyniki wskazują, iż przedsiębiorstwa branży narzędziowo-przetwórczej zrzeszone w Bydgoskim Kłastrze Przemysłowym Dolinie Narzędziowej wykazują zainteresowanie wdrażaniem rozwiązań Przemysłu 4.0 oraz systemów wspierających zarządzanie. Występuje jednak rozróżnienie w odsetku wdrożonych rozwiązań/popularności wdrożonych rozwiązań. Badanie potwierdza także obecność różnych typów systemów informatycznych (m.in.

ERP, CRM, BI) oraz standardów jakości i certyfikacji w praktykach firm członkowskich.

Otrzymane wyniki wpisują się w obserwowane w literaturze trendy dotyczące stopniowego, choć nierównomiernego, wdrażania rozwiązań Przemysłu 4.0 w sektorze MŚP w Polsce. Jak wskazują [Predygier i Zalesna 2021: 88], skuteczność implementacji nowoczesnych technologii zależy przede wszystkim od poziomu gotowości organizacyjnej oraz kompetencji cyfrowych, co może tłumaczyć umiarkowany wzrost wdrożeń między 2019, a 2022 rokiem. Równocześnie wzrost zastosowania systemów zarządzania może świadczyć o rosnącym przekonaniu przedsiębiorstw do znaczenia zintegrowanych narzędzi wspierających efektywność operacyjną – podobne zależności zaobserwowano w analizie przyspieszenia cyfryzacji procesów po pandemii COVID-19 [Petropoulou i in. 2024: 10536]. Z kolei zróżnicowanie typów wdrażanych norm ISO potwierdza, że firmy członkowskie klastra odpowiadają na specyficzne wymagania sektorowe i klientów branżowych – co zostało również zauważone w badaniach nad specjalizacją klastrów przemysłowych w Polsce [Mikołajczyk, Kurczewska i Fila 2009: 35]. W świetle powyższego, uzyskane wyniki potwierdzają konieczność dalszego wspierania procesów cyfrowej transformacji w klastrach, przy jednoczesnym wzmacnianiu zdolności standaryzacyjnych i kompetencyjnych MŚP.

Wnioski

Przeprowadzone badanie potwierdza, że uczestnictwo w strukturach klastrowych – takich jak Bydgoski Klaster Przemysłowy Dolina Narzędziowa – sprzyja procesowi transformacji cyfrowej, stymulując wdrażanie zarówno technologii Przemysłu 4.0, jak i zintegrowanych systemów zarządzania. Zidentyfikowane zmiany między edycjami badania z lat 2019 i 2022 wskazują na rosnącą dojrzałość cyfrową firm, szczególnie w obszarze implementacji rozwiązań klasy ERP, CRM czy SCM. Mimo to poziom wdrożenia zaawansowanych technologii – takich jak IoT, analiza Big Data czy robotyzacja – pozostaje zróżnicowany, co sugeruje nierównomierne tempo adaptacji w ramach klastra. Z perspektywy teoretycznej i aplikacyjnej istotne jest podkreślenie, że skuteczność wdrożeń cyfrowych w strukturze klastrowej zależy nie tylko od dostępnych zasobów technologicznych, ale także od poziomu integracji wewnętrznej, zaufania organizacyjnego oraz zdolności do koordynowania wspólnych działań innowacyjnych. Potwierdza to znaczenie kapitału społecznego i dojrzałości organizacyjnej jako kluczowych determinant rozwoju w kierunku Przemysłu 4.0 i 5.0.

Z perspektywy polityki wsparcia klastrów i sektora MŚP istotne jest, aby wyniki badań przekładać na konkretne działania instytucjonalne i regulacyjne. Relatywnie szybki wzrost zastosowania zintegrowanych systemów zarządzania (z 39% do 59%) wskazuje, że przedsiębiorstwa w warunkach klastra są w stanie skutecznie adaptować rozwiązania o charakterze organizacyjnym, jeśli dostrzegają ich bezpośredni wpływ na poprawę efektywności procesów. Polityka publiczna powinna ten trend wzmacniać poprzez tworzenie programów wsparcia finansowego i doradczego dla wdrożeń systemów klasy ERP, CRM czy SCM, które stanowią podstawę budowania bardziej zaawansowanej infrastruktury cyfrowej. Jak zauważają Petropoulou i in. [2024], upowszechnianie rozwiązań zarządczych stanowi często pierwszy krok do głębszej transformacji cyfrowej, a ich brak utrudnia implementację technologii wymagających integracji danych, takich jak Internet Rzeczy czy analityka Big Data. Warto również zwrócić uwagę, że niski poziom wdrożeń norm jakości (ponad 50% przedsiębiorstw nie posiada żadnej certyfikacji ISO) może osłabiać konkurencyjność klastra na rynkach międzynarodowych. Badania potwierdzają, że certyfikacja jakości stanowi nie tylko narzędzie zapewnienia zgodności z wymogami branżowymi, ale także element budowania reputacji i wiarygodności w globalnych łańcuchach dostaw [Słupska, Chyzińska, 2024: 29]. Z tego względu polityka wspierania klastrów powinna obejmować dedykowane mechanizmy ułatwiające proces certyfikacji, w tym dofinansowania kosztów audytów i szkoleń, a także kampanie informacyjne zwiększające świadomość przedsiębiorstw na temat znaczenia norm ISO dla ekspansji zagranicznej. Wyniki badań pokazują także, że tempo adaptacji zaawansowanych technologii Przemysłu 4.0, takich jak IoT, Big Data czy robotyzacja, pozostaje zróżnicowane. Sugeruje to konieczność zróżnicowanego podejścia w polityce wsparcia, które uwzględni różne poziomy dojrzałości cyfrowej firm. Literatura przedmiotu podkreśla, że skuteczność procesów cyfryzacyjnych w MŚP zależy w dużym stopniu od jakości kapitału społecznego i zaufania organizacyjnego [Asheim i Gertler 2005: 35; Lis i Lis 2013: 69]. Polityka powinna zatem nie tylko wspierać finansowo wdrożenia technologiczne, ale także wzmacniać integrację wewnątrzklastrową poprzez instrumenty stymulujące współpracę, takie jak wspólne projekty badawczo-rozwojowe, platformy wymiany wiedzy czy centra kompetencji cyfrowych działające przy koordynatorach klastrów.

Pomimo wartości poznawczej uzyskanych wyników, badanie posiada kilka ograniczeń, które należy uwzględnić przy interpretacji rezultatów. Po pierwsze, analiza obejmuje tylko jedną strukturę klastrową i nie może być automatycznie uogólniana na wszystkie klastry przemysłowe w Polsce. Po drugie, badanie opiera się na samoocenie przedstawicieli firm, co wiąże się z możliwością wystąpienia błędów percepcyjnych i efektu subiektywnej interpretacji. Po

trzecie, chociaż przeprowadzono pomiar panelowy, wciąż brak perspektywy długookresowej, która pozwoliłaby uchwycić pełną dynamikę procesów cyfryzacyjnych. Rekomendowane dalsze prace badawcze powinny objąć szerszy przekrój klastrów, zróżnicowanych pod względem branży, lokalizacji oraz formy instytucjonalnej. Wskazane jest także uzupełnienie badań ilościowych o pogłębione analizy jakościowe – w tym studia przypadków – które pozwoliłyby lepiej zrozumieć kontekst wdrożeniowy, bariery technologiczne oraz czynniki sukcesu. Istotnym kierunkiem może być również eksploracja związków pomiędzy poziomem cyfryzacji, a wynikami ekonomicznymi przedsiębiorstw w dłuższym horyzoncie czasowym. W świetle idei Przemysłu 5.0, warto także uwzględnić w przyszłych analizach aspekt społeczny i środowiskowy wdrożeń cyfrowych oraz wpływ kultury organizacyjnej na gotowość transformacyjną firm. Zważywszy na postulaty badawcze wskazane w innych opracowaniach dotyczących wdrażania koncepcji zarządzania jakością w przedsiębiorstwach [Słupska i Chyzińska 2024: 284], wskazane jest także dalsze badanie synergii między cyfryzacją, a doskonaleniem kultury organizacyjnej, ze szczególnym uwzględnieniem klastrów przemysłowych.

Bibliografia

- Aheleroff S., Huang H., Xu X. et al. (2022), Toward sustainability and resilience with Industry 4.0 and Industry 5.0, *Frontiers in Manufacturing Technology*, 2.
- Akdeve E., Ozkánli Ö. (2006), Cluster and Innovation as Regional Development, *Proceedings of the II International Strategic Management Conference*, Istanbul.
- Asheim B.T., Gertler, M.S. (2005), The Geography of Innovation: Regional Innovation Systems [in:] Fagerberg J., Mowery D.C., et al. (eds), *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- Brodzicki T., Szultka S. (2002), Koncepcja klastrów, a konkurencyjność przedsiębiorstw, Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową, Gdańsk.
- Bydgoski Klaster Przemysłowy Dolina Narzędziowa (2024), Strategia rozwoju Bydgoskiego Klastra Przemysłowego Doliny Narzędziowej na lata 2022–2027, Bydgoszcz.
- Christopoulos G., Wintjes R. (2024), Identifying clusters as local innovation systems, *Journal of the Knowledge Economy*, 15.
- Clark, J. (2020), *Uneven Innovation: The Work of Smart Cities*, Columbia University Press, New York.
- Cooke P. (2001), Regional Innovation Systems, Clusters and the Knowledge Economy, *Industrial and Corporate Change*, 10(4).
- Engel J. S. (2023), *Clusters of innovation in the age of disruption*, Edward Elgar Publishing, Massachusetts.

- Kramarz M. (2021), *Klasy logistyczne – podstawy teoretyczne i praktyka w Polsce*, Polska Izba Spedycji i Logistyki, Warszawa.
- Li L., Duan L. (2025), Human centric innovation at the heart of industry 5.0–exploring research challenges and opportunities, *International Journal of Production Research*.
- Lis A., Lis B. (2013), *Kapitał społeczny w strukturach klastrowych – źródła i implikacje dla rozwoju lokalnego*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Ekonomiczne Problemy Usług Nr 103.
- Martini B., Bellisario D., Coletti P. (2024), Human-centered and sustainable artificial intelligence in industry 5.0: Challenges and perspectives, *Sustainability*, 16(13).
- Mikołajczyk B., Kurczewska A., Fila J. (2009), *Klasy na świecie. Studia przypadków*, Difin, Warszawa.
- Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej (2023), *Raport o Krajowych Klastrach Kluczowych*, Warszawa.
- Parrilli M. D. (2024), Cluster policy: The challenging and complex horizon in the 2020s., *European Planning Studies*, 32(9).
- Petropoulou A., Angelaki E., Rompogiannakis I., et al. (2024), Digital Transformation in SMEs: Pre- and Post-COVID-19 Era, A Comparative Bibliometric Analysis, *Sustainability*, 16(23).
- Porter M.E. (1998), *Clusters and the New Economics of Competition*, Harvard Business Review, 76(6).
- Porter M.E. (2001), *O konkurencji*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Predygiel A., Zalesna A. (2021), Zmiana postaw przedsiębiorców wobec procesu szkoleń pracowników – rola kapitału społecznego klastra w województwie świętokrzyskim, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio H – Oeconomia*, 55(4).
- Rejeb A., Rejeb K., Keogh, J. G., et al. (2025), When Industry 5.0 meets the circular economy: A systematic literature review, *Circular Economy and Sustainability*, 5(4).
- Sharma M., Tomar A., Hazra A. (2024), Edge computing for industry 5.0: Fundamental, applications, and research challenges, *IEEE Internet of Things Journal*, 11(11).
- Słupska U., Chyzińska A. (2024), Wdrożenie wybranych koncepcji zarządzania jakością we współczesnych przedsiębiorstwach [w:] Piekut M., Stępnia-Kucharska A. (red.), *Współczesne problemy gospodarcze. Ekonomiczne i zarządcze wyzwania w obliczu szoków zewnętrznych i wewnętrznych*, Tom 1, Kolegium Nauk Ekonomicznych i Społecznych w Płocku, Politechnika Warszawska, Płock.
- Sölvell Ö., Lindqvist, G., Ketels C. (2003), *The cluster initiative Greenbook*. Ivory Tower Publishers, Stockholm.
- Wojnicka-Sycz E. (2017), Klasy jako instrument rozwoju gospodarczego w Polsce, *Oeconomia i Zarządzanie*, 9(3).
- Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., et al. (2021), Industry 4.0 and Industry 5.0 - Inception, conception and perception, *Journal of Manufacturing Systems*, 61.

Rozdział IV.

SYSTEMOWA INTEGRACJA LCA W ZARZĄDZANIU PROJEKTAMI ARCHITEKTONICZNYMI – OD MODELI KLASYCZNYCH PO PODEJŚCIA ZRÓWNOWAŻONE

*Dawid Wilhelm Wirth*⁶

Streszczenie

Współczesne budownictwo stoi przed wyzwaniami związanymi z ograniczaniem wpływu na środowisko i dążeniem do zrównoważonego rozwoju. Life Cycle Assessment (LCA) to uznane narzędzie oceny oddziaływania produktów i procesów na środowisko w całym ich cyklu życia. Rozdział analizuje możliwości integracji podejścia LCA w zarządzaniu projektami architektoniczno-budowlanymi, podkreślając, że jego włączenie w strukturę procesów zarządczych jest równie istotne jak realizacja samych decyzji projektowych. Przeprowadzono przegląd wybranych metodyk zarządzania projektami pod kątem ich spójności procesowej oraz potencjału do integracji z analizą cyklu życia. Wskazano także na bariery wdrożeniowe oraz przedstawiono korzyści płynące z zastosowania podejścia LCA jako elementu wspierającego zrównoważone zarządzanie projektami.

Słowa kluczowe: Life Cycle Assessment, zrównoważone budownictwo, PRiSM, zarządzanie projektami, analiza cyklu życia, metodyki zarządzania projektami

Summary

Modern construction faces challenges related to minimizing environmental impact and promoting sustainable development. Life Cycle Assessment (LCA) is a well-established method for evaluating the environmental effects of materials and processes throughout their life cycle. This paper explores the integration of LCA into architectural and construction project management, emphasizing that incorporating LCA into project management processes is just as critical as implementing environmentally responsible design decisions. The study includes a review of selected project management methodologies, assessing their process coherence and potential for integration with LCA frameworks. It also identifies implementation challenges and presents the benefits of adopting LCA as a tool supporting sustainable project governance.

Key words: Life Cycle Assessment, sustainable construction, PRiSM, project management, life cycle analysis, environmental impact assessment, project management methodologies

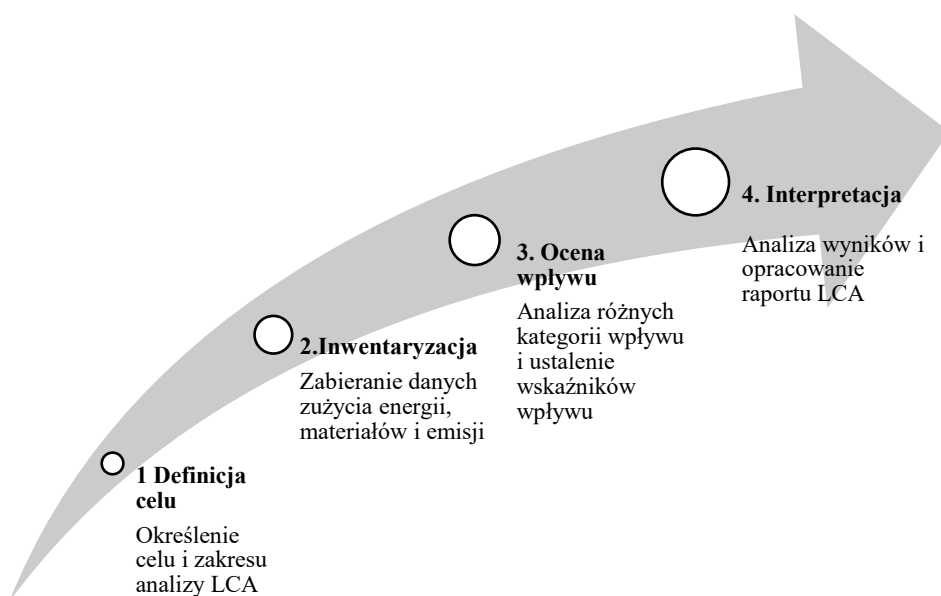
JEL: Q56, Q01, L74, M11, D61

⁶ Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury, dawid.wirth@pwr.edu.pl

Wprowadzenie

Współczesne projektowanie architektoniczne przechodzi transformację w kierunku podejścia zrównoważonego, w którym aspekty środowiskowe, społeczne i ekonomiczne odgrywają równorzędną rolę. W tym kontekście ocena cyklu życia (Life Cycle Assessment, LCA) uznawana jest za jedno z kluczowych narzędzi wspierających podejmowanie racjonalnych decyzji projektowych, schemat procesu oceny pokazano na Rysunku 1. LCA umożliwia ilościową analizę wpływu produktu lub systemu na środowisko przez cały jego cykl życia — od wydobycia surowców, przez produkcję, eksploatację, aż po utylizację [ISO 14040 2006].

Rysunek 1. Schemat procesu oceny cyklu życia - LCA



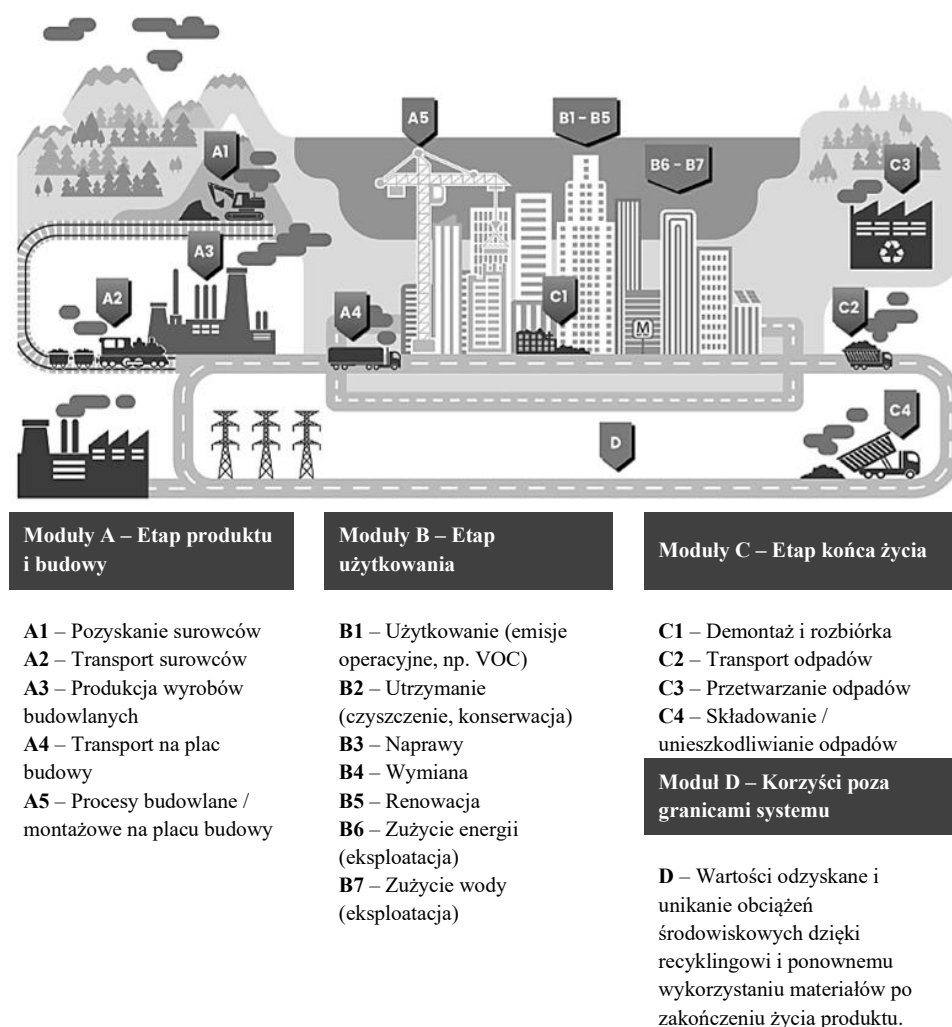
Źródło: opracowanie własne.

Realizacja inwestycji budowlanej to złożone wyzwanie obejmujące nie tylko ostateczny kształt budynku czy spełnienie parametrów ekonomicznych, technicznych i estetycznych, ale również sposób organizacji i przebieg procesu inwestycyjnego jako całości, co wskazuje m.in. [Koskela 2000]. Reprezentatywny proces przedstawiony na Rysunku 2 obejmuje wieloaspektowe działania i współzależności między różnymi fazami, takimi jak projektowanie, planowanie, wykonawstwo, użytkowanie i ewentualne przekształcenia czy rozbiórka. Skuteczne zarządzanie tymi etapami wymaga zarówno wiedzy technicznej, jak i umiejętności zarządczych oraz świadomości wpływu

poszczególnych decyzji na środowisko i efektywność ekonomiczną inwestycji [Love i in. 2004].

Stąd tak ważnym zagadnieniem jest świadomy wybór nie tylko wariantu architektonicznego inwestycji, ale również najbardziej optymalnego procesu jego realizacji, w tym etapu projektowania. Jak wskazuje literatura przedmiotu, etap projektowy jest kluczowy dla całości przedsięwzięcia, ponieważ determinuje on nie tylko końcowy efekt architektoniczny, ale także poziom wpływu środowiskowego i efektywność ekonomiczną realizowanego projektu.

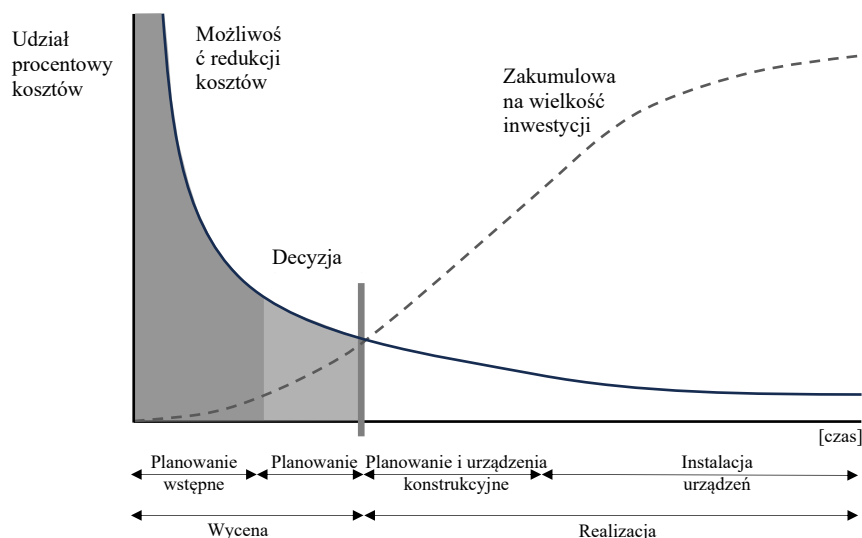
Rysunek 2. Schemat podziału etapów oceny cyklu życia - LCA



Źródło: [https://onecliclca.com 2025].

Etap projektowy ma kluczowe znaczenie dla końcowego wpływu na środowisko i kosztów w całym cyklu życia budynku, ponieważ podejmowane w nim decyzje determinują około 70–80% całkowitych kosztów oraz wpływów środowiskowych projektu [Wangel i in. 2016] i [Schmidt i Crawford, 2018]. Badania te wskazują, że im wcześniej uwzględnione zostaną aspekty środowiskowe i ekonomiczne, tym większe są możliwości redukcji negatywnego wpływu przy minimalnych kosztach zmian, co można zaobserwować na Rysunku 3.

Rysunek 3. Schemat kosztów możliwych do redukcji w trakcie realizacji inwestycji



Źródło: opracowanie własne.

LCA określane jest jako jedno z najbardziej kompletnych i transparentnych narzędzi oceny wpływu środowiskowego, co podkreślają m.in. [Ortiz i in. 2009] i [Khasreen i in. 2009] i [Pomponi i Moncaster 2016]. Rosnące znaczenie tej metody wynika zarówno z regulacji środowiskowych, jak i z rosnącej świadomości inwestorów i projektantów w zakresie śladu węglowego budynków [Cabeza i in. 2014] i [Prideaux i in. 2024]. Co istotne, LCA może również pełnić funkcję narzędzia poprawy efektywności przedsięwzięć budowlanych, wspierając wybór rozwiązań optymalnych pod względem środowiskowym i ekonomicznym oraz umożliwiając identyfikację najbardziej wpływowych etapów cyklu życia budynku, które warto zoptymalizować na etapie projektowania. Dzięki temu projektanci mogą nie tylko minimalizować wpływ środowiskowy, ale również osiągać lepsze wyniki kosztowe w ujęciu całego cyklu życia inwestycji.

Celem niniejszego rozdziału jest przegląd możliwości integracji metodyki LCA z zarządzaniem projektami architektonicznymi. Autor skupia się na praktykach projektowych i organizacyjnych, analizując poziom zastosowania LCA, jego wpływ na procesy decyzyjne, oraz bariery i potencjały związane z jego wdrożeniem.

1. LCA jako metodyka uniwersalna w projektowaniu architektonicznym

Zgodnie z normą ISO 14040 (2006), analiza cyklu życia (LCA) składa się z czterech głównych etapów: (1) określenia celu i zakresu analizy, (2) analizy zbioru danych wejściowych i wyjściowych cyklu życia (LCI), (3) oceny wpływu cyklu życia (LCIA) oraz (4) interpretacji wyników. W kontekście inwestycji budowlanych oznacza to identyfikację i ocenę wszystkich wejść (materiałów, energii) i wyjść (emisji, odpadów) na każdym etapie istnienia budynku – od fazy surowcowej, przez produkcję i wykonawstwo, eksploatację, aż po koniec życia (rozbiórkę lub recykling). Poszczególne etapy analizy dostarczają informacji wspierających decyzje projektowe, technologiczne i wykonawcze, umożliwiając lepsze planowanie kosztów środowiskowych oraz potencjalnych oszczędności zasobowych i energetycznych.

W projektowaniu architektonicznym LCA pozwala na identyfikację i minimalizację negatywnego wpływu na środowisko [Crawford i in. 2022]. Umożliwia to projektantom modelowanie scenariuszy i podejmowanie decyzji bazujących na analizie danych, co prowadzi do bardziej zrównoważonych wyborów materiałowych i konstrukcyjnych. Przekłada się to na redukcję śladu węglowego, poprawę efektywności energetycznej oraz mniejsze zużycie zasobów naturalnych [Cabeza i in. 2014].

Stosowanie analizy cyklu życia (LCA) na różnych etapach inwestycji budowlanej wiąże się z szeregiem korzyści i ograniczeń, zależnych od charakteru danego etapu oraz rodzaju dostępnych danych. Poniżej przedstawiono główne zalety i wady stosowania LCA w kontekście przygotowania inwestycji, projektowania, realizacji oraz użytkowania obiektu budowlanego.

Na etapie przygotowania inwestycji, jedną z kluczowych zalet jest możliwość wczesnej identyfikacji najbardziej zrównoważonych strategii projektowych, dzięki analizie wpływu różnych wariantów koncepcyjnych. Jak podkreślają [Hollberg i Ruth 2016], świadomy wybór wstępnej koncepcji może ograniczyć emisję CO₂ nawet o 30%. Wadą natomiast jest ograniczona dostępność danych wejściowych na tym etapie, co skutkuje dużą niepewnością w analizie inwentarzowej [Buyle i in. 2013].

Podczas projektowania, analiza LCA pozwala na dobór materiałów i technologii o mniejszym wpływie środowiskowym. [Moncaster i Symons 2013] wskazują, że odpowiedni dobór rozwiązań konstrukcyjnych może zmniejszyć wskaźnik GWP (Global Warming Potential) o 20–40%. Jednakże, pomimo dokładniejszych danych, nadal występują trudności z interpretacją wyników w kontekście dynamicznych zmian projektowych i potrzeby ciągłej aktualizacji modelu.

Na etapie realizacji, wdrożenie wyników LCA umożliwia monitorowanie rzeczywistego wpływu inwestycji i weryfikację zgodności z założeniami środowiskowymi. Wady tego etapu obejmują jednak znaczne ryzyko rozbieżności między planem a wykonaniem, co wpływa na wiarygodność i skuteczność zastosowanych analiz [Asdrubali i in. 2013: 73–89].

W fazie użytkowania, korzyści wynikające z podejścia LCA dotyczą optymalizacji kosztów eksploatacyjnych i zmniejszenia zużycia zasobów, m.in. przez wdrożenie strategii zarządzania energią i materiałami. [Zhang i in. 2019] podają, że odpowiednie zarządzanie cyklem życia może prowadzić do zmniejszenia całkowitego kosztu posiadania (TCO - ang. Total Cost of Ownership - Całkowity Koszt Posiadania - jest to suma wszystkich kosztów rozwiązania informatycznego począwszy od jego zakupu, poprzez użytkowanie, aż do likwidacji) o 15–25%. Wadą jest natomiast konieczność integracji LCA z innymi systemami zarządzania (np. BIM - ang. Building Information Modeling - rozumiane jako modelowanie informacji o budowaniu w ujęciu cyfrowego zapisu fizycznych i funkcjonalnych właściwości obiektu budowlanego, w formie parametrycznej, służący do generowania i wykorzystania danych o budowni jako źródła wiedzy, dostępnego dla uczestników procesu inwestycyjnego i stanowiącego podstawę dla podejmowania decyzji), co może stanowić barierę, szczególnie dla mniejszych inwestycji [Röck i in. 2018].

Powyższe zalety i wady metodyki LCA, choć istotne, nie wyczerpują wszystkich aspektów inwestycji budowlanych, które cechują się dużą dynamiką i zmiennością w zależności od specyfiki konkretnego projektu. W tym kontekście niezwykle istotne jest ujęcie zastosowania metodyki LCA nie tylko w aspektach technicznych – takich jak dobór materiałów czy systemów budowlanych – ale również procesowych, obejmujących przygotowanie inwestycji, a w szczególności zarządzanie procesem projektowania. Integracja LCA z procesami decyzyjnymi w fazie planowania i projektowania umożliwia wczesne modelowanie wpływów środowiskowych, co przekłada się na bardziej świadome i optymalne decyzje projektowe oraz efektywniejsze zarządzanie zasobami w całym cyklu życia budynku [Zhang i in. 2021].

W tradycyjnym zarządzaniu projektami aspekt środowiskowy bywa marginalizowany lub uwzględniany jedynie w fazie eksploatacji. Integracja LCA

zmienia tę perspektywę – wpływ środowiskowy analizowany jest od fazy koncepcji aż po rozbiórkę.

2. Zarządzanie procesem projektowym: podejście standardowe, zintegrowane i zrównoważone

Proces projektowy w budownictwie może być realizowany w oparciu o różne modele zarządzania. W niniejszym opracowaniu omówiono szerzej trzy reprezentatywne podejścia: standardowe (linearne), zintegrowane (iteracyjne) oraz zrównoważone (systemowe). Każde z tych podejść różni się strukturą decyzyjną, zakresem współpracy interesariuszy, potencjałem integracji analiz środowiskowych (LCA) oraz poziomem wpływu na końcowe efekty środowiskowe i ekonomiczne inwestycji. Istotne jest przy tym podkreślenie, że sam proces zarządzania projektowaniem powinien być traktowany jako równie istotny jak sam jego produkt — budynek. Odpowiednio dobrana metodyka zarządzania umożliwia osiągnięcie praktycznych celów, takich jak minimalizacja ryzyk projektowych, zwiększenie transparentności procesu decyzyjnego, optymalizacja kosztów, ograniczenie negatywnego wpływu środowiskowego oraz efektywne zarządzanie interesariuszami. Tym samym, dążenie do zrównoważonego zarządzania procesem projektowym odpowiada potrzebie integrowania aspektów środowiskowych i społecznych nie tylko w produkcie końcowym, ale i w samym procesie jego tworzenia [Reed i in. 2009] i [Gomes i da Silva 2020].

Zarządzanie projektami stanowi podstawowe narzędzie realizacji przedsięwzięć inwestycyjnych, integrując cele, zasoby i działania w jeden spójny system operacyjny. Każdy projekt inwestycyjny ograniczony jest sześcioma głównymi parametrami: zakresem, jakością, kosztami, czasem, zasobami oraz ryzykiem. Parametry te pozostają w dynamicznej relacji – zmiana jednego z nich wpływa na inne, wymagając ciągłej optymalizacji i bilansowania. Skuteczne zarządzanie wymaga zatem świadomego projektowania i nadzorowania całego cyklu życia projektu w oparciu o zestaw kluczowych procesów: inicjowanie, planowanie, realizację, monitorowanie i zakończenie. Każda z uznanych metodyk zarządzania projektami — takich jak PMBoK, PRINCE2, IPMA ICB 4.0, AgilePM, PRiSM czy ISO 21502 — definiuje te procesy oraz rolę interesariuszy w sposób odmienny, oferując elastyczne lub zhierarchizowane ramy realizacyjne. ISO 21502 i IPMA ICB 4.0 uwzględniają zrównoważony rozwój częściowo, lecz oferują spójność z systemami zarządzania jakością oraz kompetencyjnego rozwoju zespołu. Z kolei PMBoK i PRINCE2 oferują elastyczne podejście do struktury projektowej, lecz wymagają uzupełnienia o narzędzia środowiskowe, takie jak LCA czy LCC. Praktyczne wdrożenie LCA

jest natomiast najlepiej wspierane w podejściach iteracyjnych, takich jak PRiSM, IPD, czy Design-Build-Operate (DBO), które zapewniają przestrzeń dla dynamicznych analiz środowiskowych.

Badania [Aarseth i in. 2017] identyfikują osiem kluczowych strategii wspierających zrównoważone zarządzanie projektami, realizowanych zarówno przez organizacje projektowe, jak i gospodarzy projektów. Zestawienie tych strategii wraz z ich charakterystyką przedstawia Tabela 1.

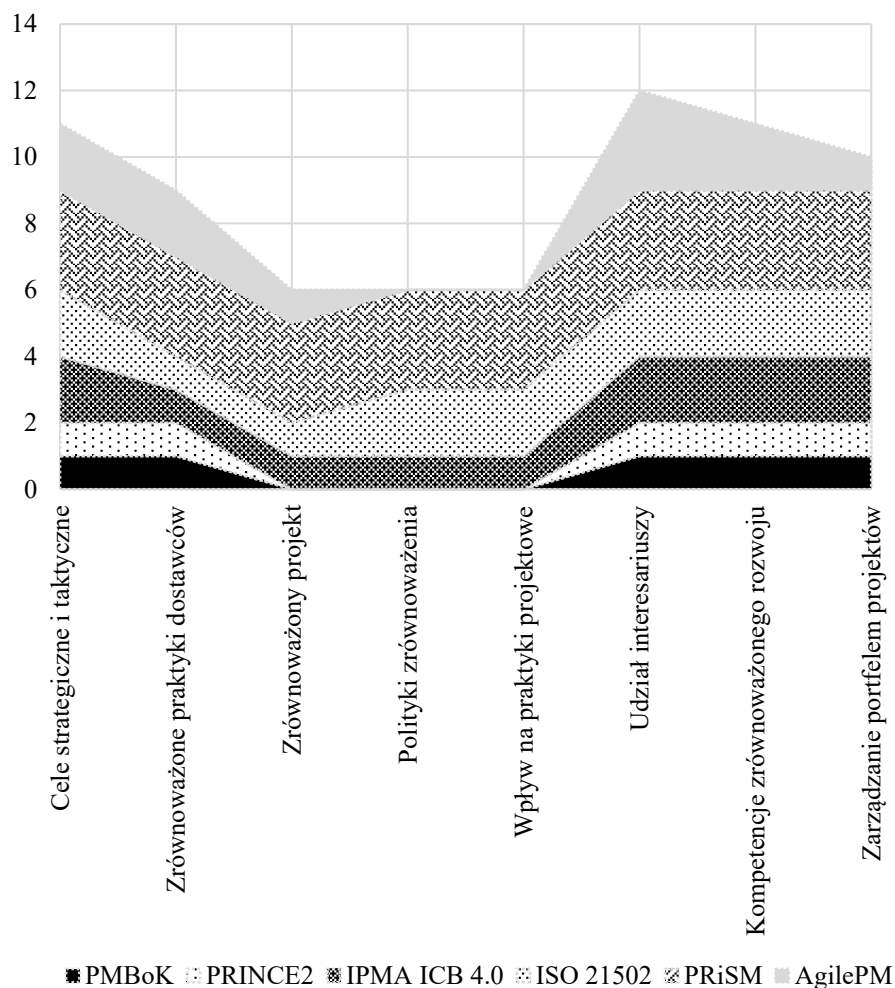
Tabela 1. Strategie zrównoważonego zarządzania projektami

Typ strategii	Strategia	Opis
Projektowa	Cele strategiczne i taktyczne	Ujęcie zrównoważenia jako integralnej części celów projektu i jego planowania
	Zrównoważone praktyki dostawców	Wspieranie dostawców w stosowaniu materiałów ekologicznych, prefabrykacji itp.
	Zrównoważony projekt	Uwzględnienie LCA, wskaźników środowiskowych i społecznych w projektowaniu
Gospodarza	Polityki zrównoważenia	Regulacje, normy i wytyczne wspierające realizację celów ESG
	Wpływ na praktyki projektowe	Standaryzacja procesów, systemy zarządzania środowiskowego, narzędzia LCC
Wspólna	Udział interesariuszy	Włączanie aktorów promujących zrównoważenie do struktury i zarządzania projektem
	Kompetencje zrównoważonego rozwoju	Rozwój umiejętności środowiskowych i społecznych wśród wykonawców i decydentów
	Zarządzanie portfelem projektów	Uwzględnienie kryteriów zrównoważenia przy wyborze i ocenie projektów

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Aarseth i in. 2017].

Zrównoważony rozwój nie powinien być traktowany jako dodatkowy element, lecz jako podstawowa zasada kształtująca decyzje strategiczne i operacyjne w całym cyklu życia projektu w płaszczyźnie organizacyjnej i operacyjnej. Integracja tych strategii na etapie inicjowania i planowania projektu umożliwia skuteczniejsze zarządzanie ryzykiem, zwiększa akceptację społeczną oraz przyczynia się do trwałości i odporności rezultatów inwestycyjnych, relacje integracji wg wskazanych kryteriów pokazuje Wykres 1.

Wykres 1. Integracja LCA w metodykach wg kreteriów Aarseth'a



Źródło: opracowanie własne.

W zarządzaniu projektami budowlanymi stosuje się szereg uznanych metodyk:

- PMBoK (Project Management Body of Knowledge) – metodyka opracowana przez Project Management Institute. Zawiera kompleksowy zestaw procesów i obszarów wiedzy (np. zarządzanie zakresem, czasem, kosztami, ryzykiem), które można dostosowywać do różnych typów projektów.
- PRINCE2 (Projects IN Controlled Environments) – metodyka oparta na zarządzaniu przez wyjątki, z silnym naciskiem na strukturę ról, dokumentację projektową i kontrolę jakości. Często stosowana w projektach publicznych i infrastrukturalnych.

- IPD (Integrated Project Delivery) – nowoczesna metodyka projektowania i realizacji, oparta na współpracy wszystkich interesariuszy od początku projektu. Promuje iteracyjność, przejrzystość i podział ryzyk. Ułatwia wdrożenie LCA, BIM i zintegrowanego projektowania.
- Agile i jego mutacje (np. Scrum, Lean Construction) – podejścia zwinne stosowane głównie w fazie projektowej, szczególnie tam, gdzie występuje wysoka niepewność i potrzeba częstych korekt.
- Design-Build (DB) oraz Design-Build-Operate (DBO) – model realizacyjny, w którym projektant i wykonawca (DB) lub projektant, wykonawca i operator (DBO) działają jako jeden podmiot. Ułatwia pełną kontrolę nad cyklem życia inwestycji, sprzyjając integracji LCA i LCC.
- PRiSM (Projects integrating Sustainable Methods) – metodyka wyraźnie ukierunkowana na zrównoważony rozwój, uwzględniająca wpływ projektu na środowisko, społeczeństwo i gospodarkę. Stanowi ramy zarządzania projektami zgodnie z zasadami ESG.
- ISO 21502:2020 – międzynarodowa norma określająca wytyczne zarządzania projektami w sposób zrównoważony. Umożliwia częściową integrację LCA poprzez uwzględnienie cyklu życia produktu i jego zgodności ze strategią organizacyjną.
- IPMA ICB 4.0 – kompetencyjny model zarządzania projektami promowany przez International Project Management Association. Uwzględnia aspekty środowiskowe, społeczne i ekonomiczne w procesie i produkcji projektu.

W kontekście integracji LCA najlepiej sprawdzają się podejścia zintegrowane i zorientowane na cały cykl życia, jak IPD, DBO, PRiSM, w których analiza wpływu środowiskowego staje się naturalnym elementem podejmowania decyzji inwestycyjnych. Szczególnie IPD dzięki iteracyjnej strukturze i uwspólnionemu modelowi decyzyjnemu, pozwala na bieżące wdrażanie analiz LCA na wszystkich etapach projektu. W świetle najnowszych badań [Prideaux i in. 2024], integracja metodyki LCA z procesem projektowym wymaga dostosowania podejścia zarządczego do wymagań projektowych, iteracyjnych etapów oraz dostępności danych a brak elastyczności i słaba kompatybilność narzędzi LCA z procesem projektowym stanowią istotną barierę we wdrożeniu oceny cyklu życia na wczesnych etapach inwestycji.

2.1. Standardowe podejście do procesu projektowego

Standardowe podejście wywodzi się z tradycyjnych metod zarządzania projektami budowlanymi, takich jak PMBoK (Project Management Body of Knowledge) oraz PRINCE2 (Projects IN Controlled Environments). Model ten

dominował w realizacji inwestycji infrastrukturalnych i komercyjnych przez większość XX wieku. Zakłada sztywną, liniową sekwencję etapów projektowych i wykonawczych, charakteryzującą się hierarchiczną strukturą decyzyjną oraz ograniczonym udziałem interesariuszy.

Założenia: Projekt realizowany jest zgodnie z planem głównym opracowanym na początku przedsięwzięcia. Wszelkie zmiany są traktowane jako zakłócenia, a zarządzanie nimi następuje w ramach zdefiniowanych procedur.

Metodyki:

- PMBoK: skupia się na 10 obszarach wiedzy (np. zakres, harmonogram, jakość, ryzyko), strukturze WBS i fazach projektu (inicjowanie, planowanie, wykonanie, kontrola, zamknięcie).
- PRINCE2: opiera się na ścisłym podziale ról i obowiązków oraz silnej kontroli nad postępem, z dużym naciskiem na dokumentację i kontrolę jakości.

Charakterystyka: Zamknięta struktura informacyjna, brak elastyczności w integracji danych środowiskowych (np. LCA), ograniczony wpływ użytkowników końcowych.

Algorytm działania: Wstępna koncepcja → projekt budowlany → projekt wykonawczy → realizacja → użytkowanie.

Ograniczenia: Trudność w adaptacji do zmiennych warunków, niska zdolność do integracji wymagań zrównoważonego rozwoju na wczesnym etapie projektu.

2.2. Zintegrowane podejście do procesu projektowego

Zintegrowane podejście (IDP – Integrated Design Process) rozwinęło się jako odpowiedź na potrzebę lepszej współpracy międzybranżowej, skrócenia czasu realizacji oraz uwzględniania aspektów środowiskowych i ekonomicznych na etapie projektowania. Podejście to zakłada współpracę wszystkich kluczowych interesariuszy od najwcześniejszego etapu projektu, co sprzyja optymalizacji decyzji i zwiększeniu efektywności w całym cyklu życia inwestycji.

Założenia: Projektowanie odbywa się w formie warsztatów, w których uczestniczą architekci, inżynierowie, użytkownicy końcowi oraz konsultanci ds. zrównoważonego rozwoju.

Metodyki:

- IPD (Integrated Project Delivery): zakłada wspólne cele, podział ryzyk i zysków oraz intensywną komunikację pomiędzy wszystkimi partnerami. Kluczowe są modele BIM oraz analiza wariantów w czasie rzeczywistym.
- Design-Build (DB) / DBO (Design-Build-Operate): integrują projektowanie, budowę i eksploatację w jednej strukturze kontraktowej,

wspierając pełniejsze uwzględnienie aspektów środowiskowych i kosztowych.

Charakterystyka: Iteracyjny proces projektowy, otwarty przepływ informacji, zastosowanie narzędzi takich jak LCA i LCC, korekta założeń w trakcie.

Algorytm działania: Warsztaty koncepcyjne → modelowanie rozwiązań → analiza wariantów → korekta → zatwierdzenie.

Ograniczenia: Wysokie wymagania dotyczące kompetencji zespołu, konieczność wdrożenia narzędzi cyfrowych i zaufania między partnerami.

2.3. Zrównoważone podejście do procesu projektowego

Zrównoważone podejście reprezentowane jest przez nowoczesne metodyki, takie jak PRiSM (Projects integrating Sustainable Methods), oraz wspierane przez normy ISO 21502 czy IPMA ICB 4.0. Koncentruje się na integracji celów środowiskowych, społecznych i ekonomicznych zgodnych z Agendą 2030 i zasadami ESG (ang. Environmental, Social, Governance - polityka działań firmy na rzecz ekologii, społecznej odpowiedzialności biznesu i ładu korporacyjnego). Celem strategicznym oceny podmiotu pod kątem ESG jest opracowanie syntetycznego komunikatu oraz skutecznego sposobu informowania rynku kapitałowego o wyniku badania przeprowadzonego przez analityków niezależnych od ocenianego podmiotu).

Założenia: Projekt traktowany jest jako narzędzie realizacji celów zrównoważonego rozwoju, uwzględniając wpływ na lokalną społeczność, ekosystem i gospodarkę.

Metodyki:

- PRiSM: jako jedyna metodyka w pełni integruje zrównoważony rozwój we wszystkich fazach projektu, od strategii organizacyjnej po operacyjne wykonanie. Kładzie nacisk na analizę wpływu oraz certyfikację środowiskową.
- ISO 21502: promuje włączenie aspektów zrównoważonych w proces decyzyjny, zarządzanie interesariuszami oraz zarządzanie cyklem życia projektu.
- IPMA ICB 4.0: definiuje kompetencje menedżerów projektów w zakresie odpowiedzialności społecznej i środowiskowej.

Charakterystyka: Integracja LCSA (Life Cycle Sustainability Assessment), zarządzanie wartościami niematerialnymi (np. dobrostan użytkowników), pełna partycypacja interesariuszy.

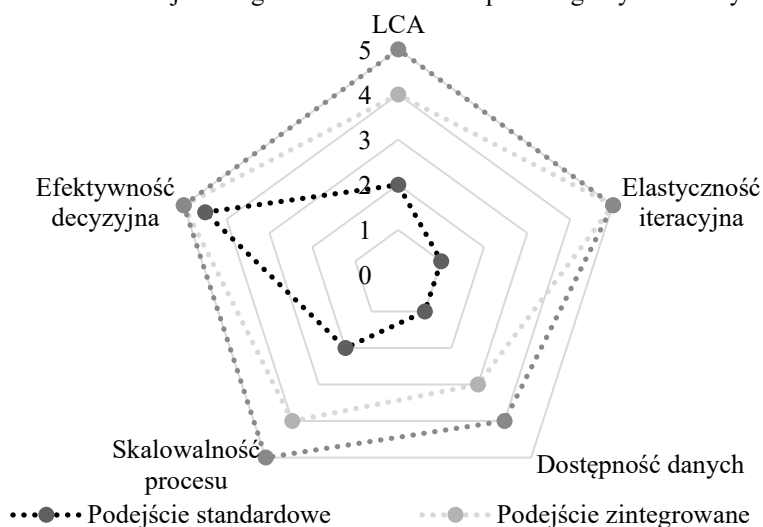
Algorytm działania: Diagnoza uwarunkowań → wyznaczenie celów SDG → analiza LCSA → wdrożenie i adaptacja → monitoring i raportowanie.

Ograniczenia: Wysokie wymagania metodologiczne i analityczne, konieczność pozyskiwania wiarygodnych danych, złożoność komunikacyjna.

W świetle raportu [Prideaux i in. 2024], zrównoważone podejście najlepiej odpowiada na potrzebę systemowej integracji LCA zarówno w aspekcie produktowym, jak i procesowym — obejmując projekt, wykonawstwo i użytkowanie.

Podejście zrównoważone wyróżnia się największym potencjałem do integracji metodyki LCA i oceny środowiskowej, ponieważ jako jedyne obejmuje w pełni także społeczne aspekty inwestycji. Cechuje je holistyczne spojrzenie na projekt oraz wysoka zgodność z wytycznymi ESG i SDG (ang. Sustainable Development Goals - Cele Zrównoważonego Rozwoju - plan działania na rzecz przemian i przeobrażeń świata, w którym potrzeby obecnego pokolenia mogą być zaspokojone w sposób zrównoważony, z szacunkiem dla środowiska oraz z uwzględnieniem potrzeb przyszłych pokoleń). Zintegrowane podejście, dzięki iteracyjnemu charakterowi i współpracy wielodyscyplinarnej, okazuje się najbardziej skuteczne przy ograniczonych zasobach organizacyjnych i finansowych, pozwalając na elastyczne reagowanie na zmiany i efektywne wykorzystanie narzędzi takich jak LCA. Natomiast podejście standardowe, mimo swojej powszechności i prostoty wdrożenia, cechuje się znaczącymi ograniczeniami — liniowy charakter procesu utrudnia wdrażanie zmian, a brak interdyscyplinarności obniża możliwość uwzględnienia złożonych analiz środowiskowych i społecznych.

Wykres 2. Realizacji strategii zrównoważenia w poszczególnych metodykach



Źródło: opracowanie własne.

Warto zauważyć, że potencjał integracji LCA w proces zarządzania projektowego jest ściśle powiązany z dostępnością i jakością danych projektowych, co pokazuje Wykres 2. Pełna analiza LCA, wymagająca szczegółowych informacji o materiałach, technologiach i eksploatacji, jest trudna do przeprowadzenia na wczesnym etapie koncepcyjnym ze względu na brak ustandaryzowanych danych i narzędzi. Paradoksalnie jednak, to właśnie na tym etapie projektowania istnieje największa możliwość wpływu na przyszły ślad środowiskowy budynku. Jak wskazują badania [Bribián i in. 2011: 1133–1140] i [Crawford i in. 2022], do 80% wpływu środowiskowego budynku może być zdeterminowane na etapie projektowym, kiedy decyzje mają największą siłę oddziaływania, ale dostępność danych do pełnej analizy LCA jest ograniczona. To napięcie pomiędzy potencjałem optymalizacji a ograniczeniem informacyjnym stanowi kluczowe wyzwanie dla skutecznej integracji LCA w zarządzaniu projektowym. W efekcie, metoda ta nie odpowiada w pełni na współczesne wymagania zrównoważonego rozwoju oraz integracji LCA w procesach decyzyjnych.

Wnioski

Niniejszy rozdział podjął próbę kompleksowej analizy możliwości integracji metodyki Life Cycle Assessment (LCA) w zarządzaniu projektami architektonicznymi, ze szczególnym uwzględnieniem kontekstu zrównoważonego rozwoju. Przedstawiono ewolucję podejść zarządczych – od tradycyjnych modeli liniowych po metodyki zintegrowane i systemowe – oraz oceniono ich potencjał do implementacji narzędzi oceny cyklu życia.

Wykazano, że LCA, jako narzędzie ilościowej oceny wpływu środowiskowego produktów i procesów w całym ich cyklu życia, może znacząco wspierać podejmowanie decyzji projektowych o wysokim stopniu racjonalności ekologicznej i ekonomicznej. W szczególności, zastosowanie LCA w fazie projektowej umożliwia identyfikację kluczowych determinant śladu środowiskowego oraz potencjalnych obszarów optymalizacji, co jest zgodne z wynikami badań wskazujących, iż nawet 70–80% wpływu środowiskowego budynku determinowane jest w tej fazie.

Analiza porównawcza modeli zarządzania projektami wykazała, że tradycyjne podejścia liniowe (PMBok, PRINCE2) oferują ograniczone możliwości integracji LCA, głównie ze względu na zamkniętą strukturę decyzyjną oraz brak iteracyjności procesu projektowego. Z kolei podejścia zintegrowane (IPD, DBO) i zorientowane na zrównoważony rozwój (PRiSM, ISO 21502) umożliwiają pełniejsze wdrożenie LCA, wspierając holistyczne podejście do projektowania, realizacji i eksploatacji inwestycji.

Pomimo rosnącej dostępności narzędzi wspierających LCA (np. BIM-integrated LCA tools), istotnymi barierami pozostają: niska jakość i dostępność danych wejściowych w fazie koncepcyjnej, brak ustandaryzowanych procedur integracyjnych, a także niski poziom świadomości projektantów i inwestorów na temat znaczenia LCA w podejmowaniu decyzji środowiskowych. Jak wskazuje [Bolognesi i in. 2025], brak spójności danych środowiskowych, różny poziom szczegółowości modeli BIM (LOD) oraz ograniczona interoperacyjność między oprogramowaniem stanowią poważne bariery dla wdrożeń praktycznych. Podobnie [Płoszaj-Mazurek i Ryńska 2024] podkreślają, że dostęp do wysokiej jakości danych i narzędzi analitycznych bywa utrudniony, co ogranicza możliwość wykorzystania LCA na wczesnych etapach projektowania. Do najważniejszych wniosków i z przeprowadzonej analizy należą:

- Systemowa integracja LCA powinna stanowić integralny element zarządzania projektami budowlanymi, zwłaszcza w świetle rosnących wymagań regulacyjnych, certyfikacyjnych i rynkowych w zakresie ESG i SDG.
- Wybór metodyki zarządzania ma kluczowe znaczenie dla efektywności wdrożenia LCA – najbardziej sprzyjające są modele iteracyjne i interdyscyplinarne (np. IPD, PRiSM).
- Etap projektowania posiada największy potencjał wpływu na środowiskową i kosztową efektywność projektu; należy zatem wzmacniać wykorzystanie LCA w fazach koncepcyjnych mimo ograniczeń informacyjnych.
- Integracja LCA wymaga wsparcia w postaci odpowiednich narzędzi cyfrowych (BIM, LCC, plug-iny projektowe) oraz rozwoju kompetencji środowiskowych zespołów projektowych [Leśniak i in. 2021].
- Zrównoważone zarządzanie projektami, wzbogacone o metodyki LCA, przyczynia się do budowy długofalowej wartości inwestycji, zarówno w wymiarze środowiskowym, jak i społecznym oraz ekonomicznym.

W ramach umożliwienia pełnej integracji metodyki LCA w zarządzaniu projektami, a tym samym praktycznej realizacji celi SDG należałoby wskazać następujące rekomendacje operacyjne:

- Świadomość i role – szkolenia dla zespołów zwiększające wiedzę i kompetencje decyzyjne, jasne przypisanie odpowiedzialności za dane środowiskowe.
- Standardy danych – korzystanie z IFC, ISO 19650 i EPD; dopasowanie szczegółowości BIM do etapu projektu.
- Integracja cyfrowa – łączenie BIM z bazami LCA, stosowanie AI do automatycznego dopasowania materiałów, wizualizacje wyników zwiększająca komunikatywność metody.

- Procesy decyzyjne – włączanie LCA w kluczowe etapy decyzji projektowych obok kosztów i harmonogramu.
- Rozwój i zgodność – tworzenie baz materiałów z danymi środowiskowymi, szczególnie istotny element wdrażania LCA na poziomie krajowym, pilotaże wdrożeniowe, monitorowanie zmian regulacyjnych.

W perspektywie rozwoju dyscypliny oraz praktyki projektowej zasadne jest dalsze prowadzenie badań nad metodyką integracji LCA w ujęciu procesowym, w tym identyfikacja czynników sukcesu i barier wdrożeniowych w kontekście specyfiki projektów architektoniczno-budowlanych.

Bibliografia

Aarseth W., Ahola T., Aaltonen K., et al. (2017), Project Sustainability Strategies: A Systematic Literature Review, *International Journal of Project Management*, 35(6).

Asdrubali F., Baldassarri C., Fthenakis V. (2013), Life cycle analysis in the construction sector: guiding the optimization of conventional Italian buildings, *Energy and Buildings*, 64.

Bolognesi C., Bassorizzi D., Balin S., et al. (2025), An Overview on LCA Integration in BIM: Tools, Applications, and Future Trends, *Digital*, 5(3).

Bribián I. Z., Capilla A. V., Usón A. A. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential, *Building and Environment*, 46(5).

Buyle M., Braet J., Audenaert A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26(1).

Cabeza L. F., Rincón L., Vilarinho V., et al. (2014), Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29.

Crawford R. H., Hollberg A., Lasvaux S., et al. (2022), Harmonizing building LCA data collection and reporting, *Building and Environment*, 208.

Crawford R. H., Stephan A., Bontinck P.A. (2022), Towards net zero embodied carbon in construction: Integrated LCA and architectural design, *Building and Environment*, 208.

Gomes V., da Silva M. G. (2020), Integrated and Sustainable Design Process, *Sustainability*, 12.

Hollberg A., Ruth J. (2016), LCA in architectural design - a parametric approach, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21.

Khasreen M. M., Banfill P. F. G., Menzies G. F. (2009), Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review, *Sustainability*, 1(3).

Koskela L. (2000), An exploration towards a production theory and its application to construction, VTT Technical Research Centre of Finland.

- Leśniak A., Górka M., Skrzypczak I. (2021), Barriers to BIM Implementation in Architecture, Construction, and Engineering Projects -The Polish Study, *Energies*, 14(8).
- Love P. E. D., Irani Z., Edwards D. J. (2004), A seamless supply chain management model for construction, *Supply Chain Management*, 9(1).
- Moncaster A. M., Symons K. E. (2013). A method and tool for ‘cradle to grave’ embodied carbon and energy impacts of UK buildings in compliance with the new TC350 standards, *Energy and Buildings*, 66.
- Ortiz O., Castells F., Sonnemann G. (2009), Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA, *Construction and Building Materials*, 23(1).
- Płoszaj-Mazurek M., Ryńska E. (2024), Artificial Intelligence and Digital Tools for Assisting Low-Carbon Architectural Design: Merging the Use of Machine Learning, Large Language Models, and Building Information Modeling for Life Cycle Assessment Tool Development, *Energies*, 17(12).
- Pomponi F., Moncaster A. (2016), Embodied carbon mitigation and reduction in the built environment – What does the evidence say?, *Journal of Environmental Management*, 181.
- Prideaux F., Allacker K., Crawford R. H., Stephan A. (2024), Integrating life cycle assessment into the building design process - a review, *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 4(2).
- Prideaux F., Sartori I., Brattebø H. (2024), Incremental LCA in early-stage building design: Opportunities and challenges. *Building and Environment*, 239.
- Reed B., Giesekam J., Barrett J. (2009). Integrated design process and its role in delivering sustainability, *Journal of Green Building*, 4.
- Röck M., Saade M. R. M., Balouktsi M., et al. (2018), Embodied GHG emissions of buildings—The hidden challenge for effective climate change mitigation, *Applied Energy*, 258.
- Schmidt R., Crawford R. H. (2018), Integrating building performance knowledge in early design: A framework for measuring and supporting design decision-making, *Energy and Buildings*, 161.
- Wangel J., Malmqvist T., Glaumann M., Höjer M. (2016), The potential of building performance assessment tools in sustainable building design. *Energy and Buildings*, 112.
- Zhang C., Hu, M., Yang X., Miranda X., Di Maio F. (2021). Development of a digital tool for integrating dynamic life cycle assessment into building design processes, *Resources, Conservation and Recycling*, 170.
- Zhang X., Wu Y., Shen L. (2019). Embodied carbon assessment in buildings: A review and critique of current methods, *Journal of Cleaner Production*, 210.

Część II.

Finanse i nowe technologie

Rozdział V.

EKONOMICZNE I PRAWNE WYZWANIA W BANKOWOŚCI W DOBIE CYFRYZACJI

*Kamila Wojciechowska-Lapszo*⁷

Streszczenie

Celem rozdziału jest identyfikacja ekonomicznych i prawnych wyzwań w sektorze bankowym w dobie cyfryzacji. Transformacja cyfrowa zmienia model współczesnej bankowości, wymuszając inwestycje w sztuczną inteligencję, rozwój usług online i automatyzację procesów. Jednocześnie pojawiają się istotne zagrożenia prawne, odnoszące się do otwartej bankowości, ochrony danych osobowych, cyberbezpieczeństwa, zgodności z przepisami dotyczącymi przeciwdziałania praniu pieniędzy czy wyzwania związane z wdrażaniem dyrektywy PSD2. Banki zobligowane są również do dostosowywania się do przepisów dotyczących wykorzystania nowych technologii i spełnienia wymogów zdalnej identyfikacji klientów. Szczególnie istotne są kwestie odpowiedzialności za działania zewnętrznych dostawców usług (fintechów), zarządzania ryzykiem technologicznym i zapewnienia zgodności z prawem na rynkach transgranicznych. W rozdziale wskazano na konieczność integracji innowacji z aktualnie obowiązującymi normami prawnymi oraz planowania strategicznego w celu zapewnienia stabilnego rozwoju sektora finansowego w dobie dynamicznych zmian cyfrowych.

Słowa kluczowe: bankowość, cyfryzacja, prawo

Summary

In the era of intensive digitalization, the banking sector is facing a number of economic and legal challenges. Digital transformation is changing the banking model, forcing investments in new technologies, development of online services and process automation. At the same time, significant legal threats are emerging, such as personal data protection, cybersecurity, compliance with anti-money laundering regulations or challenges related to the implementation of the PSD2 directive and open banking. Banks must also adapt to regulations regarding the use of artificial intelligence and meet the requirements for remote customer identification. Of particular importance are the issues of liability for the actions of external service providers (fintechs), technological risk management and ensuring compliance with the law on cross-border markets. The chapter emphasizes the need to integrate innovation with a responsible legal approach and strategic planning to ensure the stable development of the banking sector in conditions of dynamic digital changes.

Key words: banking, digitalization, law

JEL: G21, O33, K23

⁷ Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, kamilawojciechowska03@gmail.com

Wprowadzenie

Jednym z ważniejszych aspektów dotyczących transformacji w sektorze bankowym w XXI wieku jest cyfryzacja. W związku z jej dynamicznym rozwojem pojawiły się korzyści, jak również wyzwania ekonomiczne oraz prawne dla całego sektora bankowego. Rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych oraz wzrost znaczenia danych spowodował, że banki ograniczyły sposoby działania opierające się na tradycyjnych rozwiązaniach [Ciesielski 2023: 2]. W bankowości kluczowe stało się rozwijanie innowacyjności m.in. poprzez wprowadzenie aplikacji, zastosowanie sztucznej inteligencji oraz poprzez nowoczesną analizę danych. Dynamiczna cyfryzacja sektora bankowego sprzyja polepszeniu efektywności operacyjnej banków, lepszej dostępności oferowanych usług oraz zwiększeniu personalizacji ofert, które są proponowane klientom. Z drugiej strony postępująca cyfryzacja generuje rosnące koszty związane z wprowadzaniem innowacji technologicznych. Banki muszą konkurować z fintechami i bigtechami oraz dostosowywać swoją działalność do złożonych regulacji prawnych. Niezbędne stało się w związku z tym dopracowanie kwestii zarządzania ryzykiem oraz adaptacja do wymogów prawnych stawianych przez regulatorów rynku. Proces cyfryzacji wpłynął również na wzrost kosztów ponoszonych przez banki na cyberbezpieczeństwo i ochronę danych osobowych oraz na rozwijanie kompetencji technologicznych u pracowników. Celem rozdziału jest identyfikacja wyzwań, które niesie ze sobą proces dynamicznej cyfryzacji sektora bankowego, zwłaszcza w kontekście ekonomicznym i prawnym określających kierunek i dynamikę dalszego rozwijania się sektora finansowego.

1. Wyzwania ekonomiczne w bankowości w dobie cyfryzacji

Proces transformacji cyfrowej w bankach niesie ze sobą pozytywne aspekty takie jak zwiększenie automatyzacji procesów, poprawę jakości świadczonych usług oraz zmniejszenie kosztów operacyjnych [Chireac 2025: 23]. Natomiast wprowadzanie tych rozwiązań stwarza wyzwania ekonomiczne w postaci nakładów finansowych, potrzeby zmiany modeli biznesowych oraz sposobu zarządzania.

Kluczowym wyzwaniem jest zachowanie ciągłych inwestycji związanych z nowymi technologiami tzn. inwestycji w sztuczną inteligencję, w rozwiązania związane z analizą danych oraz technologię blockchain. Koszty nie są jedynie związane z nabyciem tych technologii, ale również dalszym ich utrzymaniem oraz przygotowaniem pracowników do ich obsługi.

1.1. Wysokie koszty inwestycyjne

Globalne wydatki przeznaczane na technologię w bankach na przestrzeni ostatnich lat wzrosły średnio o około 9 procent rok do roku i przekroczyły wzrost przychodów o 4 procent. Z raportu McKinsey & Company wynika, że banki wydały na ten cel łącznie 650 miliardów dolarów, czyli kwotę porównywalną do PKB Szwecji lub Belgii oraz przeznaczają około 10% swoich przychodów na rozwój technologiczny. Niełatwym zadaniem okazuje się oszacowanie korzyści netto płynących z ponoszenia tych kosztów. Ostatecznie możliwe jest, że koszt wprowadzania nowej technologii może przewyższyć korzyści wynikające z jej zbudowania. Obliczenia zwrotu z inwestycji (ROI) zwykle nie biorą pod uwagę całkowitych kosztów ponoszonych na rozwój technologiczny czyli tych związanych z utrzymaniem aplikacji oraz kosztów, które będą ponoszone w przyszłości. Ponadto banki mierzą się z szeregiem innych problemów m.in. malejącą produktywnością. Od 2010 roku w USA spada ona średnio o 0,3 procent rocznie, natomiast inne sektory odnotowują wzrost produktywności. Sektor bankowy nie zagwarantował sobie oszczędności skali w wydatkach przeznaczanych na nowe technologie. Banki mierzą się również ze zwiększonymi wymaganiami odnoszącymi się do technologii i ich zgodnością z przepisami, rozwijaniem sztucznej inteligencji oraz koniecznej modernizacji starszych systemów co będzie generowało coraz większe wydatki na technologię. [McKinsey & Company 2024: 6]. Wysokie koszty transformacji cyfrowej mają więc negatywny wpływ na rentowność całego sektora bankowego. Wydatki te mogą być szczególnie dotkliwe dla małych i średnich instytucji finansowych.

1.2. Zmieniający się krajobraz konkurencji

Dynamiczny proces cyfryzacji rozszerzył sektor finansowy o nowe podmioty. Pojawienie się fintechów (np. Revolut, Klarna) oraz bigtechów (Google, Apple) oferujących nisko kosztowe usługi finansowe stało się konkurencją dla tradycyjnej bankowości [King, Nesbitt 20: 12]. Banki muszą rywalizować z elastycznością i tempem wdrażania innowacji oraz możliwościami analizy danych przeprowadzanej na masową skalę przez te instytucje. Banki są zobligowane do uaktualnienia swoich modeli biznesowych, aby zachować konkurencyjność na rynku. Niezbędne stało się jak sprawniejsze wprowadzanie innowacji technologicznych takich jak sztuczna inteligencja czy chmura obliczeniowa oraz współpraca z podmiotami technologicznymi.

1.3. Spadek rentowności i marż odsetkowych

Coraz większa konkurencja oraz automatyzacja na rynku finansowym powodują spadek marż operacyjnych. Ponadto, banki muszą zachować rentowność przy niskich stopach procentowych. Kierownictwo w bankach staje przed zadaniem zrozumienia i przygotowania się na dynamiczne zmiany zachodzące w całym sektorze. Według raportu PwC, konieczna staje się zmiana w sposobie uzyskiwania przychodów czyli odejście od modelu biznesowego bazującego na odsetkach i przejście do źródeł opierających się na modelach platformowych i usługach subskrypcyjnych.

Najważniejszymi obszarami, wymagającymi jak najszybszej reakcji adaptacyjnej ze strony banków są transformacja technologiczna, analiza preferencji klientów oparta na danych, które stały się nowym zasobem strategicznym wymagającym odpowiedniego zarządzania oraz szerokie zaufanie. W raporcie PwC przedstawiono potencjalny scenariusz, w którym podmioty spoza sektora bankowego przejmą relacje z klientem poprzez wdrażanie rozwiązań z zakresu jego obsługi opartych na personalizacji preferencji. Banki, które podlegają restrykcyjnym przepisom oraz bazują na przestarzałej technologii są dawcami infrastruktury finansowej, ponieważ oferują licencjonowane produkty. W tym scenariuszu tracą natomiast możliwość bezpośredniego kontaktu z klientem [PwC 2025: 16].

1.4. Wyzwania związane z transformacją kulturową i kadrową

Poprzez dynamiczny rozwój cyfryzacji niezbędne stały się inwestycje w kapitał ludzki. Zwiększanie kompetencji pracowników banków oraz informatyków, spowodował wzrost kosztów i problemy w znalezieniu odpowiednio wykwalifikowanych osób do pracy w bankach. Istnieje ryzyko, że potencjał cyfryzacji nie zostanie w pełni wykorzystany, właśnie przez ograniczoną liczbę osób odpowiednio wykwalifikowanych. Raport Deloitte wykazuje, że stale potrzeba jest specjalistów w branży IT, a ich utrzymanie w sektorze technologicznym stanowi ogromne wyzwanie. Istnieje ryzyko opóźniania wdrażania projektów technologicznych w bankach w związku z trudnościami napotkanymi w znalezieniu odpowiednich pracowników IT. Dotychczasowe zarządzanie pracownikami IT wymaga zmiany. Niezbędne stało się zastosowanie dynamicznych modeli zatrudnienia odpowiadających szybkie dostosowanie do aktualnego zapotrzebowania na kompetencje u pracowników [Deloitte 2024: 7].

2. Wyzwania prawne w bankowości w dobie cyfryzacji

Dynamiczny proces cyfryzacji stawia przed sektorem bankowym również szereg wyzwań prawnych, a ich rozwiązanie jest kluczowe dla zagwarantowania bezpieczeństwa, zgodności z przepisami oraz odpowiedniej ochrony klientów. Trwa swoisty wyścig pomiędzy ekspansją nowych technologii, a regulacjami prawnymi dla nowo wprowadzanych usług. Wyzwaniem prawnym dla sektora bankowego jest również luka prawna powstała wokół bigtechów oraz szereg innych trudności związanych z nadzorem nad innowacjami [Crisanto, Ehrentraud 2021: 22]. Ponadto problem stanowi fragmentacja regulacji krajowych oraz tych w Unii Europejskiej, a także brak zdefiniowanej odpowiedzialności algorytmów AI. Wyzwanie stanowi z jednej strony personalizacja, a z drugiej ochrona danych osobowych określana przez RODO (Rozporządzenia Ogólnego o Ochronie Danych).

2.1. Ochrona danych osobowych i prywatności

Najważniejsze wyzwanie prawne w bankowości cyfrowej stanowi przestrzeganie przepisów dotyczących ochrony danych osobowych, zwłaszcza RODO. W związku z tym, że banki przechowują i przetwarzają dane osobowe swoich klientów, konieczne stało się wprowadzenie odpowiednich metod ochrony prywatności oraz środków technicznych i zabezpieczających dane przed dostępem do nich przez osoby nieuprawnione.

2.2. Cyberbezpieczeństwo i odpowiedzialność za bezprawne wykorzystanie danych

Zagrożenie cyberatakami sprawia, że banki muszą stale rozwijać ochronę systemów IT. Stale powstające nowe regulacje, takie jak unijna dyrektywa NIS2 (Network and Information Systems Directive), zobowiązują instytucje do wprowadzania zmodernizowanych systemów zabezpieczeń oraz do zgłaszania o zaistniałych incydentach zagrażających bezpieczeństwu. Wyzwaniem stała się również kwestia odpowiedzialności banku w sytuacji wykorzystania danych osobowych klientów przez osoby trzecie oraz ewentualnej kradzieży środków klientów z powodu ataków hakerów. Wyzwaniem jest również coraz większe ułatwienie w kwestii zakładania kont przez klientów oraz brania kredytów bez potrzeby fizycznej obecności klienta. Rozwój cyfryzacji daje możliwość zdalnej identyfikacji, co jest rozwiązaniem wygodnym, ale jednocześnie ryzykownym pod względem przeciwdziałania praniu pieniędzy oraz finansowania terroryzmu. W tym zakresie zastosowano rozwiązania prawne wymagające stosowanie

procedur KYC (Know Your Customer) oraz weryfikacji tożsamości klientów co stanowi kolejne wyzwanie w zakresie odpowiedniego przygotowania systemów.

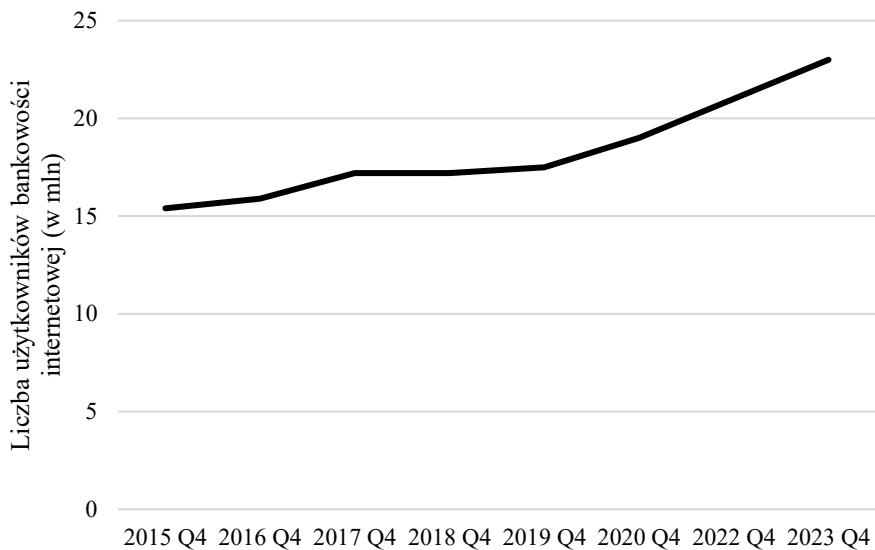
2.3. Regulacje dotyczące fintechów i bigtechów

Wprowadzenie dyrektywy PSD2 otworzyło rynek usług płatniczych na innowacyjne podmioty świadczące usługi finansowe - fintechy. Dyrektywa ta reguluje kwestię udostępniania przez banki danych do zewnętrznych podmiotów za zgodą klientów. W związku z tym pojawia się kwestia odpowiedzialności za błędy, które mogą wynikać z faktu przekazywania danych oraz zapewnienia właściwej kontroli nad danymi i odpowiedniego zarządzania zgodami klientów [Dorfleitner, Hornuf, Kreppmeier 2023: 7]. Problemem natury prawnej jest także wykorzystanie sztucznej inteligencji do procesów bankowych takich jak analiza kredytowa czy analiza ryzyka. Wątpliwości budzi kwestia przejrzystości algorytmów, ryzyko dyskryminowania klientów oraz powstaje pytanie kto ostatecznie będzie ponosił odpowiedzialność za decyzje sztucznej inteligencji [Beckers 2023 : 9]. Kolejnym wyzwaniem prawnym jest fakt, że cyfryzacja dała możliwość do rozwijania usług finansowych za granicą kraju, pojawia się więc problem jurysdykcji oraz możliwych rozbieżności z lokalnymi przepisami [IMF 2020: 29]. Ponadto powstał problem luki regulacyjnej, ponieważ bigtechy wykonują usługi finansowe, a nie podlegają tak samo restrykcyjnym przepisom jak banki [Crisanto Ehrentraud 2021: 13]. Konieczne jest wprowadzanie regulacji technologicznie „neutralnych” czyli odnoszących się do funkcji pełnionej przez daną instytucję, a nie regulacji według podmiotu [Zetzsche 2018: 53].

3. Analiza korelacji między liczbą pracowników w sektorze bankowym a liczbą użytkowników bankowości internetowej

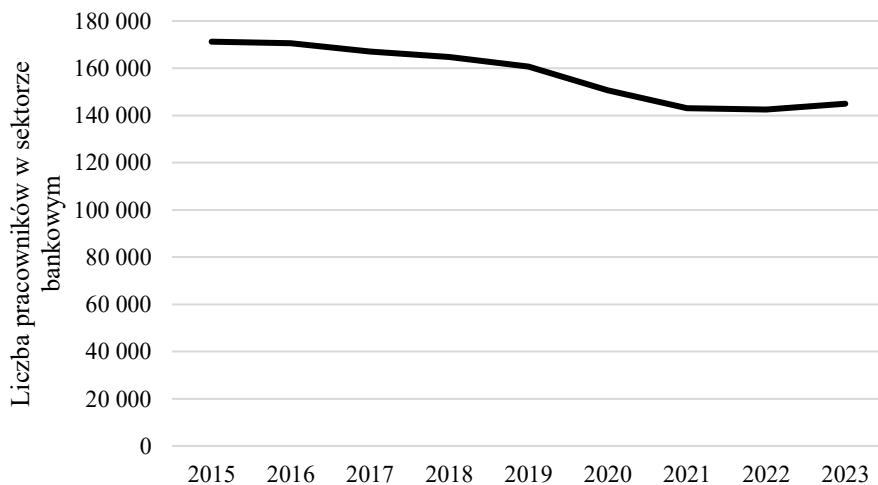
Wzrost popularności bankowości internetowej w przeciągu ostatnich lat w sposób znaczący zmienił sposób funkcjonowania sektora bankowego. Coraz więcej klientów decyduje się na obsługę online i rezygnuje tym samym z wizyt w tradycyjnych oddziałach. W związku z tym zmniejsza się zapotrzebowanie na tradycyjne stanowiska pracy. Powstaje pytanie o związek pomiędzy cyfryzacją usług a spadkiem zatrudnienia w bankowości (zob. Wykres 1 oraz Wykres 2).

Wykres 1. Liczba użytkowników bankowości internetowej (w mln)



Źródło: opracowanie własne na podstawie: [ZBP 2024].

Wykres 2. Liczba pracowników w sektorze bankowym w Polsce



Źródło: opracowanie własne na podstawie: [KNF 2022].

W celu zbadania relacji między rozwojem bankowości internetowej a zatrudnieniem w sektorze bankowym przeprowadzono analizę korelacji liniowej pomiędzy dwiema zmiennymi: liczbą pracowników w sektorze bankowym oraz liczbą użytkowników bankowości internetowej w Polsce. Dane analizowano w programie Gretl.

Współczynnik korelacji Pearsona wyniósł $r = -0,9225$, co wskazuje na bardzo silną ujemną korelację pomiędzy badanymi zmiennymi. Oznacza to, że wzrost liczby użytkowników bankowości internetowej jest istotnie związany ze spadkiem zatrudnienia w sektorze bankowym.

Aby ocenić istotność statystyczną tej korelacji, przeprowadzono test istotności współczynnika korelacji przy założeniu hipotezy zerowej:

$H_0: \rho = 0$ (brak korelacji w populacji).

Wyniki testu:

- Statystyka t ($df = 7$): $t = -6,3251$
- Wartość p (dwustronna): $p = 0,0004$

Otrzymana wartość $p < 0,05$ pozwala na odrzucenie hipotezy zerowej na poziomie istotności 5%. W związku z tym uzyskana korelacja jest statystycznie istotna, co pozwala wnioskować o istnieniu silnej, ujemnej zależności między analizowanymi zmiennymi. Im więcej ludzi korzysta z bankowości internetowej, tym mniej potrzeba pracowników w bankach (np. w oddziałach). Zmiany technologiczne realnie wpływają na zatrudnienie w sektorze bankowym. To oznacza bardzo silną ujemną korelację. Gdy liczba użytkowników bankowości internetowej rośnie, to liczba pracowników w sektorze bankowym maleje - i to w sposób bardzo wyraźny. Z przeprowadzonej analizy wynika, że rozwój bankowości internetowej może mieć znaczący wpływ na zmniejszające się zatrudnienie w sektorze bankowym, co sugeruje istotne konsekwencje transformacji cyfrowej dla rynku pracy w usługach finansowych.

Wnioski

Globalny trend wzrostowy cyfryzacji ryzyka w sektorze bankowym stwarza zarówno szanse jak i ryzyka. Istnieje potrzeba dostosowania istniejącego prawa do nowych technologii. Konieczne okazuje się również wzmocnienie współpracy pomiędzy bankami, regulatorami rynku oraz firmami technologicznymi. Niezbędne dla zachowania konkurencyjności banków oraz zaufania klientów jest odpowiednie zarządzanie kosztami, ryzykiem oraz ochroną danych osobowych. Szczególnie istotne są kwestie odpowiedzialności za działania zewnętrznych dostawców usług (fintechów), zarządzania ryzykiem technologicznym i zapewnienia zgodności z prawem na rynkach transgranicznych. Występujące ujemne współzależności między liczbą pracowników polskiego sektora bankowego, a liczbą użytkowników bankowości cyfrowej, wskazuje także na nowe wyzwania w kontekście zmian struktury rynku pracy w Polsce.

Bibliografia

Beckers S. (2023), Moral responsibility for AI systems, Conference paper, 37th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2023).

Chireac R.-M. N. (2025), The impact of digitalization on banking efficiency: Automation, security and customer experience, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Management Studies*, 8(2).

Ciesielski M. (2023), Banki pod presją fintechów, *Obserwator Finansowy*.

Crisanto J. C., Ehrentraud J. (2021), The Big Tech Risk in Finance, 58(2).

Deloitte (2023), Digital Banking Maturity Report.

Deloitte (2024), Navigating the tech talent shortage.

Dorflleitner G., Hornuf L., Kreppmeier J. (2023), Promise not fulfilled: FinTech, data privacy, and the GDPR, *Electronic Markets*, 33(1).

European Banking Authority (2022), Guidelines on ICT and security risk management.

IMF (2020), Fintech and payments regulation: Analytical framework (Working Paper No. 20/075), International Monetary Fund.

King M. R., Nesbitt R. W. (2019), The competitive threat from TechFins and BigTech in financial services [in:] King M.R., Nesbitt R. W. (eds.), *The Technological Revolution in Financial Services*, University of Toronto Press.

Komisja Nadzoru Finansowego (2022), Sytuacja sektora bankowego – raport roczny 2022.

McKinsey & Company (2024), Unlocking value from technology in banking: An investor lens.

PwC (2022), Banking in 2030: Evolution or revolution?

PwC (2025), Retail Banking 2025 and Beyond, <https://www.pwc.com/gx/en/industries/financial-services/publications/financial-services-in-2025/retail-banking-2025.html>.

Regulation (EU) 2016/679 (GDPR) – Ogólne rozporządzenie o ochronie danych.

World Economic Forum (2022), The Future of Financial Infrastructure.

Vives X. (2019), Digital disruption in banking, *Annual Review of Financial Economics*, 11.

Zetzsche D. A., Buckley R. P., Arner D. W., et al. (2018), From FinTech to TechFin: The regulatory challenges of data driven finance, *NYU Journal of Law and Business*.

Związek Banków Polskich (2024), NetB@nk: Bankowość internetowa i mobilna, płatności bezgotówkowe. Raport – I kwartał 2024, Związek Banków Polskich.

Rozdział VI.

SZTUCZNA INTELIGENCJA W FINANSACH: ZASTOSOWANIA, WYZWANIA I PERSPEKTYWY ROZWOJU

Anna Stępniak-Kucharska ⁸, Katarzyna Osiecka-Sajnog ⁹

Streszczenie

Celem niniejszego rozdziału jest analiza zastosowań sztucznej inteligencji w zarządzaniu finansami oraz ocena potencjalnych korzyści i zagrożeń wynikających z jej zastosowania. Przedstawiono ewolucję technologii, główne zastosowania AI w analizie i zarządzaniu inwestycjami, a także najważniejsze wyzwania i ryzyka związane z jej wykorzystaniem. Rozdział zawiera również przegląd przyszłych kierunków rozwoju i roli regulacji w bezpiecznym wdrażaniu sztucznej inteligencji w sektorze finansowym.

Słowa kluczowe: AI, finanse przedsiębiorstw.

Summary

The purpose of this chapter is to analyze the applications of artificial intelligence in financial management and to assess the potential benefits and risks of its use. The evolution of technology, the main applications of AI in investment analysis and management, as well as the most important challenges and risks associated with its use are presented. The chapter also provides an overview of future directions of development and the role of regulation in the safe implementation of artificial intelligence in the financial sector.

Key words: AI, corporate finance

JEL: M15, M49, O33.

⁸ Politechnika Warszawska, KNEiS, anna.stepniak@pw.edu.pl

⁹ Politechnika Warszawska, KNEiS, katarzyna.osiecka@pw.edu.pl

Wprowadzenie

Sztuczna inteligencja (AI) zyskuje na znaczeniu we wszystkich dziedzinach gospodarki, a sektor finansowy nie jest wyjątkiem. Obecnie AI stosowana jest m.in. do wykrywania oszustw finansowych, analizy nastrojów rynkowych na podstawie mediów społecznościowych i wiadomości, a także do wspierania decyzji inwestycyjnych poprzez modele uczenia maszynowego i sieci neuronowe. W ciągu ostatnich kilku lat technologia ta, z prostego narzędzia automatyzacji, stała się jednym z filarów nowoczesnych finansów i znalazła szerokie zastosowanie w bankowości, inwestycjach, ubezpieczeniach i zarządzaniu ryzykiem. Wraz z dynamicznym rozwojem narzędzi analitycznych opartych na AI, instytucje finansowe dążą do zwiększenia efektywności operacyjnej, poprawy decyzji inwestycyjnych oraz lepszego zarządzania ryzykiem. Jednak mimo obiecujących rezultatów, zastosowanie sztucznej inteligencji w finansach wiąże się także z szeregiem wyzwań, zarówno technologicznych, jak i etycznych.

Celem rozdziału jest analiza zastosowań sztucznej inteligencji w finansach, identyfikacja głównych wyzwań oraz próba wskazania perspektyw rozwoju tej technologii w przyszłości.

1. Historia zastosowania AI na rynkach finansowych

Początki powstania AI wiążą się z rozwojem logiki matematycznej i maszyn obliczeniowych oraz zaproponowaniem przez A. Turinga w 1936 roku pojęcia maszyny uniwersalnej, a także metody oceny inteligencji maszynowej [Turing 1950: 433-460]. Natomiast początki AI jako odrębnej dziedziny naukowej datowane są na rok 1955, w którym McCarthy [1955] zaproponował termin „sztuczna inteligencja”, określając ją jako „naukę i inżynierię tworzenia inteligentnych maszyn.

Na początku sztuczna inteligencja (AI) była wykorzystywana w finansach głównie do automatyzacji prostych zadań, takich jak sortowanie danych czy tworzenie raportów. Wraz z rozwojem technologii i lepszymi algorytmami, zaczęto ją stosować do bardziej złożonych działań, na przykład do analizowania rynków czy wspierania decyzji inwestycyjnych. Jedni badacze koncentrowali się na automatyzacji procesów według sztywnych reguł, inni zwracali uwagę na zdolność AI do przewidywania trendów i oceniania sytuacji rynkowej dzięki uczeniu maszynowemu.

AI w finansach rozwijała się etapami. Najpierw pojawiła się możliwość przetwarzania dużych ilości danych. Potem do gry weszły bardziej zaawansowane modele, jak sieci neuronowe i narzędzia do przetwarzania języka (NLP). Z biegiem lat AI zmieniła sposób funkcjonowania instytucji finansowych.

Pojawiły się narzędzia do analizy nastrojów rynkowych, automatyzacji biurowej, obsługi klienta przez chatboty, a także zaawansowane systemy do handlu algorytmicznego. Te rozwiązania znacząco przyspieszyły i usprawniły wiele procesów. Dzisiejsze systemy AI potrafią analizować dane w czasie rzeczywistym, rozpoznawać wzorce i interpretować teksty, co czyni je użytecznymi w analizach, prognozowaniu i zarządzaniu ryzykiem [Sheng 2025: 20].

Przyszłość AI w finansach zależy od komputerów kwantowych mogą dać jeszcze większe możliwości obliczeniowych. Rozwija się także tzw. inteligencja wspomagana, czyli współpraca ludzi i maszyn. Połączenie AI z blockchainem otwiera nowe możliwości, np. w zakresie inteligentnych kontraktów i cyfrowej identyfikacji. W literaturze naukowej rośnie zainteresowanie badaniami nad AI w finansach. Wiele prac pokazuje trzy główne obszary: zarządzanie inwestycjami, wykrywanie nadużyć oraz prognozowanie rynkowe. AI znajduje również coraz szersze zastosowanie w modelu ryzyka kredytowego [Lessmann i in. 2015: 740-755]. Widać też rosnące znaczenie tzw. wyjaśnialnej AI – czyli takiej, której decyzje można zrozumieć.

Kluczowym jednak problemem pozostają jednak różnice w przepisach dotyczących AI. Europa dąży do wspólnych regulacji - przyjęła Akt o Sztucznej Inteligencji (AI Act) [2021]. Akt ten stanowi pierwszą próbę kompleksowej regulacji AI na poziomie ponadnarodowym (dotyczy nie tylko do podmiotów zarejestrowanych w UE, ale także do firm spoza UE oferujących swoje usługi na rynku europejskim) i wprowadza podejście oparte na ocenie ryzyka, klasyfikując systemy AI na cztery kategorie: niedopuszczalne, wysokiego ryzyka, ograniczonego ryzyka i minimalnego ryzyka. Systemy wysokiego ryzyka podlegają surowym wymogom dotyczącym przejrzystości, nadzoru ludzkiego i zarządzania danymi, a za nieprzestrzeganie przepisów grożą znaczące kary, sięgające do 7% globalnych przychodów firmy lub 35 milionów euro, w zależności od tego, która kwota jest wyższa.

W USA stosowane jest zdecentralizowane podejście - regulacje są rozproszone między różne agencje federalne, takie jak FDA (dla urządzeń medycznych) czy SEC (dla sektora finansowego) oraz inicjatywy wykonawcze, stanowiące jedynie wytyczne i zalecenia (np. Executive Order on Safe, Secure, and Trustworthy Development and Use of Artificial Intelligence - 2023). Prowadzi to do trudności w ujednoliceniu zasad, fragmentacji regulacyjnej i potencjalnych konfliktów między prawem federalnym a stanowym.

2. Główne zastosowania AI na rynku finansowym

Sztuczna inteligencja (AI) staje się fundamentem transformacji cyfrowej w sektorze finansowym, odgrywając kluczową rolę w automatyzacji, personalizacji usług oraz analizie ogromnych zbiorów danych (zob. Tab. 1).

Tabela 1. Główne pożądane rezultaty zastosowań sztucznej inteligencji w instytucjach finansowych

Rezultat	Obszary, w których AI może być pomocna (przykłady)
Efektywność czasowa	Ocena wniosków kredytowych dotyczących roszczeń ubezpieczeniowych szybsza niż w przypadku tradycyjnych modeli
Efektywność kosztowa	Zmniejszenie liczby pracowników zajmujących się obsługą klienta
Ulepszona obsługa klienta	Identyfikacja trendów rynkowych w celu przewidywania potrzeb klientów. Zwiększenie dostępu do innowacyjnych produktów i usług finansowych, takich jak robo-doradcy.
Zwiększenie zgodności z przepisami i zarządzanie ryzykiem	Podsumowanie przepisów lub przygotowywanie wniosków regulacyjnych - pobieranie ustrukturyzowanych i nieustrukturyzowanych danych z różnych źródeł. Identyfikowanie wzorców i anomalii w transakcjach bankowych w celu ujawnienia podejrzanych nielegalnych działań.

Źródło: Crisanto i in. [2024: 7].

Dzięki postępowi technologicznemu i coraz szerszemu dostępowi do danych oraz przystępnych kosztów przetwarzania, instytucje finansowe intensywnie wdrażają rozwiązania oparte na AI w niemal wszystkich obszarach swojej działalności (zob. Tab. 2).

Tabela 2. Kluczowe obszary zastosowania AI w sektorze finansowym (2024)

Obszar zastosowania	Przykładowe zastosowania	Udział firm (%)	Źródło
Automatyzacja procesów finansowych	Fakturowanie, raportowanie, rozliczenia	58%	Gartner 2024
Wykrywanie oszustw i AML	Monitorowanie transakcji, identyfikacja oszustw, AML/KYC	57%	World Metrics 2024
Personalizacja usług	Analiza zachowań klientów, rekomendacje, scoring kredytowy	70%	World Metrics 2024
Optymalizacja inwestycji i trading	Zarządzanie portfelem, algorytmy predykcyjne	85%	Gitnux 2024
Chatboty i asystenci głosowi	Obsługa klienta, FAQ, sprzedaż	80%	World Metrics 2024
Marketing i rekomendacje	Systemy rekomendujące, analiza kampanii	23%	Deloitte 2024

Obszar zastosowania	Przykładowe zastosowania	Udział firm (%)	Źródło
Wirtualne światy i metaverse	Szkolenia, onboarding, symulacje oddziałów	12%	Deloitte 2024

Źródło: [<https://explodingtopics.com/blog/ai-statistics>].

Aż 58% działów finansowych na świecie korzysta już z narzędzi AI, a 44% firm aktywnie wykorzystuje inteligentną automatyzację procesów, co stanowi znaczący wzrost w porównaniu do lat ubiegłych [Gartner 2024].

Powszechnym zastosowaniem dzisiaj jest automatyzacja procesów finansowych, usprawniających procesy księgowe i operacyjne. Narzędzia automatyzujące takie jak systemy RPA (Robotic Process Automation) wspomagane AI są stosowane w zakresie przetwarzania faktur, przygotowywania raportów finansowych czy analizy budżetowej. Działania te prowadzą do skrócenia czasu realizacji zadań i zmniejszenia ryzyka ludzkich błędów. Szacuje się, że firmy wykorzystujące AI w automatyzacji odnotowały średni wzrost efektywności operacyjnej o 35% [World Metrics 2024].

Ponadto, AI zyskuje na znaczeniu w dziedzinie bezpieczeństwa finansowego. Coraz częściej wykorzystywana jest do monitorowania transakcji w czasie rzeczywistym w celu wykrywania nieprawidłowości, nadużyć finansowych (np. pranie pieniędzy) i anomalii w transakcjach takich jak manipulacje rynkowe. Najczęściej wykorzystywana jest ona do identyfikacji oszustw na kartach kredytowych i w przelewach [West, Bhattacharya 2016: 47-66].

Modele uczenia maszynowego są w stanie analizować wzorce zachowań użytkowników i wykrywać anomalie, co pozwala na szybsze reagowanie na potencjalne próby oszustwa. Statystyki wskazują, że dzięki wdrożeniu AI instytucje finansowe ograniczyły straty związane z oszustwami nawet o 25% rocznie [Gitnux 2024].

Banki i firmy fintech coraz częściej wykorzystują sztuczną inteligencję do oferowania klientom spersonalizowanych rozwiązań finansowych, dostosowanych do ich indywidualnych potrzeb i preferencji. AI analizuje historię transakcji, dane demograficzne i behawioralne, tworząc oferty kredytowe, inwestycyjne lub oszczędnościowe. Jednakże banki dość ostrożnie wdrażają rozwiązania oparte o sztuczną inteligencję. Szacuje się, że prawie jedna czwarta banków w ogóle nie rozpoczęła jeszcze wdrażania AI. Dla porównania, wśród firm fintech i ubezpieczeniowych odsetek ten jest znacznie niższy — wynosi zaledwie około 5%. Co więcej, 68% ankietowanych banków znajduje się dopiero na początkowym etapie wdrażania AI, podczas gdy w innych sektorach finansowych poziom ten przekracza 80% (zob. Tab. 3).

Tabela 3. Poziom dojrzałości stosowania AI w obszarze finansowym

Etap wdrożenia	Banki (n=73)	FinTechy (n=23)	Ubezpieczenia (n=16)
Nie rozpoczęto	21%	4%	6%
Początek	68%	83%	88%
Dojrzewanie	11%	13%	6%
Zaawansowany/końcowy	0%	0%	0%

Źródło: Citi GPS [2024].

Należy ponadto podkreślić, że sztuczna inteligencja znajduje szerokie zastosowanie w analizie rynków kapitałowych i optymalizacji portfeli inwestycyjnych. Algorytmy są w stanie w czasie rzeczywistym przetwarzać ogromne wolumeny danych rynkowych, przewidując trendy poprzez budowę modeli predykcyjnych i sugerując strategie inwestycyjne. Wykorzystując techniki uczenia maszynowego, algorytmy mogą identyfikować wzorce i zależności niedostrzegalne dla klasycznego analityka. Aż 85% instytucji zarządzających aktywami wdrożyło modele AI do wspierania decyzji inwestycyjnych [Gitnux 2024].

Kolejnym ważnym zastosowaniem jest automatyzacja doradztwa inwestycyjnego poprzez tzw. robodoradców, oparta na dużych modelach językowych, które są w stanie prowadzić konwersacje, udzielać informacji o produktach i wspierać klientów w rozwiązywaniu problemów 24/7 i dostosowując strategie inwestycyjne do profilu klienta. Oferują tym samym inwestorom zautomatyzowane usługi doradztwa finansowego przy niskich kosztach.

Wnioskować zatem należy, że rozwiązania sztucznej inteligencji (AI) są coraz częściej wykorzystywane w finansach – w takich obszarach jak zarządzanie aktywami, handel algorytmiczny, ocena zdolności kredytowej czy finanse oparte na technologii blockchain, wspierając zarówno instytucje, jak i indywidualnych inwestorów. Możliwość ich zastosowania wynika z obfitości dostępnych danych oraz przystępnej cenowo mocy obliczeniowej. Modele uczenia maszynowego (ML) wykorzystują big data do samodzielnego uczenia się i poprawy przewidywalności oraz efektywności na podstawie doświadczenia i danych – bez konieczności programowania ich działania przez człowieka [OECD 2021: 5].

Korzystają z nich coraz częściej na co dzień banki, fundusze inwestycyjne i firmy doradcze. Dzięki algorytmom sprawdzana jest zdolność kredytowa, analizowane są dane potrzebne inwestorom, ale także jest wykorzystywana w obszarach księgowości i zarządzania finansami. Według badania pt. State of AI in Financial Services: 2023 Trends [NVIDIA 2023] (zob. Tab. 4), połowa ankietowanych odpowiedziała, że AI pomaga zwiększać przychody ich

organizacji o co najmniej 10%. Ponad jedna trzecia zapewniła, że sztuczna inteligencja pomaga obniżyć koszty o co najmniej 10%. Z tego samego badania wynika, że technologia ta istotnie usprawniła operacje biznesowe – w szczególności obsługę klienta (46%) i wydajność operacyjną (35%). Są to argumenty zdecydowanie przemawiające za tym, że sztuczna inteligencja na dobre zajęła istotne miejsce w obszarze szeroko pojętych finansów. Sztuczna inteligencja znajduje szerokie zastosowanie w różnych obszarach rynku finansowego, wspierając zarówno instytucje, jak i indywidualnych inwestorów.

Tabela 4. Najważniejsze zastosowania sztucznej inteligencji w usługach finansowych (z wyłączeniem Chin)

Zastosowanie AI	Odsetek firm
Przetwarzanie języka naturalnego (NLP) / duże modele językowe (LLMs)	26%
Systemy rekomendacyjne / wybór najlepszej kolejnej akcji	23%
Optymalizacja portfela	23%
Wykrywanie oszustw: transakcje/płatności	22%
Wykrywanie oszustw: przeciwdziałanie praniu pieniędzy / znaj swojego klienta (KYC)	22%
Handel algorytmiczny	21%
Konwersacyjna AI	20%
Optymalizacja marketingu	20%
Tworzenie syntetycznych danych do budowy/ulepszenia modeli	20%
Generowanie danych syntetycznych	18%
Zarządzanie dokumentami	18%
Zgodność z przepisami (compliance)	17%
Prognozowanie niewypłacalności	15%
Czynniki środowiskowe, społeczne i ład korporacyjny (ESG)	12%
Metawersum / wirtualne światy	12%
Obsługa roszczeń	12%
Geoprzestrzenna AI	10%

Źródło: NVIDIA [2023: 5].

Z całą pewnością, AI jest w stanie przetworzyć ogromne ilości danych w krótkim czasie, co pomaga firmom w analizie danych i podejmowaniu decyzji biznesowych. Dzięki analizie danych, firmy mogą lepiej zrozumieć potrzeby klientów, optymalizować swoje produkty i usługi oraz identyfikować nowe możliwości rynkowe. Algorytmy AI mogą być wykorzystane do przeprowadzania zaawansowanej analizy danych finansowych, umożliwiając firmom lepsze zrozumienie swojej sytuacji finansowej i identyfikację trendów. Dzięki zdolności do przetwarzania ogromnej ilości danych i uczenia się z nich,

AI może analizować historyczne dane finansowe firmy i na ich podstawie przewidzieć przyszłe wyniki finansowe.

Można zatem wnioskować, że zastosowanie sztucznej inteligencji w sektorze finansowym z roku na rok nabiera rozpędu. Od optymalizacji procesów i redukcji kosztów po zaawansowaną analizę danych i przewidywanie trendów – AI stała się nieodłącznym elementem strategii rozwoju instytucji finansowych. Raporty rynkowe jasno wskazują na dynamiczne rozszerzanie zakresu wykorzystania tych technologii, co czyni je kluczowym czynnikiem przewagi konkurencyjnej w nowoczesnym ekosystemie finansowym.

3. Korzyści z zastosowania AI w finansach

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny wzrost liczby dostępnych na rynku rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji, wspierających różne aspekty działalności w sektorze finansowym. Aby ułatwić identyfikację i wybór odpowiednich technologii, Polski Fundusz Rozwoju (PFR) opracował dokument zatytułowany *Mapa wybranych narzędzi AI w finansach i analizie danych*, który stanowi przegląd dostępnych rozwiązań z podziałem na konkretne obszary zastosowania [PFR 2023].

Zgromadzone przez PFR narzędzia zostały podzielone na dwie główne kategorie: analizę danych oraz finanse. W ramach pierwszej grupy znajdują się rozwiązania dedykowane wizualizacji danych, tworzeniu kopii zapasowych, automatyzacji procesów biznesowych, a także zarządzaniu usługami chmurowymi i hurtowniami danych. Technologie te pozwalają na sprawniejsze przetwarzanie dużych wolumenów informacji oraz ułatwiają wyciąganie wniosków na podstawie złożonych zbiorów danych.

Z kolei narzędzia przypisane do kategorii finansowej obejmują aplikacje wspierające księgowość, systemy płatności elektronicznych, rozwiązania zwiększające bezpieczeństwo transakcji (np. z wykorzystaniem biometrii lub uczenia maszynowego do wykrywania oszustw), a także systemy prognozujące przyszłe wyniki finansowe i wspomagające zarządzanie inwestycjami oraz kapitałem przedsiębiorstwa.

Zastosowanie AI w finansach przynosi szereg korzyści praktycznych. Przede wszystkim pozwala na zwiększenie efektywności analizy danych i podejmowania decyzji, co ma kluczowe znaczenie w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu rynkowym. Dzięki algorytmom opartym na uczeniu maszynowym możliwe staje się przetwarzanie ogromnych ilości danych w czasie rzeczywistym oraz wykrywanie wzorców, które mogą umknąć analitykom stosującym tradycyjne metody.

Kolejną zaletą jest automatyzacja procesów inwestycyjnych, która pozwala na eliminację czynników ludzkich i ograniczenie ryzyka błędów. Automatyczne strategie inwestycyjne, oparte na AI, są zdolne do szybkiego reagowania na zmiany rynkowe i optymalizowania alokacji kapitału.

Istotne jest również to, że systemy oparte na sztucznej inteligencji pomagają minimalizować wpływ emocjonalnych decyzji inwestorów, co zwiększa racjonalność i stabilność decyzji finansowych. AI może wskazywać strategie działania w oparciu o dane historyczne i aktualne, eliminując subiektywne reakcje na krótkoterminowe fluktuacje rynku.

Ostatnim, ale nie mniej ważnym aspektem jest lepsze zarządzanie ryzykiem. Zaawansowane modele predykcyjne potrafią nie tylko identyfikować potencjalne zagrożenia w danych finansowych, ale również rekomendować działania prewencyjne, dzięki czemu instytucje mogą działać pro aktywnie i skuteczniej zabezpieczać się przed stratami.

4. Zagrożenia i wyzwania stosowania AI w finansach

Mimo licznych korzyści, jakie niesie za sobą wdrożenie sztucznej inteligencji (AI) w sektorze finansowym, technologia ta wiąże się również z istotnymi wyzwaniami i zagrożeniami, które wymagają szczególnej uwagi ze strony instytucji, regulatorów oraz samych użytkowników (zob. Tab. 5).

Tabela 5. Ryzyka mikro ostrożnościowe

Rodzaj ryzyka	Przykład
Kredytowe	– Niedoszacowanie prawdopodobieństwa niewypłacalności lub ryzyka straty z powodu nieprawidłowych danych wejściowych
Modelu	– Niedokładne wyniki modelu spowodowane brakiem dostosowania modelu do zmian w charakterze danych wejściowych – Brak przejrzystości modelu utrudnia ocenę jego poprawności koncepcyjnej i technicznej – Niedokładne wyniki modelu wynikające z przeuczenia (overfitting) lub niedouczenia (underfitting); czyli model nie potrafi uogólnić wyników na inne warunki lub jest zbyt prosty, by uchwycić rzeczywiste wzorce w danych – niespójne odpowiedzi oraz zależność od jakości danych – Przecenianie możliwości modeli AI, prowadzące do ich niewłaściwego zastosowania poza zakresem ich kompetencji – Modele AI mogą nie generować wiarygodnych prognoz, jeśli nie zostały wytrenowane na najbardziej aktualnych danych
Ubezpieczeniowe	– Zaniżenie cen polis ubezpieczeniowych wskutek korzystania z modeli AI opartych na danych historycznych, które nie uwzględniają najnowszych wydarzeń

Rodzaj ryzyka	Przykład
Cybernetyczne	– Firmy mogą być bardziej narażone na ataki cybernetyczne z powodu większej liczby punktów styku z zewnętrznymi dostawcami usług i zwiększonej łączności IT z różnymi systemami – Niewystarczająca kontrola dostępu może skutkować nieautoryzowanym dostępem do danych treningowych i modelu AI – Modele AI mogą być podatne na ataki typu „data poisoning”, czyli złośliwe modyfikacje zestawów danych treningowych – Atakujący mogą „ukraść” model AI, tworząc funkcjonalnie równoważny model poprzez wielokrotne zapytania do oryginalnego modelu
Inne ryzyka operacyjne	– Firmy korzystające z przestarzałych systemów IT mogą wprowadzać dodatkową złożoność do swojej architektury informatycznej, co zwiększa ryzyko operacyjne wynikające z awarii IT

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Crisanto i in. 2024: 9].

Jednym z kluczowych problemów pozostaje brak przejrzystości działania wysoce złożonych modeli AI, zwłaszcza tych opartych na głębokim uczeniu (ang. deep learning). Systemy takie określa się często mianem „czarnych skrzynek”, ponieważ trudno precyzyjnie określić, jakie mechanizmy doprowadziły do konkretnej decyzji. Tego rodzaju nieprzejrzystość może utrudniać dochodzenie odpowiedzialności w przypadku błędnych lub szkodliwych decyzji i utrudniać ich zgodność z obowiązującymi regulacjami [Burrell 2016].

Kolejnym istotnym zagrożeniem jest ryzyko wynikające z jakości danych treningowych. Modele uczące się na bazie danych historycznych mogą powielać istniejące uprzedzenia, nieprawidłowości lub błędy, prowadząc do nieadekwatnych rekomendacji inwestycyjnych lub decyzji kredytowych. Niewłaściwe lub tendencyjne dane mogą skutkować poważnymi stratami finansowymi, a także naruszeniem zasad etyki lub prawa.

AI w finansach może również generować systemowe ryzyka rynkowe, w tym tzw. zjawisko „flash crash”, czyli nagłe załamania cen aktywów wywołane przez błędne lub zbyt szybkie reakcje algorytmów handlujących. W sytuacjach dużej niestabilności rynkowej, algorytmy mogą działać synchronicznie i potęgować spadki, co wymaga szczególnego nadzoru i mechanizmów zabezpieczających [Citi GPS 2024: 15].

Innym problemem jest asymetria informacyjna między podmiotami dysponującymi zaawansowanymi narzędziami AI a drobnymi inwestorami. Duże instytucje finansowe mają dostęp do ogromnych zbiorów danych i mocy obliczeniowej, co może prowadzić do nierównego dostępu do informacji i przewagi konkurencyjnej trudnej do zniwelowania. Tego typu dysproporcja może

podważać zaufanie do uczciwości rynków finansowych. Ponadto, dominacja kilku dużych firm technologicznych może skutkować koncentracją wiedzy i narzędzi [FSB 2017].

Nie bez znaczenia pozostają także aspekty etyczne i prawne związane z automatyzacją decyzji inwestycyjnych. Systemy AI mogą podejmować decyzje bez pełnej kontroli człowieka, co budzi pytania o odpowiedzialność, zgodność z normami prawnymi, a także o potencjalną dyskryminację [EC 2021]. W związku z tym instytucje finansowe muszą dostosowywać się do coraz bardziej restrykcyjnych regulacji, takich jak RODO czy przepisy dotyczące przeciwdziałania praniu pieniędzy.

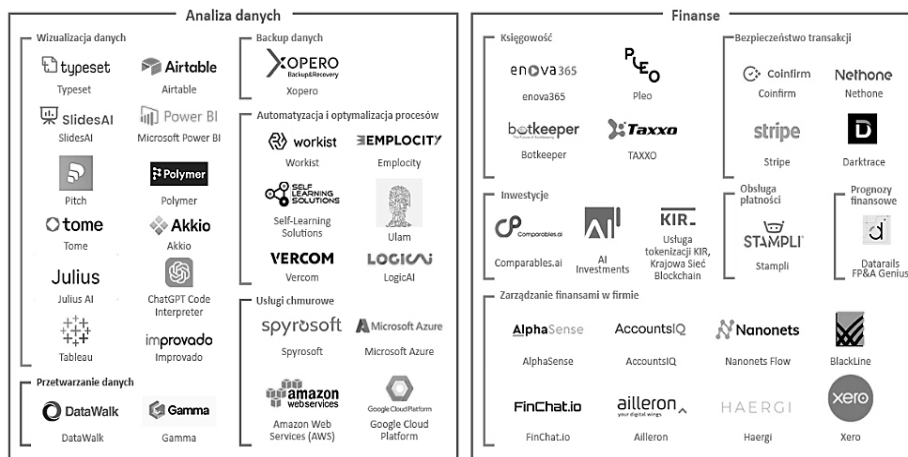
Ostatnim, ale równie ważnym wyzwaniem jest rosnące ryzyko cyberzagrożeń. Cyberprzestępcy coraz częściej wykorzystują AI do przeprowadzania ataków, które są trudniejsze do wykrycia i bardziej skuteczne. Ponadto, kradzież danych wykorzystywanych do trenowania modeli może naruszyć prywatność klientów i poufność informacji. W odpowiedzi, instytucje finansowe są zmuszone stale inwestować w zaawansowane systemy bezpieczeństwa oraz monitorować pojawiające się zagrożenia.

5. Przyszłość AI w sektorze finansowym

Postęp sztucznej inteligencji w sektorze finansowym będzie w najbliższych latach powiązany z dalszą miniaturyzacją komponentów elektronicznych, dynamicznym rozwojem technologii obliczeń kwantowych oraz coraz ściślejszą integracją z rozwiązaniami opartymi na technologii blockchain [PwC 2022]. Coraz większe znaczenie będą odgrywać regulacje prawne, mające na celu zwiększenie transparentności oraz zapewnienie bezpieczeństwa systemów wykorzystujących AI [EC 2023].

Równolegle przewidywany jest dalszy rozwój robo-doradców oraz wzrost znaczenia personalizacji usług finansowych, co odpowiada na rosnące oczekiwania klientów względem indywidualnego podejścia i dostępności usług [Deloitte 2024]. Integracja AI z chatbotami umożliwia także prowadzenie zaawansowanej komunikacji z klientem w trybie 24/7 [Lacity, Willcocks: 2016: 8-15]. Zgodnie z prognozami, globalna wartość rynku AI w finansach ma wzrosnąć z poziomu 38,36 miliarda dolarów amerykańskich w 2024 roku do 190,33 miliarda dolarów do roku 2030, przy średniorocznej stopie wzrostu (CAGR) wynoszącej 30,6% w analizowanym okresie [MarketsandMarkets 2025].

Rysunek 1. Wybrane narzędzia AI w finansach i analizie danych



Źródło: PFR [2024].

Na szczególną uwagę zasługują chatboty oraz wirtualni asystenci, których popularność w sektorze finansowym stale rośnie (zob. Rysunek 1). Ich zdolność do automatyzacji obsługi klienta, podnoszenia jakości doświadczenia użytkownika oraz ograniczania kosztów operacyjnych sprawia, że stanowią istotny element strategii cyfrowej wielu instytucji.

Wśród kluczowych graczy na globalnym rynku AI w finansach znajdują się m.in. FIS (USA), Fiserv (USA), Google (USA), Microsoft (USA), Zoho (Indie), IBM (USA), Socure (USA), Workiva (USA), Plaid (USA), SAS (USA) oraz C3 AI (USA), którzy wyznaczają kierunki dalszego rozwoju tej technologii [Statista 2024].

Wnioski

Sztuczna inteligencja staje się nieodzownym elementem nowoczesnych rynków kapitałowych. Jej zastosowanie pozwala na bardziej efektywne zarządzanie inwestycjami, analizę rynków oraz wykrywanie nieprawidłowości. Jednocześnie wiąże się z poważnymi wyzwaniami natury technicznej, prawnej i etycznej. Kluczem do sukcesu będzie odpowiedzialne wdrażanie i nadzór nad rozwojem tych technologii. Podmioty gospodarcze, aby przeciwdziałać zagrożeniom wynikającym z wdrażania AI muszą podjąć szereg działań. Do najczęściej wymienianych można zaliczyć: rozwój metod umożliwiających interpretowalność wyników algorytmów (Explainable AI – XAI), systematyczne audyty algorytmów i danych treningowych, współpracę regulatorów (firm technologicznych i instytucji finansowych) w celu tworzenia wspólnych

standardów oraz inwestycje w edukację i rozwój kompetencji cyfrowych wśród pracowników sektora finansowego.

Można stwierdzić, że sztuczna inteligencja w finansach to nie tylko teraźniejszość, ale i przyszłość. Z każdym rokiem obserwujemy coraz większe zaufanie do technologii opartych na AI, a ich potencjał jest ogromny. Z całą pewnością, w najbliższych latach można się spodziewać dalszej automatyzacji procesów, jeszcze lepszych narzędzi do zarządzania ryzykiem oraz personalizacji usług na niespotykaną dotąd skalę. Dlatego z pewnością warto śledzić, w którym kierunku będzie to się dalej rozwijać, bowiem będzie to ogromna szansa zarówno dla całego sektora, klientów, jak i inwestorów.

Bibliografia

Arner D. W., Barberis J., Buckley R. P. (2020), Fintech, regtech and the reconceptualization of financial regulation, *Northwestern Journal of International Law & Business*, 337(3).

Burrell J. (2016), How the machine ‘thinks’: Understanding opacity in machine learning algorithms, *Big Data & Society*, 3(1).

Chen L., Zhang J., Zhang Y., Liu Y. (2023), Bibliometric analysis of artificial intelligence applications in finance, *Technological Forecasting and Social Change*, 188.

Citi GPS (2024), State of AI in Banking. Digital Banking Report, Citi GPS Study Issue 308.

Crisanto J.C., Leuterio C.B., Prenio J., et al. (2024), Regulating AI in the financial sector: recent developments and main challenges, Financial Stability Institute, Bank for International Settlements, FSI Insights on policy implementation, 63.

Deloitte (2024), AI in financial services industry survey, <https://www.deloitte.com>.

EC (2021, 2023), Proposal for a Regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act), European Commission, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/proposal-regulation-laying-down-harmonised-rules-artificial-intelligence>.

FSB (2017), Artificial intelligence and machine learning in financial services, Financial Stability Board <https://www.fsb.org>.

Gao X., Ye Z., Zhang L. (2021), Financial sentiment analysis using machine learning techniques, *Journal of Computational Finance* 25(1).

Gartner (2024), <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-02-22-gartner-identifies-top-cybersecurity-trends-for-2024>.

Gitnux (2024), AI Use in Financial Services Statistics, <https://www.gitnux.org>.

Kshetri N. (2021), Blockchain and Artificial Intelligence for financial services: Opportunities and challenges, *IT Professional*, 23(1).

Lacity M. C., Willcocks L. P. (2016), Robotic process automation: The next transformation lever for shared services, *Journal of Information Technology Teaching Cases*, 6(2).

Lee I. (2020), The future of artificial intelligence in finance: The regulatory perspective, *Business Horizons* 63(5).

Lessmann S., Baesens, Seow H. V., Thomas, L. C. (2015), Benchmarking state-of-the-art classification algorithms for credit scoring, *Journal of the Operational Research Society*, 66(6).

MarketsandMarkets (2025), Sztuczna inteligencja w finansach. Wielkość rynku, udział, branża, przegląd, wzrost, najnowsze trendy, TC 9214.

McCarthy J., Minsky M., Rochester N., Shannon C. (1955), A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, jmc.stanford.edu/articles/dartmouth/dartmouth.pdf.

NVIDIA (2023), State of AI in financial services: 2023 trends, Survey Report, <https://static1.squarespace.com/static/5530dddfe4b0679504639dc1/t/6489196076b32a13c478aa59/1686706532447/State+of+AI+in+Financial+Services+2023.pdf>

OECD (2021), Artificial Intelligence, machine learning and big data in finance: opportunities, challenges, and implications for policy makers, <https://www.oecd.org/finance/artificial-intelligence-machine-learningbig-data-in-finance.htm>.

PFR (2023), Mapa wybranych narzędzi AI w finansach i analizie danych, <https://www.pfrsa.pl>.

Sheng Wu (2025), The role of artificial intelligence in modern finance: Current, Proceedings of the 5th International Conference on Signal Processing and Machine Learning.

Statistica (2024), AI in Finance Market Report 2024–2030.

Turing A. M. (1950), Computing Machinery and Intelligence, *Mind*, 59(236).

Wang Y., Kung L., Byrd T. A. (2021), Big data analytics: Understanding its capabilities and potential benefits for healthcare organizations, *Technological Forecasting and Social Change*, 126.

West J., Bhattacharya M. (2016), Intelligent financial fraud detection: A comprehensive review, *Computers & Security*, 57.

World Metrics (2024), AI in Finance Statistics and Trends, <https://www.worldmetrics.org>.

Rozdział VII.

E-KSIĘGOWOŚĆ: TREND CZY OBOWIĄZEK W NOWOCZESNYM ZARZĄDZANIU FINANSAMI?

*Monika Burżacka*¹⁰

Streszczenie

Rozdział analizuje rosnącą rolę e-księgowości jako kluczowego elementu współczesnego zarządzania finansami, wskazując, że przestaje ona być jedynie trendem, a staje się koniecznością wynikającą z postępującej cyfryzacji. Omawiane są główne technologie wspierające e-księgowość – systemy ERP, chmura obliczeniowa, sztuczna inteligencja i blockchain – oraz ich wpływ na automatyzację, efektywność i zgodność z przepisami. Podniesione zostały liczne korzyści, takie jak redukcja kosztów i lepszy dostęp do danych w czasie rzeczywistym, jak i na wyzwania związane z wdrożeniem tych rozwiązań, m.in. w zakresie cyberbezpieczeństwa czy adaptacji kadry. Rozdział podkreśla, że rosnące wymagania prawne i konieczność elektronicznego raportowania wymuszają na firmach transformację cyfrową, która w dłuższej perspektywie prowadzi do poprawy konkurencyjności.

Słowa kluczowe: e-księgowość, cyfrowa transformacja, automatyzacja procesów księgowych, sztuczna inteligencja, zarządzanie finansami, regulacje prawne, bezpieczeństwo danych.

Summary

The chapter analyzes the growing role of e-accounting as a key element of modern financial management, indicating that it is no longer just a trend, but is becoming a necessity resulting from the ongoing digitalization. The main technologies supporting e-accounting are discussed - ERP systems, cloud computing, artificial intelligence and blockchain - and their impact on automation, efficiency and compliance with regulations. Numerous benefits are raised, such as cost reduction and better access to real-time data, as well as the challenges related to the implementation of these solutions, including in the field of cybersecurity or staff adaptation. The chapter emphasizes that growing legal requirements and the need for electronic reporting force companies to digitally transform, which in the long term leads to improved competitiveness.

Key words: e-accounting, digital transformation, accounting process automation, artificial intelligence, financial management, legal regulations, data security.

JEL: M15, M41, L86

¹⁰ Politechnika Warszawska, KNEiS, monika.burzacka@pw.edu.pl

Wprowadzenie

Wprowadzenie technologii cyfrowych do rachunkowości, w tym systemów ERP, chmury obliczeniowej oraz sztucznej inteligencji, stanowi istotny krok w kierunku automatyzacji i optymalizacji procesów księgowych. E-księgowość oferuje przedsiębiorstwom szereg korzyści, takich jak obniżenie kosztów operacyjnych, poprawa efektywności pracy oraz zapewnienie zgodności z obowiązującymi regulacjami prawnymi. Wraz z rozwojem nowych technologii, takich jak blockchain czy sztuczna inteligencja, przyszłość e-księgowości rysuje się w zupełnie nowych barwach, zapewniając dalszy postęp w zakresie automatyzacji i uproszczenia procesów księgowych.

Celem rozdziału jest wskazanie aktualnych trendów w prowadzeniu księgowości przedsiębiorstw. E-księgowość, stanowiąca integralny element cyfrowej transformacji, odgrywa kluczową rolę w zarządzaniu finansami współczesnych firm. Niniejszy rozdział omawia zarówno korzyści, jak i wyzwania związane z jej implementacją, koncentrując się na technologiach, regulacjach prawnych oraz ich wpływie na kondycję ekonomiczną przedsiębiorstw.

1. Istota e-księgowości

E-księgowość, jako element współczesnej rachunkowości, obejmuje wykorzystanie narzędzi cyfrowych do prowadzenia ksiąg rachunkowych oraz do tworzenia i przekazywania dokumentów finansowych, takich jak faktury, raporty czy zestawienia finansowe. Pojęcie to odnosi się do zastosowania technologii informacyjnych w celu zautomatyzowania i usprawnienia procesów księgowych. Do kluczowych aspektów e-księgowości należą: digitalizacja danych finansowych, automatyzacja działań, integracja systemów informatycznych oraz przechowywanie informacji w chmurze. Dzięki tym rozwiązaniom przedsiębiorstwa mogą zwiększyć efektywność i obniżyć koszty prowadzenia księgowości.

W kontekście cyfryzacji, widoczny jest wyraźny trend odchodzenia od tradycyjnej rachunkowości opartej na dokumentacji papierowej na rzecz danych rachunkowych w formie cyfrowej. Implementacja nowoczesnych narzędzi, takich jak systemy ERP (Enterprise Resource Planning) czy platformy e-fakturowania, pozwala na automatyzację licznych procesów – od rejestrowania transakcji po sporządzanie sprawozdań finansowych [Jie Wei i in. 2023: 292].

E-księgowość bazuje na szeregu nowoczesnych technologii, które wspierają zarządzanie danymi finansowymi. Do najważniejszych z nich należy zaliczyć [Fundacja DigitalPoland 2020: 26-50]:

- Chmurę obliczeniową – dzięki wykorzystaniu chmury, przedsiębiorstwa mogą przechowywać dane w sposób bezpieczny, dostępny w dowolnym czasie i miejscu. Chmurowe systemy księgowe eliminują potrzebę posiadania lokalnych serwerów, co obniża koszty utrzymania infrastruktury IT oraz zwiększa bezpieczeństwo.
- Oprogramowanie do automatyzacji procesów księgowych – rozbudowane systemy ERP (ang. Enterprise Resource Planning), które integrują różne funkcje przedsiębiorstwa, umożliwiając zarządzanie najważniejszymi procesami w firmie, takimi jak np. finanse, kadry i płace, produkcja, łańcuch dostaw, sprzedaż czy zakupy. Takie systemy pomagają w automatycznym generowaniu faktur, przypomnieniach o płatnościach, czy też raportach podatkowych, odczuwalnie usprawniając cały system księgowy.
- Blockchain – innowacyjna rozwijana technologia, umożliwiająca jednocześnie i niezmiennie rejestrowanie transakcji we wspólnej księdze w czasie rzeczywistym, zamiast przechowywania i kontrolowania dzienników transakcji w autonomicznych księgach rachunkowych. Blockchain może stanowić fundament dla zapewnienia autentyczności, integralności transakcji oraz zwiększa ich efektywność poprzez nieustanny monitoring w czasie rzeczywistym.
- Sztuczną inteligencję (AI) – AI odgrywa coraz większą rolę w e-księgowości, zwłaszcza w obszarze analizy danych, wykrywania nadużyć finansowych oraz automatyzacji rutynowych zadań. Na podstawie analizy danych Algorytmy AI są w stanie analizować ogromne zbiory danych finansowych, identyfikować wzorce, przewidywać przyszłe wyniki i scenariusze zdarzeń.

Fakt jest niezaprzeczalny, że żyjemy w cyfrowym świecie. Nasze życie, biznes, w tym dokumentacja szybko przechodzą z formy fizycznej na cyfrową. Nawet faktury w formacie PDF wysyłane e-mailem to już przeszłość. Zgodnie z wynikami raportu PwC [2024: 3], blisko 76% ankietowanych wskazało, że w ich organizacji jest planowane albo rozważane dokonanie inwestycji w zakresie usprawniania procesów księgowych, zakładając przy tym maksymalnie dwuletni okres na wprowadzenie planowanych usprawnień. Podane odpowiedzi pokrywają się z horyzontem czasowym wejścia w życie istotnych zmian w polskim prawie podatkowym. Widoczna jest zatem konieczność wprowadzania zmian wraz ze zmieniającymi się uregulowaniami legislacyjnymi. To już rzeczywistość.

2. Zalety e-księgowości

E-księgowość, wykorzystująca technologie informacyjne do automatyzacji i optymalizacji procesów rachunkowych, oferuje przedsiębiorstwom szereg korzyści. Poniżej przedstawione zostały główne zalety wdrożenia e-księgowości w firmach, które obejmują automatyzację procesów, obniżenie kosztów, usprawnienie kontroli finansowej oraz umożliwienie dostępu do danych w czasie rzeczywistym.

Niezaprzeczalną zaletą e-księgowości jest automatyzacja procesów księgowych. Dzięki nowoczesnym systemom księgowym, przedsiębiorstwa mogą zautomatyzować wiele rutynowych i czasochłonnych zadań, które wcześniej były wykonywane ręcznie. Dzisiejszym standardem jest, że procesy takie jak wprowadzanie danych, generowanie faktur, rozliczenia podatkowe czy przygotowywanie raportów finansowych są realizowane w dużej mierze automatycznie, co zdecydowanie redukuje czas pracy i zminimalizuje kosztowne błędy ludzkie. Ponadto, systemy księgowe zintegrowane z innymi aplikacjami finansowymi, takimi jak wspomniane w niniejszym rozdziale, systemy ERP, umożliwiają płynny przepływ danych w firmie, co przekłada się na większą efektywność. Automatyzacja usprawnia wszystkie procesy firmowe, w tym księgowe, dzięki czemu dane finansowe są przetwarzane i udostępniane szybciej, a decyzje biznesowe mogą być podejmowane na podstawie aktualnych informacji [Jie Wei i in. 2023: 299].

Poza tym, wprowadzenie e-księgowości pozwala firmom na znaczne obniżenie kosztów związanych z prowadzeniem rachunkowości [Jie Wei i in. 2023: 300].

Po trzecie automatyzacja wielu procesów księgowych ogranicza konieczność zatrudniania dużej liczby pracowników do wykonywania rutynowych zadań. W efekcie przedsiębiorstwa mogą zmniejszyć wydatki na wynagrodzenia i szkolenia personelu

Po czwarte, eliminacja papierowych dokumentów i przechowywania ich w formie fizycznej redukuje koszty związane z archiwizowaniem oraz przestrzenią biurową. Wdrożenie systemów do e-fakturowania i zarządzania dokumentami w chmurze pozwala na szybkie przetwarzanie i przechowywanie dokumentów, redukując wysokie koszty utrzymywania tradycyjnych archiwów.

Po piąte, integracja systemów księgowych z innymi narzędziami w firmie wyraźnie redukuje ryzyko błędów i potencjalnych kar za nieprawidłowości podatkowe.

W tradycyjnym modelu księgowości, audyt wymagał ręcznego przeglądania papierowych dokumentów oraz zestawiania danych z różnych źródeł, co było

czasochłonne i narażone na błędy. W przypadku e-księgowości proces ten jest znacznie prostszy i bardziej przejrzysty.

Systemy księgowe umożliwiają ściśle monitorowanie wszystkich transakcji finansowych w firmie, zapewniając pełną historię operacji i umożliwiając szybkie wykrywanie nieprawidłowości. Narzędzia do analizy danych pozwalają na automatyczne generowanie raportów kontrolnych, które pomagają w identyfikowaniu obszarów wymagających poprawy.

Jednym z najważniejszych atutów e-księgowości jest możliwość dostępu do danych finansowych w czasie rzeczywistym, ułatwiając zarządzanie płynnością finansową oraz szybkie reagowanie na zmiany rynkowe. Tradycyjne systemy księgowe często ograniczały dostęp do pełnych informacji jedynie do określonych okresów rozliczeniowych, co utrudniało podejmowanie bieżących decyzji biznesowych. E-księgowość eliminuje te ograniczenia, zapewniając natychmiastowy wgląd w aktualny stan finansów firmy. Integracja systemów księgowych z innymi narzędziami, takimi jak oprogramowanie do sprzedaży, zarządzania zapasami czy obsługi klienta, pozwala na bieżące aktualizowanie danych, co usprawnia proces decyzyjny w przedsiębiorstwie.

Z powyższego zestawienia wynika jednoznacznie, że e-księgowość oferuje liczne korzyści, obejmujące nie tylko większą efektywność i redukcję kosztów, ale także poprawę przejrzystości procesów księgowych i kontrolnych. Automatyzacja powtarzalnych zadań oraz bieżący dostęp do danych finansowych umożliwiają firmom szybsze podejmowanie decyzji i lepsze zarządzanie finansami. W efekcie e-księgowość nie jest jedynie narzędziem, lecz także istotnym elementem budowania przewagi konkurencyjnej w dynamicznie zmieniającym się środowisku biznesowym.

3. Wyzwania i ograniczenia e-księgowości

Mimo że e-księgowość przynosi liczne korzyści, wdrożenie i eksploatacja systemów cyfrowych w rachunkowości wiąże się również z wieloma wyzwaniami i ograniczeniami. W tym rozdziale omówiono najważniejsze problemy, które mogą napotkać przedsiębiorstwa przy przejściu na cyfrowe systemy księgowe. Wśród tych wyzwań znajdują się zagrożenia związane z cyberbezpieczeństwem, kwestie regulacyjne, trudności w adaptacji pracowników do nowych technologii oraz koszty związane z wdrożeniem nowoczesnych rozwiązań.

Jednym z największych wyzwań związanych z e-księgowością jest zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa danych finansowych. Przechowywanie wrażliwych informacji w systemach cyfrowych i chmurowych wiąże się z ryzykiem cyberataków, takich jak kradzież danych, ataki ransomware,

czy też nieautoryzowany dostęp do poufnych informacji. Rosnąca liczba incydentów corocznie raportowanych przez Zespół Reagowania na Incydenty Bezpieczeństwa Komputerowego [CSIRT] oraz wykorzystywane metody ataków na przedsiębiorstwa stanowią coraz większe zagrożenie dla całego rynku. Ponadto, ze względu na rosnącą liczbę cyberzagrożeń, przedsiębiorstwa muszą inwestować w zaawansowane systemy ochrony danych, takie jak szyfrowanie, fire walls, systemy detekcji włamań oraz szkolenie personelu w zakresie zasad bezpieczeństwa. Niestety, zasadniczym jednak problemem jest, że mniejsze podmioty, dysponujące ograniczonymi zasobami finansowymi mają ograniczoną możliwość stosowania skutecznych systemów chroniących przed cyberzagrożeniami.

Z jednej strony, digitalizacja pozwala na usprawnienie obiegu dokumentów, ale z drugiej strony wprowadza konieczność dostosowania systemów księgowych do regulacji prawnych. Przykładem może być konieczność zapewnienia zgodności z przepisami dotyczącymi archiwizacji dokumentów w formie elektronicznej. Firmy muszą przechowywać dokumenty w formie elektronicznej przez określoną liczbę lat, co wiąże się z odpowiednimi procedurami zabezpieczającymi oraz archiwizacyjnymi. Niezgodność z przepisami może skutkować karami finansowymi lub utratą reputacji. Dodatkowo należy wspomnieć, że przedsiębiorstwa, które wdrażają e-księgowość, muszą także przestrzegać odpowiednich standardów ochrony danych osobowych, takich jak rozporządzenie RODO w Unii Europejskiej. Niedopatrzenie w zakresie ochrony danych może prowadzić do poważnych konsekwencji prawnych i finansowych.

Jak wskazują wyniki Raportu PwC [PwC 2024: 5], kolejnym wyzwaniem w kontekście e-księgowości są dynamicznie zmieniające się przepisy prawne dotyczące prowadzenia rachunkowości oraz e-fakturowania. Zmiany regulacyjne mogą również obejmować wymogi dotyczące audytów, raportów podatkowych oraz standardów rachunkowości, co wiąże się z koniecznością częstych aktualizacji systemów księgowych. Zmiany i nowe obowiązki w prawie podatkowym wymuszają implementację nowych rozwiązań. Ponad 50% respondentów wskazała ten obszar jako wiodący czynnik wpływający na automatyzację w obszarze podatkowym. Należy jednak podkreślić, że regulacje podatkowe mające na celu uszczelnianie systemu podatkowego poprzez cyfryzację rachunkowości mogą być skomplikowane i trudne do ścisłego przestrzegania dla wielu podmiotów gospodarczych. Ponadto, międzynarodowe przepisy dotyczące e-księgowości różnią się w zależności od kraju, co może stanowić problem dla firm działających na rynkach zagranicznych i prowadzących działalność międzynarodową.

Wdrażanie e-księgowości wiąże się z koniecznością przeszkolenia pracowników oraz adaptacji do nowych systemów. Choć nowoczesne narzędzia księgowe oferują intuicyjne interfejsy, wprowadzenie złożonych technologii może spotkać się z oporem ze strony pracowników, którzy są przyzwyczajeni do tradycyjnych, papierowych metod pracy. Pracownicy muszą nauczyć się korzystania z nowych platform, rozumienia zasad integracji systemów oraz przestrzegania procedur bezpieczeństwa. Liczba zmian w prawie podatkowym determinuje rosnące koszty szkoleń i czasu pracy specjalistów – co przekłada się na rosnące stawki biur księgowych, a co za tym idzie – i wynagrodzeń ich pracowników.

Z kolei firmy, które wdrażają e-księgowość, mogą napotkać trudności w zatrudnieniu specjalistów z odpowiednimi kompetencjami w zakresie nowoczesnych technologii. W przypadku małych i średnich przedsiębiorstw, brak specjalistów w dziedzinie IT może stanowić poważny problem, ponieważ skuteczne wdrożenie i utrzymanie systemów księgowych wymaga znajomości nie tylko samych narzędzi księgowych, ale także technologii IT.

Choć digitalizacja działów księgowych może przynieść długoterminowe oszczędności, początkowy koszt wdrożenia nowoczesnych systemów księgowych może stanowić barierę dla wielu przedsiębiorstw, zwłaszcza małych i średnich [PwC 2024: 9] (zob. Tab. 1).

Tabela 1. Koszt wdrożenia automatyzacji procesów księgowych w firmie

Powyżej 1 000 000 PLN	5.0%
Od 500 000 PLN do 1 000 000 PLN	52,5%
Od 100 000 PLN do 500 000 PLN	15.3%
Od 50 000 PLN do 100 000 PLN	15.3%
Poniżej 50 000 PLN	5.0%
Nie wiem	52,5%

Źródło: PwC [2024: 5].

Jak wynika z powyższej tabeli, niestety ponad połowa ankietowanych nie potrafi oszacować kosztu wdrożenia projektów z zakresu automatyzacji podatkowej. Wdrożenie systemów ERP, platform do e-fakturowania, czy rozwiązań chmurowych wiąże się z koniecznością inwestycji w odpowiednie oprogramowanie, infrastrukturę IT oraz szkolenie personelu. Dodatkowo, firmy muszą liczyć się z kosztami bieżącego utrzymania systemów, takimi jak opłaty za licencje, serwis, aktualizacje oprogramowania, a także zapewnienie odpowiedniego wsparcia technicznego. Z tego powodu, wiele firm, zwłaszcza małych, obawia się początkowych kosztów związanych z implementacją nowych

systemów. Konieczność wydatków na technologie i infrastrukturę, a także potencjalne ryzyko związane z wdrożeniem nowych rozwiązań, mogą zniechęcić przedsiębiorców do szybszego przejścia na e-księgowość.

Podsumowując, wdrożenie e-księgowości wiąże się z szeregiem wyzwań, które mogą ograniczać jej pełne wykorzystanie przez przedsiębiorstwa. Kluczowe bariery to zagrożenia związane z cyberbezpieczeństwem, dynamiczne zmiany w przepisach, trudności w przystosowaniu pracowników do nowych technologii oraz wysokie koszty początkowe wdrożenia nowoczesnych systemów księgowych. Jednak dzięki odpowiedniemu przygotowaniu, inwestycjom w szkolenia personelu oraz skutecznym zabezpieczeniom danych możliwe jest przewyższenie tych trudności. W dłuższej perspektywie korzyści wynikające z e-księgowości mogą przewyższyć początkowe wyzwania, wspierając rozwój i efektywność przedsiębiorstwa.

4. Krajowe i międzynarodowe regulacje prawne dotyczące e-księgowości

Rozwój e-księgowości wiąże się z koniecznością przestrzegania odpowiednich regulacji prawnych, które zapewniają zgodność z obowiązującymi przepisami dotyczącymi rachunkowości, ochrony danych oraz e-fakturowania. Wdrażanie cyfrowych narzędzi księgowych w przedsiębiorstwach wymaga ścisłego przestrzegania norm prawnych, które różnią się w zależności od kraju, a także od skali działalności firmy. ujednolicenie wymogów dotyczących przechowywania i obiegu dokumentów elektronicznych. Faktury muszą być wystawiane w formie elektronicznej, co wymaga od firm dostosowania swoich systemów księgowych do nowych wymagań.

Innym ważnym aktem prawnym jest ogólne rozporządzenie o ochronie danych osobowych (RODO), które wprowadza wymogi dotyczące ochrony danych osobowych. W kontekście e-księgowości, oznacza to, że przedsiębiorstwa muszą zapewnić odpowiednie zabezpieczenia dla danych osobowych zawartych w dokumentach księgowych, takich jak dane pracowników czy kontrahentów. Ponadto, zgodnie z przepisami RODO, firmy muszą zapewnić możliwość dostępu do danych dla uprawnionych osób oraz ich prawidłowe archiwizowanie przez określony czas.

Międzynarodowe standardy rachunkowości, takie jak International Financial Reporting Standards (IFRS), również mają wpływ na e-księgowość. Chociaż IFRS koncentruje się głównie na sprawozdawczości finansowej i zasadach ujmowania transakcji, to w kontekście cyfryzacji rachunkowości mogą wpływać na sposób, w jaki przedsiębiorstwa przechowują i przetwarzają dane finansowe. Zgodność z międzynarodowymi standardami jest istotna, szczególnie dla firm

działających na rynkach globalnych, które muszą dostosować swoje systemy księgowe do wymogów obowiązujących w różnych krajach.

Z punktu widzenia regulacji krajowych, relatywnie nowym rozwiązaniem jest Krajowy system e-Faktur (KSeF), to ogólnopolski system informatyczny umożliwiający wystawianie, odbieranie i przechowywanie faktur elektronicznych w ustrukturyzowanej formie stanie się obowiązkowy dla wszystkich przedsiębiorców dopiero od 2026 roku. KSeF będzie obowiązkowy: od 1 lutego 2026 roku dla podmiotów dużych (którzy w poprzednim roku przekroczyli 200 mln złotych obrotów), od 1 kwietnia 2026 roku dla wszystkich podmiotów [mf.gov.pl]. Po wprowadzeniu obowiązku e-fakturowania, faktura wystawiona w KSeF będzie jedyną dopuszczalną formą faktury. Po wprowadzeniu tego rozwiązania, na dobre pożegnamy się z fakturami w wersji papierowej. Przedsiębiorcy muszą dostosować swoje systemy księgowe do wymogów określonych przez Ministerstwo Finansów. Obejmuje to m.in. integrację z centralnym systemem KAS, który umożliwia automatyczne przysyłanie faktur do administracji skarbowej w czasie rzeczywistym. W przypadku nieprzestrzegania wymogów dotyczących e-fakturowania, przedsiębiorcy mogą zostać ukarani grzywnami lub innymi sankcjami administracyjnymi [mf.gov.pl].

Oprócz obowiązkowego e-fakturowania, przedsiębiorcy muszą również przestrzegać przepisów dotyczących archiwizacji faktur w formie elektronicznej. Zgodnie z ustawą o rachunkowości, przedsiębiorstwa są zobowiązane do przechowywania dokumentów księgowych przez okres 5 lat, licząc od końca roku kalendarzowego, w którym dokonano transakcji. W przypadku e-księgowości, dokumenty muszą być przechowywane w formie elektronicznej w sposób zapewniający ich integralność i dostępność przez cały wymagany okres [Fundacja DigitalPoland 2020].

Podsumowując, regulacje prawne dotyczące e-księgowości są kluczowe dla zapewnienia zgodności przedsiębiorstw z przepisami dotyczącymi podatków, ochrony danych oraz przechowywania dokumentów elektronicznych. Przedsiębiorstwa muszą dostosować swoje systemy księgowe do krajowych i międzynarodowych wymogów, takich jak e-fakturowanie, przechowywanie dokumentów oraz zapewnienie ochrony danych osobowych.

W Polsce, podobnie jak w innych krajach Unii Europejskiej, instytucje regulacyjne odgrywają istotną rolę w kontrolowaniu przestrzegania przepisów dotyczących e-księgowości. Kluczowym organem nadzorującym funkcjonowanie systemów księgowych w Polsce jest Krajowa Administracja Skarbowa (KAS), której zadaniem jest zapewnienie zgodności z regulacjami podatkowymi oraz zasadami e-fakturowania. KAS nadzoruje wdrażanie systemu

e-faktur, wspiera przedsiębiorców w zakresie jego obsługi oraz prowadzi kontrole mające na celu zapobieganie oszustwom podatkowym.

Na poziomie unijnym istotną funkcję pełni Europejski Urząd ds. Zwalczenia Nadużyć Finansowych (OLAF), który monitoruje przestrzeganie unijnych regulacji związanych z przeciwdziałaniem oszustwom podatkowym i nieprawidłowościom finansowym. OLAF współpracuje z krajowymi organami nadzoru, dbając o zgodność z unijnymi dyrektywami dotyczącymi e-księgowości i e-fakturowania. W przypadku wykrycia naruszeń podejmuje działania na szczeblu europejskim, mające na celu eliminowanie nadużyć podatkowych i finansowych.

5. Wpływ e-księgowości na kondycję ekonomiczną przedsiębiorstw

Wprowadzenie systemów e-księgowości stanowi istotny element transformacji cyfrowej przedsiębiorstw, wpływając na ich kondycję ekonomiczną, efektywność operacyjną oraz zdolność do podejmowania szybszych i lepszych decyzji finansowych. Zastosowanie nowoczesnych technologii w księgowości przekłada się na poprawę wyników finansowych firm, zarówno w kontekście dużych przedsiębiorstw, jak i małych i średnich firm (MŚP).

Wprowadzenie e-księgowości do przedsiębiorstwa przynosi liczne korzyści finansowe, zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie. Jednym z głównych atutów jest poprawa efektywności procesów księgowych, co skutkuje zmniejszeniem kosztów operacyjnych. Dzięki automatyzacji wielu czynności, takich jak wystawianie faktur, księgowanie transakcji czy generowanie raportów, przedsiębiorstwa mogą zaoszczędzić czas i zasoby ludzkie, które wcześniej były przeznaczone na manualne wprowadzanie danych i weryfikację dokumentów.

Według raportu PARP „Raport o stanie sektora MSP 2024” [PARP 2024], przychody przedsiębiorstw wzrosły o 77,8%, a koszty o 71,7% w porównaniu z poprzednim rokiem. Wzrost kosztów na jedno przedsiębiorstwo wyniósł średnio 15,6%. Choć raport nie odnosi się bezpośrednio do e-księgowości, wskazuje na ogólny trend wzrostu kosztów w przedsiębiorstwach, co podkreśla znaczenie optymalizacji procesów, takich jak księgowość, w celu poprawy rentowności.

Poza tym, wdrożenie Krajowego Systemu e-Faktur (KSeF) ma na celu usprawnienie procesów fakturowania i raportowania. Od 1 kwietnia 2026 roku e-fakturowanie stanie się obowiązkowe dla przedsiębiorców w Polsce, co wymusi na firmach dostosowanie swoich systemów księgowych do nowych wymogów. Choć wdrożenie KSeF wiąże się z pewnymi kosztami początkowymi, oczekuje się, że w dłuższej perspektywie przyniesie ono oszczędności poprzez

zmniejszenie kosztów obsługi faktur oraz minimalizację błędów w raportach i deklaracjach, co z kolei zmniejsza ryzyko sankcji finansowych.

Przykład dużych firm pokazuje, że wdrożenie kompleksowych systemów ERP (Enterprise Resource Planning), które obejmują moduły e-księgowe, umożliwia integrację różnych obszarów działalności przedsiębiorstwa. Takie rozwiązania pozwalają na zarządzanie finansami w sposób bardziej spójny, a także na lepszą kontrolę nad przepływem gotówki, inwestycjami czy zadłużeniem. W przypadku dużych firm, e-księgowość przyczynia się do poprawy zarządzania ryzykiem finansowym, umożliwiając dokładniejsze prognozowanie przepływów finansowych oraz bardziej efektywne planowanie budżetów.

E-księgowość ma także istotny wpływ na procesy zarządzania strategicznego w przedsiębiorstwach. Dzięki automatyzacji wielu procesów finansowych oraz szybszemu dostępowi do danych, kierownictwo firm może podejmować decyzje oparte na dokładniejszych i bardziej aktualnych informacjach. Systemy e-księgowe umożliwiają bieżące monitorowanie wyników finansowych, co pozwala na szybsze identyfikowanie problemów, takich jak przekroczenie budżetu, zmniejszenie rentowności czy nieefektywne zarządzanie zasobami. Tego typu informacje są nieocenione w podejmowaniu decyzji strategicznych, takich jak planowanie nowych inwestycji, restrukturyzacja firmy czy zmiany w polityce cenowej.

E-księgowość wspiera również zarządzanie ryzykiem poprzez umożliwienie lepszej analizy scenariuszy finansowych. Firmy mogą łatwiej prognozować przyszłe wyniki finansowe, a także analizować potencjalne skutki wprowadzenia nowych produktów lub zmian w strukturze kosztów. Przedsiębiorstwa, które wdrożyły e-księgowość, raportują także większą transparentność swoich operacji finansowych, co może wpływać na poprawę ich reputacji w oczach inwestorów, partnerów biznesowych oraz instytucji finansowych. Transparentność ta jest szczególnie ważna w kontekście pozyskiwania funduszy zewnętrznych lub współpracy z międzynarodowymi partnerami.

Z całą pewnością, wpływ e-księgowości na kondycję ekonomiczną przedsiębiorstw jest nie tylko znaczący ale i wieloaspektowy. Automatyzacja procesów księgowych, obniżenie kosztów administracyjnych, poprawa kontroli finansowej i audytu oraz bieżący dostęp do danych w czasie rzeczywistym są kluczowe dla poprawy efektywności operacyjnej firm. E-księgowość umożliwia przedsiębiorstwom podejmowanie lepszych decyzji strategicznych, zarządzanie ryzykiem oraz poprawę transparentności, co w konsekwencji przyczynia się do wzrostu rentowności i stabilności finansowej. Wdrożenie e-księgowości staje się zatem nie tylko kwestią innowacji technologicznych, ale także niezbędnym narzędziem do utrzymania konkurencyjności na współczesnym rynku.

6. E-księgowość – kierunek rozwoju

Rozwój technologii oraz wzrastające znaczenie cyfryzacji w zarządzaniu przedsiębiorstwami wskazują na to, że e-księgowość nie jest tylko chwilowym trendem, ale kluczowym elementem nowoczesnego zarządzania finansami. Z perspektywy przyszłości, możemy spodziewać się dalszego wzrostu wykorzystania nowych technologii, takich jak sztuczna inteligencja (AI), automatyzacja procesów oraz blockchain, które zrewolucjonizują sposób prowadzenia księgowości.

Sztuczna inteligencja (AI) odgrywa coraz większą rolę w e-księgowości, stając się istotnym narzędziem wspierającym automatyzację procesów księgowych. Jednym z jej głównych zastosowań jest analiza dokumentów finansowych oraz automatyczne generowanie wpisów księgowych na ich podstawie. AI umożliwia również szybkie rozpoznawanie i klasyfikowanie transakcji finansowych, co znacząco usprawnia cały proces księgowy. W 2024 r. aż 94,1% przedsiębiorstw nie korzystało ze sztucznej inteligencji, natomiast odsetek przedsiębiorstw niewykorzystujących tego typu rozwiązań, ale rozważających ich wykorzystanie wyniósł 3,2%. Spośród powodów, dla których przedsiębiorstwa nie korzystają z technologii AI na pierwszym miejscu wymienia się brak zasobów ludzkich i wiedzy o wykorzystaniu AI (1,9%), następnie – zbyt wysokie koszty wdrożenia technologii AI (1,7%), najrzadziej wymienianym powodem są wątpliwości etyczne (0,9%) [GUS 2024: 100].

Przykładem wykorzystania sztucznej inteligencji w księgowości są tzw. „inteligentne roboty księgowe”, które wykonują powtarzalne zadania, takie jak weryfikacja dokumentów, tworzenie raportów oraz analiza danych. Automatyzacja tych procesów nie tylko poprawia efektywność, ale także redukuje ryzyko błędów ludzkich i nadużyć, zapewniając większą precyzję w zarządzaniu finansami.

Najczęściej spotykanym sposobem nabycia technologii sztucznej inteligencji przez przedsiębiorstwa był zakup komercyjnego rozwiązania, gotowego do użycia (3,8%). Najmniej podmiotów korzystało z technologii AI opracowanych przez podmioty zewnętrzne (1,7%). Przedsiębiorstwa prowadzące działalność związaną z informacją i komunikacją charakteryzowały się największymi wartościami wskaźników w każdej z badanych kategorii sposobów nabycia technologii AI. Podmioty te najczęściej wchodziły w ich posiadanie poprzez zakup technologii komercyjnych, gotowych do użycia (19,7%).

Dodatkowo, rozwój sztucznej inteligencji umożliwia zaawansowaną analitykę danych, co wspiera prognozowanie przepływów finansowych, zarządzanie ryzykiem oraz planowanie budżetowe. Dzięki analizie dużych zbiorów danych AI może identyfikować wzorce i zależności, które mogłyby

pozostać niezauważone przez człowieka, co prowadzi do lepszych decyzji strategicznych w firmach.

Z kolei technologia blockchain, będąca rozproszoną bazą danych, zyskuje coraz większą popularność w różnych sektorach, w tym w księgowości, gdzie jej potencjał jest niezwykle obiecujący. Dzięki pełnej transparentności transakcji finansowych blockchain może znacząco zmienić sposób przechowywania i przetwarzania danych księgowych. Jego zastosowanie w e-księgowości umożliwia tworzenie bezpiecznych, niezmiennych zapisów wszystkich operacji, które są weryfikowane przez zdecentralizowaną sieć komputerów.

Jednym z kluczowych zastosowań blockchain w księgowości są tzw. „inteligentne kontrakty” (smart contracts), które automatycznie wykonują zapisy księgowe po spełnieniu określonych warunków umowy. Przykładowo, system e-księgowy może samodzielnie wygenerować fakturę lub dokonać płatności w momencie realizacji ustalonych zobowiązań. Takie rozwiązanie ogranicza konieczność manualnego wprowadzania danych, minimalizuje ryzyko błędów i przyspiesza cały proces księgowy. Według raportu PwC [2024], aż 60% instytucji finansowych w Europie planuje wdrożenie technologii blockchain w ciągu najbliższych pięciu lat, co świadczy o rosnącym zainteresowaniu tym rozwiązaniem w obszarze rachunkowości. W perspektywie długoterminowej blockchain może stać się integralnym elementem systemów e-księgowych, zwiększając bezpieczeństwo i przejrzystość danych finansowych, co jest szczególnie istotne w kontekście zaostrzających się regulacji prawnych.

Z kolei, zgodnie z raportem „Future of Finance” opublikowanym przez EY [2024], w przyszłości księgowość będzie w pełni zautomatyzowana, a większość procesów będzie odbywać się w czasie rzeczywistym. Firmy będą korzystać z chmurowych systemów księgowych, które umożliwią łatwy dostęp do danych finansowych z każdego miejsca na świecie. Chmurowe rozwiązania e-księgowe zapewnią także większą skalowalność, co pozwoli firmom na dostosowanie systemów do ich specyficznych potrzeb, niezależnie od ich rozmiaru czy branży.

Choć przyszłość e-księgowości rysuje się w jasnych barwach, to jednak przedsiębiorstwa będą musiały stawić czoła kilku wyzwaniom związanym z implementacją nowych technologii. Wdrożenie sztucznej inteligencji czy blockchainu wiąże się z koniecznością przeszkolenia pracowników oraz dostosowania infrastruktury IT do nowych wymogów. Ponadto, kwestia bezpieczeństwa danych będzie nadal kluczowa, ponieważ cyfryzacja procesów finansowych zwiększa ryzyko cyberataków i naruszeń prywatności.

Wnioski

E-księgowość odgrywa kluczową rolę w księgowości, oferując przedsiębiorstwom automatyzację procesów, redukcję kosztów, usprawnienia audytu oraz lepszą dostępność danych w czasie rzeczywistym. Przedsiębiorstwa, które zdecydują się na wdrożenie e-księgowości, zyskają przewagę konkurencyjną, poprawiając efektywność i bezpieczeństwo operacji finansowych. Przykłady wdrożeń w różnych typach firm pokazują, że adaptacja nowych technologii jest kluczowa dla osiągnięcia sukcesu w dynamicznie zmieniającym się środowisku biznesowym. Pomimo licznych korzyści, wdrożenie tego rozwiązania wiąże się z wyzwaniem, takimi jak cyberbezpieczeństwo, oraz początkowe koszty implementacji i konieczność adaptacji pracowników. Przedsiębiorstwa mają coraz mniej do powiedzenia w tym zakresie, chociażby na skutek rosnących wymagań w zakresie regulacji podatkowych, konieczności elektronicznej komunikacji i raportowania do urzędów kontroli skarbowej.

Podsumowując, dalszy szybki rozwój AI, automatyzacji oraz technologii blockchain jest obecnie procesem nie do zatrzymania, prowadząc do dalszej optymalizacji procesów księgowych, poprawy efektywności oraz przejrzystości operacji finansowych. Nowoczesne systemy księgowe będą wykorzystywać zaawansowaną analitykę danych oraz technologie, takie jak chmura obliczeniowa, co umożliwi lepszą integrację procesów finansowych i dostarczanie precyzyjniejszych prognoz finansowych dla firm. Wręcz zrewolucjonizuje e-księgowość. Firmy, które zdecydują się na ich wdrożenie, zyskają przewagę konkurencyjną w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu biznesowym. W przyszłości, wraz z cyfryzacją pojawią się także wyższe wymagania dotyczące bezpieczeństwa danych, co będzie wymagało ciągłego doskonalenia zabezpieczeń systemów e-księgowych i będzie stwarzało nowe obszary ryzyka.

Bibliografia

CSIRT GOV (2023), Raport o stanie bezpieczeństwa cyberprzestrzeni, <https://csirt.gov.pl/cer/publikacje/raporty-o-stanie-bezpi/980,Raport-o-stanie-bezpieczenstwa-cyberprzestrzeni-RP-w-2023-roku.html>.

Deloitte (2024), The future of finance: Digital transformation trends, Deloitte Insights.

E.Y. (2024), Transformacja cyfrowa, https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/pl_pl/noindex/2024/ey-transformacja-cyfrowa-2024.pdf

Fundacja DiditalPoland (2020), Cyfrowe fakturowanie w Polsce. Praktyczny i krótki przewodnik dla MŚP, <https://digitalpoland.org/assets/publications/cyfrowe-fakturowanie/cyfrowe-fakturowanie-praktyczny-i-krotki-przewodnik-dla-msp.pdf>

GUS (2024), Społeczństwo informacyjne w Polsce w 2024 r., <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleczenstwo-informacyjne/spoleczenstwo-informacyjne/spoleczenstwo-informacyjne-w-polsce-w-2024-roku,1,18.html>

JieWei W., JianQiang C., Li L., et al. (2023), The impact of digital transformation on financial reporting and analysis in the accounting industry. *International Journal of Accounting, Finance and Business (IJAFB)*, 8(50).

Ministerstwo Finansów, mf.gov.pl

PARP (2024), Raport o stanie sektora małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce, https://popw.parp.gov.pl/storage/publications/pdf/ROSS_2024.pdf

PwC (2024), Rozwój podatków w erze cyfryzacji. Badanie polskich firm: Podatki Przyszłości i technologie, PwC Report.

Rozdział VIII.

ZMIENNOŚĆ NOTOWAŃ GIEŁDOWYCH SPÓŁEK TECHNOLOGICZNYCH W PAŃSTWACH Z GRUPY G8 ORAZ POLSKI W LATACH 2021-2025

*Emil Zelma*¹¹

Streszczenie

W latach 2021-2025 globalna gospodarka doświadczała istotnych zmian, wśród których szczególne miejsce zajmuje dynamiczny rozwój nowoczesnych technologii oraz związane z nim przeobrażenia strukturalne. Zmienność rynków finansowych mogła w związku z tym wyraźnie odzwierciedlać te procesy. Zdaniem autora, analizie powinny zostać poddane notowania giełdowe w państwach G8 (państwa uznawane za najbardziej rozwinięte) oraz w Polsce. Badanie obejmuje zarówno ogólne indeksy giełdowe, jak i wyodrębnione indeksy spółek technologicznych.

Słowa kluczowe: spółki technologiczne, giełda, rynek papierów wartościowych.

Summary

Global economy experienced significant changes from 2021 to 2025, among which the dynamic development of modern technologies and the related structural transformations occupy a special place. The volatility of financial markets could therefore clearly reflect these processes. According to the author, stock exchange quotations in the G8 countries (countries considered the most developed) and in Poland should be analyzed. The study includes both general stock exchange indices and separate indices of technology companies.

Key words: technology companies, stock exchange, stock market.

JEL: H54, R53, O30

¹¹ Politechnika Warszawska, KNEiS, emil.zelma@pw.edu.pl

Wprowadzenie

Giełda papierów wartościowych to jedno z kluczowych miejsc dla współczesnej gospodarki – przestrzeń, w której spotykają się osoby i instytucje gotowe do zawierania transakcji finansowych na jasno określonych zasadach [Dobosiewicz 2013: 39]. Choć funkcjonowanie tego systemu odbywa się według ściśle ustalonych norm i przepisów, to właśnie giełda stanowi dynamiczne tło dla gry podaży i popytu [Puls Biznesu 2019: 16]. W tym uporządkowanym środowisku kształtują się bowiem ceny:

- akcji,
- obligacji,
- innych instrumentów finansowych (w tym np. opcji czy kontraktów terminowych).

To dzięki tej przejrzystości rynek może funkcjonować w sposób przewidywalny i racjonalny, a inwestorzy mają podstawy do podejmowania decyzji.

Nie sposób przecenić roli giełdy jako barometru gospodarki – jej notowania w pewnym stopniu odzwierciedlają kondycję finansową przedsiębiorstw, nastroje inwestorów oraz oczekiwania co do przyszłości rynku [Blicharz, Oręziak i Wielec 2021: 13-14]. Choć nie jest ona idealnym odzwierciedleniem rzeczywistości, a immanentnym jej elementem pozostają nieracjonalne zachowania inwestorów, to potrafi uchwycić ogólne trendy i zmiany zachodzące na rynku.

Giełda łączy w sobie zarówno realne dane ekonomiczne, jak i emocje inwestorów. To właśnie tam, na podstawie ogólnodostępnych informacji, codziennie zawierane są tysiące transakcji, które w skali globalnej mają wpływ na finanse państw, firm i zwykłych obywateli [Marciniak 1995: 100].

System finansowy jest istotnym filarem funkcjonowania nowoczesnej gospodarki [Weron, Weron 2018: 49]. To, jak dobrze jest on zorganizowany oraz jak sprawnie działają jego mechanizmy, ma znaczący wpływ na przebieg oraz efektywność procesów ekonomicznych w kraju [Blicharz, Oręziak i Wielec 2021: 13-14].

Rynek finansowy stanowi istotny element nowoczesnej gospodarki, pełniąc rolę mechanizmu alokacji kapitału oraz wskaźnika kondycji gospodarczej. Podobnie jak inne segmenty rynkowe, charakteryzuje się on dynamiką, która wynika z nieustannie zmieniającego się, często turbulentnego otoczenia zewnętrznego. Wahania te objawiają się zwłaszcza na giełdach, gdzie notowania spółek reagują na czynniki zarówno ekonomiczne, jak i polityczne, technologiczne oraz społeczne. Dynamika tych zmian różni się w zależności od kraju, co może być rezultatem odmiennych uwarunkowań makroekonomicznych,

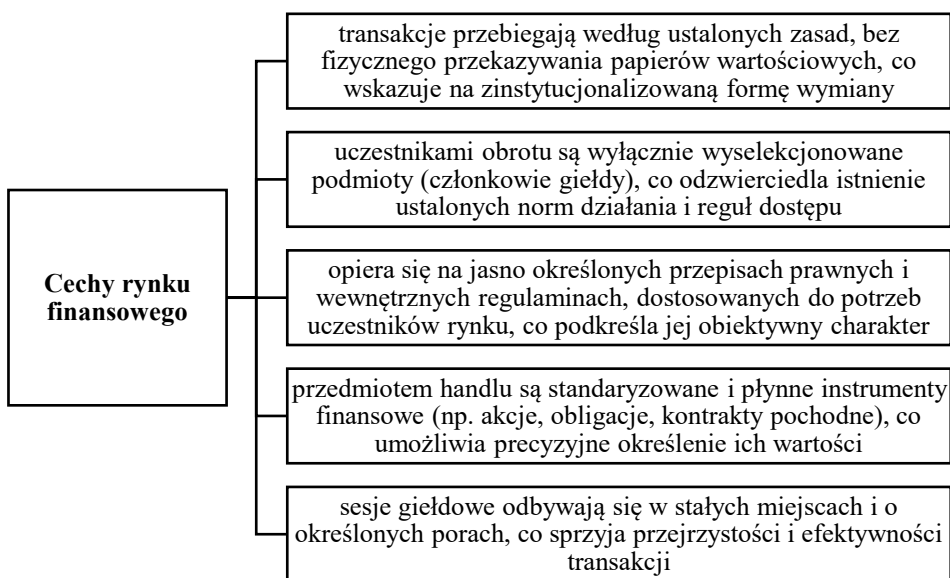
regulacyjnych oraz strukturalnych rynków kapitałowych. Celem niniejszego rozdziału jest porównanie zmienności notowań giełdowych spółek technologicznych w państwach grupy G8 oraz w Polsce w latach 2021-2025, co pozwoli na identyfikację specyfiki oraz różnic tych rynków w kontekście globalnych trendów i lokalnych uwarunkowań.

1. Znaczenie giełdy w nowoczesnej gospodarce

Jednym z zadań, jakie pełni w ujęciu makroekonomicznym rynek finansowy, jest kierowanie przepływem kapitału do tych sektorów gospodarki, w których – zdaniem dysponentów kapitału – zasoby te można wykorzystać w sposób optymalny, tzn. najbardziej efektywny [Wrzesiński 2010: 293-294]. Tak rozumiany zinstytucjonalizowany rynek finansowy, jakim jest giełda, z jednej strony umożliwia mobilizację kapitału, z drugiej zaś pełni rolę miernika kondycji gospodarki, wskazując jej aktualny stan oraz potencjalne kierunki rozwoju [Nieborak 2021: 161-162].

Na Rysunku 1 zostały przedstawione cechy charakterystyczne rynku finansowego jako instytucji, dzięki którym można ona spełniać te funkcje.

Rysunek 1. Funkcje spełniane przez nowoczesny rynek finansowy



Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Niedźwiecki 2010: 228].

Praktyka pokazuje, że zarówno państwa rozwinięte, jak i gospodarki rozwijające się posiadają własne rynki finansowe. W każdym z tych krajów giełdy pełnią kluczową rolę w procesie, jakim jest pozyskiwanie kapitału oraz wspieranie rozwoju gospodarczego. Choć rynki finansowe poszczególnych

krajów różnią się między sobą pod względem skali czy struktury sektorowej, to mają one tą wspólną cechę, że stanowią ważny element krajowego systemu finansowego [Ratajczak 2017: 5-7].

Analiza wyników wyszukiwania w bazie OpenAlex wskazuje, że problematyka zmienności giełdowej jest szeroko reprezentowana w literaturze przedmiotu. Odnotowano 9857 publikacji poświęconych temu zagadnieniu, co potwierdza znaczną skalę zainteresowania badaczy. Zakres tematyczny obejmuje m.in. dynamikę rynków i zmienność (niema 2 tysiące odnotowanych publikacji), funkcjonowanie rynków finansowych i strategii inwestycyjnych, modelowanie ryzyka finansowego i zmienności, metody prognozowania rynku akcji itp. Rozkład publikacji w ujęciu czasowym wskazuje na systematyczny wzrost liczby badań w szczególności w kilku ostatnich latach [OpenAlex.pl].

W Tabeli 1 przedstawiono wybrane badania dotyczące zmienności rynków finansowych.

Tabela 1. Wybrane badania dotyczące zmienności rynków finansowych

Autor	Charakterystyka badań
M.M. Orabi, T.A. Alqurran	Badanie wpływu zmienności na giełdę papierów wartościowych; analiza relacji między wahaniami cen a zwrotami; wskazanie na wzrost niepewności inwestorów przy zwiększonej zmienności; skutki fluktuacji cen akcji; znaczenie dla rynków rozwijających się i wrażliwość nastrojów inwestorów.
A. Rjumohan	Podkreślenie roli rynków akcji w alokacji kapitału; różnice w funkcjonowaniu rynków ze względu na cechy strukturalne i zarządzanie; ewolucja od nieformalnych praktyk do formalnych giełd; wpływ postępu technologicznego na handel elektroniczny i dostęp inwestorów indywidualnych.
M. Safiq, E. Yulianti	Wpływ wskaźników wypłaty dywidendy na zmienność cen akcji; potwierdzenie korelacji między wyższymi dywidendami a niższą zmiennością; sygnał stabilności finansowej dla inwestorów.
R.K. Kariuki	Analiza wpływu czynników zewnętrznych, w tym np. takich jak ceny ropy, wydatki rządowe i kursy walut, na zmienność zwrotów z giełdy.
I.R Ganie, M.P. Wani, T.A. Yadav	Badanie wpływu pandemii COVID-19 na rynki akcji w wybranych gospodarkach; wskazanie na wzrost zmienności i zmiany w zachowaniach inwestorów.

Źródło: [Orabi, Alqurran 2015:133-135; Rjumohan 2019:15-19; Safiq, Yulianti 2023:3-8; Ganie, Wani, Yadav 2022; Kariuki 2022:36-40].

W ramach niniejszej pracy badaniu zostały poddane rynki finansowe państw należących do grupy G8 skupiającej kraje uznawane za najbardziej wpływowe na świecie. Są to następujące państwa: Stany Zjednoczone, Wielka Brytania, Niemcy, Francja, Włochy, Kanada, Japonia oraz Rosja (członkostwo tej ostatniej

zostało zawieszone). Wybór właśnie tych państw nie został dokonany bez powodu z uwagi na fakt, że gospodarki państw członkowskich G8 odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu globalnych trendów ekonomicznych, polityki monetarnej oraz stabilności finansowej. Decyzje podejmowane w tych krajach mają bezpośredni wpływ na światowe rynki, dlatego ich dogłębna analiza pozwala lepiej zrozumieć mechanizmy kierujące globalną gospodarką. Ponadto, w badaniu uwzględniono również polski rynek finansowy.

W Tabeli 2 przedstawiono indeksy wyżej wymienionych państw – są to indeksy ogólne oraz takie, które skupiają spółki zajmujące się nowoczesnymi technologiami (rozumie się przez to m.in. rozwiązania oparte na sztucznej inteligencji, ale także media społecznościowe, usługi chmurowe itp.).

Tabela 2. Państwa należące do G8 wraz z informacjami na temat indeksów giełdowych

Państwo	Główny indeks giełdowy	Indeks spółek technologicznych
Polska	WIG	WIGtech
USA	NYSE	Nasdaq-100
Kanada	S&P/TSX Composite	S&P/TSX Capped Information Tech
Wielka Brytania	FTSE All-Share Index	FTSE TechMARK Focus
Francja	CAC All-Tradable	CAC Technology
Niemcy	DAX	TecDAX
Włochy	FTSE MIB	FTSE Italia Technology
Japonia	TOPIX	Nikkei 225
Rosja	MOEX Russia Index	MOEX Innovation Index (RTS-Tec)

Źródło: opracowanie własne na podstawie stron internetowych: investing.com (dostęp: 04.05.2025) oraz mfiles.pl (dostęp: 04.05.2025).

Autor nie bez powodu zdecydował się na zbadanie zmienności indeksów spółek technologicznych. W latach 2021–2025 szeroko pojęta branża technologiczna była bowiem kształtowana przez kilka procesów, o których można powiedzieć, że mają przełomowe znaczenie. Można zaliczyć do nich m.in. dynamiczny rozwój sztucznej inteligencji, zwłaszcza generatywnej AI, która umożliwia automatyzację procesów. Wpływ na branżę technologiczną wywarła również pandemia COVID-19, dzięki której przyspieszeniu uległ proces transformacji cyfrowej przedsiębiorstw. Oprócz tego można również zwrócić uwagę na postępy w technologii 5G, rozwój VR/AR czy rozpowszechnienie

koncepcji autonomicznych pojazdów. Wszystkie te rozwiązania przyczyniły się gwałtownego rozwoju przedsiębiorstw zajmujących się nowoczesnymi technologiami [Elliott 2019: 13; Schwab 2016; McKinsey Global Institute 2019: 35].

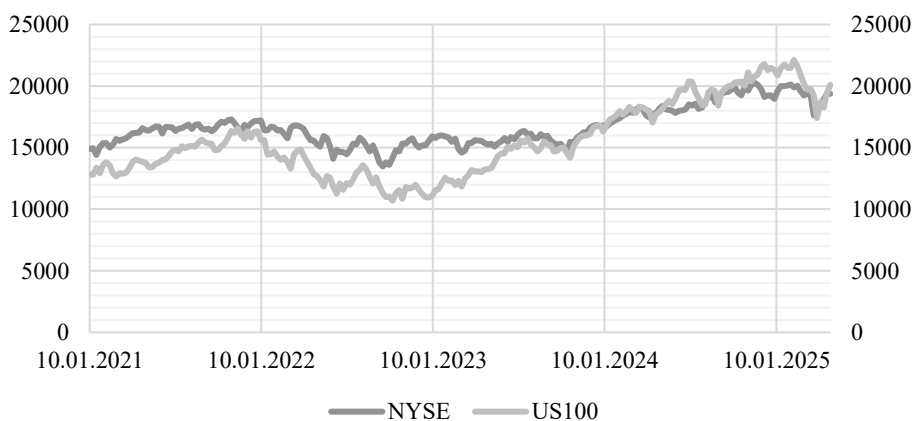
2. Zmienność notowań giełdowych spółek technologicznych w państwach z grupy G8 oraz w Polsce w latach 2021-2025 - porównanie

Poniżej przedstawiono wybrane miary statystyki opisowej dla państw z grupy G8 oraz Polski, a konkretnie: wariancję, odchylenie standardowe, minimalną oraz maksymalną dzienną zmianę wartości indeksu giełdowego oraz różnicę pomiędzy tymi wartościami (amplitudę).

Zestawienie to przedstawia podstawowe informacje na temat kształtowania się indeksów giełdowych ogólnych oraz uwzględniających wyłącznie spółki technologiczne. W niniejszych rozważaniach nie wzięto pod uwagę Rosji z uwagi na jej zawieszenie jako członka, z uwagi na dokonaną jeszcze w 2014 roku aneksję krymską. Tak czy inaczej, uwzględnienie Rosji w zestawieniu dotyczącym indeksów giełdowych nie byłoby obecnie sensownym rozwiązaniem w związku z tym, że toczące się działania wojenne oraz związane z tym napięcia geopolityczne to czynniki, które mogą zaburzać działania inwestorów na rynkach finansowych, doprowadzając np. do paniki na giełdzie.

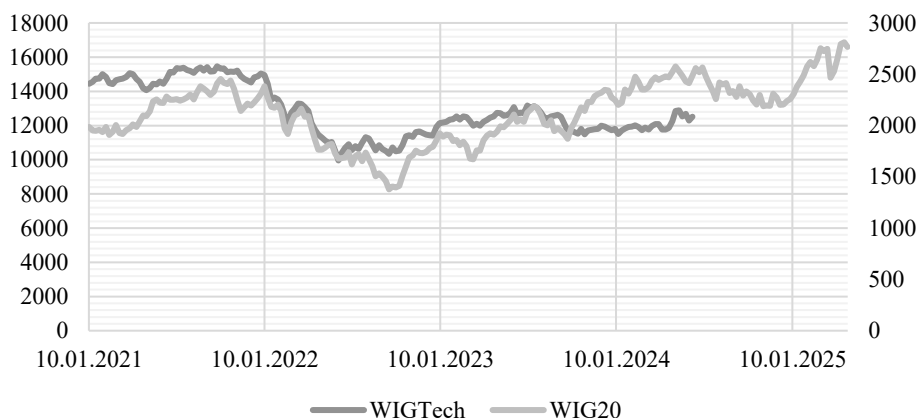
Na Wykresach 1-8 zostały przedstawione wartości indeksów ogólnych oraz technologicznych dla poszczególnych państw.

Wykres 1. Notowania ogólnego indeksu oraz indeksu spółek technologicznych – dane dla Stanów Zjednoczonych



Źródło: opracowanie własne na podstawie investing.com (data dostępu: 05.05.2025) oraz <https://finance.yahoo.com/> (data dostępu: 05.05.2025).

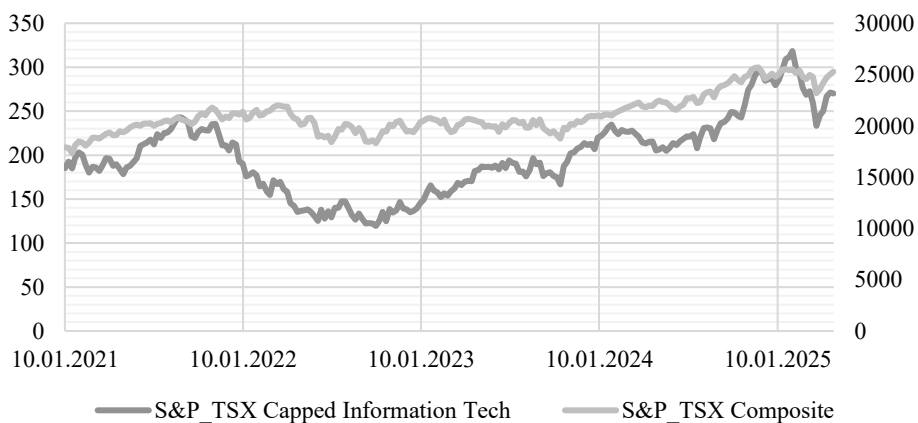
Wykres 2. Notowania ogólnego indeksu oraz indeksu spółek technologicznych – dane dla Polski



*Publikacji notowań indeksu zaprzestano w dn. 21.06.2024 r.

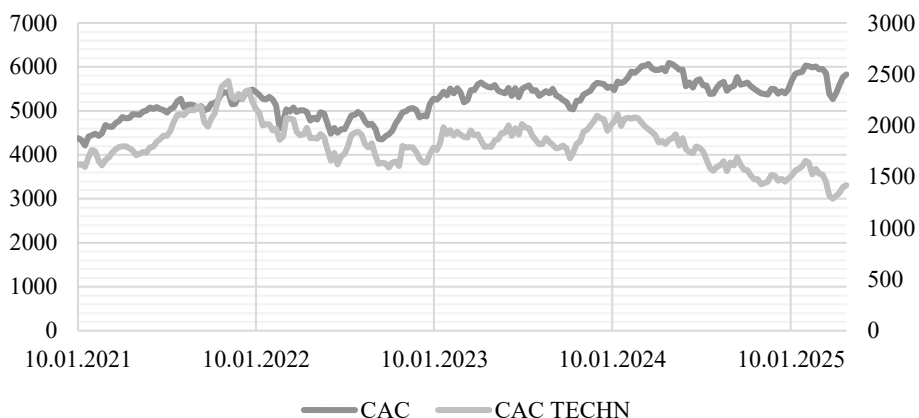
Źródło: opracowanie własne na podstawie investing.com (data dostępu: 05.05.2025) oraz <https://finance.yahoo.com/> (data dostępu: 05.05.2025).

Wykres 3. Notowania ogólnego indeksu oraz indeksu spółek technologicznych – dane dla Kanady



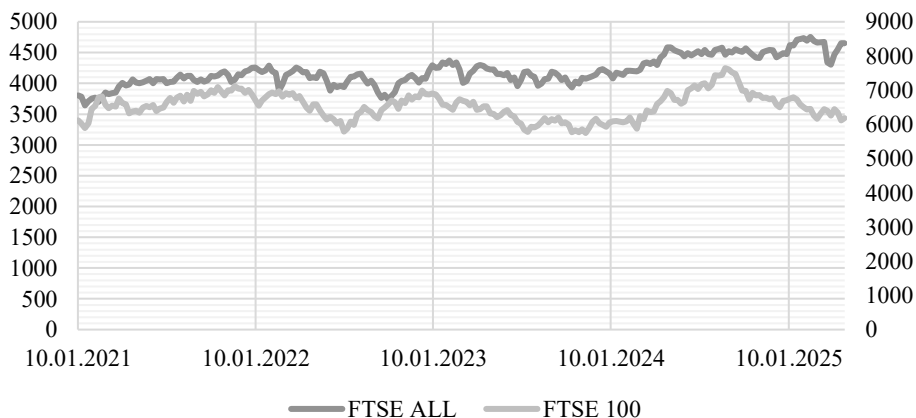
Źródło: opracowanie własne na podstawie investing.com (data dostępu: 05.05.2025) oraz <https://finance.yahoo.com/> (data dostępu: 05.05.2025).

Wykres 4. Notowania ogólnego indeksu oraz indeksu spółek technologicznych – dane dla Francji



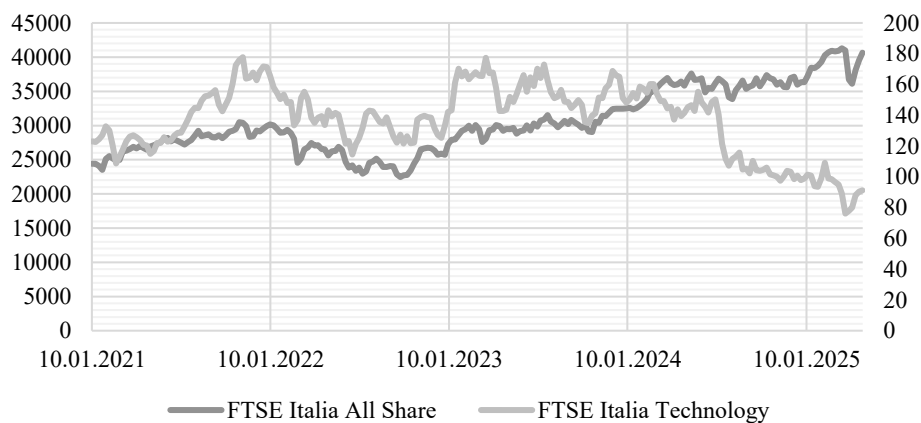
Źródło: opracowanie własne na podstawie investing.com (data dostępu: 05.05.2025) oraz <https://finance.yahoo.com/> (data dostępu: 05.05.2025).

Wykres 5. Notowania ogólnego indeksu oraz indeksu spółek technologicznych – dane dla Wielkiej Brytanii



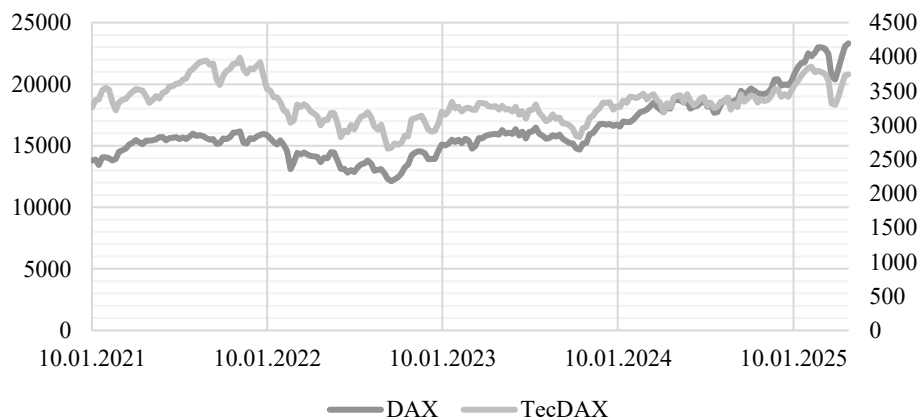
Źródło: opracowanie własne na podstawie investing.com (data dostępu: 05.05.2025) oraz <https://finance.yahoo.com/> (data dostępu: 05.05.2025).

Wykres 6. Notowania ogólnego indeksu oraz indeksu spółek technologicznych – dane dla Włoch



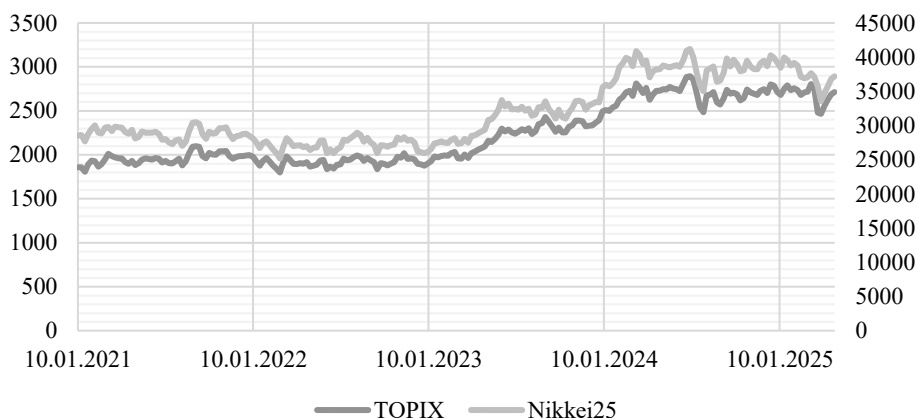
Źródło: opracowanie własne na podstawie investing.com (data dostępu: 05.05.2025) oraz <https://finance.yahoo.com/> (data dostępu: 05.05.2025).

Wykres 7. Notowania ogólnego indeksu oraz indeksu spółek technologicznych – dane dla Niemiec



Źródło: opracowanie własne na podstawie investing.com (data dostępu: 05.05.2025) oraz <https://finance.yahoo.com/> (data dostępu: 05.05.2025).

Wykres 8. Notowania ogólnego indeksu oraz indeksu spółek technologicznych – dane dla Japonii



Źródło: opracowanie własne na podstawie investing.com (data dostępu: 05.05.2025) oraz <https://finance.yahoo.com/> (data dostępu: 05.05.2025).

Notowania ogólnych indeksów giełdowych oraz indeksów technologicznych zazwyczaj podążają w podobnym kierunku. Choć mogą się różnić skalą zmian, to tendencje wzrostowe lub spadkowe często są zbieżne. Wynika to m.in. z ogólnej kondycji gospodarki, nastrojów inwestorów czy decyzji banków centralnych, które wpływają na cały rynek, w tym również na sektor technologiczny. Synchronizacja kierunków jest więc czymś naturalnym.

Z kolei wybrane miary statystyki opisowej dla indeksów giełdowych w poszczególnych państwach zostały przedstawione w Tabeli 3.

Tabela 3. Wybrane statystyki dotyczące dziennych notowań giełdowych w okresie 04.01.2021-02.05.2025

Kraj	Główny indeks giełdowy	Wariancja	Odch. standardowe	Max	Min	Max - Min	Średnia zmiana dzienna
Polska	WIG	0,00016	0,013	7,72%	-10,73%	18,45%	1,28%
USA	NYSE	0,0001	0,01	7,04%	-6,12%	13,16%	0,98%
Kanada	S&P/TSX Composite	0,00007	0,008	5,42%	-4,69%	10,11%	0,83%
UK	FTSE All-Share Index	0,00007	0,008	3,77%	-4,87%	8,64%	0,82%
Francja	CAC All-Tradable	0,00011	0,01	7,05%	-4,92%	11,97%	1,03%
Niemcy	DAX	0,00012	0,011	7,92%	-4,95%	12,87%	1,08%
Włochy	FTSE Italia All-Share	0,00013	0,011	6,79%	-6,44%	13,23%	1,15%
Japonia	Nikkei 225	0,00015	0,012	9,30%	-12,23%	21,53%	1,22%
Polska	WIGtech	0,00009	0,01	3,84%	-5,94%	9,78%	0,97%
USA	Nasdaq-100	0,00023	0,015	12,02%	-6,07%	18,09%	1,50%

Kraj	Główny indeks giełdowy	Wariancja	Odch. standardowe	Max	Min	Max - Min	Średnia zmiana dzienna
Kanada	S&P/TSX Capped Information Tech	0,00032	0,018	10,75%	-9,51%	20,26%	1,78%
UK	FTSE TechMARK Focus	0,00009	0,01	4,25%	-4,99%	9,24%	0,97%
Francja	CAC Technology	0,00021	0,015	6,87%	-5,63%	12,50%	1,46%
Niemcy	TecDAX	0,00014	0,012	6,34%	-4,57%	10,91%	1,19%
Włochy	FTSE Italia Technology	0,00041	0,02	9,89%	-11,47%	21,36%	2,02%
Japonia	Nikkei JASDAQ Technology Index	0,00009	0,01	8,10%	-10,75%	18,85%	0,95%
Kraj/(dane dla indeksu spółek technologicznych minus dane dla ogólnego indeksu – różnica)		Wariancja	Odch. standardowe	Max	Min	Max - Min	Średnia zmiana dzienna
Polska		-0,00007	-0,0031	-3,88%	4,79%	-8,67%	-0,31%
USA		0,00013	0,00524	4,98%	0,05%	4,93%	0,52%
Kanada		0,00025	0,00955	5,33%	-4,82%	10,15%	0,95%
UK		0,00003	0,00151	0,48%	-0,12%	0,60%	0,15%
Francja		0,00011	0,00436	-0,18%	-0,71%	0,53%	0,44%
Niemcy		0,00003	0,00113	-1,58%	0,38%	-1,96%	0,11%
Włochy		0,00028	0,00877	3,10%	-5,03%	8,13%	0,88%
Japonia		-0,00006	-0,00265	-1,20%	1,48%	-2,68%	-0,27%

Źródło: opracowanie własne na podstawie investing.com (data dostępu: 05.05.2025) oraz finance.yahoo.com (data dostępu: 05.05.2025).

Przedstawione w Tabeli 3 porównanie dla ogólnych indeksów giełdowych oraz indeksów spółek technologicznych w zakresie podstawowych statystyk opisowych pokazuje istnienie pewnych różnic w poziomie zmienności oraz dynamice dziennych zmian, aczkolwiek różnice te nie są szczególnie duże. Wprawdzie w większości przypadków indeksy obejmujące spółki technologiczne charakteryzują się wyższą zmiennością w porównaniu z ich ogólnorynkowymi odpowiednikami; rozbieżności te utrzymują się jednak na umiarkowanym poziomie.

W niemal wszystkich analizowanych krajach – za wyjątkiem Polski oraz Japonii – wariancja indeksów technologicznych przewyższa analogiczne wskaźniki obliczone dla głównych indeksów giełdowych. Szczególnie w takich państwach jak: Stany Zjednoczone, Kanada, Francja czy Włochy, różnice te są widoczne (wartości na poziomie wynoszącym odpowiednio 0,00013, 0,00025, 0,00011 oraz 0,00028).

Amplituda liczona jako różnica pomiędzy maksymalnymi oraz minimalnymi dziennymi zmianami na rynkach finansowych również jest nieco wyższa w odniesieniu do indeksów technologicznych, aczkolwiek trudno mówić również tu o zdecydowanej przewadze. Przykładowo, w USA wskaźnik Nasdaq-100 osiągnął najwyższą dzienną zwyżkę na poziomie 12,02% oraz najwyższy dzienny spadek na poziomie -6,07%, co skutkuje zakresem zmienności rzędu 18,09%, przewyższającym o 4,93 punktu procentowego analogiczny zakres dla giełdy NYSE.

Podobna sytuacja miała miejsce w Kanadzie, w przypadku której indeks spółek technologicznych (S&P/TSX Capped Information Tech) wykazał różnicę ekstremów wynoszącą 20,26%, podczas gdy w przypadku głównego indeksu było to 10,11%. Różnica wyniosła zatem aż 10,15 punktu procentowego. Również we Włoszech oraz Japonii zakres zmienności indeksów technologicznych był większy niż w przypadku indeksów ogólnych, co świadczy o ich większej podatności na gwałtowne zmiany sentymentu inwestorów.

Trzeba jednak mieć na uwadze, że takie zmiany niejednokrotnie wynikały z reakcji na decyzje urzędowe, niekoniecznie dotyczące branży technologicznej *per se*. Dobrym przykładem jest tu giełda amerykańska, w przypadku której:

- najwyższy dzienny spadek wynikał z ogłoszenia nowego pakietu taryfowego przez Stany Zjednoczone (następstwa tzw. Dnia Wyzwolenia – *Liberation Day*),
- najwyższy dzienny wzrost to pochodna informacji o złagodzenie niedawno wdrożonej polityki taryfowej [Puls Biznesu 2025].

Również średnia dzienna zmiana wartości indeksów wykazuje pewną przewagę w przypadku indeksów skupiających spółki technologiczne. W Kanadzie, Włoszech, Stanach Zjednoczonych oraz Francji indeksy technologiczne notowały przeciętnie wyższe dzienne stopy zwrotu, odpowiednio o 0,95, 0,88, 0,52 oraz 0,44 p.p. więcej niż ich ogólne odpowiedniki. W Polsce oraz Japonii średnia dzienna zmiana dla indeksów technologicznych była niższa niż dla indeksów ogólnych (odpowiednio o 0,31 i 0,27 punktu procentowego).

Wnioski

Jak widać, pomimo występujących różnic pomiędzy indeksami ogólnymi oraz indeksami technologicznymi, aczkolwiek nie są one na tyle duże, aby uznać sektor technologiczny za diametralnie odmienny pod względem zmienności. Wahania dzienne oraz ekstrema zmian są wprawdzie wyższe w przypadku indeksów skupionych na spółkach technologicznych, jednak różnice te najczęściej mieszczą się w granicach kilku punktów procentowych. Można przy tym zauważyć ciekawą zależność: w krajach o mniej rozwiniętym rynku

technologicznym (w tym np. w Polsce) niektóre z tych wskaźników są nawet niższe niż dla indeksów ogólnych. Z drugiej strony do grupy, w której zmienność indeksu ogólnego przeważa nad technologicznym, należy również Japonia.

Badania dotyczące zmienności notowań giełdowych spółek technologicznych w państwach G8 i Polsce w latach 2021-2025 można z powodzeniem kontynuować i pogłębiać. Warto uwzględnić przy tym np. takie kwestie jak:

- stopień rozwoju sektora technologicznego,
- specyfika gospodarki poszczególnych krajów,
- skłonność inwestorów do podejmowania ryzyka.

Bibliografia

Blicharz G., Oręziak B., Wielec M. (red.) (2021), Rynek finansowy. Zapobieganie przyczynom przestępczości, Ministerstwo Sprawiedliwości.

Dobosiewicz Z. (2013), Giełda, Zasady działania, inwestorzy, rynki giełdowe, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.

Elliott T. (2019), The Culture of AI: Everyday Life and the Digital Revolution, Routledge, New York.

Ganie I.R., Wani T.A., Yadav M.P. (2022), Impact of COVID-19 Outbreak on the Stock Market: An Evidence from Select Economies, Business Perspectives and Research.

Nawacki G. (2019), Giełda to wyzwanie – także intelektualne, Puls Biznesu, <https://www.pb.pl/gielda-to-wyzwanie-takze-intelektualne-959037>;

Kariuki R.K. (2022), Influence of High Cost of Living, Oil Price, Government Expenditure and Exchange Rate Effect on Stock Market Return Volatility. A Critical Literature Review, International Journal of Modern Statistics, 2(1).

Marciniak S. (1995), Makro i mikroekonomia dla inżynierów, Wydawnictwo PWN, Warszawa.

McKinsey Global Institute (2019), The Future of Work in America.

Muszyński M. (2025), Mocne odreagowanie na GPW, Puls Biznesu, <https://www.pb.pl/mocne-odreagowanie-na-gpw-1239791> (dostęp: 07.05.2025).

Nawacki G. (2019), Giełda to wyzwanie - także intelektualne, <https://www.pb.pl/gielda-to-wyzwanie-takze-intelektualne-959037> Puls Biznesu, (dostęp: 07.05.2025).

Nieborak T. (2017). Rynek finansowy jako dobro wspólne, Ruch Prawniczy, Ekonomiczny i Socjologiczny, 79(3).

Niedźwiecki A. (2010), Znaczenie giełdy papierów wartościowych w systemie gospodarczym, aspekt etyczny, [w:] Bocian A.F. (red.), Ekonomia-Polityka-Etyka, Białystok, 3.

Orabi M.M.A., Alqurran T.A.A. (2015), Effect of Volatility Changes on Emerging Stock Markets: The Case of Jordan, Journal of Management Research, 7(4).

Ratajczak M. (2017), Spór o rolę państwa w gospodarce, Ruch Prawniczy, Ekonomiczny i Socjologiczny, 79(1).

Rjumohan A. (2019), Stock Markets: An Overview and A Literature Review, MPRA Paper, 101855.

Rogalski M. (2025), Trump ogłosił cła, inwestorzy uciekają od dolara, Puls Biznesu, <https://www.pb.pl/trump-oglosil-cla-inwestorzy-uciekaja-od-dolara-1239344>.

Safiq M., Yulianti, E. (2023), Factors Affecting Dividend Policy and the Effect of Dividend Payout Policy on Stock Price Volatility in Omnibus Law Era, Jurnal Akuntansi STEI, 7(1).

Schwab K. (2016), The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond, „Foreign Affairs”, <https://www.foreignaffairs.com/world/fourth-industrial-revolution>.

Strona internetowa finance.yahoo.com (dostęp: 04.05.2025).

Strona internetowa https://openalex.org/works?page=1&filter=title_and_abstract.search:VOLATILITY+OF+STOCK+EXCHANGE&group_by=publication_year,open_access.is_oa,primary_topic.id,authorships.institutions.lineage,type,authorships.countries (dostęp: 09.08.2025).

Strona internetowa investing.com (dostęp: 04.05.2025).

Strona internetowa mfiles.pl (dostęp: 04.05.2025).

Weron R. Weron A. (2018), Inżynieria finansowa: wycena instrumentów pochodnych, symulacje komputerowe, statystyka rynku, Wydanie III, PWN, Warszawa.

Wrzesiński M. (2010), Finansjalizacja gospodarki – fakty czy mity? [w]: Ostaszewski K., Kosycarz E. (red.), Rozwój nauki o finansach. Stan obecny i pożądane kierunki jego ewolucji, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Warszawa.

Część III.

**Kapitał ludzki w gospodarce
cyfrowej**

Rozdział IX.

SZTUCZNA INTELIGENCJA W PROCESIE SELEKCJI TALENTÓW: KORZYŚCI, OGRANICZENIA I WYZWANIA DLA WSPÓŁCZESNYCH ORGANIZACJI

*Liliana Hawrysz*¹²

Streszczenie

W rozdziale podjęto analizę roli sztucznej inteligencji (AI) w procesie selekcji talentów, ze szczególnym uwzględnieniem korzyści, ograniczeń oraz ryzyk związanych z jej wdrażaniem w praktyce zarządzania zasobami ludzkimi. Celem opracowania było ukazanie wpływu AI na efektywność, trafność i bezstronność decyzji rekrutacyjnych w kontekście zmieniających się realiów rynku pracy. Wykorzystując metodę analizy literatury przedmiotu, omówiono zarówno potencjał automatyzacji procesów selekcyjnych, jak i wyzwania etyczne, technologiczne oraz organizacyjne, jakie niesie za sobą zastosowanie algorytmów w ocenie kandydatów. Wyniki analizy wskazują, że AI może znacząco usprawnić proces pozyskiwania talentów, o ile zostanie wdrożona w sposób świadomy, etyczny i strategiczny, z zachowaniem przejrzystości i kontroli nad podejmowanymi decyzjami.

Słowa kluczowe: AI, selekcja, talenty.

Summary

The chapter presents an analysis of the role of artificial intelligence (AI) in the talent selection process, with particular emphasis on the benefits, limitations, and risks associated with its implementation in human resource management practice. The aim of the study was to demonstrate the impact of AI on the efficiency, accuracy, and impartiality of recruitment decisions in the context of the evolving labor market. Using the method of literature review, the paper discusses both the potential for automating selection processes and the ethical, technological, and organizational challenges posed by the use of algorithms in candidate evaluation. The findings indicate that AI can significantly improve the talent acquisition process, provided it is implemented consciously, ethically, and strategically, with transparency and control over decision-making processes.

Key words: AI, selection, talent.

JEL: J24, M12, O33

¹² Politechnika Wrocławska, Wydział Zarządzania, liliana.hawrysz@pwr.edu.pl

Wprowadzenie

Współczesne organizacje funkcjonują w dynamicznie zmieniającym się środowisku rynkowym, w którym pozyskiwanie wykwalifikowanych pracowników stało się jednym z najważniejszych czynników warunkujących ich długoterminowy rozwój i konkurencyjność. W dobie postępującej globalizacji, rosnących oczekiwań klientów oraz szybkiego rozwoju technologii, dostęp do odpowiedniego kapitału ludzkiego – utożsamianego z tzw. talentami – stanowi strategiczne wyzwanie dla działów zarządzania zasobami ludzkimi [Vedapradha i.in 2023].

Rekrutacja, będąca procesem systematycznego przyciągania i wybierania kandydatów o pożądanych kwalifikacjach, umiejętnościach i wartościach, odgrywa kluczową rolę w budowaniu kapitału ludzkiego organizacji. Efektywny proces rekrutacji przyczynia się do ograniczenia kosztów rotacji, zwiększenia produktywności i poprawy dopasowania kandydatów do kultury organizacyjnej [Johnson, Stone i Lukaszewski 2020; Nyathani 2022].

Jednak tradycyjne metody rekrutacyjne, oparte głównie na subiektywnej ocenie rekruterów, są czasochłonne, kosztowne i podatne na błędy poznawcze oraz uprzedzenia, co utrudnia identyfikację najlepiej dopasowanych kandydatów [Rukadikar, Khandelwal i Warriar, 2025]. Dodatkowo, globalny kryzys talentów, wynikający m.in. z niedopasowania kompetencji oraz ograniczonej podaży wysoce wykwalifikowanych pracowników, potęguje trudności w skutecznym pozyskiwaniu talentów [Ore i Sposato 2022].

W odpowiedzi na te wyzwania, rosnące znaczenie w procesach rekrutacyjnych zaczyna odgrywać sztuczna inteligencja (AI), która umożliwia automatyzację i optymalizację wielu etapów selekcji kandydatów. AI potrafi analizować duże zbiory danych (np. CV, profile zawodowe, media społecznościowe), identyfikować pasywnych kandydatów, przewidywać sukces zawodowy oraz personalizować komunikację z aplikantami [Nyathani 2022; Koman, Boršoš i Kubina 2024]. Tym samym, wdrożenie AI może znacząco przyczynić się do poprawy skuteczności i sprawiedliwości procesu rekrutacyjnego. Pomimo rosnącej popularności AI w rekrutacji, wiele organizacji nadal napotyka trudności w jej implementacji, a stopień faktycznego wykorzystania zaawansowanych narzędzi technologicznych w selekcji kandydatów jest relatywnie niski [Upadhyay i Khandelwal 2018]. Co więcej, brakuje systematycznych badań empirycznych ukazujących realny wpływ AI na jakość, szybkość i sprawiedliwość procesu selekcji talentów. W tym kontekście, problemem badawczym niniejszego rozdziału jest ocena wpływu zastosowania sztucznej inteligencji na efektywność i sprawiedliwość procesu selekcji talentów w organizacjach. W związku z powyższym, główne pytanie badawcze

niniejszego opracowania brzmi: *W jaki sposób wykorzystanie sztucznej inteligencji wpływa na efektywność, trafność i bezstronność procesu selekcji talentów w organizacjach?*

Odpowiedź na to pytanie pozwoli nie tylko zidentyfikować konkretne korzyści i ograniczenia zastosowania AI w rekrutacji, lecz także dostarczyć praktycznych rekomendacji dla organizacji dążących do usprawnienia procesów naboru poprzez integrację nowoczesnych technologii.

Celem niniejszego rozdziału jest zbadanie roli sztucznej inteligencji w procesie selekcji talentów oraz określenie, w jaki sposób jej zastosowanie wpływa na efektywność, trafność i bezstronność rekrutacji w warunkach współczesnych organizacji. Szczególna uwaga zostanie poświęcona możliwościom automatyzacji powtarzalnych czynności rekrutacyjnych, zwiększenia precyzji dopasowania kandydatów do wymagań stanowiskowych, a także potencjałowi AI w redukowaniu błędów poznawczych i uprzedzeń ludzkich.

W ramach pracy dokonano analizy literatury przedmiotu, obejmującej zarówno publikacje akademickie, jak i raporty branżowe dotyczące zastosowania AI w obszarze zarządzania zasobami ludzkimi, ze szczególnym uwzględnieniem procesów rekrutacyjnych. Analiza ta umożliwi identyfikację głównych kierunków rozwoju, korzyści oraz wyzwań związanych z integracją sztucznej inteligencji w selekcji pracowników.

Zakres badania obejmuje:

- omówienie funkcji AI w procesie selekcji talentów,
- identyfikację potencjalnych korzyści wynikających z wdrożenia AI w procesie selekcji talentów,
- omówienie ograniczeń, ryzyk i barier w implementacji AI w procesie selekcji talentów,
- wskazanie kierunków przyszłych badań i rekomendacji praktycznych dla działów HR.

Zakres czasowy przeglądanej literatury obejmuje w szczególności publikacje z lat 2018–2025, które odzwierciedlają najnowsze trendy i zmiany technologiczne w obszarze zarządzania talentami.

Wybór metody analizy literatury jako podstawy badawczej wynika z potrzeby usystematyzowania istniejącej wiedzy, zidentyfikowania luk badawczych oraz sformułowania wniosków o charakterze ogólnym, które mogą stanowić punkt wyjścia do dalszych, pogłębionych badań empirycznych.

1. Znaczenie procesu selekcji talentów w zarządzaniu zasobami ludzkimi

Proces selekcji talentów stanowi jeden z kluczowych elementów współczesnego zarządzania zasobami ludzkimi (ZZL), ponieważ bezpośrednio wpływa na jakość kapitału ludzkiego w organizacji. W dobie globalizacji, cyfryzacji oraz intensywnej konkurencji o wykwalifikowanych pracowników, organizacje muszą nieustannie poszukiwać sposobów na skuteczne identyfikowanie, przyciąganie i zatrzymywanie utalentowanych jednostek. Efektywne pozyskiwanie talentów nie tylko skraca czas zatrudnienia, ale również zwiększa jakość dopasowania kandydatów do stanowisk, co przekłada się na wyższą produktywność, mniejsze ryzyko rotacji i lepsze dopasowanie kulturowe [Johnson, Stone i Lukaszewski 2020; Vedapradha i in. 2023]. Pojęcie „talent” nie posiada jednej, powszechnie akceptowanej definicji, jednak w literaturze naukowej zazwyczaj odnosi się do jednostek posiadających wysoki poziom wiedzy, umiejętności i kompetencji, które są zgodne z aktualnymi oraz przyszłymi potrzebami organizacyjnymi [Johnson, Stone i Lukaszewski 2020]. Talent to również pracownik wykazujący potencjał do pełnienia ról kluczowych z perspektywy strategii organizacji. Zarządzanie talentami (ang. *talent management*) obejmuje systematyczne działania zmierzające do przyciągania, rozwijania, motywowania i utrzymywania tych jednostek w sposób, który zapewnia organizacji przewagę konkurencyjną [Vedapradha i in. 2023]. Sztuczna inteligencja (AI) rewolucjonizuje proces pozyskiwania talentów, czyniąc go bardziej efektywnym, precyzyjnym i zrównoważonym. Dzięki wykorzystaniu technik takich jak uczenie maszynowe, analiza predykcyjna i przetwarzanie języka naturalnego (NLP), AI umożliwia organizacjom przeszukiwanie ogromnych zbiorów danych – obejmujących m.in. CV, profile na portalach zawodowych, aktywność w mediach społecznościowych oraz dane z platform rekrutacyjnych – w celu identyfikacji kandydatów najlepiej dopasowanych do wymagań stanowiskowych [Lavanchy i in. 2023; Pratap Singh Rathore 2023]. AI umożliwia także dotarcie do kandydatów pasywnych – osób, które nie poszukują aktywnie zatrudnienia, ale których profil zawodowy sugeruje wysoki potencjał. Dzięki analizie zachowań online oraz cyfrowych śladów, systemy oparte na AI potrafią przewidzieć otwartość kandydata na zmianę pracy, co znacząco zwiększa efektywność działań sourcingowych [Köchling, Wehner i Warkocz 2023; Tsiskaridze, Reinhold i Jarvis 2023]. Kolejną zaletą AI w tym obszarze jest automatyzacja wstępnej selekcji kandydatów. Inteligentne algorytmy potrafią analizować treść dokumentów aplikacyjnych z uwzględnieniem synonimów, kontekstu i powiązań semantycznych, co wykracza poza możliwości tradycyjnego dopasowania opartego na słowach kluczowych

[Bevara i in. 2025]. Narzędzia te umożliwiają również tworzenie dynamicznych modeli idealnych kandydatów na podstawie cech pracowników osiągających wysokie wyniki, co wspiera bardziej trafne i predykcyjne dopasowanie [Jatoba i in. 2019]. AI wspiera również działania związane z różnorodnością i inkluzją, eliminując – w pewnym zakresie – nieuświadomione uprzedzenia ludzkie w procesie selekcji. Poprzez obiektywną analizę danych, technologie te przyczyniają się do bardziej sprawiedliwego i zróżnicowanego doboru kandydatów [Thakur i Sharma 2020; Köchling, Wehner i Warkocz 2023].

Dodatkowo, AI usprawnia komunikację z kandydatami dzięki zastosowaniu chatbotów i wirtualnych asystentów, które mogą automatycznie odpowiadać na pytania, prowadzić wstępne wywiady oraz planować spotkania rekrutacyjne [Lawande 2024; Patrick Oputa Odili i in. 2024]. To nie tylko przyspiesza proces, ale także poprawia doświadczenie kandydata, co jest kluczowe z perspektywy budowania pozytywnego wizerunku pracodawcy.

2. Potencjalne korzyści wdrożenia AI w proces selekcji talentów

Wdrożenie AI w procesie selekcji kandydatów niesie za sobą szereg istotnych korzyści, które wpływają na jakość, szybkość, sprawiedliwość i efektywność procesów rekrutacyjnych. Rozwiązania oparte na AI nie tylko automatyzują czasochłonne zadania, ale także wspierają bardziej trafne decyzje kadrowe, co przekłada się na strategiczną wartość dla organizacji. Poniżej zestawienie zidentyfikowanych w literaturze potencjalnych korzyści wdrożenia AI w proces selekcji talentów:

- Zwiększenie trafności i jakości decyzji rekrutacyjnych: Jedną z najważniejszych zalet zastosowania AI jest zdolność do trafniejszego dopasowywania kandydatów do stanowisk. Systemy te analizują różnorodne źródła danych, takie jak CV, wyniki testów, wywiady wideo czy informacje z mediów społecznościowych, co pozwala na kompleksową ocenę kandydatów i identyfikację tych o najwyższym potencjale [Koman, Boršoš i Kubina 2024]. Wykorzystanie algorytmów pozwala także na ważenie informacji zgodnie z ustalonymi kryteriami, co wspomaga racjonalny proces decyzyjny i zmniejsza ryzyko zatrudnienia nieodpowiednich osób [Johnson, Stone i Lukaszewski 2020].
- Automatyzacja i oszczędność zasobów: AI pozwala na automatyzację wielu powtarzalnych czynności, takich jak przeglądanie i analiza CV, wstępna selekcja kandydatów czy planowanie rozmów kwalifikacyjnych. Skraca to cykl rekrutacyjny i zmniejsza koszty operacyjne związane z zatrudnieniem [Nyathani 2022; Rukadikar, Khandelwal i Warriar 2025]. Automatyzacja tych procesów pozwala rekruterom skupić się na

strategicznych aspektach zarządzania talentami, takich jak budowanie relacji z kandydatami czy employer branding [Albert 2019; Vedapradha i in. 2023].

- Redukcja uprzedzeń i wspieranie różnorodności: AI, odpowiednio zaprojektowana i audytowana, może ograniczyć wpływ nieświadomych uprzedzeń oraz zapewnić bardziej sprawiedliwy i obiektywny proces selekcji. Systemy te oceniają kandydatów na podstawie danych i kompetencji, eliminując czynniki subiektywne i sprzyjając większej różnorodności w zatrudnieniu [Bevara i in. 2025; Rukadikar, Khandelwal i Warriier 2025]. Co więcej, AI może analizować język ogłoszeń rekrutacyjnych i rekomendować jego neutralne sformułowanie, co sprzyja inkluzywności [Albert 2019].
- Usprawnienie doświadczenia kandydatów: Zastosowanie chatbotów i inteligentnych asystentów wspomaga interakcję z kandydatami, dostarczając im natychmiastowych odpowiedzi, informacji o statusie aplikacji oraz umożliwiając sprawną komunikację na każdym etapie procesu. To z kolei wpływa pozytywnie na odbiór organizacji jako pracodawcy i zwiększa zaangażowanie kandydatów [Johnson, Stone i Lukaszewski 2020; Nyathani 2022; Vedapradha i in. 2023; Koman, Boršoš i Kubina 2024].
- Lepsze dopasowanie do kultury organizacyjnej i kompetencji: AI umożliwia ocenę kandydatów nie tylko pod kątem twardych kwalifikacji, lecz także zgodności z kulturą organizacyjną. Analiza danych behawioralnych, stylu komunikacji i cech osobowościowych umożliwia precyzyjniejsze dopasowanie kandydatów, co zwiększa szanse na ich długofalową retencję i sukces zawodowy [Vedapradha i in. 2023].
- Poprawa targetowania i personalizacji komunikacji rekrutacyjnej: Systemy oparte na AI umożliwiają precyzyjne kierowanie ofert pracy do konkretnych grup kandydatów, co poprawia skuteczność kampanii rekrutacyjnych i ogranicza marnowanie zasobów. Dzięki analizie danych demograficznych, behawioralnych i zawodowych, możliwe jest dostosowanie komunikatów do preferencji i potrzeb kandydatów [Albert 2019; Rukadikar, Khandelwal i Warriier 2025].
- Wzrost efektywności strategicznej funkcji HR: AI wspiera podejmowanie decyzji oparte na danych, co umożliwia nie tylko lepszy wybór kandydatów, lecz także prognozowanie ich sukcesu w danej roli. To z kolei wzmacnia rolę działu HR jako partnera strategicznego w organizacji i wspiera długoterminowe planowanie zasobów ludzkich [Nyathani 2022; Hemachandran i in. 2024].

3. Ograniczenia, bariery i ryzyka związane z wdrożeniem AI w proces selekcji talentów

Pomimo licznych korzyści wynikających z zastosowania AI w procesie selekcji kandydatów, technologia ta wiąże się również z istotnymi ograniczeniami, ryzykami i barierami, które mogą wpłynąć na skuteczność, etyczność oraz społeczny odbiór rekrutacji wspomaganej algorytmicznie.

- Ryzyko powielania uprzedzeń i dyskryminacji: Choć AI ma potencjał do eliminowania ludzkich uprzedzeń, istnieje ryzyko, że systemy uczone na historycznych danych będą odtwarzać istniejące stereotypy i stronniczości. W rezultacie algorytmy mogą prowadzić do niesprawiedliwego traktowania określonych grup kandydatów, zwłaszcza gdy dane treningowe są nierzetelne lub odzwierciedlają uprzedzenia z przeszłości [Albert 2019; Johnson, Stone i Lukaszewski 2020; Vedapradha i in. 2023; Bevara i in. 2025].
- Brak przejrzystości i problem tzw. „czarnej skrzynki”: Wiele algorytmów AI funkcjonuje na zasadach trudnych do zinterpretowania przez użytkowników, co ogranicza przejrzystość procesu decyzyjnego. Brak zrozumienia, jakie kryteria są uwzględniane przy ocenie kandydatów, budzi obawy dotyczące sprawiedliwości, kontroli oraz odpowiedzialności za decyzje rekrutacyjne [Albert 2019; Johnson, Stone i Lukaszewski 2020; Vedapradha i in. 2023; Rukadikar, Khandelwal i Warriar 2025].
- Wysokie wymagania dotyczące jakości i dostępności danych: Skuteczność systemów AI zależy od dostępu do dużych zbiorów wysokiej jakości danych. W przypadku braku odpowiednich danych wejściowych – np. ustandaryzowanych CV, spójnych wyników testów czy aktualnych profili zawodowych – modele mogą dostarczać błędne lub niepełne rekomendacje, co obniża trafność procesu selekcji [Upadhyay i Khandelwal 2018; Johnson, Stone i Lukaszewski 2020; Vedapradha i in. 2023; Hemachandran i in. 2024].
- Bariery technologiczne i kosztowe: Wdrożenie AI w rekrutacji wymaga inwestycji w infrastrukturę technologiczną, specjalistyczne oprogramowanie oraz kompetencje analityczne i informatyczne. Dla wielu organizacji – szczególnie małych i średnich – stanowi to istotną barierę finansową i organizacyjną, utrudniając pełne wykorzystanie potencjału tej technologii [Albert 2019; Johnson, Stone i Lukaszewski 2020; Vedapradha i in. 2023; Hemachandran i in. 2024].
- Obawy etyczne i prawne: Zastosowanie AI w selekcji kandydatów rodzi liczne pytania o zgodność z regulacjami dotyczącymi ochrony danych osobowych (np. RODO), a także o etykę przetwarzania informacji

wrażliwych. Pracodawcy muszą zadbać o bezpieczeństwo danych oraz transparentność procesów, by nie naruszać praw kandydatów ani nie narażać się na ryzyko prawne [Albert 2019; Johnson, Stone i Lukaszewski 2020; Nyathani 2022; Vedapradha i in. 2023].

- Trudności w interpretacji kontekstu i ludzkich niuansów: AI może mieć ograniczoną zdolność do uwzględniania subtelnych aspektów osobowości, emocji, zachowań czy wartości kulturowych kandydatów, które często odgrywają kluczową rolę w dopasowaniu do zespołu i kultury organizacyjnej. Przesadna automatyzacja może zatem prowadzić do utraty ludzkiego wymiaru rekrutacji [Johnson, Stone i Lukaszewski 2020; Vedapradha i in. 2023; Rukadikar, Khandelwal i Warriier 2025].
- Niski poziom dojrzałości technologicznej i brak standaryzacji: Rynek narzędzi AI w rekrutacji znajduje się nadal na etapie rozwoju, co skutkuje dużą różnorodnością rozwiązań, brakiem jasnych standardów oraz ograniczoną wiedzą użytkowników. W rezultacie organizacje często wdrażają narzędzia powierzchownie lub w sposób nieskuteczny, co prowadzi do błędów, niespójności i niepełnego wykorzystania potencjału AI [Albert 2019; Bevara i in. 2025].
- Opór kulturowy i niechęć do zmian: Implementacja AI wymaga nie tylko technologii, lecz także zmiany sposobu myślenia o procesie rekrutacyjnym. Pracownicy HR mogą odczuwać obawy przed utratą kontroli nad procesem, dehumanizacją rekrutacji lub koniecznością nabycia nowych kompetencji cyfrowych. Tego typu rezystencja kulturowa może opóźniać lub zablokować efektywne wdrożenie [Upadhyay i Khandelwal 2018; Albert 2019; Johnson, Stone i Lukaszewski 2020; Hemachandran i in. 2024].
- Konieczność ciągłego nadzoru i aktualizacji: Systemy AI nie są autonomiczne ani samowystarczalne – wymagają ciągłego nadzorowania, aktualizacji danych i dopasowywania do zmieniających się realiów rynkowych. Bez odpowiedniego zarządzania, nawet najlepsze algorytmy mogą prowadzić do niepożądanych rezultatów [Vedapradha i in. 2023; Rukadikar, Khandelwal i Warriier 2025].

Wnioski

Na podstawie analizy literatury przedmiotu można stwierdzić, że wdrożenie AI w procesie selekcji talentów stanowi istotny element transformacji funkcji rekrutacyjnej w organizacjach. Technologia ta oferuje szereg wymiernych korzyści, w tym zwiększenie efektywności operacyjnej, skrócenie czasu trwania procesów rekrutacyjnych, poprawę jakości dopasowania kandydatów do

wymagań stanowiskowych oraz redukcję subiektywizmu w ocenie. AI umożliwia bardziej kompleksowe i systematyczne podejście do analizy kandydatów, uwzględniające wiele źródeł danych, co przekłada się na wyższą trafność decyzji personalnych oraz większą skuteczność organizacji w pozyskiwaniu utalentowanych pracowników.

Jednocześnie jednak należy zauważyć, że implementacja sztucznej inteligencji w procesach selekcyjnych wiąże się z szeregiem ograniczeń, ryzyk i wyzwań. Jednym z kluczowych zagrożeń jest ryzyko powielania istniejących uprzedzeń i stronniczości, które mogą być zakodowane w danych historycznych wykorzystywanych do trenowania algorytmów. Innym istotnym problemem pozostaje brak przejrzystości mechanizmów decyzyjnych – wiele modeli opiera się na strukturze tzw. „czarnej skrzynki”, co utrudnia zrozumienie, jak podejmowane są decyzje i jakie kryteria są w nich brane pod uwagę. Skuteczność AI jest ponadto silnie uzależniona od jakości i kompletności danych wejściowych, a ich niedobór może prowadzić do błędnych wyników i ograniczenia trafności selekcji.

Dodatkowo, wdrożenie AI wiąże się z istotnymi kosztami technologicznymi, wymaga odpowiedniej infrastruktury, dostępu do specjalistycznej wiedzy oraz inwestycji w rozwój kompetencji cyfrowych zespołów HR. Należy również uwzględnić kwestie zgodności z przepisami prawa, w tym z regulacjami dotyczącymi ochrony danych osobowych, oraz rozważyć etyczne aspekty związane z automatyzacją decyzji dotyczących ludzi. Nadmierne zaufanie do algorytmów może prowadzić do marginalizacji roli człowieka w procesie rekrutacyjnym i zredukowania istotnych elementów oceny, takich jak intuicja rekrutera czy dopasowanie do kultury organizacyjnej.

W związku z powyższym, organizacje planujące wdrożenie AI w procesie selekcji kandydatów powinny zadbać o zapewnienie odpowiedniego nadzoru nad działaniem systemów algorytmicznych, ich regularny audyt pod kątem stronniczości i efektywności oraz transparentność procesów decyzyjnych. Zastosowanie AI powinno wspierać, a nie zastępować kompetencje i doświadczenie rekruterów, umożliwiając im koncentrację na zadaniach strategicznych i relacyjnych. Niezbędne jest również prowadzenie szkoleń podnoszących kompetencje cyfrowe w zespołach HR, rozwijanie świadomości etycznej oraz wdrażanie technologii w sposób stopniowy i kontrolowany – z uwzględnieniem gotowości organizacyjnej oraz kulturowej.

AI posiada ogromny potencjał w zakresie usprawnienia procesu selekcji talentów, jednak jej skuteczne i odpowiedzialne wdrożenie wymaga przemyślanej strategii, zarządzania ryzykiem oraz utrzymania równowagi między automatyzacją a czynnikiem ludzkim. Tylko takie podejście pozwoli w

pełni wykorzystać możliwości AI w sposób etyczny, przejrzysty i zgodny z interesem organizacji oraz kandydatów.

Bibliografia

Albert E. T. (2019), AI in talent acquisition: a review of AI-applications used in recruitment and selection, *Strategic HR Review*, 18(5).

Bevara R. V. K., et al. (2025), Resume2Vec: Transforming Applicant Tracking Systems with Intelligent Resume Embeddings for Precise Candidate Matching, *Electronics (Switzerland)*, 14(4).

Hemachandran V. C., et al. (2024), A study on the impact of artificial intelligence on talent sourcing, *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, Vol 13(1).

Jatoba M., et al. (2019), Artificial intelligence in the recruitment & selection: innovation and..., 43rd International Scientific Conference on Economic and Social Development.

Johnson R. D., Stone D. L., Lukaszewski K. M. (2020), The benefits of eHRM and AI for talent acquisition, *Journal of Tourism Futures*, 7(1).

Köchling A., Wehner M. C., Warkocz J. (2023), Can I show my skills? Affective responses to artificial intelligence in the recruitment process, *Review of Managerial Science*.

Koman G., Boršoš P., Kubina M. (2024), The possibilities of using artificial intelligence as a key technology in the current employee recruitment process, *Administrative Sciences*, 14(7).

Lavanchy M., et al. (2023), Applicants' fairness perceptions of algorithm-driven hiring procedures, *Journal of Business Ethics*, 188(1).

Lawande N. (2024), Exploring the trends of artificial intelligence in recruitment: A bibliometric study, *International Journal of Supply and Operations Management*, 11(3).

Nyathani R. (2022), AI-powered recruitment: the future of HR digital transformation, *Journal of Artificial Intelligence & Cloud Computing*.

Ore O., Sposato M. (2022), Opportunities and risks of artificial intelligence in recruitment and selection, *International Journal of Organizational Analysis*, 30(6).

Odili P. O., et al. (2024), The impact of artificial intelligence on recruitment and selection processes in the oil and gas industry: a review, *Engineering Science & Technology Journal*, 5(2).

Rathore P. S. (2023), The impact of AI on recruitment and selection processes: Analysing the role of AI in automating and enhancing recruitment and selection procedures, *International Journal for Global Academic & Scientific Research*, 2(2).

Rukadikar A., Khandelwal K., Warriar U. (2025), Reimagining recruitment: traditional methods meet AI interventions – a 20-year assessment (2003–2023), *Cogent Business and Management*, 12(1).

Thakur D. J., Sharma S. (2020), The role of artificial intelligence in organizations for recruitment process: a review, *Pacific Business Review International*, 13(1).

Tsiskaridze R., Reinhold K., Jarvis M. (2023), Innovating HRM recruitment: a comprehensive review of AI deployment, Marketing and Management of Innovations, 14(4).

Upadhyay A. K., Khandelwal K. (2018), Applying artificial intelligence: implications for recruitment, Strategic HR Review, 17(5).

Vedapradha R., et al. (2023), Talent acquisition – artificial intelligence to manage recruitment, E3S Web of Conferences, 376.

Rozdział X.

SZTUCZNA INTELIGENCJA W PROCESIE REKRUTACJI I SELEKCJI KANDYDATÓW DO PRACY

*Małgorzata Schulz*¹³

Streszczenie

Pandemia koronawirusa znacząco wpłynęła na rynek pracy w Polsce, zmuszając pracodawców i pracowników do szybkich zmian i adaptacji. Firmy przekształciły procesy rekrutacyjne, wprowadzając zdalne metody zatrudniania, co umożliwiło im pozyskiwanie specjalistów z całego kraju. Celem rozdziału jest zbadanie postaw kandydatów wobec wykorzystania sztucznej inteligencji w rekrutacji. Przedstawiono narzędzia e-rekrutacji oraz wyniki badań dotyczące tego, czy kandydaci dostrzegają potencjał AI, czy raczej obawiają się o swoją prywatność.

Słowa kluczowe: dobór pracowników, rekrutacja i selekcja, metody i techniki selekcji, e-rekrutacja

Summary

The COVID-19 pandemic had a significant impact on the Polish labor market, forcing employers and employees to adapt quickly. Companies transformed recruitment processes, introducing remote hiring methods, which allowed them to reach specialists across the country. The aim of the chapter is to examine candidates' attitudes toward the use of artificial intelligence in recruitment. It presents e-recruitment tools and research results indicating whether candidates see the potential of AI or are more concerned about privacy issues.

Key words: Employee selection, recruitment and selection, selection methods and techniques, e-recruitment

JEL: M51

¹³ Politechnika Warszawska, KNEiS, Malgorzata.Schulz@pw.edu.pl

Wprowadzenie

Narzędzia oparte na zaawansowanych algorytmach AI usprawniają pracę w niemal każdej branży. Coraz silniejszą pozycję zajmuje również sztuczna inteligencja w rekrutacji pracowników. Pozwala zautomatyzować wiele procesów zachodzących w działach HR: od analizy CV przez selekcję kandydatów aż po prowadzenie rozmów z kandydatami i ich ocenę. Zaplanowane rozmowy rekrutacyjne zostały przeniesione do Internetu, a HR zaczęli wdrażać innowacyjne narzędzia wykorzystywane w procesie pozyskiwania nowych pracowników [Branowska 2021: 11]. Zmieniły się też metody szukania kandydatów. Przed pandemią rekrutacja częściej ograniczała się do poszukiwań kandydatów na określonych obszarach wyznaczonych przez lokalizację firmy. Praca zdalna otworzyła nowe możliwości i rozszerzył poszukiwania na całą Polskę [Kostyra 2020: 5]. Pandemia radykalnie zmieniła rynek pracy nie tylko pod względem struktury zatrudnienia, ale również rekrutacji i stosowanych w jej trakcie narzędzi. Wykorzystywane wówczas metody i narzędzia zostały do dnia dzisiejszego. A pandemia jedynie gwałtownie przyspieszyła proces spodziewanych na rynku zmian [Dobroszek 2021]. Coraz częściej rekrutacja nowych pracowników dokonywana była z wykorzystaniem narzędzi umożliwiających komunikację na odległość. Tradycyjną rekrutację i spotkania w biurze zastąpiły wideokonferencje i nabór całkowicie zdalny [Gryszko 2020].

1. Wpływ AI na procesy rekrutacyjne w firmie

Dobór kompetentnych pracowników jest jednym z podstawowych zadań zarządzania zasobami ludzkimi rozumianych jako zespół działań mający na celu pozyskiwanie odpowiednich ludzi do organizacji, i doprowadzenie do właściwej obsady wakujących stanowisk pracy, aby zapewnić ciągłe i sprawne funkcjonowanie organizacji [Listwan 2010: 87].

AI w rekrutacji ma za zadanie usprawnić i przyspieszyć procesy oraz przyczynić się do redukcji kosztów. Przede wszystkim pozwala na automatyzację najbardziej czasochłonnnych i powtarzalnych zadań, takich jak wstępna selekcja CV, organizacja rozmów kwalifikacyjnych czy obsługa zróżnicowanych kanałów komunikacji [Brynjolfsson, McAfee 2014: 215].

Według SmartRecruiters wartość globalnego rynku narzędzi AI w obszarach związanych z rekrutacją już teraz wynosi ponad 660 mln USD, a w 2030 roku ma przekroczyć próg 1 mld USD. Jak wynika z raportu „Future of Recruiting 2024”, aż 62% specjalistów rekrutacji podchodzi optymistycznie do wykorzystania AI w codziennej pracy, a niemal jedna trzecia korzysta z popularnych modeli. 57% z nich wskazuje, że dzięki nim pisanie ogłoszeń jest prostsze i szybsze, 45% zwraca uwagę na możliwość automatyzacji procesów, a

42% najbardziej docenia to, że narzędzia mogą zająć się realizacją powtarzalnych zadań [Otręba 2024].

Sztuczna inteligencja jest w stanie analizować duże zasoby danych w bardzo krótkim czasie. Umożliwia to szybkie przetwarzanie setek czy nawet tysięcy aplikacji w zautomatyzowany sposób. Systemy AI w HR potrafią wychwycić kluczowe informacje z CV, analizując występujące w nich frazy, ale również zająć się tworzeniem ogłoszeń o pracę – i to zarówno w formie tekstowej, jak i wideo! Coraz częściej pomagają firmom również na późniejszych etapach rekrutacji: na przykład oferują przeprowadzanie pierwszych rozmów z kandydatem, dbają o dostarczenie informacji zwrotnej, a na koniec tworzą rozbudowane podsumowania i raporty [Elevato 2019].

Największym atutem każdej organizacji są jej pracownicy. To właśnie oni decydują o sile i konkurencyjności firmy [Dweck 2006: 108-109]. Prawidłowo zorganizowana rekrutacja odgrywa kluczową rolę w pozyskiwaniu wartościowych kandydatów. W dobie nowoczesnych technologii pracodawcy mają do dyspozycji narzędzia, które usprawniają i automatyzują procesy rekrutacyjne. Jednym z takich narzędzi jest system ATS, który znacząco poprawia efektywność i organizację poszczególnych etapów rekrutacji. Jak działają systemy ATS?

System ATS (Applicant Tracking System) to zaawansowane oprogramowanie przeznaczone do zarządzania procesami rekrutacyjnymi w firmach, instytucjach państwowych oraz organizacjach pożytku publicznego [Otręba 2024]. Jego głównym celem jest optymalizacja procesów pozyskiwania kandydatów oraz redukcja kosztów związanych z rekrutacją. Wyższa skuteczność procesów rekrutacyjnych osiągana jest poprzez automatyzację zadań, które bez tego systemu musiałyby być wykonywane ręcznie.

Dzięki ATS firmy mogą szybciej i bardziej precyzyjnie zarządzać aplikacjami kandydatów. System śledzenia aplikacji umożliwia sprawne przetwarzanie dużej liczby zgłoszeń, ich sortowanie oraz filtrowanie. Dzięki temu znacząco skraca czas potrzebny na znalezienie odpowiednich osób na dane stanowisko. System do rekrutacji automatyzuje także komunikację z kandydatami, wysyłając im automatyczne potwierdzenia otrzymania aplikacji oraz informacje o etapach rekrutacji [European Commission 2020: 3].

2. Automatyzacja rekrutacji z wykorzystaniem AI

Sztuczna inteligencja w HR i rekrutacji ma za zadanie przede wszystkim automatyzować skomplikowane czynności oraz upraszczać wiele procesów rekrutacyjnych, które dotychczas były bardzo czasochłonne i wymagały zaangażowania pracowników. Oto niektóre z nich:

- wstępna selekcja kandydatów – systemy oparte na sztucznej inteligencji są w stanie w ciągu kilku sekund przeanalizować setki CV i wybrać te, które najlepiej odpowiadają wymaganiom konkretnego stanowiska. Algorytmy AI analizują nie tylko słowa kluczowe, ale również kontekst i znaczenie informacji zawartych w CV. Selekcja jest bardziej precyzyjna niż w przypadku prostego wyszukiwania słów kluczowych;
- analiza i raportowanie – dzięki danym systemy są w stanie tworzyć łatwo przyswajalne podsumowanie aplikacji i krótkie charakterystyki kandydatów zawierające najważniejsze informacje na ich temat [Kapp 2013: 219]. To kolejne duże ułatwienie w pracy rekruterów;
- umawianie rozmów kwalifikacyjnych – zaawansowane systemy kalendarzowe potrafią automatycznie proponować terminy spotkań, uwzględniając dostępność rekruterów i preferencje kandydatów. To znacząco redukuje czas poświęcany na koordynację terminów i wymianę maili;
- wstępne rozmowy kwalifikacyjne – coraz szerzej wykorzystywane są chatboty rekrutacyjne. Zasilane sztuczną inteligencją algorytmy mogą prowadzić podstawowe rozmowy z kandydatami, zadawać standardowe pytania i analizować odpowiedzi. To pozwala na wstępną weryfikację kwalifikacji i doświadczenia kandydatów, zanim zostaną oni zaproszeni na rozmowę z rekruterem;
- onboarding nowych pracowników – narzędzia mogą generować spersonalizowane plany wdrożenia, przygotowywać niezbędne dokumenty i udzielać odpowiedzi na najczęściej zadawane przez nowych pracowników pytania. To pozwala na sprawniejsze i bardziej efektywne wprowadzenie nowej osoby do firmy [Harpelund 2019: 150];
- przygotowywanie ogłoszeń – precyzyjny i profesjonalny opis stanowiska, firmy i oczekiwań pracodawcy to podstawa, ale jego przygotowanie jest bardzo pracochłonne. Narzędzia AI zasilone odpowiednimi informacjami są w stanie zautomatyzować tworzenie wysokiej jakości ogłoszeń. Algorytmy mogą analizować skuteczność różnych fraz i słów kluczowych, co pozwala na tworzenie bardziej efektywnych opisów stanowisk. Dzięki temu ogłoszenia mają większe szanse na dotarcie do odpowiednich kandydatów i zachęcenie ich do aplikowania. Następnie możliwa jest ich zautomatyzowana publikacja na popularnych portalach czy w mediach społecznościowych.

3. Jak wykorzystać analizę CV i selekcję kandydatów przez sztuczną inteligencję?

Analizowanie i porównywanie przez systemy AI CV kandydatów jest olbrzymim usprawnieniem codziennej pracy rekruterów. Narzędzia potrafią w krótkim czasie przeanalizować wiele aplikacji, wychwytywać najważniejsze informacje i porównując je z wymaganiami stanowiska. Dzięki temu rekruterzy mogą skupić się na najbardziej obiecujących kandydatach, oszczędzając czas na przeglądanie aplikacji niespełniających konkretnych kryteriów dotyczących np. doświadczenia zawodowego czy wykształcenia.

AI w analizie CV nie musi ograniczać się do wyszukiwania słów kluczowych. Zaawansowane algorytmy potrafią interpretować kontekst i znaczenie informacji zawartych w dokumentach. Dzięki temu są w stanie ocenić nie tylko formalne kwalifikacje, ale również umiejętności miękkie czy potencjał kandydata.

Sztuczna inteligencja rozwiązuje również problemy związane z oceną i hierarchizowaniem kandydatów. Przede wszystkim bazuje na obiektywnych przesłankach popartych twardymi danymi. Algorytmy nie ulegają uprzedzeniom, które mogą wpływać na decyzje ludzi. I to często nieświadomie. To z kolei sprzyja zapewnieniu równych szans wszystkim kandydatom i zmniejsza ryzyko dyskryminacji w procesie rekrutacji. AI wspomaga także proces tworzenia krótkich list kandydatów po wstępnej selekcji. Na podstawie analizy CV i porównania danych z profilem idealnego kandydata systemy mogą automatycznie generować rankingi najlepszych talentów. To znacząco ułatwia pracę rekruterów i pozwala im lepiej gospodarować czasem [Błaszczak 2021].

Przy czym pamiętać trzeba, że AI całkowicie nie zastąpi ludzkiej oceny w procesie selekcji. Sztuczna inteligencja powinna być traktowana jako narzędzie wspierające decyzje rekruterów, a nie jako jedyne kryterium wyboru kandydatów.

4. Chatboty rekrutacyjne – nowoczesne wsparcie HR

Bez wątplenia jednym z najbardziej innowacyjnych i efektywnych zastosowań AI w rekrutacji są chatboty. Te inteligentne systemy konwersacyjne potrafią za pośrednictwem czatu prowadzić wstępne rozmowy z kandydatami, odpowiadać na ich pytania i zbierać podstawowe informacje. Dzięki temu znacząco odciążają rekruterów, zwłaszcza na początkowych etapach procesu rekrutacyjnego, który zwykle jest najbardziej pracochłonny.

Jedną z głównych zalet chatbotów jest ich nieograniczona dostępność. Kandydaci mogą uzyskać odpowiedzi na swoje pytania o każdej porze dnia, co znacząco poprawia ich doświadczenie w procesie rekrutacji. Chatboty mogą

udzielać informacji o firmie, szczegółach stanowiska czy statusie aplikacji, co zmniejsza liczbę zapytań kierowanych bezpośrednio do rekruterów.

Obecnie chatboty mogą również przeprowadzać wstępne rozmowy kwalifikacyjne. Inteligentne oprogramowanie zadaje standardowe pytania i analizuje odpowiedzi kandydatów, co pozwala na wstępną weryfikację ich kwalifikacji i stopnia dopasowania do opisu stanowiska. Dzięki temu – podobnie jak w przypadku analizy CV – rekruterzy skupią się na rozmowach z najbardziej obiecującymi kandydatami [Praca.pl 2019].

Niektóre firmy obawiają się, że proces rekrutacyjny bazujący na AI będzie negatywnie oceniany przez kandydatów. Wiele zależy od umiejętności specjalistów odpowiedzialnych za jego konfigurację. Dzięki odpowiedniej wiedzy i doświadczeniu w pracy z technologią można osiągnąć świetne efekty i w pełni wykorzystać potencjał algorytmów. Sztuczna inteligencja pozwala na daleko idącą personalizację komunikacji. Systemy potrafią dostosować ton i styl rozmowy do preferencji obsługujących ich pracowników, co sprawia, że interakcja jest naturalna i przyjazna [Autor 2015: 5-9]. To może pozytywnie wpłynąć na employer branding, czyli postrzeganie firmy przez potencjalnych pracowników.

5. Badania własne

Poprzez własne badania postanowiono sprawdzić jak kandydaci do pracy oceniają proces rekrutacji i selekcji wykorzystujący narzędzia AI – i jak go oceniają w porównaniu z procesem tradycyjnym. Do badań wykorzystałam ankietę – zrealizowaną na 100 osobach (95 osób wypełniało ankietę w wersji internetowej, z 5 osobami badanie realizowane było metodą wywiadu telefonicznego).

Celem badania jest określenie stosunku kandydatów do naboru na stanowiska z wykorzystaniem sztucznej inteligencji.

Przedmiotem badań są opinie kandydatów dotyczące wykorzystania sztucznej inteligencji w procesie rekrutacji i selekcji. Badanie koncentruje się na identyfikacji postrzeganych zalet jak i obaw w procesie naboru pracowników wykorzystującym AI. Dodatkowo analiza skupia się na porównaniu reakcji kandydatów na rozmowy kwalifikacyjne prowadzone przez sztuczną inteligencję oraz przez człowieka.

Postawiono główne pytanie badawcze, które brzmiało: Jakie pozytywne i negatywne aspekty przypisują kandydaci wykorzystaniu sztucznej inteligencji w naborze na stanowisko w porównaniu z tradycyjną rekrutacją prowadzoną przez rekrutera.

Na podstawie problemu głównego wyodrębniono pytania szczegółowe, które pozwalają na jego pogłębioną analizę:

- Czy respondenci uważają, że AI może lepiej ocenić umiejętności kandydata niż rekruter? Jak uzasadniają swoje stanowisko?
- Jakie preferencje mają kandydaci jeśli chodzi o prowadzenie rozmów kwalifikacyjnych. Czy preferują rozmowy prowadzone z wykorzystaniem AI czy przez rekrutera?
- Czy kandydaci do pracy mają jakieś obawy związane z rekrutacją opartą na sztucznej inteligencji? Jeśli tak, to czego one dotyczą?

Hipoteza główna to założenie, że: Respondenci postrzegają AI jako lepsze, bardziej obiektywne narzędzie wspierające decyzję rekrutera, ale nie jako całkowity zamiennik tej oceny. Hipotezy szczegółowe:

- H1: Kandydaci do pracy uważają, że sztuczna inteligencja lepiej, bardziej obiektywnie oceni umiejętności kandydata niż rekruter-
- H2: Kandydaci do pracy preferują bardziej rozmowy kwalifikacyjne prowadzone przez rekrutera niż przez sztuczną inteligencję, ponieważ człowiek ich zdaniem lepiej zrozumie ich potrzeby zawodowe.
- H3: Kandydaci do pracy mają obawy związane z rekrutacją opartą na sztucznej inteligencji, dotyczą one ryzyka błędów technicznych możliwości niedostrzegania kompetencji miękkich kandydata i odrzucenia jego kandydatury z błędnego powodu.

W oparciu o zgromadzone dane możliwe będzie potwierdzenie bądź odrzucenie postawionych założeń badawczych.

W niniejszym badaniu zastosowano metodę sondażu diagnostycznego, która pozwala na poznanie opinii, postaw oraz przekonań badanych osób dotyczących badanego zjawiska.

Narzędziem badawczym wykorzystanym w badaniu był kwestionariusz ankiety zawierający pytania otwarte i zamknięte. Został on opracowany w oparciu o cele i problematykę badawczą dotyczącą stosunku respondentów do wykorzystania sztucznej inteligencji w procesach rekrutacji i selekcji. Pytania zamknięte umożliwiły respondentom wybór spośród wcześniej przygotowanych odpowiedzi, co ułatwiło analizę ilościową, natomiast pytania otwarte pozwoliły badanym na swobodne wyrażenie swoich opinii, uwag i doświadczeń, dając tym samym szerszy obraz ich postaw i refleksji wobec badanego zjawiska.

Grupę badawczą stanowiły osoby zróżnicowane pod względem wieku, poziomu wykształcenia oraz sytuacji zawodowej. Wśród respondentów znaleźli się zarówno aktywni zawodowo, jak i osoby pozostające bez zatrudnienia – w tym studenci, osoby poszukujące pracy oraz pracownicy różnych branż i sektorów.

W badaniu wzięło udział 100 respondentów: 49% stanowili mężczyźni, 51% kobiety, głównie ludzie młodzi w wieku 18–35 lat (73%), $\frac{3}{4}$ osób pracuje zawodowo (76%), a $\frac{1}{4}$ to osoby niepracujące (zob. Tab. 1).

Tabela 1. Wiek badanych

Wiek	Liczba osób
18–25	38
26–35	35
36–45	27
46 i więcej	–
Razem	100

Źródło: opracowanie własne.

Dominowały osoby z wykształceniem wyższym (51%) i średnim (41%) (zob. Tab. 2).

Tabela 2. Wykształcenie

Wykształcenie	Liczba osób
podstawowe	5
ZSZ	3
średnie	41
wyższe	51
Razem	100

Źródło: opracowanie własne.

Badani różnili się także stopniem znajomości i doświadczenia w kontaktach ze sztuczną inteligencją wykorzystywaną w procesach rekrutacyjnych. Niektórzy mieli bezpośrednią styczność z narzędziami AI podczas rozmów kwalifikacyjnych (np. chatboty, wideointerview analizowane automatycznie), inni natomiast opierali swoje opinie jedynie na ogólnych wyobrażeniach lub wiedzy wyniesionej z mediów.

Respondentów zapytano o to jak często brali udział w rozmowach kwalifikacyjnych (zob. Tab. 3).

Tabela 3. Częstotliwość udziału w rozmowach kwalifikacyjnych

Częstotliwość udziału w rozmowach kwalifikacyjnych	Liczba osób
od 1 do 2	30
od 3 do 4	27
w 4 i więcej	43
Razem	100

Źródło: opracowanie własne.

Dominowały osoby biorące udział w 3 i więcej rozmowach kwalifikacyjnych.

Tabela 4. Uczestnictwo w procesie rekrutacyjnym wykorzystującym sztuczną inteligencję

Uczestnictwo w procesie rekrutacyjnym wykorzystującym sztuczną inteligencję	Liczba osób
tak	43
nie	38
trudno powiedzieć	19
Razem	100

Źródło: opracowanie własne.

Przeszło 40% miało bezpośrednią styczność z narzędziami AI podczas procesu naboru do pracy, dotyczyły one m.in.: analizy CV, oceny umiejętności, wstępnej rozmowy kwalifikacyjnej, umawiania na spotkania. Pozostałe osoby takich doświadczeń nie posiadały bądź nie miały zdania na ten temat (zob. Tab. 4).

W ankiecie pytano również o to, czy badani dostrzegają korzyści dla siebie i pracodawców z zastosowania narzędzi AI w procesie rekrutacji i selekcji (zob. Tab. 5).

Tabela 5. Korzyści dla kandydatów do pracy i pracodawców w wyniku zastosowania AI w procesie rekrutacji i selekcji

Czy uważa Pan/i, że wykorzystanie AI w rekrutacji jest korzystne dla:		
	kandydatów do pracy	pracodawcy
tak	54	57
nie	46	24
Razem	100	100

Źródło: opracowanie własne.

Aż 46% badanych uważa, że wykorzystanie AI w rekrutacji i selekcji jest niekorzystne dla kandydatów i tylko ¼, że dla pracodawców (tj. 2-krotnie rzadziej).

Kolejne pytanie badawcze brzmiało: Czy respondenci uważają, że AI może lepiej ocenić umiejętności kandydata niż rekruter?

- tak – 35%,
- nie – 65%.

Tylko nieco ponad 1/3 badanych (35%) jest zdania, że AI może lepiej ocenić umiejętności kandydata do pracy niż człowiek. Pozostałe 65%, a więc zdecydowana większość twierdzi, że rekruter.

Jak uzasadniają swą opinię osoby, które preferują prowadzenie rekrutacji i selekcji przez AI? Cytując „Sztuczna inteligencja nie kieruje się emocjami ani uprzedzeniami, co pozwala na bardziej sprawiedliwą ocenę kandydatów; Ma

większy zasób informacji przez co może lepiej ocenić wiedzę i kompetencje potencjalnego pracownika; Analiza dużych ilości danych takich jak CV, wyniki różnych testów – w kilka sekund; AI analizuje nie tylko umiejętności ale też profil danego stanowiska i przewiduje rozwój i sukces na danym stanowisku; AI dostrzeże więcej niż rekruter, zrobi większy przesiew kandydatów”.

Jak uzasadniają swą opinię ci respondenci, którzy preferują prowadzenie rekrutacji i selekcji przez specjalistów HR? Cytując: „AI może nie zrozumieć moich życiowych wyborów, przerw w pracy czy zmiany branży tak jak człowiek; Tradycyjny rekruter może zadawać więcej pytań, może dostrzec więcej niż sztuczna inteligencja; Problemy z rozpoznaniem pasji czy zaangażowania; Brak kontaktu osobistego, brak empatii; Kandydaci są w stanie optymalizować swoje CV pod dane algorytmy, które nie są prawdą; Sztuczna inteligencja za bardzo podchodzi 0/1 do kandydatów...”.

Hipoteza 1 mówiąca o tym, że: Kandydaci do pracy uważają, że sztuczna inteligencja lepiej, bardziej obiektywnie oceni umiejętności kandydata niż rekruter, nie została potwierdzona.

Kolejne pytanie badawcze brzmiało: Jakie preferencje mają kandydaci jeśli chodzi o prowadzenie rozmów kwalifikacyjnych. Czy preferują rozmowy prowadzone z wykorzystaniem AI czy „twarzą w twarz” przez rekrutera?

- przez rekrutera „twarzą w twarz” – 79%,
- z wykorzystaniem AI – 21%.

Zdecydowana większość badanych bo prawie 80% preferuje rozmowy kwalifikacyjne prowadzone przez rekrutera uzasadniając to następująco: „Jestem w stanie przekazać więcej pozatechnicznych aspektów w cztery oczy, aspektów, które są trudne do wyłapania przez obecne modele; Ponieważ tradycyjny rekruter może dostrzec nieoszlifowany potencjał, który trzeba trochę dopracować i będzie z tego wspaniały pracownik; Myślę, że tradycyjny rekruter jest w stanie bardziej zrozumieć moje potrzeby zawodowe; Lepsze poznanie osoby, można ocenić mowę ciała, ton głosu i ogólną prezentację kandydata; Bezpośredni kontakt, który sprzyja zaufaniu i otwartości; Indywidualne podejście do każdego kandydata; Kandydaci czują się bardziej docenieni jak mogą porozmawiać z człowiekiem, mają poczucie zainteresowania ich osobą; Możliwość obejrzenia biura i miejsca w którym chciałbym pracować; Chyba przez przyzwyczajenie do takiej formy rekrutacji; Podczas rozmowy twarzą w twarz mam możliwość dyskusji na temat wynagrodzeń albo warunków pracy i moich potrzeb indywidualnych; Powinno to być zrównoważone i nie opierać się tylko na rozmowie twarzą w twarz albo tylko z AI”.

Tylko co 5. respondent (21%) uznaje za zasadne prowadzenie rozmowy kwalifikacyjnej z wykorzystaniem AI. Argumentują to następująco: „Sztuczna inteligencja może przesortować setki CV w kilka sekund; AI może obsłużyć

tysiące kandydatów bez zwiększania zespołu HR; Kandydaci szybciej dostają informacje zwrotne”.

Hipoteza 2: Kandydaci do pracy preferują bardziej rozmowy kwalifikacyjne prowadzone przez rekrutera niż przez sztuczną inteligencję, ponieważ człowiek ich zdaniem lepiej zrozumie ich potrzeby zawodowe została pozytywnie zweryfikowana.

Kolejne pytanie badawcze brzmiało: Czy kandydaci do pracy mają jakieś obawy związane z rekrutacją opartą na sztucznej inteligencji? Jeśli tak, to czego one dotyczą.

- tak – 65%,
- nie – 35%.

Większość badanych (65%) zgłasza obawy dotyczące wykorzystania AI w procesie rekrutacji. Tylko co trzeci respondent obaw takich nie posiada (35%).

Jakie obawy zgłaszają? Cytując: „Czy AI dostrzeże wszystkie moje predyspozycje na stanowisko; Błędna ocena kwalifikacji a w konsekwencji odrzucenie; Brak przejrzystości decyzji, kandydaci i rekruterzy często nie wiedzą dlaczego AI odrzuciło daną osobę; Osoby z nietypowym doświadczeniem mogą być niesłusznie zdyskwalifikowane; Niedostrzeganie kompetencji miękkich; Ryzyko błędów technicznych; Brak ludzkiego kontaktu; Firmy polegające wyłącznie na AI mogą być postrzegane jako odhumanizowane”.

Hipoteza 3 o treści: Kandydaci do pracy mają obawy związane z rekrutacją opartą na sztucznej inteligencji, dotyczą one ryzyka błędów technicznych, możliwości niedostrzegania kompetencji miękkich kandydata i odrzucenia jego kandydatury z błahego powodu została potwierdzona.

Wnioski

Wpływ sztucznej inteligencji na rynek pracy jest już faktem.

- Kandydaci dostrzegają szanse płynące z zastosowania sztucznej inteligencji tam, gdzie może ona w procesie rekrutacyjnym wspierać człowieka, a nie zastępować go zupełnie.
- AI ich zdaniem to cenne narzędzie w procesie weryfikacji kandydatów do pracy, które skraca czas trwania wielu procesów, ponieważ usprawnia analizę danych. Niemniej jednak jej brak zdolności do subiektywnej oceny miękkich kompetencji oraz brak zrozumienia kontekstu społecznego sprawiają, że człowiek jest w tym procesie niezastąpiony.
- Według respondentów powierzenie zbyt wielu czynności narzędziom AI nosi znamiona odhumanizowania procesu rekrutacji.
- Udział człowieka w tym procesie kandydaci odbierają jako wyraz szacunku dla siebie. Ponadto tworzy specyficzną więź między kandydatem

a przyszłym pracodawcą. Wymaga to oprócz większych niż dotychczas kompetencji cyfrowych pracowników HR, wyważenia proporcji między wykorzystaniem narzędzi AI a działaniem specjalistów HR

- Bardzo ważna jest również kwestia transparentności procesów, które bazują na sztucznej inteligencji. Kandydaci powinni mieć możliwość zrozumienia, jak ich aplikacje są oceniane i na jakiej podstawie podejmowane są decyzje bez względu na to, czy odpowiada za to człowiek, czy komputer. Wiedzy takiej nie posiadają.
- Innym rodzajem ryzyka zgłaszanym przez kandydatów, na który służby personalne mają pełen wpływ, jest nadmierne poleganie na AI w procesie rekrutacji. Choć sztuczna inteligencja jest potężnym narzędziem nie powinna całkowicie zastępować ludzkiej oceny. Ważne jest zachowanie równowagi między automatyzacją a ludzkim osądem w procesie rekrutacji.

Bibliografia

Autor D.H. (2015), Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation, *Journal of Economic Perspectives*, 29(3).

Błaszczak A. (2021), Sztuczna inteligencja coraz częściej wybiera kandydatów do pracy, <https://www.rp.pl/poszukiwanie-pracy/art8672891-sztuczna-inteligencja-co-raz-czesciej-wybiera-kandydatow-do-pracy>.

Branowska A. (2021), Proces doboru pracowników w przedsiębiorstwach – przegląd nowoczesnych i tradycyjnych metod selekcji, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, 8.

Brynjolfsson E., McAfee A. (2014), *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*, W.W. Norton & Company, New York.

Dobroszek K. (2021), Najważniejsze trendy w rekrutacji w 2021 roku, <https://my-companypolska.pl/arttykul/najwazniejszy-trendy-w-rekrutacji-w-2021-roku-wazny-nie-tylko-online/5772>.

Dweck C.S. (2006), *Mindset: The New Psychology of Success*, Random House, New York.

Elevato (2019), Sztuczna inteligencja w rekrutacji – jak AI usprawnia procesy?, <https://www.elevatosoftware.com/blog/sztuczna-inteligencja-w-rekrutacji/>.

European Commission (2020), *A New Skills Agenda for Europe*, European Commission, Brussels.

Gryszko B. (2020), Narzędzia HR, które usprawnią Twój proces rekrutacji, <https://workate.pl/blog/narzedzia-hr-ktore-usprawnia-twoj-proces-rekrutacji/>.

Harpelund Ch. (2019), *Onboarding: Getting New Hires off to a Flying Start* Hardcover, Emerald Group Pub, Leeds.

Kapp K. (2013), The gamification of learning and instruction fieldbook: Ideas into practice, Wiley, New York.

Kostyra K. (2021), Nowoczesna rekrutacja. Co się zmieniło w czasie pandemii?, <https://teamowi.pl/dobra-rekrutacja/nowoczesna-rekrutacja-co-sie-zmienilo-w-czasie-pan-demii/>.

Listwan T. (2010), Zarządzanie kadrami, C.H.BECK, Warszawa.

Otręba A. (2025), Czym jest i jak działa system ATS? Odpowiadamy!, <https://erecruiter.pl/blog/czym-jest-i-jak-dziala-system-ats-odpowiadamy/>.

Praca.pl (2019), Chatboty w rekrutacji – rola i znaczenie, https://www.praca.pl/po-radniki/rynek-pracy/chatboty-w-rekrutacji-rola-i-znaczenie_pr-549.html.

Część IV.

**Marketing i zachowania
konsumenckie**

Rozdział XI.

EWOLUCJA TRENDÓW MARKETINGOWYCH W MEDIACH SPOŁECZNOŚCIOWYCH NA PRZYKŁADZIE PLATFORMY INSTAGRAM (META)

Krzysztof Buczkowski ¹⁴

Streszczenie

Globalna sieć informacyjna, jaką niewątpliwie jest Internet stanowi już stały element życia społeczno-gospodarczego. W warstwie społecznej wpływa na relacje międzyludzkie, a w obszarze gospodarki, umożliwia nie tylko penetrację rynków, ale także kreuje efektywność operacyjną poprzez innowacje rynku finansowego. Analizując współczesny Internet, należy dostrzec dominującą rolę mediów społecznościowych, wśród których jedną z kluczowych pozycji zajmuje aplikacja Instagram, uznawana za najbardziej stabilną i perspektywiczną platformę marketingową. Instagram służy zarówno do procesów komunikacji, jak i aktywnej promocji. Celem niniejszego rozdziału jest przybliżenie rysu historycznego oraz bieżących trendów zmian w korzystaniu z tego narzędzia, jako instrumentu komunikacji marketingowej. Rozdział zawiera wyniki badań własnych oraz studiów literaturowych.

Słowa kluczowe: Internet, media społecznościowe, Instagram, marketing

Summary

The global information network, which the Internet undoubtedly is, is already a permanent element of socio-economic life. In the social layer, it affects interpersonal relations, and in the area of the economy, it enables not only market penetration, but also creates operational efficiency through financial market innovations. When analyzing the contemporary Internet, one should notice the dominant role of social media, among which one of the key positions is occupied by the Instagram application, considered the most stable and promising marketing platform. Instagram is used both for communication processes and active promotion (marketing process). The aim of this chapter is to present a historical outline and current trends of changes in the use of this tool as an instrument of marketing communication. The chapter contains the results of own research and literature studies.

Keywords: Internet, social media, Instagram, marketing

JEL: M31, M37, M15

¹⁴ Politechnika Warszawska, KNEiS, krzysztof@buczkowski.eu

Wprowadzenie

Internet i funkcjonujące w jego ramach media społecznościowe odgrywają kluczową rolę w gospodarce oraz życiu społecznym XXI wieku. Szczególnie ostatnia dekada (2015-2024) wiąże się z wyjątkowo dynamicznym rozwojem platform internetowych oferujących swoim użytkownikom wieloaspektowe interakcje i możliwości różnorodnej aktywności. Pomimo, że na rynku, czyli w warstwie cyfrowej, dostępnych jest wiele podobnych produktów – serwisów społecznościowych, to jednak dominującą pozycję można przypisać tylko kilku z nich. Odnosząc się do corocznej publikacji Datareportal (we współpracy z We Are Social oraz Meltwater) i zaprezentowanego w lutym 2025 roku globalnego Raportu Digital 2025 Global Overview, dotyczącego mediów społecznościowych oraz trendów cyfrowych na świecie, możemy wskazać pięć najczęściej pobieranych w 2024 roku aplikacji społecznościowych: TikTok, Instagram, WhatsApp, Facebook, Threads [Digital 2025: 118].

Pomimo, że Instagram ustępuje TiKTokowi pod względem pobrań i spędzonego przez użytkowników czasu, to jednak biznesowo wskazywany jest jako najbardziej stabilny i perspektywiczny, co sprawia, że zasadnym jest omówienie dominujących i prognozowanych trendów marketingowych dotyczących tej właśnie platformy społecznościowej.

1. Społeczeństwo informacyjne i nowa gospodarka

Internet jako kwintesencja wielopłaszczyznowej i wielokanałowej dystrybucji informacji oraz wielostronnej komunikacji zmienił zasady prowadzenia działalności gospodarczej, ale także wpłynął na relacje międzyludzkie, tym samym kształtuje od kilku dekad społeczeństwo informacyjne. Żyjąc w roku 2025 możemy na własnej skórze weryfikować większość zapowiedzi z drugiej połowy XX wieku, gdy ludzie świata nauki i publicyści pioniersko definiowali nowy typ społeczeństwa, czyli wspomniane społeczeństwo informacyjne.

Zgodnie z dostępnymi źródłami, termin „społeczeństwo informacyjne” (jap. johoka shakai) pierwotnie pojawił się w artykule Japończyka Tadao Umesamo w roku 1963, opisującym ewolucję społeczeństwa opartego na technologiach informatycznych, a następnie jego rodak Kenichi Koya w 1968 roku wykorzystał w swoich rozważaniach pt. Wprowadzenie do teorii informacji [Buregwa-Czuma, Garwol 2011: 31]. Z kolei Unia Europejska, która ma ambicje być na bieżąco z trendami w każdej dziedzinie życia, opublikowała w 1994 Raport pt. „Europa a społeczeństwo globalnej informacji – zalecenia dla Rady Europejskiej (ang. Europe and the Global Information Society: Recommendations to the European Council), który potocznie określano raportem Bangemanna - od nazwiska komisarza UE Martina Bangemanna, co w znacznym stopniu

spopularyzowało pojęcie społeczeństwa informacyjnego i zapoczątkowało kolejne działania w cyfrowych obszarach [Bangemann 1994].

Gdy badamy polskie ślady nowego typu społeczeństwa, musimy wspomnieć o przygotowanym w roku 1996 roku przez Krajową Radę Radiofonii i Telewizji raporcie „Społeczeństwo informacyjne w Polsce”, który mówi, że: „społeczeństwo staje się informacyjnym, gdy osiąga stopień rozwoju oraz skali i skomplikowania procesów społecznych i gospodarczych wymagający zastosowania nowych technik gromadzenia, przetwarzania, przekazywania i użytkowania olbrzymiej masy informacji generowanej przez owe procesy.” Inne ujęcie znajdziemy w dość pionierskim, jak na owe czasy, dokumencie strategicznym: „ePolska – Plan działań na rzecz rozwoju społeczeństwa informacyjnego w Polsce na lata 2001–2006.” We wspomnianym opracowaniu społeczeństwem informacyjnym nazwano nowy system społeczny, który kształtuje się w krajach o wysokim stopniu rozwoju technologicznego, gdzie podstawowymi czynnikami konkurencyjności w przemyśle i w usługach jest zarządzanie informacją, jej jakość i szybkość przepływu. Stopień rozwoju wymaga zaś stosowania nowych technik gromadzenia, przetwarzania, przekazywania i użytkowania informacji [Buregwa-Czuma, Garwol 2011: 33].

Skalę wpływu szeroko rozumianego Internetu na życie społeczno-gospodarcze najpełniej oddają oczywiście liczby. Należy zaznaczyć, że zgodnie z danymi Raportu Digital 2025 Global Overview w lutym 2025 roku liczba unikalnych abonentów telefonów komórkowych wynosiła 5,78 mld, co stanowi 70,5% całkowitej populacji świata (8,2 mld). Liczba unikalnych abonentów telefonii komórkowej wzrosła o 112 milionów w ciągu ostatnich 12 miesięcy, co oznacza wzrost rok do roku o 2 % . Te same źródło wskazuje, że smartfony stanowią obecnie prawie 87% telefonów komórkowych używanych na całym świecie, co automatycznie sugeruje, korzystanie z połączenia z Internetem. Potwierdzają to kolejne statystyki, otóż na początku 2025 roku, aż 5,56 miliarda ludzi korzystało z Internetu, co daje wskaźnik penetracji na poziomie 67,9%. Liczba użytkowników Internetu zwiększyła się o 136 milionów (+2,5%) w ciągu 2024 roku.

Inną kluczową informacją jest ta dotycząca tożsamości użytkowników mediów społecznościowych w ujęciu globalnym, stan na luty 2025 wskazuje 5,24 miliarda, co stanowi 63,9% wszystkich ludzi na Ziemi. Liczba ta wzrosła o 4,1% w ciągu ostatnich 12 miesięcy, dzięki dodatkowym 206 milionom nowych tożsamości użytkowników [Digital 2025: 10]. Zatem, nawet przy założeniu, że niektórzy z użytkowników sieci posiadają po kilka tożsamości, to i tak robi ona wrażenie i potwierdza słuszność tezy, że współcześnie aktywność marketingowa podmiotów gospodarczych musi uwzględniać obecność w Internecie, ze szczególnym uwzględnieniem mediów społecznościowych.

2. Media społecznościowe i komunikacja w biznesie

Media społecznościowe stały się nieodłącznym elementem codziennego życia. Korzystają z nich wszystkie grupy wiekowe, a różni je głównie czas przeznaczany na tę aktywność - najintensywniej i najdłużej w ciągu dnia korzystają z nich najmłodsze pokolenia. Zgodnie z danymi pochodzącymi z raportu „Polski internet w Q4 2024 roku”, w IV kwartale 2024 r. przeciętny polski internauta spędził w internecie średnio 3 godziny i 35 minut każdego dnia, z czego na smartfonie (telefonie komórkowym) 2 godziny i 49 minut, co potwierdza tezę, że jest to najpopularniejszy sposób łączenia z globalną siecią. Średnio dziennie najwięcej czasu w internecie spędzali najmłodsi internauci, a szczególnie osoby z pokolenia Z, czyli urodzone w przedziale czasowym 1995-2010, które poświęcały na aktywności online aż 4 godziny i 12 minut [PBI 2024: 9].

Zgodnie z ujęciem teoretycznym, media społecznościowe umożliwiają utrzymywanie kontaktów, dzielenie się informacjami oraz uczestnictwo w życiu społecznym na niespotykaną dotąd skalę, oczywiście w wymiarze wirtualnym. Jednak ocena tego zjawiska jest niejednoznaczna. Z jednej strony, przemyślane korzystanie z mediów społecznościowych może pozytywnie wpływać na różnorodność oferty rozrywkowej, tym samym pobudzać kreatywność, pomagać w podtrzymywaniu relacji i rozszerzaniu horyzontów. Niestety z drugiej strony silnie uzależnia, przywiązuje do tej formy spędzania czasu i tym samym wpływa negatywnie na dobrostan psychiczny coraz większej liczby, zwłaszcza młodych, użytkowników. W mojej opinii powyższe stwierdzenia winny być punktem wyjścia do każdej tworzonej strategii marketingowej produktu lub podmiotu, co sprawi, że do wielu uznanych zasad marketingu etycznego, dodamy kolejną regułę: zrównoważonego korzystania z innowacji technologicznych (uwzględniające także coraz doskonalsze modele językowe i algorytmy sztucznej inteligencji). Warto przypomnieć, że etyczny marketing to pojęcie, które ewoluowało na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci, a prekursorami dyskusji byli tacy eksperci od marketingu jak Philip Kotler, który rozwijał koncepcję społecznej odpowiedzialności marketingu, czyli dobro społeczeństwa stawiane na równi z zyskiem [Social Marketing 1971: 3-12], a także klasyk nowoczesnego zarządzania Peter Drucker, który już w połowie XX wieku pisał, że firmy muszą działać w sposób odpowiedzialny.

Etyczny marketing zakłada promocję produktów i usług, opartą na uczciwości, przejrzystości i odpowiedzialności społecznej. Obejmuje on nie tylko zgodność z prawem, ale także uwzględnianie wpływu działań marketingowych na społeczeństwo, środowisko i dobrostan konsumentów. Według Amerykańskiego Stowarzyszenia Marketingu (AMA), etyczny

marketing wymaga „uczciwego przedstawiania informacji, unikania manipulacji i szanowania prywatności odbiorców” [AMA 2021].

W każdym procesie marketingowym kluczowa jest komunikacja, czyli przekazywanie informacji o produkcie lub usłudze oraz oddziaływanie na potrzeby nabywców. Pierwotnie tak działania określano mianem promowania, ale współcześnie powszechne jest definiowanie zintegrowanej komunikacji marketingowej jako dialog podmiotu z otoczeniem [Taranko 2018: 17-19].

3. Bieżące trendy marketingowe w mediach społecznościowych

Jak wspomniano na wstępie, globalna sieć internetowa i dostępne w niej różne funkcjonalności informacyjno-komunikacyjne stanowią fundament dla większości aktywności społeczno-gospodarczych. Tym samym niezwykle popularne media społecznościowe odgrywają kluczową rolę w strategiach marketingowych organizacji na całym świecie. W pierwszej kolejności podejmiemy próbę odniesienia się do ogólnych trendów obserwowanych w mediach społecznościowych, które są efektem zarówno popularyzacji nowych technologii jak i powiązanych z nimi zmian sposobów korzystania z sieci Internet, czyli codziennych tzw. cyfrowych nawyków użytkowników.

W środowisku branżowym coraz częściej wskazuje się na dużą dynamikę ewolucji mediów społecznościowych, w których pierwotna funkcja społeczna, czyli tworzenie przestrzeni umożliwiającej komunikację międzyludzką i tworzenie więzi, nawet tych wirtualnych, ustępuje miejsca funkcjonalności umożliwiającej w pierwszej kolejności konsumpcję treści. Projektem, który znacząco się do tego przyczynił był niewątpliwie TikTok, który niejako wymusił zmiany na innych platformach, czyli Instagramie i Facebooku – np. poprzez dodanie rolek (krótkich filmów) i promowanie wykorzystywania treści video. Ponadto użytkownicy Internetu, zwłaszcza młode pokolenia, traktują dany serwis społecznościowy jako bazę do wyszukiwania produktów i usług, kosztem popularności tradycyjnych wyszukiwarek.

W roku 2024 ugruntowała się nowa tendencja w sposobie wyszukiwania informacji w sieci Internet, która będzie przybierać na sile w kolejnych latach. Coraz większa liczba użytkowników korzysta z narzędzi wspieranych przez sztuczną inteligencję (AI), takich jak ChatGPT czy DeepSeek, oraz wyszukiwarek wbudowanych w platformy społecznościowe (TikTok czy Instagram). Ponadto bardzo wygodne stało się wyszukiwanie głosowe przy wykorzystaniu asystentów takich jak Google Assistant. To wszystko sprawia, że wychodząc naprzeciw oczekiwaniom klientów należy tworzyć treści w formie pakietów zawierających paletę potencjalnych pytań i gotowych odpowiedzi, które będą przyjazne dla algorytmów AI i wyszukiwarek głosowych. Powyższe

sprawi, że spełnione zostaną oczekiwania klientów, którzy wymagają natychmiastowych odpowiedzi i bardzo niechętnie klikają w kolejne odsyłacze (linki), by znaleźć więcej informacji. Oferowane użytkownikom treści powinny być kompletne i dostarczać wartość już na źródłowej platformie społecznościowej. Wykorzystanie zaawansowanych modeli językowych (AI) w procesie tworzenia zawartości rozpowszechnianej także przez media społecznościowe umożliwia operowanie w ramach tzw. wirtualnego marketingu personalizowanego (Account-Based Marketing (ABM) daje możliwość przygotowania precyzyjnych komunikatów do wyodrębnionych, bardzo wąskich grup odbiorców).

4. Ewolucja i trendy na Instagramie

Wśród mediów społecznościowych, Instagram wyróżnia się dynamicznym rozwojem i innowacyjnymi rozwiązaniami, które zmieniają sposób, w jaki marki komunikują się z odbiorcami. W ciągu ostatnich lat platforma ta stała się nie tylko miejscem do dzielenia się zdjęciami przez miłośników fotografowania, którzy często konwertowali swoje zdjęcia przy użyciu dostępnych filtrów, ale również potężnym narzędziem marketingowym, które wpływa na decyzje zakupowe konsumentów – zarówno wykorzystując tradycyjny format reklamowy (także poprzez konta firmowe) jak i współpracę z popularnymi użytkownikami tej platformy (kontami, które zgromadziły znaczną liczbę obserwatorów, influencer – osoba posiadająca wpływy - zasięgi w danym medium społecznościowym). Należy wspomnieć, że aplikacja, która powstała w 2010 początkowo dedykowana była tylko użytkownikom telefonów marki iPhone oraz nie posiadała interfejsu na komputery stacjonarne, a reklamy pojawiły się dopiero w 2013 roku [Britanica 2025].

W kolejnych latach Instagram był systematycznie modyfikowany. Jedną z najważniejszych zmian było dodanie możliwości umieszczania materiałów wideo oraz tzw. Insta Stories, czyli publikowanie materiałów dostępnych tylko przez określony czas (24 godziny). W 2012 roku Instagram został wykupiony przez Facebooka, jednak nadal funkcjonuje jako odrębna usługa w ramach pakietu mediów posiadanych przez koncern Meta, pomimo, że dodano pewne elementy wspólne, takie jak logowanie czy zarządzanie kontem [Czarnota 2017: 130-139].

Z początkiem 2025 roku platforma Instagram wdrożyła kilka modyfikacji w swoim interfejsie i funkcjonalnościach. Jedną z istotniejszych jest zmiana układu siatki profilu, polegająca na zastąpieniu dotychczasowych kwadratowych miniatur postów formatem pionowym w proporcjach 4:5. Kolejną istotną modyfikacją jest wydłużenie maksymalnego czasu trwania materiałów w

formacie tzw. Rolek video (ang. Reels) do trzech minut. Jak argumentowali przedstawiciele Instagrama, wspomniana modyfikacja układu siatki profilu jest reakcją na dominujące obecnie na platformie wykorzystanie głównie formatu pionowego, szczególnie popularnego w przypadku wspomnianych rolek.

W dalszej części rozdziału zostaną przybliżone bieżące trendy marketingowe dotyczące platformy Instagram oraz próba oceny ich siły oddziaływania na użytkowników.

4.1. Dominacja treści wideo

Branżowe analizy, w tym np. Content Marketing Institute potwierdzają, że jednym z najważniejszych trendów na Instagramie jest rosnąca popularność treści wideo, ponieważ filmy krótkometrażowe, takie jak rolki (reels), generują większe zaangażowanie niż tradycyjne posty zdjęciowe. W związku z powyższym wiodące marki i popularni twórcy internetowi coraz częściej inwestują w tworzenie kreatywnych i angażujących materiałów wideo, które przyciągają uwagę użytkowników. Po wnikliwych obserwacjach konkurencji, w tym głównie branżowego lidera, czyli TikToka, ocenia się, że Instagramowe Rolki, wprowadzone w 2020 roku, stały się jednym z najskuteczniejszych narzędzi do promocji produktów i usług w ramach tej aplikacji [CMI 2025].

4.2. Marketing wpływu (Influencer Marketing)

Kolejnym ważnym i co ważne utrzymującym swoje duże znaczenie, trendem na Instagramie jest współpraca z influencerami, czyli osobami zarządzającymi kontami mającymi znaczne grono obserwujących. Badanie przeprowadzone przez Influencer Marketing Hub wskazuje, że 67% marketerów uważa, że kampanie z udziałem influencerów są skuteczniejsze niż tradycyjne reklamy. Warto również dodać, że mikroinfluencerzy, czyli osoby z mniejszą, ale bardziej zaangażowaną publicznością, zyskują na popularności, ponieważ ich rekomendacje są postrzegane jako bardziej autentyczne. Oczywiście koszty działań promocyjnych z wykorzystaniem wizerunku i kont znanych osób zależą od generowanych przez nich zasięgów [IMH 2023].

4.3. Personalizacja i interakcja z odbiorcami

Instagram umożliwia markom personalizację treści w oparciu o preferencje użytkowników. Narzędzia takie jak ankiety, konkursy, quizy i pytania w Stories pozwalają na bezpośrednią interakcję z odbiorcami. Według raportu Sprout Social, 64% konsumentów oczekuje, że marki będą z nimi współpracować i odpowiadać na ich potrzeby w czasie rzeczywistym. Personalizacja treści i szybkie reagowanie na komentarze czy wiadomości prywatne stały się kluczowe w budowaniu lojalności klientów [SSocial 2023].

4.4. E-commerce w mediach społecznościowych

Instagram intensywnie rozwija funkcje e-commerce, takie jak Instagram Shopping i tagowanie produktów w postach. Według danych eMarketer, w 2023 roku ponad 40% użytkowników Instagrama dokonało zakupu bezpośrednio przez platformę. Ta funkcjonalność pozwala markom na bezpośrednią sprzedaż produktów, co skraca ścieżkę zakupową i zwiększa konwersję [eMarketer 2023].

4.5. Zrównoważony marketing i społeczna odpowiedzialność

Konsumenci coraz częściej zwracają uwagę na wartości, które reprezentują marki. Instagram stał się platformą, na której firmy mogą promować swoje działania w zakresie zrównoważonego rozwoju i społecznej odpowiedzialności. Według badania Nielsen, 66% konsumentów jest skłonnych zapłacić więcej za produkty marek, które angażują się w inicjatywy prośrodowiskowe. Marki wykorzystują Instagram, aby pokazać swoje zaangażowanie w ważne kwestie społeczne i ekologiczne [Nielsen 2023].

Wnioski

Instagram, jako jedna z najważniejszych i najbardziej popularnych platform społecznościowych odgrywa jedną z ważniejszych ról w świecie marketingu cyfrowego. Jego rosnące znaczenie w strategiach promocyjnych marek nie wynika jedynie ze znaczącej liczby użytkowników, ale przede wszystkim z jego zdolności do szybkiego przystosowywania się do zmieniających się trendów oraz potrzeb odbiorców. Wspomniana elastyczność i dynamika sprawiają, że firmy pragnące wykorzystać to narzędzie w swych strategiach marketingowych (marki) muszą być szczególnie czujne i gotowe na stałe modyfikowanie swoich działań w obszarze promocji, aby utrzymać zaangażowanie klientów i dotrzeć do nowych grup docelowych.

Analizując raporty podmiotów zajmujących się monitorowaniem mediów (przywołane w treści niniejszego opracowania) należy wyróżnić kilka kluczowych zjawisk, które współcześnie wyznaczają kierunek rozwoju marketingu na Instagramie. Największy potencjał rozwoju wykazują treści wideo, szczególnie w formie krótkich i dynamicznych rolek video (reels), które stały się nieodzownym elementem komunikacji marek, oferując autentyczność i natychmiastowe zaangażowanie użytkowników. Niejako równolegle rozwija się marketing wpływu, czyli współpraca z twórcami internetowymi, która nie tylko zwiększa zasięgi, ale również pozwala budować zaufanie wśród odbiorców poszukujących rekomendacji od osób, którym ufają. Coraz większy nacisk kładzie się także na personalizację przekazu – dopasowanie treści do

indywidualnych preferencji użytkownika staje się standardem, a nie wyróżnikiem.

Platforma Instagram intensywnie rozwija także funkcje e-commerce, przekształcając się w przestrzeń, gdzie użytkownicy nie tylko konsumują treści, ale i podejmują decyzje zakupowe. Możliwość robienia zakupów bezpośrednio z poziomu aplikacji znacząco skraca drogę od inspiracji do zakupu. Jednocześnie coraz ważniejszą rolę odgrywa zrównoważony marketing – użytkownicy oczekują, że marki będą podejmować działania na rzecz środowiska i społeczeństwa, a Instagram stanowi idealne miejsce do komunikowania tych wartości.

Powyższe wnioski dla firm oznaczają jedno: aby utrzymać konkurencyjność w dynamicznie zmieniającym się cyfrowym świecie, niezbędne jest stałe monitorowanie trendów oraz szybkie i świadome dostosowywanie się do nowych realiów. Tylko te marki, które potrafią skutecznie reagować na oczekiwania swoich odbiorców i wykorzystywać potencjał nowoczesnych narzędzi, będą w stanie zbudować trwałą i angażującą obecność w popularnych mediach społecznościowych, w tym także na Instagramie.

Bibliografia

American Marketing Association (1987), Statement of Ethics, <https://www.ama.org/ama-statement-of-ethics>.

Buregwa-Czuma S., Garwol K. (2011), Definicje, właściwości i funkcje społeczeństwa informacyjnego, Dydaktyka informatyki 6/2011.

Content Marketing Institute (2025), <https://contentmarketinginstitute.com>.

Czarnota P. (2017), Wykorzystanie portalu społecznościowego Instagram w działaniach promocyjnych przedsiębiorstw, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej Zarządzanie, 5(1).

Digital 2025 Global Overview (2025), <https://datareportal.com/reports/digital-2025-global-overview-report>.

eMarketer (2023), Social Commerce Trends 2023, <https://www.emarketer.com/content/social-commerce-forecast-2023>.

Encyklopedia Britannica (2025), <https://www.britannica.com/money/Instagram>.

Europe and the Global Information Society (1994), Recommendations to the European Council: Conference G7 - Raport BANGEMANN, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/44dad16a-937d-4cb3-be07-0022197d9459/language-en>.

Influencer Marketing Hub (2023), Influencer Marketing Benchmark Report 2023, <https://influencermarketinghub.com>.

Kotler P., Zaltman G. (1971), Social marketing: An approach to planned social change, Journal of Marketing, 35(3).

Nielsen (2023), Global Sustainability Report 2023, https://rohde-nielsen.com/wp-content/uploads/2024/06/RN_Sustainability_report_2023_Spread.pdf.

Polski internet w Q4 2024 roku (2024), https://pbi.org.pl/wp-content/uploads/2025/01/PBI_RAPORT_Polski-internet-Q4-2024-1.pdf.

Sprout Social (2023), 2023 Social Media Trends Report, <https://sproutsocial.com/insights/data/harris-insights-report-2023>.

Taranko T. (2018), Komunikacja marketingowa. Istota, uwarunkowania, efekty, Warszawa.

Rozdział XII.

MIARODAJNOŚĆ WYKRYWANIA POLARYZACJI W DANYCH TEKSTOWYCH

*Michał Gulewicz*¹⁵

Streszczenie

Rozdział omawia wpływ internetu na komunikację oraz rozwój narzędzi wspomagających badania ekspresji emocji w cyberprzestrzeni. Wskazano na złożoność przetwarzania języka naturalnego oraz na znaczenie automatyzacji w identyfikacji emocji. Celem badania jest określenie miarodajności wykrywania polaryzacji w kontekście automatyzacji analiz danych tekstowych. Przyjęto hipotezę, że wypowiedzi związane z wysokimi ocenami będą miały pozytywną wartość polaryzacji, podczas gdy te z niskimi ocenami – negatywną. Ogólnie, wyniki potwierdzają tę hipotezę.

Słowa kluczowe: text mining, analiza sentymentu, przetwarzanie języka naturalnego, informatyka afektywna, ekonomia emocji, wykrywanie polaryzacji.

Summary

The chapter discusses the impact of the internet on communication and the development of tools that support the study of emotional expression in cyberspace. It highlights the complexity of natural language processing and the importance of automation in identifying emotions. The aim of the study is to determine the reliability polarity detection in the context of automating text data analyses. It is hypothesized that reviews associated with high ratings will have a positive polarization value, while those with low ratings will have a negative one. Overall, the results confirm this hypothesis.

Key words: text mining, sentiment analysis, natural language processing, affective computing, emotion economics, polarity detection.

JEL: C19, C81, C88, D9

¹⁵ Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, michal.gulewicz@uekat.pl

Wprowadzenie

Upowszechnienie się medium telematycznego, jakim jest internet, i postępujący wzrost liczby internautów [Gulewicz 2024: 110], znacząco wpłynęły na wiele aspektów ludzkiego życia, a nade wszystko na to jak się komunikujemy [Gherghita-Mihaila 2016]. Ciągłej zmianie ulegają narzędzia komunikacji tak oficjalnej, jak i prywatnej [Goban-Klass 2004], a także metody i język tej komunikacji. Przykładowo kontent publikowany na portalach społecznościowych takich jak Twitter (obecnie X) lub Facebook często zawiera przemyślenia i opinie internautów, zawierające różnorodne ładunki emocjonalne [Nguyen, Shirai, Velcin 2015: 9603–9611]. To właśnie emocje są podstawą efektywnej komunikacji między ludźmi [Bandelj 2009: 347–366]. W codziennych interakcjach większe znaczenie od ilorazu inteligencji ma właśnie inteligencja emocjonalna [Cambria, Das, Bandyopadhyay, Feraco 2017: 1-10], a media społecznościowe i społeczności wirtualne [Smektała 2006: 150-151] są istotnym źródłem informacji umożliwiającym szacowanie ludzkich emocji i sentymentów [Atzmueller 2012: 411–419]. Doprowadziło to do wyłonienia się nowych dyscyplin, jakimi są informatyka afektywna, zajmująca się rozpoznawaniem, analizą, interpretacją i symulacją stanów emocjonalnych użytkowników komputerów [Landowska 2013: 25-38], na interakcjach człowiek-komputer, jak i analiza sentymentu, operująca na płaszczyźnie wyszukiwania danych i przetwarzania sygnałów multimodalnych, w celu identyfikacji ludzkich emocji w stale rosnących zasobach danych społeczności cyfrowych [Calvo, D'Mello, Gratch, Kappas 2015].

1. Analiza sentymentu – przegląd literatury

Informatyka afektywna, jak i sama analiza sentymentu to interdyscyplinarne obszary badawcze, które zrzeszają badaczy i specjalistów, reprezentujących różnorodne dyscypliny od informatyki przez kognitywistykę, finanse i ekonomię, lingwistykę lub nauki polityczne [Poria, Cambria, Howard, Huang, Hussain 2016: 50-59, Cambria, Fu, Bisio, Poria 2015: 508-514, Liu 2012: 1-167, Susanto, Livingstone, Ng, Cambria 2020: 96-102].

W trakcie przeprowadzania procesu analizy sentymentu natrafia się na złożone problemy związane z automatyzacją przetwarzania języka naturalnego, który wymagają różnorodnych modeli psychologicznych i emulujących emocje [Cambria, Hussain 2015, López-Chau, Valle-Cruz, Sandoval-Almazán 2020: 185-209].

Możliwość by w sposób zautomatyzowany lub półzautomatyzowany pozyskać informacje na temat sentymentu szerokiej grupy osób względem różnych wydarzeń, ruchów politycznych, kampanii marketingowych i preferencji

względem dóbr i usług spotkało się z zainteresowaniem zarówno świata biznesu, jak i nauki [Cambria, Poria, Gelbukh, Thelwall 2017: 74-80].

W tym kontekście fundamentalnym celem sentymentalnych komputacji jest - wspierana przez różnorodne dyscypliny - budowa modeli wykrywania stanów emocjonalnych. Podejście to proponuje zastosowanie narzędzi sztucznej inteligencji, jak i semantycznych technik sieciowych do reprezentowania wiedzy, matematyki do wyciągania wniosków, psychologii do modelowania poznawczego i afektywnego, socjologii do zrozumienia dynamiki społeczności cyfrowych i wpływu społecznego, a także etyki dla zrozumienia natury ludzkiego umysłu [Cambria, Hussain 2015: 21].

Pierwszą falę sentymentalnych komputacji zapoczątkowało badanie z 2009 roku dotyczące wykrywania emocji w tekstach, w celu rozwoju inteligentnego systemu, znanego jako AffectiveSpace. System ten jest modelem przestrzeni wektorowej, który umożliwia wnioskowanie przez analogię w zakresie pojęć w języku naturalnym [Cambria, Fu, Bisio, Poria 2015: 14].

Analiza sentymentu to kierunek badań, mających na celu analizę ludzkich postaw, ocen, opinii, emocji lub poglądów, wywoływanych przez różnorodne czynniki takie jak: produkty, usługi, wydarzenia [Kraus, Feuerriegel 2019: 79], osoby, a także tematy oraz ich atrybuty [Zolty 2015: 74-83].

Technologie wykorzystywane w procesie analizy sentymentu użytkowników społeczności wirtualnych, mające na celu możliwie szybką identyfikację ich subiektywnych odczuć, emocji lub opinii, nadal mają ograniczenia związane ze specyfiką języka.

Do podstawowych celów półautomatycznych i automatycznych metod analizy sentymentu języka naturalnego zaliczyć można identyfikację i klasyfikację całych wypowiedzi lub ich fragmentów pod kątem pojawiających się w nich wyrazów niosących ładunek emocjonalny [Bing 2007: 456], albowiem analiza sentymentu bazuje na dwóch podstawowych założeniach. Po pierwsze, istnieją takie wyrazy, które wyrażają emocje. Po drugie, niektóre wyrazy mogą wywoływać określone emocje u odbiorcy [Ovesdotter Alm, Roth, Sproat 2005]. Proces ten można zdefiniować, jako identyfikację ładunku emocjonalnego danego tekstu i przypisanie mu jednej z trzech kategorii: pozytywnej, negatywnej i neutralnej.

Analiza sentymentu jest wykorzystywana na wiele sposobów. Z jej wyników korzysta się w prognozowaniu wyników sprzedaży [Yang, Huang, An, Yu 2007], a także znajduje zastosowanie w ocenianiu produktów, usług lub wydarzeń w oparciu o opinie konsumentów [McGlohon, Glance, Reiter 2010].

Automatyzacja analizy tekstu znajduje swoje zastosowanie również w prowadzeniu badań naukowych w zakresie historii [Pagel, Atkinson, Meade, Andrew 2007: 717-720], lingwistyki [Lieberman, Michel, Jackson, Tang, Nowak

2007: 713-716], antropologii, a także w analizie zjawisk kultury [Michel, Shen, Aiden, Veres, Gray, Pickett, Hoiberg, Clancy, Norvig, Orwant, Pinker, Nowak, Aiden 2011: 176-182].

Analiza sentymentu jest też często wykorzystywana, jako narzędzie wspierające procesy decyzyjne w ruchach politycznych, organizacjach, kampaniach marketingowych i strategiach biznesowych [Cambria, Hussain 2015, Poria, Cambria, Bajpai, Hussain 2017: 98-125, Poria, Cambria, Howard, Huang, Hussain 2016: 50-59], ujawniając osobiste opinie odbiorców treści o tej tematyce, co może wspomóc proces komunikacji [Kraus, Feuerriegel 2019: 65-79].

Metody segregacji tekstu można podzielić na dwa główne typy: statystyczną i słownikową. Metoda statystyczna wykorzystuje techniki ilościowe, traktując tekst, jako obiekt charakteryzowany danymi ilościowymi, co oznacza, że tekst jest reprezentowany, jako wektor w przestrzeni wielowymiarowej, którą wyznacza zbiór cechy, jakie opisują dokument. W tej metodzie stosuje się metodę uczenia nadzorowanego oraz uczenia nienadzorowanego [Bing 2007: 63-166].

Metoda słownikowa opiera się na logicznej analizie fraz i słów, która uwzględniać musi reguły składniowe i leksykalne danego języka. Stosując podejście słownikowe znajomość gramatyki danego języka, znaczeń używanych w nim wyrazów, jak i specyfiki wypowiedzi są niezbędne.

Przykładowo producenci wybranego produktu lub usługi wykorzystują narzędzia monitorujące zasoby internetu, aby otrzymać informacje w zakresie sentymentu danych wypowiedzi pod kątem wypowiedzi pozytywnych, negatywnych i neutralnych. Dla biznesu cenne mogą być tak informacje zagregowane, które pokazują ogólne nastawienie odbiorców, dzielących się swoimi spostrzeżeniami i kształtujące się trendy, jak i nastawienie pojedynczych osób.

W pierwszym przypadku można próbować określić ogólną percepcję danej marki, produktu, firmy lub usługi. Przykładowo przewaga wypowiedzi o charakterze negatywnym może być sygnałem ostrzegawczym o narastającym niezadowoleniu. Poszukiwania rozwiązań problemu można rozpocząć wtedy właśnie od analizy pojedynczych wypowiedzi, w celu identyfikacji źródła problemu i wdrożyć odpowiednie działania naprawcze. Możliwość identyfikacji wypowiedzi o negatywnym sentymencie, nawet pojedynczej, pozwala czasem na identyfikację powodów niezadowolenia nabywcy, w szczególności, jeżeli analiza ta jest prowadzona w czasie rzeczywistym, umożliwiając na zahamowanie ewentualnego kryzysu w sytuacji, w której pierwsza negatywna wypowiedź stanowi sygnał informujący o większym problemie, który potencjalnie dotknąć może większą grupę nabywców.

W przypadku identyfikacji wypowiedzi o sentymencie pozytywnym dla danej marki, produktu lub usługi, możliwym jest poszukiwanie osób, których pozytywne wypowiedzi spotkały się z największym rozgłosem i zaangażowany innych użytkowników, co umożliwia wypracowanie efektywnych kanałów dotarcia z przekazem marketingowym do wybranej grupy.

Od początku swego rozwoju analiza sentymentu wykorzystywała szereg metod, które zbudowano w obszarze przetwarzania języka naturalnego [Pang, Lee 2008: 4-6]. Osiągnięcia przetwarzania języka naturalnego w sposób prosty i efektywny badacze mogli testować w środowisku aplikacji wspierających analizę danych tak ilościowych, jak i jakościowych, dlatego też prekursorzy badań nad rozwojem analizy sentymentu od momentu jej pojawienia się koncentrowali swoje wysiłki na tworzeniu oraz ewaluacji algorytmów, które dokonywały analiz w ramach środowisk cyfrowych [Yi, Nasukawa, Bunesco, Niblack 2003: 427-434].

Rozwój półautomatycznych i automatycznych metod klasyfikacji nastąpił wraz z rozwojem metod słownikowych. Metody oparte na analizie słownikowej mają dwa podstawowe cele: identyfikację słów kluczowych i fraz oraz ich klasyfikację. Wraz z rozwojem metod słownikowych klasyfikacjom tym stawiano coraz trudniejsze zadania, a wraz z rozwojem samych słowników wykorzystywanych do klasyfikacji, rozwijano algorytmy i metody bazujące na wiedzy z zakresu językoznawstwa.

Kierunek tych badań można określić następująco: od prostych zadań mających na celu podstawową klasyfikację, do klasyfikacji złożonej identyfikującej poziom natężenia emocji w danym przekazie. Najczęściej klasyfikacje wykorzystywane w ramach analizy sentymentu służą rozwiązywaniu podstawowych głównych klas problemów: klasyfikacji ze względu na siłę emocjonalną, klasyfikacji tematycznej i klasyfikacji biegunowej.

Klasyfikacja wypowiedzi pod kątem emocjonalnej siły przekazu ma za zadanie określić natężenie emocjonalne danej wypowiedzi. Klasyfikacja ta wykorzystywana jest w identyfikacji nasilenia danego przekazu, jego siły perswazyjnej, analizy zgodności opinii, identyfikacji zbliżonych preferencji lub grup opiniotwórczych.

Klasyfikacja tematyczna umożliwia rozróżnienie więcej niż emocji negatywnych i pozytywnych, które zawarto w wypowiedzi. Przykładowo klasyfikacja ta bywa wykorzystywana w rekonstrukcji schematów pisania tekstów, starając się identyfikować sześć podstawowych emocji: gniew, obrzydzenie, strach, radość, smutek i zaskoczenie [Ekman 1992:34-38, Liu, Lieberman, Selker 2003: 125-132].

Klasyfikacja biegunowa - czyli wykrywanie polaryzacji - zakłada różnicowanie wybranych wypowiedzi, tekstów lub ich fragmentów ze względu

na emocje, które przypisywane są określonym wyrazom. Niektóre opracowania tematyczne wskazują, że proces wykrywania polaryzacji nie powinien być mylony z analizą sentymentu sensu largo, tym niemniej to właśnie klasyfikacja biegunowa różnicuje wyrazy na trzy klasy: neutralne, negatywne i pozytywne, co jest jednym z kluczowych elementów przetwarzania języka naturalnego (NLP) w celu prowadzenia dalszych rozważań w zakresie sentymentu danego tekstu [Cambria, Das, Bandyopadhyay, Feraco 2017: 1-10]. Klasyfikacja ta jest wykorzystywana w zakresie identyfikacji mocnych i słabych stron produktów i usług, jak i w analizie wypowiedzi publikowanych w ramach społeczności cyfrowych.

2. Hipotezy i metody badawcze

W niniejszym opracowaniu przyjęto hipotezę, iż wypowiedzi korespondujące z wysokimi ocenami danych aplikacji uzyskają pozytywną (dodatnią) wartość polaryzacji, a komentarze korespondujące z niskimi ocenami tych aplikacji uzyskają negatywną (ujemną) wartość polaryzacji. W tym celu analizę sentymentu przeprowadzono z wykorzystaniem biblioteki SentimentR, bazującej na metodzie słownikowej łączącej elementy wykrywania polaryzacji z klasyfikacją emocjonalnej siły przekazu.

W celu przeprowadzenia badania posłużono się metodą słownikową głównie ze względu na jej prostotę oraz popularność biblioteki SentimentR. Uczenie maszynowe nadzorowane wymaga dużej ilości oznaczonych danych, zaś uczenie nienadzorowane, chociaż może być stosowane bez oznaczonych danych, gdyż stosowane w nim algorytmy próbują same znaleźć wzorce i struktury danych, ze względu na brak oznaczonych danych może prowadzić do mniej precyzyjnych wyników. Sam proces trenowania modeli uczenia maszynowego wymaga danych o odpowiedniej jakości, albowiem dane zanieczyszczone, niekompletne lub stronnicze będą prowadzić do nieefektywnych modeli. Modele zbyt dobrze dopasowane do danych treningowych mogą mieć trudności w zetknięciu z nowymi danymi i sytuacjami, zaś samo ich działanie bywa trudne do interpretacji. Powyższe wyzwania sprawiają, że wdrożenie modeli uczenia maszynowego, w szczególności w procesie tak złożonym jak przetwarzanie języka naturalnego, wymaga specjalistycznej wiedzy i wymaga znaczących zasobów obliczeniowych.

Metoda słownikowa, korzystająca z predefiniowanych słowników, jest znacznie prostsza w implementacji od modeli uczenia maszynowego. Utworzony na potrzeby badania algorytm można łatwo zduplikować i wykorzystać w przeprowadzeniu analizy sentymentu na innym zbiorze danych bez konieczności angażowania dużych zasobów obliczeniowych.

Jednocześnie metody słownikowe mają immanentne ograniczenia wynikające ze swojej specyfiki. Ponieważ bazują na predefiniowanych słownikach, które mogą nie zawierać neologizmów, slangu lub innych terminów, co ogranicza ich skuteczność w analizie współczesnych tekstów, chociaż należy pamiętać, że w przypadku uczenia maszynowego ograniczenie to również występuje, jeżeli model trenowany jest na danych, które takowych słów nie zawierają. Dodatkowym problemem jest homonimia, czyli wyrażanie różnych znaczeń za pośrednictwem identycznych form językowych. Przykładowo słowo „advokat” może oznaczać zarówno prawnika, jak i likier jajeczny i znaczenie tak użytego słowa będzie zależało od kontekstu wypowiedzi. Tak samo pewne słowa mogą mieć konotacje zarówno pozytywne, jak i negatywne w zależności od kontekstu wypowiedzi (np. zastosowania sarkazmu), z identyfikacją których metody słownikowe mają trudności.

Powyższe ograniczenia sprawiają, że zasadną jest próba oszacowania miarodajności podejścia słownikowego z wykorzystaniem biblioteki SentimentR, która mimo rosnącej popularności uczenia maszynowego, nadal jest powszechnie wykorzystywana przez badaczy obok dużych modeli językowych jako narzędzie wspierające obok modeli opartych na uczeniu maszynowym [Maslov, Poelmans, Wautelet 2024].

W pierwszej kolejności należało pozyskać dane tekstowe, które można byłoby poddać wykrywaniu polaryzacji. W tym celu stworzono specjalne oprogramowanie w języku Python, wykorzystujące bibliotekę gogle_play_scraper [GitHub 2019], która pozwala na automatyczne pobieranie komentarzy wraz z wystawionymi ocenami wybranych aplikacji z platformy Google Play, czyli tzw. „web scraping”. Kod programu został przedstawiony na Schemacie 1.

Schemat 1. Kod programu do web scrapingu komentarzy z platformy Google Play

```
from google_play_scraper import app, Sort, reviews_all
from app_store_scraper import AppStore
import pandas as pd
import numpy as np
import json, os, uuid

g_reviews = reviews_all(
    "com.yousician.yousician",
    sleep_milliseconds=0, # defaults to 0
    lang='en', # defaults to 'en'
    country='us', # defaults to 'us'
    sort=Sort.NEWEST, # defaults to Sort.MOST_RELEVANT
)

g_df = pd.DataFrame(np.array(g_reviews), columns=['review'])
```

```

g_df2 = g_df.join(pd.DataFrame(g_df.pop('review').tolist()))

g_df2.drop(columns={'userImage', 'reviewCreatedVersion', 'replyContent',
'repliedAt'}, inplace = True)
g_df2.rename(columns= {'score': 'rating', 'userName': 'user_name', 'reviewId':
'review_id', 'content':
'review_description', 'at': 'review_date', 'thumbsUpCount':
'thumbs_up'}, inplace = True)
g_df2.insert(loc=0, column='source', value='Google Play')
g_df2.insert(loc=3, column='review_title', value=None)
g_df2['language_code'] = 'en'
g_df2['country_code'] = 'us'

print(g_df2)
g_df2.to_csv("Education_Yousician.csv")

```

Źródło: opracowanie własne.

Ponieważ biblioteka SentimentR jest wykorzystywana do przeprowadzenia analizy sentymentu tekstów napisanych w języku angielskim w doborze aplikacji kluczowym było to, aby posiadały liczne komentarze napisane w tym języku, które można było poddać analizie, dlatego sam algorytm do web scrapingu dokonuje selekcji dostępnych komentarzy tworząc arkusz danych złożony z opinii użytkowników napisanych w języku angielskim. Nie przeprowadzono innej selekcji, aby w procesie wykrywania polaryzacji uwzględnić również te opinie użytkowników, które ze względu na specyfikę metody słownikowej, mogły zostać błędnie zinterpretowane przez algorytm, aby ocenić wpływ opisanych w literaturze ograniczeń tej metody na ostateczne wyniki i jej miarodajność.

Z dostępnych kategorii dostępnych na platformie Google Play wybrano pięć następujących kategorii: edukacja, dla firm, narzędzia, muzyka i dźwięk oraz rozrywka, albowiem w trakcie zbierania danych zawierały najczęściej aplikacje, pozwalając na większą elastyczność w ich selekcji [AppBrain 2024]. Ponieważ jedną z zalet analizy słownikowej, wskazywanej w literaturze przedmiotu, jest brak konieczności angażowania znacznych mocy obliczeniowych, gdyż analiza ta nie wymaga znaczącej ilości danych do tworzenia modelu treningowego - jak w przypadku uczenia maszynowego - a jedynie analizuje tekst na podstawie predefiniowanego słownika, w tworzeniu zbioru danych dokonano selekcji aplikacji, które nie posiadały więcej niż 50 tysięcy komentarzy, aby ocenić miarodajność tej metody przy zaangażowaniu umiarkowanej ilości danych. Dla każdej z powyższych kategorii wyszukano jedną aplikację, dla której ocena użytkowników była zbliżona do średniej oceny wszystkich aplikacji wchodzących w skład kategorii. Wyselekcjonowano następujące aplikacje: Yousician: Learn Guitar (42112 komentarzy), OfficeSuite Pro + PDF (13838

komentarzy), Google Authenticator (40888 komentarzy), Poweramp Unlocker (41306 komentarzy), Plex: Stream Movies & TV (49505 komentarzy) [Google Play 2024]. Łącznie pobrano 187649 komentarzy użytkowników, które następnie poddano wykrywaniu polaryzacji. Przykładowy wycinek arkusza danych wygenerowany przez program przedstawia Tabela 1.

Tabela 1. Fragment arkusza danych wygenerowany przez program do web scrapingu platformy Google Play

source	review_id	user_name	review_description	rating	thumbs_up	review_date
Google Play	85ce408c-2357-4539-a24e-ef195abd1ae3	Aman Rastogi	Worse app hang too much	1	0	2020-09-04 18:04:17 UTC
Google Play	c97b6707-cf6d-411e-ad07-b185b6ac2473	A Google user	Great learning but the nagging is incessant	3	1	2018-02-10 00:10:31 UTC
Google Play	d0ccca71-f0f4-4a85-b5d9-a211d2866d22	A Google user	Amazing learning but annoying for the limited hours	5	0	2020-02-18 07:02:50 UTC
Google Play	e31b83db-60aa-4193-8227-d756b876078c	Lil warrior	Bad bad bad	1	0	2022-11-10 14:16:24 UTC

Źródło: opracowanie własne.

Powyższa tabela przedstawia fragment wyniku działania oprogramowania stworzonego w celu pobrania komentarzy z platformy Google Play. Oprócz samej treści komentarza widocznej w kolumnie „review_description” program pobiera też informację o ocenie wystawionej danej aplikacji, która koresponduje z komentarzem (rating), nazwą użytkownika, który jest autorem komentarza (jeśli jest ona dostępna), datą wystawienia oceny, a także liczbą polubień, które wybrany komentarz uzyskał ze strony innych użytkowników platformy (thumbs-up).

Tak przygotowane arkusze danych zostały następnie poddane wykrywaniu polaryzacji w celu oceny ładunku emocjonalnego poszczególnych komentarzy. Program ten został napisany w języku R i został oparty na bibliotece SentimentR [Rinker 2021]. Kod programu przedstawia Schemat 2.

Schemat 2. Program do wykrywania polaryzacji tekstu w arkuszu danych

```
data<-Tools_GoogleAuthenticator
data2<-data

for(i in 1:nrow(data))
{
  tekst <- toString(data[i,4])
  wynik_by <- sentiment_by(tekst,polarity_dt =
  lexicon::hash_sentiment_huliu) data2[i,8]<
  mean(wynik_by$save_sentiment)
}
```

Źródło: opracowanie własne.

Program ten w oparciu o wbudowany w bibliotekę SentimentR słownik dokonuje klasyfikacji poszczególnych wyrazów występujących w zdaniach przypisując im wartość dodatnią, jeżeli reprezentują emocje pozytywne, lub wartość ujemną dla emocji negatywnych. Wyrazy, którym nie przypisano ładunku emocjonalnego otrzymują w tej metodzie wartość polaryzacji na poziomie zerowym. Model ten oblicza odrębną wartość polaryzacji dla każdego zdania, dlatego w przypadku komentarzy złożonych z kilku zdań wyciągano średnią arytmetyczną polaryzacji dla wszystkich zdań wchodzących w skład komentarza.

3. Wyniki

Na uwagę zasługuje fakt, iż jest znacząca rozpiętość między górną i dolną wartością polaryzacji dla komentarzy. Komentarze korespondujące z wysoką oceną mogą przez algorytm zostać zaklasyfikowane, jako skrajnie negatywne, czego przykładem jest komentarz o treści „GOOD BUT TOO MANY ADVERTS”, który korespondował z najwyższą możliwą oceną aplikacji, czyli pięcioma gwiazdkami, a któremu algorytm przypisał skrajnie negatywną wartość polaryzacji na poziomie -2,01. Analogicznie komentarz o treści: „Went with Mezzmo instead, much cleaner interface more stable, friendly support and better for families” wyrażający niezadowolenie z działania aplikacji i wychwalający konkurencyjne rozwiązania, przypisany do najniższej możliwej oceny aplikacji, został przez algorytm zinterpretowany, jako komentarz niosący pozytywny ładunek emocjonalny o polaryzacji na poziomie 2,12. Stało się tak ze względu na występowanie w komentarzu słów-kluczy, którym słownik przypisuje pozytywny ładunek emocjonalny, a sam algorytm, będąc oparty na metodzie słownikowej, nie jest w stanie uwzględnić kontekstu wypowiedzi. Górną i dolną wartość polaryzacji dla komentarzy korespondujących z ocenami wybranych aplikacji prezentuje Tabela 2.

Tabela 2. Górna i dolna wartość polaryzacji ze względu na ocenę aplikacji

Kategoria	Górna i dolna wartość polaryzacji ze względu na ocenę aplikacji				
	1	2	3	4	5
Edukacja	-3,593 - 2,551	-1,571 - 1,589	-1,732 - 1,800	-2,163 - 3,404	-1,837 - 2,781
Dla firm	-2,415 - 0,919	-1,342 - 1,082	-1,591 - 1,688	-1,837 - 2,415	-1,414 - 2,858
Narzędzia	-3,138 - 1,732	-1,913 - 1,683	-1,837 - 2,123	-1,917 - 3,666	-1,837 - 2,948
Muzyka i dźwięk	-4,123 - 1,470	-1,470 - 1,420	-1,732 - 1,495	-2,012 - 3,220	-1,500 - 2,613
Rozrywka	-1,890 - 2,117	-1,837 - 1,470	-2,236 - 1,837	-2,078 - 3,050	-2,012 - 2,813

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na fakt, iż podejście słownikowe zastosowanej metody jest obarczone ryzykiem błędnej interpretacji tekstu przez algorytm, zasadnym jest, aby analizowana próba miała znaczące rozmiary, aby móc ocenić czy uśredniona wartość polaryzacji dla komentarzy przypisanych do danej oceny koresponduje z tą oceną, czy też przypadków, w których algorytm błędnie przypisuje pozytywną polaryzację negatywnym komentarzom i na odwrót jest więcej, co ograniczałoby walory użytkowe tej metody. Wyniki tej analizy przedstawia Tabela 3.

Tabela 3. Przeciętna wartość polaryzacji ze względu na ocenę aplikacji

Kategoria	1	2	3	4	5
Edukacja	-0,15301	-0,05029	0,064316	0,367623	0,55753
Dla firm	-0,09631	-0,07087	0,018567	0,363086	0,530718
Narzędzia	-0,23305	-0,08844	0,075581	0,319561	0,521898
Muzyka i dźwięk	-0,13352	-0,07897	-0,01868	0,229568	0,452508
Rozrywka	-0,18589	-0,10902	0,004607	0,324221	0,503183

Źródło: opracowanie własne.

Dane zawarte w powyższej tabeli pokazują, że w przypadku niskich ocen (1-2 gwiazdki) uśredniona wartość polaryzacji jest negatywna dla każdej aplikacji, będącej przedmiotem badania. Analogicznie w przypadku wysokich ocen (4-5 gwiazdek) uśredniona wartość polaryzacji komentarzy przypisanych do ocen z tego przedziału jest pozytywna. W przypadku ocen 3-gwiazdkowych można zauważyć, że w większości przypadków polaryzacja przyjmuje wartość pozytywną, jednakże bliską zeru, co potwierdza hipotezę, iż ocenom pozytywnym towarzyszy pozytywna polaryzacja, a ocenom negatywnym – negatywna. W przypadku oceny neutralnej, bo za taką można uznać ocenę 3-

gwiazdkową, wartość polaryzacji oscylowała w granicach zera, czyli polaryzacji neutralnej.

Dodatkowo dla wybranych aplikacji obliczono współczynnik korelacji rang Spearman'a między wartością polaryzacji komentarzy a korespondującymi z nimi ocenami. Dla aplikacji Yousician: Learn Guitar współczynnik korelacji rang Spearman'a wyniósł 0,637. Dla aplikacji OfficeSuite Pro + PDF wyniósł on 0,573. W przypadku Google Authenticator było to 0,675. Dla Poweramp Unlocker korelacja wyniosła 0,605, a dla Plex: Stream Movies & TV wyniosła 0,643.

Powyższe wyniki pokazują, że pomimo opisanych w literaturze ograniczeń wynikających ze specyfiki podejścia słownikowego, na co wskazuje umiarkowana korelacja między wartością polaryzacji opinii a wystawianymi ocenami, a także znaczna rozbieżność między górną i dolną wartością polaryzacji dla poszczególnych ocen, uśrednione wartości polaryzacji przyjmowały wartość ujemną dla ocen negatywnych i dodatnią dla pozytywnych, co potwierdza przyjętą w badaniu hipotezę i wskazuje na miarodajność tej metody, dzięki czemu może być ona stosowana jako metoda pomocnicza obok bardziej miarodajnych metod przetwarzania języka naturalnego, które w przeciwieństwie do metod słownikowych, wymagają znacznych zasobów obliczeniowych i są trudne w implementacji i interpretacji [Maslov, Poelmans, Wautelet 2024].

Wnioski

Rozdział podkreśla znaczenie analizy sentymentu w kontekście nowoczesnej komunikacji i interakcji w sieci. Wyniki potwierdzają hipotezę, iż dla zastosowanego narzędzia wyższe oceny korespondują z pozytywną polaryzacją opinii, a niższe z negatywną. Opinie, którym przypisano oceny neutralne średnio wiązały się z neutralną wartością polaryzacji. Badanie wykazało też umiarkowaną korelację między wartością polaryzacji komentarzy, a korespondującą z nimi oceną.

Jednocześnie zidentyfikowane zostały ograniczenia metody słownikowej, wskazujące trudności tej metody w identyfikacji kontekstu wypowiedzi, wieloznaczności niektórych słów lub braku neologizmów w predefiniowanych słownikach, na których metoda ta bazuje, dlatego metody przetwarzania języka naturalnego bazujące na uczeniu maszynowym dają lepsze wyniki w zestawieniu z metodami słownikowymi, jednakże w przeciwieństwie do metod słownikowych są znacznie bardziej kosztowne w implementacji.

Wnioski te pokazują, że narzędzia słownikowej analizy sentymentu pokroju biblioteki SentimentR pomimo mniejszej miarodajności od metod bazujących na uczeniu maszynowym, dzięki prostej implementacji, która nie wymaga

znaczących zasobów obliczeniowych, mogą być użytecznym narzędziem wspierającym prowadzenie badań poświęconych zagadnieniom ekonomii emocji, jak i mogą mieć wartość dla organizacji w celu lepszego zrozumienia opinii konsumentów oraz szybkiego reagowania na ich potrzeby, jednakże mogą wymagać optymalizacji ze względu na swoje ograniczenia. Potencjalnym kierunkiem dalszych badań może być wykorzystanie analizy sentymentu w detekcji polaryzacji opinii użytkowników forów internetowych i mediów społecznościowych w kontekście fluktuacji cen instrumentów finansowych.

Bibliografia

Alm C., Roth D., Sproat R. (2005), Emotions from text: machine learning for text-based emotion prediction, *Proceedings of the Human Language Technology Conference and Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*.

Atzmueller M. (2012), *Mining social media: key players, sentiments, and communities*, Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 2(5).

Bandelj N. (2009), Emotions in economic action and interaction, *Theory and Society*, 38(4).

Bing L. (2007), *Web data mining; Exploring hyperlinks, contents, and usage data*, Springer, Chicago.

Calvo R, D'Mello S., Gratch J., et al. (2015), *The Oxford handbook of affective computing*, Oxford University Press, Oksford.

Cambria E, Hussain A. (2015), *Sentic computing: a common-sense-based framework for concept-level sentiment analysis*, Springer, Chicago.

Cambria E, Poria S, Gelbukh A, et al. (2017), Sentiment analysis is a big suitcase, *IEEE Intelligent Systems*, 32(6).

Cambria E., Das D., Bandyopadhyay S., et al. (2017), Affective computing and sentiment analysis [in:] Hussain A. (ed), *A practical guide to sentiment analysis*, Springer, Chicago.

Cambria E., Fu J., Bisio F., et al. (2015), AffectiveSpace 2: Enabling affective intuition for concept-level sentiment analysis, *Proceedings of the Association for the Advancement of Artificial Intelligence Conference on Artificial Intelligence*, 29(1).

Ekman P. (1992), Facial Expressions of Emotion: New Findings, New Questions, *Psychological Science*, 3(1).

Gherghita-Mihaila D. (2016), How is Social Media Influencing the Way we Communicate?, *Acta Universitatis Danubius, Communicatio*, 10(1).

GitHub, Google-Play-Scraper, <https://github.com/JoMingyu/google-play-scraper>.

Goban-Klasi T. (2004), *Media i komunikowanie masowe*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.

Google Play, Google Authenticator, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.authenticator2>.

- Google Play, OfficeSuite Pro + PDF,
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mobisystems.editor.office_registered
- Google Play, Plex: Stream Movies & TV, Google Play,
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.plexapp.android>.
- Google Play, Poweramp Unlocker,
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.maxmpz.audioplayer.unlock>.
- Google Play, Yousician: Learn Guitar & Bass,
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.yousician.yousician>.
- Gulewicz. M. (2024), Wpływ pandemii COVID-19 na cybernetyzację aktywności społeczno-gospodarczej, *UR Journal of Humanities and Social Sciences*, 4(33).
- Kraus M, Feuerriegel S. (2019), Sentiment analysis based on rhetorical structure theory: learning deep neural networks from discourse trees, *Expert Systems with Applications*, 118.
- Landowska A. (2013), Przetwarzanie emocjonalne i scenariusze jego zastosowania w edukacji i e-edukacji, [w:] Banachowski L. (red.), *Postępy E-edukacji*, Wydawnictwo PJWSTK, Warszawa.
- Lieberman E., Michel JB., Jackson J., Tang T., Martin N. (2007), Quantifying the evolutionary dynamics of language, *Nature*, 449.
- Liu B. (2012), *Sentiment analysis and opinion mining*, Morgan & Claypool Publishers, San Rafael.
- Liu H., Lieberman H., Selker T. (2003), A model of textual affect sensing using real-world knowledge, *Proceedings of the 8th international conference on Intelligent user interfaces*.
- Liu Y., Huang X., An A., Yu X. (2007), ARSA: a sentimentaware model for predicting sales performance using blogs, *SIGIR '07: Proceedings of the 30th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*.
- López-Chau A., Valle-Cruz D., Sandoval-Almazán R. (2020), Sentiment analysis of Twitter data through machine learning techniques, [in:] Ramachandran M., (ed.), *Software engineering in the era of cloud computing*, Springer, Chicago.
- Maslov I., Poelmans S., Wautelet Y. (2024), Measuring Internal Validity in Mixed Methods User Feedback Survey by Finding Inconsistencies with sentimentR and ChatGPT-4, *PACIS 2024 Proceedings*, 11.
- McGlohon M., Glance N., Reiter Z. (2010), Star Quality: Aggregating Reviews to Rank Products and Merchants, *Proceedings of the Fourth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*.
- Michel JB., Shen Y., Yuan Aiden A., et al. (2011), Quantitative Analysis of Culture Using Millions of Digitized Books, *Science*, 331.
- Most popular Google Play categories (2024), AppBrain,
<https://www.appbrain.com/stats/android-market-app-categories>.
- Nguyen T., Shirai K., Velcin J. (2015), Sentiment Analysis on Social Media for Stock Movement Prediction, *Expert Systems with Applications*, 42(24).

- Pagel M., Atkinson Q., Meade A. (2007), Frequency of Word-Use Predicts Rates of Lexical Evolution throughout Indo-European History, *Nature*, 449.
- Pang B., Lee L. (2008), Opinion mining and sentiment analysis, *Foundations and Trends in Information Retrieval*, 2(1-2).
- Poria S., Cambria E., Bajpai R., Hussain A. (2017), A review of affective computing: from unimodal analysis to multimodal fusion, *Information Fusion*, 37.
- Poria S., Cambria E., Howard N., et al. (2016), Fusing audio, visual and textual clues for sentiment analysis from multimodal content, *Neurocomputing*, 174.
- Rinker T. (2021), Rdocumentation, <https://www.rdocumentation.org/packages/sentimentr/versions/2.9.0>.
- Smektała T. (2006), *Public Relations w Internecie*, Wydawnictwo Astrum, Wrocław.
- Susanto Y., Livingstone A., Ng B., et al. (2020), The hourglass model revisited, *IEEE Intelligent Systems*, 35(5).
- Yi J., Nasukawa T., Bunescu R., Niblack W. (2003), Sentiment Analyzer: Extracting sentiments about a given topic using natural language processing techniques, *Proceedings - IEEE International Conference on Data Mining*, Melbourne.
- Zolty K. (2015), Analiza sentymentu, <https://prezi.com/saypub4fu3iz/analiza-sentymentu>.

Rozdział XIII.

ROLA INNOWACYJNYCH TECHNOLOGII CYFROWYCH W OGRANICZANIU STRAT ŻYWNOCI. WYZWANIA PROJEKTU FOODCONSCIOUS

Agnieszka Tul-Krzyszczuk¹⁶, Edyta Skarzyńska¹⁷, Beata Bilśka¹⁸, Marzena Tomaszewska¹⁹, Olena Kulykovets²⁰

Streszczenie

Rozdział omawia rolę innowacyjnych technologii cyfrowych w ograniczaniu strat żywności, ze szczególnym uwzględnieniem sektora gastronomicznego. Celem rozdziału jest przedstawienie wybranych technologii opartych na sztucznej inteligencji, uczeniu maszynowym, Internecie rzeczy, wizji komputerowej oraz robotyzacji, wspierających identyfikację i redukcję strat żywności na różnych etapach łańcucha dostaw. Rozdział powstał w ramach międzynarodowego projektu Erasmus+ FoodConscious.

Słowa kluczowe: marnotrawstwo żywności, technologie cyfrowe, sztuczna inteligencja, gastronomia, zarządzanie zapasami, zrównoważony rozwój

Summary

The chapter discusses the role of innovative digital technologies in reducing food waste, with a particular focus on the gastronomy sector. The aim of the chapter is to present selected technologies based on artificial intelligence, machine learning, the Internet of Things, computer vision, and robotics that support the identification and reduction of food losses at various stages of the supply chain. The chapter was developed as part of the international Erasmus+ project FoodConscious.

Key words: food waste, digital technologies, artificial intelligence, food service, inventory management, sustainable development

JEL: Q01,O33

¹⁶ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Instytut Zarządzania,
agnieszka_tul-krzyszczuk@sggw.edu.pl

¹⁷ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Instytut Zarządzania,
edyta_skarzynska1@sggw.edu.pl

¹⁸ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Instytut Nauk o Żywieniu Człowieka,
beata_bilśka@sggw.edu.pl

¹⁹ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Instytut Nauk o Żywieniu Człowieka,
marzena_tomaszewska@sggw.edu.pl

²⁰ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Instytut Zarządzania,
olena_kulykovets@sggw.edu.pl

Wprowadzenie

Marnotrawstwo żywności stanowi jedno z najpoważniejszych wyzwań współczesnego świata – zarówno w wymiarze gospodarczym, społecznym, jak i środowiskowym. Według szacunków Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO), z 2013 roku, blisko jedna trzecia produkowanej globalnie żywności nigdy nie trafia do konsumpcji, co oznacza straty sięgające około 1,3 miliarda ton rocznie. Tak duża skala marnotrawstwa generuje olbrzymie koszty ekonomiczne, prowadzi do nieefektywnego wykorzystania zasobów naturalnych, zwiększa presję na środowisko i przyczynia się do emisji gazów cieplarnianych [Łaba, Szczepański i Łaba 2020: 9]. Co równie istotne, zjawisko to ma miejsce równolegle do globalnych problemów związanych z głodem i niedożywieniem. W ostatnich latach coraz większą rolę w przeciwdziałaniu tym negatywnym zjawiskom odgrywa m.in. cyfrowa transformacja sektora rolno-spożywczego. Technologie z zakresu sztucznej inteligencji, uczenia maszynowego, Internetu rzeczy, wizji komputerowej umożliwiają identyfikację, analizę i minimalizowanie strat żywnościowych na wszystkich etapach łańcucha dostaw – od produkcji, przez przetwórstwo i dystrybucję, aż po konsumpcję. Dzięki tym rozwiązaniom możliwe jest wdrażanie systemów predykcyjnych, optymalizacyjnych i wspomagających decyzje, które wcześniej były poza zasięgiem tradycyjnych metod zarządzania.

Celem niniejszego rozdziału jest prezentacja wybranych technologii cyfrowych opartych na sztucznej inteligencji, które są obecnie wykorzystywane do ograniczania marnotrawstwa żywności. Omówione zostaną systemy prognozowania popytu i inteligentnego zarządzania zapasami w łańcuchu dostaw, aplikacje służące analizie jakości produktów i poziomu strat, w tym roboty sortujące oraz platformy wspierające redystrybucję żywności w gastronomii. Analiza ma na celu wskazanie mechanizmów działania tych technologii, ich praktycznych zastosowań oraz potencjału w poprawie efektywności i zrównoważenia systemów żywnościowych. W rozdziale zastosowano metodę desk research, obejmującą analizę literatury naukowej oraz przegląd dostępnych technologii wspierających ograniczanie strat żywności.

1. Technologie cyfrowe z AI wykorzystywane do prognozowania popytu i zarządzania zapasami w łańcuchu dostaw żywności

1.1. Systemy predykcyjne do prognozowania popytu

Systemy predykcyjne do prognozowania popytu to zaawansowane narzędzia analityczne oparte na metodach AI, których celem jest szacowanie przyszłego zapotrzebowania na produkty żywnościowe z jak najwyższą precyzją. Ich

implementacja odgrywa kluczową rolę w ograniczaniu marnotrawstwa żywności, ponieważ umożliwia podmiotom w łańcuchu dostaw dostosowanie produkcji, logistyki i dystrybucji do rzeczywistych potrzeb rynku, redukując tym samym nadwyżki i związane z nimi straty [Chodak i Kwaśnicki 2002: 1]. Systemy te bazują na analizie danych historycznych oraz informacji zewnętrznych, takich jak sezonowość, dane meteorologiczne, trendy rynkowe, akcje promocyjne, wydarzenia lokalne oraz wskaźniki społeczno-ekonomiczne [Ciechulski i Osowski 2020: 2]. Modele predykcyjne korzystają z szerokiego spektrum algorytmów, w tym regresji liniowej i nieliniowej, drzew decyzyjnych, algorytmów ensemble (np. Random Forest, Gradient Boosted Trees), a także sztucznych sieci neuronowych, w tym rekurencyjnych sieci neuronowych (RNN) i długoterminowych sieci pamięciowych (LSTM), które są szczególnie przydatne w analizie szeregów czasowych [Czapaj, Kamiński i Sołtysik 2022: 1].

W praktyce systemy predykcyjne są często zintegrowane z systemami ERP (*Enterprise Resource Planning*), SCM (*Supply Chain Management*) oraz POS (*Point of Sale*), co umożliwia im dostęp do dużych zbiorów danych operacyjnych i sprzedażowych [Ciechulski i Osowski 2020: 3]. Modele predykcyjne są trenowane na podstawie tych danych, a ich skuteczność jest oceniana przy pomocy wskaźników takich jak MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), RMSE (*Root Mean Square Error*) czy R-squared. Nowoczesne systemy predykcyjne często wykorzystują również podejścia adaptacyjne i samouczące się (*online learning*), które pozwalają na ciągłe doskonalenie dokładności prognoz w miarę napływu nowych danych.

Zastosowanie tych narzędzi jest szerokie: od prognozowania sprzedaży w sklepach detalicznych, przez przewidywanie liczby gości w restauracjach, aż po planowanie zapotrzebowania na surowce w zakładach przetwórczych. Przykładowo, duże sieci handlowe korzystają z predykcyjnych algorytmów do optymalizacji zamówień i planowania zaopatrzenia w produkty sezonowe, co pozwala im zmniejszyć liczbę niesprzedanych i przeterminowanych towarów. W gastronomii systemy te umożliwiają dostosowanie wielkości produkcji do prognozowanego ruchu klientów, minimalizując ilość przygotowywanych, lecz nieskonsumowanych posiłków [Aci i Yergök 2023: 1684]. Systemy predykcyjne przyczyniają się również do zwiększenia efektywności całego łańcucha dostaw. Dzięki lepszemu dopasowaniu podaży do popytu możliwe jest bardziej racjonalne zarządzanie zasobami, zmniejszenie ilości transportowanych nadwyżek oraz ograniczenie strat wynikających z przechowywania produktów w nieodpowiednich warunkach.

Wdrożenie systemów predykcyjnych nie jest jednak pozbawione wyzwań [Czapaj, Kamiński i Sołtysik 2022: 1]. Jednym z głównych problemów jest jakość danych, która w dużej mierze determinuje skuteczność modeli. Braki w

danych, ich niekompletność, błędy pomiarowe czy brak standaryzacji mogą znacząco obniżać trafność prognoz [Aci i Yergök 2023: 1690]. Ponadto implementacja tych rozwiązań wymaga znacznych inwestycji w infrastrukturę informatyczną, integrację systemów oraz kompetencje kadry – analityków danych, specjalistów od SI oraz ekspertów branżowych. Dodatkowym aspektem są kwestie etyczne i społeczne, związane z automatyzacją decyzji. Zbyt silne poleganie na algorytmach może prowadzić do pominięcia kontekstu lokalnego lub indywidualnych potrzeb odbiorców, co może skutkować decyzjami nieoptymalnymi z punktu widzenia społecznego. Dlatego coraz większy nacisk kładzie się na rozwój tzw. objaśnialnej sztucznej inteligencji, (tj. Explainable AI, XAI), która pozwala użytkownikom na zrozumienie przyczyn generowanych prognoz [Aleksandrowicz 2018: 10].

1.2. Algorytmy optymalizujące łańcuch dostaw

Optymalizacja łańcucha dostaw za pomocą sztucznej inteligencji (SI) stanowi jeden z filarów cyfrowej transformacji sektora spożywczego. Algorytmy SI służą do usprawniania przepływu towarów, przewidywania zakłóceń i minimalizowania strat w czasie rzeczywistym. W kontekście walki z marnotrawstwem żywności, szczególne znaczenie mają te narzędzia, które potrafią skoordynować produkcję, magazynowanie i dystrybucję z uwzględnieniem takich zmiennych jak termin przydatności, temperatura transportu czy lokalne fluktuacje popytu [Doğan 2024: 3]. Łańcuch dostaw w sektorze spożywczym obejmuje wszystkie etapy, od produkcji rolnej przez przetwórstwo, logistykę, magazynowanie, aż po sprzedaż detaliczną i gastronomię. W każdym z tych ogniw występują potencjalne punkty krytyczne prowadzące do strat żywnościowych. Problemy takie jak opóźnienia transportowe, niewłaściwe warunki przechowywania, błędy w alokacji zasobów czy nieefektywne zarządzanie zapasami skutkują znacznym obniżeniem efektywności całego systemu [Singh, Shukla i Mishra 2018: 1].

W procesie optymalizacji stosuje się różnorodne podejścia matematyczne i algorytmiczne, w tym programowanie liniowe i całkowitoliczbowe (LP, ILP), które umożliwiają rozwiązywanie problemów związanych z przydziałem zasobów, harmonogramowaniem produkcji i optymalizacją tras dostaw. Ponadto wykorzystuje się metaheurystyki, takie jak algorytmy genetyczne, symulowane wyżarzanie czy algorytmy rojowe, stosowane przy rozwiązywaniu złożonych problemów optymalizacyjnych, gdzie klasyczne metody są zbyt kosztowne obliczeniowo. Algorytmy uczenia maszynowego służą do analizy wzorców historycznych i przewidywania przyszłych zakłóceń, rotacji produktów czy zmian warunków operacyjnych. W bardziej zaawansowanych systemach

implementuje się także algorytmy *reinforcement learning* (uczenia przez wzmocnienie), które znajdują zastosowanie w dynamicznym zarządzaniu decyzjami logistycznymi, np. alokacją zasobów w czasie rzeczywistym.

Efektywność algorytmów optymalizacyjnych zależy od jakości danych wejściowych. Kluczową rolę odgrywa tu integracja systemów ERP, WMS i TMS (*Transport Management Systems*) oraz wykorzystanie danych z czujników IoT, GPS i systemów monitorujących jakość i warunki transportu [Wornalkiewicz 2023: 159]. Dane te są agregowane w czasie rzeczywistym i przesyłane do modułów decyzyjnych SI, co umożliwia szybkie reagowanie na pojawiające się problemy. W praktyce zaawansowane algorytmy optymalizacyjne wyznaczają najbardziej efektywne trasy z uwzględnieniem czasu dostawy, warunków pogodowych, natężenia ruchu oraz stanu towarów (np. żywności wymagającej chłodzenia). Systemy predykcyjne informują o zbliżającym się końcu terminu ważności i rekomendują priorytetyzację konkretnych partii produktów [Singh, Shukla i Mishra 2018: 1]. Przez analizę historii sprzedaży i aktualnego zapotrzebowania SI wskazuje produkty o niskiej rotacji i zaleca działania zapobiegające ich marnotrawstwu. Algorytmy optymalizacyjne przyczyniają się do zmniejszenia czasu przechowywania produktów w magazynach, obniżenia wskaźników zepsucia produktów w transporcie, redukcji kosztów operacyjnych i energetycznych, zwiększenia trafności decyzji operacyjnych i strategicznych oraz lepszego dopasowania podaży do rzeczywistego popytu [Wornalkiewicz 2023: 159].

Pomimo licznych korzyści, wdrażanie algorytmów optymalizacyjnych napotyka na kilka barier [Doğan 2024: 5]. Do głównych wyzwań stosowania tej metody należą: heterogeniczność danych – różne formaty i jakość danych utrudniają ich automatyczne przetwarzanie; brak interoperacyjności systemów – problem kompatybilności pomiędzy oprogramowaniem różnych dostawców; złożoność obliczeniowa – niektóre problemy logistyczne mają charakter NP-trudny i wymagają przybliżonych rozwiązań; niska gotowość cyfrowa przedsiębiorstw MŚP – ograniczone zasoby technologiczne i kadrowe oraz problemy etyczne i społeczne – np. decyzje SI mogą wpływać na dostępność produktów w określonych regionach [Bujak 2015: 135].

1.3. Inteligentne systemy zarządzania zapasami

Inteligentne systemy zarządzania zapasami, określane również jako *smart inventory management*, to zaawansowane narzędzia informatyczne wspomagane algorytmami sztucznej inteligencji, które umożliwiają dynamiczne i precyzyjne sterowanie poziomami magazynowymi w całym łańcuchu dostaw. Ich celem jest maksymalizacja efektywności gospodarowania zasobami, minimalizacja

nadwyżek i niedoborów oraz ograniczanie strat żywności wynikających z przeterminowania, nadmiernego zatowarowania czy nieefektywnej rotacji produktów. Tradycyjne podejścia do zarządzania zapasami opierały się na prostych prognozach opartych o dane historyczne i sztywno zdefiniowane reguły, takie jak minimalny poziom zapasów (*reorder point*) czy stała wielkość zamówienia (EOQ – *Economic Order Quantity*) [Zhong, Xu i Wang 2017: 2]. W przeciwieństwie do nich, inteligentne systemy integrują dane z wielu źródeł – w tym systemów sprzedaży (POS), systemów logistycznych (WMS, TMS), prognoz popytu, informacji o promocjach, danych pogodowych czy trendów rynkowych – i wykorzystują je do tworzenia adaptacyjnych modeli decyzyjnych [Khan, Byun i Park 2020: 1]. Wśród wykorzystywanych algorytmów znajdują się zarówno klasyczne metody optymalizacji, jak i bardziej zaawansowane modele uczenia maszynowego, takie jak regresja wielowymiarowa, drzewa decyzyjne, sieci neuronowe czy metody bayesowskie [Braúl i Ruiz 2024: 3]. Systemy te są zdolne do ciągłego uczenia się na podstawie nowych danych, co oznacza, że mogą automatycznie dostosowywać swoje rekomendacje do zmieniających się warunków otoczenia rynkowego, sezonowości czy lokalnych preferencji konsumenckich [Singh, Shukla i Mishra 2018: 1]. Kluczową cechą inteligentnych systemów jest ich zdolność do identyfikacji i analizy „powolnych ruchów” (*slow-moving inventory*), czyli produktów o niskiej rotacji, które są najbardziej narażone na przeterminowanie. Systemy te mogą również rozpoznawać wzorce nieefektywnego zaopatrzenia, takie jak zamówienia nadmiarowe lub zbyt częste uzupełnianie magazynu, co pozwala na wdrażanie strategii *Just-in-Time* lub *Lean Inventory*. Ponadto mogą one automatycznie generować zamówienia, optymalizować wielkość i czas ich składania, uwzględniając zarówno zapotrzebowanie, jak i warunki dostaw (*lead time*, koszty logistyczne).

W kontekście redukcji marnotrawstwa żywności, systemy te odgrywają fundamentalną rolę poprzez umożliwienie lepszego zarządzania produktami wrażliwymi na czas, takich jak produkty świeże, nabiał, mięso czy gotowe dania. Dzięki monitorowaniu dat przydatności do spożycia oraz rotacji towaru, systemy mogą zapobiegać sytuacjom, w których duże partie produktów ulegają zepsuciu z powodu niewłaściwego planowania. Mogą także sugerować zmiany lokalizacji magazynowej w celu przyspieszenia sprzedaży produktów zagrożonych przeterminowaniem. Szczególnie widoczne jest to w dużych sieciach handlowych, które zarządzają tysiącami indeksów produktowych i muszą równoważyć zmienne warunki sprzedaży w różnych regionach i kanałach dystrybucji.

Wdrożenie tego typu rozwiązań wiąże się jednak z pewnymi wyzwaniami. Najważniejsze z nich to konieczność posiadania dobrej jakości danych, ich

integracji z różnych systemów informatycznych, a także zapewnienia odpowiedniego poziomu automatyzacji i zdolności interpretacyjnych systemu. Wymaga zapewnienia płynnej integracji, interoperacyjności i braku zakłóceń w bieżących procedurach. Z perspektywy zarządczej istotne jest także zapewnienie zaufania użytkowników końcowych do systemów opartych na SI oraz wdrożenie odpowiednich procedur nadzoru i interwencji ludzkiej w sytuacjach krytycznych [Zhong, Xu i Wang 2017: 4; Dakhia, Russo i Merenda 2025: 2147; Masengu, Muchenje i Ruzive 2025: 10114].

2. Technologie monitorujące jakość produktów żywnościowych

2.1. Systemy monitorujące świeżość żywności

Systemy monitorujące świeżość produktów, wspierane przez technologie sztucznej inteligencji, stanowią jeden z najbardziej obiecujących kierunków rozwoju w zakresie przeciwdziałania marnotrawstwu żywności [Singh i Karthik 2025: 55]. Ich głównym celem jest zapewnienie dokładnego i ciągłego nadzoru nad jakością oraz przydatnością do spożycia produktów żywnościowych na wszystkich etapach łańcucha dostaw: od momentu zbioru lub produkcji, przez transport i magazynowanie, aż po ekspozycję w punktach sprzedaży lub przetwarzanie w gastronomii. Podstawą funkcjonowania tego typu systemów są czujniki biochemiczne, optoelektroniczne oraz mikroklimatyczne, które umożliwiają pomiar takich parametrów jak temperatura, wilgotność, stężenie gazów (np. etylenu, amoniaku), poziom lotnych związków organicznych, zmiany koloru, a nawet mikrobiologiczne oznaki psucia się produktu. Dane z tych czujników są przesyłane do centralnych systemów analitycznych, gdzie są interpretowane z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji. Algorytmy wykorzystywane w analizie świeżości to przede wszystkim modele klasyfikacyjne i regresyjne (SVM, XGBoost, sieci neuronowe), a także metody głębokiego uczenia (*deep learning*), które potrafią zidentyfikować subtelne wzorce degradacji produktów [Braúl i Ruiz 2024: 4]. Szczególne zastosowanie mają tu konwolucyjne sieci neuronowe (CNN), które analizują obrazy wizualne (np. zmiany koloru lub tekstury), oraz rekurencyjne sieci neuronowe (RNN) wykorzystywane do przewidywania zmian jakościowych w czasie [Sharma i in. 2021: 1]. Dzięki temu systemy nie tylko diagnozują aktualny stan świeżości produktu, ale także prognozują jego trwałość przy zadanych warunkach przechowywania [Khan, Byun i Park 2020: 1].

W praktyce systemy monitorowania świeżości znajdują zastosowanie w chłodniach, centrach dystrybucyjnych, pojazdach transportowych, magazynach oraz witrynach sklepowych [Zhong, Xu i Wang 2017: 3]. Przykładowo, czujniki

umieszczone w skrzynkach transportowych z warzywami mogą na bieżąco informować o wzroście temperatury powyżej zalecanej normy, co automatycznie uruchamia alert i decyzję o zmianie trasy lub przyspieszeniu dostawy. W magazynach detalicznych czujniki mogą monitorować dojrzewanie owoców i warzyw, sugerując kolejność ich ekspozycji (ang. *first-expired, first-out* – FEFO), natomiast w zakładach przetwórczych dane te mogą służyć do dynamicznego planowania produkcji i minimalizacji odpadów [Sienicka i Kozłowska 2022: 165].

Zaletą wykorzystania systemów monitorowania świeżości jest znaczące zmniejszenie strat wynikających z niedokładnych lub zbyt ogólnych dat ważności. Tradycyjne oznaczenia typu „najlepiej spożyć przed” są bowiem często zbyt konserwatywne i nie odzwierciedlają faktycznego stanu produktu. Inteligentne systemy pozwalają na podejmowanie decyzji opartych na rzeczywistej kondycji towaru, a nie na uśrednionych prognozach. To nie tylko ogranicza marnotrawstwo, ale także buduje zaufanie konsumentów i umożliwia dynamiczne zarządzanie polityką cenową i promocjami.

2.2. Wizja komputerowa w kontroli jakości żywności

Wizja komputerowa to jedna z najbardziej dynamicznie rozwijających się dziedzin SI, która znajduje szerokie zastosowanie w sektorze spożywczym, zwłaszcza w obszarze kontroli jakości produktów. Dzięki integracji algorytmów przetwarzania obrazu z systemami uczenia maszynowego możliwe jest automatyczne wykrywanie defektów, ocenianie świeżości, identyfikacja produktów niespełniających standardów jakościowych oraz monitorowanie spójności wizualnej opakowań. Technologia ta przyczynia się bezpośrednio do ograniczenia strat żywności, poprawy bezpieczeństwa konsumentów oraz zwiększenia efektywności produkcji i dystrybucji. Systemy wizji komputerowej w kontroli jakości bazują na danych pochodzących z kamer przemysłowych, sensorów multispektralnych i hyperspektralnych, a także skanerów 3D. Dane te są przetwarzane w czasie rzeczywistym przez algorytmy analizy obrazu, takie jak konwolucyjne sieci neuronowe (CNN), modele transformatorowe (np. *Vision Transformer* – ViT), a także klasyczne algorytmy segmentacji i detekcji obiektów. Dzięki nim systemy te potrafią wykrywać mikroskopijne pęknięcia, zmiany koloru, oznaki pleśni, zanieczyszczenia powierzchni, a także oceniać teksturę i kształt produktów spożywczych.

W przemyśle owocowo-warzywnym wizja komputerowa pozwala na kontrolę wyglądu i kalibrację produktów – np. ocena dojrzałości bananów czy wykrywanie uszkodzeń skórki jabłek. W sektorze przetwórstwa mięsa i ryb systemy te monitorują spójność kolorystyczną i strukturę mięśni, co pozwala na

eliminację partii o niepożądanych cechach. W produkcji pieczywa i wyrobów cukierniczych analiza wizualna umożliwia kontrolę stopnia wypieczenia i kształtu, zapewniając jednolity wygląd końcowego produktu. Zaletą wizji komputerowej w procesach kontroli jakości jest jej szybkość, obiektywność i nieprzerwana dostępność – systemy mogą działać 24 godziny na dobę, przetwarzając tysiące obrazów na minutę, co znacząco przewyższa zdolności ludzkiego personelu. Ponadto eliminuje się subiektywność ocen i zmienność wynikającą z czynników psychofizycznych operatorów [Sharma i in. 2021: 1].

Dzięki zastosowaniu zaawansowanej analizy obrazu możliwe jest także wdrażanie systemów śledzenia i identyfikacji produktów w czasie rzeczywistym. Na przykład, każdy wykryty defekt może być przypisany do konkretnej partii produkcyjnej lub dostawy, co ułatwia działania naprawcze, zarządzanie zwrotami i kontrolę źródeł błędów [Singh i Karthik 2025: 53]. W połączeniu z systemami ERP i SCM, wizja komputerowa wspiera zarządzanie jakością w całym łańcuchu wartości. Kontrola jakości za pomocą wizji komputerowej ma również wpływ na redukcję strat żywności poprzez umożliwienie dynamicznego zarządzania partiami produktów o różnej klasie jakości. Zamiast całkowitego wycofania partii z obrotu, systemy te pozwalają na ich przekierowanie do przetwórstwa, sprzedaży promocyjnej lub redystrybucji – zgodnie z zasadą efektywnego gospodarowania zasobami [Sienicka i Kozłowska 2022: 167].

2.3. Roboty sortujące żywność

Roboty sortujące żywność, zintegrowane z technologiami AI, stanowią przełom w automatyzacji procesów przetwórstwa i dystrybucji produktów spożywczych. Ich podstawowym zadaniem jest identyfikacja, klasyfikacja oraz fizyczna segregacja produktów żywnościowych na podstawie ich jakości, dojrzałości, kształtu, koloru, uszkodzeń czy innych parametrów fizykochemicznych [Singh i Karthik 2025: 49]. Dzięki połączeniu mechaniki precyzyjnej, sensorów wielospektralnych oraz algorytmów uczenia maszynowego, roboty te mogą pracować z wysoką dokładnością, przy dużych prędkościach i bez przerwy, co czyni je niezwykle efektywnymi narzędziami w ograniczaniu strat żywności. Zasadniczą funkcjonalnością robotów sortujących żywność jest wykorzystanie zaawansowanej wizji komputerowej wspieranej przez AI. Kamery wysokiej rozdzielczości, czujniki hiperspektralne oraz sensory dotykowe i chemiczne generują ogromne ilości danych, które są analizowane w czasie rzeczywistym przez specjalistyczne algorytmy. Systemy oparte na konwolucyjnych sieciach neuronowych (CNN) uczą się rozpoznawać subtelne różnice między produktami spełniającymi kryteria jakościowe a tymi, które są uszkodzone, przejrzałe lub niezgodne z normami handlowymi [Braúl i Ruiz

2024: 5]. W sektorze owocowo-warzywnym roboty są wykorzystywane do sortowania jabłek, pomidorów, ogórków, cytrusów czy winogron na podstawie ich dojrzałości, koloru, obecności plam, a także deformacji. W przetwórstwie mięsa i ryb systemy te analizują teksturę, barwę i integralność strukturalną tusz. W branży zbożowej i nasiennej za pomocą czujników optycznych i laserowych roboty identyfikują i oddzielają zanieczyszczenia, ciała obce oraz nasiona o niskiej jakości. Dzięki temu eliminowana jest konieczność ręcznej selekcji, która jest nie tylko czasochłonna, ale również mało precyzyjna i podatna na błędy ludzkie. Kolejnym atutem robotów jest ich zdolność do działania w warunkach trudnych dla ludzi – w niskich temperaturach, wysokiej wilgotności, przy konieczności zachowania wysokiego poziomu higieny. Ponadto, systemy robotyczne mogą być wyposażone w funkcje samouczenia się (*self-learning*), które umożliwiają im ciągłe doskonalenie algorytmów klasyfikacyjnych w oparciu o nowe dane i zmieniające się standardy jakościowe [Zhong, Xu i Wang 2017: 5]. W Polsce dostępne są zaawansowane rozwiązania z zakresu robotyki gastronomicznej. Firma HG Robotics [2025] oferuje zrobotyzowane sortowniki, które automatycznie segregują produkty, zwiększając efektywność i precyzję w procesach produkcyjnych. Z kolei robot KUKA KR 3 AGILUS został zastosowany w pierwszym na świecie w pełni zautomatyzowanym automacie z żywnością typu fast food, serwującym przekąski, napoje i desery [KUKA 2020].

2.4. Aplikacje do monitorowania i analizowania marnotrawstwa żywności

Współczesne kuchnie przemysłowe i placówki gastronomiczne generują znaczne ilości odpadów żywnościowych, wynikających zarówno z nieefektywnego zarządzania surowcami, jak i z nieprzewidywalnych fluktuacji liczby gości, błędów w przygotowaniu dań oraz nieoptymalnych praktyk przechowywania i planowania menu. W odpowiedzi na te wyzwania coraz szersze zastosowanie znajdują specjalistyczne aplikacje oparte na AI, których zadaniem jest monitorowanie i analiza strat żywności w środowisku kuchennym. Technologie te wspierają kucharzy, menedżerów gastronomii oraz analityków w identyfikacji źródeł strat i wdrażaniu skutecznych strategii ograniczających marnotrawstwo [Sienicka i Kozłowska 2022: 167]. Aplikacje tego typu zazwyczaj integrują różne moduły funkcjonalne, takie jak cyfrowe rejestry strat, systemy analizy obrazu, inteligentne czujniki wagowe oraz algorytmy predykcyjne. W codziennej pracy pozwalają na bieżąco monitorować ilość, rodzaj i przyczynę wyrzucanych produktów – zarówno tych niewykorzystanych, jak i pozostałości po przygotowaniu lub konsumpcji. Dane te są automatycznie klasyfikowane i przesyłane do centralnego systemu analitycznego, który

generuje raporty, wskaźniki KPI oraz sugestie działań naprawczych. Sztuczna inteligencja odgrywa w tych systemach rolę kluczową [Zhong, Xu i Wang 2017: 4].

Dzięki algorytmom uczenia maszynowego możliwe jest identyfikowanie ukrytych wzorców i korelacji – np. zależności między porą dnia a ilością odpadów, wpływu konkretnych składników na poziom marnotrawstwa czy związków między strukturą menu a wielkością pozostawionych porcji. Modele predykcyjne potrafią z dużą dokładnością prognozować ryzyko nadprodukcji oraz rekomendować optymalne ilości do przygotowania na podstawie historycznych danych sprzedaży, sezonowości i zewnętrznych czynników, takich jak wydarzenia lokalne czy prognozy pogody. Zaletą aplikacji AI do monitorowania strat w gastronomii jest również ich funkcja edukacyjna i motywacyjna [Doğan 2024: 3]. Personel kuchenny otrzymuje regularne informacje zwrotne na temat ilości i wartości marnowanej żywności, co sprzyja budowaniu świadomości ekologicznej i ekonomicznej. Dodatkowo, kierownictwo może wykorzystać dane do optymalizacji łańcucha dostaw, negocjacji z dostawcami oraz lepszego planowania personelu i surowców. Wdrożenie takich aplikacji wymaga jednak odpowiedniego przygotowania organizacyjnego. Kluczowe jest zapewnienie spójności danych, integracja z systemami POS i ERP, przeszkolenie personelu oraz wdrożenie procedur zbierania i weryfikacji informacji. Wymaga to również zmiany kultury organizacyjnej w kierunku odpowiedzialności za ograniczanie strat i ciągłego doskonalenia procesów [Singh i Karthik 2025: 56].

3. Dynamiczne ustalanie cen (*dynamic pricing*) żywności

Dynamiczne ustalanie cen z wykorzystaniem sztucznej inteligencji (SI) to innowacyjna strategia zarządzania polityką cenową, która polega na automatycznym dostosowywaniu cen produktów do bieżących warunków rynkowych, popytu, stanu zapasów oraz czasu pozostałego do końca terminu przydatności [Singh i Karthik 2025: 52]. W przeciwieństwie do tradycyjnych metod opartych na sztywnych marżach lub okresowych aktualizacjach cenników, podejście oparte na SI wykorzystuje złożone algorytmy analityczne, które umożliwiają podejmowanie decyzji cenowych w czasie rzeczywistym. W sektorze spożywczym, a szczególnie w handlu detalicznym i gastronomii, *dynamic pricing* wspierany przez AI staje się coraz powszechniejszy, ponieważ pozwala firmom lepiej reagować na zmieniające się warunki popytowo-podażowe i jednocześnie ograniczać straty wynikające z niesprzedanej lub przeterminowanej żywności. Systemy te analizują dane historyczne sprzedaży, bieżące tempo sprzedaży, dane pogodowe, promocje, dostępność towaru, terminy

ważności oraz preferencje konsumentów. Na tej podstawie generują rekomendacje dotyczące optymalnych cen, które maksymalizują szansę sprzedaży danego produktu przy jednoczesnym zachowaniu możliwie najwyższej marży.

Algorytmy wykorzystywane w systemach *dynamic pricing* obejmują modele regresji, algorytmy uczenia nadzorowanego (np. XGBoost, Random Forest), nienadzorowanego (np. klasteryzacja klientów), a także techniki uczenia przez wzmacnianie (*reinforcement learning*), które pozwalają systemowi „uczyć się” na podstawie wcześniejszych rezultatów podejmowanych decyzji cenowych [Braúl i Ruiz 2024: 3]. Zaawansowane systemy integrują się także z platformami predykcyjnymi i inteligentnym zarządzaniem zapasami, umożliwiając jednocześnie planowanie promocji i rotacji produktów. Szczególnym zastosowaniem dynamicznego ustalania cen jest zarządzanie towarami o krótkim terminie ważności. Przykładowo, produkty mleczne lub mięso, które zbliżają się do daty przydatności do spożycia, mogą być automatycznie przeceniane w taki sposób, aby zwiększyć ich atrakcyjność dla konsumenta i zmniejszyć prawdopodobieństwo ich wyrzucenia [Singh, Shukla i Mishra 2018: 1]. W sektorze gastronomicznym systemy mogą na bieżąco dostosowywać ceny dań w oparciu o dostępność składników, przewidywane zainteresowanie klientów oraz czas do zamknięcia lokalu. Wady systemu obejmują m.in. ryzyko błędnych prognoz wynikające z niedokładnych lub niekompletnych danych, możliwość utraty zaufania klientów w wyniku częstych i nieprzewidywalnych zmian cen, wysokie koszty wdrożenia i utrzymania systemu, a także ograniczenia etyczne i prawne związane z dyskryminacją cenową lub manipulacją rynkową [Paraschiv i Ayadi 2025: 285].

4. Platformy do redystrybucji nadwyżek żywności

Platformy do redystrybucji nadwyżek żywności wspomagane przez technologie SI stanowią innowacyjne rozwiązanie umożliwiające bardziej efektywne gospodarowanie zasobami spożywczymi i przeciwdziałanie marnotrawstwu żywności na poziomie detalicznym, gastronomicznym i konsumenckim [Singh i Karthik 2025: 52]. Główna funkcjonalność tych systemów polega na łączeniu podmiotów posiadających nadwyżki produktów żywnościowych (np. sklepy, restauracje, hotele, hurtownie) z organizacjami charytatywnymi, bankami żywności oraz bezpośrednimi odbiorcami, którzy są w stanie tę żywność spożytkować [Sienicka i Kozłowska 2022: 166]. Platformy te przyjmują formę aplikacji mobilnych lub serwisów internetowych, które dzięki zastosowaniu algorytmów SI automatyzują procesy dopasowywania podaży do popytu. Algorytmy analizują informacje o dostępnych produktach (ilość, typ,

stan, lokalizacja, termin przydatności), a także dane o potrzebach odbiorców (wielkość zapotrzebowania, ograniczenia logistyczne, profil działalności). Na tej podstawie system generuje rekomendacje dystrybucyjne, optymalizuje trasy dostaw i zapewnia sprawiedliwą oraz efektywną alokację zasobów. Wśród wykorzystywanych technologii znajdują się klasyfikatory SI, modele predykcyjne, algorytmy uczenia nadzorowanego i nienadzorowanego oraz systemy wspomagania decyzji. Zastosowanie uczenia maszynowego umożliwia dynamiczne przewidywanie, które produkty będą dostępne w nadmiarze w określonym czasie i miejscu, co pozwala na wcześniejsze planowanie ich redystrybucji. Systemy te są również w stanie analizować wzorce darowizn i wskazywać regularnych dawców, a także identyfikować tzw. gorące punkty (*hotspots*) marnotrawstwa żywności. Przykładami tego typu rozwiązań są aplikacje takie jak Too Good To Go, OLIO, Karma czy NoFoodWasted, które z powodzeniem działają w Europie i Ameryce Północnej. Użytkownicy mogą za pomocą aplikacji w czasie rzeczywistym otrzymywać powiadomienia o dostępnych paczkach żywności po obniżonej cenie lub bezpłatnie. Wersje zaawansowane pozwalają na integrację z systemami POS i ERP, umożliwiając automatyczne publikowanie informacji o nadwyżkach oraz śledzenie historii redystrybucji w lokalu.

Zastosowanie platform redystrybucyjnych opartych na SI przynosi liczne korzyści. Przede wszystkim zmniejsza się ilość żywności trafiającej na wysypiska, co przyczynia się do redukcji emisji gazów cieplarnianych związanych z jej rozkładem. Jednocześnie zwiększa się efektywność wykorzystania zasobów rolnych, pracy i energii włożonej w produkcję żywności. Platformy wspierają także społeczną odpowiedzialność biznesu, umożliwiając przedsiębiorstwom realny wkład w walkę z głodem i niedożywieniem [Sharma i in. 2021: 1].

Wnioski

Cyfrowa transformacja sektora żywnościowego, wspierana przez rozwój sztucznej inteligencji i technologii pokrewnych, otwiera nowe możliwości przeciwdziałania marnotrawstwu żywności w sposób bardziej systemowy, zrównoważony i efektywny niż dotychczasowe podejścia [Sharma i in. 2021: 1]. W niniejszym rozdziale przedstawiono kluczowe grupy technologii, które – jako elementy składające się na tzw. inteligentny łańcuch żywnościowy – umożliwiają aktywne zarządzanie ryzykiem strat na wszystkich etapach obrotu żywnością: od prognozowania zapotrzebowania, przez zarządzanie zapasami, logistykę, kontrolę jakości, aż po redystrybucję niesprzedanych produktów. Systemy predykcyjne do prognozowania popytu oraz algorytmy optymalizujące łańcuch

dostaw pozwalają na precyzyjne dopasowanie produkcji i logistyki do rzeczywistego zapotrzebowania konsumentów, minimalizując nadwyżki i ich potencjalne straty. Inteligentne systemy zarządzania zapasami oraz dynamiczne ustalanie cen przyczyniają się do bardziej elastycznego reagowania na zmiany rynkowe i skuteczniejszego wykorzystania towarów, zanim ulegną przeterminowaniu. Z kolei systemy monitorujące świeżość produktów i roboty sortujące żywność umożliwiają lepsze zarządzanie jakością i trwałością artykułów spożywczych. Równie istotną rolę odgrywają aplikacje do monitorowania marnotrawstwa w gastronomii oraz platformy do redystrybucji nadwyżek żywności, które odpowiadają na problem strat powstających w końcowych ogniwach łańcucha dostaw i na poziomie konsumenckim.

Wszystkie omawiane innowacyjne rozwiązania cyfrowe mają swoje ograniczenia. Ich skuteczność w dużej mierze zależy od jakości danych i integracji z istniejącymi systemami, a błędy pomiarowe, brak standaryzacji czy heterogeniczność danych mogą obniżać trafność prognoz i decyzji. Wdrożenie tych technologii wymaga wysokich nakładów finansowych, odpowiedniej infrastruktury IT oraz wykwalifikowanego personelu, a złożoność obliczeniowa i problemy interoperacyjności dodatkowo utrudniają implementację. Dodatkowo nadmierne poleganie na algorytmach i automatyzacji może prowadzić do pomijania kontekstu lokalnego, indywidualnych potrzeb klientów oraz wyzwań etycznych, co w konsekwencji ogranicza efektywność i uniwersalność tych rozwiązań. Jednak etyka i innowacja nie wykluczają się, lecz mogą wzajemnie się wzmacniać, prowadząc do bardziej sprawiedliwych i zrównoważonych systemów – zarówno w gospodarce odpadami, jak i w szerszym kontekście innowacyjności przedsiębiorstw w erze Przemysłu 4.0 i 5.0.

Analiza zaprezentowanych rozwiązań wskazuje, że technologie oparte na sztucznej inteligencji oferują nie tylko potencjał znacznej redukcji marnotrawstwa żywności, ale także przyczyniają się do poprawy rentowności operacyjnej, efektywności zasobów oraz przejrzystości procesów w całym łańcuchu wartości. Wdrożenia te – choć obarczone barierami technologicznymi, organizacyjnymi i społecznymi – mają kluczowe znaczenie w kontekście globalnych celów zrównoważonego rozwoju, bezpieczeństwa żywnościowego oraz przeciwdziałania zmianom klimatycznym. Ostateczny kierunek zależy od dzisiejszych decyzji i świadomego kształtowania rozwoju technologii.

Opracowanie powstało w ramach międzynarodowego projektu dydaktycznego *FoodConscious: Towards effective food waste management and food waste prevention in the food service sector* (Nr 2022-1-PL01-KA220-VET-000089122) realizowanego w ramach programu Erasmus+ i współfinansowanego przez Komisję Europejską. Inicjatywa skupia się na

opracowaniu innowacyjnych narzędzi edukacyjnych wspierających ograniczanie strat żywności w sektorze gastronomicznym. W projekcie uczestniczą partnerzy z Polski, Grecji, Włoch, Hiszpanii i Słowenii.

Bibliografia

Aci M., Yergök D. (2023), Demand Forecasting for Food Production Using Machine Learning Algorithms: A Case Study of University Refectory, *Tehnički vjesnik*, 30(6).

Aleksandrowicz J. (2018), Przydatność automatycznych systemów zliczania pasażerów w celach predykcji popytu na usługi transportowe, *Transport Miejski i Regionalny*, 4.

Braúl B. E., Ruiz E. C. (2024), A systematic review of improvement methodologies for the optimization of production management in the restaurant sector, *Ingeniería y Competitividad*, 26(3).

Bujak A. (2015), The development of the concept of supply chain management as an example of the evolution of logistics, *The Central European Review of Economics and Management*, 15(1).

Chodak G., Kwaśnick W. (2002), Zastosowanie algorytmów genetycznych w prognozowaniu popytu, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 4.

Ciechulski T., Osowski S. (2020), Deep learning approach to power demand forecasting in Polish Power System, *Energies*, 13(22).

Czapaj R., Kamiński J., Sołtysik M. (2022), A review of auto-regressive methods applications to short-term demand forecasting in power systems, *Energies*, 15(18).

Dakhia Z., Russo M., Merenda M. (2025), AI-Enabled IoT for Food Computing: Challenges, Opportunities, and Future Directions, *Sensors*, 25(7).

Doğan M. (2024), Enhancing Culinary Operations Through Fuzzy Logic: A Case Study in the Catering Industry, *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 12(2).

HG Robotics (2025), Roboty sortujące, https://hgrobotics.pl/zrobotyzowany-sortownik/?utm_source=chatgpt.com.

Khan P. W., Byun Y. C., Park N. (2020), IoT-blockchain enabled optimized provenance system for food industry 4.0 using advanced deep learning, *Sensors*, 20(10), 2990.

KUKA (2020), Robot KUKA stosowany w gastronomii, https://www.kuka.com/pl-pl/firma/prasa/news/2019/11/kuka-bionicook-robot-przyrz%C4%85dzaj%C4%85cy-%C5%BCywno%C5%9B%C4%87-typu-fast-food?utm_source=chatgpt.com.

Łaba S., Szczepański K., Łaba R. (2020), Definicje i wytyczne w obszarze strat i marnotrawstwa żywności jako podstawa prowadzenia badań [w:] Łaba S. (red.), *Straty i marnotrawstwo żywności w Polsce. Skala i przyczyny problemu*, IOŚ-PIB, Warszawa.

Masengu R., Muchenje C., Ruzive B. (2025), Leveraging predictive analytics to enhance food safety risk management in supply chains: A conceptual framework, *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 9(1).

Paraschiv C., Ayadi Sharma S., Gahlawat V. K. i in. (2021), Sustainable innovations in the food industry through artificial intelligence and big data analytics, *Logistics*, 5(4).

Sharma S., Gahlawat V. K., Rahul K., et al. (2021), Sustainable innovations in the food industry through artificial intelligence and big data analytics, *Logistics*, 5(4).

Sienicka M., Kozłowska J. (2022), Sharing economy oraz foodsharing w nowoczesnych rozwiązaniach technologicznych, *Akademia Zarządzania*, 6(1).

Singh A., Shukla N., Mishra N. (2018), Social media data analytics to improve supply chain management in food industries, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 114.

Singh V., Karthik K. (2025), Optimizing Food Quality and Customer Service in Restaurants Through AI-Powered Monitoring Systems [in:] Garg A. (ed.) *Technological Innovations in the Food Service Industry*. IGI Global Scientific Publishing, Hershey, PA.

Wornalkiewicz W. (2023), Implementacja procedury optymalizacji usług logistycznych. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach*, 16.

Zhong R., Xu X., Wang L. (2017), Food supply chain management: systems, implementations, and future research, *Industrial Management & Data Systems*, 17(9).